UTCB

Universitatea Tehnică de Construcții București

Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri



145 de ani

București 1881 – 2026

de învățământ

tehnic românesc

în domeniul

infrastructurii transporturilor

CONSPRESS

Universitatea Tehnică de Construcții București
Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri

145 DE ANI DE ÎNVĂȚĂMÂNT TEHNIC ROMÂNESC ÎN DOMENIUL INFRASTRUCTURII TRANSPORTURILOR

1881 – 2026

Volumul Conferinței Științifice
„145 de ani de Învățământ Tehnic Românesc în Domeniul Infrastructurii Transporturilor”
București, 20 noiembrie 2026

EDITURA CONSPRESS

2026

Copyright © 2026, Editura Conspress şi editorii

EDITURA CONSPRESS
este recunoscută de
Consiliul Naţional al Cercetării Ştiinţifice din Învăţământul Superior

Conţinutul cărţii respectă toate reglementările legale în vigoare privind proprietatea intelectuală, de eventuala nerespectare a acestora se fac răspunzători numai autorii.

EDITORI:
Adrian **BURLACU**
Corina **CHIOTAN**
Claudia **PETCU**

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României

145 de ani de învăţământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor : 1881-2026 / ed.: Adrian Burlacu, Corina Chiotan, Claudia Petcu. - Bucureşti : Conspress, 2026
Conţine bibliografie
ISBN

I. Burlacu, Adrian (ed.)
II. Chiotan, Corina (ed.)
III. Petcu, Claudia (ed.)

CONSPRESS
B-dul Lacul Tei 122 – 124, sector 2,
cod 020396, Bucureşti
Tel.: (021) 242 1208 / 300; Fax: (021) 242 0781
conspress@utcb.ro
http://conspress.utcb.ro

COMITETUL DE ORGANIZARE

Preşedinte:

- Adrian BURLACU – Conf.univ.dr.ing. - Decan F.C.F.D.P., U.T.C.B.

Membri:

- Claudia PETCU – Conf.univ.dr.ing. - Prodecan F.C.F.D.P., U.T.C.B.
- Corina CHIOTAN – Şef lucr.univ.dr.ing. - Prodecan F.C.F.D.P., U.T.C.B.
- Carmen RĂCĂNEL – Prof.univ.dr.habil.ing. - Director D.D.C.F.M.C., U.T.C.B.
- Ionuț – Radu RĂCĂNEL – Prof. univ. dr. habil. ing. - U.T.C.B.
- Andrei Constantin OLTEANU - Conf. univ. dr. ing. - U.T.C.B.
- George Mădălin PIRONTEA – Inginer – U.T.C.B.
- Alexia – Maria RADU – Inginer, studentă master IIT
- Alexandra – Estefania BRĂNESCU – Inginer, studentă master IIT

COMITETUL ȘTIINȚIFIC

Preşedinte:

- Mihai DICU – Prof. univ. dr. ing. - U.T.C.B.

Membri:

- George STOICESCU – Prof. univ. dr. ing. - U.T.C.B.
- Carmen RĂCĂNEL – Prof.univ.dr.habil.ing. - Director D.D.C.F.M.C., U.T.C.B.
- Ionuț Radu RĂCĂNEL – Prof. univ. dr. habil. ing. - U.T.C.B.
- Adrian BURLACU – Conf.univ.dr.ing. - Decan F.C.F.D.P., U.T.C.B.
- Andrei Constantin OLTEANU - Conf. univ. dr. ing. - U.T.C.B.
- Claudia PETCU – Conf.univ.dr.ing. - Prodecan F.C.F.D.P., U.T.C.B.
- Corina CHIOTAN – Şef lucr.univ.dr.ing. - Prodecan F.C.F.D.P., U.T.C.B.
- Doru ZDRENGHEA – Şef lucr. univ. dr. ing. - U.T.C.B.

SPONSORI

PREFAȚĂ

În anul 1881, odată cu recunoașterea oficială a Școlii Naționale de Poduri și Șosele, învățământul tehnic românesc dedicat căilor de comunicație căpăta forma instituțională din care avea să se nască, în timp, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a Universității Tehnice de Construcții București. Au trecut de atunci 145 de ani – un drum lung, pe care generații de profesori și de ingineri au proiectat și au construit căile ferate, drumurile și podurile României și au format, la rândul lor, generațiile care le-au urmat.

Conferința științifică „145 de ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor”, desfășurată la București pe 20 noiembrie 2026, a fost gândită deopotrivă ca un moment de aducere aminte și ca o privire spre viitor. Volumul de față reunește lucrările prezentate cu acest prilej, grupate în patru secțiuni:

- *Mari personalități românești din domeniul infrastructurii transporturilor* – evocări ale profesorilor care au dat identitate școlii noastre;
- *Infrastructura de transport – trecut și prezent* – pagini de istorie și realizări recente ale ingineriei românești;
- *Articole științifice și comunicări tehnice* – rezultate ale cercetării desfășurate în universități, în institute de cercetare, în administrație și în firmele de proiectare și execuție;
- *Mesajul studenților* – experiențele și gândurile celor care învață astăzi în facultatea noastră.

Am dorit ca, parcurgând aceste pagini, cititorul să poată urmări firul care leagă generațiile: de la Gheorghe Duca și Anghel Saligny, de la primele poduri metalice proiectate de ingineri români, până la laboratoarele de astăzi, la materialele noi, la metodele moderne de calcul și de încercare și la preocupările pentru siguranța circulației și pentru o infrastructură durabilă. Faptul că alături de profesori, cercetători și ingineri semnează și studenți ne arată că școala își păstrează vocația de a forma nu doar specialiști, ci și oameni deschiși spre lume.

Mulțumim tuturor autorilor pentru contribuțiile lor și membrilor comitetului științific pentru efortul de recenzare a lucrărilor. Mulțumim, de asemenea, membrilor comitetului de organizare, colegilor care au susținut prelegeri în plenul conferinței, Editurii Conspress și sponsorilor noștri, fără de care organizarea conferinței și publicarea acestui volum nu ar fi fost posibile.

Dedicăm acest volum înaintașilor noștri și îl oferim, totodată, celor care vor duce mai departe tradiția școlii românești de căi ferate, drumuri și poduri. Vă invităm să-l parcurgeți cu aceeași bucurie cu care l-am alcătuit.

Editori:

Adrian **BURLACU**
Corina **CHIOTAN**
Claudia **PETCU**

București, noiembrie 2026


145 ANI DE ÎNVĂȚĂMÂNT TEHNIC ROMÂNESC ÎN DOMENIUL INFRASTRUCTURII TRANSPORTURILOR
UTCB
1881
CFDP

★ 1881 – 2026 ★

CUPRINS

CUVINTE DE BUN VENIT

Mesajul domnului Rector al UTCB
R.S. Văcăreanu..... 1

Mesajul doamnei Prorector al UTCB
M.M. Stoian.....3

Mesajul domnului Decan al FCFDP
A. Burlacu.....4

Să ne amintim! Istoria evoluției și dezvoltării învățământului tehnic românesc în domeniul infrastructurii de transport terestru
M. Dicu, C. Răcănel.....5

Jurnalismul, ca punte a studenților CFDP pe șantiere
A. Enache..... 27

CADRE – un simbol al CFDP
C. Chiotan, C. Chiotan, P.-C. Grigore, E.-L. Macri, G. Pirontea, B.-A. Zdrenghea.....53

SECȚIUNEA A. MARI PERSONALITĂȚI ROMÂNEȘTI DIN DOMENIUL INFRASTRUCTURII TRANSPORTURILOR

Profesorul Iosif Craus – de la școala bucureșteană de drumuri la Technion Haifa
V. Anton, A. Burlacu.....67

Profesor universitar emerit doctor inginer Constantin Romanescu – dascăl recunoscut și reputat specialist în domeniul rutier
M. Dicu, C. Răcănel.....77

„Ne naștem egali, educația ne deosebește”. In memoriam: profesorul și inginerul Petre Ionescu
A. Ionescu, G. Ionescu..... 88

Omagiu profesorului Iordan Petrescu
M.M. Stoian, O.M. Stan, R.M. Stănescu.....96

Omagiu profesorului universitar doctor inginer Ion Răcănel
I.R. Răcănel, C. Răcănel..... 107

SECȚIUNEA B. INFRASTRUCTURA DE TRANSPORT, TRECUT ŞI PREZENT

De la douăzeci și unu de vaduri la treisprezece tuneluri. Scurtă istorie tehnică a sectorului Câmpina–Predeal al DN 1
A. Burlacu.....116

Tunelul Teliu – un secol de la străpungere
M. Martin..... 138

Monitorizarea în proiectarea și execuția lucrărilor de infrastructură. Cercetare aplicată și servicii inginerești la UTCB CFDP
A.C. Olteanu, C. Orha, A.G. Alexe.....148

Legende, recorduri și povești mai puțin cunoscute ale Căilor Ferate Române
M.B. Prisăcaru, M.-L. Stoian.....161

Soluții moderne pentru poduri în zone urbane
I.R. Răcănel, C. Chiotan, V.D. Urdăreanu, G.M. Pirontea.....173

SECȚIUNEA C. COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE ŞI ARTICOLE TEHNICE

Ridicare topografică GNSS pentru proiectarea unui pod peste râul Agapia, punctul Hanganu, județul Neamț
M.Ș. Afrăsinei, G.-E. Rogojină, A.-C. Badea.....195

Abordare multicriterială integrată pentru optimizarea circulației, a exploatării şi a siguranţei evacuării în sistemul de metrou
M.-M. Alexe, A. Burlacu, M. Dicu.....205

Betoane drenante utilizate în infrastructura rutieră
M. Amăreanu, C.O. Mazilu.....227

Soluții inginerești integrate pentru infrastructura modernă: structuri metalice, poduri prefabricate, sisteme geotehnice și managementul apelor
C. Andronic.....236

Influența dozajului de liant şi a compoziției granulometrice asupra proprietăților mixturilor asfaltice drenante
I.-C. Badea, C. Răcănel.....253

Modele hidraulice moderne
A.-M. Baicu.....268

Analiza tehnică a performanţei la impact a sistemelor de protecție rutieră: metode reglementate de încercare şi interpretarea criteriilor de evaluare
A.A. Bălăceanu, C. Răcănel.....277

Proiectarea drumurilor cu ajutorul Civil Site Design (CSD) şi inteligenței artificiale (A.I.)
F. Balcu.....287

Rezistența la compresiune, forfecare şi încovoiere a zidăriilor din BCA realizate cu mortar de uz general şi cu mortar pentru rosturi subțiri. Comparație cu prevederile CR6-2013
M. Bârnaure, C. Voinițchi, F.V. Panait.....306

Influența direcției de printare asupra proprietăților mecanice ale materialelor plastice
A. Berbecaru, J. Katajisto.....315

Analiza circuității rețelelor de transport planare regulate utilizând metrica taxicab
A.-M. Boldeanu, A. Burlacu, A. Mihai.....319

Efectul traficului asupra structurilor îngropate. Studiu de caz: cablu electric de 110 kV pozat sub un drum de acces cu trafic greu
I. Boți, K. Abara.....327

Rolul microsimulării în fundamentarea soluțiilor de circulație. Studiu de caz privind sensul giratoriu propus pe DN2 la Mărăcineni
T.G. Brașov, L.R. Georgescu.....354

Auditul de siguranță rutieră şi rolul asociației profesionale în creşterea calității infrastructurii rutiere şi reducerea numărului de victime
A. Burlacu, C. Vîlcu, L. Bălăjel.....366

Noi practici în gestionarea vitezei pentru prevenirea evenimentelor rutiere: adaptarea cadrului „drumuri-pentru-viață” la contextul României
F.-A. Burlacu.....378

Siguranța rutieră și schimbările climatice: beneficii comune pentru o infrastructură rutieră mai sigură, mai rezilientă și cu emisii reduse în România
F.-A. Burlacu.....387

Modelarea și analiza statică a unui pod hobanat, cu luarea în considerare a etapelor de execuție
C. Chiotan, I.R. Răcănel.....399

Structuri rutiere pentru platforme industriale cu trafic greu: sinteză comparativă între structuri rutiere suple/semirigide, beton de ciment rutier și pavaje prefabricate
A.-F. Clitan, G. Hoda, I.M. Beca.....408

Influența sistemului de contravântuire asupra stabilității generale a podurilor metalice pe arce
E. Cojan, I.R. Răcănel.....419

Investigații privind reducerea fisurilor reflective în asfaltul armat cu geosintetice
N.S. Correia, V.V. Kumar.....428

Tehnologii sustenabile și economia circulară în ingineria rutieră: analiza ciclului de viață, valorificarea materialelor recuperate și stabilizarea alternativă a straturilor rutiere
C. Costescu, P. Marc, A. Forton, A. Știrb.....440

Inteligența artificială în inspecția și evaluarea stării tehnice a podurilor: aplicații, oportunități inginerești și provocări de implementare
A.-D. Danciu, Ș.-I. Guțiu, V. Marusceac, M.-L. Dragomir, M.A. Ciotlăuș, I.-I. Chindriș
.....452

Influența dezvoltării rețelei de autostrăzi asupra creșterii economice regionale: o analiză cu modele de învățare automată
E. Dedu, O. Dinu, A. Ruscă, Ș. Burciu, P. Dimancea, A.T. Petropoulos, E. Roșca.....466

Influența reducerii temperaturii de preparare asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice cu bitum simplu și modificat – sinteză documentară
R.-D. Dermengiu, I.-C. Badea.....490

Îmbunătățirea terenului de fundare cu lianți hidraulici
M.-A. Diaconu, A.C. Olteanu.....503

Analiza comparativă a unor metode de dimensionare folosite la nivel mondial pentru structurile aeroportuare flexibile
A.V. Diconescu, C. Răcănel.....516

Metodologie de evaluare integrată a performanței mixturilor asfaltice prin încercări complexe de laborator
M. Dicu, R.-D. Dermengiu.....532

Posibilitatea dimensionării platformelor pietruite, destinate întreținerii eolienelor
M. Dicu.....548

Activitatea de recepție a lucrărilor de infrastructură rutieră de interes național derulate de CNAIR -S.A.
S. Dicu, M. Peticilă, E. Calagiu, F. Ciobanu.....560

Principiile constituirii unui glosar tehnic trilingv în domeniul infrastructurii rutiere de transport
A. Dinu, A. Burlacu, F.-A. Burlacu.....570

Analiza fiabilității și disponibilității operaționale a parcului de locomotive Unicom Tranzit utilizate în transportul feroviar de marfă – studiu de caz pentru anul 2025
A. Dobre, T. Mazilu.....585

Integrarea infrastructurii pentru biciclete și trotinete electrice în rețelele urbane – studiu comparativ între orașe europene și analiza fezabilității implementării în municipiul Craiova
A.-M. Drăgănescu, A. Burlacu, M. Dicu.....597

Noi metode software în dimensionarea structurilor rutiere rigide
M.L. Dragomir, D.T. Nicoară, A.D. Danciu, M.A. Ciotlăuș, V. Marusceac.....620

Influența temperaturii și a condiționării asupra modulului de rigiditate al mixturii asfaltice MAS 16: comparație între metodele de încercare IT-CY și 4PB-PR
A.-M. Drîmbă, C. Răcănel.....635

Dimensionarea și eficiența trecerilor de pietoni înălțate: sinteză critică, metodologie bazată pe răspunsul dinamic al vehiculului și studiu de caz
D. Duma, A. Burlacu.....648

Analiza de risc pentru siguranța și securitatea circulației în tunelurile rutiere din România, conform AND 621/2025 (RVS 09.03.11)
D. Dumitrășcuță, A. Ioanidi, S. Dărăban.....665

Studiu comparativ privind dimensionarea structurilor rutiere flexibile prin utilizarea programelor ALIZE și CALDEROM
K.A. Egbakou, C. Petcu.....675

Auditul și inspecția de siguranță rutieră în România: evoluție, provocări și perspective de digitalizare
B. Ferariu.....701

Metodologie integrată de analiză și evaluare a siguranței infrastructurii rutiere
B. Ferariu, H. Pop, C. Răcănel.....712

Utilizarea tehnologiilor de scanare laser (LiDAR) în proiectarea drumurilor, pasajelor, podurilor și căilor ferate
V. Filipoiu.....726

Tehnici implementate de analiză a semnalizării rutiere la nivel național
A.-L. Florea, M.-N. Turburică.....737

Considerații privind vibrațiile cuplate longitudinale și torsionale ale unei osii motoare de locomotivă electrică în regim nominal de tracțiune
M.-A. Gheți, T. Mazilu.....753

Influența proprietăților fizico-mecanice ale terenului asupra comportării ancorelor tunelurilor
P.-C. Grigore, D. Zdrenghea, I.R. Răcănel.....766

Digitalizarea administrării drumurilor: modele 3D și date integrate
A.-M. Guzgan, G.-T. Călin.....781

Modelarea 3D a podurilor, o soluție modernă pentru identificarea defectelor și analiza detaliată a acestora
F. Haralambe, M.M. Negoiță, T.G. Brașov.....792

Mixturi asfaltice drenante: compoziție și performanțe
G. Hoda, I.M. Beca, A.-F. Clitan.....801

Teoria mecanismului aparatului de cale
N. Ionescu.....814

Selecție multicriterială a materialelor și accesoriilor pentru platforme metalice prefabricate modulare: durabilitate, cost și industrializare
V.-P. Ionescu, A.D.B. Pironea, L. Rece.....843

Un pas înainte în reziliența sistemelor flexibile de protecție împotriva căderilor de blocuri de rocă
R.J. Luis-Fonseca, W. Gerber, R. Dudler, H. Lanter, G. Corbescu.....856

Influența izolatorilor seismici asupra solicitărilor seismice ale podurilor: sinteză comparativă a podurilor izolate și neizolate
E.-L. Macri.....870

Calibrarea și validarea, pe baza percepției pasagerilor, a unui indice compozit al nivelului de serviciu pentru transportul public urban
M.A. Măleanu, S. Pâtiu.....885

Creșterea rezistențelor căii prin utilizarea traverselor cu geogrile atașate
L. Mărculescu, T. Mărculescu.....898

Propuneri de îmbunătățire a Instrucției 314 din punctul de vedere al calculului supraînălțării
L. Mărculescu, T. Mărculescu.....912

Implementarea BIM în proiectarea autostrăzii A8, lotul 1D: Joseni–Ditrău
Ș.-S. Matei.....924

Monitorizarea în timp real a semnalizării rutiere temporare în perioada execuției
Ș.-S. Matei, A. Burlacu.....934

Efectul încorporării silica-aerogelului asupra performanțelor mortarelor de restaurare a clădirilor istorice
L.M. Meliță, M.E. Nica (Morogan), C. Orbeci, I. Rău.....956

Analiza soluțiilor de reducere a zgomotului și vibrațiilor la liniile de tramvai din municipiul București
A. Miteluț, A. Burlacu, G. Stoicescu.....969

Soluții sustenabile adoptate în cadrul proiectului modernizare DN73, Lot 2 km 92+000 – km 128+250
A. Neagu, T. Simion.....994

Investigații nedistructive cu echipamentul GPR georadar în lucrări de drumuri utilizând sistemul Hyperstacking 200HS
M.M. Negoiță, Ș. Ioniță, S. Pâtiu.....1010

Dezvoltarea și etapa de tranziție de la concept la implementare a trenului metropolitan în România
I.F. Nică, Ș. Roșeanu.....1020

Excavații adânci: utilizarea drumurilor de efort în încercările de laborator geotehnic
A.C. Olteanu, C. Bobarnac.....1036

Infrastructura podului Brăila și monitorizarea online a comportării acesteia
A.C. Olteanu, A.G. Alexe.....1049

Stadiul actual al cercetărilor privind utilizarea tehnologiei Warm Mix Asphalt în mixturi asfaltice cu diferite proporții de material asfaltic reciclat
R.G. Orodel, C. Răcănel.....1062

Digitalizarea infrastructurii rutiere. Modernizarea evaluării structurale prin tehnologia TSD
V. Pădure, D. Căpățînă.....1077

Integrarea modelelor avansate bazate pe Metoda Elementelor Finite (MEF) în proiectarea podurilor moderne: aplicații în practica inginerească din România
N. Pascariu.....1085

Agresivitatea traficului rutier: evoluția acesteia, nivelul actual și perspectivele de creștere în condițiile respectării limitelor privind încărcarea maximă pe osie
S. Pâtiu.....1098

Determinarea coeficientului de echivalare în osii standard 115 kN în România – 4 studii de caz ca premise pentru reconsiderarea metodologiei de calcul
S. Pâtiu.....1113

Calitatea datelor ITS în identificarea anomaliilor de trafic – ghid metodologic pentru administrațiile rutiere
F.-F. Pavăl.....1129

Prioritizarea intervențiilor de siguranță rutieră – ghid metodologic pentru administrațiile rutiere
F.-F. Pavăl.....1139

Evaluarea potențialului de îmbunătățire a siguranței rutiere pe drumurile naționale DN1– DN7
M.D. Petcu, C. Răcănel.....1150

Influența uleiului alimentar uzat asupra caracteristicilor fizice ale bitumului îmbătrânit
L. Radu, C. Răcănel, N. Saca, F. Alboiu.....1167

Starea de eforturi și deformații în structura rutieră flexibilă, semirigidă și rigidă - studiu de caz încărcarea cu osia standard de 11.5 t, osia tandem de 20 t, osia tridem de 24T
L.-D. Rey, Ș. Ioniță, S. Pâtiu.....1178

Starea de eforturi și deformații în structura rutieră flexibilă, semirigidă - studiu de caz încărcarea cu un autovehicul cu semiremorcă
L.-D. Rey, Ș. Ioniță, S. Pâtiu.....1190

Integrarea restricțiilor de viteză în evaluarea eficienței energetice a serviciilor feroviare metropolitane
Ș. Roșeanu, I.F. Nică.....1197

Stabilirea încărcării de probă și a deplasărilor teoretice pentru încercarea pe teren a podului în arc al pasajului suprateran Mihai Bravu – Splaiul Unirii
R.M. Stănescu, O.M. Stan.....1213

De ce o cale ferată construită acum peste 100 de ani încă ne dictează proiectele de astăzi?
M.B. Prisăcaru, M.-L. Stoian.....1224

Platforma RoDOp.ro – instrument web pentru calculul structural și economic al proiectelor de drumuri
A. Surducan, A. Gheorghe, M. Gal, A. Dârgău, Ș. Zghibarcea.....1237

Dezvoltarea şi verificarea funcţională a unui braţ robotizat adaptiv cu patru grade de libertate pentru operaţii auxiliare în construcţii
A.F. Tănăsescu.....1246

Analiza tridimensională a mediului geografic adiacent folosind aparate de zbor fără pilot pentru a contribui la creşterea rezilienţei reţelelor rutiere în faţa hazardurilor naturale
M. Tentiș, C.D. Pîrlan, F. Haralambe.....1261

Automatizarea fluxurilor de date utile în administrarea infrastructurii rutiere folosind scanarea tridimensională mobilă
M. Tentiș, I.E. Ciobotaru, D.M. Coteanu.....1271

Extragerea şi clasificarea automată a semnalizării rutiere verticale folosind procedura de scanare mobilă tridimensională. Studiu de caz: implementarea bazei de date tehnice rutiere
M. Tentiș, A.-L. Florea.....1283

Utilizarea BIM în eficientizarea activităţilor de administrare şi dezvoltare a infrastructurii rutiere. Studiu de caz: implementarea realităţii virtuale tridimensionale
M. Tentiș, T.G. Braşov, A. Rădulescu.....1299

Studiu de caz: reducerea amprentei de carbon în cadrul unui proiect de hală industrială – cum susţin produsele şi soluţiile Holcim criteriile de sustenabilitate
A. Țigănuș, A. Surducan, A. Gheorghe, M. Rațiu, B.-E. Coman.....1313

Influenţa razei de racordare a guseului asupra stării de eforturi din nodurile grinzilor principale cu zăbrele ale podurilor de cale ferată
T. Toma, M. Colasanti.....1319

Evaluarea continuităţii funcţionale a investiţiilor feroviare din PNRR în România
V.-V. Ungureanu, P. Peiu.....1330

Efectele încărcărilor militare NATO asupra podurilor rutiere cu deschideri între 24–40 m dimensionate la clasa „E” de încărcare
V.D. Urdăreanu, I.R. Răcănel, C. Chiotan, G.M. Pirontea.....1338

Influenţa vitezei de circulaţie asupra amplificării dinamice a răspunsului structural al unui pod cu structură metalică
B.-A. Zdrenghea, I.R. Răcănel.....1353

Subtraversarea căii ferate Bucureşti–Braşov şi a drumului naţional DN1 pe varianta ocolitoare Azuga–Buşteni
D. Zdrenghea, P.-C. Grigore.....1365

SECȚIUNEA D. MESAJUL STUDENȚILOR

Centrul de Relaţii Internaţionale al UTCB şi internaţionalizarea Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri
A.-E. Brănescu, A.-M. Radu.....1377

Generaţiile de profesori ale F.C.F.D.P. prin ochii studenţilor de astăzi
A.-E. Brănescu, A.-M. Radu.....1396

Din băncile FCFDP, la 145 de ani de la înfiinţare
A. Prina.....1416

Gânduri de la jumătatea drumului
D.-M. Soroceanu.....1418

MESAJUL DOMNULUI RECTOR AL U.T.C.B.



Este o deosebită bucurie și, în același timp, un privilegiu să mă adresez comunității Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri cu prilejul aniversării a 145 de ani de existență.

Anul 1881 reprezintă un moment de referință atât în istoria învățământului tehnic românesc, cât și în istoria ingineriei civile din România. Consfințirea profesiei de inginer de poduri și șosele a marcat începutul unei tradiții inginerești care, de-a lungul celor aproape un secol și jumătate, a contribuit decisiv la dezvoltarea și modernizarea țării. Suntem mândri că această tradiție își are rădăcinile în instituția noastră, pornind de la școlile de ingineri hotarnici și de ingineri de poduri și șosele. Aici se regăsesc originile profesiei de inginer constructor în România și ale unei comunități academice care a format generații întregi de specialiști.

În acești 145 de ani, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a fost martora și, deopotrivă, un actor important al transformărilor prin care a trecut România. Generații de absolvenți ai săi au proiectat, au construit și au întreținut infrastructura care a conectat comunități, a susținut dezvoltarea economică și a contribuit la integrarea țării în marile rețele europene de transport. Dincolo de lucrările realizate, moștenirea facultății este reprezentată de oamenii pe care i-a format, de școala de gândire inginerească pe care a consolidat-o și de contribuția sa la evoluția profesiei.

Astăzi, infrastructura de transport traversează o perioadă de transformări profunde. Investițiile în autostrăzi, căi ferate, infrastructură urbană și sisteme de transport inteligente, dar și cerințele tot mai exigente privind sustenabilitatea, reziliența și adaptarea la schimbările climatice, deschid noi perspective și aduc provocări fără precedent. Digitalizarea, inteligența artificială, utilizarea noilor materiale și tehnologii, precum și integrarea infrastructurii într-un sistem de mobilitate modern vor schimba semnificativ modul în care proiectăm, construim și exploatăm lucrările de infrastructură.

Sunt convins că, în următorii 20, 30 sau chiar 50 de ani – și mă opresc aici, pentru a respecta orizontul de predictibilitate pe care îl utilizăm în ingineria civilă –, inginerul de căi ferate, drumuri și poduri va rămâne un actor esențial al dezvoltării societății. Mai mult decât atât, profilul acestuia va evolua, iar competențele sale vor trebui să îmbine solidele cunoștințe inginerești cu capacitatea de a utiliza tehnologii avansate, de a lucra interdisciplinar și de a găsi soluții la probleme complexe.

În acest context, misiunea noastră, ca universitate tehnică, este mai importantă ca oricând: să pregătim specialiști de înaltă calificare, capabili să răspundă nevoilor României și să contribuie la dezvoltarea infrastructurii sale în condiții de performanță, siguranță și sustenabilitate. Există astăzi premise importante pentru accelerarea programelor de investiții în infrastructura de transport, iar UTCB are responsabilitatea de a asigura resursa umană și expertiza științifică necesare pentru realizarea acestor obiective.

Avem încredere deplină în capacitatea Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri de a răspunde acestor provocări. Mă refer atât la competența și dedicarea corpului său didactic și de

cercetare, cât şi la capacitatea facultăţii de a-şi adapta continuu programele de studii, de a dezvolta cercetarea aplicată şi de a consolida parteneriatele cu mediul economic şi profesional. Suntem mândri de colegii noştri de la această facultate, de rezultatele lor, de prestigiul pe care îl au în comunitatea inginerească şi de relaţiile solide construite de-a lungul timpului cu autorităţile publice, cu companiile din domeniu, cu organizaţiile profesionale şi, nu în ultimul rând, cu generaţiile de absolvenţi.

O aniversare de 145 de ani nu este doar un prilej de a privi cu admiraţie spre trecut, ci şi o ocazie de a ne reafirma încrederea în viitor. Tradiţia pe care o celebrăm astăzi reprezintă o responsabilitate şi un angajament: acela de a păstra şi dezvolta o şcoală de inginerie de prestigiu, conectată la evoluţiile internaţionale şi capabilă să contribuie activ la modernizarea României.

Le adresez felicitări tuturor celor care au contribuit şi contribuie la prestigiul Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri: foşti şi actuali profesori, cercetători, personal didactic şi administrativ, studenţi şi absolvenţi. Lor li se datorează continuitatea şi forţa acestei comunităţi academice.

La mulţi ani profesiei de inginer de căi ferate, drumuri şi poduri!
La mulţi ani Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri!
La mulţi ani Universităţii Tehnice de Construcţii Bucureşti!

Rector UTCB
Prof. univ.dr.habil.ing. Radu Sorin Văcăreanu

MESAJUL DOAMNEI PRORECTOR A U.T.C.B.



145 de ani de tradiție, excelență și contribuție la dezvoltarea infrastructurii de transport!

Aniversarea Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri reprezintă un moment de celebrare a unei istorii construite prin profesionalism, rigoare academică și generații întregi de ingineri care au contribuit la dezvoltarea și modernizarea țării.

De-a lungul celor 145 de ani, facultatea a rămas un reper al învățământului tehnic românesc, formând specialiști care au transformat cunoașterea în proiecte, ideile în construcții și provocările inginerești în soluții pentru societate.

Astăzi, onorăm nu doar istoria și realizările acestei facultăți, ci și oamenii care îi dau valoare: profesori, cercetători, studenți, absolvenți și toți cei care duc mai departe această tradiție.

Felicitări întregii comunități academice și tuturor absolvenților pentru contribuția la această poveste de 145 de ani!

La mulți ani, CFDP! La mulți ani, UTCB!

Prorector UTCB

Conf. univ. dr. ing. Mădălina Mirela STOIAN

MESAJUL DOMNULUI DECAN AL F.C.F.D.P.



Există o întrebare pe care mi-am pus-o des în acest an aniversar: cum se măsoară, de fapt, 145 de ani de şcoală? Nu doar în ani, ci în kilometri de cale ferată şi de drum, în poduri care leagă maluri şi comunităţi, în proiecte duse la bun sfârşit şi, mai ales, în oameni. Fiecare dintre noi foloseşte zilnic, fără să se gândească, rezultatul muncii unor ingineri formaţi în această facultate – de la podurile lui Anghel Saligny de la Cernavodă până la autostrăzile, drumurile expres şi liniile de cale ferată modernizate în ultimii ani.

Pentru mine, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri este, înainte de toate, o comunitate în care generaţiile se continuă una pe alta. Profesorii care ne-au format au devenit colegii alături de care predăm astăzi, iar studenţii de ieri conduc acum şantiere, birouri de proiectare şi instituţii publice. Această continuitate – transmiterea nu doar a cunoştinţelor, ci şi a rigorii, a responsabilităţii şi a mândriei profesionale – este, cred, cea mai preţioasă moştenire a celor 145 de ani.

Aniversarea ne găseşte într-un moment deosebit pentru profesia noastră. România construieşte şi modernizează infrastructură de transport într-un ritm susţinut, iar nevoia de ingineri bine pregătiţi este mai mare ca oricând. În acelaşi timp, profesia se schimbă: proiectăm cu modele digitale, urmărim comportarea structurilor cu senzori, căutăm materiale care să reducă amprenta de carbon şi construim ţinând seama de ploile torenţiale, de caniculă şi de inundaţii. O mare parte din lucrările existente – poduri, terasamente, căi ferate – au nevoie de evaluare, întreţinere şi consolidare. Toate acestea ne obligă să ne regândim continuu programele de studii şi direcţiile de cercetare.

Volumul de faţă reflectă tocmai acest dialog între trecut şi viitor. Alături de evocările marilor noştri profesori şi de paginile de istorie a infrastructurii, el cuprinde lucrările ştiinţifice ale colegilor din universităţi, din cercetare şi din industrie, precum şi mesajele studenţilor – cei care vor scrie următorul capitol al acestei poveşti. Le mulţumesc tuturor autorilor, comitetului ştiinţific, echipei de organizare şi partenerilor care au făcut posibile conferinţa şi această carte.

Studenţilor noştri le spun că au ales o profesie în care rezultatul muncii rămâne, la propriu, în picioare zeci şi sute de ani. Absolvenţilor, că uşile facultăţii le rămân mereu deschise. Iar celor care au construit această şcoală înaintea noastră le datorăm recunoştinţă şi angajamentul de a o lăsa mai puternică decât am primit-o.

Drumuri deschise, poduri trainice şi cale liberă spre următorii 145 de ani!

Decan F.C.F.D.P.
Conf. univ. dr. ing. Adrian BURLACU

SĂ NE AMINTIM!
ISTORIA EVOLUȚIEI ȘI DEZVOLTĂRII ÎNVĂȚĂMÂNTULUI TEHNIC ROMÂNESC ÎN DOMENIUL INFRASTRUCTURII DE TRANSPORT TERESTRU

Dicu Mihai, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mihai.dicu@utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

„Un popor care nu-și cunoaște istoria
este ca un copil care nu-și cunoaște părinții.”
Nicolae Iorga

145 ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii de transport terestru din România, a fost inițiat în fapt începând cu anul 1851, de conducătorii statului, care s-au aplecat cu bunăvoință asupra necesității dezvoltării acestui domeniu de activitate și în țara noastră, domeniu extrem de important pentru evoluția industrial-economică a societății.

Acest obiectiv se putea obține prin înființarea unei instituții de învățământ de specialitate, care să pregătească personal ingineresc, conform modelului aplicat în state avansate din acest punct de vedere.

Organizarea unui astfel de sistem de învățământ, specializat pe concepția și realizarea de construcții pentru infrastructuri de transport terestru, nu era simplu de pregătit în acea perioadă decât prin implicarea unor profesori specializați în străinătate, capabili din punct de vedere profesional, care să preia o însărcinare atât de importantă acordată de șefi de stat, domnitori marcanți în acele timpuri.

Așa au apărut primele personalități specializate în acest domeniu de activitate, oameni capabili, care și-au pus toată priceperea și energia acumulate în școli de prestigiu, pentru inițierea și pregătirea unor planuri de învățământ, dar și a unor materiale didactice, absolut necesare pregătirii viitorilor ingineri constructori de drumuri, poduri și căi ferate.

În acest context, începutul şcolii româneşti de pregătire a personalului de specialitate în ramura de infrastructuri de transport terestru poate fi sintetizată cu onoare şi respect faţă de înaintaşii noştri, după cum urmează:

- Începutul învăţământului tehnic superior în ţara noastră este legat de domnitorul Barbu Ştirbei care la 1850 elaborează un plan de organizare a învăţământului ingineresc. În baza acestui plan, în **ianuarie 1851** se deschide **Şcoala de Poduri şi Şosele**, căreia îi este conferit titlul de Facultate, fiind complet independentă în raport cu învăţământul gimnazial.

Şcoala de Poduri şi Şosele a fost organizată pe trei secţiuni: poduri şi şosele, topografie şi arhitectură, având profesori între alţii pe Alexandru Orăscu, Alexe Marin, Achille August.

Este de remarcat faptul că în această perioadă în Ţara Românească, la solicitarea guvernului, este trimis din partea guvernului francez, inginerul Léon Louis Chrétien Lalanne, cu sarcina de a sprijini organizarea Direcţiei Centrale a Lucrărilor Publice, în paralel cu activitatea de la Ministerul Lucrărilor Publice. Inginerul Léon Lalanne se implică activ în organizarea Şcolii de Poduri şi Şosele care funcţiona în Colegiul Sfântul Sava din Bucureşti.

- Domnitorul Al. Ioan Cuza, care a hotărât înfiinţarea „ŞCOLII DE PONŢI ŞI ŞOSELE, DE MINE ŞI ARHITECTURĂ”, anul 1864. În anul 1864 apare în Monitorul Oficial Nr. 222 pentru prima dată sub semnătura domnitorului Al. Ioan Cuza hotărârea înfiinţării „ŞCOLII DE PONŢI ŞI ŞOSELE, DE MINE ŞI ARHITECTURĂ” care îşi începea cursurile pe 1 octombrie 1864 (figura 1).

- Regele Carol I, care la propunerea Ministrului Secretar de Stat de la „Departamentul Agriculturei, Comerţului şi Lucrări Publice”, D. Brătianu, a aprobat înfiinţarea „ŞCOALEI DE PODURI, ŞOSELE ŞI MINE”, anul 1867 (figura 2).

- Regele Carol I a recunoscut oficial înfiinţarea „**Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele**”, sub conducerea inginerului Gheorghe Duca, anul **1881**. În prezenţa regelui Carol I se recunoaşte oficial înfiinţarea „Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele” pe terenul din strada Polizu.

- Regele Ferdinand a semnat decretul de înfiinţare a „Şcolii Politehnice” din Bucureşti cu patru secţiuni: Construcţii, Electromecanică, Mine şi Metalurgie, Industrie şi Silvicultură, anul 1

Astfel, anul 1881, este considerat momentul în care s-a pus baza învăţământului tehnic românesc în domeniul infrastructurii de transport terestru.



Alecsandru Ioan I.
Cu mila lui Dumnedeu și voința națională
Domn~Principatelor Unite Române
La toți de față și viitori sănătate.

Asupra raportului Ministrului Nostru Secretar de Stat la Departamentul de Interne, Agricultură și Lucrări Publice, No. 9830;

Vătând decisiunea luată de Consiliul Nostru de Miniștri, prin jurnalul încheiat în ședința dela 31 August, aprobat de noi, ca preacetul înființarea pe lângă acel Ministeriu a unei școli de punți și șosele, mine și arhitecturi, să se trimitece în deliberarea Consiliului nostru de Stat;

Vătând propunerea ce ne face prin acel raport, ca această școală, pe temeiul alocațiunilor făcute în budget, să se deschidă la 1 Octombrie viitor, pentru a începe cursurile elevii admiși la examenul ce s'a ținut și care se vor afla anume în lista anexată de acel raport;

Vătând recomandația ce ni-se face prin el pentru numirea profesorilor de studii, a Directorului pentru administrația și disciplina școalei și a inspectorului de studii;

Am decretat și decretăm cu următ:

Art. I. Școala de punți și șosele, de mine și arhitecturi ți se începe cursurile ei la 1 Octombrie, plătindu-se fiecărui elev admis în școală, stipendiul de lei 200 pe lună, fiind prin acel proiect.

Art. II. Numim profesori la acea școală pe D-nu Dimitrie Petrescu pentru Catedra I, pe D-nu M. Copreșteanu pentru Catedra II, pe D-nu E. Macleglu pentru Catedra III, și pe Căpitan Doma pentru Catedra IV, cu onorariul fixat prin acel proiect de lege de lei 800, fiecare pe lună, pe timpul studiilor și de lei 400 pe timpul campaniei elevilor.

Art. III. Numim pe D. Al. Costinescu, membru al Consiliului Lucrărilor Publice, Director al școalei și pe D. Ioan Paulescu, inspector de studii cu îndemnizarea fixată prin acel proiect de lege de lei 400 cel d'intâiu, și de lei 200 pe cel de al doilea, numai pe timpul studiilor.

Art. IV. Toate cheltuielile necesare la instalarea și întreținerea școalei, precum și stipendiile elevilor, onorariul profesorului și diurnele Directorului școalei și ale Inspectorului de Studii, se vor lua din fondul afectat în budgetul Ministeriului de Interne, Agricultură și Lucrări Publice.

Art. V și cel din urmă, Ministrul Nostru Secretar de Stat la Departamentul de Interne, Agricultură și Lucrări Publice, va aduce la îndeplinire Decretul de față.

Dată în București, la 1 Octombrie 1864.

Ministru Secret. De Stat la Dep. de Interne, Agricultură și Lucrări Publice
Cogălniceanu

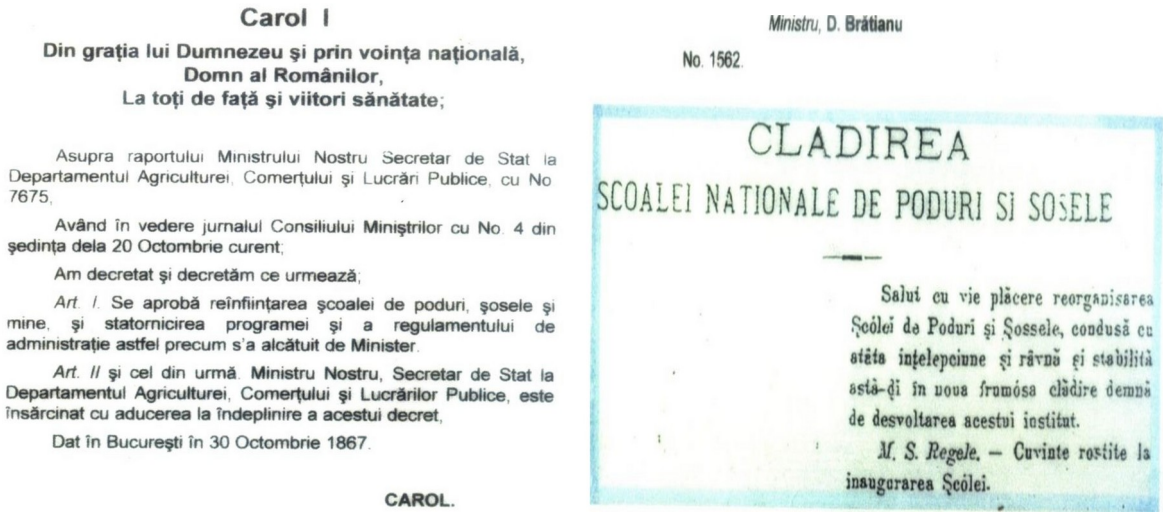
CAROL I.
Din grația lui Dumnedeu și prin voința Națională
La toți de față și viitori sănătate.

Avântul puternic ce România a luat în un timp așa de scurt se datorește în mare parte [illegible] neîncetate ce țara are pentru armată și școală, [illegible] amândouă temelia cea mai sigură pentru prosperarea și [illegible] noastră națională. Aceste silințe sunt și răsplătite [illegible] o generație care așteaptă cu nerăbdare ca Patria să dispue de brațul și mintea ei. Învățământul [illegible] a făcut un progres fericit din ziua când școalele [illegible] o direcțiune mai practică, pregătind astfel [illegible] în diferitele ramuri ale activității [illegible].

Salut dar cu [illegible] reorganisarea Școalei de Poduri și Șosele, [illegible] și stabilită astăzi [illegible] clădire demnă de desvoltarea acestui [illegible]. Inst[illegible] și cred că elevii care vor ieși de [illegible] fie întotdeauna la înălțimea [illegible] va cău de toate jertfele pe care [illegible] le-a făcut pentru instrucțiune.

Carol
2 Octomvrie 1864

Figura 1. Hotărârea de înființare a „Școlii de PONȚI și ȘOSELE, de mine și arhitectură”, 1864, Monitorul Oficial nr. 222



Carol I

Din grația lui Dumnezeu și prin voința națională,
Domn al Românilor,
La toți de față și viitori sănătate;

Asupra raportului Ministrului Nostru Secretar de Stat la Departamentul Agriculturei, Comerțului și Lucrări Publice, cu No 7675,

Având în vedere jurnalul Consiliului Miniștrilor cu No. 4 din ședința dela 20 Octombrie curent;

Am decretat și decretăm ce urmează;

Art. I. Se aprobă reînființarea școalei de poduri, șosele și mine, și statornicirea programei și a regulamentului de administrație astfel precum s'a alcătuit de Minister.

Art. II și cel din urmă. Ministru Nostru, Secretar de Stat la Departamentul Agriculturei, Comerțului și Lucrărilor Publice, este însărcinat cu aducerea la îndeplinire a acestui decret,

Dat în București în 30 Octombrie 1867.

CAROL.

Ministru, D. Brătianu

No. 1562.

CLADIREA
SCOALEI NATIONALE DE PODURI SI SOSELE

Salut cu vie plăcere reorganisarea Școlei de Poduri și Șossele, condusă cu atâta înțelepciune și râvnă și stabilită astă-zi în nouă frumósa clădire demnă de desvoltarea acestui iostitut.

M. S. Regele. — Cuvinte rostite la inaugurarea Școlei.

Figura 2. Hotărârea de înființare a „Școalei de PODURI și ȘOSELE”, 1867

Această școală a fost prima cu personalități la conducere, considerați pioneri în domeniu. Marii profesori care au început și au rămas în memoria urmașilor din zilele noastre, pot fi remarcați după cum urmează:

- Spiru Haret și David Emanuel, primii doctori în matematici absolvenți de Sorbona;

- Inginerul Gheorghe Duca, director al Școlii între anii 1881–1888, a influențat întreaga evoluție a ingineriei (figura 3);

- Inginerul Anghel Saligny, profesor la Școala Națională de Poduri și Șosele între anii 1884–1914, șeful Catedrei de Poduri (figura 4).



Figura 3. Prof. Ing. Gheorghe Duca (stânga) și primii absolvenți ai Școlii de Poduri și Șosele (1878–1921) (dreapta)

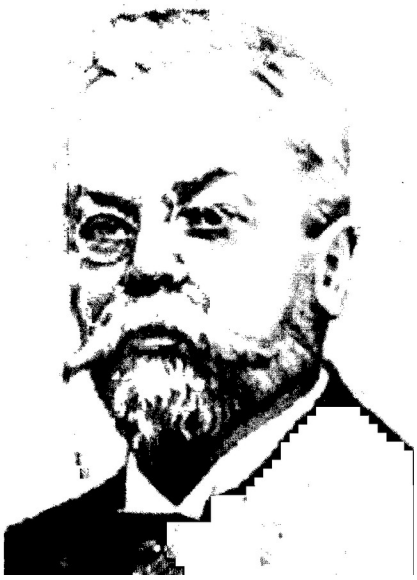


Figura 4. Inginerul român Anghel Saligny

Odată cu executarea podurilor peste albia majoră a Dunării, s-a realizat și linia ferată de la Cernavodă Pod la stația Saligny, în lungime de circa 6 km, la linia veche executată de englezi în anul 1860, care practic coboară de la stația Saligny către Cernavodă Port. Toate lucrările la podurile dunărene au durat cinci ani. La 26 septembrie 1895 a fost bătut ultimul nit, un nit din argint și în aceeași zi podul a fost inaugurat.

Activitatea de inginer a ilustrului ANGHEL SALIGNY a fost extrem de variată, prin implicarea și rezolvarea unor soluții tehnice dificile în condițiile tehnice ale vremurilor sale. Astfel, dintre aceste realizări tehnice în cartea „ÎN

MEMORIA DRUMARILOR”, editată în anul 2002 prin grija ASOCIAȚIEI PROFESIONALE DE DRUMURI ŞI PODURI, care funcţiona la acea dată pe lângă ADMINISTRAȚIA NAȚIONALĂ A DRUMURILOR, la pagina 110 se elogiază meritele inginerului ANGHEL SALIGNY (figura 5).



Figura 5. Publicația care elogiază meritele marelui inginer român Anghel Saligny, 2002

În această lucrare se prezintă în rezumat, realizările tehnice şi responsabilităţile atribuite inginerului ANGHEL SALIGNY în decursul activităţii sale, după cum urmează:

- În anul 1876: participă la lucrările de construcţie a liniei ferate Ploieşti – Predeal, în calitate de inginer de control sub conducerea lui Gheorghe Duca;

- Până în anul 1881: participă la realizarea studiului Buda – Slănic, este numit inginer în Serviciul de Poduri şi Şosele din Ministerul Lucrărilor Publice, preia în 1877 studiul podurilor dunărene de la Feteşti – Cernavodă, iar în 1881 este numit subdirector şi întocmeşte studiul pentru linia Adjud – Târgu Ocna;

- În anul 1884: în cadrul Serviciului Podurilor din cadrul Direcţiei Generale C.F.R., este numit în funcţia de director, unde participă la proiectarea şi coordonarea mai multor lucrări de căi ferate şi poduri, dar şi a docurilor din porturile Brăila şi Galaţi şi a silozurilor, unde promovează tehnologia betonului armat;

- În anul 1887: este numit conducător al Serviciului Lucrărilor Noi din Direcţia Generală a Căilor Ferate, calitate în care promovează soluţia utilizării elementelor prefabricate metalice la poduri şi s-a ocupat şi de coordonarea execuţiei liniei ferate Filiaşi – Târgu Jiu;

- În perioada 1889–1895: se realizează sub coordonarea inginerului ANGHEL SALIGNY execuţia podurilor dunărene de la Feteşti – Cernavodă (figura 6);

- În anul 1899: după moartea lui Gheorghe DUCA, directorul lucrărilor din Portul Constanţa, ANGHEL SALIGNY este numit director al acestor lucrări, încredinţându-i-se şi conducerea Direcţiei Serviciului Hidraulic, când preia şi Serviciul Hidraulic Fluvial, cu responsabilităţi la Şantierul Naval de la Turnu Severin;

- În anul 1901: preia şi Direcţiunea Serviciului Maritim Român, precum şi Inspectoratul General al Podurilor şi Comunicaţiilor pe Apă.

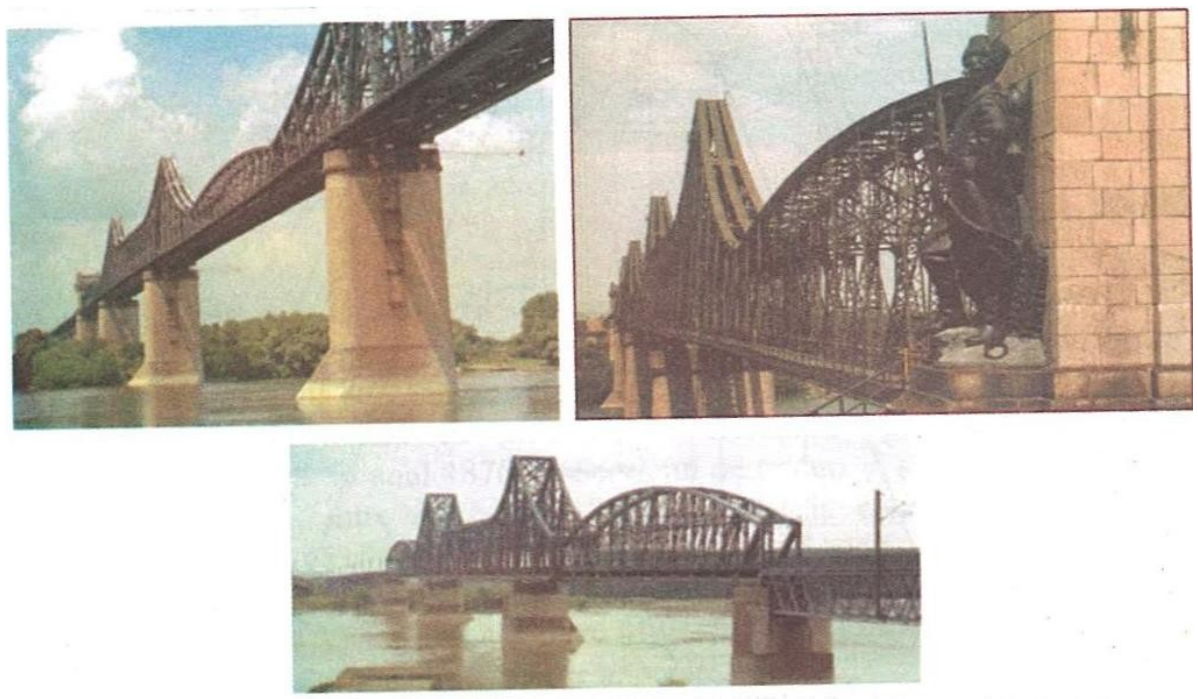


Figura 6. Podul Regele Carol I

Aceste numeroase şi importante funcţii care i-au fost atribuite în anii deplinei maturităţi ilustrează capacitatea profesională şi marea încredere de care s-a bucurat inginerul ANGHEL SALIGNY. În calitatea sa de conducător, a căutat să îndrume inginerii din subordine în aşa fel încât aceştia să-şi sporească permanent experienţa şi cunoştinţele de specialitate, atât de necesare abordării marilor lucrări.

În cartea „PAGINI DIN TRECUTUL ÎNVĂȚĂMÂNTULUI TEHNIC SUPERIOR DIN BUCUREȘTI”, autorii Radu P. Voinea și Dumitru C. Voiculescu prezintă și activitatea de profesor a inginerului ANGHEL SALIGNY (figura 7).

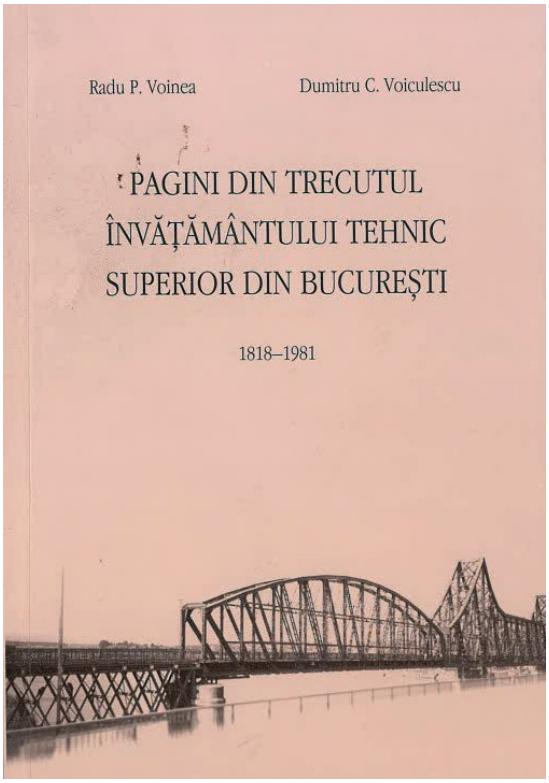


Figura 7. Publicația care prezintă activitatea de profesor a inginerului român Anghel Saligny, 2004

După cum se observă, recunoașterea profesorului inginer ANGHEL SALIGNY este evidențiată încă prin marcarea imaginii Podului Feteşti – Cernavodă pe coperta cărții. În conținutul său, cartea prezintă faptul că inginerul ANGHEL SALIGNY este numit prin decretul 2856 din 24 noiembrie 1884 profesor de poduri și șosele. În această calitate, pe care a deținut-o timp de 30 de ani, profesorul-inginer ANGHEL SALIGNY s-a afirmat ca un profesor prestigios, ale cărui cursuri se distingeau nu numai prin conținutul și profunzimea informațiilor teoretice, ci și prin ampla documentare practică, rod al variatei sale experiențe tehnice aplicate la numeroasele lucrări inginerești pe care le-a conceput și le-a coordonat la execuție (figura 8).

A luptat mult pentru ridicarea nivelului ingineriei și științelor matematice în țara noastră, fiind membru fondator al Societății Politehnice și membru al Societății „Gazeta Matematică”, fondată în 1895. La această societate a luat ființă „Fondul Anghel Saligny”, pentru tipărirea de cărți tehnice.



Figura 8. Bustul profesorului și inginerului român Anghel Saligny din fața Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București, trecut (stânga) și prezent (dreapta)

La 31 martie 1892, profesorul ANGHEL SALIGNY a fost ales membru corespondent al Academiei Române, în data de 7 aprilie 1897 a fost ales membru titular al Academiei Române, iar în anul 1907 a fost ales președinte al Academiei Române.

Alte realizări remarcabile din trecut ale inginerilor români sunt amintite în continuare:

- 1846: începe construcția unui sistem de drumuri care leagă Bucureștiul de Sibiu, Brașov, Focșani, Orșova și Brăila.
- 1846: începe construirea celei mai vechi linii de cale ferată de pe teritoriul țării, Oravița – Baziaș, ale cărei lucrări se încheie în 1854.
- 1856: primele transporturi de călători pe linia CF Oravița – Baziaș.
- 1848: la București, apare primul serviciu de transport cu omnibuzul cu cai.
- 1869: la Timișoara, este pus în circulație tramvaiul cu cai.
- 1872: la 28 decembrie același tip de tramvai este inaugurat și în București.
- 1880: Dumitru Văsescu construiește un automobil cu motor cu aburi.
- 1883: peste râul Prahova este construit primul pod metalic de cale ferată, în grinzi cu zăbrele, proiectat și executat de ingineri români.
- 1890–1895: construcția podului de la Cernavodă (Anghel Saligny), cel mai lung pod din Europa continentală a acelei epoci.

- 1896: Teodor Dragu inventează un injector-pulverizator pentru cazanele locomotivelor, care aduce îmbunătăţiri în exploatarea locomotivelor cu aburi folosind combustibili lichizi.

- 1894: (9 decembrie): se dă în exploatare prima linie de tramvai electric din Bucureşti; în anii următori, apar linii de tramvai şi în multe alte oraşe mari.

- 1895: în Bucureşti sunt date în circulaţie, pentru transportul de materiale, primele două automobile cu abur.

- 1895: (1 octombrie (calendar vechi: 19 septembrie)): inaugurarea Podului de la Cernavodă, construit după proiectul şi în realizarea inginerului Anghel Saligny.

- 1900: la serviciul de circulaţie al Capitalei, Bazil Gheorghe Assan înregistrează primul automobil.

Ca să respectăm încărcătura istorică a construcției podului de cale ferată ca și infrastructură de transport, este momentul de a prezenta și o locomotivă dintr-o carte cu o ediție specială, jubiliară, scrisă de ILIE POPESCU (figura 9).

Acest mijloc de transport, prezentat la vremea anilor 1890 ca o realizare de vârf a tehnicii, reprezintă acum o bijuterie care încântă ochiul cititorului zilelor noastre și impune respect față de bunicii noștri în raport cu eforturile depuse în slujba progresului societății umane.

Un asemenea tren a avut posibilitatea să traverseze Dunărea pe la Cernavodă, grație realizării specialiștilor români ai vremii în frunte cu inginerul ANGHEL SALIGNY. Deschiderea maximă a podului de cale ferată peste Dunăre de 190 m era pe atunci cea mai mare din Europa continentală, iar lungimea totală a podurilor de 4088 m, acoperind aproape o treime din lățimea de 15 km a văii Dunării între Feteşti și Cernavodă, reprezenta cea mai mare lungime a unui grup de poduri din acea vreme.

La inaugurarea acestei măreţe opere la a cărei realizare a contribuit prin influența și răspunderea pe care și-o luase ca director general al Căilor Ferate, Gheorghe Duca a rostit un discurs plin de o deosebită finețe și sensibilitate în care a spus printre altele: *„Astăzi, când izbânda a încununat silințele neobosite, să-mi fie îngăduit a aduce un meritat tribut de laude d-lui SALIGNY, autorul proiectelor și directorul lucrărilor, inginerilor care au fost colaboratorii săi devotați și tuturor care n-au cruțat nimic pentru a aduce la bun sfârșit o operă măreață, plină de greutăți”*. Tot Gheorghe Duca a mai adăugat în cuvântul său de inaugurare a podului: *„Sire, ați trecut Dunărea ca să duceți oștirea la victorie, astăzi treceți iar Dunărea ca să sărbătoriți o altă victorie, aceea a muncii împotriva elementelor naturii”*.



Figura 9. Locomotivă din anii 1890, coperta cărții Trenurile albastre ale regilor României, autor Ilie Popescu, 2011

Alți specialiști (figura 10), fondatori ai ingineriei de construcții infrastructuri de transport terestru au fost:

- Inginerul chimist Alfons Saligny, care a înființat primul laborator de încercarea materialelor de construcţii, profesor de mineralogie, între anii 1886–1903;

- Inginerul Mihail Râmniceanu, matematician şi absolvent al Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele din Paris, continuator al profesorului Gheorghe Duca, între anii 1879–1914;

- Inginerul Constantin Mănescu, matematician şi absolvent al Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele din Paris, profesor de rezistența materialelor, între anii 1879–1902;

- Inginerul Nicolae Herjeu, absolvent al Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele din Paris, profesor de Topografie şi Drumuri, între anii 1885–1911;

- Inginerul Eugen Ştefănescu, absolvent al Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele din Paris, Director în Ministerul Lucrărilor Publice şi profesor de Drumuri, între anii 1911–1939.



Figura 10. Înaintașii noștri: Gen. Ștefan Fălcoianu, Ing. Gheorghe Duca, Ing. Anghel Saligny, Ing. Emil Miclescu, Ing. Alexandru Cotescu, Ing. Cezar Mereuță

La începuturi, s-au remarcat o serie de ingineri români, care au pus bazele organizatorice ale domeniului de construcţii de infrastructuri terestre. Direcţia Întreţinerii (L) şi Direcţia de Poduri, Lucrări Noi şi Construcţii (D) aveau următoarea conducere:

- La conducerea Direcţiei L a fost numit inginerul Nicolae Bossie Codreanu, ajutat de inginerul V. Stoica, iar conducerea Direcţiei D i-a fost încredinţată inginerului Emil Bruckner.

- În cadrul Direcţiei D, exista Serviciul de Poduri, condus de inginerul Alfred Pilder, ajutat de inginerul Teofil Revici.

- La Serviciul Lucrări Noi, a fost numit inginerul M. Tudoran, ajutat de inginerul Teodor Atanasescu, iar la Serviciul de Studii şi Construcţii a fost desemnat inginerul Traian Pârvu.

Este de remarcat faptul că în această structură organizatorică, apare pentru prima oară, în cadrul Serviciului de Poduri, un Birou de Poduri din Beton Armat, condus de inginerul V. Wermescher.

Perioada 1933–1936 a prezentat o mai mare preocupare şi în conducerea Direcţiei Generale CFR, unde inginerul Cezar Mereuţă (figura 10), care fusese în anul 1916 subdirector la Direcţia Mişcării CFR, rămâne la conducerea Căii Ferate. În acei ani, se înregistrează o activitate susţinută în domeniul căilor ferate, care se dezvoltă şi la noi în ţară.

În acea perioadă, la loc de cinste, pot fi amintiţi şi marii profesori, deschizători de drumuri ale cunoaşterii în domeniul infrastructurii de transport terestru, care au activat în cadrul Şcolii de Poduri şi Şosele, după cum urmează:

- Prof. Gheorghe Filipescu – la disciplina de Statica Construcţiilor;
- Prof. A. Beleş – la disciplina de Rezistenţa Materialelor;
- Prof. Ion Ionescu – la disciplina de Poduri;
- Prof. Mihai Hanganu – la disciplina de Beton Armat;
- Prof. Elie Radu (figura 11) – la disciplina de Căi Ferate;
- Prof. Nicolae Profiri, Prof. Ioan Tomescu şi Prof. Traian Mătăsaru – la disciplina Drumuri;
- Academician Prof. Ion Steopoe – la disciplina de Materiale de Construcţie;
- Prof. Ion Vladimirescu – la disciplina de Lucrări Edilitare;

dar şi la cei contemporani nouă:

- Prof. Stelian Dorobanţu, Prof. Stan Jercan, Prof. Ion Răcănel, Prof. Aurel Pinescu, Ş.L. Carmen Paucă, Prof. Constantin Romanescu, Prof. Elena Diaconu – Drumuri;
- Prof. Andrei Caracostea, Prof. Radu Petre Ionel, Prof. Emil Negoescu, Prof. Nicolae Popa, Conf. Dima Alexandru, Ş.L. Paris Stere, Ş.L. Petre Ionescu – Poduri;
- Prof. Virgil Hila, Prof. Radu Constantin, Prof. George Stoicescu, Conf. Stelian Poştoacă – Căi Ferate;
- Prof. Teodor Iftimie – Tuneluri;

- Prof. Virgil Fierbințeanu, Prof. Gheorghe Ilie, Ș.L. Nicolae Stănilă, Prof. Iordan Petrescu, Prof. Carmen Bucur – Mecanica și Statica Construcţiilor;
- Prof. Nicolai Țopa, Prof. Mircea Balcu, Conf. Teodora Labiș Crețu – Rezistența Materialelor;
- Prof. Iorgu Nicula – Beton;
- Prof. Ion Stănculescu, Prof. Anton Chirică – Geotehnică și Fundații;
- Prof. Liliana Crăciunescu, Ș.L. Elena Ghirlea – Materiale de Construcţii.

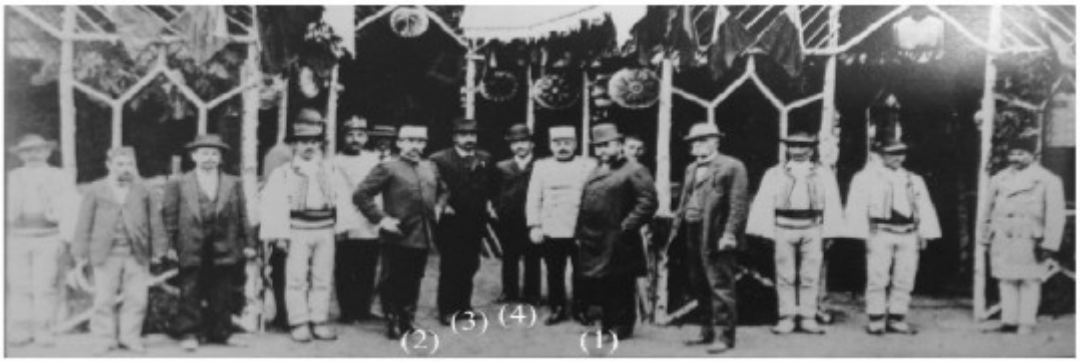


Figura 11. Inaugurarea Șoselei Naționale Cârligu – Caprei pe Jiu. Prof.ing. Elie Radu (1) alături de Regele Carol I (2), ing. Ionel I.C. Brătianu, ministru al Lucrărilor Publice (3) și ing. Octav Alexandrini, conducătorul lucrărilor (4)

În continuare este pus accentul pe ceea ce trebuie să remarcăm în ultima perioadă în dezvoltarea platformei de învățământ superior în domeniul infrastructurii de transport terestru.

Din 1864 și până în 1948, Școala Națională de Poduri și Șosele și apoi, Secția de Construcţii a Școlii Politehnice, au format 2137 ingineri constructori, sub îndrumarea unor profesori de renume precum: prof. Spiru Haret, prof. Anghel Saligny, prof. Elie Radu, prof. Gheorghe Țițeica, prof. David Emanuel, prof. Andrei Ioachinescu, prof. Gheorghe Filipescu, prof. Ion Ionescu, prin strădaniile și realizările cărora s-au pus bazele științei și tehnicii românești în construcţii (figura 12, 13).

Prin decretul nr. 175/3.08.1948 al prezidiului M.A.N. al R.P.R. s-a legiferat reorganizarea învățământului superior în universităţi, politehnici, respectiv institute, în august 1948.

Prin decizia nr. 263327 a Ministrului Învățământului Public este înființat Institutul de Construcţii București cu 2 secţii: Construcţii și Hidraulică.



Figura 12. Școala Națională de Poduri și Șosele la începutul secolului al XX-lea și ingineri absolvenți ai acestei școli



Figura 13. Primul Congres al Inginerilor din România, Iași, octombrie 1921

Prin Hotărârea nr. 1050/10.10.1949 a Consiliului de Miniștri s-a decis ca Institutul de Construcţii, cel de Arhitectură şi cel de Drumuri şi Poduri să se unifice în Institutul de Construcţii şi Arhitectură cu 4 facultăţi:

- Facultatea de Construcţii Civile şi Industriale;
- Facultatea de Poduri şi Construcţii Masive;

- Facultatea de Drumuri şi Lucrări Edilitare;
- Facultatea de Arhitectură şi Urbanism.

Din anul 1957, Institutul de Construcţii Bucureşti se reorganizează având 5 facultăţi:

- Facultatea de Construcţii Civile şi Industriale;
- Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri;
- Facultatea de Hidrotehnică;
- Facultatea de Instalaţii pentru Construcţii;
- Facultatea de Utilaje pentru Construcţii.

Prin ordinul Ministerului Învăţământului nr. 224/6.03.1990, începând cu anul universitar 1990–1991 se aprobă structura Institutului de Construcţii Bucureşti şi anume:

- Facultatea de Construcţii Civile, Industriale şi Agricole;
- Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri;
- Facultatea de Hidrotehnică;
- Facultatea de Instalaţii pentru Construcţii;
- Facultatea de Maşini şi Utilaje pentru Construcţii;
- Facultatea de Geodezie.

Prin hotărârea Guvernului României nr. 458/1994, s-a schimbat denumirea Institutului de Construcţii Bucureşti în Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti care păstrează însă structura din anul 1990.

În prezent, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri pregătește specialiști pentru domeniul construcţiilor în transporturi, numărul mediu de studenţi variază între 600 şi 700.

În cursul timpului, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri a fost condusă de cadre didactice de mare valoare care, prin aportul lor, au ridicat prestigiul facultăţii:

- Prof.univ.dr.ing. Iosif Craus
- Prof.univ.dr.ing. Dan Ghiocel
- Prof.univ.dr.ing. Ilie Gheorghe
- Prof.univ.dr.ing. Radu Petre Ionel
- Prof.univ.dr.ing. Virgil Fierbinţeanu
- Prof.univ.dr.ing. Nicolae Popa
- Prof.univ.dr.ing. Anton Chirica
- Prof.univ.dr.ing. Mihai Dicu
- Conf.univ.dr.ing. Mădălina Stoian

Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri îşi asumă misiunea fundamentală de a fi o şcoală de formare a noilor generaţii de specialişti şi de cercetare ştiinţifică performantă în domeniile căi ferate, drumuri şi poduri, precum şi în domeniul infrastructurii transporturilor metropolitane.

Principalele obiective din prezent ale Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, în vederea îndeplinirii misiunii asumate, sunt:

- Formarea de specialişti cu pregătire superioară în domeniile şi specializările din structura facultăţii, prin transmiterea către studenţi a unui sistem coerent de cunoştinţe ştiinţifice şi tehnico-inginereşti şi dobândirea de către aceştia a unor deprinderi practice, în concordanţă cu cerinţele şi competenţele generale şi profesionale actuale şi de perspectivă ale vieţii economice, sociale şi ştiinţifice.
- Perfecţionarea continuă a planurilor de învăţământ, a programelor analitice şi a metodologiei didactice.
- Organizarea activităţilor de educaţie continuă în domeniile şi specializările din structura universităţii.
- Aşezarea criteriilor competenţei didactice şi ştiinţifice la baza procesului de evaluare, selectare şi promovare a personalului didactic.
- Organizarea şi participarea la programe academice naţionale şi internaţionale.
- Organizarea şi participarea la activităţi de cercetare ştiinţifică, de proiectare, consultanţă şi expertiză, prin departamentele de specialitate arondate facultăţii.

Aceste activităţi pentru viitor trebuie să conducă la:

- Creşterea prestigiului facultăţii, prin publicarea şi diseminarea rezultatelor cercetării ştiinţifice.
- Includerea în cursuri şi în alte forme de activitate cu studenţii şi cursanţii, a principalelor contribuţii ale cercetării ştiinţifice proprii.
- Modernizarea laboratoarelor, centrelor de cercetare şi a reţelelor informatice.
- Participarea personalului didactic şi a studenţilor la programe naţionale şi internaţionale de cercetare ştiinţifică.
- Dezvoltarea schimburilor cu alte facultăţi de profil din ţară şi din străinătate prin programe de cooperare şi prin participarea la manifestări ştiinţifice.

Pentru realizarea acestor obiective, există o bază de cercetare dotată cu echipamente de laborator moderne, asistate de programe de calcul specializate,

unde studenţii îşi dezvoltă capabilităţi profesionale prin testarea complexă a performanţelor materialelor utilizate.

În imaginile din figura 14 se prezintă sintetic dotarea Laboratorului de Drumuri C.F.D.P. – U.T.C.B. pentru efectuarea studiilor de reţetă ale mixturii asfaltice.



Figura 14. Echipamente pentru încercări de laborator pe mixturi asfaltice din laboratorul de Drumuri C.F.D.P. – U.T.C.B.

De asemenea, specialişti din cadrul Facultății de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, participă activ la urmărirea concepției lucrărilor de construire infrastructuri de transport terestru, prin avizarea de proiecte și expertizarea calităţii la finalizarea unor astfel de lucrări: lucrări de structuri de poduri – figura 15, lucrări de drumuri, autostrăzi și piste aeroportuare – figura 16 și 17, lucrări de căi ferate și tuneluri – figura 18.

Pentru activitatea depusă în decursul timpului, instituția noastră a primit aprecieri din partea autorităților (figura 19).

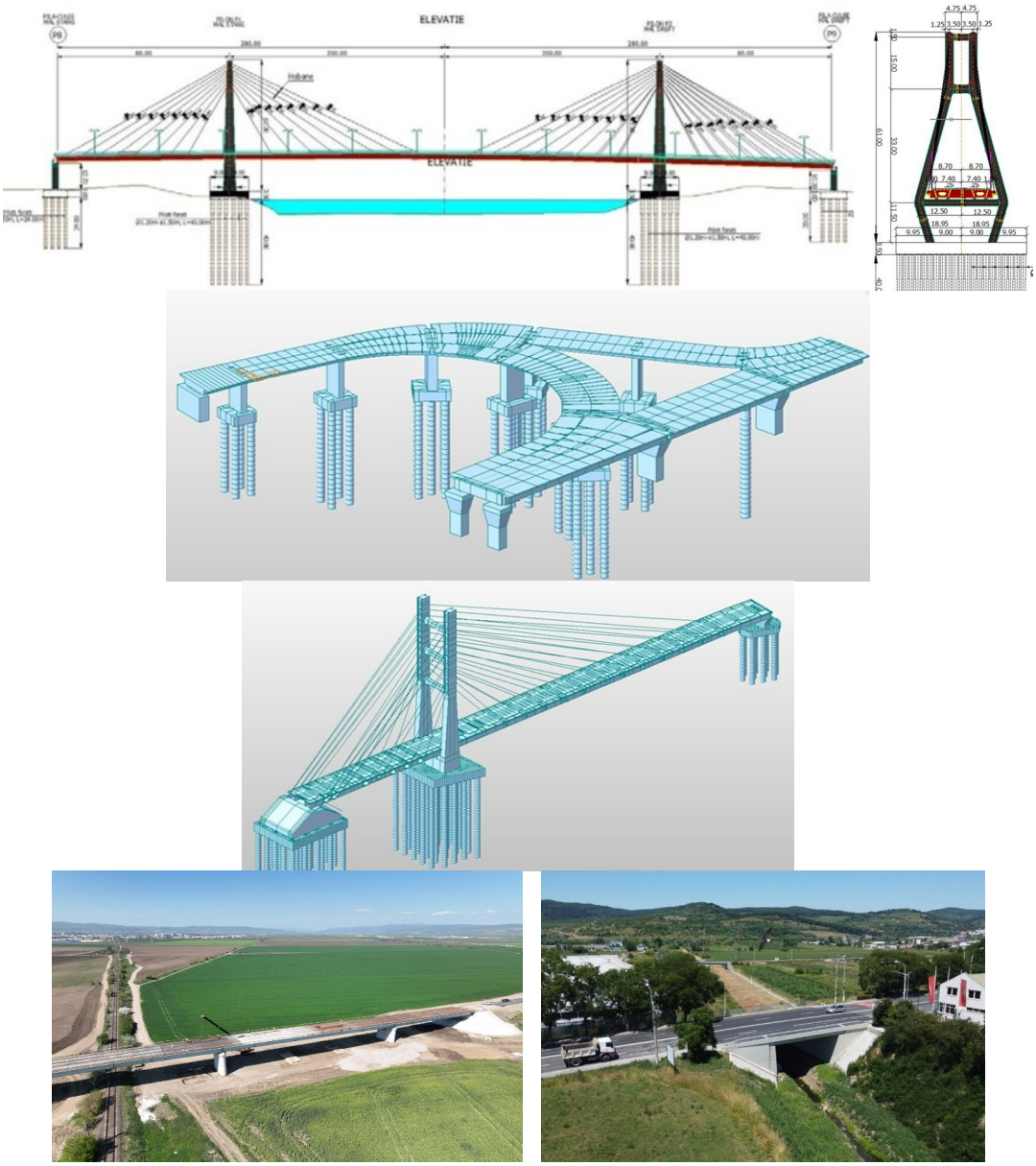


Figura 15. Lucrări de structuri de poduri



Figura 16. Lucrări de drumuri, autostrăzi și piste aeroportuare



Figura 17. Lucrări de piste aeroportuare



Figura 18. Lucrări de căi ferate și tuneluri



AGENȚIA ROMÂNĂ DE ASIGURARE A CALITĂȚII ÎN ÎNVĂȚĂMÂNTUL SUPERIOR
ROMANIAN AGENCY FOR QUALITY ASSURANCE IN HIGHER EDUCATION
Membră ENQA – Full member of ENQA
Înregistrată în EQAR – Registered in EQAR

ARACIS

CERTIFICAT

CERTIFICATE

Universitatea Tehnică de Construcții din București

a obținut, în urma evaluării instituționale, calificativul

GRAD DE ÎNCREDERE RIDICAT

pentru perioada 2015-2020

following institutional evaluation attained a HIGH DEGREE OF CONFIDENCE rating for the period 2015-2020

BIROUL EXECUTIV AL CONSILIULUI ARACIS

EXECUTIVE BUREAU OF ARACIS

Președinte ARACIS
ARACIS President
Prof. univ. dr. Perrescu Jordan

Vicepreședinte ARACIS
ARACIS Vice President
Prof. univ. dr. Ghițulică Cristina

Director Departament de Evaluare Externă a Calității
Director of the ARACIS Evaluation Department
Prof. univ. dr. Popa Ion

Director Departament de Acreditare
Director of the ARACIS Accreditation Department
Prof. univ. dr. ing. Lache Simona

Secretar General ARACIS
ARACIS General Secretary
Prof. univ. dr. Stan Vasilica

Data eliberării/Release date:
23.07.2015

Nr. 119/2015

Figura 19. Grad de încredere ridicat – calificativ obținut de Universitatea Tehnică de Construcții București pentru perioada 2015–2020

În imaginile sugestive din figura 20 este prezentată oferta noastră de învățământ.



Figura 20 a. Oferta educațională



Figura 20 b. Oferta educațională

Conferința aniversară *„145 ani de învățământ românesc în domeniul infrastructurii transporturilor”* reprezintă bilanțul activităților desfășurate de generații de ingineri, care și-au pus amprenta asupra dezvoltării și promovării acestei meserii nobile, prin activități de specialitate din diverse direcții de cercetare și învățământ, după cum urmează:

- Lucrări remarcabile în domeniul infrastructurii de transporturi în România.
- Reabilitarea, întreținerea și construcția căilor ferate, drumurilor și podurilor în România.
- Cercetări privind utilizarea și dezvoltarea unor noi tipuri de materiale pentru domeniul infrastructurii transporturilor.
- Proiectarea căilor ferate, drumurilor și podurilor în România.
- Inginerie de trafic și siguranța circulației.
- Programul de autostrăzi și căi ferate de mare viteză între prioritate și certitudine în România.

JURNALISMUL, CA PUNTE A STUDENȚILOR CFDP PE ȘANTIERE

Fără popularizarea prin mass-media, activitățile didactice desfășurate în cadrul CFDP, oportunitățile oferite de studiile de specialitate, dar și propunerile și interesele companiilor din domeniu ar ajunge mult mai greu la cei cărora li se adresează. Prezentăm în cele ce urmează rodul colaborării facultății cu publicația de profil Club Feroviar și cu platforma de resurse umane Carieră Feroviară în România (CFiR) și schițăm un plan de lucru pentru următorii cinci ani.

Enache Adrian, Club Feroviar, București, e-mail: adrian.enache@clubferoviar.ro

Rezumat

Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri împlinește 145 de ani într-o perioadă în care infrastructura de transport din România beneficiază de finanțări fără precedent în ultimele decenii, dar resimte tot mai acut lipsa specialiștilor care să le transforme în lucrări. Pornind de aici, analizăm colaborarea facultății cu Club Feroviar și cu Carieră Feroviară în România (CFiR). Club Feroviar publică zilnic informație de specialitate, administrează catalogul pieței feroviare și organizează trei evenimente anuale ale sectorului: Conferința de Infrastructură, Conferința de Material Rulant și Operare Feroviară și Summitul Zilele Feroviare. CFiR se ocupă de carierele din domeniu și organizează, împreună cu facultatea, Săptămâna Carierei Inginerului CFDP. Pe baza modelului triplei elice, a teoriei intermediarilor în inovare și a celei a legăturilor slabe, articolul descrie beneficiile rețelei pentru studenți, facultate, companii și autorități, discută limitele unui intermediar privat și propune câțiva pași măsurabili până la aniversarea de 150 de ani, în 2031.

Cuvinte cheie: rețea profesională; legătura facultate–industrie; carieră feroviară; infrastructura transporturilor; învățământ tehnic superior; studiu de caz

Abstract

The Faculty of Railways, Roads and Bridges turns 145 at a time when Romania’s transport infrastructure benefits from funding unprecedented in recent decades, yet is increasingly short of the specialists needed to turn that funding into finished works. Starting from this observation, the paper examines how the link between the faculty and the construction site is made today, taking as a case study the network formed by Club Feroviar and Carieră Feroviară în România (CFiR). Club Feroviar publishes daily specialist news, runs the market catalogue of the railway sector and organises three annual events: the Infrastructure Conference, the Rolling Stock and Railway Operations Conference and the Railway Days Summit. CFiR focuses on careers and co-organises the CFDP Engineer Career Week with the faculty. Drawing on the Triple Helix model, the theory of innovation intermediaries and the strength of weak ties, the paper describes what students, the faculty, companies and public authorities gain from this network, discusses the limits of a private intermediary and proposes a few measurable steps for the road to the faculty’s 150th anniversary in 2031.

Keywords: university–industry linkage; innovation intermediaries; railway careers; transport infrastructure; engineering education; Triple Helix; case study

1. INTRODUCERE

În aprilie 1881, școala de ingineri din București se reorganiza sub conducerea lui Gheorghe Duca și primea numele de Școala Națională de Poduri și Șosele (FCFDP, 2021). În același an, linia Buzău–Mărășești devenea prima cale ferată proiectată și construită de specialiști români (AGIR, 2020). Suprapunerea are o explicație destul de simplă: cu un an înainte, statul răscumpărase rețeaua și înființase Direcțiunea Princiară a Căilor Ferate Române, iar o țară care își prelua calea ferată avea nevoie de propriii ingineri. Școala de la București a fost cea care a început să-i formeze.

După 145 de ani, situația seamănă destul de mult cu cea de atunci: sunt lucrări mari de făcut, există bani pentru ele, dar nu sunt suficienți oameni pregătiți să le ducă la capăt. Ce s-a schimbat este drumul de la școală la șantier. În 1881, acesta era scurt, pentru că statul își construia propria administrație feroviară și își lua inginerii aproape direct din amfiteatru. Astăzi, un absolvent al Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri (FCFDP) poate ajunge la un administrator de infrastructură, la un constructor, la un birou de proiectare, la un producător de echipamente, la un operator sau la o autoritate de reglementare. Toate aceste organizații au nevoie de ingineri, dar puține au timpul și oamenii necesari pentru a-i căuta încă din primii ani de facultate.

Cine face, atunci, legătura dintre școală și șantier? Club Feroviar și Carieră Feroviară în România (CFiR) joacă aici rolul unui nod feroviar care nu produce servicii de transport de călători sau de marfă; rostul lui este să lege linii de comunicare care altfel nu s-ar întâlni.

Articolul analizează acest nod din trei puncte de vedere: ce funcții îndeplinește concret rețeaua Club Feroviar–CFiR, cui îi folosește și ce ar trebui îmbunătățit până la aniversarea de 150 de ani, astfel încât în 2031 să putem arăta nu doar câți oameni au trecut prin ea, ci și unde au ajuns. Primele secțiuni pun cazul în context istoric și economic și prezintă cadrul teoretic. Urmează descrierea celor două organizații și a modului în care lucrează împreună, o discuție despre limitele modelului și câteva propuneri pentru următorii cinci ani.

2. ȘCOALA ȘI CALEA FERATĂ, DOUĂ ISTORII PARALELE

Mai întâi, puțină istorie. Facultatea și calea ferată română au evoluat în paralel și s-au intersectat de mai multe ori. Principalele repere ale celor două sunt puse față în față în Figura 1.

Rădăcinile școlii sunt, de fapt, mai vechi de 1881. Universitatea Tehnică de Construcții București (UTCB) își revendică originea în școala de ingineri

hotarnici deschisă la București în 1818 (UTCB, f.a.), iar cronologia facultății menționează deschiderea, în ianuarie 1851, a unei Școli de Poduri și Șosele căreia i s-a conferit gradul de „facultate”. Din iulie 1852, școala a fost condusă de inginerul francez Léon Lalanne, cel care a introdus notarea de la 1 la 20 (FCFDP, 2021). Au urmat ani de închideri și redeschideri, până la înființarea Școlii de Poduri, Șosele și Mine, în 1867 (AGIR, 2007).

Reorganizarea din 1881, sub Gheorghe Duca, a adus și numele de Școala Națională de Poduri și Șosele. Tot atunci, profesorii școlii fondau Societatea Politehnică, care publica *Buletinul Societății Politehnice* (AGIR, 2007). Asociația și revista ei au jucat, într-un fel, rolul unui prim „nod” al profesiei, ținându-i pe ingineri în legătură unii cu alții și cu lucrările lor. În octombrie 1886, în prezența regelui Carol I, școala se muta în noul local din strada Polizu (FCFDP, 2021). Printre profesorii ei s-au numărat Spiru Haret, Anghel Saligny, Elie Radu și Traian Lalescu (AGIR, 2007).

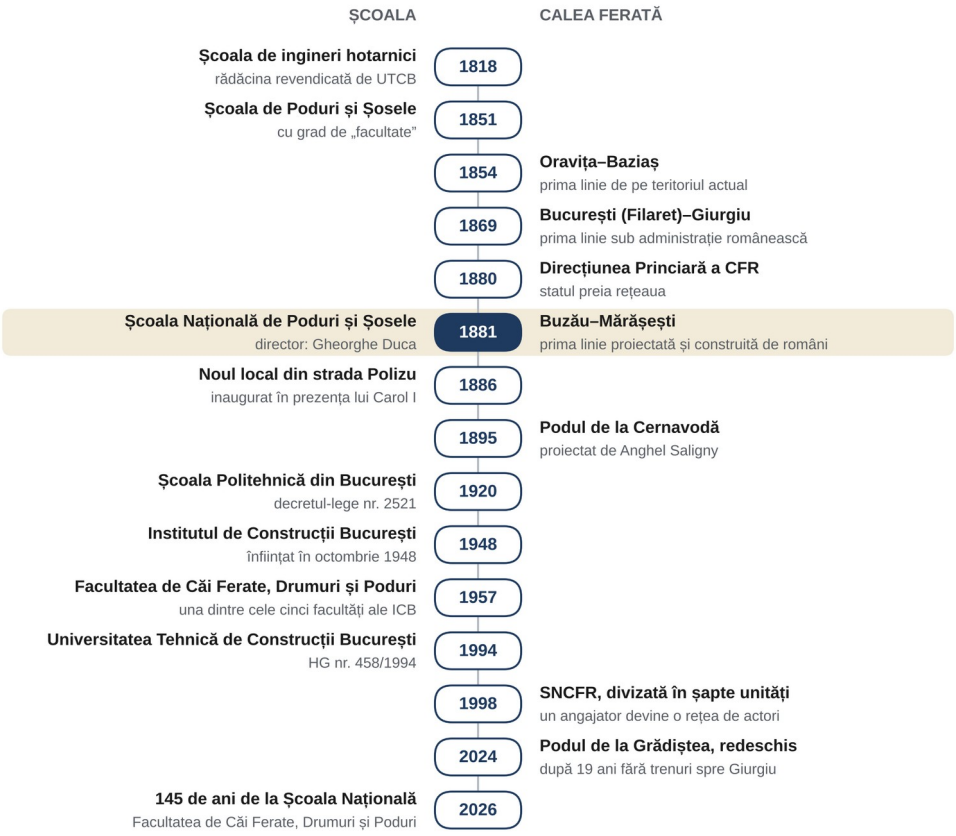


Figura 1. Repere din istoria școlii și a căii ferate române, 1818–2026. Rândul evidențiat marchează anul 1881
Sursa: realizat de autor după AGIR (2007; 2020), FCFDP (2021), UTCB (f.a.) și TVR Info (2024b).

Pe partea feroviară, prima cale ferată de pe teritoriul actual al României, Oravița–Baziaș, fusese dată în exploatare la 20 august 1854, iar linia București

(Filaret)–Giurgiu, deschisă la 31 octombrie 1869, a fost prima construită sub administrație românească. În ianuarie 1880, statul a răscumpărat rețeaua, iar la 11/23 aprilie 1880 lua ființă Direcțiunea Princiară a Căilor Ferate Române, al cărei prim conducător a fost generalul Ștefan Fălcoianu, membru și vicepreședinte al Academiei Române (AGIR, 2020). În 1895, era inaugurat podul de la Cernavodă, proiectat de Anghel Saligny, același Saligny care se număra printre profesorii școlii. Cazul lui nu este singular: la București, mulți dintre cei care au predat au fost, în același timp, oameni care au construit.

În secolul al XX-lea, instituția și-a schimbat de mai multe ori numele și structura. Decretul-lege nr. 2521, semnat de regele Ferdinand în iunie 1920, a înființat Școala Politehnică din București. În octombrie 1948, lua ființă Institutul de Construcții București, iar în 1957, la reorganizarea acestuia, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri devenea una dintre cele cinci facultăți ale institutului. Prin Hotărârea Guvernului nr. 458/1994, institutul a devenit Universitatea Tehnică de Construcții București (FCFDP, 2021). UTCB are astăzi peste 6.000 de studenți și șapte facultăți și se prezintă ca singura universitate din țară dedicată integral ingineriei civile (Infrastructura.ro, 2025). FCFDP pregătește ingineri prin programele de licență „Căi Ferate, Drumuri și Poduri” și „Infrastructura transporturilor metropolitane” și prin masteratele „Ingineria infrastructurii transporturilor”, „Poduri și tuneluri” și „Infrastructuri durabile de transport” (FCFDP, f.a.).

Pentru relația dintre școală și piața muncii, momentul decisiv din ultimele decenii a venit însă din afara universității. În 1998, Ministerul Transporturilor a reorganizat Societatea Națională a Căilor Ferate Române, divizând-o în șapte unități separate (AGIR, 2020). În anii care au urmat, locul unui singur mare angajator, care își lua inginerii aproape direct din facultate, a fost luat treptat de o piață formată din companii de stat, operatori privați, constructori, proiectanți și furnizori. Într-o piață atât de fragmentată, cineva trebuie să-i pună pe acești actori în legătură, iar organizațiile descrise în secțiunile 6 și 7 au apărut, în bună măsură, ca răspuns la această nevoie.

3. BANI PENTRU INFRASTRUCTURĂ, OAMENI PUȚINI

România are astăzi mai mulți bani pentru infrastructura de transport decât a avut în deceniile trecute, însă ritmul lucrărilor depinde tot mai mult de disponibilitatea forței de muncă și tot mai puțin de finanțare. Câteva repere sunt adunate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Câteva repere pentru infrastructura de transport din România

Indicator	Valoare	Sursa
Rețeaua feroviară în exploatare (31.12.2025)	10.615 km	INS, prin AGIR (2026)
Linii electrificate (2024)	4.031 km, adică 37,97% din rețea	TVR Info (2024a)
Linii nou electrificate între 1990 și 2020	73 km, circa 2,4 km pe an	TVR Info (2024a)
Autostrăzi (31.12.2025)	1.268 km, din care 131 km dați în folosință în 2025	INS, prin AGIR (2026)
Programul Transport 2021–2027	9,6 mld. euro, din care 4,6 mld. euro fonduri UE	Euronews România (2022)
Bugetul Ministerului Transporturilor, 2024	30 mld. lei, din care 20,4 mld. lei pentru proiecte cu fonduri UE	Știri pe surse (2023)
Mari constructori care spun că au suficient personal pregătit	11% dintre cei 100 de antreprenori generali studiați	Economica.net (2023), studiu IBC Focus

Rețeaua existentă este întinsă, dar într-o stare precară. La finalul lui 2018, existau 442 de restricții de viteză pe 713 km, viteza tehnică medie era de 69 km/h, iar trei sferturi din cele 17.694 de poduri și podețe feroviare trebuiau reparate sau înlocuite. Viteza comercială medie rămânea sub 50 km/h pentru trenurile de călători și sub 20 km/h pentru cele de marfă (AGIR, 2020).

Istoria liniei București–Giurgiu, prima construită sub administrație românească, rezumă destul de bine situația. După prăbușirea podului de la Grădiștea, în august 2005, linia a rămas închisă 19 ani. Circulația a fost reluată în iunie 2024, pe un pod nou, lung de 1,36 km, la care constructorul a folosit, în premieră pe rețeaua românească, cale fără balast (TVR Info, 2024b). Urmează modernizarea și electrificarea întregii linii, o investiție de 2,9 miliarde de lei, finanțată în parte din fonduri europene (Economedia, 2023b), în cadrul căreia vor fi înlocuite și șine vechi de aproximativ 150 de ani (Digi24, 2025).

Finanțarea nu mai este în acest moment principalul obstacol. Programul Transport 2021–2027 are o alocare de 9,6 miliarde de euro și țintește, între altele, 184 km de cale ferată nouă sau reabilitată (Euronews România, 2022). PNRR finanțează modernizarea liniilor Arad–Timișoara–Caransebeș și Cluj-Napoca–Episcopia Bihor, două proiecte de circa 1,3 miliarde de euro fiecare (Europa Liberă România, 2022). Bugetul Ministerului Transporturilor pentru 2024, de 30 de miliarde de lei, a fost destinat unor proiecte cu o valoare totală de 81 de miliarde de lei (circa 16 miliarde de euro), între care 430 km de cale ferată

modernizată și electrificată și 131 de trenuri noi (Știri pe surse, 2023). La acestea se adaugă întreținerea rețelei existente, pentru care CFR SA estima un necesar de 24 de miliarde de lei în perioada 2023–2026 (Economedia, 2023a). Banii, așadar, există.

Problema se mută, în schimb, spre resursa umană. În studiul IBC Focus din 2023 asupra celor mai mari 100 de antreprenori generali, doar 11% spuneau că au suficient personal pregătit, 45% considerau insuficientă formarea pentru meseriile din domeniu, iar aproape o treime lucrau deja cu muncitori străini (Economica.net, 2023). În mai 2026, federațiile sindicale feroviare avertizau asupra unui „deficit major de personal” la CFR SA, cu mii de ore suplimentare lucrate lunar în funcțiile legate de siguranța circulației (G4Media, 2026). Nu am găsit o statistică publică recentă privind structura pe vârste a personalului din infrastructura de transport din România, ceea ce face dificilă orice estimare a necesarului de înlocuire pentru următorii ani. Datele parțiale disponibile indică însă un personal îmbătrânit: un audit al Curții de Conturi arăta că peste 65% dintre angajații CFR Marfă aveau peste 50 de ani (Club Feroviar, f.a.), iar la nivelul Uniunii Europene, în 2022, aproximativ 42% din personalul principalelor întreprinderi feroviare și 46% din cel al principalilor administratori de infrastructură trecuseră de această vârstă (Comisia Europeană, 2025; Figura 2).

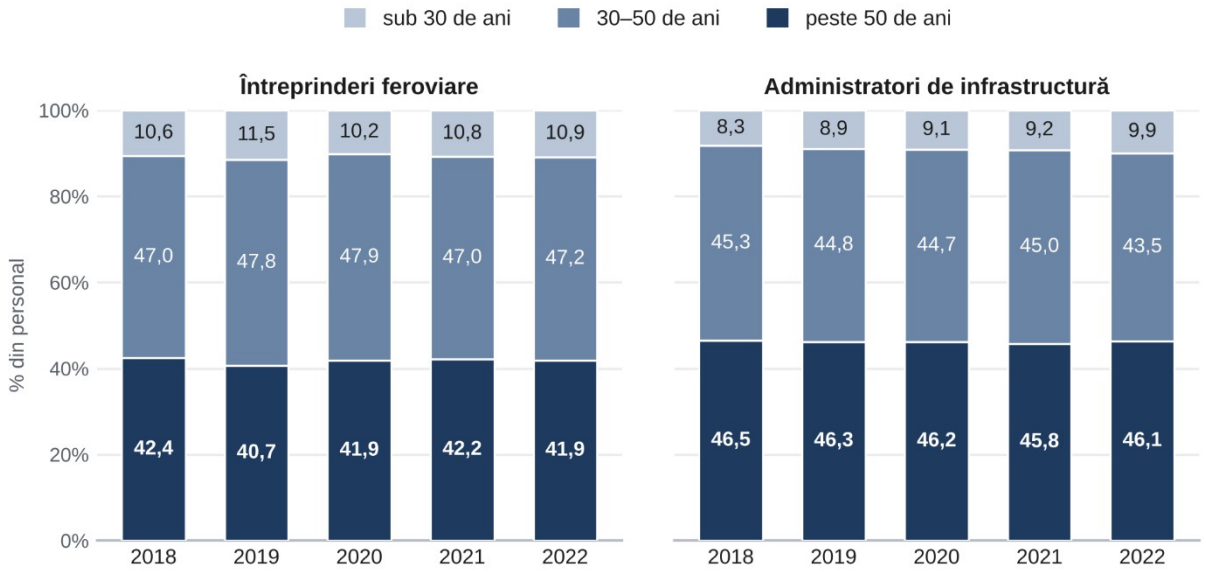


Figura 2. Personalul principalelor întreprinderi feroviare și al principalilor administratori de infrastructură din Uniunea Europeană, pe grupe de vârstă, 2018–2022 (% din total)
Sursa: realizat de autor după Comisia Europeană (2025, figura 15), pe baza datelor din sistemul de monitorizare a pieței feroviare (RMMS).

Între un proiect finanțat și o linie dată în exploatare se află proiectanți, constructori, diriginți de șantier, verificatori de proiecte și specialiști în siguranța

circulației, mulți dintre ei absolvenți ai unei facultăți ca FCFDP. De aceea, felul în care un student ajunge la primul loc de muncă are o miză care depășește facultatea și angajatorul: un drum mai scurt și mai bine informat de la amfiteatru la șantier înseamnă, în final, lucrări care încep și se termină mai repede. În discuțiile pe care le am cu companiile invitate la evenimentele noastre, subiectul revine aproape de fiecare dată: pe lângă vizibilitate, multe dintre ele caută de fapt oameni, de la ingineri și proiectanți până la diriginți de șantier cu experiență.

4. CADRUL TEORETIC

Ideea că între universitate și piață e nevoie de punți nu este nouă. Literatura despre inovare și despre rețelele sociale oferă câteva explicații utile, pe care le reiau pe scurt, doar în măsura în care ajută la înțelegerea cazului.

Modelul triplei elice descrie inovarea ca rezultat al interacțiunii dintre universitate, industrie și stat (Etzkowitz și Leydesdorff, 2000). Cele trei sfere nu mai lucrează separat: fiecare preia parțial rolul celorlalte, iar la intersecțiile lor apar organizații hibride. În infrastructura de transport din România, statul este în primul rând client și finanțator, prin administratori sau operatori precum CFR SA, CNAIR sau Metrorex. Industria proiectează, construiește și livrează echipamente. Universitatea formează oamenii și produce o parte din cunoașterea tehnică. Modelul arată unde apare valoarea, dar nu spune cine administrează aceste intersecții și cu ce resurse.

Un posibil răspuns vine din teoria intermediarilor. Howells (2006) a sistematizat funcțiile organizațiilor care nu produc ele însele inovarea, dar o fac posibilă. Printre acestea se numără previziunea, scanarea și filtrarea informației, intermedierea între actori, testarea și validarea, precum și evaluarea rezultatelor. În practică, un intermediar selectează informația relevantă, o pune în context și aduce la aceeași masă oameni care altfel nu s-ar întâlni, construind în timp încrederea dintre ei.

Mecanismul prin care asemenea întâlniri devin utile a fost descris de Granovetter (1973): informația nouă circulă mai des prin legăturile slabe, adică prin cunoștințele pe care le vedem rar, decât prin prietenii apropiați. În studiul său despre felul în care oamenii își găsesc un loc de muncă, pista decisivă venea frecvent pe acest canal (Granovetter, 1974). Burt (1992) a numit „goluri structurale” spațiile dintre grupuri care nu comunică și a arătat că cei care le traversează au acces la informații pe care ceilalți nu le au. Un astfel de gol există și între o facultate tehnică și piața muncii. Studentul știe puțin despre companiile din domeniu și despre ce caută ele, iar compania nu îl cunoaște până nu îi primește CV-ul. Conferințele, târgurile și vizitele pe șantier sunt tocmai ocaziile în care aceste „goluri structurale” sunt umplute.

Un al doilea mecanism ține de învățare. Lave și Wenger (1991) descriu formarea într-o profesie ca pe o deplasare de la marginea unei comunități de

practică spre centrul ei: novicele începe prin a observa și prin a face lucruri mărunte, dar reale, alături de practicieni (Wenger, 1998). Pentru un student din anul I, o vizită pe șantier sau o discuție cu un inginer de proiect poate fi văzută ca o formă de „participare periferică legitimă” care îi arată la ce duce meseria aleasă într-un moment în care opțiunea pentru facultate nu este încă bine așezată. În fine, Perkmann et al. (2013) arată că relația dintre universitate și industrie trece mult mai des prin colaborări, consultanță și contacte informale decât prin brevete și firme spin-off (companii înființate pentru a valorifica rezultatele cercetării universitare). În ingineria de infrastructură, unde normele, tehnologiile și metodele de execuție evoluează în primul rând pe șantier și în birourile de proiectare, aceste contacte rămân principalul canal prin care facultatea află ce se întâmplă în teren.

Revenind la imaginea din introducere, un nod feroviar funcționează prin detalii: aparate de cale, linii de legătură, instalații de semnalizare și reguli de circulație cunoscute de toți cei care îl folosesc. Un nod bine proiectat ține traficul în mișcare, iar unul subdimensionat devine punct de strangulare pentru întreaga rețea. Transpusă la o rețea de pregătire profesională, comparația are două implicații. Prima este că nodul doar adună și redistribuie cunoașterea, care rămâne la oameni și la companii. A doua este că își păstrează utilitatea doar cât timp rămâne deschis tuturor celor care au nevoie să treacă prin el.

5. METODĂ ȘI SURSE

Lucrarea este un studiu de caz calitativ, de tip exploratoriu-descriptiv, potrivit pentru fenomene actuale studiate în contextul lor real (Yin, 2018). Cazul este rețeaua formată de Club Feroviar și CFiR, în relația ei cu FCFDP și cu industria infrastructurii de transport. Am folosit patru tipuri de surse: datele statistice și programele de finanțare, preluate din publicațiile care le-au făcut cunoscute; presa economică și de specialitate, inclusiv revista *Univers Ingineresc* a AGIR; comunicările publice ale organizațiilor (site-uri și comunicate publicate prin AGERPRES între 2024 și 2026); datele de program furnizate de organizatori, în principal numărul de studenți participanți la evenimentele de carieră CFiR–FCFDP din perioada 2022–2025. Analiza este una funcțională: am raportat activitățile celor două organizații la funcțiile intermediarilor descrise de Howells (2006) și am căutat, pentru fiecare categorie de actori, beneficii care pot fi observate, nu doar declarate.

Lucrez chiar la Club Feroviar, unde mă ocup, printre altele, de Catalog Feroviar și de Summitul Zilele Feroviare. Această poziție îmi oferă acces la informații și la culisele evenimentelor, dar implică și un risc evident de subiectivitate, pe care am încercat să îl limitez prin trei reguli: orice cifră provine dintr-o sursă publică sau este marcată ca furnizată de organizatori; limitele

modelului sunt discutate separat, în secțiunea 9; formulările promoționale din comunicate nu au fost preluate ca fapte.

Trebuie precizat și că materialele din secțiunea Business OTS a AGERPRES aparțin emitenților, iar cifrele din ele sunt cele declarate de aceștia. Studiul descrie un model, fără să îi măsoare eficiența; secțiunea 10 propune câteva instrumente care ar face posibilă o asemenea măsurare.

6. CLUB FEROVIAR

Club Feroviar este o organizație privată activă de peste două decenii în sectorul feroviar românesc, unde combină informația de specialitate, evenimentele și dialogul dintre companii și autorități. Într-o declarație publică din 2013, se descria ca organizație de drept privat care oferă consultanță de afaceri investitorilor din transportul feroviar, cu o arie care cuprinde infrastructura, transportul și industria, de la transportul interurban la cel urban (Bursa, 2013). Site-ul conferințelor menționează astăzi peste 21 de ani de experiență (Club Feroviar, 2026b).

6.1. Platforma de știri și Catalog Feroviar

Platforma clubferoviar.ro publică zilnic știri business-to-business din domeniu, pe secțiuni dedicate infrastructurii, materialului rulant, transportului urban, mărfii, călătorilor, zonei financiare, IT-ului și telecomunicațiilor și știrilor internaționale (Club Feroviar, 2026a). Într-un sector fragmentat după 1998, un flux comun de informație le permite companiilor, autorităților și specialiștilor să urmărească în același timp aceleași proiecte, licitații și modificări de reglementare.

Catalog Feroviar (catalogferoviar.ro) completează platforma cu o hartă a firmelor din sector (Club Feroviar, 2026a). Catalogul a fost gândit în primul rând pentru beneficiarii și constructorii care caută furnizori, dar îi este la fel de util unui student care vrea să vadă cât de diverși sunt angajatorii posibili, de la proiectanți și constructori la producători de echipamente și operatori. FCFDP are, de altfel, propria pagină în catalog (Catalog Feroviar, f.a.).

6.2. Evenimentele anuale

Partea cea mai vizibilă a activității Club Feroviar o reprezintă evenimentele. Calendarul anual se sprijină pe trei întâlniri majore: Conferința de Infrastructură, în martie, Conferința de Material Rulant și Operare Feroviară, în mai, și Summitul Zilele Feroviare, în octombrie, la București (Figura 3, Tabelul 2). Succesiunea lor urmează, în linii mari, componentele unui sistem feroviar: mai

întâi calea, apoi vehiculul şi exploatarea lui, iar la final deciziile strategice şi finanţarea de care depind primele două.

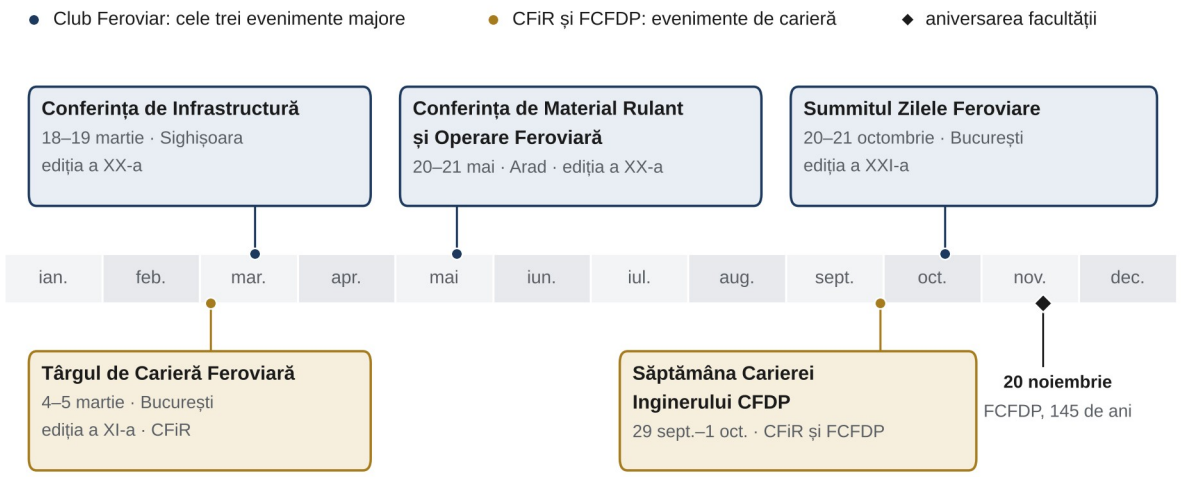


Figura 3. Anul reţelei în 2026: cele trei evenimente majore ale Club Feroviar şi evenimentele de carieră CFiR–FCFDP. Punctele marchează datele exacte
Sursa: realizat de autor după AGERPRES (2026a; 2026b; 2026e), Railway Days (2026) și CFiR (2026).

Tabelul 2. Cele trei evenimente majore organizate de Club Feroviar, ediţia 2026

Eveniment	Când şi unde	Teme principale	În afara sălii
Conferinţa de Infrastructură (ediţia a XX-a)	18–19 martie, Sighişoara; circa 200 de participanţi	TEN-T şi prioritizarea investiţiilor pe coridoare, capacitate şi digitalizare, ERTMS/ETCS, rolul proiectării, tren metropolitan, gara ca nod intermodal	Vizite la gara Sighişoara, la tunelul Mureni şi la portalul Homorod (tunelurile Racoş–Homorod)
Conferinţa de Material Rulant şi Operare Feroviară (ediţia a XX-a)	20–21 mai, Arad; peste 200 de participanţi la ediţia anterioară	Înnoirea materialului rulant, transportul de călători, marfa pe coridoarele europene, digitalizare şi siguranţă în exploatare	Vizite la Railport Arad şi la fabrica ASTRA Vagoane Călători
Summitul Zilele Feroviare (ediţia a XXI-a)	20–21 octombrie, București; peste 400 de participanţi anunţaţi	Tendințe din România și din străinătate, strategie și investiții în sector	Expoziție de specialitate, summit investiţional, networking

Surse: AGERPRES (2026a; 2026c; 2026e; 2026f); Railway Days (2026).

Conferința de Infrastructură. Ediția a XX-a s-a desfășurat la Sighișoara, pe 18 și 19 martie 2026, și a reunit în jur de 200 de profesioniști (AGERPRES, 2026a; 2026c). Agenda a reflectat destul de fidel preocupările actuale ale sectorului: impactul politicilor europene și al rețelei TEN-T, prioritizarea investițiilor pe coridoare, capacitatea și digitalizarea, implementarea ERTMS/ETCS, rolul proiectării în reducerea întârzierilor de execuție, trenul metropolitan, tram-trenul și gara ca nod intermodal.

Formatul se deosebește de cel al unei conferințe obișnuite prin a doua zi, rezervată vizitelor tehnice. Programul a inclus gara Sighișoara, tunelul Mureni, unde lucra Arcada, și portalul Homorod de pe subsecțiunea Apața–Cața, unde AKTOR execută tunelurile gemene Racoș–Homorod, de câte 5,1 km, cu două mașini de forat tuneluri, Alexandra și Konstantina, deja în lucru (AGERPRES, 2026c). Tunelurile fac parte din modernizarea tronsonului Brașov–Sighișoara, proiectat pentru 160 km/h pe coridorul Rin–Dunăre (G4Media, 2025). Formula nu este nouă: o ediție anterioară, găzduită la Alba Iulia, îi dusese pe participanți pe șantierele tronsonului Simeria–Coșlariu–Sighișoara, un proiect de 982 de milioane de euro (Railway PRO, f.a.).

Potrivit AGERPRES (2026a), printre susținătorii ediției din 2026 s-au numărat AFER, CFR SA, Metrorex, STB și alți operatori de transport urban, asociații profesionale, CFiR și două universități, UTCB și Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București (UNSTPB), o combinație care corespunde destul de exact modelului triplei elice. Ediția din 2027 este anunțată la Reșița, pe 17 și 18 martie (Club Feroviar, 2026b).

Conferința de Material Rulant și Operare Feroviară. Ajunsă și ea în 2026 la a XX-a ediție, conferința s-a ținut la Arad, pe 20 și 21 mai; ediția anterioară adunase peste 200 de profesioniști (AGERPRES, 2026e). Dacă la Sighișoara discuția a fost despre cale, la Arad accentul a căzut pe vehicule și pe exploatare: înnoirea și achiziția de material rulant, strategiile pentru transportul de călători, competitivitatea transportului de marfă pe coridoarele europene, digitalizarea și siguranța în exploatare. Publicul a fost, în consecință, diferit: producători și furnizori, operatori de călători și de marfă, integratori, finanțatori și reprezentanți ai autorităților de reglementare.

Și la Arad, a doua zi a fost dedicată vizitelor tehnice. La Railport Arad, prezentat în materialele evenimentului drept cel mai mare terminal intermodal din România, programul a prevăzut o demonstrație de încărcare a semiremorcilor rutiere pe vagoane articulate de tip Sdggmrss, cu sistemele Vega și NiKRASA. La fabrica ASTRA Vagoane Călători, participanții au putut vedea liniile pe care se produc vagoane de călători și tramvaie, de pe care au ieșit și cele 100 de tramvaie Imperio livrate Bucureștiului (AGERPRES, 2026f). Ediția din 2027 este anunțată la Sibiu, pe 19 și 20 mai (Club Feroviar, 2026b).

Summitul Zilele Feroviare. Al treilea eveniment, cel mai vechi și cel mai amplu, închide anul la București. În 2015, Zilele Feroviare ajunseseră la a zecea ediție consecutivă, cu tema construirii noii economii feroviare din Europa Centrală și de Est, iar printre vorbitori s-au aflat directorul general al Uniunii Internaționale a Căilor Ferate (UIC), reprezentanți ai Comisiei Europene și ai companiei japoneze JR East, precum și directorul general al CFR SA (AGIR, 2015). Ediția a XXI-a, programată pe 20 și 21 octombrie 2026, a fost anunțată pentru peste 400 de participanți: reprezentanți ai companiilor și ai autorităților, precum și specialiști din domeniu (Railway Days, 2026). Am scris aceste rânduri cu câteva zile înainte de deschiderea ediției, la a cărei organizare am lucrat, așa că cifrele de mai sus sunt cele anunțate, nu cele finale. Formatul combină o expoziție de specialitate, paneluri despre tendințele din România și din străinătate, o componentă de summit investițional dedicată conducerilor de companii și sesiuni de networking.

Dacă primele două conferințe au un caracter mai degrabă tehnic, summitul este locul în care se discută decizii: aici vin oamenii care aprobă bugete, semnează contracte și stabilesc priorități. Pentru facultate, este o ocazie de a afla direct de la ei de ce fel de ingineri vor avea nevoie în următorii cinci sau zece ani.

Împărțirea în trei evenimente are o explicație practică. Infrastructura, materialul rulant și exploatarea au comunități profesionale diferite, cu limbaje, norme și furnizori proprii; un specialist în semnalizare și unul în boghiuri ajung rar în aceeași sală, deși lucrează pentru același tren. Conferințele tematice lasă fiecărei comunități timp pentru detaliile ei, iar summitul de toamnă le reunește. În plus, conferințele se mută dintr-un oraș în altul (Alba Iulia, Sighișoara, Arad, iar în 2027 Reșița și Sibiu), ceea ce aduce discuția mai aproape de locurile în care se lucrează efectiv. Din experiența mea la aceste evenimente, multe dintre discuțiile cu adevărat utile au loc în pauze sau în autocarul care duce participanții spre șantier, mai mult decât în timpul prezentărilor.

Calendarul a inclus, de-a lungul timpului, și un moment dedicat recunoașterii profesionale: Galele Feroviare, ajunse în 2023 la a XV-a ediție, cu Premiile de Excelență în domeniul feroviar. Premiul pentru întreaga activitate i-a revenit atunci dr. ing. Nicolae Ionescu, la împlinirea vârstei de 85 de ani (AGIR, 2023).

6.3. Dezbaterea publică

În 2013, după o dezbatere organizată împreună cu principalele organizații din domeniu, Club Feroviar a susținut public mai multe poziții, între care prioritatea finanțării infrastructurii, transparența achizițiilor și un contract de acces la infrastructură cu obligații clare pentru administrator (Bursa, 2013). Dincolo de conținutul acestor poziții, episodul ilustrează o funcție mai puțin

vizibilă a organizației, aceea de a oferi sectorului un cadru în care își poate formula interesele și le poate prezenta celor care decid.

7. CFIR ŞI CARIERELE FEROVIARE

Carieră Feroviară în România (CFiR) acoperă intervalul dintre formare și angajare. Organizația se prezintă ca o platformă permanentă dedicată carierei feroviare, cu anunțuri despre locuri de muncă, stagii, programe de calificare și informații despre sector, și nu doar ca organizator de evenimente (AGERPRES, 2026d).

7.1. Târgul de Carieră Feroviară în România

Dintre evenimentele CFiR, acest târg are publicul cel mai larg. Ediția a IX-a, din 12–14 iunie 2024, a combinat interviurile online cu întâlnirile față în față din Gara de Nord. Au venit 25 de companii, cu peste 140 de oferte de locuri de muncă, stagii și cursuri de calificare, iar alături de ele au fost prezente CENAFER, Facultatea de Transporturi a UNSTPB și Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a UTCB. Târgul s-a desfășurat sub patronajul CFR SA (AGERPRES, 2024). Ediția a XI-a, din 4–5 martie 2026, cu interviuri online în 10–12 martie, a adus peste 500 de participanți și 26 de companii (Economedia, 2026; AGERPRES, 2026d). Partenerii educaționali au ajuns la 11: UTCB prin FCFDP, Facultatea de Transporturi a UNSTPB, universitățile din Brașov, Craiova, Timișoara, Târgoviște, Pitești, Constanța, Oradea și Cluj-Napoca și Colegiul Tehnic Feroviar „Mihai I” din București (AGERPRES, 2026b).

Extinderea listei de parteneri are o explicație: infrastructura are nevoie de o întreagă piramidă de meserii, de la tehnicieni și mecanici până la proiectanți și manageri de proiect, iar inginerii reprezintă doar o parte din ea. Un târg la care participă, alături de facultățile de inginerie, un colegiu tehnic și un centru de formare profesională poate acoperi aproape întreaga piramidă.

7.2. Evenimentele dedicate studenților FCFDP

Pentru studenții facultății există un format separat. Ziua Carierei Feroviare, dedicată studenților și masteranzilor FCFDP, a avut loc pe 27 februarie 2025, sub motto-ul „Împreună construim viitorul feroviar”. Au participat 15 companii, de la administratori și operatori (CFR SA, Metrorex, STB) la proiectanți, constructori, furnizori și AFER (AGERPRES, 2025; foto 1). Pentru studenții din anul I exista un eveniment separat, Bazele Carierei Inginerului CFDP. În 2026, cele două formate au fost unite în Săptămâna Carierei Inginerului CFDP, organizată de CFiR împreună cu FCFDP între 29 septembrie și 1 octombrie (CFiR, 2026).



Foto 1. Masa rotundă facultate–companii de la Ziua Carierei Feroviare, 27 februarie 2025: reprezentanți ai companiilor din sector și ai FCFDP discută, la aceeași masă, despre stagii, angajare și competențele cerute pe piață
Sursa: arhiva CFiR.

Programul ediției din 2026 a urmărit etapele prin care trece un student. Prima zi a fost gândită ca o masă rotundă între facultate, companii și studenți, urmată de două paneluri paralele: unul pentru anul I, despre ce înseamnă o carieră în domeniu, celălalt pentru anii II–IV și pentru masteranzi, despre stagii de practică și angajare (foto 2). Pentru fiecare student din anul I, programul a prevăzut „Trusa Inginerului CFDP-ist”, un set de instrumente pentru anii de facultate, oferit cu sprijinul companiilor partenere. Următoarele două zile au fost rezervate vizitelor tehnice, una pe șantier și una la sediile unor firme de proiectare și inginerie, cu prioritate pentru studenții din anul I (CFiR, 2026; foto 3 și 4).



Foto 2. Prima zi a Săptămânii Carierei Inginerului CFDP, 29 septembrie 2026: studenți FCFDP, majoritatea din anul I, în amfiteatrul facultății, la deschiderea evenimentului
Sursa: arhiva CFiR.



Foto 3. Vizită tehnică pe un șantier Erbasu de modernizare a unei linii de tramvai din București: șinele sunt fixate pe blocheți din beton, cu tiranți de ecartament și armătura plăcii de cale montate înaintea betonării
Sursa: arhiva CFiR.



Foto 4. Vizită la sediul companiei de proiectare TPF: inginerii companiei le prezintă studenților modelul 3D al unui proiect de infrastructură de transport
Sursa: arhiva CFiR.

7.3. Evoluția participării

Potrivit datelor furnizate de organizatori, între 2022 și 2025 numărul studenților participanți la evenimentele de carieră CFiR–FCFDP a crescut de la 160 la 190, adică cu aproximativ 19% (Figura 4). Cea mai mare creștere s-a înregistrat la anii terminali și la masteranzi, de la 50 la 70 de participanți (+40%), în timp ce la anul I numărul a urcat de la 110 la 120.

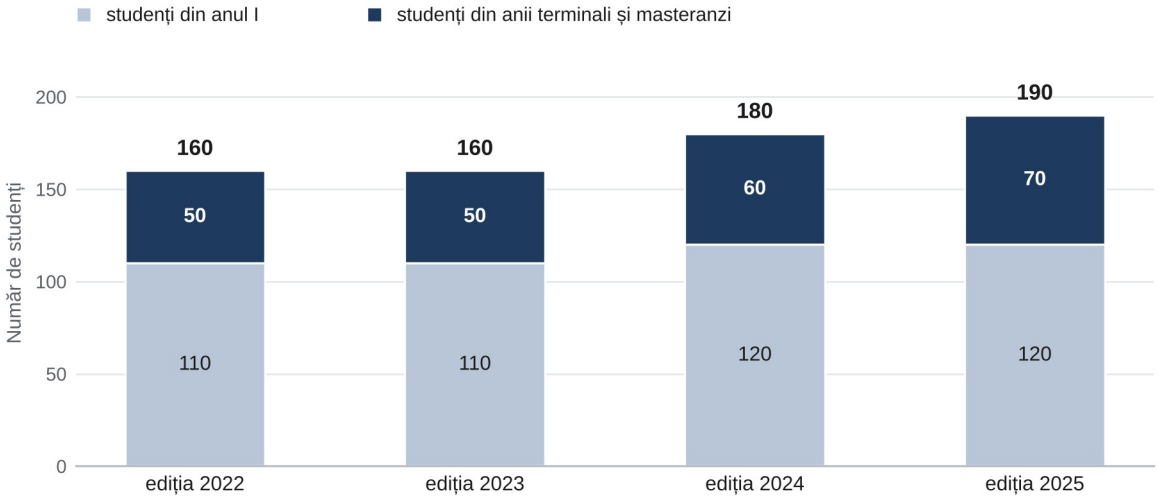


Figura 4. Studenți FCFDP participanți la evenimentele de carieră CFiR–FCFDP, pe ediții, 2022–2025
Sursa: date furnizate de organizatori (CFiR, 2026).

Cele două categorii de participanți corespund mecanismelor descrise în secțiunea 4. Pentru studentul din anul I, discuțiile și interacțiunea cu inginerii CFDP și vizitele pe șantier sau la sediul unei companii de inginerie sunt modalități de participare care nu îl transformă încă într-un inginer, dar care îl motivează să rămână pe drumul ales. Pentru cei din anii terminali, același eveniment produce legături slabe: contacte cu oameni din companii pe care altfel nu i-ar fi cunoscut și prin care circulă informațiile despre stagii de practică și posturi. Pentru companii, miza este recrutarea timpurie: atragerea unui inginer începe, de regulă, cu mult înainte de publicarea unui anunț, din momentul în care studentul află ce proiecte există și cine le realizează.

UTCB are propriul Centru de Consiliere și Orientare în Carieră (FCFDP, f.a.), iar CFiR vine să îl completeze. Contribuția sa ține de specificul sectorului: reunește companiile feroviare și de infrastructură în același loc, într-un calendar cunoscut din timp.

8. CUM FUNCȚIONEAZĂ REȚEAUA

Luate împreună, Club Feroviar și CFiR acoperă o mare parte din parcursul profesional al unui inginer, din primul an de facultate până la întâlnirile în care se discută prioritățile sectorului. Figura 5 prezintă schematic circulația informației și a oamenilor între cele patru categorii de actori.

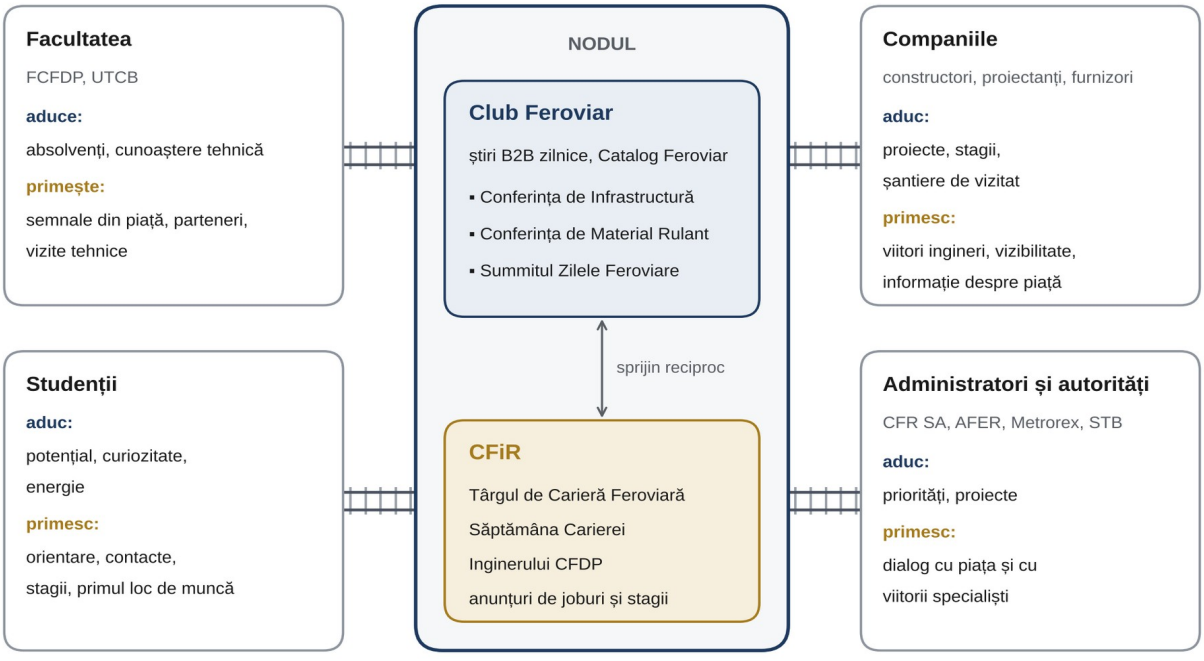


Figura 5. Patru categorii de actori, legate prin rețeaua Club Feroviar–CFiR: ce aduce și ce primește fiecare
Sursa: schemă realizată de autor pe baza secțiunilor 6 și 7.

Legăturile dintre cele două organizații sunt documentate public: CFiR s-a numărat printre susținătorii Conferinței de Infrastructură din 2026 (AGERPRES, 2026a), Club Feroviar a fost partener media al târgurilor de carieră CFiR din 2024 și 2026 (AGERPRES, 2024; 2026b), iar platforma clubferoviar.ro are o secțiune dedicată carierei feroviare (Club Feroviar, 2026a). Facultatea este prezentă în ambele zone: organizează împreună cu CFiR evenimentele de carieră pentru studenții săi, este partener educațional al târgului și s-a numărat, prin UTCB, printre susținătorii conferinței de la Sighișoara.

Privit pe un an întreg, calendarul are o anumită regularitate (Figura 3). În 2026, târgul de carieră și Conferința de Infrastructură au avut loc în martie, la două săptămâni distanță; în mai a urmat conferința de material rulant, iar toamna au venit Săptămâna Carierei la facultate și, la trei săptămâni după ea, summitul de la București. Un student care ar urmări acest calendar ar avea ocazia să cunoască, în decurs de un an, administratori de infrastructură, constructori, producători de material rulant și oameni care decid investițiile.

Raportate la grila lui Howells (2006), activitățile rețelei pot fi asociate, cu o anumită aproximare, cu cinci funcții. Scanarea și filtrarea informației revin platformei și catalogului. Previziunea apare în temele conferințelor, care semnalează din timp competențele de care piața va avea nevoie, de la ERTMS/ETCS la intermodalitate. Intermedierea propriu-zisă, adică punerea actorilor față în față, are loc la conferințe, la summit, la târguri și la mesele rotunde. Formarea și orientarea țin în principal de CFiR, cu sprijinul companiilor, iar pentru recunoașterea profesională reperul îl reprezintă Galele Feroviare. Funcția de evaluare a rezultatelor lipsește deocamdată, aspect discutat în secțiunea 9. Tabelul 3 sintetizează beneficiile pentru fiecare categorie de actori.

Tabelul 3. Ce câștigă fiecare categorie de actori din rețea

Actor	Ce câștigă	Exemple din cazul analizat
Studenții	Orientare timpurie, contacte, acces la stagii și locuri de muncă	Paneluri dedicate anului I și vizite tehnice; peste 140 de oferte la târgul din 2024
Facultatea	Un canal permanent cu industria și semnale despre competențele cerute	Masa rotundă facultate–companii–studenți; UTCB printre susținătorii Conferinței de Infrastructură 2026; pagină proprie în Catalog Feroviar
Companiile	Acces timpuriu la viitorii ingineri, vizibilitate, informație despre piață	15 companii la Ziua Carierei Feroviare 2025; 26 la târgul din 2026
Administratorii și autoritățile	Dialog cu piața și cu viitorii specialiști	CFR SA, AFER, Metrorex și STB, prezente la conferințe și la târguri

Actor	Ce câștigă	Exemple din cazul analizat
Sectorul în ansamblu	Memorie instituțională și un loc comun de dezbatere	20 de ediții pentru fiecare conferință tematică, 21 pentru Zilele Feroviare, 15 pentru Galele Feroviare

Sursa: sinteza autorului pe baza secțiunilor 6 și 7.

Ca în orice rețea, valoarea crește odată cu numărul participanților: un târg cu 26 de companii îi este mai util unui student decât unul cu cinci, iar o conferință la care vin și universitățile le este mai utilă companiilor decât una închisă. Tot efectul de rețea explică, în opinia mea, de ce continuitatea celor două decenii de activitate cântărește mai mult decât amploarea oricărei ediții luate separat.

9. LIMITELE MODELULUI

Un intermediar privat aduce viteză și flexibilitate, dar are și limite, iar un studiu scris din interior trebuie să le discute explicit.

Independența. Evenimentele și platformele de acest tip se finanțează în mare parte din parteneriatele cu companiile, ceea ce creează riscul ca agenda să fie influențată de vizibilitatea plătită mai mult decât de nevoile reale ale sectorului. Lucrând direct cu partenerii acestor evenimente, știu că echilibrul dintre interesele lor și independența editorială cere o atenție permanentă. Remediile sunt cunoscute: separarea clară a conținutului editorial de cel plătit, liste publice de parteneri și paneluri în care au loc și vocile critice. Platforma Club Feroviar are deja o secțiune distinctă pentru advertoriale (Club Feroviar, 2026a), ceea ce reprezintă un prim pas.

Măsurarea. Cifrele disponibile descriu participarea (numărul de studenți, de companii, de oferte), dar nu și rezultatele: nu știm câți participanți au obținut un stagiu, câți au fost angajați și câți mai lucrează în domeniu după cinci ani. Fără aceste date, valoarea modelului rămâne plauzibilă, însă nedemonstrată, iar aceasta este, probabil, direcția în care studiile viitoare ar trebui să aducă clarificări.

Un singur nod. O rețea care trece printr-un singur centru devine vulnerabilă atunci când acel centru slăbește. Dacă funcția de punte rămâne exclusiv privată, continuitatea ei depinde de situația financiară a câtorva organizații, motiv pentru care o parte din ea ar trebui asumată instituțional de facultate, de administratorii de infrastructură și de asociațiile profesionale.

Ce ține de alții. Un intermediar nu stabilește salariile din companiile de stat, nu aprobă bugete și nu decide programele de studii. Deficitul de personal semnalat de sindicatele feroviare în mai 2026 (G4Media, 2026) ține de decizii ale angajatorilor și ale autorităților, pe care niciun eveniment, oricât de bine organizat, nu le poate lua în locul lor. O rețea profesională poate face problema mai vizibilă și o poate aduce în fața celor care decid, dar soluția nu depinde de ea.

Cine rămâne pe dinafară. Evenimentele de carieră au loc mai ales la București, iar studenții din alte centre universitare ajung mai greu la ele, deși cei 11 parteneri educaționali ai târgului din 2026 arată că situația poate fi corectată. O a doua problemă privește participarea femeilor: la nivel european, ele reprezentau în 2016 în jur de 21% din personalul feroviar (Comisia Europeană, 2019), iar în 2022 doar 23% (Comisia Europeană, 2025). Un sector care are nevoie de tineri nu își permite să renunțe din start la o parte atât de mare dintre potențialii viitori specialiști.

10. PROPUNERI PE URMĂTORII CINCI ANI

Obiectivul propus pentru 2031 este ca rețeaua să poată documenta, pe lângă numărul participanților, și parcursul lor profesional ulterior. Propunerile din Tabelul 4 pornesc direct de la limitele discutate în secțiunea 9.

Tabelul 4. Propuneri pentru drumul până la 150 de ani

Propunere	Ce presupune	Cine o poate asuma	Ce ar trebui să existe în 2031
Observatorul carierelor CFDP	Chestionar anonim pentru absolvenți, la 1, 3 și 5 ani de la absolvire	FCFDP, cu sprijinul CFiR	Cinci rapoarte anuale publicate
Raport public anual al rețelei	Participanți, companii, oferte, stagii și angajări raportate, inclusiv ponderea femeilor	Club Feroviar și CFiR	Cinci rapoarte publicate
Studenții la cele trei evenimente majore	O delegație FCFDP la fiecare conferință și la summit, cu acces la vizitele tehnice	Club Feroviar și FCFDP	Studenți prezenți la fiecare ediție
Sesiune studențească la Zilele Feroviare	Cele mai bune lucrări de licență și de disertație cu temă feroviară, prezentate în fața industriei	Club Feroviar și FCFDP	Cinci sesiuni organizate
Carta stagiilor de practică	Standard comun pentru stagii: durată, mentor, temă, evaluare	FCFDP și companiile partenere	Stagii publicate pe platforma CFiR
Consiliul consultativ industrie–facultate	Întâlnire anuală care sintetizează competențele cerute de piață	FCFDP, companii, administratori	O listă anuală de recomandări, folosită de facultate în deplină autonomie
Mentorat cu absolvenții	Absolvenți FCFDP din industrie care îndrumă studenți din anii terminali	FCFDP, CFiR, comunitatea absolvenților	Un program anual de mentorat

Dintre acestea, Observatorul carierelor și Raportul anual mi se par cele mai importante, pentru că ar muta discuția de la impresii la date. Un chestionar anonim care poate fi completat în câteva minute, trimis absolvenților prin facultate, ar putea răspunde la câteva întrebări esențiale: unde lucrează absolvenții, în ce tip de companie, dacă au rămas în domeniu și cum și-au găsit primul loc de muncă.

Un al doilea pas privește legătura cu programele de studii. Temele conferințelor din 2026, de la ERTMS/ETCS la rolul proiectării în reducerea întârzierilor, sunt indicii despre competențele care vor fi cerute în următorii ani. Consiliul consultativ industrie–facultate le-ar putea sintetiza într-un document anual, pe care facultatea să îl folosească în măsura în care îl consideră util, în deplina ei autonomie academică. Pentru studenți, cele trei evenimente majore ale Club Feroviar oferă deja un cadru: o delegație FCFDP la fiecare conferință, cu acces la vizitele tehnice, și o sesiune la Zilele Feroviare dedicată celor mai bune lucrări de licență și de disertație cu temă feroviară ar fi relativ ușor de organizat.

În sfârșit, rețeaua ar trebui să se deschidă mai mult spre studenții din alte centre universitare și spre firmele mici, care nu au departamente de resurse umane, și să încurajeze participarea femeilor. Având în vedere efectul de rețea descris în secțiunea 8, fiecare participant nou aduce beneficii și celorlalți.

11. CONCLUZII

Școala de ingineri de la București și calea ferată românească s-au dezvoltat împreună încă din 1881. După 145 de ani, legătura dintre ele trece printr-o rețea de companii, instituții și oameni, mult mai complicată decât administrația unică de altădată, iar o astfel de rețea are nevoie de noduri de comunicare.

Din analiza de mai sus se desprind patru concluzii. În primul rând, problema principală a infrastructurii de transport s-a mutat de la finanțare la resursa umană: finanțarea de după 2021 nu are precedent recent, dar doar 11% dintre marii constructori spun că au suficient personal pregătit (Economica.net, 2023). În al doilea rând, într-un sector fragmentat, legătura dintre actori este o funcție economică reală, iar teoriile intermediarilor, ale legăturilor slabe și ale participării periferice legitime ajută la înțelegerea ei. În al treilea rând, Club Feroviar și CFiR funcționează ca o singură rețea: primul aduce informația, harta pieței și cele trei evenimente majore ale anului, al doilea orientarea și cariera, iar facultatea este prezentă în ambele. În al patrulea rând, punctul slab al modelului este lipsa măsurării rezultatelor. Știm câți oameni participă, dar nu știm încă ce se întâmplă cu ei după aceea, lucru care se poate schimba în următorii cinci ani.

Un nod feroviar nu are însă niciun rost fără trenurile care trec prin el. La fel, valoarea unei rețele profesionale stă în studenții, profesorii, inginerii și companiile care o folosesc, iar rețeaua există, în fond, datorită lor.

Timp de 145 de ani, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a fost unul dintre centrele acestei rețele. Îi urăm, din partea echipelor Club Feroviar și CFiR,

ca la 150 de ani să aibă în jurul ei o rețea și mai deschisă, despre care să putem spune, cu date, cât de mult a contat.

La mulți ani, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri!

Mulțumiri. Mulțumesc conducerii FCFDP pentru invitația de a contribui la acest volum, echipei CFiR pentru datele de participare puse la dispoziție și colegilor de la Club Feroviar pentru informațiile despre evenimente.

BIBLIOGRAFIE

Lucrări științifice

BURT, R. S. (**1992**). *Structural Holes: The Social Structure of Competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

ETZKOWITZ, H. ȘI LEYDESDORFF, L. (**2000**). *The dynamics of innovation: from National Systems and „Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations*. Research Policy, 29(2), 109–123.

GRANOVETTER, M. S. (**1973**). *The strength of weak ties*. American Journal of Sociology, 78(6), 1360–1380.

GRANOVETTER, M. S. (**1974**). *Getting a Job: A Study of Contacts and Careers*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

HOWELLS, J. (**2006**). *Intermediation and the role of intermediaries in innovation*. Research Policy, 35(5), 715–728.

LAVE, J. ȘI WENGER, E. (**1991**). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge: Cambridge University Press.

PERKMANN, M., TARTARI, V., MCKELVEY, M. ET AL. (**2013**). *Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university–industry relations*. Research Policy, 42(2), 423–442.

WENGER, E. (**1998**). *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*. Cambridge: Cambridge University Press.

YIN, R. K. (**2018**). *Case Study Research and Applications: Design and Methods (ed*. a 6-a). Thousand Oaks, CA: SAGE.

Surse documentare, presă și comunicări publice

AGERPRES (2024, 11 IUNIE). TÂRGUL DE CARIERĂ FEROVIARĂ ÎN ROMÂNIA: *25 de companii vin cu peste 140 de oferte în perioada 12–14 iunie. https://agerpres.ro/economic/**2024**/06/11/targul-de-cariera-feroviara-in-romania-25-de-companii-vin-cu-peste-140-de-oferte-in-perioada-12---14--1311421*

AGERPRES (2025, 27 februarie). Ziua Carierei Feroviare dedicată studenţilor/masteranzilor FCFDP – Împreună construim viitorul feroviar. https://agerpres.ro/economic/**2025**/02/27/ziua-carierei-feroviare-dedicata-studentilor-masteranzilor-fcfdp-impreuna-construim-viitorul-ferovia--1426161

AGERPRES (2026a, 26 ianuarie). Conferința de Infrastructură Club Feroviar 2026 aduce la Sighișoara liderii industriei feroviare din România și din Europa (comunicat, secțiunea Business OTS). https://agerpres.ro/ots/conferinta-de-infrastructura-club-feroviar-**2026**-aduce-la-sighisoara-liderii-industriei-feroviare-din--659309

AGERPRES (2026b, 2 martie). Începe Târgul de Carieră Feroviară în România. Două zile pentru cei care vor să discute direct cu angajatorii din domeniu (comunicat, secțiunea Business OTS). https://agerpres.ro/ots/incepe-targul-de-cariera-feroviara-in-romania-doua-zile-pentru-cei-care-vor-sa-discute-direct-cu-ang--659665

AGERPRES (2026c, 12 martie). Conferința de Infrastructură, locul unde se discută investițiile, proiectele și direcția reală a domeniului (comunicat, secțiunea Business OTS). https://agerpres.ro/ots/conferinta-de-infrastructura-locul-unde-se-discuta-investitiile-proiectele-si-directia-reala-a-domen--659786

AGERPRES (2026D, 18 MARTIE). DE LA INTERES LA INTERVIU: *peste 500 de participanți și zeci de companii la Târgul de Carieră Feroviară în România (comunicat, secțiunea Business OTS). https://agerpres.ro/ots/de-la-interes-la-interviu-peste-500-de-participanti-si-zeci-de-companii-la-targul-de-cariera-ferovia--659831*

AGERPRES (2026E, 23 APRILIE). A XX-A EDIȚIE A CONFERINȚEI DE MATERIAL RULANT & OPERATORIE FEROVIARĂ: *două zile în care industria feroviară românească se reunește la Arad (comunicat, secțiunea Business OTS). https://agerpres.ro/ots/a-xx-a-editie-a-conferintei-de-material-rulant-operatorie-feroviara-doua-zile-in-care-industria-fero--660177*

AGERPRES (2026f, 14 mai). Două vizite tehnice exclusive în cadrul Conferinței de Material Rulant la Arad: Railport Arad & ASTRA Vagoane Călători (comunicat, secțiunea Business OTS). https://agerpres.ro/ots/doua-vizite-tehnice-exclusive-in-cadrul-conferintei-de-material-rulant-la-arad-railport-arad-astra-v--660418

AGIR (**2007**). *Din istoria ingineriei românești*. Univers Ingineresc, nr. 16/2007. https://www.agir.ro/univers-ingineresc/numar-16-**2007**/din-istoria-ingineriei-romanesti-urmare-din-nr-trecut_1886.html

AGIR (**2015**). *„Zilele Feroviare”, la a zecea ediție*. Univers Ingineresc, nr. 21/2015. https://www.agir.ro/univers-ingineresc/numar-21-**2015**/„zilele-feroviare“-la-a-zecea-editie_5042.html

AGIR (**2020**). *140 de ani de la înființarea Direcției Princiare a Căilor Ferate Române, prilej de reflecție asupra situației actuale*. Univers Ingineresc, nr. 8/2020. https://www.agir.ro/univers-ingineresc/numar-8-**2020**/140-de-ani-de-la-infiintarea-

directiei-princiare-a-cailor-ferate-romane-prilej-de-reflectie-asupra-situatiei-actuale_6842.html

AGIR (**2023**). *Galele Feroviare 2023*. Premiu de Excelență pentru un inginer buzoian. Univers Ingineresc, nr. 24/2023. https://www.agir.ro/univers-ingineresc/numar-24-2023/galele-feroviare-**2023**-premiu-de-excelenta-pentru-un-inginer-buzoian_8250.html

AGIR (**2026**). *INS: Rețeaua de autostrăzi s-a extins cu 131 km în 2025*. Univers Ingineresc, nr. 8/2026. https://www.agir.ro/univers-ingineresc/numar-8-**2026**/ins-reteaua-de-autostrazi-s-a-extins-cu-131-km-in-2025_9071.html

BURSA (**2013**, 25 IULIE). CLUB FEROVIAR: *„Starea de fapt a domeniului feroviar nu poate fi imputată lipsei unui holding”. https://www.bursa.ro/club-feroviar-starea-de-fapt-a-domeniului-feroviar-nu-poate-fi-imputata-lipsei-unui-holding-84822129*

Catalog Feroviar (f.a.). Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri (FCFDP), Universitatea Tehnică de Construcții București. https://catalogferoviar.ro/catalog/9406/facultatea-de-cai-ferate-drumuri-si-poduri-universitatii-tehnice-de-constructii-bucuresti/, accesat la 14 octombrie **2026**.

CFIR (**2026**). *Săptămâna Carierei Inginerului CFDP 2026: materiale de prezentare ale evenimentului și date de participare 2022–2025, furnizate de organizatori*. https://cfir.ro/saptamana-carierei-inginerului-cfdp/

CLUB FEROVIAR (**2026a**). *clubferoviar.ro*. https://www.clubferoviar.ro/, accesat la 13 octombrie **2026**.

CLUB FEROVIAR (**2026b**). *Conferințele Club Feroviar*. https://www.conferinteleclubferoviar.ro/, accesat la 14 octombrie **2026**.

CLUB FEROVIAR (F.A.). CURTEA DE CONTURI: *peste 65% dintre angajații CFR Marfă au peste 50 de ani. https://clubferoviar.ro/curtea-de-conturi-peste-65-dintre-angajatii-cfr-marfa-au-peste-50-de-ani/*

Comisia Europeană (2019, 12 februarie). European Commission adopts report on the development of the rail market. https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/european-commission-adopts-report-development-rail-market-**2019**-02-12_en

Comisia Europeană (2025, 30 iulie). Ninth monitoring report on the development of the rail market under Article 15(4) of Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council (COM(**2025**) 439 final). https://transport.ec.europa.eu/document/download/49ed336c-86ea-461c-b20c-1397fab497f5_en?filename=COM_2025_439_F1_REPORT_FROM_COMMISSION_EN_V2_P1_4191768.PDF

Digi24 (**2025**, 16 august). Cazul liniei de tren închise la un an de la deschidere. Anterior, călătorii au așteptat 19 ani redeschiderea traseului. https://www.digi24.ro/stiri/economie/transporturi/cazul-liniei-de-tren-inchise-la-un-an-de-la-deschidere-anterior-calatorii-au-asteptat-19-ani-redeschiderea-traseului-3374673

ECONOMEDIA (2023A, 2 OCTOMBRIE). INVESTIȚIILE CFR INFRASTRUCTURĂ PENTRU PERIOADA 2023–2026: *24 de miliarde de lei pentru lucrări de întreținere și reînnoire a liniilor de tren. https://economedia.ro/investitiile-cfr-infrastructura-pentru-perioada-2023-**2026**-24-de-miliarde-de-lei-pentru-lucrari-de-intretinere-si-reinnoire-a-liniilor-de-tren-lungimea-retelei-electrificate-creste-de-la-4030-km-la.html*

ECONOMEDIA (2023B, 14 DECEMBRIE). LINIA DE TREN BUCUREȘTI–GIURGIU, PRIMUL DRUM DE FIER ROMÂNESC: *Guvernul aprobă o investiție de aproape 3 miliarde lei pentru modernizare și electrificare. 500 de milioane de euro, finanțarea prin CEF. https://economedia.ro/linia-de-tren-bucuresti-giurgiu-guvernul-aproba-o-investitie-de-aproape-3-miliarde-lei-pentru-modernizare-si-electrificare-500-de-milioane-de-euro-finantarea-prin-cef.html*

Economedia (**2026**, 4 februarie). Târgul de Carieră Feroviară în România va avea loc în luna martie. https://economedia.ro/?p=317823

Economica.net (**2023**, 23 octombrie). Deficitul forței de muncă, cea mai mare problemă a constructorilor din România – analiză (studiu IBC Focus, prin AGERPRES). https://www.economica.net/deficitul-fortei-de-munca-cea-mai-mare-problema-a-constructorilor-din-romania-analiza_701323.html

EURONEWS ROMÂNIA (**2022**, 20 DECEMBRIE). PROGRAMUL TRANSPORT, APROBAT DE COMISIA EUROPEANĂ. *HTTPS://www.euronews.ro/articole/programul-transport-aprobat-de-comisia-europeana-romaniei-i-a-fost-alocata-suma-d*

EUROPA LIBERĂ ROMÂNIA (**2022**, 27 OCTOMBRIE). ȚARĂ ÎN SERVICE | MILIARDE PENTRU ȘINE: *lucrările de modernizare ale CFR au întârziere. https://romania.europalibera.org/a/investitii-de-miliarde-pentru-ca-trenul-sa-ajunga-cu-10-minute-mai-repede/32101370.html*

FCFDP (**2021**). *140 ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor*. https://fcfdp.utcb.ro/140ani/, accesat la 14 octombrie **2026**.

FCFDP (F.A.). FACULTATEA DE CĂI FERATE, DRUMURI ȘI PODURI. *HTTPS://fcfdp.utcb.ro/, accesat la 14 octombrie **2026**.*

G4Media (2025, 16 octombrie). Tunelurile feroviare între Racoș și Homorod și Racoș–Ormeniș, pe tronsonul Apața–Cața, ar putea fi gata în decembrie 2026. https://www.g4media.ro/tunelurile-feroviare-intre-racos-si-homorod-si-racos-ormenis-pe-tronsonul-apata-cata-ar-putea-fi-gata-in-decembrie-**2026**.html

G4Media (**2026**, 27 mai). Sindicaliştii feroviari avertizează asupra riscului unei crize fără precedent la CFR SA. https://www.g4media.ro/sindicalistii-feroviari-avertizeaza-asupra-riscului-unei-crize-fara-precedent-la-cfr-sa.html

INFRASTRUCTURA.RO (2025, 18 NOIEMBRIE). UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI. *HTTPS://infrastructura.ro/**2025**/11/18/universitatea-tehnica-de-constructii-bucuresti/*

RAILWAY DAYS (**2026**). *Zilele Feroviare – Railway Days 2026, ediția a XXI-a*. https://railwaysummit.com/, accesat la 14 octombrie **2026**.

RAILWAY PRO (F.A.). ALBA IULIA HOSTS THE FIRST OF CLUB FEROVIAR CONFERENCES. *HTTPS://railwaypro.com/wp/?p=81775*

Știri pe surse (2023, 18 decembrie). Buget record pentru Ministerul Transporturilor în 2024. Sorin Grindeanu anunță cum vor fi cheltuiți banii. https://www.stiripesurse.ro/buget-record-pentru-ministerul-transporturilor-in-**2024**-sorin-grindeanu-anunta-cum-vor-fi-cheltuiti-banii_3175427.html

TVR Info (2024a, 24 mai). Căile ferate din România sunt electrificate cu viteza melcului. 73 de kilometri, electrificați în 30 de ani. https://tvrinfo.ro/caile-ferate-din-romania-sunt-electrificate-cu-viteza-melcului-73-de-kilometri-electrificati-in-30-de-ani/

TVR Info (2024b, 31 mai). Circulația feroviară pe podul feroviar de la Grădiștea se va redeschide sâmbătă. https://tvrinfo.ro/circulatia-feroviara-pe-podul-feroviar-de-la-gradistea-se-va-redeschide-sambata-trenurile-vor-circula-direct-pe-relatia-bucuresti-giurgiu/

UTCB (F.A.). HISTORY. *HTTPS://utcb.ro/en/discover/history/, accesat la 13 octombrie **2026**.*

CADRE – UN SIMBOL AL CFDP

Chiotan Corina, Șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, email: corina.chiotan@utcb.ro;
Chiotan Claudia, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, email: claudia.chiotan@phd.utcb.ro;
Grigore Petre-Constantin, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, email: petre-constantin.grigore@phd.utcb.ro;
Macri Elena-Laura, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, email: elena-laura.macri@phd.utcb.ro;
Pirontea George, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, email: george.pirontea@utcb.ro;
Zdrenghea Bianca-Andreea, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, email: bianca-andreea.zdrenghea@phd.utcb.ro.

Rezumat

Un concurs început acum 11 ani și care, în timp, a devenit un eveniment studențesc național, CADRE înseamnă pentru comunitatea Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri un pol de atracție între manifestările științifice și culturale.

Istoria lui este strâns împletită cu viața studențească, iar faptul că nu a fost omisă nicio ediție, în nicio circumstanță, dovedește importanța concursului atât pentru studenții noștri, cât și pentru ceilalți studenți din domeniul ingineriei civile din centrele universitare din țară și din Republica Moldova.

Ediție după ediție, concursul CADRE dovedește rolul său esențial în formarea viitorilor ingineri constructori și în consolidarea cooperării academice între universitățile de profil. De asemenea, acesta rămâne un reper al excelenței academice și o platformă de afirmare pentru tinerii pasionați de ingineria structurală.

Cuvinte cheie: CADRE, studenți, machete, pod, fermă.

Abstract

Launched 11 years ago and having since evolved into a national student event, CADRE serves as a focal point for scientific and cultural activities within the community of the Faculty of Railways, Roads and Bridges.

Its history is closely intertwined with student life; the fact that not a single edition has been missed—under any circumstances—demonstrates the significance of this competition, both for our own students and for those studying civil engineering at universities across the country and in the Republic of Moldova.

Edition after edition, the CADRE competition has proven its essential role in training future civil engineers and in strengthening academic cooperation among universities with civil engineering programmes. Moreover, it remains a benchmark of academic excellence and a platform for young people passionate about structural engineering to showcase their skills.

Keywords: CADRE, students, models, bridge, truss.

1. ÎNCEPUTUL

În 2015, în planul de învățământ al Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri era inclusă disciplina „Construcții din lemn”. Tot atunci am întâlnit una dintre cele mai bune și mai inventive generații de studenți ai acestei facultăți.

Așa că nu am fost foarte surprinși de faptul că, pe 3 mai 2015, am primit de la liderul generației un mail în care se propunea organizarea unui concurs de machete de poduri din lemn, asemănător cu ceea ce văzuseră studenții de atunci pe YouTube, la alte universități. Lucian Matei scria: „Am făcut un sondaj pe grupul nostru de Facebook și 20 de studenți ar vrea un astfel de concurs. Pe lângă stimularea creativității, lucrul în echipă, consolidarea cunoștințelor etc. ar fi și o foarte bună reclamă pentru facultatea noastră. Sunt sigur că, dacă fiecare participant va posta un astfel de video pe pagina de Facebook a liceului pe care l-a terminat, vom avea o surpriză plăcută la sesiunea următoare de admitere în ciclul I.”

Sincer, nu ne amintim foarte exact dacă perspectiva de a atrage potențiali studenți sau entuziasmul generației de atunci a fost motivul pentru care am acceptat implicarea în organizarea unui astfel de concurs. Credem că al doilea motiv a contat mai mult, pentru că a urmat o dezbatere foarte susținută despre participarea studenților, regulamentul și promovarea concursului.

Cei mai activi studenți care s-au implicat în activitatea de creare a „Concursului de machete de poduri din lemn”, așa cum se numea pe atunci, au

fost Lucian Matei, Ștefan Cojocaru și Alexandru Savin, din anul III CFDP. Ei au participat la stabilirea regulamentului de desfășurare a concursului, realizarea unei machete de probă și încercarea acesteia la Laboratorul de Materiale de Construcție din cadrul UTCB, popularizarea concursului în rândul studenților de anul IV și Master și organizarea primei ediții a concursului în perioada 26–30 octombrie 2015.

Așa am pornit la drum...

2. PRIMA EDIȚIE

După vacanța de vară, cu forțe proaspete, am strâns 11 studenți curajoși, din anul IV CFDP și anii I și II Master „Poduri și Tuneluri”, care au realizat, singuri sau în echipe de câte doi studenți, 7 machete de poduri din lemn.



Figura 1. Participanții la prima ediție a concursului

Aceștia au fost: Ștefan Cojocaru, Alexandru Savin, Lucian Matei, Monica Anghel, Dana Iova, Cătălin Moise, Alexandru Zarculea, Marius Hazaparu, Valeriu Dobre, Liviu Alexa și Ionuț Tămăduianu.



Figura 2. Încercarea machetelor la prima ediţie a concursului

Împreună cu colegii lor am urmărit cu sufletul la gură încercarea machetelor, realizată în Laboratorul de Materiale de Construcție.

3. CONCURSUL ÎN CADRUL C.F.D.P.

La următoarele două ediţii ale concursului au participat numai studenţi din cadrul Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri.



Figura 3. Premierea câștigătorilor celei de-a doua ediții a concursului

Din ce în ce mai mulţi studenţi au găsit curajul de a realiza singuri machete de poduri, care să fie supuse încercării. Fiecare se simțea un Anghel Saligny și voia să știe cum se va comporta structura gândită și construită de el.

La a doua ediție, cea din 2016, au participat 11 echipe din anul IV C.F.D.P., 5 din anul I și una din anul II Master „Poduri și Tuneluri”, în total 17 echipe, însemnând participarea a 31 de studenți.

La cea de-a III-a ediție, concursul a fost „botezat” CADRE și a primit un logo, cu ajutorul domnului Prorector, șef lucrări dr. ing. Cezar Vlăduț. A rămas totuși în cadrul Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, dar cu mai mulți participanți, atât de la ciclul I, de licență, cât și de la cele două programe de master, „Poduri și Tuneluri” și „Ingineria Infrastructurii Transporturilor”.

4. EVOLUȚIA CONCURSULUI

Dacă în 2017 concursul a primit un nume, cea de-a IV-a ediție, cea din 2018, a adus două noutăți importante: a fost realizată și o secțiune pentru machete de ferme de acoperiș, dedicată studenților de la Facultățile de Construcții Civile, dar, și mai important, concursul a devenit național, participând și studenți de la alte universități: Academia Tehnică Militară „Ferdinand I”, Universitatea Transilvania din Brașov, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.



Figura 4. Încercarea machetelor în 2018

Iar în 2019 concursul a devenit internațional, participând și studenți de la Universitatea Tehnică a Moldovei.



Figura 5. Ediția din 2019

5. PERIOADA 2020 – 2021

Între timp, omenirea a trecut printr-o perioadă complicată, provocată de virusul SARS-CoV-2. Determinarea organizatorilor de a nu renunța a făcut ca acest concurs să se desfășoare și în această perioadă.

Materialele de construcție au fost trimise participanților, aceștia au realizat machetele și le-au trimis prin curier organizatorilor.

Machetele au fost încercate, iar frumusețea lor a fost apreciată de către juriul format din cadre didactice de la toate universitățile participante, online. Încercările au fost transmise în direct, participanții putând fi martori la „ruperea” tuturor machetelor.



Figura 6. Încercarea machetelor în 2021

În condițiile date, a existat un număr semnificativ de concurenți, 47 de studenți la ediția din 2020 și 44 de studenți la cea din 2021.

Chiar dacă toți concurenții au privit de acasă încercarea machetelor și nu ne-am putut bucura de o seară pe care să o petrecem împreună, emoția a fost la același nivel ca și când participanții ar fi fost prezenți fizic.

6. ULTIMELE EDIȚII

În 2022, atât organizatorii, cât și studenții au fost dornici să participe fizic la concurs. Din acel an numărul participanților a crescut substanțial, fiind prezenți studenți de la Universitatea Tehnică de Construcții București, Academia Tehnică Militară „Ferdinand I”, Universitatea Transilvania din Brașov, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, Universitatea Politehnica din Timișoara, dar și de la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Astfel, în 2022, au fost 110 participanți, 64 la secțiunea de poduri și 46 la secțiunea de ferme de acoperiș.

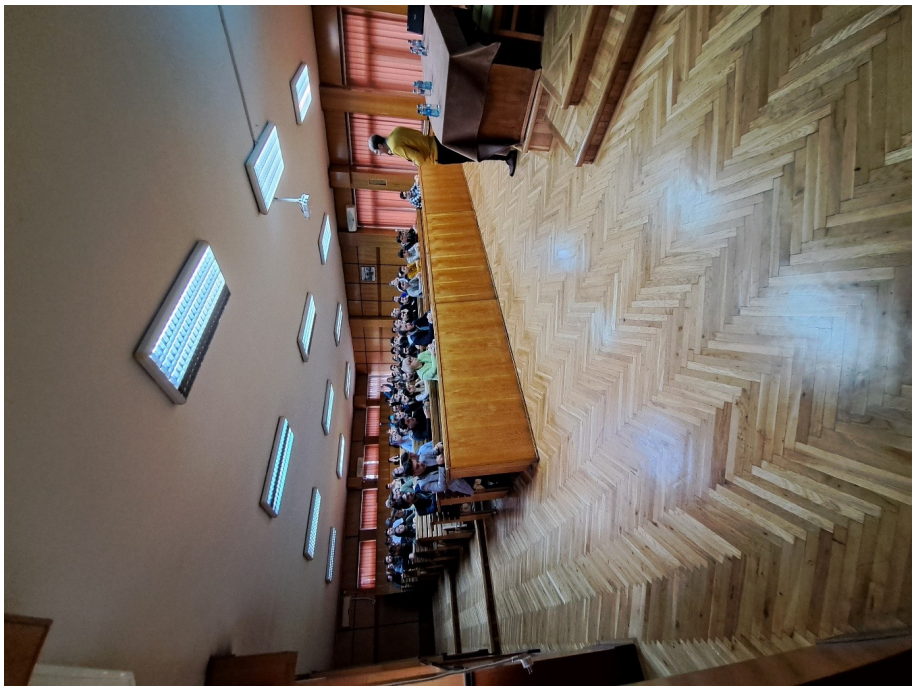


Figura 7. Ediția din 2022

În 2023, la cea de-a IX-a ediție a „Concursului de Machete de Poduri şi Ferme din Lemn” – CADRE, au participat 105 studenți, grupați în 35 de echipe la secţiunea de poduri şi 23 de echipe la secţiunea de ferme.



Figura 8. Expoziţia machetelor în 2023

Pe nesimţite a venit anul 2024, an în care concursul nostru a ajuns la cea de-a X-a ediţie. La ceas aniversar ne-au stat alături iniţiatorii lui, care au venit cu mare plăcere să vadă evoluţia şi transformarea lui într-un concurs studenţesc de

mare anvergură. Prezența a peste 120 de participanți a făcut ca această ediție să fie una de mare succes.



Figura 9. După 10 ani!



Figura 10. Expoziția din 2024

Apoi, în 2025, concursul și-a menținut gradul de interes, studenții din cele șapte universități trimițând peste 100 de machete de poduri și ferme din lemn.



Figura 11. O parte din organizatorii ediției din 2025



Figura 12. Participanții la ediția din 2025

Au participat 99 de studenți de la Universitatea Tehnică de Construcții București, 23 de studenți de la Academia Tehnică Militară „Ferdinand I”, 30 de la Universitatea Transilvania din Brașov, 11 de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 18 de la Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, 7 de la Universitatea Politehnica din Timișoara și 19 studenți de la Universitatea Tehnică a Moldovei.

7. ORGANIZATORI

La primele ediţii ale concursului, cele desfăşurate doar în cadrul Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, cei care au organizat concursul au fost cadrele didactice de la Departamentul de Rezistenţa Materialelor, Poduri şi Tuneluri: prof. dr. ing. Ionuț Radu Răcănel, șef lucrări dr. ing. Vlad-Daniel Urdăreanu, șef lucrări dr. ing. Cristian Lucian Ghindea, șef lucrări dr. ing. Radu-Iuliu Cruciat, șef lucrări dr. ing. Gheorghe-Andrei Pricopie, șef lucrări dr. ing. Corina Chiotan, precum și dna. Mirela Giura, secretara departamentului. Ei au fost ajutați de colegii de la Departamentul de Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, conf. dr. ing. Marin Amăreanu, asist. dr. ing. Flaviu Ioan Nică și echipa de tehnicieni de la Laboratorul de Materiale de Construcție.

Un sprijin esențial a fost asigurat, la ediţiile din pandemie şi ulterioare, de către dl drd. ing. George Pirontea, care s-a ocupat ani buni atât de transmiterea

online a încercărilor, de trimiterea materialelor şi primirea machetelor la universităţile partenere, cât şi de realizarea paginii concursului.

Pe măsură ce concursul s-a dezvoltat, au fost cooptaţi în comitetul de organizare şef lucrări dr. ing. Doru Zdrenghea şi apoi, colegii noştri mai tineri, drd. ing. Claudia Chiotan, drd. ing. Elena-Laura Macri, drd. ing. Bianca-Andreea Zdrenghea şi drd. ing. Petre-Constantin Grigore.

Întotdeauna, conducerea Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri – facultate organizatoare, prin dna. Prodecan şi apoi Decan, conf. dr. ing. Mirela-Mădălina Stoian şi ulterior dl. Decan, conf. dr. ing. Adrian Burlacu, a sprijinit, prin toate mijloacele şi în toate circumstanţele, an de an, organizarea competiţiei.

Apoi, când concursul CADRE a căpătat o anvergură mai mare, ne-a fost alături şi conducerea Universităţii Tehnice de Construcţii Bucureşti, îndeosebi dl. Prorector, şef lucrări dr. ing. Cezar Vlăduţ şi dna. Director General Administrativ, ec. Lucia-Nicoleta Iancu.

Iar la ultimele ediţii ale concursului CADRE, un rol notabil în buna desfăşurare a lui l-a avut şi Fundaţia Academică UTCB.

Un partener de nădejde în organizarea concursului CADRE a fost, de-a lungul timpului, Asociaţia Studenţilor Constructori Bucureşti, ASCB.

Dar *cei mai importanţi în organizarea şi derularea acestei competiţii* au fost, în fiecare an, studenţii anului IV al Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri. Aceştia au făcut posibile organizarea expoziţiei, uneori pentru peste 100 de machete, primirea şi înscrierea participanţilor, măsurarea şi cântărirea machetelor, fotografierea acestora, realizarea ecusoanelor şi a diplomelor. Chiar dacă, în cuvinte, aceste activităţi încap pe câteva rânduri, ele însumează zeci de ore consumate într-o perioadă plină de teme, proiecte şi examene parţiale.

Pentru această activitate susţinută le suntem recunoscători foştilor sau actualilor studenţi: Andrei-Alexandru Anghelescu, Radu-Georgian Crăciun-Oancea, Emilian-Ştefan Ioniţă, George-Robert Pîrlici, Mara Tomescu, Claudia Chiotan, Alexandra-Valentina Buturugă, Marylenne Diaconu, George Pirontea, Iulia Balamaci, Paula Talambă, Andra-Ioana Bucur, Cristina-Simona Andreica, Alexandra-Elena Făcăleţ, Mihai Muşat, Armand-Cătălin Ocu, Elena-Laura Macri, Elena Pîrvu, Ioana Badea, Andrei Popescu, Marius Drăgan, Andrei Dincă, Anca-Teodora Stoica, Maria-Alexandra Vinţan, Alexia-Maria Radu, Bogdan Ion, Bogdan-Constantin Gavrilescu, Marcel-Vasile Juravle, Gabriel Spătaru, Alexandru Apostul, Estefania Brănescu, Andreea Slapacov, Andrei-Cristian Ştefanache, Marius Gheorghe, Victor Teodorescu, Serafim Spînache, Sydonia Vârlan, Alex-Mihai Baltariu, Ştefan Stanciu, Andrei Iacobescu, Radu Răceanu,

Ionut-Florin Rusu, Claudiu Stanciu, Bogdan Adam, Andrei Liciu, Robert-Costin Neagu, Sabin Vâlcu.

8. PARTENERII CONCURSULUI

Odată cu evoluția concursului, am simțit nevoia unor parteneri care să susțină participarea a cât mai mulți studenți, precum și premisele unor premii atractive și ale unei atmosfere cât mai calde. Bineînțeles, i-am găsit.

VIAPONTE ROM S.R.L. și *A.P.D.P. – Filiala București* au fost primii noștri parteneri, la ediția din 2016.

Apoi, ni s-au alăturat *DOMARCONS S.R.L.*, *SPECTROMAS S.R.L.*, *ARHIPROPUB S.R.L.*, *REBELIS CONSTRUCȚII S.R.L.*, *PETROUZINEX S.R.L.*, *CONSITRANS S.R.L.*, *QUADRANTE VIAPONTE PROIECTARE SI CONSULTANTA S.R.L.*, *GEODOR Proiect S.R.L.*, *CONI S.R.L.*, *DB Engineering & Consulting GmbH Sucursala București România*, *GENERAL TRUST ARGEȘ S.R.L.*, *RETTER Projectmanagement S.R.L.*, *COVAMAR S.R.L.*, *MARISTAR COM S.R.L.*, *GEO ARC S.R.L.*, *AERO PROJECT S.R.L.* și *CRAMA ȘARBA.*

Unii ne-au susținut la mai multe ediții, alții la mai puține, dar sprijinul primit a fost esențial pentru buna organizare a concursului.

9. ÎN LOC DE CONCLUZII

Acum ne pregătim pentru cea de-a XII-a ediție, ce se va desfășura în perioada 10 – 12 decembrie 2026 și la care deja și-au anunțat intenția de a participa 120 de studenți. Suntem convinși că și de această dată CADRE va fi o competiție de referință în viața studențească a Universității Tehnice de Construcții București.

Anticiparea rezultatelor proprii sau ale colegilor, emoțiile privind locul ocupat de macheta care a fost construită în mai multe zile și mai ales nopți, micile sau mai marile dezamăgiri, precum și imensa bucurie de a fi câștigător au fost la fel de intense de la prima ediție până la cea din urmă și credem că vor rămâne la fel pe toată durata cât se va desfășura concursul.

SECŢIUNEA A.
MARI PERSONALITĂŢI ROMÂNEŞTI DIN DOMENIUL INFRASTRUCTURII TRANSPORTURILOR

★ 1881 – 2026 ★

PROFESORUL IOSIF CRAUS – DE LA ȘCOALA BUCUREȘTEANĂ DE DRUMURI LA TECHNION HAIFA

Anton Valentin, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: valentin.anton@utcb.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro

Rezumat

Articolul reconstituie, pe baza surselor documentare disponibile, viața și activitatea profesorului Iosif (Josef) Craus, născut la 16 decembrie 1926 la Bacău, unul dintre formatorii școlii românești de drumuri din a doua jumătate a secolului al XX-lea. Absolvent al Institutului de Construcții București (1951), a parcurs aici toate treptele didactice, de la asistent la profesor universitar, și a condus Facultatea de Drumuri și Poduri ca decan în perioada 1958–1968. Este coautor al tratatului „Drumuri” (Editura Tehnică, 1966), distins cu premiul Ministerului Învățământului și citat și astăzi în literatura de specialitate. Din 1975 și-a continuat cariera la Technion – Israel Institute of Technology din Haifa, unde a devenit profesor emerit în 1995, și a colaborat cu Universitatea California din Berkeley, inclusiv în programul american de cercetare rutieră SHRP. Contribuțiile sale privesc filerele și interfața filer – bitum, comportarea la oboseală și la deformații permanente a structurilor rutiere suple și corelarea elementelor geometrice ale drumului cu caracteristicile traficului. Sursele folosite sunt arhiva revistei Drumuri Poduri, presa românească digitizată din perioada 1957–1972 și publicațiile internaționale ale profesorului.

Cuvinte cheie: Iosif Craus, istoria învățământului tehnic, drumuri, Institutul de Construcții București, Technion, mixturi asfaltice, geometria drumurilor.

Abstract

The paper reconstructs, from the available documentary sources, the life and work of Professor Iosif (Josef) Craus, born on 16 December 1926 in Bacău, one of the founders of the Romanian school of road engineering in the second half of the 20th century. A graduate of the Civil Engineering Institute of Bucharest (1951), he rose there from assistant to full professor and served as dean of the Faculty of Roads and Bridges between 1958 and 1968. He co-authored the treatise “Drumuri” (Roads, Editura Tehnică, 1966), which received the award of the Ministry of Education and is still cited in the technical literature. From 1975 he continued

his career at Technion – Israel Institute of Technology in Haifa, where he became professor emeritus in 1995, and he collaborated with the University of California at Berkeley, including within the US Strategic Highway Research Program (SHRP). His contributions address mineral fillers and the filler – bitumen interface, fatigue and permanent deformation of flexible pavements, and the relationship between highway geometric design and traffic characteristics. The sources are the archive of the Drumuri Poduri journal, digitised Romanian press from 1957–1972 and the professor’s international publications.

Keywords: Iosif Craus, history of engineering education, road engineering, Civil Engineering Institute of Bucharest, Technion, asphalt mixtures, highway geometric design.

1. INTRODUCERE

Aniversarea a 145 de ani de învățământ tehnic ingineresc în domeniul infrastructurii transporturilor este un prilej de a readuce în atenţie personalităţile care au format generații de ingineri de drumuri. Între acestea, profesorul Iosif Craus ocupă un loc aparte: a condus Facultatea de Drumuri şi Poduri din București timp de un deceniu, a scris, împreună cu Traian Mătăsaru şi Stelian Dorobanţu, tratatul „Drumuri” din 1966 şi şi-a încheiat cariera ca profesor emerit la Technion din Haifa, cu lucrări publicate în reviste internaționale de referință.

Biografia profesorului nu a fost publicată până acum într-o formă unitară. Lucrarea de față adună informațiile disponibile din trei categorii de surse: (i) arhiva revistei Drumuri Poduri a Asociației Profesionale de Drumuri şi Poduri din România, în special necrologul publicat în 2011 [1] şi relatarea momentului omagial organizat la Universitatea Tehnică de Construcții București (UTCB) [2]; (ii) presa şi publicațiile tehnice românești digitizate din perioada 1957–1972; (iii) lucrările științifice publicate de profesor în străinătate. Au fost folosite numai informațiile care pot fi atribuite unei surse; acolo unde sursele lasă lacune, acest lucru este menționat explicit.

În documentele vremii numele apare sub mai multe forme: Iosif Craus, Iosif Kraus – de exemplu în *Lexiconul Tehnic Român* [3] – şi Iosef sau Josef Craus, în publicațiile din Israel şi în cele internaționale, unde semnează J. Craus.

2. ORIGINI ŞI FORMARE

Iosif Craus s-a născut la 16 decembrie 1926, la Bacău, unde a urmat şcoala primară şi gimnaziul [1]. A studiat la Institutul de Construcții București, instituție

înființată în 1948 prin desprinderea Facultății de Construcții din Școala Politehnică, și a obținut titlul de inginer în anul 1951, cu Diplomă de Merit [1]. După absolvire și-a început cariera didactică, ca asistent, la Facultatea de Construcții Drumuri și Poduri din București [1].



Figura 1. Profesorul Iosif Craus

3. ACTIVITATEA LA INSTITUTUL DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

3.1. Treptele carierei didactice

Între 1952 și 1971 a ocupat succesiv posturile de asistent, lector și lector superior (conferențiar), iar din 1971 pe cel de profesor universitar [1]. Documentele epocii confirmă aceste etape. În 1957, *Buletinul Institutului Politehnic București* îl menționează ca lector în biroul Secției „Drumuri și Poduri” a unei sesiuni științifice, alături de conf. Ion Stănculescu și de lectorul Stelian Dorobanțu [4]. În aceeași perioadă a fost colaborator al *Lexiconului Tehnic Român*, coordonat de Remus Răduleț, pentru domeniul „Drumuri”, fiind trecut în lista colaboratorilor ca inginer și lector universitar [3].

În 1966 și 1967 presa centrală îl prezintă drept conferențiar și decan [5, 6], iar în martie 1972, ca prof. dr. ing., participa la o consfătuire a conducerilor direcțiilor județene de drumuri și poduri, relatată de *Tribuna Sibiului* [7].

3.2. Decanatul (1958–1968)

În perioada 1958–1968 profesorul Craus a fost decanul Facultății de Drumuri și Poduri [1]; în 1966–1967 aceasta purta denumirea de Facultatea de Construcții Feroviare, Drumuri și Poduri [5, 6]. În august 1966, în *Scînteia*

Tineretului, decanul prezenta candidaților facultatea și cele trei secții ale acesteia [5], iar în martie 1967 se număra printre cadrele didactice intervievate de *România Liberă* [6]. Editorialul revistei Drumuri Poduri din 2011 îl așază primul în lista cadrelor didactice „de mare valoare” care au condus facultatea [8].

Autorul necrologului subliniază grija decanului față de studenți, manifestată prin cunoașterea personală a aproape fiecărui student din facultate [1]. Un absolvent intrat la facultate în 1960 își amintește cuvintele adresate de decan la încheierea studiilor: „Sunteți generația Porților de Fier și vă așteaptă sarcini grele” [9].

Tot ca decan, după decesul academicianului Nicolae Profiri (22 septembrie 1967), conf. I. Craus a propus Consiliului profesoral ca sala I.4, în care profesorul Profiri își ținuse prelegerile mai bine de zece ani, să îi poarte numele; propunerea a fost aprobată [10].

3.3. Opera didactică

Lucrările didactice ale profesorului Craus acoperă disciplina drumurilor de la proiectare până la întreținere și exploatare (tabelul 1). Volumul scris împreună cu Aurel Vlad, în care partea a doua, consacrată lucrărilor de întreținere, îi aparține lui Iosif Craus, a fost prezentat în revista *Arhitectura* în 1957 [11]. Lucrarea „Studiul și proiectarea drumurilor”, scrisă împreună cu V. Guțu, figurează și astăzi în bibliografia unor cursuri universitare [12].

Tabelul 1. Manuale și tratate publicate în România

Anul	Titlul	Coautori	Editura / sursa
anii ’50	*Drumuri moderne. Suprastructura, întreținerea, exploatarea*	Aurel Vlad	semnalată în [11]
1960	*Căi de comunicații*	Dimitrie Atanasiu, Traian Mătăsaru	Ed. Didactică și Pedagogică [13]
1966	*Drumuri* (852 p.)	Traian Mătăsaru, Stelian Dorobanțu	Editura Tehnică [14]
n.c.	*Studiul și proiectarea drumurilor*	V. Guțu	Editura Tehnică [12]

n.c. – anul apariției nu a putut fi confirmat.

Tratatul „Drumuri” (Editura Tehnică, 1966, 852 de pagini) [14] a primit premiul Ministerului Învățământului pe anul 1966 și a fost recenzat în revistele „Routes” (Franța) și „Le Strade” (Italia) [1]; o prezentare a apărut și în revista maghiară *Mélyépítéstudományi Szemle* în 1968 [15]. Potrivit necrologului,

primele manuale românești de drumuri au introdus preocupări privind confortul optic, adică o coordonare spațială mai bună a traseului prin suprapunerea elementelor geometrice în plan, în profil longitudinal și în profil transversal [1].

4. CARIERA LA TECHNION ȘI COLABORAREA CU BERKELEY

Din 1975 profesorul Craus a activat la Departamentul de Inginerie Civilă al Technion – Israel Institute of Technology din Haifa, unde a obținut succesiv titlurile de cercetător senior asociat, profesor asociat, profesor și, din 1995, profesor emerit [1]. A fost șef de catedră și director al Institutului de Cercetări în Transporturi [1]. Prima lucrare identificată cu afiliere la Technion datează din 1977: un studiu al curbelor de racordare progresivă, publicat împreună cu Abishai Polus în *Transportation Research Record* [16].

Activitatea didactică și științifică s-a desfășurat și la Universitatea California din Berkeley și la Universitatea Politehnică din New York [1]. Colaborarea cu Berkeley este documentată de raportul SHRP-A-312 (1990), în care J. Craus apare ca profesor de inginerie civilă la Institute of Transportation Studies, alături de S.C.S.R. Tangella, J.A. Deacon și C.L. Monismith [17]. Profesorul a fost membru al Asociației Inginerilor și Arhitecților din Israel, al Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT, SUA) și al Asociației Cercetătorilor în Transporturi din Israel [1].

5. CONTRIBUȚII ȘTIINȚIFICE

De-a lungul anilor, au fost consemnate peste o sută de titluri, publicate în reviste precum *Transportation Research Record*, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, *Transportation Research, Traffic Engineering and Control*, *Journal of Materials Science*, *Transportation Engineering Journal of ASCE* și *Strasse und Verkehr* [1]. Contribuțiile se grupează în trei direcții.

5.1. Filerele și interfața filer – bitum

Studiul publicat în 1978 în *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, împreună cu I. Ishai și A. Sides, analizează interacțiunea fizico-chimică dintre bitum și filer – geometria particulelor, adsorbția și sorbția selectivă – și compară șase tipuri de filer prin reologia masticului și rezistența mixturilor nisip – bitum [18]. Tema a fost reluată în 1996, împreună cu I. Ishai,

într-un studiu despre efectul caracteristicilor agregatelor şi filerului asupra comportării şi durabilităţii mixturilor asfaltice [19]. Din cele 17 titluri ale lucrării de sinteză despre filere publicate de Asphalt Institute (SUA) în 1983, patru poartă semnătura profesorului Craus [1].

5.2. Structurile rutiere suple: oboseală şi deformaţii permanente

În prima parte a activității, preocuparea principală a fost evaluarea critică a metodelor de calcul şi dezvoltarea teoretică a calculului tasării şi al presiunilor dintre straturi la structurile bistrat, considerând straturile asfaltice ca o placă subțire, infinită, rezemată pe un semispațiu elastic [1]. Colaborarea cu Berkeley a vizat comportarea la oboseală şi apariția fisurilor în sistemele rutiere suple, deformațiile permanente (cauzele făgaşelor) şi efectul vehiculelor cu greutate excepțională. Rezultatele au fost publicate în reviste de specialitate, în rapoartele SHRP şi în raportul final al unei cercetări comandate de Departamentul de Transporturi al statului California [1].

Dintre lucrările sale, se evidențiază lucrarea „Fatigue Behaviour of Thin Asphalt Concrete Layers in Flexible Pavement Structure”, dedicată straturilor asfaltice subțiri (sub 10 cm). Lucrarea arată că modulul de rigiditate al stratului asfaltic, presiunea de contact, grosimea straturilor de bază şi de fundație şi modulul lor rezilient influențează diferit straturile subțiri şi pe cele groase şi propune un model de oboseală care modifică ecuația lui Finn, stabilită pentru straturi mai groase de 10 cm [1]. Raportul SHRP-A-312 trece în revistă metodele de laborator pentru studiul oboselii mixturilor asfaltice şi reține ca cele mai promițătoare încercările de încovoiere simplă, încercările diametrale şi metodele mecanicii ruperii [17]. Potrivit aceleiaşi surse, una dintre concluziile principale ale acestor cercetări a fost superioritatea straturilor asfaltice groase în limitarea fisurilor şi a făgaşelor, ceea ce a contribuit ulterior la utilizarea sistemelor rutiere suple cu straturi asfaltice de peste 20 cm [1].

5.3. Geometria drumului şi traficul

A treia direcție corelează elementele geometrice ale drumului cu caracteristicile traficului [1]. Necrologul menționează: o metodă nouă de determinare a numărului echivalent de autoturisme pentru un vehicul greu, preluată în *Highway Capacity Manual* 1985; o variantă a clotoidei în care rata de variație a accelerației centrifuge nu este constantă de-a lungul curbei de racordare,

publicată în revista elveţiană *Strasse und Verkehr*; exprimarea supraînălţării în funcţie de viteză şi de raza curbei, pe baza raportului acceleraţiilor şi a unei viteze de confort pentru care acceleraţia laterală este nulă [1]. Alte teme abordate sunt avantajele operaţionale şi de siguranţă ale unor tipuri de intersecţii, eliminarea sectoarelor cu siguranţă redusă prin diagrama vitezelor în lungul drumului, benzile speciale pentru virajul la stânga şi criteriile de alegere a vitezei de proiectare [1].

Două lucrări publicate în *Transportation Research Record* ilustrează această direcţie: studiul curbelor de racordare progresivă (1977) [16] şi analiza caracteristicilor de debit şi capacitate ale drumurilor rurale cu două benzi (1991), realizată împreună cu A. Polus şi M. Livneh [20]. Profesorul a scris şi capitolul „Geometric Design of Highways” din „Civil Engineering Handbook” şi a desfăşurat o activitate importantă de proiectare şi consultanţă [1].

6. RECUNOAŞTERE ŞI MEMORIE

La 7 decembrie 2006, la împlinirea vârstei de 80 de ani, i s-a decernat titlul de Doctor Honoris Causa ca profesor la Technion, fost decan al Facultăţii de Drumuri şi Poduri.

Legătura cu ţara şi cu foştii studenţi a rămas vie. Fotografiile din colecţia ing. Sabin Florea îl arată pe Transfăgărăşan şi pe barajul Vidraru, alături de ing. Constantin Preoteasa, constructorul viaductului Valea lui Stan (figura 2) [21].



a) pe Transfăgărăşan b) pe coronamentul barajului Vidraru

Figura 2. Profesorul Iosif Craus cu ing. Constantin Preoteasa şi ing. Sabin Florea (colecţia S. Florea)

Trecerea sa în eternitate a fost consemnată în primul număr pe 2011 al revistei Drumuri Poduri, prin necrologul semnat de ing. Sabin Florea [1]. La 19 mai 2011, în Amfiteatrul „Anghel Saligny” al Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi

Poduri, a avut loc omagierea profesorului (figura 3). Evenimentul a fost deschis de decanul facultății, prof. dr. ing. Mihai Dicu; personalitatea profesorului a fost evocată de prof. dr. ing. Constantin Romanescu, prof. emerit Panaite Mazilu, prof. dr. ing. Stelian Dorobanțu și ing. Sabin Florea, inițiatorul momentului omagial și autorul a două filme scurte despre profesor. A participat fiica profesorului, d-na Dalila Craus, iar ing. Ion Predescu a citit o ultimă scrisoare trimisă de profesor în țară. Cu acest prilej s-a hotărât ca o sală de curs a facultății să poarte numele profesorului Josef Craus [2].



Figura 3. Omagierea profesorului Josef Craus, 19 mai 2011, Amfiteatrul „Anghel Saligny”, UTCB (foto: Emil Jipa)

Amintirea profesorului apare și în evocările foștilor studenți. O absolventă din 1972 a facultății mărturisea că profesorul Ioan Toma Stănculescu și profesorul Iosef Craus, titularul disciplinei „Drumuri”, au avut un rol decisiv în alegerea carierei sale [22]. În 2021, prof. Radu Andrei îl enumera pe Craus printre profesorii care vor rămâne în memoria drumarilor, alături de Profiri, Nicoară, Silion, Stănculescu și Dorobanțu [23].

7. CONCLUZII

Sursele consultate permit reconstituirea principalelor etape ale vieții profesorului Iosif Craus: formarea la Institutul de Construcții București (1951), cariera didactică de două decenii, inclusiv decanatul Facultății de Drumuri și Poduri (1958–1968), și cariera de la Technion, începută în 1975 și încheiată cu titlul de profesor emerit (1995).

Contribuţia sa la şcoala românească de drumuri se regăseşte în tratatul „Drumuri” (1966), citat şi după mai bine de o jumătate de secol, şi în generaţiile de ingineri pe care le-a format. Lucrările sale internaţionale, despre filere, oboseala straturilor asfaltice şi geometria drumurilor, au intrat în circuitul ştiinţific prin publicaţii precum *Transportation Research Record*, *Proceedings of the AAPT* şi rapoartele SHRP.

BIBLIOGRAFIE

[1]. FLOREA S., *La decesul unui eminent profesor, Iosef Craus! (In memoriam)*, Drumuri Poduri, **nr. 91 (160), 2011, p. 44–45**

[2]. ȘINCA I., *Omagierea unui eminent profesor*, Drumuri Poduri, **nr. 95 (164), 2011, p. 37**

[3]. RĂDULEȚ R. (coord.), *Lexiconul Tehnic Român, elaborare nouă, vol. 1–3*, Editura Tehnică, București, **1957–1958**

[4]. ***, *Buletinul Institutului Politehnic București*, **Anul 19, nr. 1–4, 1957**

[5]. ***, *Scînteia Tineretului*, **Anul 22, 11 august 1966**

[6]. ***, *România Liberă*, **Anul 25, 19 martie 1967**

[7]. ***, *Tribuna Sibiului*, **Anul 5, martie 1972**

[8]. ***, *Editorial*, Drumuri Poduri, **nr. 99 (168), 2011, p. 5**

[9]. ȘINCA I., *O viață dedicată științei și tehnicii drumurilor*, Drumuri Poduri, **nr. 114 (183), 2012, p. 31**

[10]. ***, *Restituiri – academician prof. ing. Nicolae Profiri*, Drumuri Poduri, **nr. 110 (179), 2012, p. 30**

[11]. ***, *Arhitectura*, **Anul 5, nr. 1–9, 1957**

[12]. ***, *Fișa disciplinei UP-66 „Vertical Systematization and Roads”*, Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, București, www.uauim.ro, accesat **2026**

[13]. ATANASIU D., MĂTĂSARU T., CRAUS I., *Căi de comunicații*, Editura Didactică și Pedagogică, București, **1960**

[14]. MĂTĂSARU T., CRAUS I., DOROBANȚU S., *Drumuri*, Editura Tehnică, Bucureşti, **1966, 852 p.**

[15]. ***, *Mélyépítéstudományi Szemle*, Budapesta, **vol. 18, 1968**

[16]. CRAUS J., POLUS A., *Aspects of spiral transition curve design*, Transportation Research Record, **nr. 631, 1977**

[17]. TANGELLA S.C.S.R., CRAUS J., DEACON J.A., MONISMITH C.L., *Summary report on fatigue response of asphalt mixtures*, Report SHRP-A-312, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C., **1990**

[18]. CRAUS J., ISHAI I., SIDES A., *Some physico-chemical aspects of the effect and the role of the filler in bituminous paving mixtures*, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, **vol. 47, 1978, p. 558–588**

[19]. ISHAI I., CRAUS J., *Effects of some aggregate and filler characteristics on behavior and durability of asphalt paving mixtures*, Transportation Research Record, **nr. 1530, 1996, p. 75–85**

[20]. POLUS A., CRAUS J., LIVNEH M., *Flow and capacity characteristics on two-lane rural highways*, Transportation Research Record, **nr. 1320, 1991**

[21]. FLOREA S., IONESCU C., *Repere tehnice și istorice: bolți flexibile în conlucrare cu tablier rigid (III)*, Drumuri Poduri, **nr. 196 (265), 2019, p. 15**

[22]. ȘINCA I., *Patru decenii în ingineria construcțiilor*, Drumuri Poduri, **nr. 104 (173), 2012, p. 33–34**

[23]. POPOVICI N., *Contemporanul nostru: prof. univ. dr. ing. Radu Andrei*, Drumuri Poduri, **nr. 284, 2021, p. 13–15**

PROFESOR UNIVERSITAR EMERIT DOCTOR INGINER CONSTANTIN ROMANESCU DASCĂL RECUNOSCUT ŞI REPUTAT SPECIALIST ÎN DOMENIUL RUTIER

Dicu Mihai, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mihai.dicu@utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

1. INTRODUCERE

Ocazia aniversării a 145 de ani de la înființarea Școlii Naționale de Poduri și Șosele reprezintă o datorie de onoare elogierea personalității celui care a fost Profesor Universitar Emerit Doctor Inginer **Constantin ROMANESCU**, dascăl recunoscut pentru numeroase generații de ingineri precum și un specialist reputat și apreciat în breasla drumarilor de la noi din țară (figura 1).



Figura 1. Prof. emerit dr. ing. Constantin Romanescu (1938–2025)

2. EDUCAȚIA ȘI FORMAREA

Prof. emerit dr. ing. Constantin Romanescu s-a născut la data de 26 mai 1938 în Comuna Butoiești, Județul Mehedinți. A fost căsătorit și a avut doi copii: o fată, Narcisa și un băiat, Dragoș.

A absolvit Liceul Traian din Drobeta-Turnu Severin în anul 1955, cu diplomă de merit, după care a urmat cursurile Institutului de Construcții București – Facultatea de Construcții Feroviare, Drumuri și Poduri, specialitatea Construcții Drumuri și Poduri.

După absolvirea facultății în anul 1961, prin Ordinul Ministrului Învățământului a fost numit Preparator la Catedra de Drumuri unde a funcționat până în anul 1965.

În anul 1965 a ocupat prin concurs postul de Asistent și în continuare a ocupat tot prin concurs posturile de Șef de Lucrări (1972–1989), Conferențiar (1989–1994), Profesor între anii 1994–2008 și Profesor Consultant în continuare.

În anul 1969 a obținut înscrierea la Doctorat prin concurs, având ca temă „Stabilizarea pământurilor cu lianți minerali”, care mai târziu datorită programului de cercetare din catedră a fost schimbată cu „Contribuții la considerarea portanței drumurilor existente în structuri ranforsate” sub conducerea științifică a domnului prof. dr. ing. Ion Stănculescu. În anul 1986 a susținut teza de doctorat și i s-a conferit titlul de „Doctor Inginer”.

În perioada octombrie 1971 – februarie 1972 a făcut o specializare de 5 luni în Republica Democrată Germană, în problema straturilor rutiere alcătuite din pământuri stabilizate (Dresda și Weimar).

În perioada specializării a participat la determinări pe mixturi asfaltice (Dresda) și la încercări de electronomicroscopie și röntgenografie pentru stabilirea compușilor care se formează în cadrul pământurilor stabilizate cu var și ciment (Weimar).

Din anul 1994 până în 2008 a deținut funcția de Șef Catedră Drumuri și Căi Ferate din cadrul Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri precum și Conducător de Doctorat în domeniul „Drumuri și Aeroporturi”.

Domnul profesor Constantin Romanescu a fost membru al CTE din cadrul CNADNR (Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România).

A fost acceptat în Comitetul COST (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) Acțiunea 354 și a contribuit la elaborarea lucrării „Performance Indicators for Road Pavements”.

A colaborat în cadrul Primăriei Generale ca membru în Comitetul Regional de Evaluare Strategică și Corelare al Regiunii București – Ilfov (CRESCRBI).

A deținut competențe de expert tehnic MLPAT în Drumuri și Aeroporturi (A4 B2 D) și Verificator de Proiecte (A4 B2 D). A fost membru al comisiei de acordare a atestatelor de verificator și expert MLPAT.

3. ACTIVITATEA DIDACTICĂ, PROFESIONALĂ ȘI DE CERCETARE

În cadrul activității didactice a avut ca sarcină de predare, la început disciplinele „Căi de Comunicații” la Facultatea de Construcții Civile Industriale și Agricole precum și „Căi de Comunicații și Lucrări de Artă” la Facultatea de Geodezie, iar mai târziu „Suprastructura Drumurilor” și „Tehnologia și Mecanizarea Lucrărilor de Drumuri”.

Ca profesor, a predat cursurile de „Drumuri” și „Reologia Lianților Bituminoși și a Mixturilor Asfaltice” din cadrul programului de licență Căi Ferate, Drumuri și Poduri din facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri.

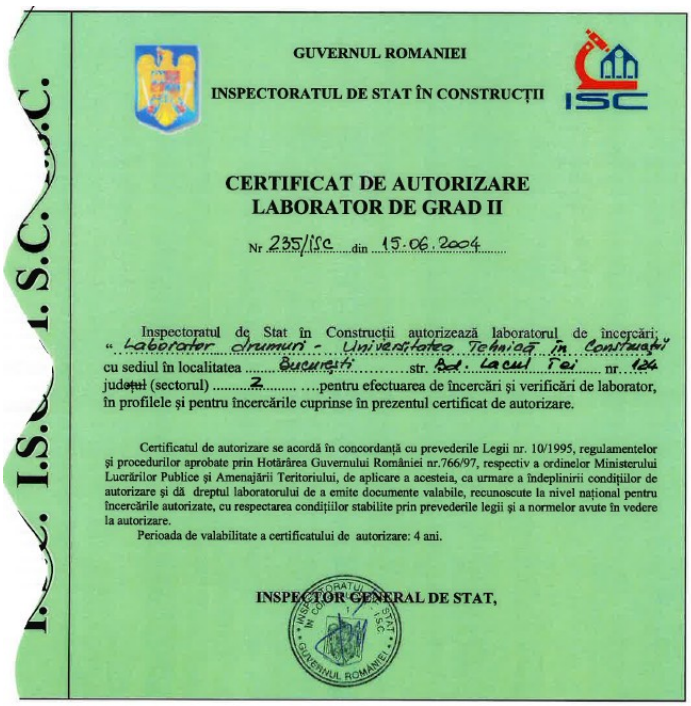
De asemenea, la programul de Studii Aprofundate „Drumuri și Aeroporturi” a predat cursul de „Aeroporturi și Helioporturi”. A fost pentru prima dată când s-a introdus în planul de învățământ de la Studii Aprofundate, cursul de Reologie.

Ca șef de catedră, domnul profesor Constantin Romanescu a contribuit semnificativ la dezvoltarea și dotarea cu aparatură modernă a Laboratorului de Drumuri din facultatea C.F.D.P., laborator fondat în anul 1948. Începând din anul 2004, laboratorul a obținut autorizarea Inspectoratului de Stat în Construcții mai întâi ca laborator de grad II și ulterior grad I (figura 2, 3, 4).



Figura 2. Profesorul Romanescu Constantin în laboratorul de drumuri, lângă aparatul pentru determinarea rezistenței la oboseală a mixturilor asfaltice, 1998

Domnul Romanescu a ocupat poziția de *Responsabil cu Calitatea* (AC) în organigrama laboratorului.



GUVERNUL ROMANIEI

INSPECTORATUL DE STAT ÎN CONSTRUCȚII

ISC

CERTIFICAT DE AUTORIZARE
LABORATOR DE GRAD II

Nr. 235/ISC din 15.06.2004

Inspectoratul de Stat în Construcții autorizează laboratorul de încercări: „Laborator drumuri - Universitatea Tehnică în Construcții” cu sediul în localitatea București str. Bd. Lacul Tei nr. 124 județul (sectorul) 2 ....pentru efectuarea de încercări și verificări de laborator, în profilele și pentru încercările cuprinse în prezentul certificat de autorizare.

Certificatul de autorizare se acordă în concordanță cu prevederile Legii nr. 10/1995, regulamentelor și procedurilor aprobate prin Hotărârea Guvernului României nr.766/97, respectiv a ordinelor Ministerului Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului, de aplicare a acesteia, ca urmare a îndeplinirii condițiilor de autorizare și dă dreptul laboratorului de a emite documente valabile, recunoscute la nivel național pentru încercările autorizate, cu respectarea condițiilor stabilite prin prevederile legii și a normelor avute în vedere la autorizare.

Perioada de valabilitate a certificatului de autorizare: 4 ani.

INSPECTOR GENERAL DE STAT,

Figura 3. Certificatul de autorizare a Laboratorului de Drumuri, 2004



Figura 4. Profesorul Constantin Romanescu, printre colegi, în laboratorul de Drumuri din facultatea C.F.D.P., în anul 2008

Profesorul Constantin Romanescu, în anul 2003, împreună cu membrii colectivului de drumuri al catedrei de Drumuri şi Căi Ferate, a înfiinţat Centrul de Cercetare DRUMURI ŞI AEROPORTURI acreditat C.N.C.S.I.S. al cărui director a fost până la ieşirea la pensie, în anul 2008 (figura 5). Centrul de cercetare, având ca nucleu laboratorul de drumuri, îşi continuă şi azi activitatea de cercetare în domeniul construcţiilor de drumuri şi a pistelor de aviaţie.


MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
CONSILIUL NAȚIONAL AL CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
DIN ÎNVĂȚĂMÂNTUL SUPERIOR
CNCSIS

CERTIFICAT

Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior
recunoaște
Centrul de Cercetare
tip C
"CENTRUL DE CERCETARE STIINTIFICA PENTRU DRUMURI SI AEROPORTURI"
DIRECTOR: ROMANESCU CONSTANTIN
UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII DIN BUCURESTI

Președintele CNCSIS
Ioan Dumitrache

București, 7-VI-2003
Certificat nr. 174/CC-C

Figura 5. Diplomă Centrul de Cercetare DRUMURI ŞI AEROPORTURI acreditat C.N.C.S.I.S. în anul 2003

Paralel cu activitatea depusă la catedră, în perioada 1964–1972 a lucrat cu jumătate de normă la Institutul de Proiectări Transporturi (I.P.T.), în calitate de Inginer Proiectant Principal.

La I.P.T. a colaborat la întocmirea unor studii economice pentru „Dublarea DN 6 Turnu Severin – Gura Văii”, „Varianta de ocolire a orașului Blaj”, „Modernizare DN 22 Râmnicu Sărat – Brăila”, „Evaluarea pagubelor de la Porțile de Fier prin crearea lacului de acumulare”, „Reconstrucție DN 57 Orșova – Moldova Nouă”, „Reconstrucție DN 7 pe malul Oltului între Călimănești și Râul Vadului”, „Studii privind necesitatea și fixarea amplasamentului Autostrăzii București – Pitești și a nodurilor rutiere, precum și a tipurilor acestor noduri în funcție de relațiile de circulație specifice pe care le asigură”, studii cu caracter mai deosebit privind optimizarea traseului în zona Viaductului Moșu și la traversarea directă a văilor transversale în cadrul Complexului Hidroenergetic de la Porțile de Fier.

A participat la întocmirea proiectelor de execuție și urmărirea executării lucrărilor pentru DN 56 Maglavid – Șimian, DN 55 Maglavid – Calafat, proiectarea pistei Aeroportului Iași și drumul de acces la aeroport, proiectul de execuție a platformelor între baraj și Viaductul Moșu, precum și accesul la vamă în zona Barajului Porțile de Fier.

Pe lângă activitatea didactică a avut și o bogată activitate de cercetare științifică cu teme variate și complexe care au prezentat interes pentru sectorul de drumuri.

Rezultatele au fost concretizate prin contracte, lucrări publicate și participări la simpozioane, congrese, conferințe în țară și străinătate (peste 85 de lucrări publicate și peste 74 de participări la conferințe și congrese).

Din multitudinea de teme studiate, poate fi specificată – *Modularea și tipizarea elementelor prefabricate din beton armat pentru ziduri de sprijin tip CCCF – MTTC cu grinzi verticale încastrate, grinzi și plăci ancorate*. În cadrul acestei teme s-au făcut primele studii privind tehnologia de execuție a tiranților fixați în teren prin bulb de scelment realizat prin injectare. Rezultatele acestor studii au servit după aceea la stabilirea parametrilor de calcul și definitivarea tehnologiei de execuție a tiranților la pereții mulați de la Metrou și la o serie de lucrări la Canalul Dunăre – Marea Neagră.

Tematica de cercetare a fost canalizată spre studii reologice de comportare a straturilor rutiere din mixturi bituminoase, precum și studii de rupere prin oboseală a straturilor rutiere. A coordonat în cadrul catedrei de Drumuri și Căi Ferate mai multe teme de cercetare, printre care:

- Studii de oboseală a mixturilor asfaltice proiectate conform recomandărilor MS2/USA;

- Determinarea caracteristicilor reologice ale mixturilor asfaltice din încercări la oboseală.

Între anii 1995–2001 Constantin Romanescu a coordonat ca director de proiect, cinci teme în cadrul Granturilor câştigate prin concurs, la catedră şi din 2002–2008, patru teme câștigate prin concurs în cadrul programului AMTRANS şi Programul Cercetare de Excelenţă (CEEX), finalizate cu brevete şi referate susținute la simpozioane şi congrese de drumuri.

Astfel, a obținut, în colaborare, două brevete de invenţie OSIM ca urmare a unor granturi de cercetare: în anul 2011 – „*Aparat pentru măsurarea optică şi înregistrarea deformaţiilor materialelor de construcţii destinate căilor rutiere*” (alături de Dicu Mihai, Răcănel Carmen, Bogdan Andrei, Zisu Tudor, Stanciu Dănuţ, Ștefan Vasile) şi în anul 2014 – „*Metodă şi echipament mobil de măsurarea grosimii straturilor rutiere*” (alături de Chilibon Irinela, Savastru Roxana, Răcănel Carmen, Burlacu Adrian, Lazăr Ștefan Marian, Sorescu Velizar, Șchiopu Paul, Tripăduș Vasile).

Se pot enumera câteva proiecte de cercetare:

- Elaborarea unei tehnologii integrate PMS/BMS (Pavement Management System/ Bridge Management System) pentru investigarea, diagnosticarea şi expertizarea stării tehnice a infrastructurilor rutiere, în vederea stabilirii priorităţilor de întreţinere şi dezvoltare în teritoriu;

- Noi soluţii tehnice pentru îmbunătăţirea performanţelor mixturilor asfaltice utilizând bitumuri rutiere aditivate cu heterocompuşi;

- Cercetări de laborator privind aditivarea bitumurilor româneşti şi proiectarea reţetelor de mixturi asfaltice cu bitumuri aditivate;

- Sistem mobil cu fascicule laser pentru controlul optic şi înregistrarea stării suprafeţelor de drum. Măsurarea deformaţiilor materialelor de construcţii destinate căilor rutiere, Etapa 2003, Faza I.3: Studiu documentar privind metodele de determinare a deformabilităţii materialelor de construcţii în general şi a materialelor pentru căile rutiere în special;

- Metodă nedistructivă pentru evaluarea caracteristicilor structurilor rutiere.

A elaborat singur sau în colaborare cărţi pentru studenţi şi cursuri postuniversitare în Editura ICB, CONSPRESS, Editura Tehnică şi Editura MATRIX.

Au fost publicate pentru prima dată Exemple de calcul pentru „Drumuri” 1971; „Sisteme rutiere” 1972; „Terasamente” 1974; „Catalog de structuri tipizate” 1975; „Artere de circulație” 1976; „Drumuri – Calcul și proiectare” Editura Tehnică 1979; „Îndrumar de laborator” 1983; „Tehnologii performante în realizarea și întreținerea structurilor rutiere” și „Proiectarea și construcția drumurilor” 2002; „Reologia lianților bituminoși și a mixturilor asfaltice” 2003 (figura 6).

În perioada în care a activat ca Șef al Catedrei de Drumuri și Căi Ferate (12 ani) a apărat interesele catedrei și ale facultății C.F.D.P., fiind întotdeauna un element de echilibru în situațiile de multe ori dificile când apăreau și discuții contradictorii.

Ca membru al Consiliului Profesoral al facultății C.F.D.P. și al Senatului Universității Tehnice de Construcții București, a adus un aport substanțial în reorganizarea activității cu studenții, participând activ la alcătuirea planurilor de învățământ pentru ciclurile de licență și masterat.

Activitatea profesională a culminat cu începerea activității de conducere la doctorat în anul universitar 1994–1995. A reușit să finalizeze 8 teze de doctorat care au avut ca studiu teme destul de complexe. A participat în comisia de doctorat la peste 25 de teze.

În decembrie 2012 a obținut titlul de profesor emerit al Universității Tehnice de Construcții București.



Figura 6. Activitatea publicistică a domnului profesor Constantin Romanescu

Profesorul Romanescu C. a fost membru al asociației profesionale A.P.D.P. (Asociația Profesională de Drumuri și Poduri) de unde a primit premiul „*Ion Ionescu*” pentru activitate deosebită în domeniile învățământului și cercetării științifice. De asemenea, a fost membru A.G.I.R. (Asociația Inginerilor din România).

4. CONSIDERAȚII FINALE

Întreaga activitate publicistică, didactică și de cercetare în cadrul Universității Tehnice de Construcții București, timp de 47 de ani, a domnului Profesor Emerit Dr. Ing. Romanescu Constantin (figura 7) reprezintă un pilon de referință în dezvoltarea școlii românești de inginerie.

Dincolo de rigoarea soluțiilor tehnice pe care le-a brevetat și le-a implementat, profesorul Romanescu Constantin a lăsat o amprentă de neșters prin viziunea sa, dublată de o etică profesională impecabilă. Contribuțiile sale în cercetare nu au fost doar teoretice, ci au oferit răspunsuri concrete la provocările industriale ale vremii, stabilind standarde de excelență care rămân valabile și astăzi.

Activitatea sa este extrem de elaborată și de o valoare tehnică deosebită, fiind o activitate recunoscută de colaboratori, dar și de numeroasele serii de studenți care au devenit ingineri în specialitatea Căi Ferate, Drumuri și Poduri.



Figura 7. Profesorul Constantin Romanescu împreună cu soția, Rodica, în anul 2010

În primăvara anului 2018, decanatul și colectivul de Drumuri și Căi Ferate al Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri l-a sărbătorit pe Domnul Profesor

Universitar Emerit dr. ing. Constantin Romanescu la împlinirea onorabilei vârste de 80 de ani, *„în semn de profundă apreciere pentru deosebita activitate desfășurată în decursul celor 80 de ani de viață, creionând cu dăruire destinele a nenumăraţi tineri, ce la rândul lor şi-au lăsat amprenta în domeniul infrastructurii transporturilor din România”* (figura 8, 9).



Figura 8. Profesorul Constantin Romanescu la aniversarea vârstei de 80 de ani, cu doamna Decan a facultăţii C.F.D.P. Mădălina Stoian şi colegii din departamentul de Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţie, în luna mai a anului 2018



Figura 9. Profesorul Constantin Romanescu la întâlnirea unei serii de absolvenţi de CFDP, în anul 2018

Post Mortem, în semn de recunoaștere a personalității profesorului Romanescu, departamentul de Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţie a hotărât numirea laboratorului de Drumuri din facultatea C.F.D.P. cu numele său.

Profesorul Constantin Romanescu a avut o fire veselă şi echilibrată, a fost inteligent, onest, serios, bun organizator şi nu în ultimul rând un adevărat OM (figura 9).

Ne-a părăsit când nu împlinise încă vârsta de 87 de ani, într-o zi din luna martie a anului 2025 (figura 10).



drumuri poduri ANUL XXXII NR. 330

ASOCIAȚIA PROFESIONALĂ DE DRUMURI ȘI PODURI DIN ROMÂNIA

IN MEMORIAM

Prof. univ. dr. ing. Constantin ROMANESCU, omagiu la trecerea în eternitate

Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a Universității Politehnica București anunță dispariția profesorului universitar emerit dr. ing. Constantin ROMANESCU, personalitate complexă, cu contribuții importante la dezvoltarea învățământului superior de construcții de infrastructură, dar și la pregătirea mai multor generații de la UTCB, pe parcursul a cca 50 de ani de activitate universitară. Se cuvine să-i aducem un pios omagiu prof. univ. dr. ing. Constantin ROMANESCU și în paginile Revistei DRUMURI PODURI, pentru amintirea celui care a fost unul dintre cei mai de seamă contributori la dezvoltarea Învățământului și domeniului de Căi Ferate, Drumuri și Poduri. Prof. univ. dr. ing. Constantin ROMANESCU a desfășurat o activitate titanică, înainte și după obținerea titlului de „Doctor Inginer” cu teza „Contribuții la considerarea porțanței drumurilor existente în structuri ranforsate” (1986). Cu stăruință și dedicare, a urmat toate gradele universitare până când a devenit profesor și, în paralel cu activitatea la catedră, a desfășurat o activitate susținută și cu rezultate vizibile și astăzi în rețeaua națională de drumuri. În calitate de proiectant principal, cu jumătate de normă la Institutul de Proiectări Transporturi, a făcut mai multe studii economice privind optimizarea traseului în zona Viaductului Moșu și traversarea directă a văilor transversale în cadrul Complexului Hidroenergetic de la Porțile de Fier. A contribuit la proiectarea accesului la vamă în zona Barajului Porțile de Fier, dar și la proiectarea pistei Aeroportului Iași și a drumului de acces la acest aeroport. A avut contribuții inovatoare importante la construcția Metroului bucureștean și a Canalului Dunăre-Marea Neagră. Prof. univ. dr. ing. Constantin ROMANESCU a fost la specializare și în Germania și a avut peste 85 de lucrări publicate și peste 74 de participări la conferințe și congrese naționale și internaționale. Pentru rememorarea personalității și activității prof. univ. dr. ing. Constantin ROMANESCU, prezentăm principalele repere ale CV-ului acestuia, cu accent pe contribuțiile la utilizarea în premieră a unor materiale și tehnici care au dus la dezvoltarea sustenabilă a rețelei naționale de drumuri.

Prof. univ. dr. ing. **Constantin ROMANESCU** s-a născut la 26 mai 1938, în comuna Butoiești, Județul Mehedinți. A absolvit Liceul Traian din Drobeta-Turnu Severin în anul 1955, cu diplomă de merit, după care a urmat Institutul de Construcții București – Facultatea de Construcții Feroviare, Drumuri și Poduri, specialitatea „Construcții Drumuri și Poduri”. După absolvirea facultății, în anul 1961, prin Ordinul Ministrului Învățământului, a fost numit „Preparator” la Catedra de Drumuri, unde a funcționat până în anul 1965. Din 1965, a ocupat, prin concurs, postul de „Asistent universitar” și apoi, tot prin concurs, posturile de: Șef de Lucrări (1972 – 1989), Conferențiar (1989 – 1994), Profesor – între anii

ing. **Constantin ROMANESCU** a predat cursurile „Căi de Comunicații”, la Facultatea de Construcții Civile Industriale și Agricole și „Căi de Comunicații și Lucrări de Artă”, la Facultatea de Geodezie, iar mai târziu, „Suprastructura Drumurilor” și „Tehnologia și Mecanizarea Lucrărilor de Drumuri”.

Ca profesor universitar a predat cursurile de „Drumuri” și „Reologia Lianților Bituminoși și a Mixturilor Asfaltice”.

De asemenea, la „Studii Aprofundate”, a predat cursurile de „Aeroporturi și Helioporturi” și a contribuit la introducerea în planul de învățământ de la Studii Aprofundate și Master, a cursului de „Reologie”.

Figura 10. Revista Drumuri şi Poduri – Anul XXXII, nr. 330, martie 2025

BIBLIOGRAFIE

[1]. ROMANESCU CONSTANTIN, *CV și Memoriu de activitate*

[2]. *Colecția Revista de Drumuri și Poduri*

[3]. *Revista Construcțiilor*, **nr. 188, 2002**

„NE NAȘTEM EGALI, EDUCAȚIA NE DEOSEBEȘTE”. IN MEMORIAM: PROFESORUL ȘI INGINERUL PETRE IONESCU

Ionescu P. Anca, Asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Departamentul de Construcții de Beton Armat, e-mail: anca.ionescu@utcb.ro
Ionescu P. Gabriela, Asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Departamentul de Mecanica Structurilor, e-mail: gabriela.ionescu@utcb.ro

1. CUVÂNT DE ÎNCEPUT

A scrie câteva rânduri şi idei despre propriul părinte este, poate, una dintre cele mai dificile încercări din viaţa unui om. Cuvintele se află adesea într-un permanent dezechilibru între emoţie şi rigoare, între durerea despărţirii şi nevoia de a evoca obiectiv o viaţă trăită cu demnitate şi dăruire. Pentru noi, profesorul Petre Ionescu a fost nu numai un apreciat cadru didactic al Universităţii Tehnice de Construcţii Bucureşti, ci şi tatăl care ne-a insuflat nouă, celor două fiice ale sale, ideea că educaţia ne deosebeşte pe noi ca oameni chiar dacă ne naştem egali şi venim pe lume cu aceleaşi speranţe.



Figura 1. Șef lucrări univ. ing. IONESCU PETRE (1936–2023)

2. EDUCAȚIA – CEA MAI NOBILĂ DIFERENȚĂ

Întreaga activitate profesională a tatălui nostru a fost marcată de respectul profund pentru educaţie, pentru profesia de inginer şi pentru responsabilitatea pe care formarea tinerelor generaţii o implică. A considerat întotdeauna că menirea dascălului depăşeşte transmiterea cunoştinţelor, însemnând în egală măsură formarea caracterelor, cultivarea disciplinei intelectuale şi insuflarea respectului pentru muncă şi competenţă.

Pentru studenţii săi, a fost un profesor exigent, dar corect, un om care credea în valoarea pregătirii temeinice şi în importanţa asumării responsabilităţilor profesionale. Pentru colegi, a reprezentat un partener de dialog respectat, apreciat pentru seriozitatea, profesionalismul şi echilibrul său şi pentru mulţi dintre ei un adevărat prieten. Pentru generaţiile care au trecut prin sălile UTCB, numele său rămâne legat de devotamentul faţă de şcoala inginerească românească de poduri şi şosele şi de contribuţia adusă dezvoltării acesteia.

3. ANII FORMĂRII PROFESIONALE

S-a născut la București în data de 19 martie 1936 într-o familie modestă în care ambii părinţi erau muncitori care au văzut în educaţia copilului singura şansă la o viaţă mai bună, dar au avut şi onoarea de a le împlini visul. A absolvit Liceul Cantemir Vodă în anul 1948, Şcoala Tehnică de Arhitectură în anul 1953 şi mai apoi Facultatea de Drumuri şi Poduri din cadrul Institutului de Construcţii București, promoţia 1958.

Spiritul tehnic deosebit, inteligenţa remarcabilă, talentul la desen şi o îndemânare aparte i-au dat posibilitatea de a găsi întotdeauna o soluţie acolo unde ceilalţi întâmpinau o dificultate, lucru remarcat şi prin epigrama colegilor de facultate.

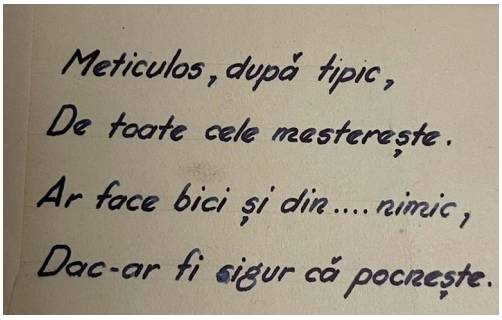


Figura 2. Epigramă

Imediat după terminarea facultății, s-a angajat la Întreprinderea Construcții Poduri București, unde a lucrat timp de doi ani, până în anul 1960, coordonând și organizând lucrările de consolidare a falezei de nord a Municipiului Constanța. În luna martie a aceluiași an a devenit asistent universitar al catedrei de Drumuri a Institutului de Construcții București (ICB) și ulterior a fost asistent în cadrul Catedrei de Beton Armat și Poduri Masive.

4. ACTIVITATEA DIDACTICĂ

Activitatea didactică de bază a desfășurat-o în cadrul Institutului de Construcții București, începând cu anul 1960 în funcția de asistent universitar și continuând din anul 1970 ca șef de lucrări la catedra de Construcții din Beton Armat și Catedra de Poduri.

În paralel cu această activitate didactică continuă în ICB, s-a implicat și la Academia Tehnică Militară, Facultatea de Geniu, Geodezie și Construcții în alte activități didactice. Convins că educația este cea care diferențiază și înnobilează omul, dascălul Petre Ionescu a căutat să împărtășească din experiența sa nu numai la catedră, ci și prin cărțile și cursurile pe care le-a publicat.

A elaborat în cadrul unor colective de autori pentru studenții Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri o serie de cărți, cursuri, aplicații și tratate de specialitate, dintre care amintim: „Poduri din beton armat” la Editura Didactică și Pedagogică din București, în anul 1980, împreună cu Radu Petre Ionel și Emil Negoescu, carte de referință pentru multe generații de ingineri proiectanți (Figura 3); „Poduri masive de șosea”, vol. 1 în anul 1974 și vol. 2 în anul 1977; „Utilajul și tehnologia lucrărilor de căi de comunicații” la Editura Didactică și Pedagogică din București, în anul 1995, împreună cu Stelian Dorobanțu, Alexandru Todea, Radu Petre Ionel, Emil Negoescu, Radu Constantin și Virgil Fierbințeanu.

Pentru studenții de la specializarea subingineri, a publicat cursuri de „Beton armat” în anul 1971, „Poduri masive de șosea”, vol. 1 în anul 1974 și vol. 2 în anul 1977, în colaborare cu colegii de catedră de Poduri și de Beton Armat.

Activitatea didactică a fost dublată de publicarea de manuale pentru licee industriale de specialitate: 1969 și 1973 – „Poduri”; 1971 – „Pod pe cadru din beton armat – exemplu de proiect”; 1978 – „Poduri și tuneluri”. Toate aceste lucrări au fost elaborate în colaborare cu colegi de la Catedra de Poduri, din Institutul de Construcții București, și publicate la Editura Didactică și Pedagogică.



Figura 3. Activitatea publicistică a profesorului Petre Ionescu

Dincolo de activitatea didactică și de cercetare, profesorul Petre Ionescu a participat la elaborarea unor lucrări tehnice, prescripții de proiectare și standarde:

- STAS 10111/2-87 – „Poduri de cale ferată și șosea – suprastructuri din beton, beton armat și beton precomprimat”;
- STAS 10111/1-77 – „Poduri de cale ferată și șosea. Infrastructuri de zidărie, beton și beton armat. Prescripții de proiectare”;
- AND 534-1993 – „Manual pentru identificarea defectelor aparente la podurile rutiere și indicarea metodelor de remediere”;
- AND 522-2002 – „Instrucțiuni tehnice pentru stabilirea stării tehnice a unui pod”;
- NP 104-05 – „Normativ pentru proiectarea podurilor. Suprastructuri pentru poduri de șosea, de cale ferată și pietonale precomprimate exterior”;
- SR EN 1990:2004/A1:2006/NA:2009 – Eurocod: Bazele proiectării structurilor. Anexa A2: Aplicaţie pentru poduri. Anexa naţională;
- SR EN 1991-2:2004/AC:2010 – Eurocod 1: Acţiuni asupra structurilor. Partea 2: Acţiuni din trafic la poduri;

- SR EN 1992-2:2006/NA:2009 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 2: Poduri de beton. Proiectare şi prevederi constructive. Anexa naţională.

Din anul 2001, ing. Ionescu Petre a fost atestat ca verificator de proiecte MLPAT în domeniul construcţiilor civile, industriale, agricole, energetice, miniere, pentru telecomunicaţii şi construcţii aferente reţelelor edilitare şi de gospodărie comunală cu structura de rezistenţă din beton, beton armat, zidărie, lemn, metal şi alte materiale compozite pentru cerinţa de rezistenţă şi stabilitate A1 şi A2.

5. ACTIVITATEA PROFESIONALĂ

Din dorința unei permanente perfecționări profesionale și a contactului direct cu practica inginerească, a desfășurat între anii 1966–1968, în paralel cu activitatea universitară, o activitate profesională cu jumătate de normă la INCERC (Institutul Naţional de Cercetări în Construcţii şi Economia Construcţiilor), elaborând proiecte pentru elemente experimentale şi dispozitive pentru încercarea betonului, participând la studiul plăcilor armate pe două direcţii şi a aderenţei noilor tipuri de armături, la comportarea grinzilor continue de beton armat.



Figura 4. Alături de colegii de catedră, în laboratorul de încercări experimentale

Este înscris la doctorat din anul 1967 la disciplina Beton Armat sub conducerea profesorului univ. dr. ing. Vasile Nicolau cu teza „Determinarea

aderenței armăturilor în elementele de beton armat”, promovând toate examenele și referatele în cele mai bune condiții. Cunoștințele temeinice teoretice și înclinația deosebită pentru lucrările de laborator au fost sporite de un stagiu de documentare de două luni în Cehoslovacia la institutele de cercetări din Praga, Brno și Bratislava în anul 1963. Nu își susține public teza de doctorat datorită emigrării neașteptate în Germania a conducătorului științific, rectorul prof. univ. dr. ing. V. Nicolau.

Tot din dorința de perfecționare a fost trimis la specializare în Ungaria și în 1975 în URSS la Moscova, Leningrad și Tbilisi, pe o perioadă de două luni pe tema „Utilizarea prefabricatelor de beton armat pentru construcția stațiilor și tunelelor de metrou”.

Această experiență i-a îmbogățit cunoștințele și pe care a valorificat-o ulterior în activitatea profesională și de cercetare. Activitatea sa s-a concretizat într-un număr important de proiecte de execuție, dintre care se remarcă:

- Podul peste râul Cerna în comuna Lădești DC 65, km 74+853 – 75+000, în localitatea Lădești, județul Vâlcea;
- Pod peste pârâul Arpaș și pârâul Cârțișoara la Arpaș, județul Sibiu;
- Podul peste râul Bârzava în Municipiul Reșița, județul Caraș-Severin;
- Podul peste râul Mureș la Cuci pe DN 15, județul Mureș;
- Poduri peste râul Argeș și râul Doamnei la Pitești;
- Consolidarea și lărgirea suprastructurii podului peste râul Teleajen pe DJ 102B la Vălenii de Munte;
- Pod pe grinzi din beton precomprimat pe DN 10 peste valea Grămăticului;
- Modelarea și tipizarea aripilor de racordare a podurilor cu terasamentele din beton armat;
- Proiectarea elementelor prefabricate din beton armat fișate și ancorate pentru sprijinirea taluzurilor;
- Proiectarea coloanelor din beton armat pentru puțuri miniere de diametru mare 6.00 m și adâncime 600.00 m;
- Studiu privind armarea ecluzelor pe coloane și fundate direct;
- Tehnologii și dispozitive pentru execuția și montajul unor elemente ale podului peste canal la Ovidiu, Poarta Albă și Năvodari;
- Studiul capacității portante a podului peste râul Crasna la Domnești;
- Poduri în București peste râul Dâmbovița și Colentina (Băneasa, Bordei, Tei-Toboc, Florească, Vitan, Opera, Opereta, planșeul din Piața Unirii, Străulești);

- Expertize privind podurile din municipiul Bucureşti pentru stabilirea capacităţii portante şi posibilităţi de traversare cu vehicule agabaritice;

- Studiul consecinţelor subtraversării podurilor peste râul Dâmboviţa de către tunelurile magistralei II a metroului bucureştean;

- Proiecte tip pentru podurile de cale ferată prefabricate cu deschideri de la 6.00 m la 33.00 m;

- Proiect apărări de maluri şi consolidare albie – pod de cale ferată km 2+900 pe linia Valea Copcii-Dudaşi;

- Modularea şi tipizarea elementelor prefabricate din beton precomprimat pentru ziduri de sprijin tip CCCF-MTTc cu grinzi încastrate, grinzi ancorate şi plăci;

- Studii privind optimizarea structurilor pentru realizarea galeriilor edilitare pentru conducte, cabluri, apeducte, canalizări şi pasaje subterane;

- Alimentarea cu apă potabilă, canalizare menajeră şi pluvială Popeşti Leordeni, rezervor de apă 1000 mc;

- Cercetări privind realizarea de soluţii şi tehnologii noi pentru sistemele rutiere urbane cu elemente prefabricate din beton armat, detalii de execuţie şi caiete de sarcini;

- Proiectul de execuţie pentru structura de rezistenţă a corpurilor C1 şi C4 a Palatului Parlamentului, clădire cunoscută sub numele de Casa Poporului;

- Expertizarea şi urmărirea comportării în timp a clădirilor amplasate la o distanţă sub 20 m de limitele exterioare ale galeriei de metrou în zona Universitate-Piaţa Romană;

- Proiectul de consolidare a depozitului de uleiuri minerale şi unsori consistente PETROM Băneasa;

- Proiectul de execuţie a depozitului de făină la fabrica de pâine, comuna Mihăileşti, Novaci, judeţul Giurgiu;

- Expertiza şi elaborarea proiectului de consolidare a imobilului din str. Amzei nr. 23, sector 1, Bucureşti;

- Proiectul tehnic pentru construcţia administrativă şi laboratoarele Centrului de Studii Tehnice, Rutiere şi Informatică – CESTRIN, Bucureşti;

- Proiectul de execuţie pentru halele industriale din cadrul companiei Syrian Storing and Distributing Petroleum Product Co MAHRUCAT;

- Proiectul de consolidare a noului sediu al Primăriei Municipiului Giurgiu, jud. Giurgiu;

- Proiecte de consolidare şi amenajare a unor şcoli din judeţul Giurgiu;

- Proiectul de consolidare a coşului de fum al Grupului Şcolar UCECOM, Ploieşti, judeţul Prahova;
- Peste 100 de proiecte de execuţie şi consolidare pentru locuinţe particulare conform registrului de proiecte MLPAT etc.

6. OMUL DIN SPATELE CATEDREI

Dincolo de activitatea universitară, a fost un om de o mare noblețe sufletească. A crezut în puterea exemplului personal şi a demonstrat prin întreaga sa viață că respectul se câștigă prin corectitudine, modestie şi muncă perseverentă. A fost un sprijin constant pentru familie, oferind întotdeauna înţelepciune, înţelegere şi încredere.

Pentru noi, moştenirea sa cea mai preţioasă nu constă doar în realizările profesionale pe care le-a lăsat în urmă, ci în valorile pe care ni le-a transmis. Alegerea noastră, a copiilor lui, de a ne desfăşura activitatea în cadrul aceleiaşi universităţi în care el a activat reprezintă o onoare şi, totodată, o continuă sursă de inspiraţie. În fiecare realizare profesională, în fiecare generaţie de studenţi pe care o întâlnim, regăsim ceva din lecţiile sale despre responsabilitate, integritate şi respect faţă de profesie.



Figura 5. Alături de absolvenţii facultăţii CFDP în anii 1988 şi 2006

7. ÎN LOC DE CONCLUZIE

Chiar dacă a plecat dintre noi, amintirea sa rămâne vie în sufletele celor care l-au cunoscut, l-au apreciat şi au avut privilegiul de a învăţa de la el. Profesorul Ionescu Petre va continua să existe prin ceea ce a construit în oameni, prin valorile pe care le-a promovat şi prin exemplul pe care l-a oferit de-a lungul întregii sale vieţi.

OMAGIU PROFESORULUI IORDAN PETRESCU

Stoian Mirela Mădălina, Conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Departamentul de Construcții Metalice, Management și Grafică Inginerească, e-mail: madalina.stoian@utcb.ro
Stan Oana Mihaela, Șef lucr. dr. ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Departamentul de Mecanica Structurilor, e-mail: oana.stan@utcb.ro
Stănescu Răzvan Marian, Șef lucr. dr. ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Departamentul de Mecanica Structurilor, e-mail: razvan.stanescu@utcb.ro

1. INTRODUCERE

La aniversarea a 145 de ani de la înființarea Școlii Naționale de Poduri și Șosele consider că este o datorie de onoare să elogiem personalitatea celui care a fost Profesor Universitar Doctor Inginer, *Iordan PETRESCU*, unul dintre cei mai reputați și apreciați profesori ai Universității Tehnice de Construcții București, reper în asigurarea calității în învățământul românesc și constructor de punți de legătură între universități și între instituții cu forme diferite de educație.



Figura 1. Prof. dr. ing. Iordan Petrescu (6 ianuarie 1948 – 9 iunie 2026)

Viața și cariera sa pot fi privite ca o amplă construcție, ridicată cu răbdare, rigoare și credință în valoarea educației. Format în spiritul ingineriei, al exactității și al responsabilității față de lucrul bine făcut, profesorul Iordan Petrescu a transferat aceste valori în tot ceea ce a întreprins: în activitatea didactică, în cercetare, în proiectele educaționale, în managementul universitar, în dezvoltarea învățământului la distanță și în consolidarea culturii calității în învățământul superior românesc [2].

2. EDUCAȚIA ȘI FORMAREA

Domnul profesor Iordan Petrescu s-a născut la București pe data de 6 ianuarie 1948, a fost căsătorit cu doamna Gina Petrescu și a avut un fiu, Răzvan.

Primii ani de școală i-a petrecut la București, apoi a continuat cursurile gimnaziale și liceale la Brașov – moment în care a îndrăgit sporturile de iarnă, fiind un schior pasionat.

În perioada 1966–1971 a urmat cursurile Facultății de Drumuri și Poduri din cadrul Institutului de Construcții București, actuala Facultate de Căi Ferate, Drumuri și Poduri din cadrul Universității Tehnice de Construcții București.

După absolvire, începând cu anul 1971, și-a început cariera universitară în cadrul Institutului de Construcții București. A parcurs treptat toate etapele devenirii academice: asistent, șef de lucrări, conferențiar și, din anul 1994, profesor universitar. Această evoluție nu a fost doar una administrativă sau profesională, ci expresia unei vocații didactice autentice.

În perioada 1980–1985 s-a dedicat specializării în domeniul calculului automat al structurilor de poduri, un domeniu inovativ pentru acel moment, având ca rezultat obținerea titlului de doctor inginer.

Ca om cu viziune globală asupra dezvoltării, a înțeles că a comunica este esențial, fapt care a generat altă calitate importantă – vorbea fluent limbile engleză și franceză.

Pe toată durata de activitate universitară profesorul Iordan Petrescu a fost preocupat să se perfecționeze și să modernizeze programa de studiu a viitorilor ingineri constructori, participând la diverse programe post-universitare din țară și din străinătate. Menționez astfel câteva dintre acestea [1]:

- 1992 Nonlinear Finite Element Analysis – Institute for Computational Engineering, Munich Germany;

- 1996 Proiectarea Asistată de Calculator a lucrărilor rutiere – MOSS – Horsham – Anglia;

- 1998 Modeling of discrete systems behavior by FEA – FEA Systems, United Kingdom;

- 1999 Distance Education in a knowledge society – thinking out of the box – University of Surrey, UK;

- 2000 Resource Based Learning Centre – a new way of long life learning – Birmingham University, UK;

- 2004 The future of e-Learning – TechniCAL Crowborough East Sussex – England.

3. ACTIVITATEA PROFESIONALĂ

Ca asistent a condus activităţi în domeniul: Statica construcţiilor, Stabilitatea structurilor, Dinamica structurilor, Inginerie seismică, Limbaje de programare, Mecanica construcţiilor.

Ca şef de lucrări şi conferenţiar a predat şi a introdus cursuri noi la disciplinele: Metoda elementelor finite, Proiectarea asistată de calculator, Statica, stabilitatea şi dinamica structurilor, Mecanica construcţiilor, Limbaje de programare.

Într-o perioadă în care informatizarea începea să schimbe profund ingineria, profesorul Iordan Petrescu s-a numărat printre cei care au înțeles importanța noilor tehnologii. A fost preocupat de proiectarea asistată de calculator, de analiza structurilor prin metoda elementelor finite, de modelarea 3D. A intuit devreme că viitorul profesiei inginerești nu putea fi separat de tehnologie și că universitatea trebuia să pregătească studenții pentru această transformare.

Ca profesor universitar a condus activităţi de predare atât pentru nivelul de licenţă, cât şi pentru cel de masterat, participând activ la înființarea specializării de master Poduri și Tuneluri în cadrul Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, propunând discipline noi în domeniul calculului geometric neliniar al podurilor.

Această deschidere către tehnologie avea să devină una dintre trăsăturile definitorii ale carierei sale. Profesorul Iordan Petrescu nu a privit tehnologia ca pe o simplă achiziție instrumentală, ci ca pe un mijloc de extindere a accesului la cunoaștere, de modernizare a proceselor educaționale și de adaptare a universității la nevoile societății.

În cadrul Universităţii Tehnice de Construcţii București, profesorul Iordan Petrescu a ocupat funcţii academice de mare responsabilitate. A fost prodecan al Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri între anii 1990 și 1992, secretar

științific al Senatului UTCB între 1993 şi 1999, apoi prorector al universităţii între 1999 şi 2008 [1].

Activitatea profesională a fost susţinută de activitatea publicistică şi de cercetare. Astfel, pentru domeniul didactic, profesorul Iordan Petrescu a publicat cărţi de specialitate, cursuri în format digital, note de curs pentru programe de licenţă şi master, articole ştiinţifice ce se regăsesc în reviste şi volume ale manifestărilor naţionale şi internaţionale, teme de cercetare şi proiecte educaţionale dintre care enumerăm [1]:

- Exemple de modelare cu elemente finite a comportării structurilor din infrastructura de transport, Prof. dr. ing. Iordan Petrescu, Şef lucr. dr. ing. Oana Mihaela Stan, Ed. Conspress, 2017;
- Etică şi integritate academică, Prof. dr. ing. Iordan Petrescu, curs în format digital, 2025;
- Iordan Petrescu – Manual de utilizare. Program de analiză liniară a structurilor plane alcătuite din grinzi şi bare (FTOOL), format digital site UTCB, 2006;
- Gh. Ilie, V. Fierbinţeanu, N. Stănilă, I. Petrescu – Mecanica Construcţiilor, Editura Tehnică, 1987;
- Gh. Ilie, N. Stănilă, I. Petrescu, C. Bucur – Structuri Static Determinate, UTCB, 1991.

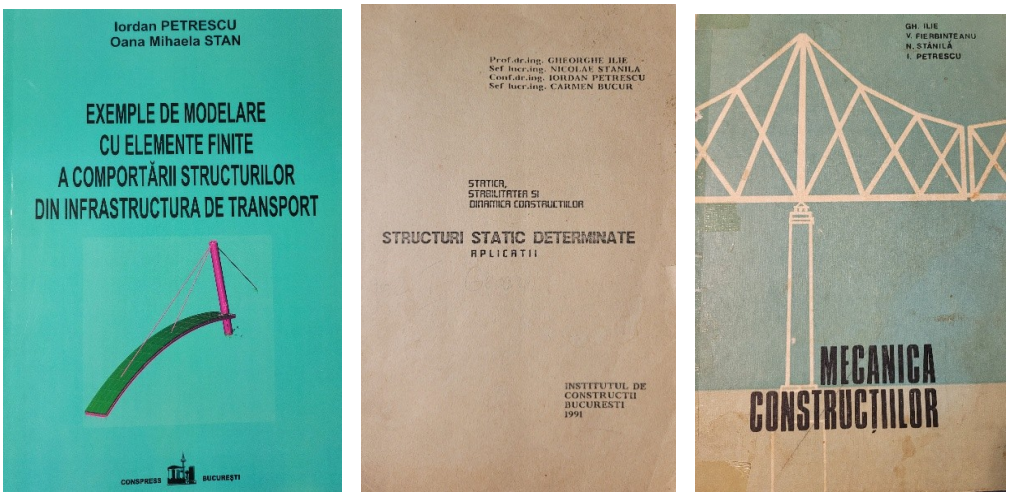


Figura 2. Autor al diverselor cărţi de specialitate

O altă latură a activităţii profesionale s-a materializat prin *deschiderea continuă spre o colaborare cu alte centre universitare*. Astfel, în anul 1991 domnul profesor Iordan Petrescu a pus bazele unui parteneriat între UTCB, organizaţii specializate din România şi City of Bath College (CBC) din Marea

Britanie, cu scopul de a dezvolta şi implementa un program de învăţământ bazat pe resurse care să răspundă precis nevoilor specifice ale industriei construcţiei şi întreţinerii drumurilor în România. Parteneriatul a avut la bază fonduri ale Uniunii Europene prin *Programe TEMPUS* şi în final a realizat un transfer unic de tehnologie pedagogică din Europa de Vest în România. În cooperare cu *City of Bath College* (Marea Britanie), *Centrul EUROHOT* de la UTCB a produs primul program de învăţământ bazat pe resurse pentru lucrătorii din industria drumurilor din România, având ca beneficiar direct Administraţia Naţională a Drumurilor (actualmente CNAIR). Principalul obiectiv a fost acela de a pregăti prin sistemul de învăţământ la distanţă un mare număr de lucrători care activează în domeniul construcţiei şi întreţinerii drumurilor şi podurilor, în vederea ridicării calificării lor profesionale şi a punerii la zi a acestora cu ultimele tehnologii din domeniu. Programul dezvoltat s-a dovedit a fi deosebit de util atât pe termen scurt, cât şi pe termen mediu, rezolvând problema calificării şi recalificării personalului angajat din reţeaua Administraţiei Naţionale a Drumurilor [1].

Între 1997 şi 1998, în cadrul Agenţiei Naţionale SOCRATES, a fost manager al Departamentului de Învăţământ la Distanţă şi Educaţia Adulţilor, contribuind la derularea proiectelor europene din acest domeniu şi oferind consultanţă de specialitate. Această perioadă a consolidat profilul său de expert în educaţie flexibilă, formare continuă şi învăţare pe tot parcursul vieţii.

O altă creaţie de suflet a prof. Iordan Petrescu a fost *Centrul de învăţământ bazat pe resurse* pentru învăţământul din construcţii, amplasat la parterul Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri (realizat între 1998 şi 2002). Centrul oferea spaţiul ideal destinat studiului individual şi în grup pentru studenţi. Având o capacitate de 85 de locuri, centrul a fost organizat în mai multe săli de studiu cu destinaţii speciale: sala de studiu în grup, sala de studiu individual, reţea de calculatoare, spaţiu pentru multiplicare, copiere şi editare a proiectelor.



Figura 3. Centrul de învăţământ bazat pe resurse

Un capitol esenţial al vieţii sale profesionale îl reprezintă contribuţia la dezvoltarea învăţământului cu frecvenţă, a învăţământului la distanţă şi a celui cu frecvenţă redusă în România.

Astfel, din 2000 a fost *membru activ al ARACIS*, iar din 2013 a devenit preşedinte al ARACIS, contribuind la evaluarea riguroasă a programelor de studii de licenţă şi master organizate în România, la definirea criteriilor de calitate şi la aşezarea învăţământului cu frecvenţă şi la distanţă pe baze academice solide. Acest parcurs a fost rezultatul implicării directe în dezvoltarea acestui domeniu, prin participarea continuă la activităţi specifice, dintre care menţionăm [1]:

- 2009 Asigurarea calităţii în e-Learning – NAHE – Sigtuna, Suedia;
- 2010 Asigurarea calităţii în învăţământul superior în CSI şi ţările din sud-estul Europei; Asigurarea calităţii în învăţământul superior – curs prin educaţie la distanţă – UNESCO – International Institute for Educational Planning;
- 2011 Asigurarea calităţii în eLearning – UNESCO, Section for Higher Education – Paris;
- 2011 Evaluarea Agenţiilor de asigurare a calităţii din învăţământul superior, ENQA – EXPERT – Quality Assurance Agency for Higher Education (QAA) and European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA).

Activitatea din domeniu este punctată şi prin afilierea sa la diferite asociaţii profesionale:

- NAFEMS – The International Organisation for Engineering Analysis Community;
- APDP – Asociaţia Profesională de Drumuri şi Poduri din România;
- SIAC – Societatea de inginerie asistată de calculator;
- EDEN – European Distance Education Network.

4. ACTIVITATE DE CERCETARE

Pe parcursul întregii activităţi, Domnia Sa a efectuat cercetare ştiinţifică în domenii precum: calculul şi analiza structurilor din transporturi, managementul educaţional, a realizat lucrări de proiectare pentru structuri de rezistenţă în transporturi terestre sau platforme de foraj marin, este autor şi coautor la 69 de articole ştiinţifice publicate în reviste de specialitate sau prezentate la reuniuni interne şi internaţionale – publicate în volumele acestora, a fost responsabil sau colaborator la 104 teme de cercetare ştiinţifică sau proiectare de specialitate,

responsabil sau colaborator la 8 proiecte educaţionale cu finanţare externă. Dintre acestea, menţionăm [1]:

- Contribuţii privind utilizarea calculatoarelor electronice în calculul spaţial al structurilor de rezistenţă ale podurilor – Teza de doctorat I. Petrescu, I.C.B., 1985;

- Procedee de atenuare a răspunsului dinamic la pasarele în vederea îndeplinirii criteriului de confort – Iordan Petrescu, Oana Mihaela Stan, Nicolae Pascariu, Conferința științifică „135 ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor”, 15 dec. 2016, București, pag. 99–112;

- Dynamic Behavior Of Railway Bridges Under High-Speed Traffic Loads, Petrescu Iordan, prof. PhD. CEng, UTCB, CFDP, Stan Oana Mihaela, lecturer PhD. CEng, UTCB, CFDP, Stănescu Răzvan Marian, lecturer PhD. CEng, UTCB, CFDP, RJTI (Romanian Journal of Transport Infrastructure), Volume 13, Issue 1, 16 pag., 2024.

În paralel, prof. Iordan Petrescu a fost implicat în numeroase proiecte dedicate dezvoltării educaţiei la distanţă, formării cadrelor didactice şi asigurării calităţii. Între 2005 şi 2008, a fost expert ODL în cadrul Proiectului pentru Învăţământul Rural, contribuind la pregătirea cadrelor didactice din mediul rural prin învăţământ la distanţă şi la implementarea unor programe postuniversitare de conversie profesională pentru aproximativ 2500 de cadre didactice. A fost, de asemenea, expert în proiecte POSDRU dedicate formării cadrelor didactice, dezvoltării programelor ID/IFR, creării platformelor e-learning, monitorizării calităţii şi implementării indicatorilor de performanţă. Menţionăm dintre acestea:

- Iordan Petrescu – Participare în comisii de specialitate la conferinţele: EUA AI 2025 organizată de Asociaţia Universităţilor Europene, 22–23 mai 2025 şi EDEN Bologna AC June 15–17, 2025;

- Asigurarea calităţii şi relevanţei formării profesionale a viitorilor pedagogi prin programe de studii inovative şi conexe la piaţa muncii – Elaborarea instrumentelor specifice procesului de instruire la distanţă pentru 10 programe de master – Ministerul Educaţiei şi Cercetării din Republica Moldova, 2023–2024, responsabil de proiect;

- EU-CONEXUS – Universitate Europeană pentru Dezvoltare Durabilă Inteligentă a zonelor urbane de coastă – Proiect Erasmus+, 2019–2023, reprezentant UTCB in Academic Council of Consortium;

- QAFIN – Îmbunătăţirea politicilor publice în învăţământul superior şi creşterea calităţii reglementărilor prin actualizarea standardelor de calitate, beneficiar MEN, partener ARACIS, coordonator tehnic de proiect, 2017–2021.

La data de 24 ianuarie 2022, profesorului universitar dr. ing. Iordan Petrescu i-a fost acordat „*Premiul pentru excelență pentru contribuția la dezvoltarea școlii românești de construcții*”, în cadrul celei de-a doua ediții a Galei Excelenței „Împreună protejăm România”. Evenimentul a fost organizat de Grupul de Presă MediaUno și Institutul Național de Statistică, sub egida Academiei Române și s-a desfășurat la Cercul Militar Național, în Sala de Marmură [2].

Distincția acordată profesorului Iordan Petrescu a reprezentat o recunoaștere publică a unei cariere dedicate educației inginerești, cercetării, formării generațiilor de specialiști și consolidării școlii românești de construcții. Prin activitatea sa didactică, științifică și instituțională, Domnia Sa a contribuit în mod semnificativ la dezvoltarea învățământului tehnic superior, la modernizarea proceselor manageriale și educaționale și la promovarea standardelor de calitate în mediul universitar [2].



Figura 4. Premiul pentru excelență pentru contribuția la dezvoltarea școlii românești de construcții

5. ACTIVITATEA ÎN CADRUL ARACIS

Din această perspectivă, trecerea sa de la ingineria structurală la managementul educațional, la e-learning și la învățământul la distanță nu a fost o ruptură, ci o continuitate firească. El a rămas mereu un constructor, doar că în timp, construcțiile sale au devenit instituționale, curriculare și umane.

Din anul 2000 a intrat în universitățile țării ca evaluator, profesor, expert și lider academic, dar a intrat și în inimile oamenilor ca prieten, mentor și om de mare noblețe. A apropiat instituții, a inițiat și stimulat dialoguri, a creat punți între universități și a contribuit la formarea unei comunități academice mai conștiente de responsabilitatea sa [2].

În calitate de președinte al ARACIS, a contribuit la dezvoltarea metodologiilor privind asigurarea calității în învățământul superior, la evaluarea instituțională și la evaluarea programelor de studii de licență și master, a avut un rol major în consolidarea relației dintre ARACIS și universitățile din România, dar și în dezvoltarea parteneriatelor internaționale.

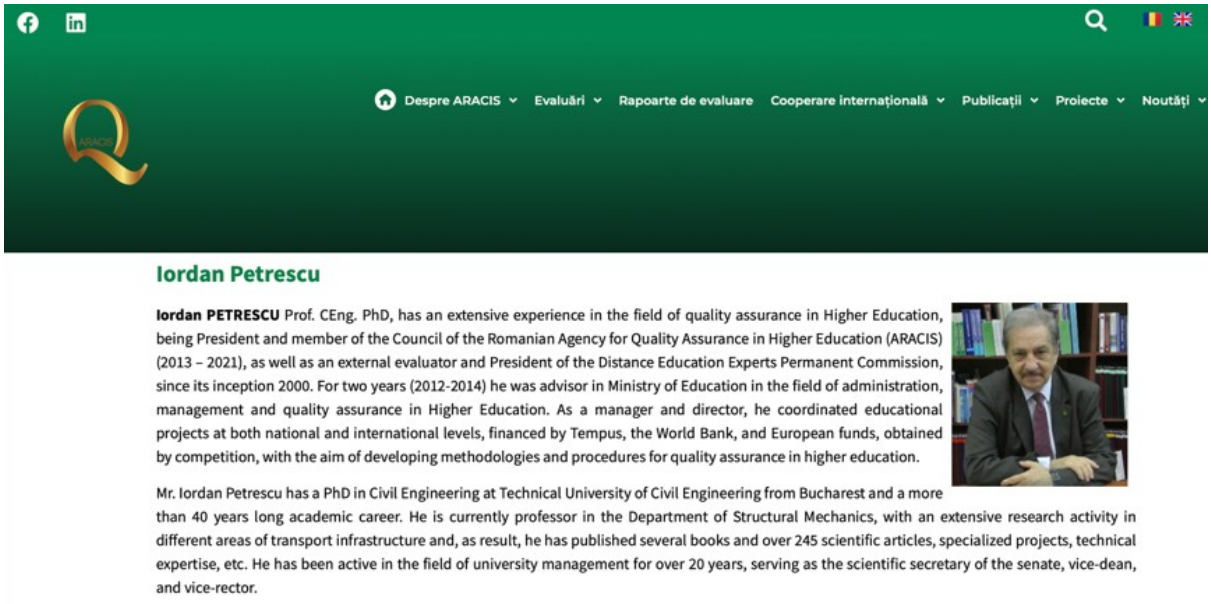


Figura 5. Președinte ARACIS (2013–2023)

A fost reprezentant în Bologna Follow-Up Group, în grupul de lucru pentru recunoașterea calificărilor, asigurarea calității și transparența în învățământul terțiar. A fost membru în Consiliul de administrație al Agenției Naționale a Calificărilor, contribuind la dezvoltarea și implementarea cadrului național al calificărilor în concordanță cu recomandările europene și cu principiile formării permanente pe parcursul vieții active [1].



Figura 6. Follow-Up Group, Bologna

Un capitol cu totul aparte în activitatea profesorului universitar dr. ing. Iordan Petrescu îl reprezintă contribuţia sa la susţinerea demersurilor de *internaţionalizare academică* şi de consolidare a învăţământului superior românesc dincolo de graniţele ţării. În această direcţie se înscriu [1], [2]:

- dezvoltarea Extensiei de la Roma a Facultăţii de Teologie Ortodoxă „Justinian Patriarhul” a Universităţii din Bucureşti;

- deschiderea programului de Medicină în cadrul Filialei UMFST din Târgu Mureş cu UMCH din Hamburg, Germania.

O dimensiune importantă a activităţii în ultimii 10 ani a profesorului *Iordan Petrescu* a fost legată de colaborarea cu mediul academic din *Republica Moldova*, spaţiu educaţional faţă de care a manifestat deschidere, implicare, responsabilitate şi dorinţa sinceră de a contribui la consolidarea calităţii învăţământului superior.



Figura 7. Colaborare la Chişinău, Republica Moldova

6. FUNCŢII DE CONDUCERE ÎN M.E.C. SAU M.C.I.

Pe tot parcursul vieţii profesionale domnul profesor Iordan Petrescu a avut funcţii de conducere sau a participat activ în cadrul structurilor de conducere ale M.E.C. sau M.C.I. [1]:

- Preşedinte ARACIS (2013–2023) – 10 ani;

- Reprezentant M.E.C. în Bologna Follow Up Group – QA in Higher Education (2013–2015, 2017–2020) – 5 ani;

- Consilier la Cabinetul Ministrului Educaţiei – 4 ani;

- Membru în Consiliul de Administraţie A.N.C. – 8 ani;

- Consultant individual al Ministerului Educației și Cercetării din Republica Moldova (2021–2025) – 4 ani;
- Consilier cabinet Președinte ARACIS (2021–2026) – 5 ani;
- Președintele Comisiei de evaluare ID/IFR (2000–2026) – 26 ani;
- Reprezentant UTCB în Academic Council of consortium EU-CONEXUS (2019–2022) – 4 ani.

Profesorul Iordan Petrescu a fost un reper moral și profesional. A format ingineri, experți evaluatori, a îndrumat colegi, a încurajat inițiative, a observat și a valorizat binele din munca celorlalți. A creat în jurul său un climat de respect, profesionalism și prietenie, un spațiu în care exigența nu excludea căldura umană, iar rigoarea era însoțită de încredere și deschidere. În luarea deciziilor, profesorul Iordan Petrescu a dat dovadă de spirit consultativ și echilibru. Obișnuia să discute și să asculte opinii diferite și abia apoi să tragă concluzii și să contureze o soluție. Chiar și atunci când existau dezacorduri, asculta argumentele cu calm, cu deschidere și cu respect pentru cel care le exprima. Una din cele mai frumoase trăsături ale sale a fost capacitatea de a aduce oamenii împreună.

Acesta a fost domnul profesor Iordan Petrescu, personalitate unanim recunoscută în toate domeniile în care a activat. S-a stins din viață pe 9 iunie 2026, dar rămâne alături de noi prin spiritul și creațiile sale, prin responsabilitatea pe care ne-o insufla tuturor, prin generozitatea și prin apropierea cu care împărtășea experiența sa.

Dumnezeu să-l odihnească în pace și să-i lumineze calea!

BIBLIOGRAFIE

[1]. IORDAN PETRESCU, *CV* și *Memoriu de activitate*, site U.T.C.B., **2026**

[2]. EMILIA GOGU, *Monografie comemorativă, prof. univ. dr. ing. Iordan Petrescu – omul punților dintre oameni*, **2026**

OMAGIU PROFESORULUI UNIVERSITAR DOCTOR INGINER ION RĂCĂNEL

Răcănel Ionuț-Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

MOTTO: „A nu-ți uita profesorii înseamnă a-ți păstra rădăcinile vii.”
Simion Mehedinți

1. INTRODUCERE

Aniversarea a 145 de ani de la înființarea Școlii Naționale de Poduri și Șosele ne oferă deosebita onoare de a omagia personalitatea distinsului Profesor Universitar Doctor Inginer **Ion RĂCĂNEL**. Acesta rămâne în memoria comunității academice ca un dascăl de excepție pentru numeroase generații de ingineri, precum și un specialist de renume, profund apreciat în breasla drumarilor din România (figura 1).



Figura 1. Prof. dr. ing. Ion Răcănel (1943–1998)

2. EDUCAȚIA ŞI FORMAREA

Profesorul Ion Răcănel s-a născut la data de 18 mai 1943, în satul Cleşneşti, comuna lormăneşti, din judeţul Gorj. A fost căsătorit şi a avut doi copii: Alexandrina-Iulia şi Ionuţ-Radu.

Deşi provenea dintr-o familie săracă, cu mulţi fraţi, datorită ambiţiei sale de a învăța, Ion Răcănel a urmat cursurile şcolii generale din satul natal, pentru ca mai apoi să plece departe de părinţi, pentru a urma cursurile liceale (figura 2).



Figura 2. Profesorul Ion Răcănel la absolvirea liceului, 1961

Au urmat anii de studiu universitar la Facultatea de Construcţii Feroviare, Drumuri şi Poduri din cadrul Institutului de Construcţii Bucureşti. Pe durata anilor de studii, profesorul Ion Răcănel a fost un student eminent, absolvind facultatea în anul 1967 ca Şef de promoţie. În urma susţinerii proiectului pentru Examenul de Stat în luna februarie 1967, a fost declarat admis cu media 10 (zece) şi declarat *inginer constructor* în specialitatea Drumuri şi Poduri.

După absolvirea facultăţii, datorită calităţilor deosebite pe care le-a probat de-a lungul anilor de studii şi mai ales deoarece a dovedit o pregătire profesională deosebită, ing. Ion Răcănel a fost repartizat direct în învăţământ pe postul didactic de *Preparator* la catedra de Drumuri şi Căi Ferate din Institutul de Construcţii Bucureşti.

Chiar dacă nu a avut sarcini didactice prevăzute prin statul de funcţiuni al catedrei, în această perioadă, beneficiind de sprijinul profesional, didactic şi colegial al unor profesori renumiţi ce au activat în cadrul Catedrei de Drumuri şi Căi Ferate, cum ar fi prof. ing. Traian Mătăsaru, prof. ing. Iosif Craus, prof. dr. ing. Stelian Dorobanţu sau prof. dr. ing. Victor Guţu, profesorul Ion Răcănel a

acumulat experienţă profesională şi mai ales didactică, lucruri care l-au ajutat foarte mult, ulterior, în activitatea de cadru didactic.

În anul universitar 1970–1971 a ocupat prin concurs postul de *Asistent* la Catedra de Drumuri şi Căi Ferate şi în continuare a ocupat tot prin concurs posturile de *Şef de Lucrări* începând cu anul 1977, *Conferenţiar* începând cu anul 1990 şi *Profesor* începând cu anul 1992.

În anul 1973, prof. ing. Ion Răcănel s-a prezentat la concursul de admitere la doctorat şi a început activitatea prevăzută în planul individual de studiu elaborat de conducătorul ştiinţific, prof. emerit ing. Ioan Stănculescu.

După o lungă şi bogată perioadă de cercetare ştiinţifică în domeniul rutier, Ion Răcănel a finalizat şi susţinut teza de doctorat cu titlul: *Contribuţii privind studiul comportării şi calculul îmbrăcăminţilor din beton de ciment la acţiunea factorilor climatici* în luna februarie 1988, cu acest prilej conferindu-i-se titlul ştiinţific de DOCTOR INGINER.

Concomitent cu activitatea didactică şi de cercetare din cadrul Catedrei de Drumuri şi Căi Ferate, pe parcursul anului 1973 a efectuat două stagii de perfecţionare în cadrul I.P.T.A.N.A. (Institutului de Proiectări Auto, Navale şi Aeriene din Bucureşti) unde a participat la elaborarea unor proiecte de modernizare şi consolidare pe DN 7 Piteşti – Râmnicu Vâlcea şi pe DN 1 Comarnic – Sinaia. Această din urmă lucrare a marcat aplicarea, pentru prima dată la noi în ţară, a tehnicii susţinerilor ancorate pentru lucrări de sprijiniri vechi, tehnică detaliată teoretic şi practic şi propusă de profesor dr. ing. Stelian Dorobanţu.

În anul 1975, a beneficiat de o bursă de specializare de 10 luni la Universitatea din Austin, Texas, din S.U.A. (figura 3).

Stagiul de perfecţionare desfăşurat peste hotare a cuprins două teme principale, de mare actualitate şi interes în domeniul drumurilor şi anume:

- Studiul comportării îmbrăcăminţilor din beton de ciment la acţiunea factorilor climatici;

- Tehnica traficului rutier, confortul, siguranţa şi sistematizarea circulaţiei rutiere în oraşe şi în afara localităţilor. Tehnici de calcul pentru determinarea traficului de perspectivă pentru extinderea şi modernizarea reţelei de drumuri.

Studiile teoretice şi experimentale efectuate cu prilejul stagiului din S.U.A. i-au permis, mai târziu, dezvoltarea unor importante teme de cercetare în cadrul colectivului din care făcea parte şi mai ales, finalizarea tezei de doctorat.



Figura 3. Profesorul Ion Răcănel în anul 1975, cu bursă de specializare, Universitatea din Austin, Texas, din S.U.A.

După reîntoarcerea în țară, în septembrie 1976, prof. Răcănel şi-a reluat activitatea didactică şi de cercetare în cadrul catedrei.

În anul 1992 a devenit Şeful catedrei de Drumuri şi Căi Ferate din Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, precum şi conducător de doctorat.

3. ACTIVITATEA DIDACTICĂ, PROFESIONALĂ ŞI DE CERCETARE

Paleta disciplinelor didactice predate de profesorul Ion Răcănel s-a lărgit odată cu numirea sa în funcţia de asistent la Catedra de Drumuri şi Căi Ferate. Amintim câteva din disciplinele la care a condus în această perioadă lucrările de seminar, laborator şi proiect: *Studiul şi proiectarea drumurilor*, *Construcţia drumurilor*, *Drumuri urbane* şi *Căi de comunicaţii*.

Începând cu anul 1972 a condus cu pricepere aplicaţiile la noua disciplină *Trafic şi autostrăzi*, fiind alături de prof. dr. ing. Stelian Dorobanţu, un pionier al acestei specializări din domeniul construcţiei de drumuri.

În anul 1977, când a devenit şef de lucrări, norma sa didactică s-a îmbogăţit cu două noi discipline: *Trafic şi drumuri urbane* şi *Proiectarea şi construcţia drumurilor*.

Bogata activitate de cercetare ştiinţifică, vasta documentare desfăşurată cu rigurozitate au fost materializate în numeroase lucrări de expertize tehnice, în elaborarea unor noi normative şi instrucţiuni tehnice.

În anul 1992, când a obţinut titlul de profesor, Ion Răcănel a devenit titularul disciplinelor *Drumuri – partea I* şi *Trafic şi Drumuri urbane*.

Fiind bun cunoscător al limbilor engleză şi germană, începând cu anul 1992 a predat la Department of Engineering Sciences din cadrul Universităţii Tehnice de Construcţii, cursul *Introduction to Transport Engineering* (figura 5).

În anii 1983 şi 1993 prof. Răcănel a fost coraportor naţional la Congresele Mondiale de Drumuri de la Sydney, respectiv Marrakesh.

Din anul 1991 profesorul Ion Răcănel a reprezentat Catedra de Drumuri şi Căi Ferate în conducerea Centrului EUROHOT al Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, dezvoltat în cadrul Programului TEMPUS în colaborare cu universităţi din Marea Britanie, centru al cărui prim obiectiv a fost implementarea în România a sistemului de învăţământ la distanţă pentru cadre tehnice cu pregătire medie (figura 4).



Figura 4. Profesorul Ion Răcănel împreună cu profesorul Iordan Petrescu, în vizită la City of Bath College (CBC) din Marea Britanie, Anglia, în cadrul programului TEMPUS, 1991

În bogata sa activitate didactică, prof. Răcănel a condus cu pricepere, talent şi tact pedagogic proiecte de an, de diplomă, lucrări de disertaţie, dar şi teze de doctorat pentru multe serii de studenţi ce au devenit ulterior absolvenţi ai Facultăţii de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri.

Începând cu anul 1977 a condus lecţii de sinteză în cadrul unor cursuri de pregătire postuniversitară, acestea fiind foarte atractive şi bucurându-se mereu de un foarte larg auditoriu.

Profesorul Ion Răcănel şi-a pus întreaga activitate în slujba dezvoltării tehnice rutiere din ţara noastră. Temele abordate, cum ar fi:

- rezistenţa opusă de diferite tipuri de fundaţii rutiere la deformarea dalelor,
- rezistenţa la uzură a pietrei de ciment,

- influența încărcărilor date de trafic asupra evoluției stării de fisurare, au contribuit decisiv, prin valoarea lor teoretică și științifică, la progresul lucrărilor de drumuri.

Cărțile publicate de profesorul Ion Răcănel sunt cunoscute atât studenților, cât și specialiștilor din domeniul drumurilor din România și de peste hotare. Enumerăm aici lucrările de referință: *„Drumuri. Calcul și proiectare”*, *„Drumuri moderne. Racordări cu clotoida”*, *„Drumuri. Elemente geometrice”*, *„Terasamente. Exemple de calcul”*, *„Proiectarea și construcția drumurilor. Exemple de calcul”*, *„Inginerie de trafic – partea a II-a”*; *„Drumuri. Clotoida. Partea I – nomograme și abace”*, *„Drumuri. Îmbrăcăminți din beton de ciment. Metode de calcul și dimensionare”* (figura 5).



Figura 5. Activitatea publicistică a domnului profesor Ion Răcănel

În vasta sa activitate de cercetare, a fost autor și coautor la peste 100 de lucrări științifice, incluzând articole publicate în reviste și cărți de specialitate din țară și străinătate, comunicări la simpozioane, consfătuiri și conferințe, participări la elaborarea de normative și standarde sau lucrări de cercetare elaborate pe bază de contract.

Ca o recunoaştere a merituoasei sale activităţi didactice şi ştiinţifice, dar şi a calităţilor sale de coleg şi om, a fost ales în anul 1992 şef al Catedrei de Drumuri şi Căi Ferate, funcţie pe care a deţinut-o până în anul 1996.

În luna noiembrie a anului 1997 a fost în vizită de lucru în S.U.A.

4. CONSIDERAŢII FINALE

Prof. dr. ing. Ion Răcănel a fost un om deosebit, cu suflet deschis, care prin experiența și cunoștințele sale teoretice și tehnice profunde, dobândite, a fost util colectivului din care a făcut parte și foarte apreciat de seriile de studenți pe care i-a pregătit. A știut, în ciuda numeroaselor probleme ale vieții, să fie un dascăl deosebit, un om bun și un tată excepțional (figura 6). Și-a iubit copiii, i-a crescut și educat cu dragoste și pricepere, bucurându-se în final de rezultatele foarte bune obținute de aceștia pe plan profesional, dar și familial.

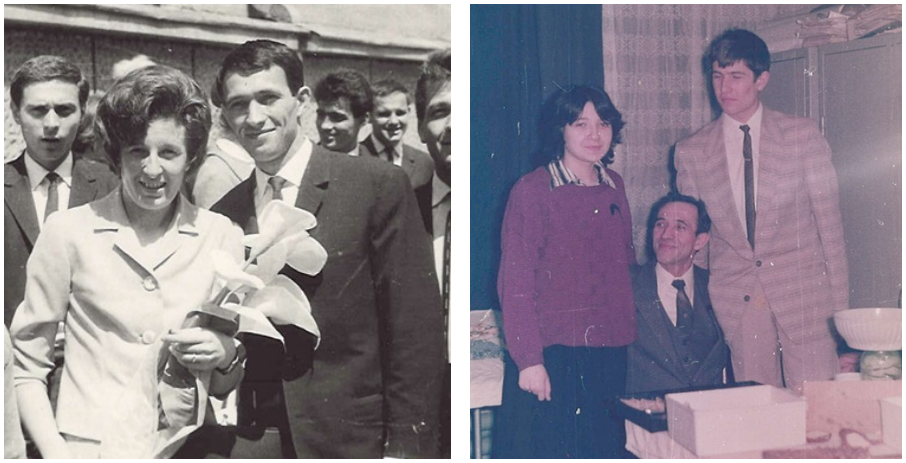
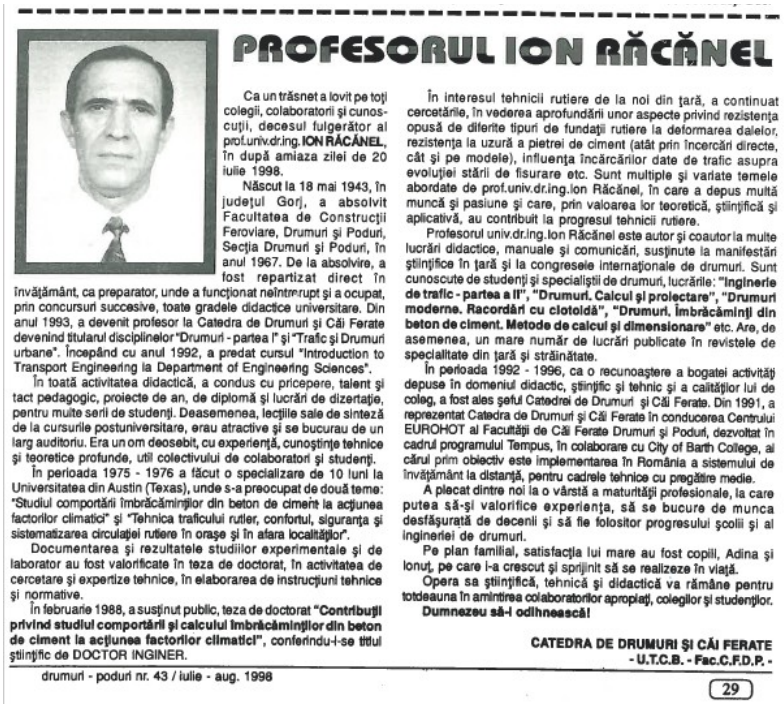


Figura 6. Profesorul Ion Răcănel împreună cu soția în anul 1967 (stânga) și cu cei doi copii în februarie 1988, la susținerea tezei de doctorat (dreapta)

Din păcate, soarta a fost foarte crudă cu profesorul Ion Răcănel. A plecat dintre noi la vârsta de 55 de ani, în după-amiaza zilei de 20 iulie 1998 (figura 7), atunci când nimeni nu se aştepta, la vârsta unei depline maturităţi profesionale, când putea desăvârşi activitatea pe care a desfăşurat-o cu pricepere şi profesionalism atâţia ani de zile. Ar fi putut pregăti în continuare specialişti în domeniul drumurilor şi ar fi putut fi folositor, prin activitatea sa, şcolii pe care a absolvit-o.



PROFESORUL ION RĂCĂNEL

Ca un trăsnet a lovit pe toți colegii, colaboratorii și cunoscuții, decesul fulgerător al prof.univ.dr.ing. **ION RĂCĂNEL**, în după amiaza zilei de 20 iulie 1998.

Născut la 18 mai 1943, în județul Gorj, a absolvit Facultatea de Construcții Feroviare, Drumuri și Poduri, Secția Drumuri și Poduri, în anul 1967. De la absolvire, a fost repartizat direct în învățământ, ca preparator, unde a funcționat neîntrerupt și a ocupat, prin concursuri succesive, toate gradele didactice universitare. Din anul 1993, a devenit profesor la Catedra de Drumuri și Căi Ferate devenind titularul disciplinelor "Drumuri - partea I" și "Trafic și Drumuri urbane". Începând cu anul 1992, a predat cursul "Introduction to Transport Engineering la Department of Engineering Sciences".

În toată activitatea didactică, a condus cu pricepere, talent și tact pedagogic, proiecte de an, de diplomă și lucrări de dizertație, pentru multe serii de studenți. Deasemenea, lecțiile sale de sinteză de la cursurile postuniversitare, erau atractive și se bucurau de un larg auditoriu. Era un om deosebit, cu experiență, cunoștințe tehnice și teoretice profunde, util colectivului de colaboratori și studenți.

În perioada 1975 - 1976 a făcut o specializare de 10 luni la Universitatea din Austin (Texas), unde s-a preocupat de două teme: "Studiul comportării îmbrăcămințior din beton de ciment la acțiunea factorilor climatici" și "Tehnica traficului rutier, confortul, siguranța și sistematizarea circulației rutiere în orașe și în afara localităților".

Documentarea și rezultatele studiilor experimentale și de laborator au fost valorificate în teza de doctorat, în activitatea de cercetare și expertize tehnice, în elaborarea de instrucțiuni tehnice și normative.

În februarie 1988, a susținut public, teza de doctorat **"Contribuții privind studiul comportării și calculul îmbrăcămințior din beton de ciment la acțiunea factorilor climatici"**, conferindu-i-se titlul științific de DOCTOR INGINER.

În interesul tehnicii rutiere de la noi din țară, a continuat cercetările, în vederea aprofundării unor aspecte privind rezistența opusă de diferite tipuri de fundații rutiere la deformarea dalelor, rezistența la uzură a pietrei de ciment (atât prin încercări directe, cât și pe modele), influența încărcărilor date de trafic asupra evoluției stării de fisurare etc. Sunt multiple și variate temele abordate de prof.univ.dr.ing.Ion Răcănel, în care a depus multă muncă și pasiune și care, prin valoarea lor teoretică, științifică și aplicativă, au contribuit la progresul tehnicii rutiere.

Profesorul univ.dr.ing.Ion Răcănel este autor și coautor la multe lucrări didactice, manuale și comunicări, susținute la manifestări științifice în țară și la congresele internaționale de drumuri. Sunt cunoscute de studenți și specialiștii de drumuri, lucrările: **"Ingineria de trafic - partea a II", "Drumuri. Calcul și proiectare", "Drumuri moderne. Racordări cu clotoidă", "Drumuri. Îmbrăcăminți din beton de ciment. Metode de calcul și dimensionare"** etc. Are, de asemenea, un mare număr de lucrări publicate în revistele de specialitate din țară și străinătate.

În perioada 1992 - 1996, ca o recunoaștere a bogatei activități depuse în domeniul didactic, științific și tehnic și a calităților lui de coleg, a fost ales șeful Catedrei de Drumuri și Căi Ferate. Din 1991, a reprezentat Catedra de Drumuri și Căi Ferate în conducerea Centrului EUROHOT al Facultății de Căi Ferate Drumuri și Poduri, dezvoltat în cadrul programului Tempus, în colaborare cu City of Barth College, al cărui prim obiectiv este implementarea în România a sistemului de învățământ la distanță, pentru cadrele tehnice cu pregătire medie.

A plecat dintre noi la o vârstă a maturității profesionale, la care putea să-și valorifice experiența, să se bucure de munca desfășurată de decenii și să fie folositor progresului școlii și al ingineriei de drumuri.

Pe plan familial, satisfacția lui mare au fost copiii, Adina și Ionuț, pe care i-a crescut și sprijinit să se realizeze în viață.

Opera sa științifică, tehnică și didactică va rămâne pentru totdeauna în amintirea colaboratorilor apropiați, colegilor și studenților.

Dumnezeu să-i odihnească!

CATEDRA DE DRUMURI ȘI CĂI FERATE
- U.T.C.B. - Fac.C.F.D.P. -

drumuri - poduri nr. 43 / iulie - aug. 1998

29

Figura 7. Revista Drumuri și Poduri – Anul VIII, nr. 43, iulie–august 1998

Recunoscut ca un mentor desăvârșit pentru generații întregi de ingineri, domnia sa a fost și un specialist de elită, a cărui activitate a marcat profund comunitatea drumarilor din țara noastră. Opera sa științifică, tehnică și didactică, spiritul său deschis și sincer vor rămâne pentru totdeauna în amintirea colaboratorilor săi, colegilor și studenților, dar și celor ce l-au cunoscut.

BIBLIOGRAFIE

[1]. RĂCĂNEL ION, *CV și Memoriu de activitate*

[2]. *Colecția Revista de Drumuri și Poduri*

[3]. A.N.D., A.P.D.P., *În memoria drumarilor*, editura Inedit, **2002**

SECŢIUNEA B.
INFRASTRUCTURA DE TRANSPORT, TRECUT ŞI PREZENT

★ 1881 – 2026 ★

DE LA DOUĂZECI ŞI UNU DE VADURI LA TREISPREZECE TUNELURI. SCURTĂ ISTORIE TEHNICĂ A SECTORULUI CÂMPINA–PREDEAL AL DN 1

Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro

Rezumat

Articolul reconstituie istoria tehnică a sectorului Câmpina–Predeal al DN 1, de circa 52 km, pe care drumul urcă de la 426 m la 1.033 m printr-un culoar îngust, ocupat succesiv de albia Prahovei, de șosea, de calea ferată București–Brașov și de fronturile construite a șapte localități. Teza lucrării este că problemele actuale ale sectorului — alunecările recurente, exploatarea dificilă pe timp de iarnă, saturația de trafic și imposibilitatea variantelor ocolitoare — nu sunt rezultatul unor erori succesive, ci consecința unei singure mărimi care a lipsit de la început: lățimea disponibilă. Sunt analizate, pe rând, constrângerile de relief și geologice, drumurile de plai și de poștă, construcția șoselei naționale între 1845 și 1865 și decizia de traseu din 1851, apariția căii ferate (1879) și dezvoltarea stațiunilor, perioada automobilului și a îmbrăcăminților bituminoase, modernizarea din 1950–1989, patologia actuală a drumului și istoricul autostrăzii Comarnic–Brașov. Rezultă că fiecare epocă a ameliorat ieftin suprafața, dar a păstrat geometria din secolul al XIX-lea, că întreținerea unui drum de vale este dominată de versant, de râu și de iarnă, și că autostrada, singura intervenție care adaugă capacitate în afara culoarului, nu va face inutil DN 1, care va rămâne rută de deviere. Lucrarea propune, în final, inventarierea, documentarea înainte de înlocuire și clasarea selectivă a elementelor de patrimoniu rutier ale sectorului.

Cuvinte cheie: DN 1, Valea Prahovei, istorie tehnică, drum de vale, alunecări de teren, autostrada Comarnic–Brașov, patrimoniu rutier.

Abstract

The paper reconstructs the technical history of the Câmpina–Predeal section of national road DN 1, about 52 km long, on which the road climbs from 426 m to 1,033 m through a narrow corridor successively occupied by the Prahova riverbed, the road, the Bucharest–Brașov railway and the built-up frontages of seven localities. The thesis of the paper is that the current problems of the section - recurrent landslides, difficult winter operation, traffic saturation and the impossibility of bypasses - are not the result of successive errors, but the consequence of a single quantity that was missing from the start: the available width. The paper analyses, in turn,

the relief and geological constraints, the mountain-path and postal roads, the construction of the national road between 1845 and 1865 and the 1851 alignment decision, the arrival of the railway (1879) and the development of the resorts, the period of the motor car and of bituminous surfacings, the 1950–1989 modernisation, the current pathology of the road and the history of the Comarnic–Brașov motorway. It follows that each period improved the surface cheaply but kept the nineteenth-century geometry, that the maintenance of a valley road is dominated by the slope, the river and the winter, and that the motorway, the only intervention adding capacity outside the corridor, will not make DN 1 redundant, as the road will remain the diversion route. Finally, the paper proposes an inventory, documentation before replacement and the selective listing of the road heritage elements of the section.

Keywords: DN 1, Prahova Valley, technical history, valley road, landslides, Comarnic–Brașov motorway, road heritage.

1. INTRODUCERE

Pe cei circa 52 de kilometri dintre Câmpina și Predeal, traseul drumului național nu a fost ales de un proiectant, ci impus de relief. Drumul urcă de la 426 m la 1.033 m, cu o declivitate medie de ordinul a 1,2%, printr-un culoar care pe câțiva kilometri se îngustează la lățimea luncii. În acest culoar au fost așezate succesiv, fără posibilitate de separare, albia Prahovei, șoseaua, calea ferată București–Brașov și fronturile construite ale șapte localități.

Articolul urmărește consecințele acestei constrângeri inițiale, de la primele drumuri de plai până la autostrada aflată încă în proiectare. Teza lui este că aproape toate problemele actuale ale sectorului - alunecările recurente, exploatarea dificilă pe timp de iarnă, saturația de trafic, imposibilitatea variantelor ocolitoare - nu sunt rezultatul unor erori succesive, ci consecința logică a unei singure mărimi care a lipsit de la început: lățimea disponibilă. Fiecare generație a folosit rațional spațiul rămas de la generația anterioară, iar rezultatul cumulat este un culoar saturat, în care nicio componentă nu mai poate fi modificată fără a le afecta pe celelalte.

Sectorul traversează trei trepte morfologice, iar fiecare impune drumului un alt regim de traseu.

Treapta subcarpatică, între Câmpina și Comarnic, este singura pe care relieful nu decide singur. Câmpina se află la 426 m, într-o regiune deluroasă, la capătul sudic al văii; aici lunca este largă, terasele bine dezvoltate, iar drumul poate alege malul sau urca pe terasă.

Pragul de contact este defileul săpat de Prahova la nord de Comarnic, în zona Posada, care marchează exact limita dintre treapta montană și Subcarpați. Râul, cu nivel de bază coborât și putere mare de eroziune, s-a încrustat aici direct în stratele de Azuga și de Sinaia [1,2]. Pe circa cinci kilometri, culoarul se reduce la luncă, iar căile de comunicație sunt obligate să o urmeze.

În amonte, valea se redeschide. Sinaia se desfășoară între 798 și 1.055 m, pe versantul sud-estic al Bucegilor; între Bușteni și Sinaia, pe circa 10 km lungime și 2–3 km lățime, Prahova formează depresiunea intramontană Sinaia [3]. Culoarul este încadrat asimetric: la vest Bucegii, cu înălțimi de peste 2.000–2.400 m și abrupturi marginale, la est Munții Gârbova (Baiului), cu o culme nord-sud lungă de peste 30 km și altitudini de 1.700–1.900 m [3]. În sectoarele de îngustare - Cheile Orății, în Muntele Gurguiatu - lățimea utilă scade din nou drastic. Pasul Predeal, la 1.033 m, separă Carpații Meridionali de cei Orientali și constituie totodată cumpăna de ape dintre Prahova și Timiș [4].

Tabelul 1. Altitudinile principalelor repere ale sectorului Câmpina–Predeal și unitățile de relief [4]

Reper	Altitudine (m)	Unitate de relief
Câmpina	426	Subcarpații Prahovei; vale largă, terase
Comarnic	cca 600	contact treaptă montană – Subcarpați
Defileul Posada	cca 600–700	Stratele de Sinaia, puternic cutate
Sinaia	798–1.055	depresiunea intramontană Sinaia
Bușteni	cca 880	limita nordică a depresiunii
Azuga	cca 1.000	culoar îngust, confluența Azuga
Predeal	1.030–1.110	cel mai înalt oraș din România
Pasul Predeal	1.033	cumpănă de ape Prahova / Timiș

Stratele de Sinaia (Tithonic superior – Barremian inferior [1]) formează un complex de fliș care se întinde neîntrerupt la poalele versantului prahovean și continuă la est de râu, în Masivul Gârbova. Complexul este o alternanță des repetată de gresii dure, calcaroase, cu șisturi marnoase și calcare fine, iar stratele sunt puternic dislocate, cutate și rupte — deosebit de evidente tocmai în defileu [5]. Pentru proiectantul de drum, aceasta înseamnă un masiv puternic anizotrop, în care intercalațiile marnoase funcționează ca planuri potențiale de alunecare, o dezagregare diferențiată între gresii și marne, și imposibilitatea practică a unei variante de traseu în versant fără susțineri continue.

Trei mărimi au limitat, în consecință, proiectarea, indiferent de epocă. **Panta** medie, de circa 1,2%, nu este în sine dificilă, dar nu poate fi compensată

geometric: porțiunile cu declivitate sporită coincid cu tronsoanele cele mai strâmte, unde banda suplimentară nu are unde fi așezată. **Raza minimă în plan** nu este o opțiune, ci o consecință a lățimii disponibile; mărirea ei ar cere fie intrarea în versant, fie devierea albiei. **Râul** nu este un vecin pasiv: debitul crește rapid, de la 0,59 m³/s la Azuga la 5,13 m³/s la confluența cu Izvorul Dorului, iar precipitațiile medii anuale la Sinaia depășesc 800 mm, cu maxime în iunie și iulie [3] - adică în sezonul de execuție.

Cele trei constrângeri se cumulează într-o buclă. Panta cere lungime; lungimea, într-o vale îngustă, se obține urmărind meandrele; urmărirea meandrelor aduce drumul lângă albie, unde este expus eroziunii laterale și viiturilor; iar apărarea împotriva râului consumă tocmai lățimea de care ar fi fost nevoie pentru o geometrie mai bună.

2. ÎNAINTE DE ȘOSEA: DRUMUL DE PLAI ȘI DRUMUL DE POȘTĂ

Timp de aproape cinci secole, Valea Prahovei a fost a doua sau a treia opțiune. Sub Mircea cel Bătrân, drumul pe care negustorii brașoveni erau *obligați* să-l urmeze lega Branul de Brăila, prin Cetatea Dâmbovița, Rucăr, Câmpulung, Târgoviște și Târgșor, cu vamă de export la Bran [6]. Cuvântul-cheie este obligația: ruta principală nu era principală pentru că era mai ușoară, ci pentru că era impusă, iar obligația de traseu este un instrument fiscal — ea concentrează fluxul într-un punct de vamă controlabil. Ierarhia rutelor medievale reflectă, deci, o decizie administrativă înainte de a reflecta topografia.

Prahova apare devreme în documente. Privilegiul acordat la 28 iunie 1358 de Ludovic I de Anjou negustorilor brașoveni - cel dintâi cunoscut pentru Țara Românească - confirmă un drum pornind din Transilvania pe Valea Prahovei și pe Valea Buzăului spre Dunăre [7]. Lectura actului este însă disputată: alte prezentări îi atribuie ruta Rucăr – Câmpulung – Târgoviște [8]. Textul, așa cum este citat, delimitează un spațiu între râurile Buzău și Prahova mai degrabă decât un traseu punctual, ceea ce explică ambele interpretări; chestiunea se tranșează numai prin ediția de documente.

Poziția vămii măsoară cel mai bine controlul efectiv asupra văii, iar ea urcă treptat spre amonte: un hrisov din 1593 menționează o vamă pe drumul Prahovei, cel mai probabil la Câmpina, alături de vămile Branului și Teleajenului; până în 1852 punctul muntenesc de vamă se afla la Breaza; în acel an se mută la Predeal [9]. Clădirea vămii românești de la Predeal a fost inaugurată în 1883 de regele Carol I [10], iar dincolo de frontieră funcționa vama austro-ungară de la Timișu de

Sus, localitate care purta chiar numele de Vama Timiș. Mișcarea este semnificativă tehnic: o vamă nu poate funcționa decât acolo unde există așezare permanentă și drum practicabil tot anul, iar ea urcă pe vale imediat ce drumul devine utilizabil.

Cât despre starea fizică a căii, ea se definește nu prin lățime sau îmbrăcăminte, ci prin numărul trecerilor peste apă. Înainte de lucrările din secolul al XIX-lea, drumul - chiar lărgit pentru căruțe ușoare - trecea de douăzeci și una de ori prin albia Prahovei, în zigzag de pe un povârniș pe altul [11]. Un drum construit pe vaduri este întrerupt la fiecare viitură, nu doar greu de parcurs; sarcina utilă îi este limitată de cel mai prost vad; iar traseul i se modifică singur, odată cu albia. Legătura dintre Posada și Predeal se făcea inițial pe potecă; din 1700 poteca a fost lărgită treptat în drum de căruțe, iar austriecii au contribuit la lărgirea ei, cu salahori, din motive militare, în timpul războiului din 1736–1739 [11] - prima modernizare consistentă a acestui drum a fost, deci, militară și executată fără proiect.

Într-un culoar fără așezări, popasurile sunt infrastructură: schitul Lespezi lângă Posada, Mănăstirea Sinaia (sfințită la 15 august 1695, cu circa 80 de călugări [11]), hanul „Slonul de Piatră” la Bușteni, schitul de lemn de la Predeal (sfințit în 1744), cătunul Izvor (1782). Mănăstirea Sinaia a fost, timp de un secol, singurul punct de adăpost sigur pe cei mai dificili kilometri.

În perioada 1787-1792 are loc războiul ruso-austro-otoman, cu Țara Românească inclusă în conflict ca parte a Imperiului Otoman. În 1788, austriecii sunt înfrânți la Câmpina de Nicolae Mavrogheni și trebuie să se retragă înapoi în Transilvania, hărțuiți în permanență, prin Valea Prahovei. În acest context, în 1789 este reparat drumul de care de pe Valea Prahovei, adăugându-i-se și punți și poduri de lemn.

Spre sfârșitul secolului al XVIII-lea se instalase pe drumul Brașovului un serviciu de poștă, oficializat prin Regulamentul Organic în 1831. Poșta impune drumului o cerință pe care comerțul nu o impunea - regularitatea -, iar stațiile cu schimb de cai presupun distanțe previzibile și traseu stabil. Performanța rămâne modestă: în jurul anului 1830, călătoria de la Brașov la București dura patru zile. În figura 1 este reprezentată harta Telegrafo - Poștală din anul 1865.



Figura 1. Harta Telegrafo - Poștală din anul 1865

3. ȘOSEAUA NAȚIONALĂ (1830–1880)

Între 1830 și 1880, drumul de pe Valea Prahovei încetează să fie un traseu și devine o lucrare: o platformă cu traseu fixat, cu îmbrăcăminte executată, cu poduri și ziduri de sprijin, întreținută de personal salariat și finanțată dintr-un buget anual.

Pragul legislativ este Regulamentul Organic, intrat în vigoare în Țara Românească în iulie 1831 și în Moldova în ianuarie 1832. Importanța lui este conceptuală: până atunci, căile de comunicație erau drumuri naturale rudimentare, fără trasee precise — urme formate prin trecerea repetată a vehiculelor, cu lățimi variabile și fără dimensiuni determinate. Regulamentul introduce trei idei care lipseau: traseul fixat, dimensiunea prescrisă și întreținerea ca obligație continuă. Distanța dintre cadrul legal și teren rămâne însă mare încă două decenii: în 1853, călătorul irlandez Patrick O’Brien nota că în Țara Românească drumurile nu existau propriu-zis — cărări late, prăfuite vara, transformate în noroi la ploaie. Progresul devine măsurabil abia în perioada anilor 1860, când lungimea drumurilor amenajate crește de la 775 km în 1863 la 1.095 km în 1867.

Tabelul 2. Cronologia construirii drumului (1845–1865) [11]

An	Etapă
1845	Vizita domnitorului Gheorghe Bibescu la Mănăstirea Sinaia şi deplasarea la Predeal pentru analiza traseului
1846	Studii de teren pentru o şosea „sistematică”
1847	Începe consolidarea în anumite puncte
1848–1849	Lucrări sistate din cauza revoluţiilor
după 1849	Reluare în două segmente: Comarnic → Sinaia şi Predeal → Sinaia
1851	Inginerul francez Lalanne stabileşte traseul Comarnic–Sinaia în versantul din dreapta, nu prin albie
1853–1854	Trupele de geniu austriece contribuie la consolidare, concentrându-se asupra podurilor
1856–1858	Alocare de 325.656 lei pentru modernizarea Câmpina–Predeal
1860	Porţiunea Breaza–Predeal este „şoseluită”
1861	Contract pentru Ploieşti–Băneşti–Câmpina–Podul Vadului (34 km)
1864	Inundaţii puternice în judeţul Prahova
1865	Drumul este complet finalizat

Decizia din 1851 este momentul în care sectorul capătă caracterul de lucrare de artă continuă. Ea rezolvă problema celor douăzeci şi unu de vaduri, dar o înlocuieşte cu alta: un traseu în versant, într-un fliş puternic cutat, cere sprijiniri pe lungimi mari şi expune platforma la căderi de material. Această substituţie de riscuri explică de ce, în deceniile următoare, cheltuiala principală nu mai este construcţia, ci întreţinerea.

Termenul folosit de Urechia pentru execuţia din 1860 este *şoseluire*, explicitat ca tasare-pietruire suficientă pentru trăsuri şi care [11]. Structura corespunde tehnicii de macadam: fundaţie şi strat de uzură din piatră spartă, compactate, fără liant. O confirmare indirectă vine din buget: în 1866, din 46.526 lei cheltuiţi pe calea naţională Câmpina–Predeal, 19.598 lei - circa 42% - reprezentau pietrişul, pondere specifică unei îmbrăcăminţi granulare care se reface prin aport continuu de material [11]. Podurile înlocuiesc vadurile, iar intervenţia documentată este cea austriacă din 1853–1854 [4]: cerinţa care le-a impus nu a fost confortul călătorilor, ci încărcarea concentrată pe osie a artileriei de câmp - în termeni actuali, o cerinţă de clasă de încărcare. Zidurile de sprijin decurg din traseul în versant; soluţia epocii era zidul de greutate din piatră brută, cu umplutură de piatră spartă şi, în cel mai bun caz, barbacane.

4. CONCURENTUL DE FIER (1879) ȘI PARADOXUL SINAIA

La paisprezece ani după finalizarea șoselei, în același culoar a fost așezată o cale ferată. Convenția româno-maghiară din 31 mai 1874 [9,12] stabilea trecerea frontierei la nord de Predeal și la sud de Timișu de Sus, cu termen de dare în folosință 15 august 1878. Partea maghiară a finalizat tronsonul Brașov–Predeal în 1878, executând între iulie 1876 și iunie 1878 Tunelul Mare (937 m) și Tunelul Mic (104 m) [13]. Pe partea română, deschiderea s-a făcut pe porțiuni: la 10 iunie 1879 au intrat în funcțiune tronsoanele Ploiești–Câmpina și Sinaia–Predeal–Brașov, odată cu gările Câmpina, Sinaia, Azuga și Predeal, iar ultimul tronson, Câmpina–Sinaia, abia la 1 decembrie 1879 [12,14].

Porțiunea lipsă era tocmai defileul. Între iunie și decembrie 1879, călătorii spre Brașov coborau la Câmpina și erau transportați cu trăsurile până la Sinaia [12,14]. Aceste șase luni sunt singurul interval documentat în care șoseaua a funcționat ca segment obligatoriu al unui traseu feroviar, și confirmă indirect calitatea lucrării din 1865.

Comparația dintre cele două lucrări este observația tehnică esențială a perioadei. Pe cei 84,6 km ai liniei s-au ridicat 175 de poduri și podețe și șase tuneluri, iar costul a ajuns la 439.000 lei pe kilometru, făcând din aceasta cea mai scumpă cale ferată din țară [15]. Traversând același culoar, cu aceeași litologie și aceeași lățime disponibilă, cele două lucrări au tolerat constrângeri diferite: drumul admite declivități mari și raze mici, deci rămâne pe fundul văii, cu ziduri de sprijin; calea ferată nu le admite, deci străpunge versantul. Calea ferată a plătit, la construcție, prețul geometriei bune; șoseaua l-a economisit și l-a transferat în întreținere și în limitarea permanentă a vitezei de proiectare.

Paradoxul perioadei este că același deceniu care a retrogradat drumul i-a creat și cererea care avea să-l readucă în prim-plan. Deciziile care au creat stațiunea sunt anterioare căii ferate: în august 1866 Carol I vizita pentru prima dată zona, pe atunci satul Podul Neagului; în 1871 cumpăra circa 1.000 de hectare de la Eforia Spitalelor; în 1873 începeau lucrările de fundație ale Castelului Peleș, piatra de temelie fiind pusă la 22 august 1875, iar inaugurarea oficială are loc la 7 octombrie 1883 [14,16]. Între 1873 și decembrie 1879, șantierul Peleșului a fost aprovizionat exclusiv pe drum — primul caz documentat în care sectorul deservește o destinație aflată pe el, nu un trafic care îl traversează.

Urmează economia de stațiune. Familia regală petrecea lunile mai–noiembrie la Sinaia; la Bușteni, dezvoltarea începe după 1882, odată cu fabrica de hârtie; la Azuga apar fabrici de sticlă, var, ciment, postav, cherestea, bere și

șampanie; Sinaia devine comună urbană la începutul anului 1884 [14], iar comuna Predeal, înființată în 1864, își desparte ulterior satele: Bușteni și Poiana Țapului în 1908, Azuga în 1912 [9]. Traficul generat de stațiuni diferă structural de cel de tranzit – distanțe scurte, origini și destinații difuze, sezonalitate accentuată – și nu putea fi absorbit de tren. Drumul nu a decăzut după 1879; și-a schimbat funcția.

Consecința de lungă durată este însă urbanistică. Între Câmpina și Predeal s-a dezvoltat o grupare urbană liniară, Posada, Comarnic, Sinaia, Poiana Țapului, Bușteni, Azuga, Predeal, cu locuințele pe terase și căile de comunicație pe luncă. Așezarea nu a rezultat dintr-o decizie de planificare, ci din suma unor decizii individuale raționale: terenul construibil este singura fâșie plană, calea ferată ocupă o bandă din ea, șoseaua alta, iar pentru orice proprietar frontul la șosea este optimul evident. Contraexemplul se află pe același sector: Castelul Peleș a fost construit în afara perimetrului comunei Podul Neagului, pe versant [16]. Beneficiarul care își putea permite terenul și drumul de acces a ales cota; toți ceilalți au ales frontul la drum.

Prin standardele epocii aceasta nu era o greșeală, ci practica normală. Eroarea devine vizibilă retroactiv, prin trei efecte ireversibile: secțiunea transversală se blochează, iar costul lărgirii încetează să fie unul de terasament și devine unul de expropriere; punctele de conflict se înmulțesc, fiecare proprietate cu front fiind un acces potențial; iar varianta ocolitoare devine imposibilă, pentru că ar trebui construită tot pe fundul văii, deja ocupat, sau în versant, cu costuri de tunel și viaduct.

5. AUTOMOBILUL, ASFALTUL ŞI STATUL TEHNIC (1918–1944)

Automobilul nu a cerut drumului mai multă lățime, ci un alt tip de suprafață. Macadamul funcționa pentru că traficul care îl folosea îl și compacta: roți înguste, cu bandaj metalic, la viteză mică, aplicau o solicitare aproape exclusiv verticală. Pneul se comportă invers — lat, elastic, rapid — și aplică o componentă tangențială importantă la accelerare, frânare și viraj, iar la desprindere extrage particulele fine dintre pietre. Stabilitatea macadamului depinde integral de prezența acestei fracțiuni, astfel încât pierderea ei declanșează o descompunere care se accelerează singură. Costul de întreținere nu crește proporțional cu traficul, ci mai repede.

Răspunsul tehnic al epocii este liantul, în patru trepte de cost: tratamentul bituminos superficial, care fixează o suprafață existentă; macadamul penetrat;

betonul asfaltic, care cere stație de preparare; și pavajul de piatră cubică, justificat acolo unde solicitările tangențiale sunt mari sau unde se anticipează desfaceri repetate pentru rețele subterane.

Singurele mențiuni directe găsite pentru sector privesc Sinaia, descrisă în documentarea interbelică drept comună urbană cu uzină electrică, apeduct, canalizare şi pavaj, şi Câmpina, cu pavaj cu asfalt şi piatră cubică şi trotuare [17]; din 1925 dispunea de canalizare, apă curentă şi iluminat public alimentat de o uzină hidroelectrică de 1.500 CP. Coexistența celor două tipuri de îmbrăcăminte şi simultaneitatea cu rețelele edilitare sugerează ordinea corectă de citire: îmbrăcămintea modernă nu a venit pe vale ca politică rutieră națională, ci ca element al echipării urbane a stațiunii.

În paralel, podurile de zidărie devin insuficiente. Cele executate între 1847 şi 1865 fuseseră dimensionate pentru căruțe şi, cel mult, pentru artileria de câmp; camionul şi autobuzul aduc sarcini concentrate pe osii, repetate de mii de ori pe zi, cu efecte de oboseală şi impact. O boltă de zidărie se comportă bine la compresiune şi prost la solicitări dinamice repetate, iar deschiderile mici obligă la culee masive în albie, care strâmtează secțiunea de scurgere tocmai unde viitura are nevoie de ea. Betonul armat rezolvă simultan ambele probleme, motiv pentru care înlocuirea podurilor de zidărie devine, în toată Europa interbelică, un program. Procesul începuse deja pe sector: volumul lui Urechia din 1913 conține informații despre reparații, lărgiri şi construcția de poduri şi podețe noi [11].

Singura lucrare majoră documentată în defileu pentru acest interval aparține însă căii ferate: în 1940 s-au efectuat lucrări de dublare a liniei, cu abandonarea tunelurilor Posada Mare (139 m) şi Posada Mică (56 m) [18]. Într-un culoar în care cele trei componente își dispută aceeași secțiune, dublarea uneia a consumat definitiv o parte din lățimea rămasă.

Contextul funcțional se schimbă şi el. Apartenența Timişului de Sus la Ungaria se încheie în 1920, prin Tratatul de la Trianon; Predealul încetează să fie oraş de frontieră, dispare oprirea obligatorie, iar sectorul devine tronson continuu al unei legături interne.

Urechia merită o paranteză. Format la École Polytechnique şi École Nationale des Ponts et Chaussées, numit în 1898 la conducerea serviciului special al şoselei naționale Câmpina–Predeal - înființat de Ion I.C. Brătianu ca ministru al lucrărilor publice -, a locuit la Buşteni şi a publicat, pe lângă monografia tehnică a drumului, o carte de reportaje despre Bucegi (1907), o carte pentru copii cu şaisprezece ediții (1904) şi un volum premiat de Academia Română [4,19]. Acelaşi om a scris monografia tehnică a drumului şi ghidul lui turistic.

Cumulat, tabloul interbelic este al unui sector tratat mai bine decât media rețelei: echipare edilitară, îmbrăcăminți moderne cel puțin în traversarea Sinaiei, atenție administrativă continuă din 1898. Prestigiul reședinței regale a funcționat ca substitut pentru argumentul de trafic. Ceea ce prestigiul nu a putut cumpăra este geometria: razele mici, declivitatea concentrată și fronturile construite au rămas neschimbate. Interbelicul a înzestrat sectorul cu o suprafață modernă, dar l-a lăsat cu traseul din 1851.

6. DN 1: MODERNIZAREA 1950–1989

Patru decenii de investiții publice masive au lăsat sectorul cu același traseu pe care i-l dăduse Lalanne în 1851. Perioada aduce trei schimbări reale - indicativul și încadrarea europeană, tehnica modernă de îmbrăcăminte și de lucrări de artă, și motorizarea de masă - dar nu și o schimbare de geometrie.

Drumul Național 1 leagă Bucureștiul de frontiera cu Ungaria la Borș, pe 643 km [20]. Sistemul de numerotare este radial, cu șapte drumuri naționale cu număr dintr-o cifră pornind din capitală [21]; din cauza poziției Bucureștiului, numerotarea nu reflectă importanța, deși în acest caz cele două coincid. În nomenclatura actuală, tronsonul de pe Valea Prahovei poartă indicativul european E60 [20]. Poziția sectorului în sistemul național decurge din geografie: trecătoarea Predeal, la 1.033 m, rămâne cea mai joasă și mai scurtă legătură rutieră între capitală și centrul Transilvaniei, alternativele fiind mai lungi, mai înalte, sau amândouă. La rolul de tranzit se adaugă, în perioadă, deservirea turismului organizat de masă, care aduce pe un drum cu raze mici un trafic de autocare.

Tronsonul Comarnic–Brașov rămâne îngustat la două benzi. În același culoar și în aceeași perioadă, cealaltă componentă a primit investiția majoră: tronsonul Brașov–Predeal, intrat în probe tehnologice la 1 august 1963 și în exploatare la 9 decembrie 1965, a devenit prima cale ferată electrificată din România, electrificarea ajungând la Câmpina în 1966 și fiind finalizată pe toată linia București–Brașov în 1969 [18,22].

Primele preocupări privind îmbunătățirea caracteristicilor tehnice și funcționale ale îmbrăcăminților rutiere din România datează de la începutul secolului al XX-lea. Astfel, în anul 1915, pe Șoseaua București–Ploiești, între kilometrii 8 și 10, a fost realizată una dintre primele lucrări experimentale de îmbunătățire a suprafeței de rulare, prin aplicarea gudronului la cald. Această

intervenție a reprezentat o etapă timpurie în introducerea tehnologiilor de tratare a suprafețelor rutiere, în scopul ameliorării condițiilor de circulație.

După încheierea Primului Război Mondial, preocupările pentru modernizarea infrastructurii rutiere au continuat prin realizarea unor sectoare experimentale destinate evaluării unor noi soluții constructive. În anul 1925, pe drumul Constanța–Tuzla au fost executate două sectoare experimentale, unul cu îmbrăcăminte din macadam silicat, pe o lungime de 2 km, și un altul din macadam penetrat cu emulsie bituminoasă, pe o lungime de 4 km. În aceeași perioadă, pe drumul național nr. 1 (DN1), între Băneasa și Otopeni, a fost realizat un sector de 10 km cu îmbrăcăminte din macadam penetrat cu emulsie bituminoasă. Aceste lucrări au constituit etape importante în procesul de introducere și experimentare a unor tehnologii de modernizare a structurilor rutiere.

O etapă semnificativă în dezvoltarea infrastructurii rutiere naționale a început în anul 1931, odată cu inițierea unui program de modernizare a principalelor drumuri naționale. Lucrările au vizat cu prioritate coridoarele rutiere București–Brașov–Sibiu–Cluj–Oradea, Ploiești–Buzău, București–Giurgiu și București–Oltenița, precum și alte sectoare de lungime mai redusă ale rețelei naționale. Până în anul 1938, prin participarea unor societăți de construcții românești și străine, au fost modernizați aproximativ 1.000 km de drumuri, contribuind la îmbunătățirea condițiilor de circulație pe principalele direcții de transport rutier.

În contextul costurilor ridicate asociate realizării îmbrăcăminților rutiere permanente și semipermanente, precum și al ritmului relativ redus de execuție a lucrărilor de modernizare, în anul 1937 a fost inițiat un program complementar, orientat către îmbunătățirea rapidă a condițiilor de circulație prin utilizarea unor soluții tehnice cu costuri mai reduse. Acesta a constat în aplicarea de tratamente superficiale pe aproximativ 1200 km de drumuri împietruite, urmărindu-se ameliorarea caracteristicilor suprafeței de rulare și creșterea confortului circulației. Cu toate acestea, solicitările generate de traficul rutier din timpul celui de-Al Doilea Război Mondial, asociate cu lipsa lucrărilor corespunzătoare de întreținere, au determinat degradarea accentuată a sectoarelor tratate. Astfel, în anul 1944, din lungimea totală de 11960 km a rețelei de drumuri naționale, numai 1182 km erau clasificați drept drumuri modernizate, ceea ce evidențiază nivelul încă redus de dezvoltare a infrastructurii rutiere din acea perioadă.

În intervalul 1944–1953, procesul de modernizare a rețelei rutiere a continuat, fiind executate lucrări pe încă 1110 km de drumuri naționale. Ca urmare, la începutul anului 1953, lungimea totală a drumurilor modernizate din

România ajunsese la 2337 km, reprezentând aproximativ 3% din lungimea rețelei de drumuri publice, fără includerea străzilor din localități. Din această lungime, 2292 km aparțineau rețelei de drumuri naționale, reprezentând aproximativ 19% din lungimea acesteia, în timp ce numai 45 km erau situați pe rețeaua de drumuri județene și comunale [23].

Această evoluție evidențiază caracterul gradual al procesului de modernizare a infrastructurii rutiere românești în prima jumătate a secolului al XX-lea, marcat de introducerea progresivă a unor noi tehnologii de execuție, de constrângerile economice și de efectele celor două războaie mondiale. Totodată, ponderea redusă a drumurilor modernizate la începutul anilor 1950 reflectă necesitatea continuării investițiilor în dezvoltarea și îmbunătățirea rețelei rutiere naționale.

După deschiderea României către vest, începând cu anul 1965, traficul de tranzit internațional a revenit prin Romania. IPTANA, ca institut de specialitate al Ministerului Transporturilor din România, realizează între anii 1968-1969 primul studiu general privind dezvoltarea în perspectivă a unei rețele de autostrăzi în Romania, plecând de la recensământul de trafic efectuat în 1965 și completat cu un nou recensământ, cu anchete și prognozele având cu orizont de timp anul 1980. Rețeaua stabilită avea circa 3200 km, programată de la început în etape, în programe pe 5 ani, cu etapizare corespunzătoare, atât pe sectoare prioritare cât și cu realizarea în prima faza a unei căi de circulație, în functie de nivelul traficului de perspectivă cat si de capacitatea drumurilor din reteaua existentă pe aceeași ruta. La realizarea studiului au participat specialişti din cadrul IPTANA coordonați de inginerul Chiriac Avadanei, seful secției de drumuri de la acea dată [23].

Porțiunea dintre Câmpina si Comarnic s-a modernizat în anii 1968-1970 printr-un "șantier național al tineretului" prin care s-a reconfigurat traseul care era prin orașul Breaza si trecea de cel puțin 2 ori, la intrare și la ieșirea din Breaza, peste râul Prahova si la barierele de cale ferata unde se aștepta cu orele. Actuala variantă de 17 km dintre Bănești și Nistorești este de fapt un segment de drum complet nou, până în anii ’60 călătorii mergeau prin Câmpina și prin Breaza. Drumul vechi încă există și reprezintă bulevardele centrale ale localităților respective.

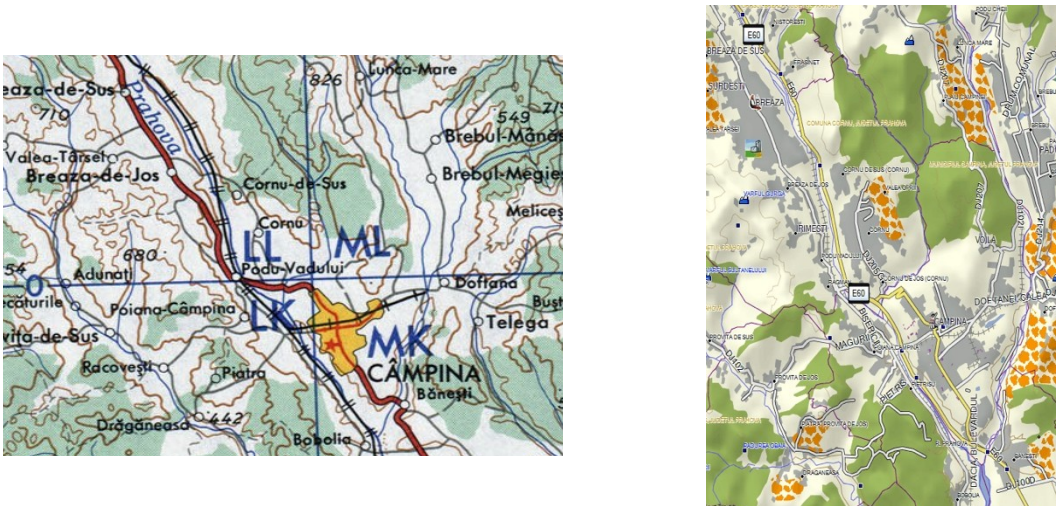


Figura 2. Dispunerea traseului drumului DN1, înainte și după 1970

În figura 3 avem perspectiva traseului aproape de intrarea în Câmpina, atât din anul 1939 cât si cea din zilele noastre.



Figura 3. 1939 vs 2025

În perioada 1972–1973, Institutul de Proiectări pentru Transporturi Auto, Navale și Aeriene (IPTANA) a elaborat o serie de studii de amplasament și studii tehnico-economice privind dezvoltarea infrastructurii rutiere de mare capacitate din România. Printre acestea s-au numărat studiile pentru realizarea unei autostrăzi pe coridorul drumului național DN1, pe traseul Ploiești–Câmpina–Predeal–Brașov, precum și analize preliminare privind posibilitatea dezvoltării unei legături rutiere de mare capacitate pe direcția Pitești–Curtea de Argeș–Câineni–Sibiu.

Rezultatele studiilor efectuate pentru coridoarele București–Constanța și Ploiești–Brașov au evidențiat oportunitatea și justificarea tehnico-economică a construirii unor autostrăzi de-a lungul principalelor axe de transport rutier ale țării. Aceste concluzii au avut la bază concentrarea activităților economice,

sociale şi turistice în lungul coridoarelor analizate, precum şi nivelurile ridicate ale cererii de transport, reflectate prin intensităţi ale traficului rutier semnificativ superioare valorilor medii înregistrate la nivelul reţelei naţionale de drumuri. Astfel, studiile elaborate în această perioadă au contribuit la fundamentarea direcţiilor strategice de dezvoltare a reţelei de autostrăzi din România, prin identificarea coridoarelor prioritare şi evidenţierea necesităţii adaptării capacităţii infrastructurii rutiere la cerinţele de mobilitate şi la perspectivele de dezvoltare economică şi teritorială [23].

Alegerea strategică a fost, de altfel, explicită: prima autostradă românească, inaugurată la 1 iulie 1972, s-a construit pe direcţia Bucureşti–Piteşti. La nivel naţional, în 1989 existau 72816 km de drumuri, din care doar 36893 km modernizaţi sau cu îmbrăcăminte asfaltică uşoară [24], iar ţara încheia perioada cu 113 km de autostradă [21].

Ce s-a executat efectiv pe sector în această perioadă nu a putut fi stabilit din surse accesibile. Ce nu s-a executat se demonstrează însă indirect, prin ceea ce se construieşte astăzi: Centura Comarnic, Varianta Ocolitoare Azuga–Buşteni şi soluţiile analizate pentru tronsonul Nistoreşti–Comarnic sunt lucrări din anii 2020.

Pe sector analizat al drumului național DN 1, orice lărgire a platformei se poate obține doar în trei feluri, iar analiza lor explică inacțiunea mai bine decât orice considerație bugetară. Din albie - cu apărări de mal și praguri, reducând însă secțiunea de scurgere și intrând în conflict cu podurile existente. Din versant - cu săpătură în fliș cutat și susțineri continue, la un cost comparabil cu al unei lucrări noi. Prin demolare - cu exproprieri în fronturile construite, adică la un cost social și politic ridicat. Regimul care a demolat fără ezitare în alte părți ale țării nu a făcut-o aici, iar explicarea acestei excepții rămâne o întrebare deschisă; ipotezele plauzibile sunt că stațiunile erau obiective de prestigiu destinate și vizitatorilor străini, că fondul construit era în exploatare turistică efectivă, și că o variantă ocolitoare în această vale nu este un drum ocolitor obișnuit, ci o lucrare de clasă de autostradă.

Lucrările de artă ale perioadei introduc betonul precomprimat. Pe un drum de vale, avantajul decisiv nu este cel structural, ci cel de execuție: elementele se prefabrică și se montează, ceea ce reduce la minimum eșafodajele din albie, scurtează închiderile de circulație - o constrângere de proiectare, pe un drum fără variantă ocolitoare - și permite eliminarea pilelor din albie. Aceeași tehnologie introduce însă o vulnerabilitate care se manifestă după decenii: armătura pretensionată lucrează la eforturi mari și are secțiune mică, iar principalul agent

de coroziune este clorura. Un sector cu peste 150 de zile de îngheț pe an consumă cantități mari de material antiderapant, iar combinația dintre sărare intensă, cicluri îngheț-dezgheț și hidroizolații îmbătrânite este scenariul clasic de degradare a tablierelor precomprimate. Lucrările executate atunci au astăzi între patruzeci și șaptezeci de ani și nu mai sunt „partea modernă” a sectorului, ci următorul val de intervenții necesare.

Perioada 1950 – 1989 a fost, în fine, ultima în care o rezervare de culoar mai era posibilă la un cost rezonabil. Statul deținea proprietatea publică asupra terenului, planificarea centralizată și puterea de expropriere, și avea în față o creștere de trafic previzibilă. Nu a folosit niciunul dintre aceste instrumente pe acest sector. Traversarea localităților, soluție implicită a anilor 1880–1900, a devenit o stare permanentă.

Din numărul 52 al revistei Drumuri si Poduri aflăm că tronsonul Câmpina - Comarnic - Timis este prins în cadrul programului de reabilitare a drumurilor naționale în anul 1993. De asemenea, în cadrul unui articol prezentat în cadrul celui de al XX -lea Congres Mondial de Drumuri din Montreal, Canada din anul 1995 avem planurile perioadei respective legate de viitoarea rețea de autostrăzi din țara noastră, iar zona studiată în cadrul acestui articole era planificată pentru execuția lucrărilor de autostradă în perioada 1992-1996.

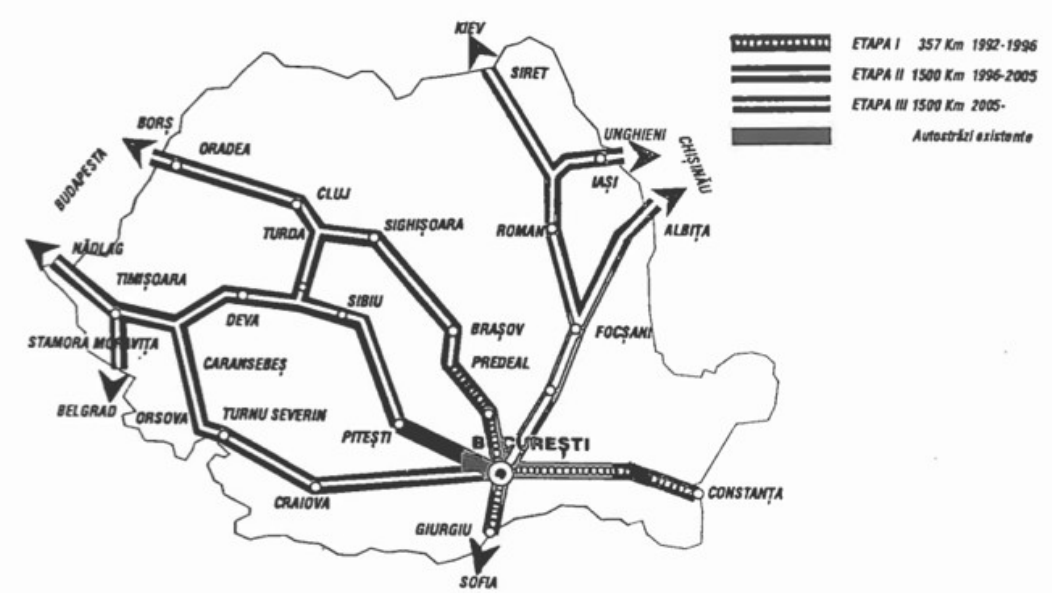


Figura 4. Planurile cu viitorul rețelei de autostrăzi la nivelul anilor 1990

În anul 1997 IPTANA a elaborat studiul de prefezabilitate pentru dezvoltarea unei autostrăzi pe coridorul Brașov–Sighișoara–Târgu Mureș–Cluj-Napoca–Oradea, în vederea analizării oportunității realizării unei legături rutiere

de mare capacitate între principalele centre urbane şi economice din centrul şi vestul României. Ulterior, în anul 2002, IPTANA a participat la elaborarea studiului de fezabilitate pentru autostrada Bucureşti–Braşov, având responsabilitatea întocmirii documentaţiei tehnice aferente tronsonului Comarnic–Predeal–Braşov. Acest sector, caracterizat prin traversarea unei regiuni montane cu relief complex, prezenta provocări tehnice semnificative privind stabilirea traseului şi integrarea infrastructurii rutiere în condiţiile geografice specifice Văii Prahovei şi zonei montane adiacente.

7. AUTOSTRADA CARE ÎNTÂRZIE

Urmează logic că singura intervenţie eficace este una executată în afara culoarului, prin versant, cu tuneluri şi viaducte. Aceeaşi logică explică şi întârzierea: traseul final avizat de CNAIR în 2023 prevede 13 tuneluri însumând 12,4 km, 61 de poduri şi pasaje însumând 28,75 km şi 12 noduri rutiere, pentru un cost estimat de 5,5 miliarde de euro fără TVA. Peste 40 din cei 112,7 km ai traseului (inclusiv sectorul Cristian–Râşnov) sunt, deci, lucrări de artă. Cele două decenii de tentative eşuate nu se explică doar prin disfuncţie administrativă, ci şi prin faptul că proiectul este, tehnic, cea mai grea investiţie rutieră din România - consecinţă directă a constrângerii iniţiale.

Tabelul 3. Tentativele de realizare a autostrăzii Comarnic–Brașov (2003–2026)

Perioadă	Ce s-a întâmplat	Cum s-a încheiat
2003–2004	Prima tentativă de parteneriat public-privat; trei firme selectate fără licitație, între care Vinci pentru Comarnic–Predeal	Ministerul Finanțelor și Ministerul Justiției nu au avizat contractele
2009	Consorțiul Vinci–Aktor selectat pentru cei 58 km Comarnic–Brașov; cost estimat 1,5 miliarde euro	contract semnat în 2010 (circa 1,57 mld. euro)
2010	Partenerul privat denunță contractul	motiv oficial: lipsa fondurilor
2012–2013	Nouă procedură de concesiune; patru asocieri înscrise; câștigător Vinci–Aktor–Strabag	cost de construcție 1,82 miliarde euro fără TVA
2015	Contractul nu se semnează	a treia tentativă eșuată
2017	Contract de proiectare și execuție pentru primii 9 km dinspre Brașov	schimbare de abordare: execuție pe loturi
2020	Se deschide lotul Râșnov–Cristian, circa 6 km	singurul tronson funcțional
2021	Contract de revizuire a studiului de fezabilitate și proiect tehnic, atribuit firmei Consitrans	—
2023	CNAIR avizează traseul final (112,7 km)	5,5 mld. euro; 13 tuneluri (12,4 km); 61 de poduri și pasaje (28,75 km); 12 noduri
2026	Proiectul, în faza unui nou studiu de fezabilitate, de facto blocat, sub regimul penalităților	obiectiv declarat: finalizarea proiectării în 2027

Cea mai instructivă decizie tehnică a dosarului este cea din 2023. Varianta inițială, descrisă informal drept „autostradă-metrou” din cauza ponderii de tunel, era estimată la 8–9 miliarde de euro; alternativa 3 a propus o viteză de proiectare de 80 km/h, cu raze care permit viraje mai strânse, reducând costul la aproximativ 3–4 miliarde. Mecanismul este cel din primul capitol, aplicat la altă scară: viteza de proiectare determină raza minimă, iar într-o vale sinuoasă o rază mare nu poate fi obținută urmând valea, ci tăind prin versant, adică în tunel. Aceeași constrângere care în 1851 l-a obligat pe Lalanne să sape drumul în versant acționează astăzi asupra deciziei de a construi douăsprezece sau douăzeci de kilometri de tunel.

Patru tentative eșuate de parteneriat sugerează o cauză structurală. Costul total pe kilometru al concesiunii atribuite în 2013 - construcție, operare și întreținere pe durata concesiunii, între 51,5 și 159,5 milioane de euro, după varianta de finanțare - depășește orice anvelopă bugetară obișnuită. Riscul de trafic este greu de prețuit, pentru că o cerere cu vârfuri mari și bază mică este cel

mai prost profil posibil pentru o previziune de venituri din taxă. Iar incertitudinea geotehnică este intrinsecă: tunelurile se execută în fliș puternic cutat și dislocat, al cărui cost real se cunoaște abia la execuție. A treia explicație este confirmată de blocajul actual, care privește tocmai poziția fiecărui foraj în raport cu structurile și tunelurile proiectate.

Între timp, intervențiile reale de pe teren sunt paliative: Centura Comarnic, cu deschidere anunțată pentru 1 octombrie 2026; Varianta Ocolitoare Azuga–Bușteni, cu progres fizic de circa 16%; modernizarea drumului județean pe Valea Doftanei, reabilitat însă la clasa tehnică IV, cu portanță maximă de 11 tone, deci fără capacitate de a prelua transport greu; pasajele pietonale proiectate pe tronsonul Comarnic–Predeal. Se conturează o asimetrie: lucrările care se execută sunt cele care pot fi făcute în interiorul culoarului, deci ieftine și cu efect parțial; lucrarea care ar rezolva problema este cea care iese din culoar, deci scumpă, și ea nu se execută. Între cele două nu se află nicio soluție intermediară, pentru că valea nu oferă loc pentru una.

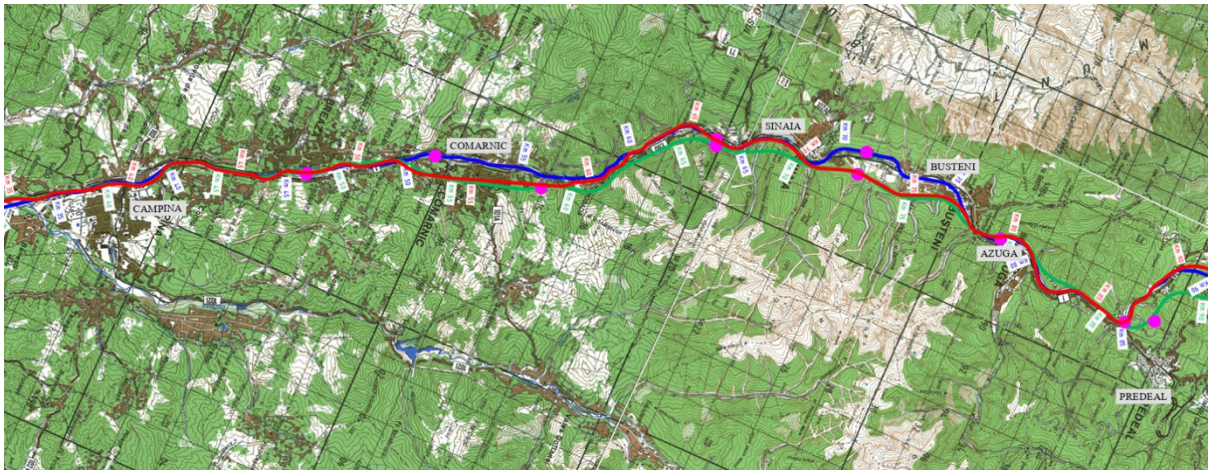


Figura 5. Planul cu variantele de traseu studiate în prezent

Rămâne întrebarea ce se întâmplă cu DN 1 după autostradă. Un scenariu trebuie eliminat din start: drumul nu poate fi lăsat să decadă. Un traseu cu 13 tuneluri are nevoie de o rută de deviere funcțională pentru închiderile de întreținere și pentru incidente, iar într-o vale fără alt culoar aceasta nu poate fi decât DN 1. Cu cât autostrada are mai multe tuneluri, cu atât drumul vechi devine mai indispensabil ca rezervă. Rămân trei scenarii: drum-colector, care se aplică implicit, prin inerție; drum turistic, cu reproiectarea secțiunii în traversarea localităților, ceea ce cere o decizie explicită; și drum de patrimoniu, care se adaugă celorlalte două, nu le înlocuiește.

Scenariul implicit are un dezavantaj care merită semnalat din timp: după deschiderea autostrăzii, DN 1 își pierde urgența politică, dar își păstrează integral pasivul fizic. Costul de întreținere al unui drum de vale este dominat de versant, de râu și de iarnă, nu de trafic. Traficul scade; versantul rămâne.

9. CONCLUZII

Sectorul Câmpina – Predeal a fost, pe rând, ramură secundară a comerțului brașovean, drum de poștă, șosea națională, concurent retrogradat al căii ferate, vitrină a unei monarhii, magistrală a turismului de masă și, astăzi, gât de sticlă sezonier. Prin toate aceste schimbări de funcție, o singură mărime a rămas constantă și decisivă: lățimea disponibilă la baza versanților.

De aici decurge concluzia principală. Ordinea evenimentelor a fost constrângerea naturală, apoi drumul așezat pe singurul culoar disponibil, apoi calea ferată alături de el, apoi localitățile pe ce mai rămăsese. Fiecare pas a folosit rațional spațiul lăsat de pasul anterior, iar rezultatul cumulat este un culoar saturat în care nicio componentă nu mai poate fi modificată fără a le afecta pe celelalte. Nu există, în această istorie, o generație vinovată; există o succesiune de decizii corecte local și ireversibile împreună.

A doua concluzie privește raportul dintre suprafață și geometrie. Fiecare epocă a ameliorat ceea ce putea ameliora ieftin - macadamul, apoi bitumul, apoi lucrările de artă de beton - și a lăsat neschimbat ceea ce nu putea fi schimbat decât scump: traseul din 1851. Sectorul are astăzi o suprafață de secol XXI pe o geometrie de secol XIX.

A treia privește întreținerea. Costul unui drum de vale este dominat de versant, de râu și de iarnă, nu de trafic. Administrația din 1866 înțelesese aceasta empiric, ținând un cantonier pe kilometru pentru curățarea șanțurilor. Incidentele din decembrie 2025 arată că diagnosticul nu s-a schimbat: lucrarea determinantă rămâne drenajul, iar sectoarele recidivante rămân aceleași, pentru că li se tratează efectul, nu cauza.

În fine, autostrada. Ea este singura intervenție care adaugă capacitate în afara culoarului și, din același motiv, cea mai scumpă și cea mai amânată. Când va exista, ea nu va desființa DN 1: un traseu cu treisprezece tuneluri are nevoie de o rută de deviere funcțională, iar în această vale nu există alta. Drumul vechi va rămâne, deci, necesar - și va rămâne cu un pasiv tehnic acumulat de o sută șaptezeci și cinci de ani, exact în momentul în care își va pierde urgența politică.

De aceea, propunerea cea mai modestă a acestui articol este și cea mai realistă: înainte ca substanța veche a sectorului să fie înlocuită bucată cu bucată, ea ar trebui măcar consemnată. Un drum despre care s-a scris o monografie de trei sute de pagini în 1913 și nimic comparabil de atunci nu este un drum fără istorie; este un drum a cărui istorie a încetat să fie consemnată.

BIBLIOGRAFIE

[1]. INSTITUTUL GEOLOGIC AL ROMÂNIEI: *“Stratele de Sinaia – fișa formațiunii”*, formatiunigeologice.igr.ro/formatiune/1273, consultat **2026**.

[2]. A. BRICEAG, M.C. MELINTE, D.C. JIPA: *“Litologia și biostratigrafia cretacicului inferior din zona munților Bucegi”*, GEO-ECO-MARINA, vol. **14**, supliment nr. 1, p. **101–107**, **2008**.

[3]. PRIMĂRIA ORAȘULUI SINAIA: *“Date geografice”*, primaria-sinaia.ro/date-geografice/, consultat **2026**.

[4]. PRIMĂRIA ORAȘULUI PREDEAL: *“Cadrul geografic”*, primaria-predeal.ro/cadrul-geografic/, consultat **2026**.

[5]. XTREM.RO: *“Geologia Munților Bucegi”*, xtrem.ro/pe-munte/drumetii-montane/trasee-montane/geologia-muntilor-bucegi_--a366.html, consultat **2026**.

[6]. *“Legăturile comerciale”*, blogul Istorie – Mircea cel Bătrân, istoriemirceacelbatran.wordpress.com/2014/05/18/legaturile-comerciale/, **2014**.

[7]. REVISTA LEVIATHAN: *“Primul privilegiu comercial cunoscut acordat negustorilor brașoveni pentru Țara Românească, 28 iunie 1358”*, leviathan.ro, consultat **2026**.

[8]. MONITORUL EXPRES: *“Împlinește 665 de ani Drumul Brașovului, primul drum comercial românesc”*, Brașov, 27 aprilie **2023**.

[9]. PRIMĂRIA ORAȘULUI PREDEAL: *“Istoricul orașului”*, primaria-predeal.ro/istoricul-orasului/, consultat **2026**.

[10]. TURISM ISTORIC: *“Inaugurată în 1883 de regele Carol I, vama românească din Predeal a ajuns o ruină”*, turismistoric.ro, iunie **2022**.

[11]. N. URECHIA: *“Drumul Brașovului”*, Institutul de Arte Grafice Carol Göbl, București, **1913**.

[12]. CFR ISTORIE ȘI COTIDIAN: *“Calea ferată Ploiești–Brașov & Ceferiada”*, cfristoriesicotidian.ro/calea-ferata-ploiesti-brasov-ceferiada/, consultat **2026**.

[13]. CLUB FEROVIAR: *“Calea ferată Predeal–Brașov”*, clubferoviar.ro/calea-ferata-predeal-brasov/, consultat **2026**.

[14]. HISTORIA: *“Sinaia, orașul cu trei gări”*, historia.ro/sectiune/general/sinaia-orasul-cu-trei-gari-581725.html, consultat **2026**.

[15]. WIKIPEDIA: *“Calea ferată Ploiești–Brașov”*, ro.wikipedia.org, consultat **2026**.

[16]. MUZEUL NAȚIONAL PELEȘ: *“Istoricul Castelului Peleș”*, peles.ro, consultat **2026**.

[17]. PORTRETUL ROMÂNIEI INTERBELICE: *“Județul Prahova”*, romaniainterbelica.memoria.ro/judete/prahova/, consultat **2026**.

[18]. *“Căi ferate din Prahova, de la începuturi până în prezent”*, romania594.blogspot.com, aprilie **2020**.

[19]. WIKIPEDIA: *“Nestor Urechia”*, en.wikipedia.org/wiki/Nestor_Urechia, consultat **2026**.

[20]. WIKIPEDIA: *“DN1”*, en.wikipedia.org/wiki/DN1, consultat **2026**.

[21]. WIKIPEDIA: *“Roads in Romania”*, en.wikipedia.org/wiki/Roads_in_Romania, consultat **2026**.

[22]. AGIR: *“Istoria electrificării căii ferate din România”*, Univers Ingineresc, nr. 14, **2007**.

[23]. IPTANA, *1953 - 2003 IPTANA: 50 de ani de proiectare pentru infrastructura transporturilor - Monografie*. București, 2003

[24]. HISTORIA: *“Starea drumurilor în România comunistă”*, historia.ro, 17 noiembrie **2021**.

[25]. CNAIR: *“Măsuri de sporire a capacității de circulație pe DN 1, sectorul Comarnic–Predeal”*, comunicat de presă, cnadnr.ro, consultat **2026**.

TUNELUL TELIU – UN SECOL DE LA STRĂPUNGERE

Martin Manuel, președinte, Asociația „Împărtășește Bucurie”, e-mail: asociatia.impartasestebucurie@gmail.com

Rezumat

Pe 1 octombrie 1926, după 633 de zile de lucru, galeriile săpate din cele două capete ale tunelului Teliu s-au întâlnit sub dealurile dintre Țara Bârsei și Depresiunea Întorsurii Buzăului. Cu 4.369,5 m, tunelul a rămas cel mai lung tunel feroviar din România. Lucrarea reconstituie istoria lui pe baza cărții firmei constructoare Julius Berger Tiefbau AG (1931), a presei vremii, a studiilor tehnice din 1927 și 1962 și a mărturiilor locale. Sunt prezentate proiectul liniei duble Brașov – Nehoiași – Buzău, organizarea șantierului, condițiile geologice dificile (argile șistoase care se umflau, gaz metan, prăbușiri), soluțiile de sprijinire și căptușire, străpungerea și sărbătoarea din 24 octombrie 1926, greva din 1929 și ancheta financiară de după terminarea lucrărilor. Tunelul, gândit pentru o linie dublă electrificată, deservește azi o linie locală oprită la Întorsura Buzăului. Materialele sunt adunate în muzeul virtual tunelulteliu.ro, deschis la centenarul străpungerii.

Cuvinte cheie: tunelul Teliu, istoria căilor ferate, metoda austriacă, rocă cu presiune, Julius Berger, centenar

Abstract

On 1 October 1926, after 633 working days, the headings driven from both ends of the Teliu Tunnel met beneath the hills between the Bârsa Land and the Întorsura Buzăului basin. At 4,369.5 m, it remains the longest railway tunnel in Romania. The paper reconstructs its history from the album of the contractor, Julius Berger Tiefbau AG (1931), contemporary press, technical studies from 1927 and 1962, and local oral testimony. It covers the design of the double-track Brașov – Nehoiași – Buzău line, the organisation of the site, the difficult ground (swelling clay shale, methane, collapses), the support and lining solutions, the breakthrough and its celebration on 24 October 1926, the 1929 strike and the later financial inquiry. Designed for an electrified double track, the tunnel now serves a local line that ends at Întorsura Buzăului. The sources are gathered in the virtual museum tunelulteliu.ro, opened for the breakthrough centenary.

Keywords: Teliu Tunnel, railway history, Austrian tunnelling method, squeezing ground, Julius Berger, centenary

1. INTRODUCERE

Tunelul Teliu, din județul Brașov, are 4.369,5 m și este cel mai lung tunel feroviar din România. Străpungerea lui a avut loc la 1 octombrie 1926, iar sărbătoarea oficială, la 24 octombrie 1926 [1], [6]. Lucrarea a fost executată de firma Julius Berger Tiefbau AG din Berlin, pentru Ministerul Comunicațiilor, în condiții geologice printre cele mai grele întâlnite în epocă [1].

Acest articol reunește, la centenarul străpungerii, ce se știe despre construcția tunelului: proiectul, șantierul, tehnica de execuție, oamenii și urmările lucrării. Unde sursele nu se potrivesc între ele, sunt date toate variantele, cu proveniența lor. Datele tehnice provin în principal din cartea firmei constructoare [1], iar cele sociale, din presa vremii și din mărturiile locale [7], [9].

2. CONTEXTUL ISTORIC

Ideea unei căi ferate de la Brașov la Dunăre prin Pasul Buzăului e veche. Pe la 1862, Gheorghe Barițiu propunea o asemenea legătură. Pe versantul muntean, linia Buzău – Nehoiaș era deschisă încă din 1909 [10].

După 1918, statul român reia planul sub forma unei linii duble Brașov – Nehoiași – Buzău, dimensionate pentru cel puțin 36 de perechi de trenuri pe zi. Linia trebuia să lege direct Transilvania de porturile Brăila și Galați. În 1922 proiectul e gata, iar linia e declarată de utilitate publică; lucrările pornesc dinspre Brașov [2], [10].

Cea mai grea lucrare de pe traseu era trecerea pe sub dealurile Teliului, între Țara Bârsei și Depresiunea Întorsurii Buzăului. Deasupra, drumul Brașov – Buzău trece pasul la 825 m [1].

3. CONSTRUCȚIA TUNELULUI

3.1. Proiectul și contractul

Contractul a fost semnat la 19 mai 1924 între Ministerul Comunicațiilor, prin Direcția Generală a Construcțiilor de Căi Ferate, și Julius Berger Tiefbau AG din Berlin. El cuprindea un tunel cu cale dublă de 4.376 m, cele două rampe de acces, de circa 2,7 km împreună, și un viaduct peste valea Teliului [1].

Înainte de săpare, masivul a fost cercetat prin patru foraje, adânci de 94,5 m, 125 m, 110 m și 57 m. Axa tunelului e dreaptă. Pornind de la portalul de vest

(km 22+793 de la Braşov), tunelul urcă 4.000 m cu 10‰ şi 307 m cu 4,5‰; punctul cel mai înalt e la 69 m de portalul de est (km 27+169), iar ultimii 69 m sunt orizontali [1].

Tabelul 1. Principalele date ale tunelului Teliu [1], [10]

Element	Valoare
Lungime	4.369,5 m (4.376 m în contract, 4.370 m pe medalia străpungerii)
Poziţie	km 22+793 – km 27+169, socotit de la Braşov
Secțiune liberă	55,39 m², 8,50 m lățime, 7,15 m înălțime, pentru cale dublă electrificată
Pante	10‰ pe 4.000 m, 4,5‰ pe 307 m, palier 69 m
Rocă excavată	circa 411.000 m³ (94 m³/m)
Zidărie şi beton	circa 180.000 m³ (41 m³/m)
Valoarea contractului	circa 530 mil. lei tunel şi rampe, 30 mil. lei viaduct

Secțiunea liberă a fost calculată de la început pentru firul de contact al unei linii electrificate [1]. Buletinul Societăţii Politehnice ajunge la 574 de milioane de lei numai pentru tunel, pentru că adaugă şi partea plătită în franci elveţieni [2].

3.2. Şantierul

Săparea galeriei a început la 15 iulie 1924, cu slujbă de sfinţire. Şantierul, condus de directorul tehnic Kolberg, a devenit un mic orăşel lângă Teliu: 8 case şi 5 barăci de lemn pentru 1.500 de oameni, un spital, un cazino şi 7 case pentru ingineri şi funcţionari [1]. Numai la tunel, în vârful lucrărilor, lucrau 3.050 de oameni [1]; pe întreaga linie, presa din 1925 vorbea de circa 8.000 [7]. Mulţi erau mineri veniţi din străinătate, mai ales din Italia [9], [10].

Perforatoarele, pompele şi locomotivele de galerie mergeau cu aer comprimat. La fiecare capăt s-a ridicat o centrală cu motoare diesel şi compresoare; puterea instalată ajungea la circa 1.280 CP în maşinile de forţă şi 850 CP în locomotive şi camioane. Pe şantiere erau întinşi circa 16,5 km de linie îngustă de 750 mm [1]. Pentru apă, firma a construit pe pârâul Teliu un baraj de beton de 40 m lungime şi 8 m înălţime, cu un lac de circa 20.000 m³ [1].

3.3. Condițiile geologice

Masivul e format din roci sedimentare din Cretacicul inferior. Circa 70% din lungime trece printr-o argilă șistoasă fină, cu mică, compactă la săpare, dar care se umfla după expunerea la aer [1], [3]. Talpa s-a ridicat des cu peste 1 m; cea mai mare ridicare, de 1,39 m, s-a măsurat între km 1,6 și 2,0 [1].

Între km 0,35 și 2,10, perforatoarele au întâlnit de mai multe ori gaz metan, care ieșea din rocă și se aprindea. Între km 2,10 și 2,87, tunelul a trecut printr-o gresie foarte tare, în bancuri groase. Apa a fost puțină: înainte de străpungere, din partea de vest curgeau 2 l/s, iar din cea de est doar 0,033 l/s [1].

3.4. Metoda de execuție și sprijinirea

Tunelul a fost atacat din ambele capete după metoda austriacă: întâi galeria de bază, apoi galeria de sus, sub boltă, apoi lărgirea la profilul întreg, totul sprijinit în lemn (Figura 1). Roca s-a spart cu 25–30 de perforatoare de mână, de câte circa 15 kg, și cu explozivi de siguranță, astralit și dinamită gelatinoasă, ca la tunelul Hauenstein din Elveția, executat de aceeași firmă [1].

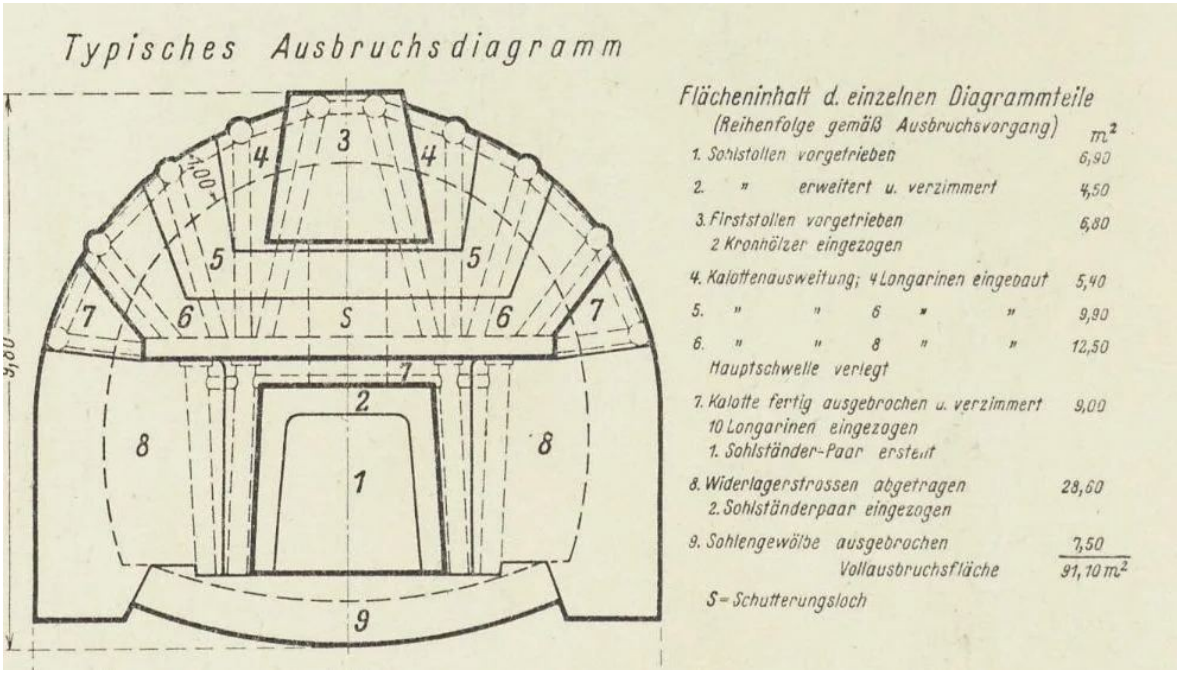


Figura 1. Ordinea săpării după metoda austriacă (Berger, 1931, p. 60, domeniu public)

Pe peste 80% din lungime, roca a apăsat puternic. Sprijinirea se făcea în zone de câte 8 m, cu 5–8 cadre de lemn și stâlpi de până la 60 cm grosime. Chiar și așa, presiunea rupea capelele de lemn și îndoia grinzile de fier (Figura 2). Pe partea de est, în zonele 41 și 42, tunelul s-a prăbușit până la suprafață și a fost redeschis printr-o galerie nouă [1].

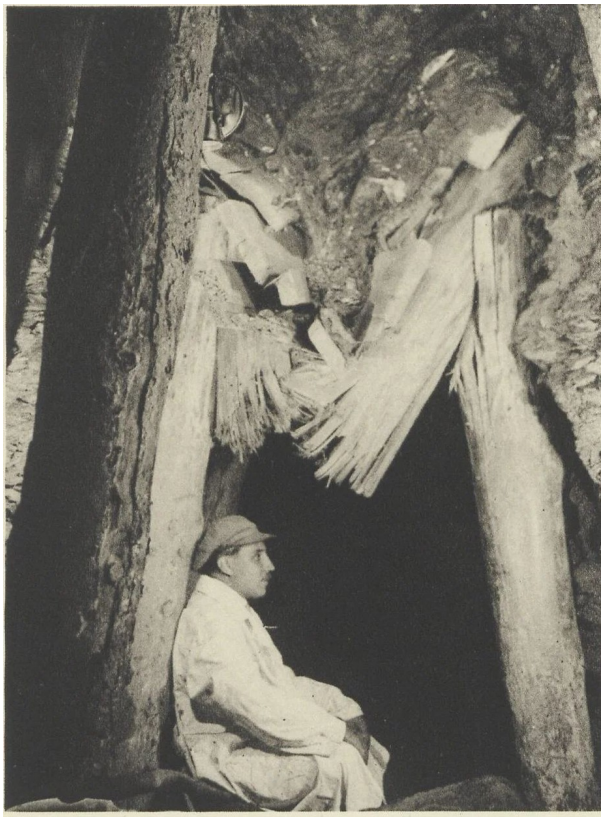


Figura 2. Sprijinirea ruptă de presiunea laterală, la circa km 0,60 (Berger, 1931, p. 63, domeniu public)

Soluția s-a găsit prin încercări, în zonele 11–18 din primul kilometru: au rezistat doar inelele închise dedesubt cu o boltă de talpă din beton de 0,60 m. De atunci, pe peste 3.600 m s-au folosit profile grele, iar bolta de talpă s-a pus apoi pe toată lungimea [1].

4. STRĂPUNGEREA ȘI ZIDIREA TUNELULUI

4.1. Întâlnirea galeriilor

Din vest s-au săpat circa 3.370 m, în urcare, iar din est circa 1.000 m, în coborâre. Galeriile de bază s-au întâlnit la 1 octombrie 1926, după 633 de zile de lucru, cum fusese planificat. Înaintarea medie a fost de 5,30 m pe zi, iar recordul, de 12,50 m în 24 de ore [1].

4.2. Sărbătoarea din 24 octombrie 1926

Străpungerea a fost sărbătorită la Teliu pe 24 octombrie 1926, potrivit cărții firmei și meniului banchetului [1], [6]; C. Ciolpan dă data de 26 octombrie [4]. Au participat miniștrii Coandă și Văleanu, directorul general Romulus Baiulescu, inspectorul general Strătilescu și prefectul Ioan Lațicu (Figura 3). Banchetul a fost servit de Casa Capșa [6]. Muncitorii au primit diplome, gratificații și medalia străpungerii, gravată de Huguenin, cu inscripția „Tunelul Teliu · străpuns 1926 · lungimea 4370 m” și deviza „Fideliter et constanter” [10].



Figura 3. Oaspeții la portalul de vest împodobit, octombrie 1926 (albumul străpungerii, 1926)

Sărbătoarea a fost umbrită de moartea inginerului Ion Cotârță, care condusese lucrările din partea statului. Acesta a urcat pe portal, a alunecat și s-a electrocutat atingând firele electrice [4], [9]. Sursele diferă asupra motivului și a datei: Ciolpan spune că voia să pună un steag, martorul local Gheorghe Boriceanu povestea că voia să facă o fotografie, iar un articol din anii ’30 dă ca zi a morții 31 mai [4], [7], [9].

4.3. Lărgirea și căptușirea

După străpungere a urmat partea cea mai lungă a lucrării: lărgirea la profilul întreg și căptușirea pe toată lungimea. Talpa, fundațiile și partea de jos a pereților sunt din beton turnat; bolta e zidită din piatră cioplită radial, o gresie calcaroasă tare din cariera de la Teliu [1].

Zidăria are 0,80–1,25 m în boltă și până la 2,30 m în pereți, în zonele cu presiune maximă; la un profil special, peretele dinspre vale ajunge la 2,70 m. La cele două capete, pe 152 m, tunelul e căptușit integral cu piatră fasonată [1] (Figura 4).



Figura 4. Tunelul zidit la km 0,80 de la portalul de vest (Berger, 1931, p. 65, domeniu public)

În 1927, anul cel mai spornic, se lărgeau şi se zideau în medie 153–158 m de tunel pe lună, cel mult 200. Lucrările principale s-au încheiat în 1928, după circa 4 ani în loc de cele 36 de luni prevăzute. Firma pune întârzierea pe seama rocii şi a restricţiilor de personal impuse de autorităţi, de până la 50% [1].

5. DUPĂ LUCRARE: OAMENI, BANI ŞI TRENURI

5.1. Viaductul Teliu

Lângă tunel, aceeaşi firmă a construit un viaduct de piatră cu cale dublă, de circa 142 m, cu 7 bolţi semicirculare de câte 16 m, înalt de 28 m (Figura 5). Fundaţiile sunt din beton, restul e zidit din piatra de la Teliu, placată cu piatră fasonată: 8.400 m³ de zidărie în elevaţie şi 3.100 m³ de beton în fundaţii [1]. Tot firma Berger a executat restul lucrărilor din zonă, inclusiv gara Poiana Florilor [1].

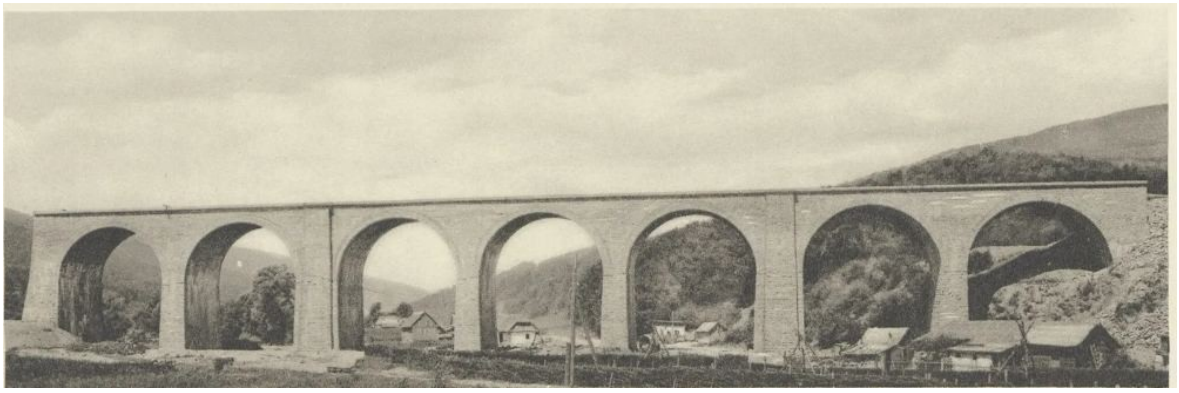


Figura 5. Viaductul Teliu terminat, cu cele 7 bolţi de câte 16 m (Berger, 1931, p. 69, domeniu public)

5.2. Condiţiile de muncă şi greva din 1929

În 1928, presa compara casele solide ale muncitorilor străini cu adăposturile sărace ale celor români [7]. Ancheta prim-mediculuiudeţului, dr. Sbârcea, din 5 februarie 1928, a găsit bordeie fără geamuri, bătăi şi reţineri din salarii [5].

Pe 5 februarie 1929, peste 800 de muncitori au intrat în grevă, cerând reprimirea tuturor, salarii cu 30% mai mari şi ziua de 8 ore. Au primit sprijin de la minerii din Concordia, Vulcan şi Zărneşti. Greva s-a încheiat pe 18 martie 1929, după o lună şi jumătate, iar firma nu i-a mai reprimit pe fruntaşii ei [5], [7]. Sursa

principală despre grevă este un studiu din perioada comunistă, bazat pe documentele fondului Prefectura din Arhivele Statului Brașov, care pune accent pe rolul PCR [5].

5.3. Costul real și ancheta financiară

Ancheta ulterioară a Ministerului de Finanțe, din jurul anului 1932, a stabilit că valoarea lucrărilor executate ajunsese la 1.471.539.668 de lei, de aproape trei ori mai mult decât contractul inițial. Firma nu plătise impozit industrial sau pe salarii, fiind trecută ca neimpozabilă de comisia din Braşov. Inspectorul general financiar Procopiu a cerut sechestru pe sumele pe care firma le mai avea de primit de la stat [7].

5.4. Darea în exploatare şi tunelul azi

Linia Hărman – Întorsura Buzăului s-a deschis la 25 iunie 1931 [7], [10]. Racordul spre Nehoiași, de circa 75 km, nu a mai fost construit niciodată, iar linia se oprește și azi la Întorsura Buzăului [10].

În 1944, tunelul a adăpostit arhive și materiale ale armatei, ferite de bombardamente. În 1986, aici s-a filmat o scenă din „Trenul de aur”. După o întrerupere de patru ani, circulația a fost reluată la 23 septembrie 2022 [8], [10]. Tunelul, dimensionat pentru o linie dublă electrificată, este străbătut azi de câteva automotoare pe zi.

La centenarul străpungerii, documentele, fotografiile și mărturiile despre tunel au fost reunite în muzeul virtual tunelulteliu.ro, realizat de comunitatea Teliu Brașov [10].

6. CONCLUZII

Tunelul Teliu a fost o lucrare ambițioasă, gândită pentru o magistrală dublă și electrificată între Transilvania și Dunăre. Execuția a dus tehnica vremii la limită: o rocă argiloasă care se umfla, gaz metan, prăbușiri și o presiune care rupea sprijinirile au impus profile grele de zidărie pe peste 3.600 m și o boltă de talpă pe toată lungimea.

Costul a crescut de aproape trei ori față de contract, iar durata de la trei la patru ani. Lucrarea a avut și o latură socială grea, vizibilă în condițiile de locuire, în moartea inginerului Cotârță și în greva din 1929.

Linia pentru care a fost construit nu a fost terminată niciodată, iar tunelul deservește azi doar o linie locală. Rămâne însă, după un secol, cel mai lung tunel feroviar din România și o mărturie a ingineriei de tuneluri din perioada interbelică.

BIBLIOGRAFIE

[1]. JULIUS BERGER TIEFBAU-AG: *Julius Berger Tiefbau-Aktiengesellschaft Berlin **1905–1930***, Meisenbach Riffarth, Berlin, **1931**, paginile „Bau des Teliu-Tunnels” și „Bau des Teliu-Viaduktes”. Digitizare: Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg Carl von Ossietzky, PPN1678761648.

[2]. *„Cât costă tunelul Teliu?”*, Buletinul Societății Politehnice, București, **1927**.

[3]. I. MARINESCU: *„Cercetări geologice tehnice asupra tunelului Teliu”*, Revista Minelor, **1962**.

[4]. C. CIOLPAN: articol despre tunelul Teliu, *Țara Bârsei*, Brașov, **2013**.

[5]. NELLY MITRU: *„Greva muncitorilor de la tunelul Teliu din **1929**”*, după documente din Arhivele Statului Brașov, fond Prefectura.

[6]. *Albumul „Dedicată mult stimaților oaspeți”* și meniul banchetului Capșa, Teliu, 24 octombrie **1926**.

[7]. Presa vremii: *Carpații*, Brașov, nr. 345, 24 octombrie **1926**; *Ellenzék*, **1925**; *Dimineața Ardealului*, **1928**; *Gazeta Transilvaniei*, **1929**; articolele despre ancheta Ministerului de Finanțe, cca. **1932**; „A murit la datorie”, anii ’30.

[8]. VLAD BARZĂ: *„Povestea celui mai lung tunel feroviar din România”*, HotNews, 2 octombrie **2022**.

[9]. GHEORGHE BORICEANU: mărturie orală, Teliu, **2011**.

[10]. *Muzeul virtual al Tunelului Teliu*, https://tunelulteliu.ro/, accesat la 23 octombrie **2026**.

MONITORIZAREA ÎN PROIECTAREA ŞI EXECUȚIA LUCRĂRILOR DE INFRASTRUCTURĂ CERCETARE APLICATĂ ȘI SERVICII INGINEREȘTI LA UTCB CFDP

Olteanu Andrei Constantin, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: andrei.olteanu@utcb.ro;
Orha Cristina, ing., MSc, Universitatea Tehnică de Construcții București, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: ponoran.cristina@utcb.ro;
Alexe Alexandru Gabriel, ing., MSc, Universitatea Tehnică de Construcții București, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: alexandru.alexe@utcb.ro.

Rezumat

Lucrarea prezintă activitatea de cercetare aplicată și servicii inginerești dezvoltată la UTCB, în legătură cu domeniul CFDP, începând din 1996. Monitorizarea leagă ipotezele proiectării de comportarea lucrărilor în execuție și exploatare. Aplicațiile privesc infrastructura de transport, baraje și versanți adiacenți, dane portuare, depozite de deșeuri și încercări instrumentate pe elemente de fundare indirectă sau de consolidare. Grupurile de senzori urmăresc complementar deplasările, presiunile și forțele, pentru interpretarea fenomenelor și evaluarea riscurilor. Numeroase instrumentări au urmărit și calibrarea modelelor de proiectare geotehnică. Activitatea a inclus promovarea echipamentelor de ultimă generație, a monitorizării online și a sistemelor pentru perioade lungi de exploatare. Proiectele de monitorizare sunt particularizate pentru fiecare lucrare și pentru scopurile declarate de proiectant, beneficiar, consultant și asigurător. Exemplele evidențiază transferul dintre cercetare, servicii și formarea specialiștilor. Contractele semnate susțin perspectiva continuării activității pentru cel puțin următorii zece ani.

Cuvinte cheie: monitorizare integrată; instrumentare; calibrarea modelelor; proiectare geotehnică; monitorizare online; UTCB; CFDP.

Abstract

This paper presents the applied research and engineering services developed at UTCB in connection with railway, road and bridge engineering since 1996. Monitoring links design assumptions to performance during construction and operation. Applications include transport infrastructure, dams and adjacent slopes, port quays, waste disposal facilities, and instrumented tests on deep foundation and ground reinforcement elements. Complementary sensor groups track displacements, pressures and forces to interpret mechanisms and assess risks. Numerous

instrumentation programmes have also supported the calibration of geotechnical design models. The activity has promoted state-of-the-art equipment, online monitoring and systems designed for long-term service. Monitoring projects are tailored to each structure and to the objectives stated by the designer, owner, consultant and insurer. The examples illustrate the exchange between research, engineering services and professional education. Signed contracts support the continuation of this activity for at least the next ten years.

Keywords: integrated monitoring; instrumentation; model calibration; geotechnical design; online monitoring; UTCB; railway road and bridge engineering.

1. INTRODUCERE

Proiectarea unei lucrări de infrastructură formulează ipoteze asupra terenului, acțiunilor și răspunsului structural. Execuția introduce o succesiune reală de încărcări, descărcări și modificări ale regimului apei. Monitorizarea furnizează informația prin care comportarea observată poate fi comparată cu prognoza. Interpretarea acestei comparații susține menținerea soluției sau fundamentarea unor măsuri adaptate condițiilor întâlnite.

Articolul urmărește această relație prin activitatea de cercetare aplicată și servicii inginerești desfășurată în cadrul UTCB și asociată domeniului CFDP. Accentul privește capacitatea echipelor de a lega investigarea terenului, încercările de laborator și analiza geotehnică de observațiile asupra lucrărilor. Contractele și aplicațiile prezentate constituie repere ale acestei activități [1].

Cadrul universitar permite reunirea competențelor de geotehnică, structuri și măsurători, precum și folosirea experienței de șantier în cercetare și în pregătirea studenților. Centrul de Monitorizare Impact Infrastructură asupra Mediului figurează în infrastructura de cercetare a Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri [2]. Contribuția sa se înscrie într-un domeniu în care interpretarea mecanismelor are aceeași importanță ca achiziția datelor.

2. CONTINUITATEA ACTIVITĂȚII DIN 1996

Anul 1996 reprezintă începutul perioadei de activitate analizate. Contractul de cercetare nr. 423/04.04.1996, încheiat între MCT și UTCB, privea deformarea și cedarea pământurilor cu macrostructură specifică. Studiile experimentale și modelele de calcul urmăreau proprietăți necesare evaluării comportării terenului.

În 1997, contractul nr. 48, încheiat cu CESTRIN, lega încercările triaxiale de evaluarea terenului de fundare pentru sectoare ale DN5 şi DN1A [1].

Tema B.38, consemnată în lista de contracte ca nr. 551/2000 şi asociată activităţii din 2001, reuneşte explicit monitorizarea, studiul şi identificarea măsurilor de stabilizare pentru zone cu potenţial de alunecare. Acest reper ilustrează apropierea dintre cercetarea mecanismului, măsurarea comportării şi fundamentarea intervenţiei [1].

Extinderea ulterioară a cuprins infrastructura de transport, baraje şi versanţi adiacenţi, dane portuare şi depozite de deşeuri. Încercările in situ pe elemente de fundare indirectă şi de consolidare au completat urmărirea lucrărilor în timp cu evaluarea răspunsului la solicitări controlate. Aceste aplicaţii păstrează legătura dintre cercetare, servicii şi formarea specialiştilor.

3. INTEGRAREA MONITORIZĂRII ÎN PROIECTARE ŞI EXECUŢIE

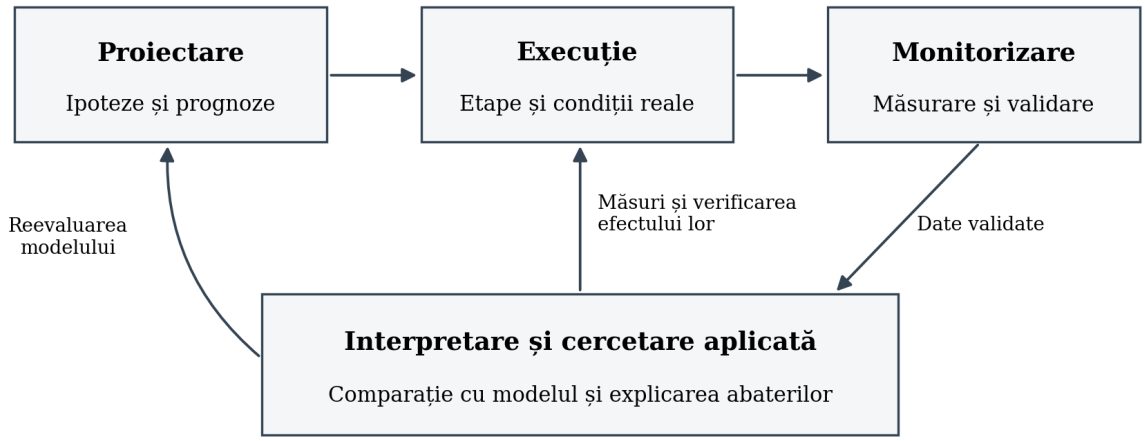


Figura 1. Circuitul informaţiei între proiectare, execuţie şi monitorizare, cu interpretarea şi cercetarea aplicată în legătură cu decizia inginerească.

Proiectul stabileşte mecanismele urmărite, mărimile de măsurat şi domeniile de comportare acceptabile. Programul de monitorizare traduce aceste cerinţe în amplasarea instrumentelor, precizii, frecvenţe şi reguli de raportare. Etapa iniţială trebuie să permită distingerea efectului lucrării de variaţiile preexistente ale terenului, apei şi structurilor.

În execuţie, seriile măsurate se raportează la jurnalul lucrărilor. Pentru o excavaţie contează cota atinsă, montarea sprijinirilor şi funcţionarea epuismentului. Pentru un rambleu sunt relevante grosimea şi ritmul încărcării. La tuneluri se adaugă poziţia frontului, aplicarea sprijinirii şi evoluţia căptuşelii. Compararea unor valori fără această corespondenţă poate conduce la interpretări mecanice greşite.

Metoda observaţională presupune existența unor răspunsuri pregătite pentru situațiile nefavorabile care pot fi identificate prin măsurători [3]. Monitorizarea susține aplicarea metodei atunci când informația este suficient de sigură și ajunge în timp util la cei care decid. ISO 18674-1 stabileşte cadrul general al monitorizării geotehnice prin instrumentare, înainte, în timpul şi după execuţie [4].

Responsabilitățile rămân explicite: proiectantul fundamentează limitele şi soluţiile, executantul consemnează condiţiile şi aplică măsurile aprobate, iar echipa de monitorizare verifică datele şi explică răspunsul observat în limitele mandatului său. Concluziile interpretative permit revenirea asupra modelului şi verificarea efectului intervenţiilor, conform organizării proiectului.

4. LUCRĂRI ŞI CONCEPŢIA SISTEMELOR DE MONITORIZARE

Tabelul 1 prezintă perioadele şi tipurile de monitorizare pentru lucrări selectate din activitatea UTCB [1]. Intervalele care depăşesc anul 2026 corespund duratelor unor contracte active. Pentru lucrările la care este indicat un singur an, acesta reprezintă un reper al activităţii, fără a stabili durata integrală a urmăririi.

Tabelul 1. Perioade de monitorizare şi tipuri de activităţi pentru lucrări selectate

Perioadă sau reper	Lucrare	Tip de monitorizare
2006	Catedrala Evanghelică Sibiu	Încercare instrumentată pe micropiloţi solicitaţi orizontal.
2013	Varianta de ocolire Iaşi	Inclinometrie şi proiect de urmărire specială.
2014–2030	Autostrada Sibiu–Orăştie Lotul 3	Inclinometrie, piezometrie şi monitorizare geotehnică şi structurală.
2014–2027	Autostrada Sebeş–Turda Lotul 4	Inclinometrie verticală şi orizontală; monitorizare geotehnică şi evaluarea stabilităţii.

Perioadă sau reper	Lucrare	Tip de monitorizare
2014–2026	Varianta de Ocolire Domașnea	Monitorizare inclinometrică și piezometrică a versanților.
2015–2030	Barajul Cătămărăști	Monitorizare inclinometrică și piezometrică.
2016	Autostrada Lugoj–Deva Lotul 3	Inclinometrie și piezometrie pentru versant.
2016; 2017	Tunelul feroviar Turdaș	Monitorizare geotehnică și structurală; starea de tensiune în inel.
2016–2030	Barajul Livezeni	Inclinometrie, piezometrie și topografie pentru structură și versant.
2016–2018	Dane și sincrolift VARD Tulcea	Monitorizare inclinometrică și piezometrică.
2017–2026	Autostrada Sebeș–Turda Lotul 2	Monitorizare geotehnică și structurală.
2017–2019	Aeroportul Internațional Sibiu	Instrumentare și monitorizare geotehnică a terasamentelor.
2017–2018	Depozitul de deșeuri Galda de Jos	Instrumentare cu sisteme de monitorizare geotehnică.
2017	Barajul Siriu	Verificarea sistemelor inclinometrice, piezometrice și a celulelor de presiune.
2022–2030	Drumul expres DX12	Monitorizare geotehnică a infrastructurii rutiere.
2024–2030	Autostrada Transilvania Lotul 3A2	Monitorizare geotehnică.
2025	DJ191D Vâlcău–Fizeș–Sâg	Monitorizare geotehnică a sectoarelor afectate de alunecări.
2025–2030	Autostrada Transilvania Lotul 3C1 Suplacu de Barcău–Chiribiș	Proiectarea sistemului și monitorizare geotehnică.
2025	Varianta de ocolire Zalău	Instrumentare geotehnică pentru analiza instabilității.
2026–2030	Autostrada Sibiu–Făgăraș	Monitorizare geotehnică.
2026–2030	Barajul Leșu	Monitorizare geotehnică a barajului.

Durata urmăririi depinde de evoluția fenomenului și de fazele lucrării. Seriile îndelungate permit examinarea consolidării, a variațiilor sezoniere și a efectelor exploatării. Încercările instrumentate completează observațiile prin evaluarea răspunsului la încărcări controlate.

4.1. Cercetarea sistemelor de măsurare

Cercetarea a inclus instrumentarea și compararea configurațiilor de tubulatură pentru inclinometre, urmărind influența acestora asupra orientării, repetabilității citirilor și interpretării profilului deplasărilor.

Exemplele includ senzori de tip dublu pendul și configurații care înregistrează suplimentar rotația în plan la adâncimile instrumentate. Corelarea răspunsului cu orientarea senzorului sprijină interpretarea componentelor deplasării și evaluarea influenței rotirii sistemului de măsurare.

Cercetarea privește atât comportarea lucrării, cât și sistemul de măsurare. Compararea configurațiilor și a modurilor de achiziție susține alegerea instrumentării și controlul calității datelor folosite la calibrarea modelelor geotehnice.

4.2. Grupuri de senzori pentru interpretarea fenomenelor

În activitatea de instrumentare au fost promovate grupuri de senzori complementari, alese în funcție de mecanismele anticipate și de riscurile asociate condițiilor naturale, execuției și exploatării. Interpretate împreună, măsurătorile traduc fenomene complexe în mărimi care pot fi urmărite în timp și comparate cu prognozele.

Tabelul 2. Senzori complementari și mărimile urmărite [4, 11, 12]

Instrument sau sistem	Mărimea urmărită
Tasometre	Tasări și deplasări verticale față de referința sistemului.
Inclinometre verticale	Profilul deplasărilor laterale pe adâncime.
Inclinometre orizontale	Profilul deplasărilor verticale de-a lungul secțiunii instrumentate.
Piezometre cu nivel liber	Nivelul piezometric în zona filtrantă investigată.
Piezometre cu coardă vibrantă	Presiunea apei în pori la punctul de instalare.
Celule de presiune	Presiuni totale în teren sau presiuni de contact teren–structură.
Tiltmetre	Variația înclinării elementului instrumentat.
Celule de forță pentru ancoraje	Forța transmisă la nivelul ancorajului instrumentat.

La un versant sau la un baraj, deplasările se interpretează împreună cu variațiile presiunii apei și cu solicitările structurii. La dane portuare contează și variațiile nivelului apei și ale încărcărilor de exploatare. La depozite de deșeuri, tasările și deplasările laterale se corelează cu etapele de umplere și cu regimul

apei. Grupul de senzori se alcătuieşte pentru mecanismul urmărit; nu fiecare lucrare necesită toate tipurile din tabel.

Încercările in situ pentru evaluarea capacității portante a elementelor de fundare indirectă sau de consolidare corelează forţa aplicată cu deplasările şi, după instrumentare, cu distribuția eforturilor. Ele furnizează date pentru interpretarea mecanismului de transfer al încărcării şi pentru comparaţia cu răspunsul calculat.

4.3. Proiecte dedicate şi monitorizare pe termen lung

Activitatea a inclus promovarea echipamentelor de ultimă generație, a monitorizării online şi a instrumentării concepute pentru perioade lungi de exploatare. Alegerea tehnologiei a fost legată de fenomenul urmărit, de frecvența necesară a observațiilor şi de condițiile amplasamentului. Achiziția şi transmiterea automată permit examinarea evoluției dintre campaniile de măsurare şi susțin comunicarea operativă a schimbărilor relevante.

Proiectele de monitorizare „amprentate” sunt particularizate pentru lucrare şi pentru scopul declarat de proiectant, beneficiar, consultant şi asigurător. Ele pornesc de la mecanismele anticipate şi riscurile relevante şi stabilesc mărimile urmărite, poziția instrumentelor, starea de referință, frecvențele, pragurile şi responsabilitățile. Cerințele fiecărui participant se traduc în întrebări tehnice verificabile şi în reguli de interpretare şi raportare.

Pentru exploatarea îndelungată, proiectul include durabilitatea şi protecția instrumentelor, posibilitățile de verificare şi înlocuire, alimentarea, transmiterea şi arhivarea datelor. Continuitatea se asigură prin întreținerea sistemului şi păstrarea referințelor şi a istoricului intervențiilor, inclusiv la schimbarea echipamentelor sau a operatorilor.

4.4. Instrumentarea pentru calibrarea modelelor geotehnice

Numeroase instrumentări au fost realizate şi pentru calibrarea modelelor de proiectare geotehnică. Amplasarea senzorilor a urmărit obținerea unor răspunsuri comparabile cu mărimile calculate: tasări, deplasări laterale, presiuni interstițiale, presiuni de contact şi forțe în elementele instrumentate. Datele corelate permit reevaluarea parametrilor şi a ipotezelor privind interacțiunea teren–structură.

Calibrarea raportează răspunsul calculat la măsurători validate şi la condițiile reale de încărcare, drenaj şi execuție. Compatibilitatea se verifică

pentru mai multe mărimi şi etape, păstrând justificarea fizică a parametrilor. Observaţiile din etapele ulterioare permit verificarea capacităţii modelului ajustat de a anticipa comportarea. Astfel, monitorizarea participă la dezvoltarea şi verificarea soluţiei de proiectare.

5. APLICAȚII ALE INTEGRĂRII TEHNICE

5.1. Autostrăzi şi versanţi

La Sebeș–Turda Lotul 4, monitorizarea din intervalul 2014–2027 se asociază cu detalierea geotehnică şi evaluarea stabilităţii. Instrumentarea descrisă pentru zona Stejăriș include observaţii pe direcţie orizontală şi verticală, ceea ce permite examinarea diferenţiată a deformării corpului lucrării şi a mişcărilor în adâncime [1].

Legătura cu proiectarea se realizează prin compararea formei şi adâncimii deplasărilor cu mecanismele analizate. În execuţie, variaţiile se raportează la geometria realizată, încărcările succesive şi măsurile de drenare sau consolidare. O modificare a vitezei de deplasare trebuie analizată împreună cu poziţia suprafeţelor potenţiale de alunecare şi cu regimul apei, înaintea formulării unei concluzii privind eficienţa soluţiei.

La Sibiu–Orăștie Lotul 3, asocierea explicită dintre monitorizarea inclinometrică, piezometrie şi cartarea geologico-geotehnică oferă un exemplu de reunire a observaţiilor din surse diferite. La varianta de ocolire Zalău, contractul din 2025 leagă instrumentarea de studiul geotehnic de detaliu pentru analiza unei instabilităţi [1]. Aceste obiecte contractuale arată că monitorizarea participă la investigarea cauzelor şi la evaluarea modelului terenului.

5.2. Poduri şi tuneluri

Tunelul Turdaș ilustrează extinderea observaţiei de la teren către structură. Furnizarea instrumentelor şi serviciile de monitorizare geotehnică şi structurală sunt completate, în documentaţia contractuală menţionată pentru 2017, de măsurarea stării de tensiune în structura inelului [1]. Analiza poate astfel examina compatibilitatea dintre deplasările observate şi solicitările elementelor instrumentate.

Pentru tunelurile urbane şi extraurbane, prezentarea de bază [10] propune urmărirea stării iniţiale, a apropierii frontului, a instalării sprijinirii şi a evoluţiei

după execuție. Această structură este utilă interpretării: datele TBM sau jurnalul excavării convenționale se corelează cu observațiile independente asupra terenului, căptușelii și vecinătăților. Aceleași repere permit distingerea efectelor tranzitorii de componentele reziduale.

Activitatea prezentată se completează cu lucrările de monitorizare a podurilor și tunelurilor gestionate de Departamentul de Poduri și Tuneluri din cadrul UTCB–CFDP. Aceste contribuții evidențiază participarea mai multor colective universitare la urmărirea comportării infrastructurii.

5.3. Cercetarea de laborator în sprijinul proiectării

Studiul privind stația Eroii Revoluției, Magistrala M4 Lotul 2, arată cum etapele lucrării pot defini programul experimental. Încercările edometrice pe nisipuri reconstituite urmăresc încărcarea, descărcarea și reîncărcarea, pentru a diferenția rigiditățile asociate istoricului solicitării [7]. Rezultatele de laborator fundamentează alegerea parametrilor de calcul. Verificarea comportării în teren necesită apoi măsurători concepute pentru fenomenele anticipate.

Pentru un asemenea caz, programul de monitorizare trebuie să distingă deplasarea bazei excavației, răspunsul sprijinirilor și evoluția apei subterane. Cercetarea oferă o prognoză verificabilă, iar observațiile ulterioare pot orienta recalibrarea modelului. Studiul citat privește analiza experimentală și propunerile metodologice; el nu constituie, prin sine, o validare prin măsurători din execuția stației.

Lucrarea asupra îmbunătățirii terenului cu lianți hidraulici pentru rambleul de la km 71+280, Nușfalău–Suplacu de Barcău, corelează materialele, tehnologia și verificările de stabilitate și tasare [9]. Soluția studiată asociază tratarea terenului cu armarea prin geogrile. Rezultatele reprezintă prognoze ale modelului, a căror verificare în teren solicită urmărirea tasărilor, deplasărilor laterale și presiunilor interstițiale.

5.4. Monitorizarea online a infrastructurii Podului Brăila

Articolul de referință asupra Podului Brăila documentează instalarea, în 2024, a șapte lanțuri de inclinometre permanente, alcătuite din 81 de module, cu o lungime instrumentată totală de 162,0 m [8]. Exemplul evidențiază contribuția instrumentării automate la urmărirea evoluției dintre campaniile de măsurare și la identificarea momentului unei schimbări.

Trecerea la achiziţie automată cere verificarea continuităţii referinţelor, a orientării axelor şi a poziţiei modulelor. Înclinarea locală, deplasarea relativă obţinută prin integrare şi translaţia absolută a fundaţiei sunt mărimi diferite. Interpretarea trebuie să precizeze ce se măsoară şi în raport cu ce reper, păstrând distincte variaţiile locale din Etapa 0 şi mişcarea ansamblului.

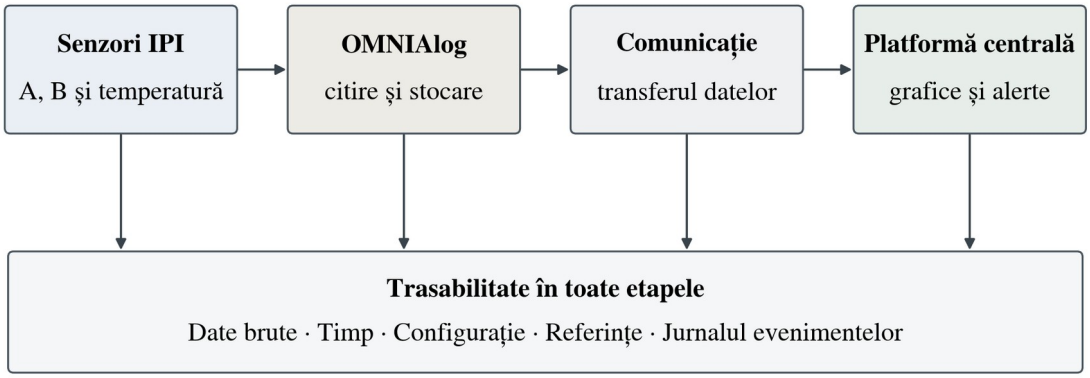


Figura 2. Fluxul monitorizării online la Podul Brăila şi trasabilitatea datelor. Schemă preluată din articolul de referinţă [8].

Corelarea cu nivelul Dunării, piezometria, temperatura şi observaţiile asupra suprastructurii poate explica mecanisme care nu rezultă dintr-un singur tip de senzor. În studiul citat, această integrare este prezentată ca un cadru metodologic [8]. O asociere temporală între două serii constituie un indiciu de analizat; atribuirea unei cauze necesită verificarea condiţiilor fizice şi a incertitudinilor.

Exemplul Podului Brăila şi studiile de laborator arată cum lucrările de infrastructură generează subiecte de cercetare, iar cercetarea formulează criterii pentru interpretarea datelor. Articolele şi disertaţiile permit transmiterea metodelor şi discutarea limitelor lor, dincolo de utilizarea imediată în proiect.

6. CALITATEA DATELOR ŞI RESPONSABILITATEA DECIZIEI

Valoarea unei serii de măsurători depinde de identificarea instrumentului, poziţie, etalonare, momentul citirii şi starea de referinţă. Întreruperile, intervenţiile şi schimbările de configuraţie trebuie păstrate în istoricul sistemului. Achiziţia automată reduce intervalul dintre observaţii, dar interpretarea rămâne dependentă de controlul calităţii şi de cunoaşterea condiţiilor lucrării.

În raportare se separă variaţia reală a fenomenului de funcţionarea sistemului de măsurare. O depășire geotehnică, lipsa datelor şi defectarea unui canal sunt situaţii diferite, cu răspunsuri proprii. Planul de acţiune la atingerea pragurilor, TARP (Trigger Action Response Plan), precizează declanşatorii, destinatarii, măsurile şi termenele. Efectul măsurilor aplicate se verifică prin observaţiile ulterioare.

NP 074-2022 oferă cadrul documentaţiilor geotehnice, iar P 130-2025 priveşte urmărirea comportării în exploatare [5, 6]. Documentaţiile fiecărei lucrări particularizează aceste cerinţe. Predarea între etape trebuie să păstreze referinţele şi informaţia necesară interpretării.

7. CERCETAREA ŞI FORMAREA SPECIALIŞTILOR ÎN PERSPECTIVA URMĂTORULUI DECENIU

Participarea universităţii la lucrări de infrastructură permite examinarea unor probleme care nu pot fi reproduse integral în laborator. Observaţiile asupra versanţilor, fundaţiilor şi structurilor susţin analiza interacţiunii teren–structură, verificarea parametrilor şi evaluarea efectelor de scară. Cercetarea poate folosi aceste date dacă sunt cunoscute condiţiile de măsurare şi limitele reprezentativităţii.

Beneficiul didactic apare atunci când o lucrare reală este transformată într-un studiu de caz verificabil: problema iniţială, ipotezele, datele, interpretarea şi decizia trebuie să poată fi urmărite de cititor. Lucrările de disertaţie şi articolele de referinţă [7–9] ilustrează această apropiere dintre programul experimental, analiza de proiectare şi necesitatea confirmării prin observaţii. Participarea cadrelor didactice, a cercetătorilor, a personalului tehnic şi a studenţilor asigură transferul experienţei între generaţii.

Activitatea începută în 1996 continuă în prezent, iar contractele semnate susţin perspectiva desfăşurării sale pentru cel puţin următorii zece ani, până cel puţin în 2036. Această continuitate creează condiţii pentru urmărirea comportării pe durate care depăşesc execuţia şi pentru compararea răspunsului la solicitări şi condiţii de mediu succesive.

Priorităţile pentru acest interval sunt păstrarea seriilor de referinţă, întreţinerea instrumentelor şi compatibilitatea datelor între generaţii de echipamente. Integrarea observaţiilor topografice, geotehnice şi structurale poate fi extinsă prin modele digitale şi metode de observare la scară teritorială.

Utilitatea lor depinde de rezoluţia adecvată fenomenului şi de verificarea prin măsurători locale.

8. CONCLUZII

Activitatea prezentată reunește monitorizarea infrastructurii de transport, a construcţiilor hidrotehnice, a danelor portuare şi a depozitelor de deşeuri cu încercările instrumentate pe elemente de fundare indirectă şi de consolidare. Grupurile de senzori complementari sprijină interpretarea fenomenelor, evaluarea riscurilor şi calibrarea modelelor de proiectare geotehnică.

Contribuţia UTCB–CFDP include cercetarea sistemelor de măsurare, promovarea echipamentelor moderne, a monitorizării online şi pe termen lung şi a proiectelor dedicate scopului fiecărei lucrări. Continuitatea din 1996 şi perspectiva contractuală a următorului deceniu susţin transferul datelor şi al experienţei către proiectare, cercetare şi formarea specialiştilor.

BIBLIOGRAFIE

[1]. OLTEANU, A. C. CV şi memoriu de activitate profesională, versiunea 16.10.2026; lista proiectelor şi perioadelor de monitorizare, actualizată la 16.11.2026. Documente şi precizări furnizate de autor. Repere din CV: pp. 2, 8–12, 21, 24, 35, 37–40.

[2]. UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI, FACULTATEA CFDP. Centre de cercetare; Infrastructura. Pagini instituționale, consultate la 16.11.2026. https://fcfdp.utcb.ro/cerceteaza/centre-de-cercetare/ ; https://fcfdp.utcb.ro/descopera-ne/infrastructura/

[3]. PECK, R. B. Advantages and Limitations of the Observational Method in Applied Soil Mechanics. Géotechnique, 19(2), 171–187, 1969. DOI: 10.1680/geot.1969.19.2.171.

[4]. ISO. ISO 18674-1:2015. Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 1: General rules. Catalog ISO. https://www.iso.org/standard/63168.html

[5]. MDLPA. Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții, indicativ NP 074–2022. Aprobat prin Ordinul nr. 27/10.01.2023, Monitorul Oficial nr. 56/20.01.2023. Portal Legislativ.

[6]. MDLPA. Normativ privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor, indicativ P 130–2025. Aprobat prin Ordinul nr. 770/30.05.2025, Monitorul Oficial nr. 568 și 568 bis/19.06.2025. https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/299154

[7]. OLTEANU, A. C.; BOBARNAC, C. Excavații adânci: utilizarea drumurilor de efort în încercările de laborator geotehnic. Articol pregătit pentru Conferința „145 ani de Învățământ Tehnic Ingineresc în Domeniul Infrastructurii Transporturilor”, București, 20.11.2026. Revizia 2, 15.10.2026, material furnizat de autori.

[8]. OLTEANU, A. C.; ALEXE, A. G. Infrastructura Podului Brăila și monitorizarea online a comportării acesteia. Articol pregătit pentru aceeași conferință, versiunea 03, 15.10.2026, material furnizat de autori.

[9]. DIACONU, M.-A.; OLTEANU, A. C. Îmbunătățirea terenului de fundare cu lianți hidraulici. Articol pregătit pentru aceeași conferință, 2026, material furnizat de autori.

[10]. OLTEANU, A. C. Monitorizarea mediului construit și natural. Contribuția universității, a facultății, a departamentelor și a specialiștilor formați în domeniul CFDP. Prezentare pentru aniversarea 145 ani CFDP, revizia 0, 08.11.2026. Diapozitivele 14–29 și 34–38.

[11]. GEOKON. Geotechnical and Structural Instrumentation and Data Acquisition. Catalog tehnic, secțiunile Piezometers, Inclinometers, Settlement Sensors, Pressure Cells, Load Cells și Tiltmeters. Consultat la 16.11.2026. https://www.geokon.com/content/datasheets/GEOKON-Instrumentation-Catalog.pdf

[12]. SISGEO. Casagrande and Standpipe Piezometers; Horizontal In-Place Inclinometers. Fișe și pagini tehnice, consultate la 16.11.2026. https://sisgeo.com/products/piezometers/casagrande-and-standpipe-piezometers/ ; https://sisgeo.com/products/ipi-in-place-inclinometers/horizontal-in-place-inclinometers/

LEGENDE, RECORDURI ŞI POVEŞTI MAI PUȚIN CUNOSCUTE ALE CĂILOR FERATE ROMÂNE

Prisăcaru Marian Bogdan, ing., expert material rulant / student FCFDP, anul 4, Bomap Engineering S.R.L., e-mail: marianbogdanprisacaru@gmail.com
Stoian Mihai-Liviu, ing., coordonator departament cale ferată și drumuri, Consis Proiect S.R.L., e-mail: stoianmihailiviu@gmail.com

Rezumat

Dincolo de dimensiunea sa tehnică, calea ferată păstrează poveștile oamenilor care au proiectat-o, construit-o și exploatat-o. Lucrarea reunește episoade reprezentative din istoria feroviară de pe teritoriul României: evoluția ritmului de construcție a rețelei până astăzi, călătoriile primelor decenii, inaugurarea liniei Buzău–Mărășești (1881), prima realizată de ingineri români, traseul montan Oravița–Anina, podul de la Cernavodă, Trenul Regal, rolul căii ferate în războaiele secolului al XX-lea și soarta unor linii locale. Pentru fiecare episod se aplică o grilă cu trei registre: fapte documentate prin surse de epocă sau tehnice, relatări memorialistice și tradiții fără confirmare independentă. Sunt analizate apoi câteva „recorduri” frecvent citate, arătându-se că valoarea lor depinde de criteriul de comparație și că sursele oferă uneori cifre diferite pentru același obiectiv. Episoadele sunt puse în legătură cu parametrii tehnici care le explică, de exemplu razele mici și declivitățile mari ale liniilor de munte. Lucrarea propune o lectură tehnică, dar accesibilă, a patrimoniului feroviar, în contextul aniversării a 145 de ani de învățământ tehnic în domeniul infrastructurii transporturilor, și susține că istoria feroviară trebuie verificată cu aceeași exigență ca un calcul ingineresc.

Cuvinte cheie: istorie feroviară, Buzău–Mărășești, Oravița–Anina, Anghel Saligny, Cernavodă, Trenul Regal, patrimoniu tehnic, recorduri feroviare

Abstract

Beyond its technical dimension, the railway preserves the stories of those who designed, built and operated it. The paper brings together representative episodes from railway history in present-day Romania: early travel conditions, the 1881 inauguration of the Buzău–Mărășești line, the first built by Romanian engineers, the Oravița–Anina mountain railway, the Cernavodă bridge, the Royal Train, the railway in twentieth-century wars and the fate of several local lines. Each episode is read through three registers: facts documented by contemporary or technical sources, memoir accounts and traditions lacking independent confirmation. Several frequently quoted “records” are then examined, showing that their meaning depends on the comparison criterion and that sources sometimes disagree on the same figure. The paper offers

an accessible yet rigorous reading of railway heritage on the occasion of 145 years of engineering education in transport infrastructure.

Keywords: railway history, Buzău–Mărășești, Oravița–Anina, Anghel Saligny, Cernavodă, Royal Train, engineering heritage, railway records

1. INTRODUCERE. DINCOLO DE ŞINE ŞI CIFRE

O cale ferată poate fi descrisă prin lungime, ecartament, raze de curbură, declivităţi, număr de poduri şi tuneluri. Aceste date sunt indispensabile inginerului, dar nu spun întreaga poveste. Fiecare traseu a fost şi o alegere economică, o negociere cu relieful şi, adesea, o demonstraţie a posibilităţilor tehnice ale epocii. În jurul marilor lucrări s-au format, în timp, poveşti, superlative şi legende, unele confirmate de documente, altele transmise doar prin repetare.

Lucrarea reuneşte câteva dintre aceste episoade şi le citeşte cu o grilă simplă, cu trei registre (Tabelul 1). Scopul nu este eliminarea legendelor, ci marcarea lor ca atare, astfel încât cititorul să ştie ce poate fi susţinut cu certitudine şi ce aparţine memoriei colective. La aniversarea a 145 de ani de învăţământ tehnic în domeniul infrastructurii transporturilor, aceste poveşti merită recitite nu numai ca succese ale trecutului, ci şi ca exerciţii de rigoare.

Tabelul 1. Grila de lectură utilizată în lucrare

Registru	Tip de sursă	Exemple din lucrare
Documentat	presa vremii, acte oficiale, tratate şi documentaţii tehnice	inaugurarea liniei Buzău–Mărăşeşti (1881); dimensiunile podului de la Cernavodă
Memorialistic	amintiri şi manuscrise scrise ulterior de martori sau specialişti	descrierea călătoriilor de pe linia Szolnok–Békéscsaba–Arad (manuscris din 1930)
Tradiţie	relatări repetate fără o sursă primară identificată	Saligny sub pod la proba de încărcare; „fantoma” tunelului Teliu

Episoadele sunt prezentate aproximativ cronologic. Ele se desfăşoară pe fundalul unui ritm de construcţie care a scăzut continuu (Figura 1). Între 1867 şi 1878 se construiau în medie 125 km de linie nouă pe an, iar cea mai mare parte a

liniilor de astăzi exista deja înainte de Primul Război Mondial [3]. Între 1950 şi 1989 reţeaua a mai crescut net cu circa 490 km, de la 10.853 la 11.343 km [15]. După 1990, construcţia de linii noi practic s-a oprit: în 35 de ani s-au adăugat doar circa 8 km, respectiv legătura de 2,9 km cu Aeroportul Henri Coandă şi aproape 5 km între Golenţi şi Podul Calafat–Vidin, în timp ce au fost modernizaţi 633 km, adică circa 18 km pe an [16]. În acelaşi timp, lungimea reţelei a scăzut la 10.615 km [17]. Valorile provin din surse cu definiţii diferite şi indică doar ordinul de mărime, dar concluzia este clară: astăzi, căile ferate româneşti se refac mult mai mult decât se construiesc, iar poveştile de mai jos aparţin aproape în întregime perioadei de formare a reţelei.

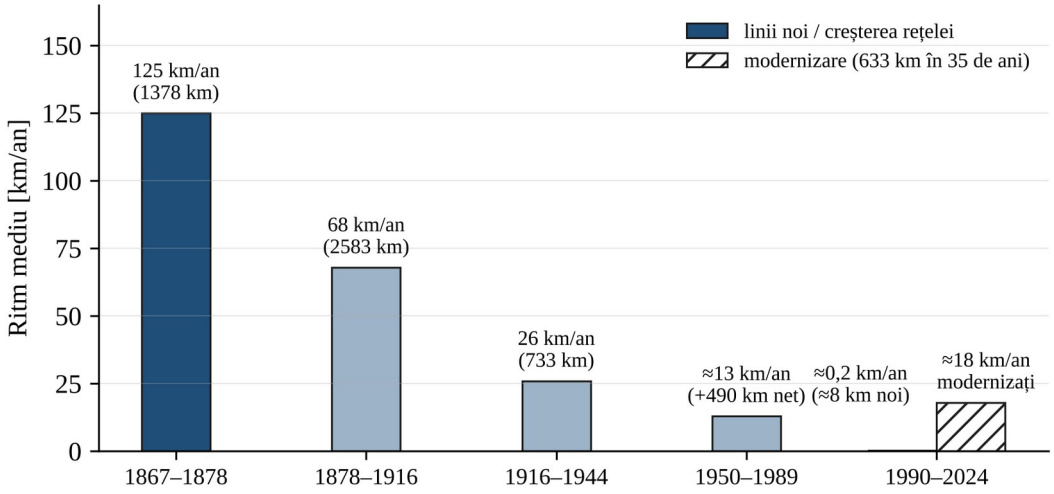


Figura 1. Ritmul mediu de construcţie a reţelei feroviare şi ritmul de modernizare după 1990 (după [3], [15], [16]; pentru 1950–1989 este reprezentată creşterea netă a reţelei)

2. PRIMELE CĂLĂTORII: CUM SE MERGEA CU TRENUL ÎN 1858

Linia Szolnok–Békéscsaba–Arad a fost dată în folosinţă la 25 octombrie 1858, odată cu gările din Békéscsaba şi Arad. Proiectul iniţial ocolea Békéscsaba, dar orăşenii au obţinut modificarea traseului, oferind, printre altele, cinci milioane de cărămizi pentru clădirea gării [1]. Episodul arată că negocierea traseului cu localităţile este la fel de veche ca reţeaua însăşi.

Despre condiţiile de călătorie s-a păstrat un manuscris din 1930 al inginerului de căi ferate Achim Ádám Gusztáv, citat în [1]: vagoanele de clasa I erau vopsite galben deschis, cele de clasa a II-a verde, iar cele de clasa a III-a brun-roşcat; iluminatul se făcea cu lămpi cu petrol agăţate de tavan; controlorul

trecea de la un compartiment la altul în mers, pe o scândură montată lateral, în afara vagoanelor; încălzirea se făcea cu cutii lungi de tablă umplute cu apă fierbinte în gările mari, iar degerăturile nu erau rare; toaleta exista doar în vagonul de bagaje. Relatarea aparține registrului memorialistic: este scrisă la peste 70 de ani de la evenimente, dar de un specialist, iar detaliile ei sunt verosimile tehnic.

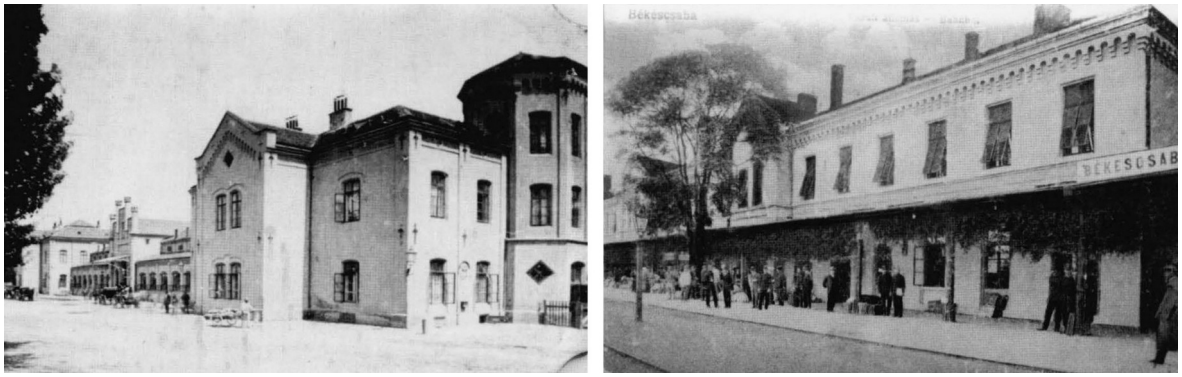


Figura 2. Vechea gară din Arad (1858), stânga, și peronul gării din Békéscsaba la sfârșitul secolului al XIX-lea, dreapta (reproduceri după [1])

3. BUZĂU–MĂRĂȘEȘTI, 1881: PRIMUL TRASEU ROMÂNESC ȘI SĂRBĂTOAREA LUI

În 1879, din cei 1230 km de cale ferată existenți în țară, numai 85 km erau exploatați de stat, restul fiind concesionați unor consorții străine [3]. Linia Buzău–Mărășești, de circa 90 km, a fost studiată și construită între 1879 și 1881 de o echipă condusă de inginerul inspector general Dimitrie Frunză, alături de 22 de tineri ingineri români. Ea traversa opt râuri, cu aproape 1,5 km de poduri, și a costat 93.214 lei aur/km, față de circa 306.000 lei aur/km cât reveneau în medie liniile concesionarilor [2], [3].

Inaugurarea din 18 octombrie 1881 este bine documentată de presa vremii, în special de ziarul *Românul* [2]. Trenul regal, care purta numele „Unire”, a plecat dimineața din gara palatului Cotroceni. Stațiile de pe traseu fuseseră împodobite cu arcuri de triumf din ramuri de stejar, cu inscripția „Trăiască Regele! Trăiască Regina!”. La Focșani, trenul a fost întâmpinat cu salve de tun, iar corpul inginerilor a oferit perechii regale o mistrie și două șorțuri albe. Documentul comemorativ, tipărit pe pergament, a fost închis într-o cutie de metal, împreună cu monede, și cimentat la temelia gării. Banchetul pentru 150 de persoane s-a ținut într-o magazie de mărfuri transformată. Un detaliu puțin cunoscut: din cauza orei târzii, trenul inaugural nu a mai continuat până la Mărășești [2].

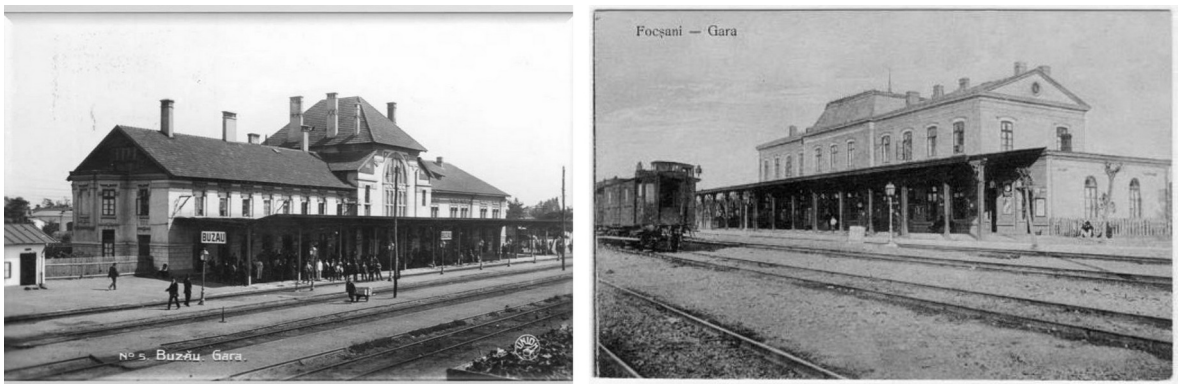


Figura 3. Gările din Buzău și Focșani, două dintre stațiile principale ale liniei Buzău–Mărășești, în cărți poștale de epocă (colecțiile Bibliotecii Naționale a României, după [2])

În discursul său, regele Carol I saluta „întâiul drum de fier, conceput, condus și isprăvit prin noi-înșine” [2]. În aceeași seară, inginerii prezenți au hotărât înființarea Societății Politehnice, al cărei prim președinte a fost ales, la 6 decembrie 1881, chiar Dimitrie Frunză [2]. Povestea are și o continuare tehnică: podurile au fost executate provizoriu din lemn, iar între 1884 și 1892 Serviciul de Poduri condus de Anghel Saligny le-a înlocuit cu poduri din fier și zidărie [2]. Linia a fost dublată în 1940–1942 și face astăzi parte din Magistrala 500 [2].

4. ORAVIȚA–ANINA. LINIA CARE A NEGOCIAT CU MUNTELE

Linia Oravița–Anina, supranumită „Semmeringul bănățean”, a fost proiectată începând din 1840, proiectul fiind finalizat în 1847 de inginerii Anton Rappos și Karl Maniel. Lucrările au fost reluate între 1860 și 1863, cu zidari și pietrari italieni și muncitori locali, iar transportul de călători a început la șase ani după inaugurare [5]. Pe 33,4 km, linia urcă circa 340 m, cu declivități de până la 20‰, față de 14‰ cât era uzual pe alte linii, și cu raze de curbă de numai 114 m. Traseul cuprinde 14 tuneluri și 10 viaducte [6]. Între cele două orașe, distanța pe drum este de numai circa 15 km [5].

Parametrii geometrici explică direct experiența călătorului. Conform normelor CFR din 1960, viteza maximă într-o curbă cu supraînălțare era $V_{max} = 3{,}8\ \sqrt{R}$ [7]; pentru $R = 114$ m rezultă circa 40 km/h, iar pentru curbele fără supraînălțare, cu $V_{max} = 2{,}8\ \sqrt{R}$ [7], circa 30 km/h. Succesiunea de curbe strânse, rampele lungi și tunelurile fac ca parcursul să dureze și astăzi aproximativ două ore, cu o viteză medie de circa 17 km/h [8]. „Încetineala” liniei nu este un defect,

ci consecința directă a compromisului care a permis construirea ei cu mijloacele anilor 1860.

În jurul liniei circulă numeroase povești despre constructori, accidente sau tunelul „iubirii”. Acestea aparțin, până la identificarea unor surse primare, registrului tradiției și trebuie prezentate ca atare.

5. CERNAVODĂ. UN POD ȘI O SCHIMBARE DE SCARĂ

După eșuarea concursurilor internaționale pentru proiectul podului peste Dunăre, conducerea proiectării și a construcției i-a fost încredințată lui Anghel Saligny. Proiectul a fost terminat în 1889, iar construcția în 1895. Saligny a aplicat sistemul grinzilor cu console și a folosit pentru prima dată oțelul moale; podul era, la acea epocă, cel mai lung din Europa [3]. Ansamblul, inaugurat la 26 septembrie 1895, are o lungime totală de 4088 m, inclusiv viaductele. Traversarea principală a Dunării cuprinde o deschidere centrală de 190 m, patru deschideri de 140 m și un viaduct de acces de 15 deschideri de 60 m (Figura 4), cu un gabarit de navigație de 30 m. Podul peste brațul Borcea are 970 m, iar viaductul din Balta Ialomiței, de 1455 m, a fost înlocuit în anii 1960 cu un rambleu [9].

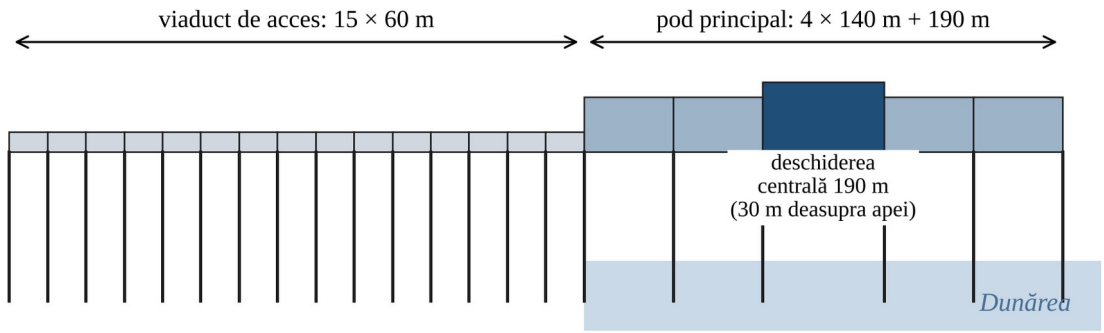


Figura 4. Schema deschiderilor traversării principale a Dunării la Cernavodă, la scară (după datele din [9])

La proba de încărcare, un convoi de 15 locomotive a traversat podul cu 60 km/h, urmat de un tren cu invitați, cu 80 km/h [9]. Relatarea potrivit căreia Saligny ar fi stat sub pod, pe o șalupă, alături de muncitori, în timpul probei este larg răspândită [10], însă sursele consultate nu indică o mărturie primară. Ea poate fi evocată ca episod al memoriei publice, dar nu ca dovadă tehnică. Certitudinea inginerească este alta: un pod devine sigur prin proiectare, execuție controlată și

încercări documentate. Costul total al lucrării, inclusiv liniile şi staţiile, a fost de circa 35 de milioane de lei aur [10].

6. TRENUL REGAL. INFRASTRUCTURA CA SIMBOL AL STATULUI

Trenurile utilizate pentru deplasările oficiale ale suveranilor au depăşit funcţia de transport, devenind spaţii de reprezentare şi de protocol. Este însă important să nu fie confundate garniturile din epoci diferite. Trenul regal care a inaugurat linia Buzău–Mărăşeşti în 1881, numit „Unire” [2], nu este Trenul Regal păstrat astăzi. Acesta din urmă a fost comandat de regele Ferdinand şi construit în Italia, la uzinele Ernesto Breda, intrând în serviciul Casei Regale în 1928. S-au păstrat cinci vagoane originale, între care dormitorul regal, vagonul salon şi vagonul de dormit pentru demnitari, iar un al şaselea vagon se află în proprietatea CFR. Garnitura a fost folosită ca tren prezidenţial până în 1977 şi a fost restaurată în 2003 la atelierele Griviţa, cu păstrarea a peste 80% din elementele originale [11].

Pentru fiecare vehicul de patrimoniu, anul construcţiei, utilizatorii şi modificările ulterioare trebuie prezentate distinct, pe baza evidenţelor de patrimoniu; altfel, o garnitură din 1928 ajunge să fie asociată cu evenimente din secolul al XIX-lea.

7. CALEA FERATĂ ÎN TIMP DE RĂZBOI

Linia Buzău–Mărăşeşti ilustrează cât de vulnerabilă devine infrastructura în război. În timpul Primului Război Mondial, în zona Mărăşeşti au fost distruse 13 poduri, cu o lungime totală de peste 1 km; refăcute de trupele române, ele au fost distruse din nou de armata germană în retragere. În vara anului 1917, gara Mărăşeşti a fost transformată într-un centru de rezistenţă, „împânzit cu tranşee şi apărări de pământ şi lemn”, iar feroviarii şi militarii au demontat şi transportat, sub focul artileriei, materialul de cale din triaj. Circulaţia s-a reluat abia la începutul anului 1919, iar refacerea definitivă a liniilor şi a gării s-a făcut în 1923–1924 [2]. Tot în timpul războiului a fost distrusă o parte a podului de la Cernavodă, refăcut în 1921 [10].

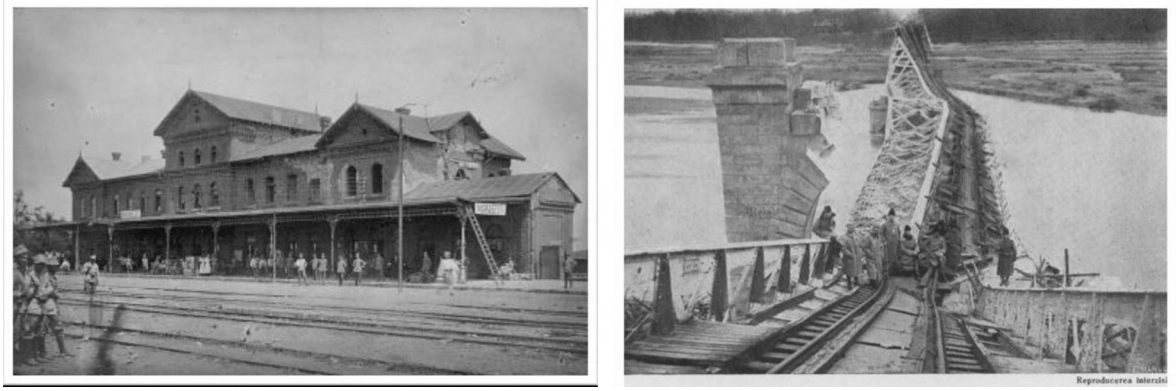


Figura 5. Gara Mărășești în timpul Primului Război Mondial, stânga, și podul de fier de la Cosmești, distrus în 1917, dreapta (colecțiile Bibliotecii Naționale a României, după [2])

Un episod tehnic mai puțin cunoscut privește ecartamentul. În toamna anului 1944, la cererea comandamentului militar sovietic, ecartamentul secției Buzău–Mărășești a fost lărgit la standardul rusesc, lucrare executată de Regimentul 1 Căi Ferate. Prin acordul româno-sovietic din 11 septembrie 1945 s-a prevăzut „renormalizarea tuturor liniilor largi de pe rețeaua C.F.R.”, iar lucrările pe această secție s-au desfășurat în mai 1946 [2]. Trenurile blindate, folosite de numeroase armate în aceeași perioadă, rămân o direcție de cercetare: descrierea unor garnituri românești concrete necesită documentare arhivistică, fără de care s-ar amesteca experiențe ale altor armate cu istoria feroviară românească.

8. LINII LOCALE ȘI PATRIMONIU TRANSFORMAT

Calea ferată Arad–Brad, cunoscută drept „linia Bradului”, are 167 km și 37 de stații și a fost construită între 1876 și 1895 de societăți locale, cu bani strânși de la mari proprietari, 31 de comune și intelectuali arădeni. Proiectul, întocmit în 1873 de inginerul și proprietarul de păduri Boros Beniamin pentru a evita costul unui expert străin, a devenit o referință pentru alte linii din Ungaria, fiind „deosebit de ieftin și profitabil”. Linia a trecut în administrația CFR abia la 1 ianuarie 1923 [1]. Pe ea circulă și un automotor Astra construit la Arad în 1936–1938, recondiționat, cu viteza maximă de 110 km/h [1].

Alte linii au fost transformate de schimbarea geografiei politice. Linia Ketegyháza–Sântana, construită între 1882 și 1887 pentru a scurta cu 15 km drumul de la Brad la Budapesta, a fost întreruptă după 1918 între Otlaca (Grăniceri) și Elek, devenite localități de frontieră; gara din Elek a fost desființată în 1973 și este astăzi casă particulară, iar pe partea românească funcționează doar

secțiunea Sântana–Grăniceri [1]. Infrastructura a supraviețuit geografiei pentru care fusese construită. Pentru inginer, astfel de linii sunt o arhivă a soluțiilor constructive, iar o inventariere riguroasă ar trebui să distingă între linii închise, dezafectate, abandonate temporar și linii existente, dar fără trafic curent.

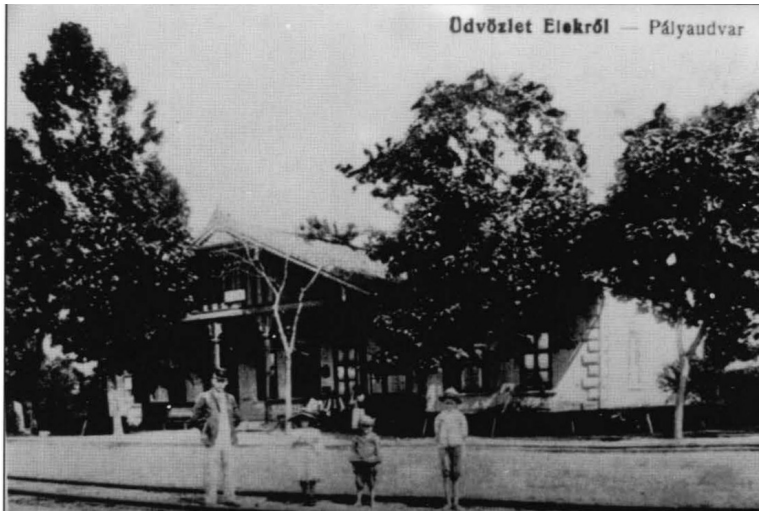


Figura 6. Gara din Elek la sfârșitul secolului al XIX-lea; după 1918 linia a fost întreruptă la frontieră, iar clădirea este astăzi casă particulară (reproducere după [1])

9. RECORDURI: CE COMPARĂM, DE FAPT?

Afirmații precum „cel mai lung tunel” sau „cea mai veche linie” devin corecte numai după stabilirea criteriilor: teritoriul și perioada de referință, ecartamentul, utilizarea actuală, mărimea măsurată și statutul infrastructurii. Tabelul 2 propune, pentru câteva superlative frecvent citate, câte o fișă cu valoarea, sursa și rezervele de interpretare.

Tabelul 2. Fișe pentru câteva „recorduri” feroviare românești

Afirmația	Obiectiv și valoare	Surse	Rezerve
prima linie de pe teritoriul actual	Oravița–Baziaș, 1854	[4]; [3] indică 1856	data diferă după sursă; linia nu se află în întregime pe teritoriul actual [3]
prima linie de munte	Oravița–Anina, 1863; 20‰; R = 114 m	[5], [6]	„prima” se referă la teritoriul actual al României
prima linie realizată de ingineri români	Buzău–Mărășești, 1881; 93.214 lei aur/km	[2], [3]	lucrări executate și prin antreprize străine; material metalic importat [2]
cel mai lung pod din Europa	Cernavodă, 1895; 4088 m; deschidere 190 m	[3], [9]	valabil la epoca respectivă; lungimea include viaductele
cel mai lung tunel feroviar	Teliu, deschis în 1931; circa 4,3–4,4 km	[12]; [3] indică 4620 m	cifre diferite în surse; va fi depășit de tunelul Ormeniș, de 6916 m [13]
singura linie forestieră cu abur în exploatare zilnică	Vișeu de Sus, 760 mm, 1933	[14]	afirmația aparține operatorului

Cazul tunelului Teliu este instructiv. Lucrările au început în 1924, străpungerea s-a realizat în octombrie 1926, iar linia Brașov–Întorsura Buzăului a fost deschisă la 25 iunie 1931; tunelul a fost construit de firma germană Julius Berger, cu gabarit pentru linie dublă, dar a doua cale nu a fost realizată niciodată [12]. Lefterescu indica în 1960 o lungime de 4620 m și îl considera cel mai lung tunel pentru linie dublă din sud-estul Europei [3], în timp ce sursele actuale menționează circa 4,3–4,4 km [12]. Aceeași lucrare are, așadar, „recorduri” diferite, în funcție de sursă și de ce anume se măsoară.

10. MIT, MEMORIE ȘI ADEVĂR INGINERESC

Legendele nu trebuie eliminate din istoria feroviară: ele arată ce realizări au impresionat publicul. La inaugurarea liniei prin tunelul Teliu, un inginer român

și-a pierdut viața atingând firele electrice în timp ce încerca să monteze un drapel pe fațada portalului; sursele nu sunt de acord nici măcar asupra numelui său, iar episodul a dat naștere legendei unei „fantome” a tunelului [12]. Faptul tragic aparține registrului documentat, numele este incert, iar fantoma aparține tradiției. Separarea registrelor nu diminuează farmecul poveștii; dimpotrivă, permite cititorului să înțeleagă de ce o lucrare inginerească a devenit simbol cultural și ce anume poate fi susținut cu certitudine.

11. CONCLUZII

Analiza conduce la următoarele concluzii:

– istoria feroviară românească este bogată în episoade bine documentate, care nu au nevoie de înfrumusețare: inaugurarea liniei Buzău–Mărășești, descrisă amănunțit de presa anului 1881, este un exemplu;

– multe „povești” au o explicație tehnică directă: viteza redusă de pe linia Oravița–Anina rezultă din razele de 114 m și declivitățile de 20‰ care au făcut posibilă construcția ei;

– legendele, precum cea a lui Saligny sub pod, trebuie marcate ca tradiție până la identificarea unei surse primare, fără a le elimina din memoria profesiei;

– un „record” are sens numai împreună cu criteriul și sursa sa; fișele propuse în Tabelul 2 pot fi extinse într-un inventar al patrimoniului feroviar.

Pentru generațiile actuale de ingineri, lecția este dublă: să păstreze curiozitatea pentru poveștile trecutului și să aplice aceeași exigență în verificarea faptelor ca în verificarea calculelor. Istoria feroviară merită povestită captivant, dar și corect.

BIBLIOGRAFIE

[1]. S. SABĂU, E. CSOBAI: *„Gări și tradiții populare – trasee culturale transfrontaliere pe calea ferată”*, Complexul Muzeal Arad, Arad, **2005**.

[2]. M. MANOLACHE: *„Prima lucrare de cale ferată realizată de către ingineri români – linia Buzău–Mărășești, 18 octombrie 1881”*, prezentare, Biblioteca Națională a României, Serviciul Colecții Speciale, București, **2021**.

[3]. D. M. LEFTERESCU: *„Trasee de linii ferate. Studiul și proiectarea lor”*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, București, **1960**.

[4]. O. UDRIȘTE: *„140 de ani de la înființarea Direcției Princiare a Căilor Ferate Române, prilej de reflecție asupra situației actuale”*, Univers Ingineresc, AGIR, nr. 8/**2020**, www.agir.ro.

[5]. RADIO ROMÂNIA INTERNAȚIONAL: *„Anina–Oravița railroad”*, RRI Encyclopaedia, www.rri.ro, accesat octombrie **2026**.

[6]. FINANCIARUL: *„Calea ferată Oravița–Anina: o bijuterie a ingineriei montane din România”*, www.financiarul.ro, accesat octombrie **2026**.

[7]. I. VASILIU: *„Curbe de cale ferată”*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, București, **1960**.

[8]. ROLANDIA: *„Oravița–Anina railway – The Semmering of Banat”*, www.rolandia.eu, accesat octombrie **2026**.

[9]. WIKIPEDIA: *„Anghel Saligny Bridge”*, en.wikipedia.org, accesat octombrie **2026**.

[10]. ADEVĂRUL: *„Cum și-a riscat viața faimosul inginer Anghel Saligny pentru a garanta trăinicia podului de la Cernavodă”*, www.adevarul.ro, accesat octombrie **2026**.

[11]. CAPITAL: *„Expoziție: Trenul Regal a revenit în Gara de Nord”*, www.capital.ro, **2014**.

[12]. HOTNEWS: *„Povestea celui mai lung tunel feroviar din România și reîntoarcerea trenului la Întorsura”*, www.hotnews.ro, **2022**.

[13]. CNCF „CFR” SA: *„Modernizarea liniei de cale ferată Brașov–Sighișoara, Secțiunea 2 Apața–Cața – prezentare”*, București, **2026**, www.cfr.ro.

[14]. CFF VIȘEU DE SUS: *„About Mocanita”*, www.mocanita.ro, accesat octombrie **2026**.

[15]. C. IORDACHE, C. ILIESCU: *„Considerații asupra transporturilor feroviare din România”* (date după Anuarele statistice ale României), Analele Universității din Craiova, Seria Geografie, vol. 12, **2009**.

[16]. ECONOMICA.NET (după Club Feroviar): *„Calea ferată, neimportantă pentru autorități. Doar 633 km din 10.611 modernizați în 35 de ani”*, www.economica.net, **2025**.

[17]. CNCF „CFR” SA: *„Anexa 1 la Raportul administratorilor **2024** – Declarația nefinanciară”*, București, **2025**, www.cfr.ro.

SOLUȚII MODERNE PENTRU PODURI ÎN ZONE URBANE

Răcănel Ionuț Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro;
Chiotan Corina, șef lucr.,dr. ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri e-mail: corina.chiotan@utcb.ro
Urdăreanu Vlad Daniel, șef lucr., dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri e-mail: vlad.urdareanu@utcb.ro
Pirontea George Mădălin, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri e-mail: george.pirontea@phd.utcb.ro

Rezumat

Dezvoltarea infrastructurii de transport în mediul urban impune adoptarea unor soluții structurale performante, capabile să răspundă cerințelor privind capacitatea portantă, durabilitatea, eficiența economică și integrarea arhitecturală. În acest context, podurile cu structură mixtă oțel-beton reprezintă o alternativă competitivă la sistemele structurale convenționale, prin valorificarea proprietăților mecanice complementare ale celor două materiale.

Lucrarea evidențiază posibilitățile de utilizare a structurilor mixte oțel-beton pentru realizarea podurilor și pasajelor urbane, analizând principalele configurații constructive, precum tablierele cu grinzi metalice și placă de beton armat, secțiunile casetate mixte și sistemele cu grinzi continue. Conlucrarea structurală dintre componentele metalice și cele din beton, asigurată prin intermediul conectorilor mecanici, permite optimizarea distribuției eforturilor și creșterea eficienței secțiunilor transversale.

Principalele avantaje ale acestor sisteme constau în reducerea greutății proprii, posibilitatea realizării unor deschideri importante, diminuarea înălțimii constructive și accelerarea procesului de execuție prin utilizarea elementelor prefabricate. Aceste caracteristici prezintă o relevanță deosebită în zonele urbane dens construite, unde restricțiile de amplasament și necesitatea menținerii circulației influențează semnificativ alegerea soluției constructive.

În concluzie, adoptarea structurilor mixte oțel-beton poate contribui la dezvoltarea unor infrastructuri urbane eficiente, durabile și adaptabile cerințelor actuale de mobilitate.

Cuvinte cheie: poduri mixte oțel-beton; infrastructură urbană; tabliere mixte; conlucrare structurală; eficiență constructivă; durabilitate.

Abstract

The development of urban transport infrastructure requires the implementation of advanced structural solutions capable of meeting the demands of load-bearing capacity, durability, economic efficiency, and architectural integration. In this context, steel–concrete composite bridges represent a competitive alternative to conventional structural systems by effectively exploiting the complementary mechanical properties of the two materials.

This paper highlights the potential applications of steel–concrete composite structures in urban bridges and overpasses, examining the main structural configurations, including steel girders with reinforced concrete decks, composite box girders, and continuous girder systems. The composite action between steel and concrete components, ensured by mechanical shear connectors, enables optimized stress distribution and improved structural efficiency of the cross-sections.

The main advantages of these systems include reduced self-weight, the possibility of achieving longer spans, decreased structural depth, and accelerated construction through the use of prefabricated elements. These characteristics are particularly relevant in densely built-up urban areas, where site constraints and the need to maintain traffic flow significantly influence the selection of structural solutions.

In conclusion, the implementation of steel–concrete composite structures can contribute to the development of efficient, durable, and adaptable urban infrastructure systems that meet contemporary mobility requirements.

Keywords: steel–concrete composite bridges; urban infrastructure; composite bridge decks; composite action; structural efficiency; durability.

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea infrastructurii de transport în marile aglomerări urbane impune adoptarea unor soluții structurale capabile să răspundă simultan cerințelor de funcționalitate, eficiență economică, durabilitate și integrare arhitecturală. În contextul creșterii mobilității urbane și al constrângerilor impuse de infrastructura existentă, realizarea podurilor și pasajelor denivelate reprezintă o provocare inginerească complexă, în care alegerea sistemului structural influențează atât performanța construcției, cât și impactul acesteia asupra mediului urban. Din această perspectivă, structurile compuse oțel–beton constituie o soluție deosebit de atractivă, oferind posibilitatea valorificării eficiente a proprietăților mecanice ale materialelor componente și a adaptării configurației structurale la condiții geometrice și tehnologice variate.

Utilizarea structurilor compuse oţel–beton se bazează pe conlucrarea elementelor metalice cu cele din beton, realizată prin intermediul unor sisteme de conectare mecanică, astfel încât materialele să participe împreună la preluarea solicitărilor. Asocierea rezistenţei ridicate la întindere a oţelului cu capacitatea betonului de a prelua eforturi de compresiune permite obţinerea unor secţiuni transversale eficiente, caracterizate printr-un raport favorabil între capacitatea portantă, rigiditate și consumul de materiale. În comparație cu alte sisteme constructive, soluțiile compuse pot permite reducerea înălțimii constructive și a greutății proprii, precum și realizarea unor deschideri importante, aspecte relevante în special în cazul traversării intersecțiilor urbane cu trafic intens.

Un avantaj semnificativ al acestor structuri îl constituie adaptabilitatea la condițiile specifice de execuție din zonele dens construite. Prefabricarea elementelor metalice și posibilitatea montării acestora în tronsoane permit reducerea volumului lucrărilor realizate la amplasament și limitarea duratei intervențiilor care afectează circulația rutieră. Totodată, adoptarea unor tehnologii de montaj adecvate poate diminua necesitatea utilizării susținerilor provizorii și poate facilita realizarea suprastructurilor în condiții de spațiu restrâns. Aceste caracteristici conferă soluţiilor compuse avantaje importante în cadrul proiectelor de modernizare și dezvoltare a infrastructurii urbane.

Din punct de vedere arhitectural, podurile cu structură compusă oţel–beton oferă o flexibilitate ridicată în configurarea formelor și proporțiilor elementelor portante. Posibilitatea realizării unor suprastructuri suple, cu înălțimi constructive reduse și geometrii adaptate amplasamentului, contribuie la diminuarea impactului vizual și la integrarea armonioasă în peisajul construit. În cazul structurilor cu configurații speciale, inclusiv al celor hobanate, expresia arhitecturală poate fi accentuată prin evidențierea sistemului portant, transformând infrastructura de transport într-un element reprezentativ al spațiului urban.

Durabilitatea și comportarea pe termen lung reprezintă, de asemenea, aspecte esențiale în evaluarea performanței structurilor compuse. Adoptarea unor detalii constructive corespunzătoare, protecția anticorozivă a componentelor metalice, controlul fisurării betonului și asigurarea condițiilor de inspecție și întreținere contribuie la menținerea performanțelor structurale pe durata de exploatare. În același timp, utilizarea rațională a materialelor, posibilitățile de prefabricare și reciclabilitatea oțelului pot reprezenta avantaje din perspectiva sustenabilității, care trebuie evaluate în raport cu întregul ciclu de viață al construcției.

În ultimii ani, dezvoltarea infrastructurii rutiere din municipiul București a oferit exemple relevante de aplicare a acestor principii în realizarea unor lucrări de artă cu caracteristici structurale și arhitecturale distincte. Prezenta lucrare analizează trei astfel de obiective: Pasajul Doamna Ghica, Pasajul Europa Unită și pasajul hobanat din zona intersecției Apărătorii Patriei, pe Șoseaua Berceni. Prin prezentarea particularităților geometrice și constructive, a concepției structurale și a soluțiilor tehnologice adoptate, articolul urmărește evidențierea versatilității structurilor compuse oțel–beton și a avantajelor acestora în realizarea infrastructurii urbane moderne. Analiza celor trei studii de caz permite identificarea unor abordări inginerești diferite, adaptate constrângerilor specifice fiecărui amplasament, și subliniază importanța corelării eficienței structurale cu cerințele de execuție, durabilitate și expresie arhitecturală.

2. PASAJUL DOAMNA GHICA DIN BUCUREŞTI

2.1. Particularităţi constructive, modelare structurală şi tehnologie de execuţie

2.1.1. Configuraţia structurală şi alcătuirea constructivă

Pasajul Doamna Ghica [1], [4], (figura 1) a fost realizat pentru supratraversarea intersecției dintre strada Doamna Ghica și Șoseaua Colentina, asigurând continuitatea traseului Pipera–Piața Delfinului. Traversarea se realizează sub un unghi de aproximativ 69°. În etapa studiului de fezabilitate au fost examinate variante cu suprastructură mixtă oțel–beton și integral din beton, fiind adoptată soluția cu structură reticulară metalică în conlucrare cu placa de beton armat.

Schema statică este de grindă continuă cu trei deschideri de 65,00 + 80,00 + 65,00 m. Lungimea suprastructurii este de 211,00 m, iar lungimea totală a pasajului de 216,00 m. Înălțimea grinzilor cu zăbrele variază parabolic între 2,00 și 4,00 m, asigurând gabarite de 6,52 m deasupra liniilor de tramvai și de minimum 5,00 m deasupra părții carosabile. Traseul include o curbă în plan cu raza de 400 m și rampe cu declivitatea de 4%.

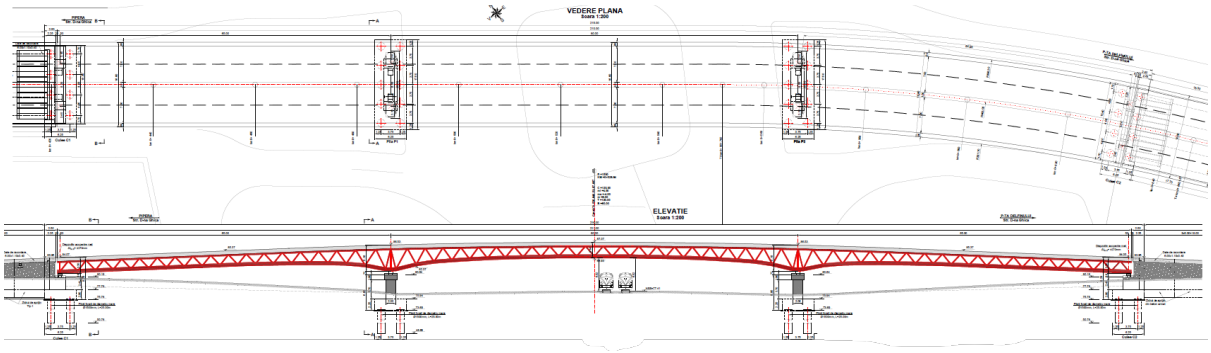


Figura 1. Elevație și vedere în plana a podului D-na Ghica

Tablierul mixt cuprinde două grinzi principale metalice (figura 2), solidarizate prin antretoaze și o placă de beton armat cu grosime de 25–35 cm. Fiecare grindă principală este alcătuită din două tuburi longitudinale superioare Ø508 mm (pereți de 20–30 mm), un tub inferior Ø700 mm (pereți de 30–60 mm) și diagonale tubulare Ø273 mm. Conlucrarea cu placa este asigurată prin conectori flexibili de tip Nelson, cu tijă Ø22 mm și înălțime de 175 mm. Placa include predale prefabricate de 8 cm și beton de monolitizare.

Infrastructura este formată din două culee masive și două pile-cadru din beton armat. Fundațiile indirecte sunt realizate pe piloți forați Ø1500 mm, cu fișa de 25 m: câte opt piloți pentru fiecare culee și câte zece pentru fiecare pilă. Rezemarea tablierului pe infrastructură se face prin izolatori elastomerici cu miez de plumb, tip LRB-N, completați cu opritori antiseismici.

2.1.2. Modelarea și calculul structural

Pentru dimensionarea și verificarea structurii, în faza de proiectare, au fost utilizate modele tridimensionale cu elemente finite, diferențiate după nivelul de analiză: un model global al structurii pentru determinarea forțelor interne generale (figura 3) și modele locale ale îmbinărilor tubulare ale nodurilor (figura 4). Această abordare a permis examinarea atât a distribuției generale a eforturilor, cât și a concentrărilor locale de tensiuni în îmbinările elementelor reticulare.

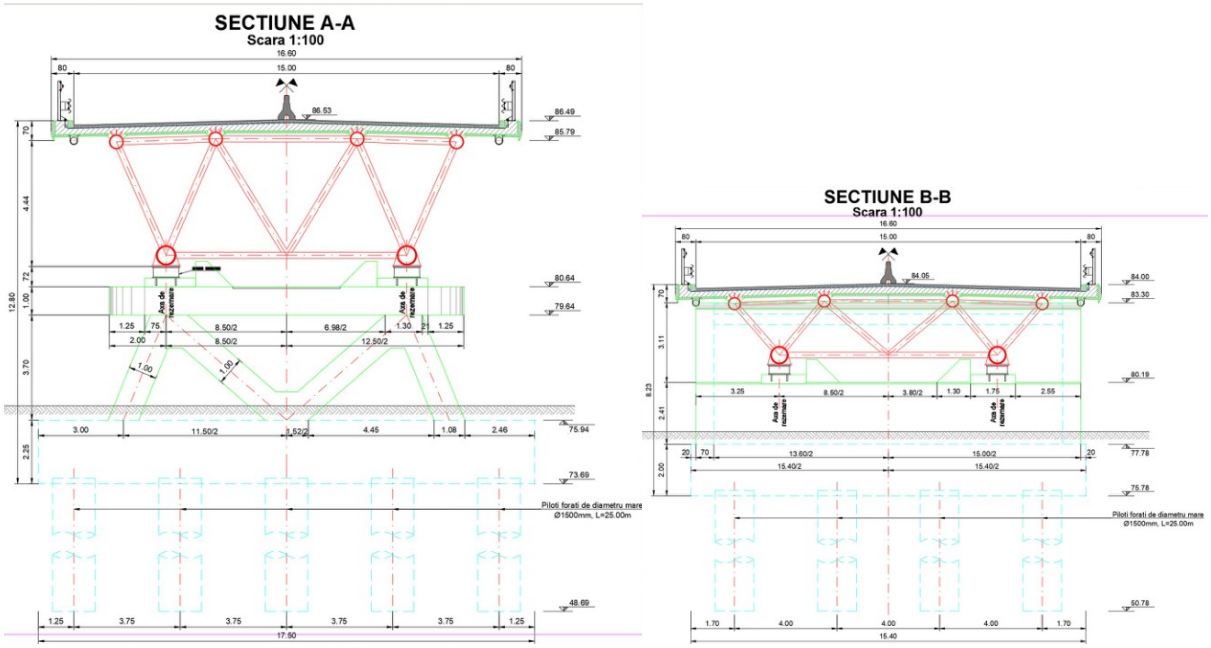


Figura 2. Secțiuni transversale prin pod, pe pile (stânga), pe culee (dreapta)

Materialele utilizate sunt oțelul structural S355 J2+N, betonul C35/45 pentru placa supraastructurii, C30/37 pentru radiere și elevații, respectiv C25/30 pentru piloți, precum și oțelul de armare S500. În calcul au fost incluse greutatea proprie, încărcările permanente suplimentare, modelele de încărcare LM1 și LM2, acțiunile termice, contracția și curgerea lentă a betonului, împingerea pământului, acțiuni accidentale de tipul impactului vehiculelor rutiere și acțiunea seismică.

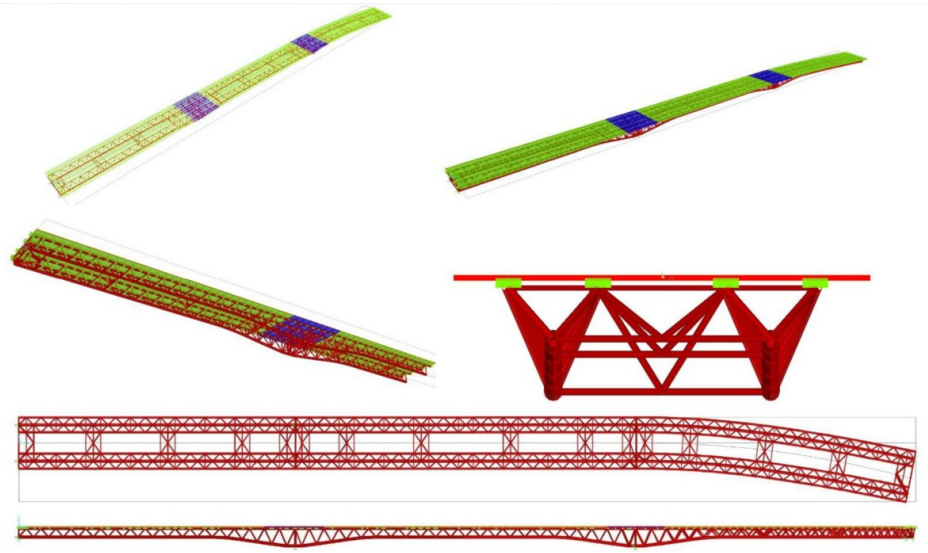


Figura 3. Model de calcul pentru analiza globală

Analiza seismică a cuprins calcul dinamic liniar cu spectru de răspuns şi analiză dinamică neliniară pe accelerograme artificiale. Au fost investigate răspunsul izolatorilor LRB-N şi solicitările infrastructurii. La nivel local, distribuţiile tensiunilor echivalente von Mises în nodurile tălpilor inferioare au fost evaluate cu modele detaliate cu elemente finite. Acestea sunt relevante pentru verificarea zonelor de îmbinare ale tuburilor.

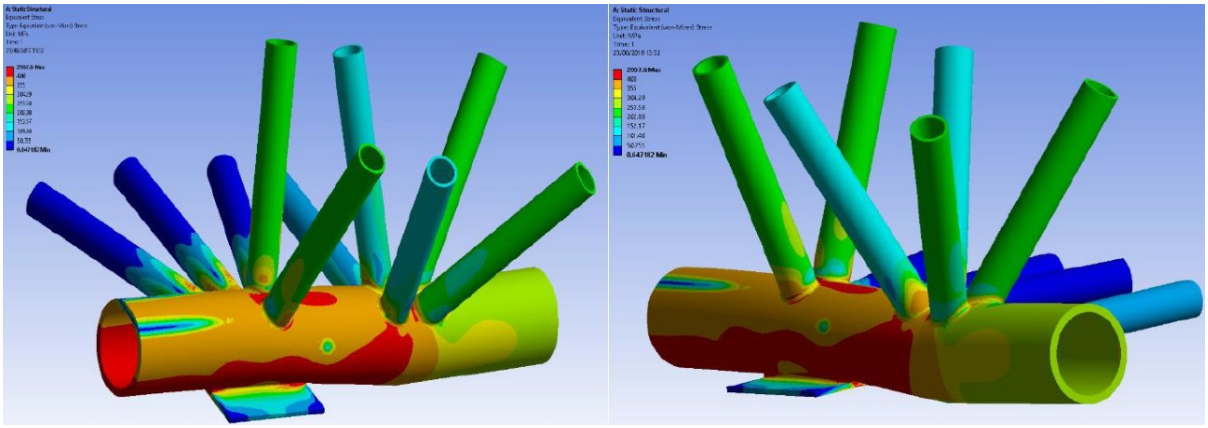


Figura 4. Modele de calcul pentru analiza locală a îmbinărilor tubulare

2.1.3. Tehnologia de execuţie şi montaj

Execuţia infrastructurii a cuprins piloţii foraţi, radierele şi elevaţiile pilelor şi culeelor. Montajul suprastructurii metalice a utilizat reazemele definitive împreună cu turnuri provizorii (figura 5), conform schemei de montaj prezentate în proiectul de execuţie. În această etapă, schema statică de calcul s-a schimbat de-a lungul procesului de execuţie, analiza globală urmărind aceste modificări continue, astfel încât să poată fi controlată forma deformată a suprastructurii.

Soluţia cu structură reticulară tubulară şi placă mixtă realizată cu predale prefabricate a răspuns constrângerilor geometrice şi tehnologice specifice unei intersecţii urbane. Soluţia adoptată pentru acest pod evidenţiază necesitatea corelării concepţiei structurale cu modelarea numerică globală şi locală, cu analiza seismică şi cu verificarea corespunzătoare pe durata fazelor de montaj.



Figura 5. Aspecte din timpul montajului pe turnurile provizorii

3. PASAJ RUTIER SUPRATERAN INTERSECȚIA STRADA TURNU MĂGURELE – B-DUL METALURGIEI – B-DUL ALEXANDRU OBREGIA

3.1. Particularităţi constructive, modelare structurală şi tehnologie de execuţie

3.1.1. Configuraţia structurală şi alcătuirea constructivă

Traseul proiectat la intersecţia Strada Turnu Măgurele – B-dul Metalurgiei – B-dul Alexandru Obregia are lungimea totală de 653,41 m şi cuprinde un pasaj denivelat [2], [3] şi două rampe de acces susţinute prin ziduri din beton armat. Rampa dinspre Strada Luică are 156,38 m, iar rampa dinspre Strada Iriceanu are 151,38 m. Lungimea totală a pasajului (figura 6), incluzând zonele de capăt, este de aproximativ 137,25 m, dintre care suprastructura are 130,00 m. În intersecţie este asigurat un gabarit liber minim de 6,00 m.

Pentru a da un aspect mai plăcut pasajului, pe suprastructura acestuia sunt prevăzute arcade metalice de formă eliptică cu goluri la interdistanța de 5.00m. Pe aceste arcade sunt prevăzute lumini arhitecturale [3].

La margini vor exista incinte cu pământ în care sunt prevăzute perdele verzi din plante ornamentale, atât pe pasaj cât şi pe rampe. Acestea vor avea sistem automat de irigaţii şi sistem de drenare a apei în exces. Pentru protecţia plantelor, incintele vor fi căptuşite cu hidroizolaţie şi polistiren.

Pentru se mula cât mai bine pe forma arcadelor şi a da un aspect cât mai plăcut, grinzile de parapet au exteriorul înclinat, iar spaţiul dintre consolele de placă şi grinzile principale va fi acoperit cu pazii din oţel galvanizat.

Schema statică este de grindă continuă cu trei deschideri de 39,50 + 50,00 + 39,50 m. Lăţimea la nivelul superior al plăcii de beton este de 17,30 m, iar la nivelul arcadelor de 18,35 m. Partea carosabilă are o lăţime de 15,00 m, cu pantă transversală în profil tip acoperiş de 2,50%. Configuraţia urmăreşte atât cerinţele funcţionale ale traficului, cât şi integrarea arhitecturală a lucrării în mediul urban.

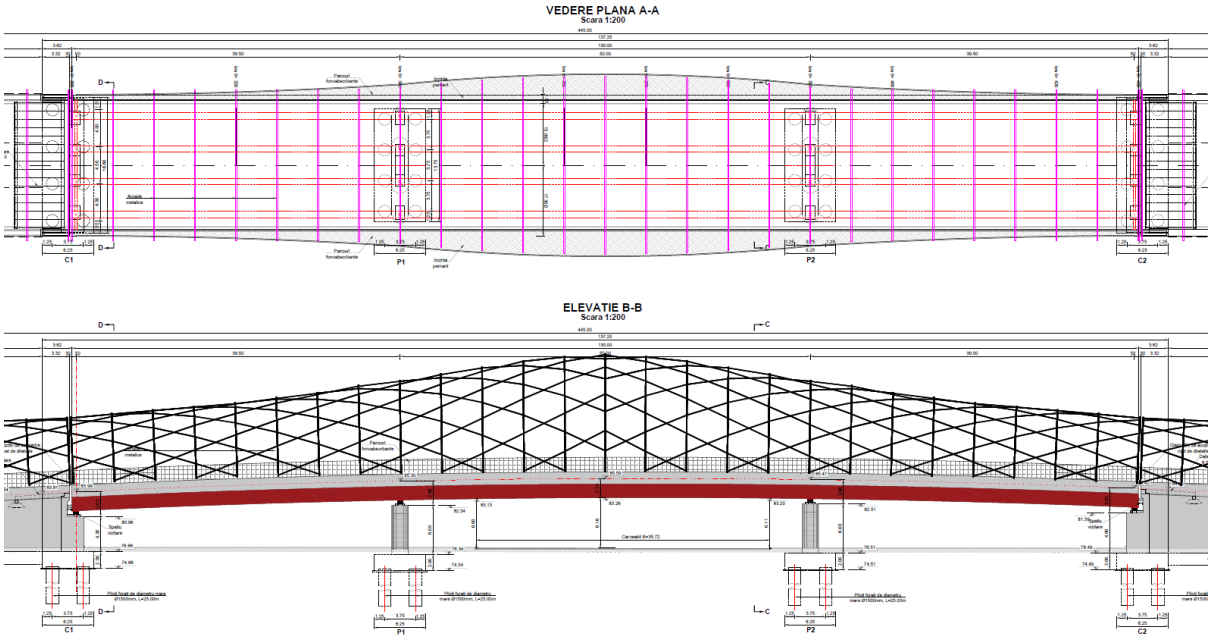


Figura 6. Elevaţie şi vedere în plan a pasajului Europa Unită

Suprastructura mixtă oţel-beton este alcătuită din patru grinzi metalice principale cu inimă plină, cu înălţimea de 1750 mm (figura 7), solidarizate prin antretoaze şi prevăzute cu console laterale la intervale de 5,00 m. Placa din beton armat de clasă C35/45, care solidarizează grinzile metalice la partea superioară, are grosime variabilă între 25 şi 35 cm şi este realizată cu predale de 8 cm la intrados. Conlucrarea între grinzile metalice şi placă este asigurată prin conectori flexibili de tip Nelson.

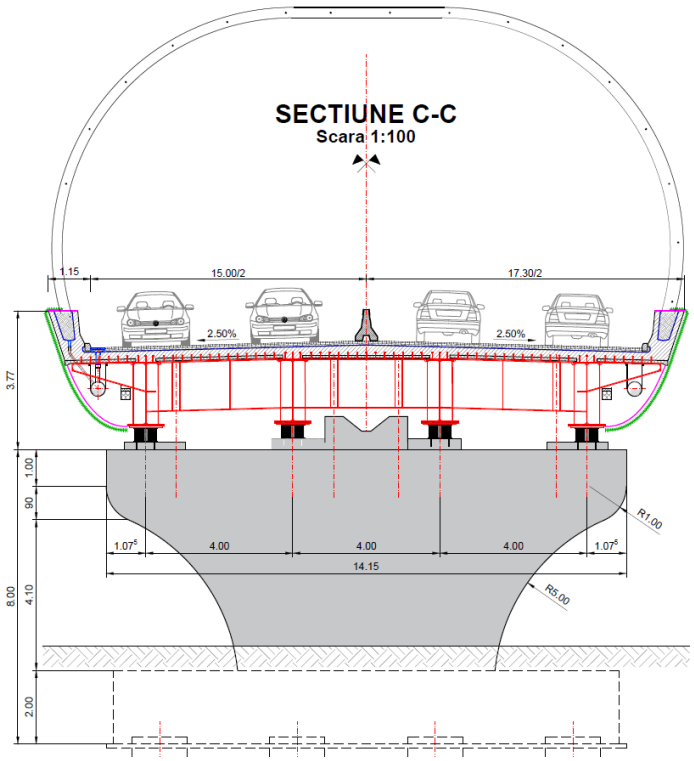


Figura 7. Secțiune transversală pasaj Europa Unită

Betonul din placă conține în rețetă și aditivi de impermeabilizare, iar toate suprafețele expuse atmosferei au fost tratate cu strat de protecție anticorozivă.

Suprastructura a fost dimensionată, din punct de vedere structural și gabaritic, să poată fi adaptată pentru linie de tramvai la nivel, cu intervenții minore.

Secțiunile de pe reazeme sunt proiectate astfel încât suprastructura să poată fi ridicată în punctele indicate, în vederea schimbării aparatelor de reazem.

Infrastructura este alcătuită din două culee masive și două pile lamelare din beton armat. Pentru a se asigura izolarea seismică a suprastructurii, legătura dintre aceasta și infrastrcutură s-a realizat prin intermediul unor aparate de reazem elastomerice cu miez de plumb.

Culeele și pilele au fundații de adâncime pe câte 8 piloți forați de diametru mare (1500mm) și fișă L=25.00m solidarizați prin intermediul unor radiere generale din beton armat. Elevațiile culeelor sunt masive, din beton armat și se vor mula pe zidurile de sprijin ale rampelor, iar cele ale pilelor sunt lamelare, din beton armat și se evazează circular spre partea superioară. Pentru a spori nivelul de siguranță la seism, banchetele elementelor de infrastructură sunt prevăzute cu opritori antiseismici. Zidurile de gardă ale culeelor sunt proiectate astfel încât să

existe un spațiu de 50cm pentru a facilitata accesul între acestea şi capătul tablierului în vederea inspecției mai facile şi a lucrărilor de întreținere.

3.1.2. Modelarea şi calculul structural

În faza de proiectare, pentru stabilirea stării de eforturi şi deformații în elementele structurale au fost utilizate modele de calcul bazate pe metoda elementelor finite. Analiza a fost făcute în mai multe etape: o analiză globală pentru dimensionarea elementelor structurale ce a cuprins întreaga structură (figurile 8-) şi o serie de analize pe modele locale pentru evidențierea zonelor cu alcătuire specială a structurii, cum au fost consoldele de trotuar, respectiv arcadele ornamentale (figurile 9-).

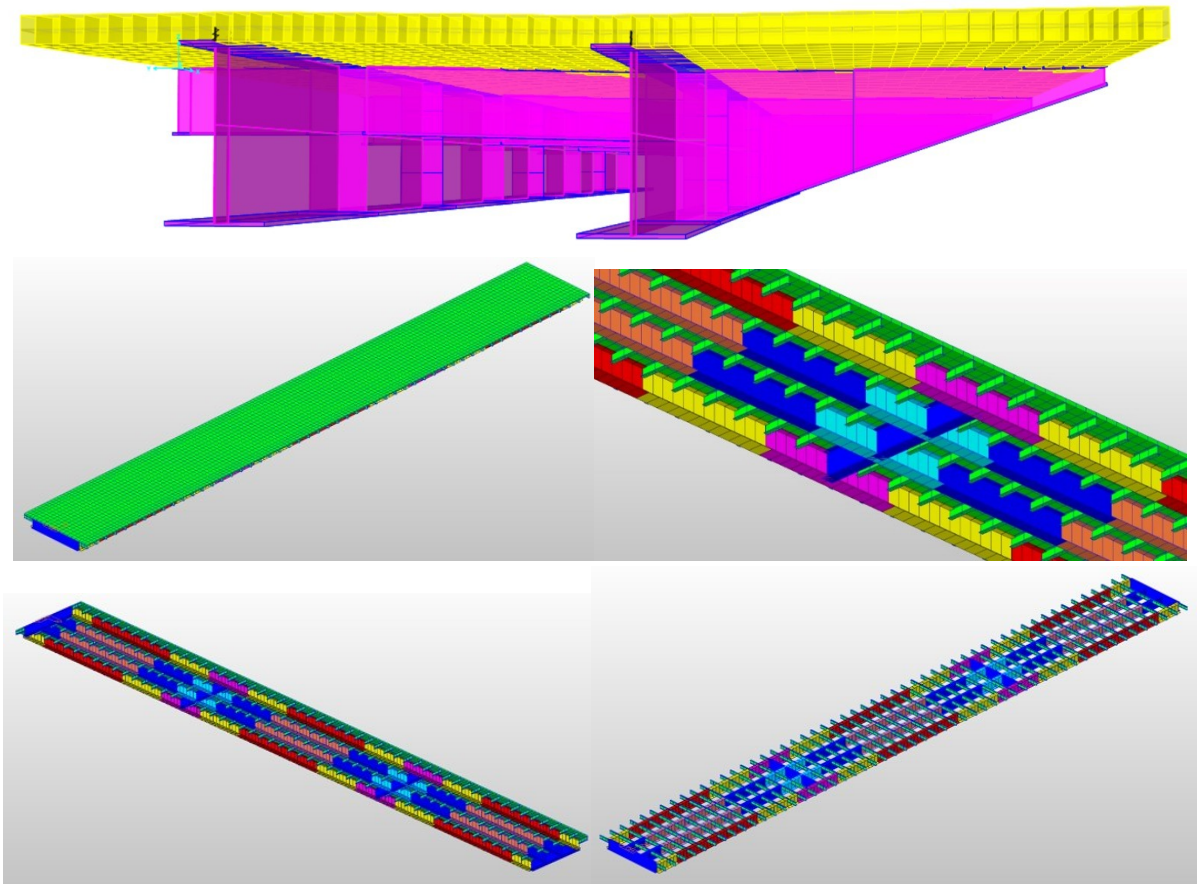


Figura 8. Model de calcul automat pentru analiza globală

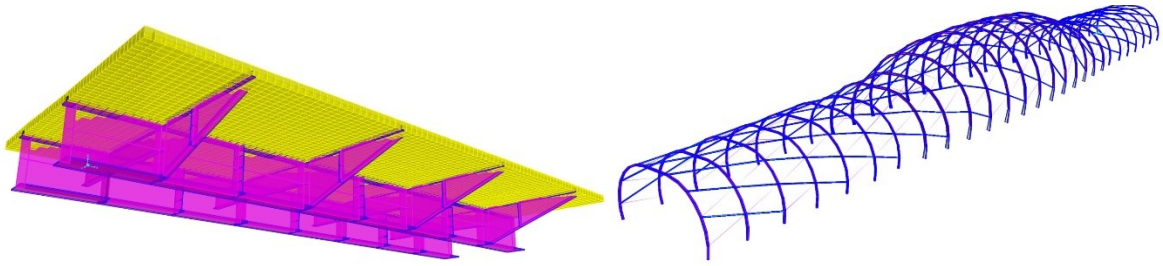


Figura 9. Modele de calcul automat pentru analize locale

Modelele numerice utilizate au permis determinarea stării de eforturi și deformații pentru componentele structurii de rezistență, precum și stabilirea caracteristicilor dinamice, rezultatele având un rol esențial în optimizarea proiectării și în costurile finale ale lucrării. Calculul s-a realizat cu luarea în considerare a etapelor de execuție în șantier, putând fi astfel urmărită comportarea structurii în fiecare etapă, în ceea ce privește deplasările și efoturile. Compararea permanentă a valorilor calculate cu cele măsurate in situ a permis montarea tronsoanelor suprastructurii în condiții foarte bune, neexistând abateri.

3.1.3. Tehnologia de execuție și montaj

Având în vedere modul de alcătuire a structurii, pentru montajul în amplasament au fost utilizate palee provizorii metalice (figura 10). Acestea au suținut temporar tronsoanele suprastructurii metalice până la solidarizarea cu placa de suprabetonare.



Figura 10. Aspecte din timpul montajului, pasajul Europa Unită

O etapă specială a execuţiei a constituit-o montarea arcadelor metalice cu rol decorativ şi de susţinere a sistemului de iluminat al pasajului. Montajul arcadelor s-a realizat pe tronsoane, conform detaliilor existente în proiectul de execuţie şi urmărind permanent starea de deformare a acestora, având în vede faptul că sunt realizate din elemente foarte zvelte, cu flexibilitate mare.

4. PASAJ RUTIER LA INTERSECȚIA STRĂZILOR ION IRICEANU ȘI TURNU MĂGURELE

4.1. Particularităţi constructive, modelare structurală şi tehnologie de execuţie

4.1.1. Configuraţia structurală şi alcătuirea constructivă

Pasajul [5] asigură supratraversarea Șoselei Berceni printr-o curbă cu raza în plan de 200m, asigurând o legătură directă între străzile Turnu Măgurele şi Sergent Ion Iriceanu.

Podul [5] are o lungime totală de 138.22m şi se află în prezent în faza de execuţie. Infrastructura constă în două culee masive şi două pile din beton armat şi doi piloni metalici cu secţiune casetată, amplsaţi lateral, de-o parte şi de alta a podului. Suprastructura podului are lungimea de 133.06m şi este susţinută de piloni prin intermediul hobanelor dispuse după geometria curbă în plan a pasajului (figura 11).

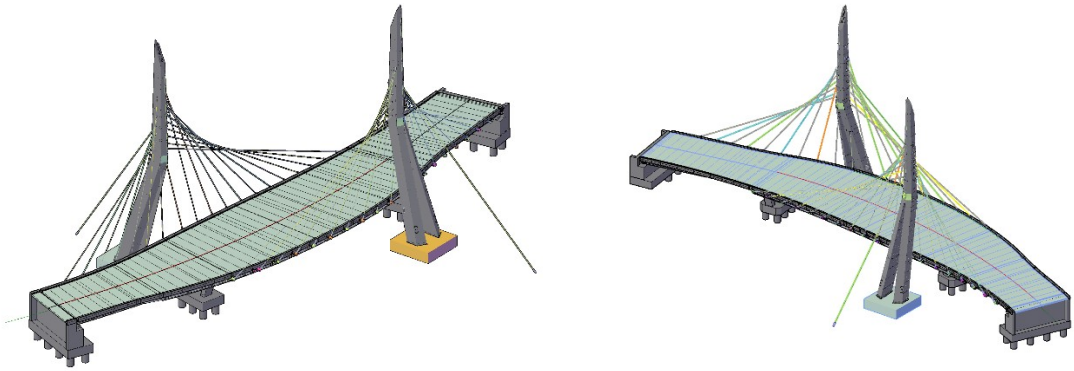


Figura 11. Vedere generală a pasajului rutier de la intersecţia străzilor Ion Iriceanu şi Turnu Măgurele

Lăţimea totală a suprastructurii variază între 16.60m la capete şi 24.84 în zona centrală. În etapa de perspectivă se vor amenaja pe fiecare sens de mers o

linie de tramvai, o staţie de tramvai pe zona centrală şi o bandă de circulaţie de 3.50m lăţime. Partea carosabilă va fi delimitată la capete de parapete şi stâlpi de iluminat.

Infrastructura podului este alcătuită din două culee la capete, două pile intermediare şi doi piloni.

Cele două culee sunt realizate din beton armat, sunt masive şi au fundaţii indirecte pe câte 8 piloţi foraţi de diametru mare, Ø1500mm şi fişă L=25.00m, solidarizaţi prin intermediul unui radier general de 2.00m grosime. Culeele joacă rol de a susţine suprastructura la capete şi de realizare a racordărilor cu terasamentele.

Pilele sunt de tip cadru şi realizate din beton armat. Acestea sunt compuse din cîte doi stâlpi înclinaţi şi o riglă de grosime variabilă, toate cu o grosime de 2.00m. Acestea au de asemenea fundaţii indirecte pe câte 6 piloţi foraţi de diametru mare, Ø1500mm şi fişă L=25.00m, solidarizaţi prin intermediul unui radier general de 2.00m grosime.

Fiecare din cei doi piloni are fundaţie indirectă pe câte 8 piloţi foraţi de diametru mare, Ø1500mm, în cazul lor fişele piloţilor fiind L=30.00m, solidarizaţi prin intermediul unui radier general de 2.50m grosime. Elevaţiile sunt realizate din oţel şi au o înălţime totală de 50.00m. Ca formă, elevaţiile încep de la bază cu doi stâlpi înclinaţi care se undesc la o înălţime de 25.00m, după care continuă cu un singur singur stâlp vertical în care se vor fixa ulterior şi hobanele. Pentru rigidizare şi îmbunătăţirea stării de eforturi, fiecare pilon este ancorat în partea sa din spate prin intermediul unui cablu ancorat într-un pilot forat de diametru mare Ø1500mm, L=30.00m

Pilonii vor fi iluminaţi pe timp de noapte.

Suprastructura pasajului are o lungime totală de 133.06m măsurată în ax şi asigură în sens transversal o parte carosabilă de 15.00m cu separator fizic între sensuri, amenajată la margini cu borduri de granit, parapet direcţional metalic tip H4b-W4, stâlpi de iluminat, lise prefabricate din beton armat şi panouri fonoabsorbante (figurile 12,13). În axul părţii carosabile este prevăzut parapet direcţional din beton tip H4b-W6, pentru separarea sensurilor de circulaţie.

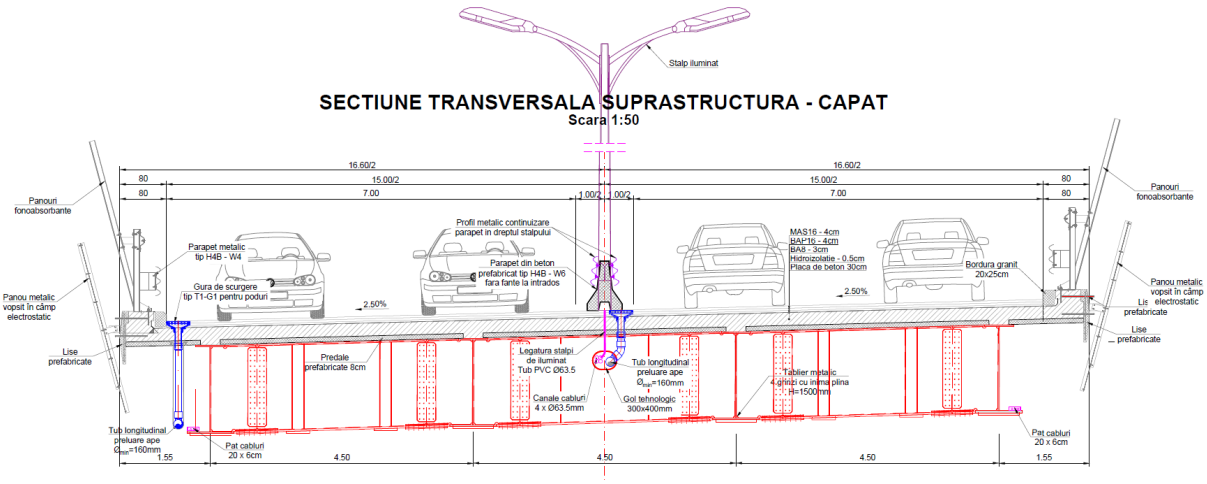


Figura 12. Secțiune transversală prin suprastructura pasajului în zona de capăt

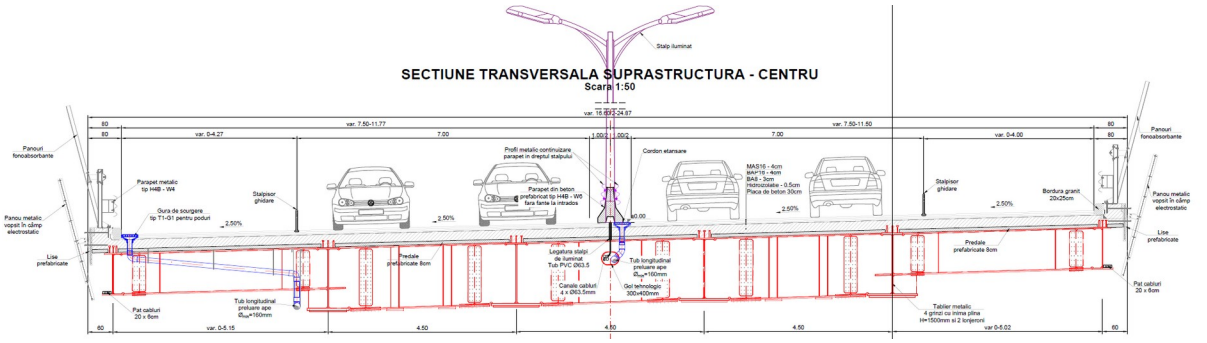


Figura 13. Secțiune transversală prin suprastructura pasajului în zona de centrală

Elementele principale de rezistență sunt un tablier metalic în conlucrare cu o placă din beton armat de 30cm grosime. Placa de beton este alcătuită din predale prefabricate din beton armat de 8cm grosime dispuse între antretoaze, respectiv grinzi și o zonă monolită în completare.

Tablierul metalic este alcătuit din patru grinzi principale metalice cu inimă plină, dispuse la 4.50m interax, cu înălțimea de 1500mm. Grinzile sunt solidarizate între ele prin intermediul unor antretoaze metalice cu secțiune similară, dispuse între ele la interdistanța de aproximativ 5.00m interax, măsurată în axa longitudinală a pasajului (figurile 12,13). Pe zona centrală, unde consola marginală crește peste 2.00m, sunt adăugate grinzi secundare longitudinale, care sprijină pe cele principale prin intermediul antretoazelor. Îmbinările între tronsoane pe șantier vor fi realizate cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate. Ancorajele hobanelor vor fi sudate individual după terminarea montajului tablierului și al pilonilor, pentru a se asigura alinierea între elemente.

Conlucrarea dintre tablierul metalic și placa de beton este asigurată prin conectori flexibili tip Nelson.

Pilonii sunt realizați integral din oțel și sunt în forma literei „A” (figura 14), cu doi stâlpi la bază care se unesc la o înălțime de aproximativ 25.00m. În secțiunea de la bază, unde sunt doi stâlpi, secțiunea este trapezoidală (figura 14), cu dimensiuni variabile pe înălțime. În zona superioară, unde se unesc cei doi stâlpi, secțiunea este hexagonală, de asemenea cu dimensiuni variabile pe înălțime (figura 14). Pentru a asigura stabilitatea locală a platbandelor, pereții sunt rigidizați cu nervuri longidutinale trapezoidale și cu diafragme la interdistanța de 2.50m. Fixarea pilonului de fundațiile indirecte s-a realizat prin intermediul unor buloane încastrate în radiere. Pentru a crește capacitatea poartantă, pilonii sunt ancorați în spate cu hobane legate direct la teren.

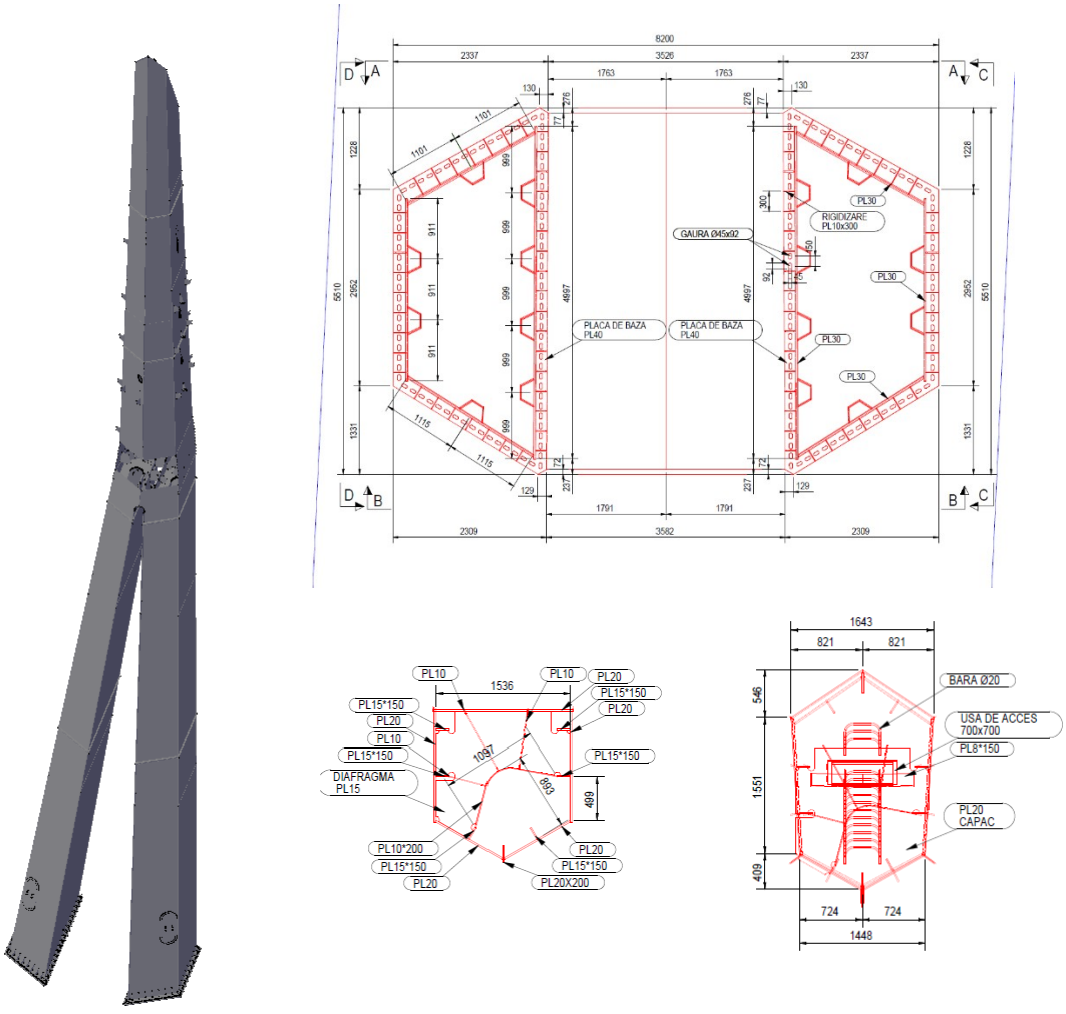


Figura 14. Vedere pilon (stânga) și secțiuni prin pilon (dreapta sus la bază, dreapta jos, la vârf)

Pentru a avea o stare de eforturi cât mai favorabilă şi a asigura stabilitatea laterală, suprastructura este susținută prin intermediul a nouă hobane principale fixate la aproximativ 10.00m în lungul pasajului şi ancorate în exteriorul tablierului. Acestea sunt dispuse în sistem tip harpa modificată şi vor avea secţiunea alcătuită din cabluri multitoron din oțel de înaltă rezistență, protejate în teci de HDPE cu câte un ancoraj activ la nivelul suprastructurii şi unul pasiv în interiorul pilonilor. Pentru un efect estetic sporit, intercalate între hobanele principale, va exista un set de hobane secundare cu rol decorativ.

În vederea îmbunătățirii răspunsului structurii la acţiunea seismică pentru rezemarea suprastructurii pe pilele intermediare şi culee sunt utilizate aparate de reazem de tip elastomeric cu miez de plumb.

Materialele utilizate la execuție au fost beton cu clase cuprinse între C12/15 şi C35/45, oțel de tip B500C pentru armături, oțel de înaltă rezistență tip Y1860 pentru cabluri (hobane), oțel structural S355J2+N pentru elementele principale de rezistență, respectiv oțel S235J2+N pentru elementele secundare.

4.1.2. Modelarea şi calculul structural

Având în vedere complexitatea de alcătuire a pasajului, pentru dimensionarea şi verificarea secțiunilor elementelor structurale, au fost utilizate mai multe modele de calcul cu elemente finite, atât pentru analiză globală (figura 15), cât şi pentru analiză locală (figura 16).

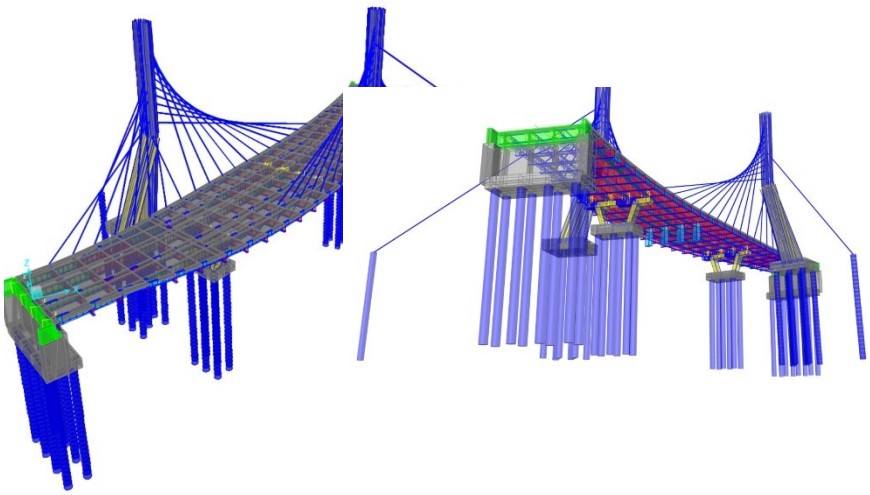


Figura 15. Modele de calcul pentru analiza globală

Utilizând aceste modele au fost realizate atât analize statice liniare, cât şi neliniare, precum şi analize dinamice liniare, bazate pe mdetoda spectrului de răspuns elastic, cât şi neliniare, foolosind accelerograme generate artificial.

Cu ajutorul rezultatelor obţinute utilizând modelele de calcul pentru analiza globală au fost stabilite valorile forţelor interne pe secţiunile transversale ale elementelor principale de rezistenţă ale structurii, inclusiv în hobane, precum şi valorile deplasările în timpul execuţiei şi în exploatare.

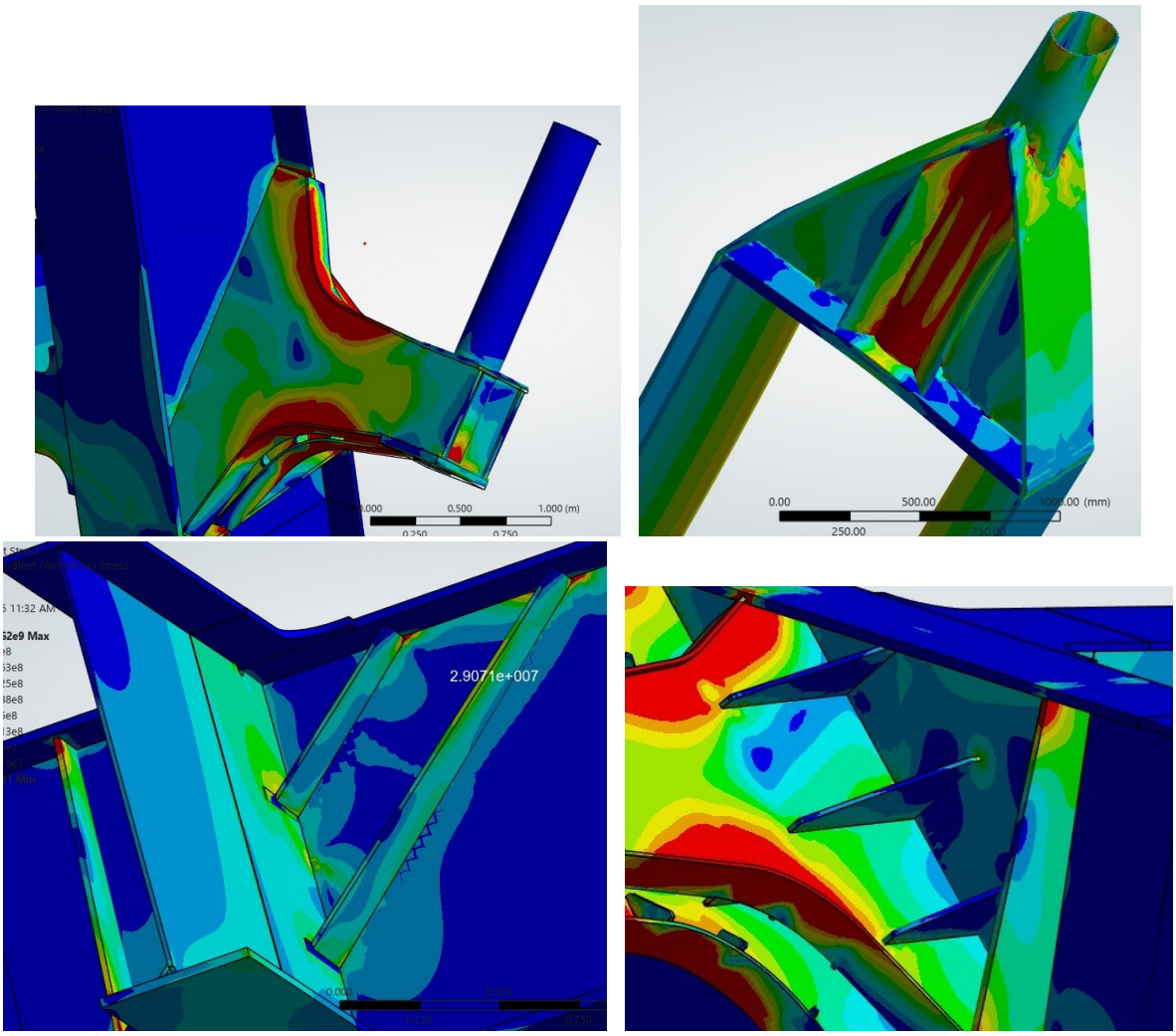


Figura 16. Modele de calcul pentru analiza globală

Modelele de calcul pentru analiza locală au servit la analiza în detaliu, locală, a tuturor zonelor sensibile ale structurii, cum sunt ancorajele, îmbinările dintre elementele structurale supuse stărilor complexe de eforturi şi deformaţii, detaliile susceptibile a prezenta în exploatare risc în ceea ce priveşte fenomenul de oboseală.

4.1.3. Tehnologia de execuţie şi montaj

Etapele de execuţie ale structurii au inclus realizarea fundaţiile infrastructurii (culee, pile intermediare şi piloni), execuţia tablierului metalic utilizând un sistem de turnuri provizorii, montarea predalelor prefabricate pe tablierul metalic şi turnarea plăcii de beton, montarea pilonilor şi a hobanelor, scoaterea turnurilor provizorii şi realizarea căii şi instalaţiilor pe pod. În vederea execuţiei în bune condiţii a cordoanelor de sudură, în proiect au fost prezentate detaliate toate tipurile de îmbinări împreună cu caracteristicile lor (figura 17).

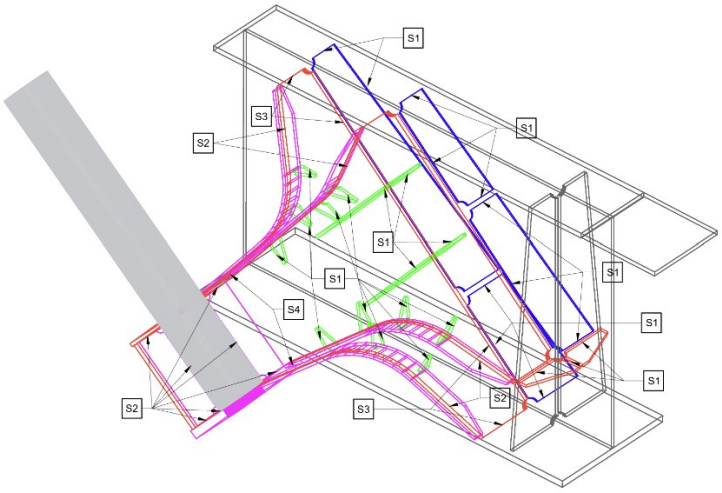


Figura 17. Modele de calcul pentru analiza globală

În figurile 18 și 19 sunt prezentate câteva aspecte relevante de pe durata execuţiei structurii.



Figura 18. Aspecte din timpul montajului pilonilor



Figura 19. Suprastructura montată pe reazemele definitive

5. CONCLUZII

Realizarea podurilor şi pasajelor urbane cu structuri mixte oţel-beton reprezintă o soluție tehnică modernă, care răspunde cerințelor tot mai complexe privind mobilitatea urbană, eficiența structurală, durabilitatea și integrarea arhitecturală în mediul construit.

Din punct de vedere funcţional, aceste lucrări contribuie la fluidizarea circulației prin separarea fluxurilor de trafic pe niveluri diferite, reducerea punctelor de conflict din intersecții și creșterea capacității de transport. Prin eliminarea unor opriri și întârzieri asociate intersecțiilor semaforizate, pot fi obținute reduceri ale timpilor de deplasare, ale consumului de combustibil și ale emisiilor poluante, cu efecte favorabile asupra calității mediului urban.

Din perspectivă structurală și economică, utilizarea sistemelor mixte oțel-beton permite valorificarea eficientă a proprietăților mecanice ale celor două materiale, conducând la optimizarea secțiunilor transversale, reducerea greutății proprii și utilizarea rațională a materialelor de construcție. Adoptarea unor configurații structurale performante, precum grinzile metalice cu inimă plină sau sistemele reticulare spațiale, facilitează realizarea unor deschideri importante, cu un număr redus de reazeme intermediare. Totodată, prefabricarea elementelor metalice și utilizarea unor tehnologii moderne de montaj pot conduce la reducerea duratei de execuție și la limitarea perturbării traficului existent.

Un beneficiu suplimentar îl constituie flexibilitatea arhitecturală a acestor structuri. Geometriile variabile ale elementelor portante, completate de soluții estetice precum arcadele metalice și iluminatul arhitectural, permit integrarea

armonioasă a pasajelor în peisajul urban şi transformarea acestora în repere vizuale reprezentative.

În plus, utilizarea sistemelor moderne de izolare seismică, alături de metode avansate de analiză numerică, contribuie la îmbunătăţirea comportării structurale şi la creşterea nivelului de siguranţă în exploatare.

În concluzie, structurile mixte oţel-beton constituie o alternativă competitivă pentru dezvoltarea infrastructurii urbane, prin echilibrul oferit între performanţa structurală, eficienţa utilizării materialelor, rapiditatea execuţiei, siguranţa în exploatare şi calitatea arhitecturală.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ***: *„Proiectare și execuție a lucrărilor de construcție –Pasaj Doamna Ghica”*, Proiect tehnic de execuție, proiectant general Compania Municipală Trustul de Clădiri Metropolitane S.A., proiectant de specialitate Compania Municipală Trustul de Clădiri Metropolitane S.A., **2019**

[2]. ***: *„Construire pasaj rutier suprateran la intersecția Strada Turnu Măgurele – B-dul Metalurgiei – B-dul Alexandru Obregia”*, Proiect tehnic de execuție, proiectant general S.C. Drum Concept S.R.L., proiectant de specialitate S.C. East Water Drillings S.R.L., **2021**

[3]. ***: *„Sistem de lumini și sitem antifonic – Pasaj rutier suprateran, situat în intersecția Str. Turnu Măgurele – B-dul Metalurgiei – B-dul Alexandru Obregia”*, proiectant general asocierea: Concrete&Design Solutions S.R.L -
Bau Stark S.R.L. – Yardman S.R.L. – Euro Building Ideea S.R.L., proiectant de specialitate S.C. East Water Drillings S.R.L., **2022**

[4]. I. R. RĂCĂNEL:*„Proiecte recente ale unor poduri în București, România. Pasajul D-na Ghica”* Prezentare susținută în cadrul seminarului „The NXT Generation”, București, **2023**

[5]. ***:*„Construire pasaj rutier intersectia Strada Ion Iriceanu și Strada Turnu Măgurele”*, Proiect tehnic de execuție, proiectant general Concrete & Design Solutions S.R.L., proiectant de specialitate Prospect Drill S.R.L.

SECŢIUNEA C.
COMUNICĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI ARTICOLE TEHNICE

★ 1881 – 2026 ★

RIDICARE TOPOGRAFICĂ GNSS PENTRU PROIECTAREA UNUI POD PESTE RÂUL AGAPIA, PUNCTUL HANGANU, JUDEȚUL NEAMȚ

Afrăsinei Martha Ştefania, Studentă, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Geodezie, România, martha-stefania.afrasinei@student.utcb.ro
Rogojină Gabriely-Eduarddo, Student, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Geodezie, România, gabriely-eduarddo.rogojina@student.utcb.ro
Badea Ana-Cornelia, Prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Geodezie, România, ana.badea@utcb.ro

Rezumat

Realizarea unei traversări permanente peste râul Agapia, în punctul Hanganu, este necesară pentru asigurarea accesului sigur și continuu între drumul național DN15F și proprietățile situate pe malul opus, deoarece traversarea se realiza prin vad, fiind condiționată de nivelul apei, de stabilitatea albiei și de fenomenele hidrologice locale. În acest context, studiul topografic reprezintă o etapă esențială pentru fundamentarea soluției tehnice și integrarea viitorului pod în infrastructura locală de transport.

Articolul prezintă metodologia și rezultatele ridicării topografice realizate cu tehnologie GNSS în configurație bază–rover. Măsurătorile au urmărit reprezentarea drumurilor de acces, a malurilor, talvegului, secțiunilor albiei, rupturilor de pantă și limitelor fizice ale proprietăților din zona potențial afectată. Pentru asigurarea continuității referinței geometrice între etapele de proiectare și execuție au fost materializate două borne stabile. Metodologia a inclus utilizarea soluțiilor cu ambiguități fixate și verificarea punctelor importante prin determinări repetate și control independent, în raport cu cerințele de precizie de 0,05 m în plan și 0,10 m pe verticală stabilite prin tema de proiectare.

Datele obținute constituie suportul geometric pentru alegerea amplasamentului podului, definirea racordărilor la infrastructura rutieră existentă, elaborarea profilelor albiei și corelarea soluției constructive cu studiile hidrologic, hidraulic și geotehnic. Studiul evidențiază necesitatea integrării informațiilor topografice cu situația cadastrală, regimul juridic al terenurilor și condițiile urbanistice ale investiției.

Cuvinte cheie: GNSS, pod, infrastructură de transport, ridicare topografică, bază–rover, proiectare.

Abstract

Constructing a permanent crossing over the Agapia River, at the Hanganu point, is necessary to ensure safe and continuous access between the DN15F national road and the

properties located on the opposite bank, as the crossing was previously made via a ford, depending on the water level, riverbed stability, and local hydrological phenomena. In this context, topographic surveying represents an essential stage in developing the technical solution and integrating the proposed bridge into the local transport infrastructure.

This paper presents the methodology and results of a topographic survey conducted using GNSS technology in a base–rover configuration. The survey covered the access roads, riverbanks, thalweg, riverbed cross-sections, terrain breaklines, and the physical boundaries of properties potentially affected by the project. Two stable survey control points were permanently monumented to maintain a consistent geometric reference between the design and construction stages. The methodology included the use of fixed-ambiguity solutions, repeated measurements of critical points, and independent control procedures in relation to the horizontal and vertical accuracy requirements of 0.05 m and 0.10 m, respectively, established in the design brief.

The resulting data provide the geometric basis for selecting the bridge location, defining its connections to the existing road infrastructure, developing riverbed cross-sections, and correlating the structural solution with the hydrological, hydraulic, and geotechnical studies. The study also highlights the need to integrate topographic information with cadastral data, land ownership conditions, and the urban planning requirements applicable to the investment.

Keywords: GNSS, road bridge, transport infrastructure, topographic surveying, base–rover, engineering design.

1. INTRODUCERE

Asigurarea unor legături sigure și permanente peste cursurile de apă reprezintă o condiție importantă pentru funcționarea infrastructurii locale de transport și pentru accesul la proprietăți, servicii și activități economice.

În zonele rurale, traversările prin vad sunt vulnerabile la variațiile nivelului apei, eroziunea malurilor, modificarea talvegului și transportul de aluviuni, ceea ce poate conduce la întreruperea temporară a accesului și la creșterea riscului pentru utilizatori.

Articolul prezintă studiul topografic realizat pentru obiectivul „Construire pod din beton armat în punctul Hanganu, sat Agapia, județul Neamț”, având ca beneficiar comuna Agapia. Investiția urmărește realizarea unei legături permanente între drumul național DN15F și proprietățile situate pe malul opus al râului Agapia, în condițiile în care traversarea existentă se efectuează prin vad și depinde de nivelul apei și de starea albiei.

Comuna Agapia este situată în partea de nord a județului Neamț, la contactul dintre zona montană și depresiunea Ozana–Topolița. Dezvoltarea

localității de-a lungul văii, configurația reliefului de luncă și de terasă, precum și caracterul variabil al cursurilor de apă influențează accesibilitatea și amplasarea infrastructurii de traversare. În acest context, proiectarea unui pod necesită cunoaşterea detaliată a geometriei terenului, a albiei și a malurilor, precum și a relației dintre viitoarea construcție, drumurile de acces și proprietățile învecinate.

Studiul topografic reprezintă una dintre etapele necesare pentru fundamentarea soluției tehnice. Datele obținute permit reprezentarea configurației terenului, determinarea cotelor, identificarea rupturilor de pantă, elaborarea profilelor albiei și analiza posibilităților de racordare a podului la infrastructura rutieră existentă. Totodată, planul topografic oferă suportul spațial pentru corelarea proiectului cu studiile hidrologice, hidraulice și geotehnice, precum și cu informațiile cadastrale și juridice referitoare la terenurile potențial afectate.

În proiectarea podurilor, poziția culeelor și, dacă soluția structurală prevede mai multe deschideri, poziția pilelor trebuie stabilite în raport cu geometria albiei, lățimea traversării, configurația malurilor și cerințele de scurgere a apelor. Culeele constituie elementele de sprijin amplasate la extremitățile podului, în timp ce pilele sunt reazeme intermediare, care pot fi amplasate în albie. Poziționarea acestor elemente și definirea racordărilor la drumurile existente depind de caracteristicile reale ale amplasamentului, care trebuie determinate înaintea alegerii soluției constructive [1].

Tehnologia GNSS poate răspunde cerințelor unei asemenea ridicări prin determinarea rapidă și precisă a punctelor de detaliu și prin integrarea acestora într-un sistem unitar de referință. Totuși, obținerea unei soluții cu ambiguități fixate și precizia nominală a receptorului nu sunt suficiente pentru confirmarea calității întregii ridicări. Rezultatele trebuie verificate prin determinări repetate, reocuparea punctelor importante și utilizarea unor puncte de control independente.

Scopul articolului este de a prezenta modul de utilizare a tehnologiei GNSS în configurație bază–rover pentru realizarea ridicării topografice necesare proiectării podului din punctul Hanganu.

Întrebarea tehnică este în ce condiții o ridicare GNSS bază–rover poate furniza o bază geometrică adecvată proiectării unei traversări permanente peste un curs de apă, în raport cu cerințele de precizie, particularitățile terenului, comportarea hidraulică a albiei și disponibilitatea juridică a suprafețelor afectate. Studiul de caz evidențiază astfel contribuția măsurătorilor GNSS la

fundamentarea proiectelor de infrastructură de transport în amplasamente rurale expuse variațiilor hidrologice.

2. NOȚIUNI GENERALE DESPRE GNSS ŞI METODELE DE MĂSURARE

Global Navigation Satellite System (GNSS) include mai multe constelații satelitare, precum GPS, Galileo, GLONASS și BeiDou [2]. Poziționarea se bazează pe măsurarea pseudodistanțelor și, în aplicațiile geodezice de precizie, pe observațiile de fază ale undei purtătoare. Determinarea distanțelor GNSS se bazează pe măsurarea timpului de propagare a semnalului și a fazei undei purtătoare. Pentru observațiile de cod, receptorul compară secvența recepționată cu o replică generată intern; decalajul temporal permite calculul pseudodistanței $P = c \cdot \Delta t$, unde c este viteza luminii, iar Δt întârzierea măsurată. Această valoare nu coincide exact cu distanța geometrică, fiind afectată de erori de ceas, întârzieri atmosferice și propagare multiplă. În cazul observațiilor de fază, receptorul măsoară cu precizie fracțiunea și variația ciclurilor undei purtătoare, dar numărul întreg inițial de cicluri N rămâne necunoscut. Neglijând erorile, relația poate fi ilustrată prin $\rho \approx \lambda(N + \varphi)$, unde λ este lungimea de undă, iar φ fracțiunea de ciclu. Rezolvarea acestei ambiguități întregi, împreună cu utilizarea observațiilor relative, permite poziționarea RTK cu precizie centimetrică în condiții favorabile [3] [4].

Metodele GNSS pot fi clasificate şi după regimul de observație și momentul prelucrării astfel: metoda statică, unde receptoarele staționează în puncte pe durata unor sesiuni de observație, datele fiind de regulă prelucrate ulterior sau varianta rapid-statică utilizează sesiuni mai scurte, în condiții favorabile și metodele cinematice care permit determinarea unor poziții succesive, inclusiv prin prelucrare ulterioară (PPK) sau în timp real (Real-Time Kinematic – RTK). În RTK, observațiile de fază sunt combinate cu datele de referință pentru determinarea coordonatelor în timp real.

Configurația bază–rover presupune utilizarea unui receptor de referință, amplasat într-un punct fix, ale cărui coordonate sunt cunoscute și a unui receptor mobil, cu care se determină punctele de detaliu. Baza și roverul urmăresc sateliții în același interval de timp: baza transmite roverului informații de corecție, iar roverul folosește aceste informații pentru a îmbunătăți determinarea coordonatelor punctelor măsurate [5] [6]. Corecțiile și observațiile necesare poziționării relative sunt comunicate în timp real, prin radio sau prin internet, în

funcție de configurația echipamentului [7]. O variantă complementară este Network RTK, în care serviciul de corecții utilizează observațiile unei rețele de stații GNSS permanente. În România, ROMPOS furnizează astfel de produse prin internet, inclusiv soluții VRS și MAX. [8]

Calitatea unei măsurători GNSS este influențată de receptor și de condițiile în care sunt urmărite semnalele, acuratețea achizițiilor arătând cât de apropiate sunt coordonatele determinate de poziția reală, în timp ce precizia descrie cât de apropiate sunt între ele rezultatele unor măsurători repetate.

Un indicator folosit în timpul observațiilor este DOP (Dilution of Precision), care descrie modul în care distribuția sateliților pe cer influențează geometria determinării, o valoare DOP mai mică indicând o geometrie mai favorabilă a sateliților. DOP nu este însă o precizie exprimată în centimetri și nu înlocuiește verificarea coordonatelor sau evaluarea erorilor [9].

În acest studiu topografic, destinat analizării amplasamentului și proiectării unui pod, măsurătorile au fost efectuate cu un sistem GNSS tip bază–rover, în care corecțiile se transmit către bază prin legătură radio sau de date de la mai multe stații permanente.

3. METODOLOGIA APLICATĂ ÎN PUNCTUL HANGANU

În etapa de recunoaștere a fost verificat accesul pe ambele maluri, zonele instabile și posibilitățile de amplasare a bornelor. S-a ales sistemul de măsurare GNSS bază–rover pentru a îmbunătăți preciziile de determinare a coordonatelor punctelor de detaliu, care trebuiau să se încadreze în cele impuse de beneficiar, anume de 0,05 m planimetric și 0,10 m nivelitic, conform temei de proiectare.

S-au folosit două receptoare Stonex S990A, cu valori pentru precizia orizontală RMS de 2,5 mm + 0,1 ppm și pentru precizia verticală RMS de 3,5 mm + 0,4 ppm pentru modul static de înaltă precizie, respectiv 5 mm + 0,5 ppm și 10 mm + 0,5 ppm pentru modul RTK FIX, pentru distanțe sub 30 km [10].

Baza a fost amplasată într-o zonă stabilă, cu cerul cât mai liber, departe de arbori deși, clădiri, suprafețe metalice sau alte obstacole care pot reflecta semnalele satelitare și genera erori multipath, iar coordonatele bazei au fost determinate anterior prin măsurători statice.

S-a măsurat și înregistrat înălțimea antenei, respectându-se reperul indicat de producător, fiind cunoscut faptul că o eroare introdusă în coordonatele sau înălțimea bazei se poate transmite tuturor punctelor ridicate. Baza a fost conectată la stațiile permanente din Piatra Neamț, Bacău și Suceava.

S-a urmărit obținerea unei soluții FIXED, care indică rezolvarea ambiguităților de fază, soluția FLOAT nefiind acceptată automat pentru punctele care trebuie să respecte cerințele de precizie impuse de beneficiar, de 5 cm în plan și 10 cm pe verticală. În Tabelul 1 sunt evidențiate detaliile topografice preluate din teren.

Tabelul 1. Detalii topografice necesare

Zona	Detalii măsurate
Drumul de acces	Ax, margini, șanțuri, rupturi de pantă și racorduri
Malurile	Coronamente, baze de taluz, eroziuni și schimbări de pantă
Albia	Talveg, fundul albiei, bancuri de aluviuni și obstacole
Proprietățile	Garduri și limite fizice, distinct de limitele cadastrale
Zona podului	Terenul din dreptul culeelor, rampelor și apărărilor propuse

Pentru respectarea cerințelor de precizie se impune efectuarea unui control, care trebuie să includă verificarea unor puncte cunoscute și reocuparea punctelor importante după reinițializarea roverului, preferabil la alt moment. Repetarea din aceeași bază verifică similitudinea rezultatelor; pentru depistarea unei erori comune a bazei sunt necesare puncte de control independente. Punctele de detaliu se înregistrează cu soluții de ambiguitate fixate, după stabilizarea poziției. Durata ocupației și repetările se adaptează condițiilor; punctele importante se reocupă după reinițializare, la alt moment. S-au salvat timpul, tipul soluției, indicatorii geometrici și estimările de calitate [11].

În teren au fost materializate înaintea măsurătorilor două borne de beton de tip A, fiecare având un punct matematic identificabil, având rolul de repere de sprijin, adică puncte stabile ale căror coordonate sunt cunoscute și care pot fi utilizate la măsurători ulterioare. Ele au fost amplasate în zone considerate stabile, în afara suprafeței pe care urmează să se desfășoare lucrările de construire și astfel încât să existe vizibilitate între ele.

Alegerea poziției bornelor a avut în vedere și etapa următoare a proiectului unde, în faza a doua, reperele urmează să fie utilizate la trasarea în teren a elementelor podului.



Figura 1. Elemente relevante din fluxul de lucru. Sursa: autorii

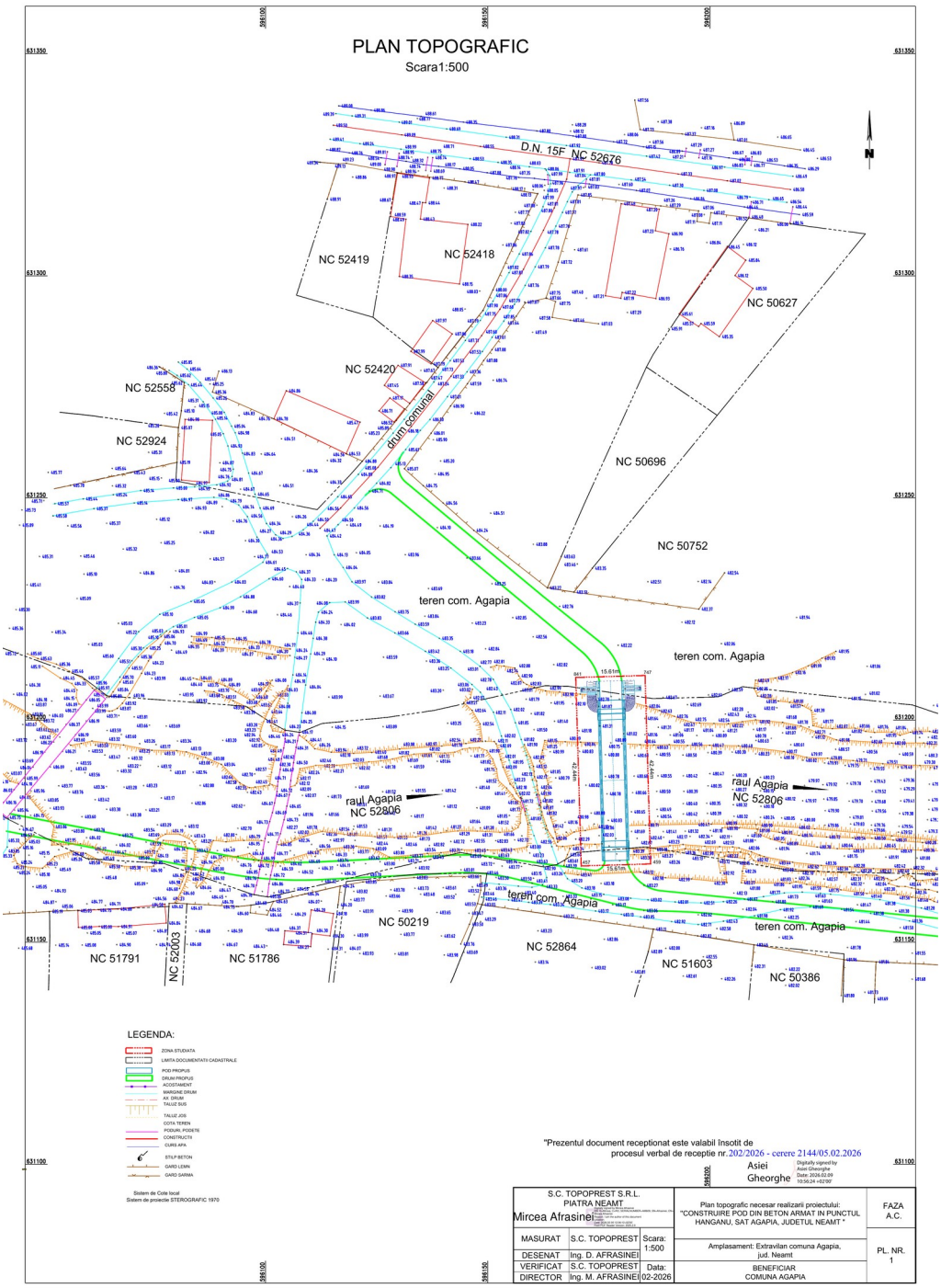


Figura 2. Planul topografic

O parte importantă a ridicării a fost măsurarea unui număr semnificativ de puncte în albia râului Agapia și în zonele apropiate de maluri, pentru descrierea formei terenului și analiza hidraulică, întocmirea profilelor în amonte și în aval de poziția podului.

Profilele sunt importante deoarece oferă proiectantului informații despre geometria albiei, lățimea și adâncimea secțiunilor analizate. Ridicarea topografică furnizează geometria terenului; stabilirea debitului de calcul și verificările hidraulice necesită, pe lângă aceste date, informații hidrologice și calcule de specialitate realizate de proiectanți.

În cadrul documentației au fost reprezentate limitele imobilelor din zona studiată. Albia râului Agapia este cadastrată și intabulată ca bun al statului administrat prin structurile Administrației Naționale Apele Române, Administrația Bazinală de Apă Siret.

În plus, pe plan au fost evidențiate parcelele de teren, proprietăți private, identificate prin numere cadastrale (NC), precum și terenurile care aparțin Comunei Agapia, identificarea proprietăților și a deținătorilor fiind utilă pentru ca beneficiarul și proiectantul să poată analiza eventualele suprafețe afectate de investiție și, dacă va fi cazul, să pregătească procedurile legale necesare exproprierii.

Coordonatele planimetrice au fost determinate în sistemul de proiecție Stereografic 1970 (Stereo 70), iar cotele utilizate la nivelment au fost raportate la sistemul de cote Marea Neagră 1975 (MN75).

4. CONCLUZII

Studiul topografic realizat pentru proiectarea podului din punctul Hanganu, comuna Agapia, a furnizat baza geometrică necesară caracterizării amplasamentului, definirii zonelor de racordare și analizei relației dintre viitoarea construcție, albia râului și proprietățile învecinate. Ridicarea a inclus elementele relevante ale drumului de acces, malurilor și albiei, precum și detaliile necesare elaborării profilelor transversale și modelării terenului.

Utilizarea tehnologiei GNSS în configurație bază–rover a permis determinarea eficientă a punctelor de detaliu. Cele două borne materializate în afara zonei lucrărilor asigură continuitatea referinței geometrice între etapele de proiectare și execuție, cu condiția verificării stabilității acestora înaintea operațiunilor de trasare. Informațiile topografice obținute constituie suportul

spațial necesar corelării proiectului cu studiile hidrologice, hidraulice și geotehnice.

Studiul evidențiază faptul că alegerea amplasamentului și configurarea podului nu pot fi fundamentate exclusiv pe criterii geometrice. Acestea trebuie să integreze comportarea hidraulică a albiei, stabilitatea terenului, condițiile de acces, limitele cadastrale și regimul juridic al suprafețelor afectate.

Ridicarea topografică reprezintă o componentă esențială a documentației tehnice, asigurând legătura dintre situația reală din teren, cerințele de proiectare și condițiile juridice și urbanistice ale investiției.

MULȚUMIRI

Mulțumiri companiei S.C. Topoprest S.R.L. pentru sprijinul tehnic și punerea la dispoziție a documentației topografice utilizate în acest studiu.

BIBLIOGRAFIE

[1]. RĂCĂNEL, I. R. (2007). *Căi de comunicații: Poduri. Elemente generale.* București: Editura CONSPRESS. ISBN 978-973-100-000-8

[2]. STOPAR, B.; STERLE, O.; PAVLOVČIČ-PREŠEREN, P., & HAMZA, V. (2024). *Observations and Positioning Quality of Low-Cost GNSS Receivers: A Review*. GPS Solutions, 28, 149, 2024. https://doi.org/10.1007/s10291-024-01686-8

[3]. ELSHEIKH, M., IQBAL, U., NOURELDIN, A., & KORENBERG, M. (2023). *The Implementation of Precise Point Positioning (PPP): A Comprehensive Review*, Sensors, 23(21), 8874. https://doi.org/10.3390/s23218874

[4]. SUKHENKO, A., MEIRAMBEKULY, N., SYZDYKOV, A., MUKHAMEDGALI, A., & MELLATOVA, Y. (2025). *GNSS for High-Precision and Reliable Positioning: A Review of Correction Techniques and System Architectures,* Applied Sciences, 15(22), 12304. https://doi.org/10.3390/app152212304

[5]. HENNING, W. (2014). *User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning*, Version 3.1. NOAA Manual NOS NGS 9, National Geodetic Survey, 2014.

[6]. RIZOS, C. (2002). *Network RTK Research and Implementation – A Geodetic Perspective*. Journal of Global Positioning Systems, 1(2), 144–150, 2002.

[7]. SANNA, G., PISANU, T., & GARAU, S. (2022). *Behavior of Low-Cost Receivers in Base-Rover Configuration with Geodetic-Grade Antennas,* Sensors, 22(7), 2779. https://doi.org/10.3390/s22072779

[8]. ROMPOS. (f.a.). Produse de timp real. Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară. https://rompos.ro/index.php/informatii-tehnice/produse-de-timp-real

[9]. KARAIM, M.; ELSHEIKH, M.; NOURELDIN, A. *GNSS Error Sources. In: Multifunctional Operation and Application of GPS*. IntechOpen, 2018

[10]. Stonex. (f.a.). S990+ GNSS Receiver: High Performance with IMU. https://www.stonex.it/product/s990-plus-gnss-receiver/ (accesat la 13 noiembrie 2026).

[11]. DONAHUE, B., WENTZEL, J., & BERG, R. (2015). *Guidelines for RTK/RTN GNSS Surveying in Canada.* Version 1.2. Natural Resources Canada, Surveyor General Branch.

ABORDARE MULTICRITERIALĂ INTEGRATĂ PENTRU OPTIMIZAREA CIRCULAȚIEI, A EXPLOATĂRII ȘI A SIGURANȚEI EVACUĂRII ÎN SISTEMUL DE METROU

Alexe Mariana-Mirabela, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mariana-mirabela.alexe@phd.utcb.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro
Dicu Mihai, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mihai.dicu@utcb.ro

Rezumat

Lucrarea propune un cadru multicriterial integrat pentru optimizarea simultană a circulației subterane și supraterane, a exploatării și întreținerii și a siguranței evacuării într-un sistem de metrou. Sunt definiți șase parametri caracteristici (capacitatea de transport, timpul de evacuare, disponibilitatea, regularitatea, consumul energetic specific și costul anualizat), ale căror ponderi se determină prin procesul analitic ierarhic (AHP), cu verificarea consistenței judecăților (CR = 0,027). Soluțiile de optimizare sunt evaluate cu un model de calcul al timpilor de evacuare (formarea și golirea cozilor la căile verticale, parcursul până la locul sigur), construit pe criteriile NFPA 130 (peron evacuat în 4 minute, loc sigur atins în 6 minute), sunt supuse unui filtru de conformitate normativă și apoi clasificate prin metoda TOPSIS. Modelul se aplică stației Piața Unirii 1 a metroului din București, cu lățimile căilor de evacuare preluate din releveele nivelurilor peron (−2) și vestibul (−1): W = 14,02 m, respectiv 12,51 m cu o scară rulantă scoasă din uz, în patru scenarii de exploatare (regim normal, aglomerare, defectarea unei scări rulante, urgență). Considerând vestibulul (nivelul −1) loc sigur protejat, cu parcursul pe peron măsurat pe releveu (L ≈ 48 m) și o diferență de nivel ipotetică de 6 m, peronul se golește în 88–195 s, iar timpul până la locul sigur este de 194–327 s, deci ambele criterii sunt respectate în toate scenariile. Pentru scenariul de proiectare guvernează criteriul de 4 minute, cu pragurile de conformare: cel mult circa 2100 de persoane pe peron, o lățime efectivă de cel puțin 6,56 m sau un timp de pre-mișcare de cel mult 138 s, transpuse într-o diagramă de lucru pentru exploatare. Toate alternativele trec filtrul normativ, iar clasamentul TOPSIS plasează pe primele locuri soluțiile organizatorice și de grafic. Rezultatul este condiționat de admisibilitatea vestibulului ca loc sigur, care trebuie confirmată prin scenariul de securitate la incendiu al stației.

Cuvinte cheie: metrou, optimizare multicriterială, AHP, TOPSIS, timp de evacuare, NFPA 130, validare normativă, mentenanță predictivă, timp de pre-mișcare, diagramă de lucru.

Abstract

The paper proposes an integrated multi-criteria framework for the simultaneous optimisation of underground and surface traffic, operation and maintenance, and evacuation safety in a metro system. Six characteristic parameters are defined (transport capacity, evacuation time, availability, regularity, specific energy consumption and annualised cost), whose weights are determined by the Analytic Hierarchy Process (AHP), with a consistency check of the judgements (CR = 0.027). The optimisation solutions are evaluated with an evacuation time model (queue formation and discharge at vertical exits, travel to the point of safety) built on the NFPA 130 criteria (platform evacuated within 4 minutes, point of safety reached within 6 minutes), are subjected to a regulatory compliance filter and then ranked by the TOPSIS method. The model is applied to Piața Unirii 1 station of the Bucharest metro, with the widths of the evacuation routes taken from the survey drawings of the platform (−2) and concourse (−1) levels: W = 14.02 m, or 12.51 m with one escalator out of service, in four operating scenarios (normal operation, crowding, escalator failure, emergency). Treating the concourse (level −1) as a protected point of safety, with the platform travel measured on the survey (L ≈ 48 m) and an assumed level difference of 6 m, the platform is cleared in 88–195 s and the time to reach the point of safety is 194–327 s, so both criteria are met in all scenarios. In the design scenario the 4-minute criterion governs, with the compliance thresholds: at most about 2,100 persons on the platform, an effective width of at least 6.56 m or a pre-movement time of at most 138 s, translated into a working chart for operations. All alternatives pass the regulatory filter, and the TOPSIS ranking places the organisational and timetable solutions first. The result is conditional on the concourse being accepted as a point of safety, which must be confirmed by the fire safety strategy of the station.

Keywords: metro, multi-criteria optimisation, AHP, TOPSIS, evacuation time, NFPA 130, regulatory validation, predictive maintenance, pre-movement time, working chart.

1. INTRODUCERE

Metroul este coloana vertebrală a mobilității urbane în marile orașe [1], iar performanța lui depinde de modul în care se armonizează trei grupuri de obiective, adesea contradictorii: circulația (capacitate, regularitate, interfața cu transportul de suprafață), exploatarea și întreținerea (disponibilitate, energie, cost) și siguranța pasagerilor, în special capacitatea de evacuare. Reducerea intervalului dintre trenuri crește capacitatea, dar mărește și numărul de persoane aflate simultan pe peron; un grafic foarte dens limitează ferestrele de mentenanță;

o scară rulantă scoasă din uz reduce, în același timp, confortul și capacitatea de evacuare.

Experiența accidentelor arată de ce evacuarea trebuie tratată ca parametru de proiectare și de exploatare, nu numai ca verificare formală. Incendiul din stația King’s Cross din Londra (18 noiembrie 1987), izbucnit sub treptele unei scări rulante, a produs 31 de victime, iar ancheta oficială a condus la schimbări în exploatarea și întreținerea scărilor rulante și în instruirea personalului [2]. Analiza accidentelor din sistemele de transport subterane, între care și incendiul din metroul din Daegu (Coreea de Sud, 2003), arată că recunoașterea întârziată a pericolului, informarea insuficientă a călătorilor și orientarea dificilă în fum prelungesc evacuarea [3].

În practică, aceste obiective sunt tratate separat, de servicii diferite, cu indicatori diferiți. Rezultatul este un risc de suboptimizare: o măsură bună pentru un indicator poate degrada pe altul sau poate încălca o cerință normativă care devine vizibilă abia în etapa de autorizare. Lucrarea își propune să arate că aceste obiective pot fi tratate într-un singur cadru, în care **parametrii** sunt definiți explicit, **ponderile** rezultă dintr-o procedură verificabilă, iar **validarea normativă** acționează ca o condiție obligatorie, nu ca o simplă verificare finală.

Contribuțiile lucrării sunt: (a) un sistem de șase parametri multicriteriali asociat cadrului normativ de referință; (b) un model simplificat de calcul al timpilor de evacuare din stație, comparat în patru condiții de exploatare; (c) o metodă în care filtrul normativ precede clasificarea TOPSIS a soluțiilor de optimizare; (d) pragurile de conformare ale stației (numărul maxim de persoane pe peron, lățimea minimă a căilor, timpul maxim de pre-mișcare), transpuse într-o diagramă de lucru pentru exploatare; (e) propuneri concrete pentru exploatare și întreținere și o procedură de aplicare pe stații reale. Fluxul metodologic este prezentat în figura 1. Lucrarea este structurată astfel: subcapitolul 1.1 sintetizează experiența internațională și stadiul cunoașterii; capitolul 2 prezintă cadrul normativ, parametrii și ponderile; capitolul 3, modelul de calcul, scenariile și pragurile de conformare; capitolul 4, alternativele, validarea normativă și clasificarea; capitolul 5, propunerile de optimizare și procedura de aplicare.

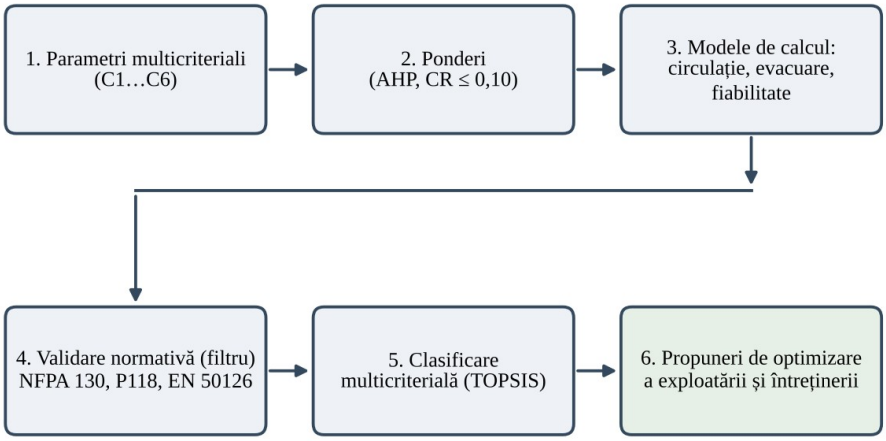


Figura 1. Fluxul metodologic al abordării multicriteriale integrate

1.1. Experienţa internaţională şi stadiul cunoaşterii

Criteriile temporale de evacuare a staţiilor provin din NFPA 130 [4]: încărcarea de calcul a peronului trebuie evacuată de pe peron în cel mult 4 minute, iar din punctul cel mai îndepărtat al peronului până la un punct sigur în cel mult 6 minute. Aceleași praguri sunt preluate, de exemplu, în codul de securitate la incendiu pentru sistemele de transport rapid din Singapore, care precizează și modul de stabilire a încărcării peronului: 0,5 m² pe persoană pe întreaga suprafață a peronului, plus încărcarea de vârf a unui tren [5]. Ambele documente presupun o scară rulantă scoasă din uz (cea cu efectul cel mai defavorabil) și limitează contribuția scărilor rulante la cel mult jumătate din capacitatea de evacuare a unui nivel [5,6]. Tabelul 1 compară prevederile relevante pentru modelul din lucrare.

Tabelul 1. Prevederi pentru evacuarea staţiilor în două coduri de referinţă şi modul de preluare în model

Aspect	NFPA 130 [4]	CPFPRTS 2022, Singapore [5]	Preluare în model
Evacuarea peronului	Încărcarea de calcul a peronului evacuată în cel mult 4 min	Încărcarea de calcul a peronului evacuată în cel mult 4 min	$T_p \leq 240$ s, ecuația (4)
Atingerea punctului sigur	Din punctul cel mai îndepărtat al peronului, în cel mult 6 min	În cel mult 6 min; pentru unele configurații, un punct dincolo de porțile de control sau de accese, cu bariere de fum	$T_s \leq 360$ s, ecuația (5)
Încărcarea de calcul	Definită în standard; se verifică ediția aplicată	0,5 m²/pers pe întreaga suprafață a peronului, plus încărcarea de vârf a unui tren	P, ipoteză; pe stații reale, din date de exploatare sau prin metoda densității
Scări rulante	Una presupusă scoasă din uz; cel mult jumătate din capacitatea de evacuare a unui nivel [6]	Una pe stație scoasă din uz (cea mai defavorabilă); cel mult 50% din capacitatea unui nivel	Scenariul S3; 5,54 m din 14,02 m (40%)
Porți de control	Turnichet: 25 pers/min (ediția 2010)	Turnichet: 25 pers/min; poartă < 850 mm: 50 pers/min; poartă ≥ 850 mm: 80 pers/(min·m)	Neincluse; se adaugă dacă traseul trece prin porți
Timpul de pre-mișcare	Neinclus în exemplul de calcul din [7]; se verifică ediția aplicată	Nemenționat în clauza 2.2	t_0 explicit: 30–75 s

În Uniunea Europeană, sistemele de metrou sunt excluse din domeniul de aplicare al Directivei (UE) 2016/797 privind interoperabilitatea [8], astfel încât specificaţia tehnică de interoperabilitate privind siguranţa în tunelurile feroviare [9] nu este obligatorie pentru metrou; ea rămâne o referinţă metodologică. În România, cadrul general este dat de Legea nr. 307/2006 [10] şi de normativul P 118/1-2025, aprobat prin Ordinul MDLPA nr. 267/2025 [11]. Lucrarea adoptă pragurile NFPA 130 ca referinţă de performanţă; corespondenţa cu prevederile aplicabile obiectivului concret se stabileşte în scenariul de securitate la incendiu.

Modelul de calcul al NFPA 130 este un model „hidraulic”: fluxul pietonal este tratat ca un debit constant pe unitatea de lățime, iar timpul de evacuare rezultă din formarea și golirea cozilor la strangulări [12]. Măsurătorile experimentale arată că debitul printr-o strangulare depinde de lățime și de densitate [13], iar Landow arată că, la stațiile adânci, ipoteza unei viteze verticale constante subestimează timpul, deoarece urcarea pe diferențe mari de nivel produce oboseală și opriri [6]. Într-un exemplu documentat de comparație pe aceeași stație [7], calculul după NFPA 130 dă un timp total de 296 s, calculul cu valorile SFPE

346 s, iar simularea cu agenți (Pathfinder) circa 374 s, adică cu 17%, respectiv 26% mai mult; diferența provine din debitele mai mari ale NFPA 130 și din ipoteza că toate ieșirile sunt folosite optim. Rezultatele unui calcul hidraulic trebuie deci interpretate cu o rezervă, aspect folosit în capitolul 4.

Timpul de pre-mișcare (detecție, alarmare, recunoaștere și decizie) poate reprezenta o parte importantă din timpul total. Metodologia britanică PD 7974-6 [14] și datele sintetizate de Purser și Bensilum [15] arată că el depinde de tipul sistemului de alarmare, de familiaritatea ocupanților cu clădirea și de prezența personalului instruit; pentru sistemele subterane, întârzierile de decizie sunt documentate și în analiza accidentelor [3]. De aceea t_0 apare explicit în ecuațiile (4) și (5) și este tratat ca pârghie de exploatare. Pentru regimul normal, manualul TCQSM [16] și metoda nivelurilor de serviciu pietonal a lui Fruin [17] leagă lățimea scărilor, a culoarelor și a peronului de densitate și debit; aceleași elemente determină, în caz de urgență, mărimile P și q din model, ceea ce justifică tratarea comună a circulației și a evacuării.

Procesul analitic ierarhic [18-21] și metoda TOPSIS [22] sunt printre cele mai folosite metode multicriteriale în ingineria transporturilor; o sinteză a aplicațiilor TOPSIS este dată în [23]. Două precauții sunt relevante pentru lucrare: la agregarea judecăților mai multor experți se folosește media geometrică a judecăților individuale (AIJ) sau agregarea priorităților individuale (AIP) [24], iar TOPSIS poate prezenta inversarea clasamentului la adăugarea sau eliminarea unor alternative [25], ceea ce trebuie verificat atunci când filtrul normativ elimină alternative din set. Pentru componenta de exploatare și întreținere, SR EN 50126-1 [26] definește procesul RAMS, iar sinteza lui Davari et al. [27] trece în revistă metodele de mentenanță predictivă bazate pe date aplicate în sectorul feroviar și cerințele lor privind datele de monitorizare.

2. CADRUL NORMATIV, PARAMETRII ȘI PONDERILE

2.1. Cadrul normativ de referință

Validarea rezultatelor se face prin raportare la documente din trei categorii: standarde de siguranță și RAMS pentru sistemele feroviare urbane, norme de securitate la incendiu și evacuare, standarde privind calitatea serviciului. Tabelul 2 sintetizează documentele utilizate și modul în care intră în model. Aplicabilitatea fiecărei prevederi la un obiectiv concret se stabilește de

autoritățile competente și de scenariul de securitate la incendiu al obiectivului. Comparația pragurilor de evacuare din NFPA 130 cu cele dintr-un cod internațional echivalent este dată în tabelul 1 (subcapitolul 1.1).

Tabelul 2. Cadrul normativ utilizat la validare

Domeniu	Referință	Utilizare în model
RAMS, siguranța circulației	SR EN 50126-1:2017 [26]; EN 50129:2018 [28]	Cerințe de disponibilitate și fiabilitate (C3); nivel de integritate al sistemelor de siguranță
Comandă-control urban	IEC 62290-1:2014 [29]	Niveluri de automatizare, interval minim (C1, C4)
Evacuare, siguranța la foc	NFPA 130 [4]; P 118/1-2025 [11]; Legea 307/2006 [10]	Criterii de 4 min (peron) și 6 min (loc sigur); căi de evacuare (C2)
Calitatea serviciului	SR EN 13816 [30]	Regularitate și informarea călătorilor (C4)
Tuneluri feroviare	Reg. (UE) 1303/2014, cu modificările ulterioare [9]	Referință metodologică pentru evacuarea din tunel (metroul este exclus din domeniul Directivei (UE) 2016/797 [8])

2.2. Parametrii multicriteriali caracteristici

Sistemul de parametri acoperă cele trei direcții ale cercetării. Parametrii C1 și C4 descriu circulația, C3, C5 și C6 descriu exploatarea și întreținerea, iar C2 descrie siguranța evacuării. Parametrii se împart în **de tip beneficiu** (se doresc cât mai mari: C1, C3, C4) și **de tip cost** (se doresc cât mai mici: C2, C5, C6). Definițiile, unitățile și ponderile sunt date în tabelul 3. Disponibilitatea (C3) se definește conform SR EN 50126-1 [26], regularitatea (C4) se raportează la SR EN 13816 [30], iar consumul energetic specific (C5) depinde de graficul de circulație, de stilul de conducere și de recuperarea energiei de frânare [31].

2.3. Determinarea ponderilor prin AHP

Ponderile se obțin prin procesul analitic ierarhic [18-20]. Experții (operator, proiectant, autoritate) compară parametrii doi câte doi pe scala 1–9, rezultând matricea pătrată **A**. Vectorul de ponderi **w** este vectorul propriu principal al matricei, iar consistența judecăților se verifică prin raportul de consistență CR:

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w \tag{1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

unde: λ_{max} = valoarea proprie maximă a matricei A; n = numărul de parametri (n = 6); CI = indicele de consistență; RI = indicele aleatoriu al lui Saaty (RI = 1,24 pentru n = 6). Judecățile sunt acceptabile dacă CR ≤ 0,10. Valorile RI diferă ușor între autori, în funcție de numărul și de modul de generare a matricelor aleatoare [32].

Pentru matricea de comparații adoptată (siguranța evacuării considerată mai importantă decât ceilalți parametri, urmată de capacitate) rezultă λ_{max} = 6,167, CI = 0,033 și CR = 0,027, deci judecățile sunt consistente. Ponderea cea mai mare revine timpului de evacuare (0,380), ceea ce reflectă principiul că siguranța are prioritate față de performanța economică. Matricea de comparații este ilustrativă; într-o aplicație reală ea se completează de un grup de experți (operator, proiectant, autoritatea de avizare, serviciul de întreținere), judecățile individuale se agregă prin media geometrică (AIJ) [24], iar matricea rezultată se publică, pentru ca valorile λ_{max}, CI și CR să poată fi verificate [21].

Tabelul 3. Parametrii multicriteriali și ponderile AHP

Cod	Parametru	Unitate	Tip	Pondere w
C1	Capacitatea de transport pe sens	pers/h	beneficiu	0,205
C2	Timpul până la loc sigur, scenariul S3	s	cost	0,380
C3	Disponibilitatea sistemului	%	beneficiu	0,155
C4	Regularitatea circulației	%	beneficiu	0,109
C5	Consumul energetic specific	kWh/ (tren·km)	cost	0,051
C6	Costul suplimentar anualizat	mil. €/an	cost	0,100

3. MODELUL DE CALCUL ŞI SCENARIILE DE EXPLOATARE

3.1. Circulația și interfața subteran–suprateran

Capacitatea de transport pe sens (C1) rezultă, în forma clasică [1], din intervalul dintre trenuri h, în secunde, și capacitatea utilă a unui tren Q_t:

$$C_1 = \frac{3600}{h} \cdot Q_t \tag{3}$$

Pentru Q_t = 1000 pers/tren, un interval de 150 s dă 24 000 pers/h pe sens, iar un interval de 120 s dă 30 000 pers/h. Intervalul influențează însă și siguranța: numărul de persoane de pe peron este suma dintre încărcarea trenului şi călătorii care aşteaptă, iar aceşti călători sosesc de la accese şi de la liniile de suprafață (autobuze, tramvaie). Coordonarea orarelor de suprafață cu graficul metroului atenuează vârfurile de sosire şi reduce numărul de persoane de pe peron în momentul critic. Acest efect este introdus în model prin reducerea valorii P în alternativele care includ optimizarea graficului. Pentru o stație reală, P se stabileşte din datele de exploatare (numărători automate ale călătorilor, validările titlurilor de călătorie, gradul de ocupare al trenurilor în ora de vârf) sau, ca valoare acoperitoare, prin metoda densității pe peron [5]; dimensionarea pentru regimul normal foloseşte aceleaşi elemente, prin nivelurile de serviciu pietonal [16,17].

3.2. Timpul de evacuare a peronului

Modelul urmăreşte logica criteriilor NFPA 130 [4]: peronul trebuie evacuat în cel mult 4 minute, iar ultimul călător trebuie să ajungă într-un loc sigur în cel mult 6 minute. Timpul de golire a peronului T_p şi timpul până la locul sigur T_s sunt:

$$T_p = t_0 + \frac{P}{q \cdot W} \tag{4}$$

$$T_s = T_p + \frac{H}{v_v} + \frac{L}{v_h} \tag{5}$$

unde: t_0 = timpul de detecție, alarmare şi decizie (pre-mișcare), s; P = numărul de persoane de pe peron, pers; q = debitul specific al căilor verticale, pers/(s·m); W = lățimea efectivă totală a căilor de evacuare, m; H = diferența de nivel până la loc sigur, m; L = lungimea parcursului orizontal, m; v_v, v_h = viteza verticală, respectiv orizontală, m/s.

Se adoptă ipotezele uzuale ale NFPA 130, aşa cum sunt prezentate în [6]: q ≈ 0,86 pers/(s·m) (1,31 pers/min pe inch lățime), v_v = 0,203 m/s (40 ft/min), v_h = 0,63 m/s (124 ft/min), scările rulante sunt tratate ca scări, iar în calcul se presupune că cea mai critică scară rulantă este scoasă din uz. Valorile se verifică față de ediția aplicată a standardului (cea mai recentă este ediția 2026) [4]. Aplicația se face pe stația Piața Unirii 1 a metroului din București, cu peron insular de 121,10 m × 14,96 m la nivelul −2 şi vestibul la nivelul −1. Lățimile căilor de evacuare sunt preluate din releveele celor două niveluri (tabelul 4, figurile 2 și 3) [33]: două grupuri de scări peron–vestibul, fiecare cu o scară fixă

(4,19 m, respectiv 4,29 m) și două scări rulante. Pentru fiecare cale s-a reținut cota minimă dintre cele două niveluri, rezultând W = 14,02 m (8,48 m scări fixe și 5,54 m scări rulante). Lățimile scărilor rulante sunt lățimile utile din releveu și se verifică față de lățimea treptei din fișa tehnică a echipamentului. Locul sigur se consideră nivelul vestibulului (−1), tratat ca zonă protejată față de peron (compartimentare și control al fumului), iar parcursul se calculează până la capătul superior al scărilor peron–vestibul. Lungimea parcursului pe peron, măsurată grafic pe releveu (precizie estimată ±5%), este L ≈ 48 m, jumătatea distanței de circa 95 m dintre picioarele celor două grupuri de scări. Releveele nu conțin cote de nivel; diferența de nivel −2 → −1 se ia ipotetic H = 6 m. Admisibilitatea vestibulului ca loc sigur trebuie confirmată prin scenariul de securitate la incendiu al stației. Modelul nu surprinde comportamentul individual al pasagerilor [6]; pentru stațiile reale el se completează cu simulări ale fluxurilor pietonale.

Contribuția scărilor rulante la lățimea efectivă este de 5,54 m din 14,02 m (40%), respectiv de 4,03 m din 12,51 m (32%) în S3, deci sub limita de 50% din capacitatea unui nivel [4,5]. Calculul hidraulic presupune folosirea optimă a tuturor căilor; în comparația documentată în [7], debitele NFPA 130, mai mari decât cele din SFPE [12], împreună cu această ipoteză conduc la timpi cu 17–26% mai mici decât cei obținuți cu valorile SFPE, respectiv prin simulare, ceea ce trebuie avut în vedere la interpretarea rezervelor din capitolul 4.

Tabelul 4. Lățimile căilor de evacuare preluate din releveele stației Piața Unirii 1 (nivelul −2 peron, nivelul −1 vestibul), m

Cale de evacuare	Nivel −2 (peron)	Nivel −1 (vestibul)	Lățime reținută
Peron insular (lungime × lățime)	121,10 × 14,96	–	–
Grup vest – scară fixă	4,19	4,34	4,19
Grup vest – scară rulantă 1	1,25	1,43	1,25
Grup vest – scară rulantă 2	1,54	1,44	1,44
Grup est – scară fixă	4,29	4,29	4,29
Grup est – scară rulantă 1	1,51	1,34	1,34
Grup est – scară rulantă 2	1,51	1,72	1,51
Lățimea efectivă totală W (S1, S2)			14,02
W în S3 (fără scara rulantă de 1,51 m)			12,51
Ieșiri vestibul–suprafață, scări fixe P1 / P2 / P3	–	2,71 / 5,30 / 6,44	14,45

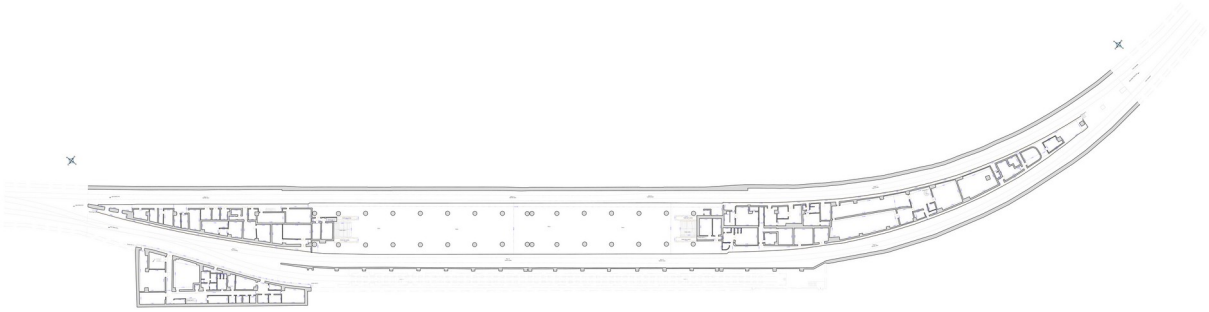


Figura 2. Releveul stației Piața Unirii 1, nivelul −2 (peron insular, scări peron–vestibul); sursa: Metrorex S.A., documentație tehnică internă [33]

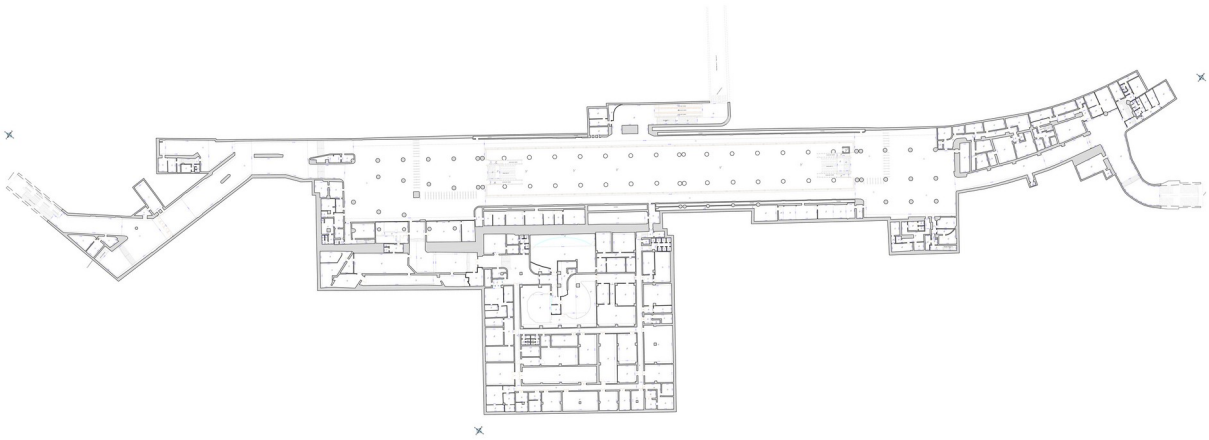


Figura 3. Releveul stației Piața Unirii 1, nivelul −1 (vestibul, accese P1, P2 Brâncoveanu și P3); sursa: Metrorex S.A., documentație tehnică internă [33]

3.3. Compararea timpilor de evacuare în patru scenarii

Scenariile sunt: S1, regim normal în afara vârfului (P = 700 pers, t_0 = 30 s); S2, aglomerare de vârf (P = 1100 pers, t_0 = 45 s); S3, aglomerare cu o scară rulantă scoasă din uz (W = 12,51 m, fără scara rulantă de 1,51 m); S4, urgență cu pană de energie și vizibilitate redusă (t_0 = 75 s, debite reduse cu 15%, viteze reduse cu 20%). Încărcările P sunt ipoteze de lucru; pentru stația analizată ele se înlocuiesc cu date de exploatare (subcapitolul 3.1). Rezultatele sunt date în tabelul 5 și în figura 4.

Tabelul 5. Timpii de evacuare în scenariile de exploatare

Scenariu	P, pers	t_0, s	W, m	T_p, s	T_s, s	Conform
S1 normal	700	30	14,02	88	194	da
S2 aglomerare	1100	45	14,02	136	242	da
S3 scară rulantă scoasă din uz	1100	45	12,51	147	253	da
S4 urgență	1100	75	12,51	195	327	da

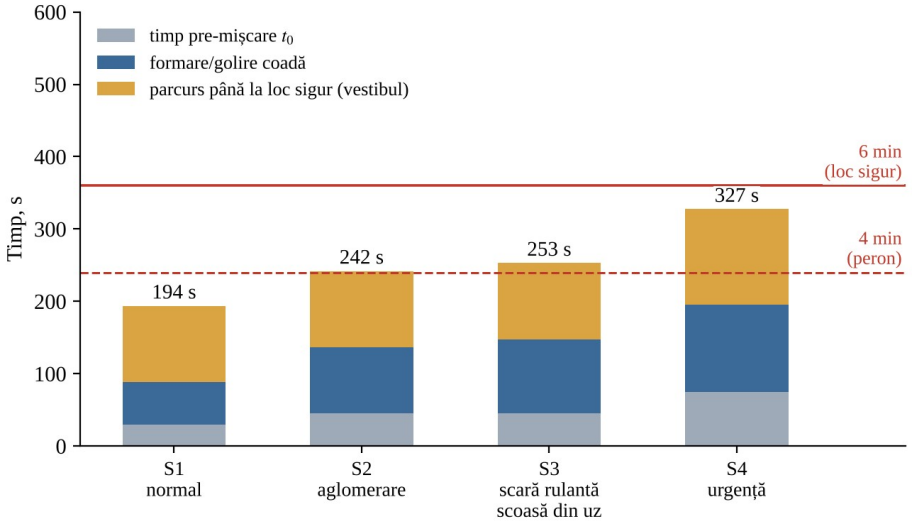


Figura 4. Componentele timpului de evacuare în scenariile S1–S4 și pragurile normative

Formarea cozii la căile verticale durează între 58 s și 120 s, iar T_p = 88–195 s, cu rezerve de 19–63% față de criteriul de 4 minute. Trecerea de la regim normal la aglomerare adaugă 48 s la T_p, iar defectarea unei scări rulante încă 11 s; efectul este redus, deoarece scara rulantă scoasă din uz reprezintă numai 11% din W. Timpul până la locul sigur este de 194–327 s; S4 se încadrează cu o rezervă de 9%. S4 se tratează ca scenariu de stres, nu ca bază de proiectare. Cu lățimile reale, timpul de pre-mișcare și parcursul (105,7 s) devin componente comparabile cu formarea cozii sau mai mari decât aceasta. Valorile-limită sunt determinate în subcapitolul 3.4.

3.4. Pragurile de conformare și diagrama de lucru pentru exploatare

Pentru utilizarea practică a modelului, ecuațiile (4) și (5) se pot inversa, astfel încât să se obțină valoarea-limită a fiecărei pârghii, celelalte mărimi rămânând la valorile din scenariul de proiectare S3 (P = 1100 pers, t_0 = 45 s, W = 12,51 m, q = 0,86 pers/(s·m)). Timpul de parcurs $H/v_v + L/v_h$ = 29,6 + 76,2 =

105,7 s nu depinde de pârghiile P, W și t_0. Rezerva disponibilă la T_p (240 − 147,2 = 92,8 s) este mai mică decât la T_s (360 − 253,0 = 107,0 s), astfel încât pentru P, W și t_0 guvernează criteriul de 4 minute, iar pentru lungimea parcursului, criteriul de 6 minute:

$$P_{max} = q \cdot W \cdot (240 - t_0);$$

$$W_{min} = P / [q \cdot (240 - t_0)];$$

$$t_{0,max} = 240 - P/(q \cdot W);$$

$$L_{max} = v_h \cdot (360 - t_0 - P/(q \cdot W) - H/v_v) \quad (8)$$

Rezultatele sunt date în tabelul 6. O creștere cu 100 de persoane a încărcării peronului mărește T_p și T_s cu circa 9 s (1/(q·W) = 0,093 s/pers), iar scoaterea din uz a scării rulante de 1,51 m adaugă circa 11 s la P = 1100 pers.

Tabelul 6. Pragurile de conformare ale stației în scenariul de proiectare S3

Pârghie	Valoare în S3	Prag pentru $T_p \le 240$ s și $T_s \le 360$ s	Prag cu rezervă de 10% ($T_p \le 216$ s, $T_s \le 324$ s)	Mijloace practice
Numărul de persoane pe peron, P	1100 pers	≤ 2098 pers (+91%)	≤ 1840 pers (+67%)	dozarea și dirijarea accesului, coordonarea orarelor de suprafață, informarea călătorilor
Lățimea efectivă a căilor verticale, W	12,51 m	≥ 6,56 m (−5,95 m)	≥ 7,48 m (−5,03 m)	scări fixe suplimentare sau lărgite, eliminarea obstacolelor de pe traseu
Timpul de pre-mișcare, t_0	45 s	≤ 137,8 s (+206%)	≤ 113,8 s (+153%)	alarmare cu mesaje vocale, proceduri de dispecerat, personal instruit, exerciții
Lungimea parcursului orizontal, L	≈ 48 m	≤ 115,4 m	≤ 92,7 m	poziția scărilor peron–vestibul, ieșiri de capăt ale peronului

Rezervele sunt mari pentru pârghiile de exploatare: încărcarea peronului poate crește cu circa 91%, iar lățimea efectivă poate scădea până la circa 6,56 m; chiar cu toate scările rulante oprite (W = 8,48 m), peronul se golește în 196 s. Parcursul pe peron ar putea crește până la circa 115 m (93 m cu rezerva de 10%), mult peste valoarea măsurată de 48 m. Concluzia de conformitate depinde însă în întregime de ipoteza că vestibulul constituie loc sigur: dacă locul sigur este la suprafață, parcursul în vestibul, de până la circa 125 m, trebuie adăugat.

Figura 5 transpune relația (8) într-o diagramă de lucru pentru dispecerat și pentru planificarea mentenanței. Pentru lățimea efectiv disponibilă într-o anumită zi (de exemplu, W = 12,51 m când scara rulantă de 1,51 m este în revizie), diagrama dă numărul maxim de persoane admis pe peron; acest prag poate fi urmărit prin numărarea automată a călătorilor și folosit pentru declanșarea măsurilor de dozare a accesului. Diagrama arată că scenariile S2 și S3 se află mult sub curba-limită, inclusiv sub curba cu rezervă de 10%; curba-limită este dată de criteriul de 4 minute.

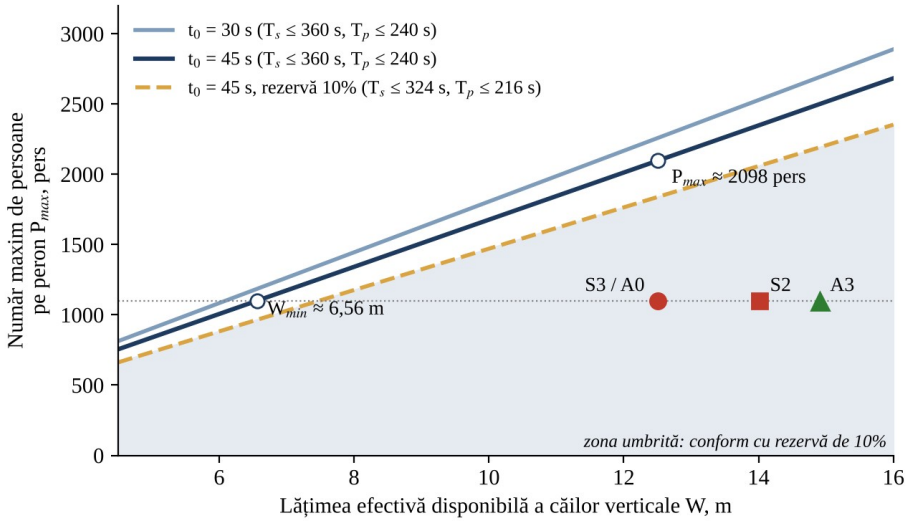


Figura 5. Diagrama de lucru: numărul maxim de persoane admis pe peron în funcție de lățimea efectivă disponibilă a căilor verticale (loc sigur la nivelul vestibulului, H = 6 m, L = 48 m, q = 0,86 pers/(s·m))

4. ALTERNATIVE DE OPTIMIZARE, VALIDARE NORMATIVĂ ȘI CLASIFICARE

4.1. Alternativele analizate

Se compară cinci alternative: A0, situația de referință (h = 150 s); A1, grafic optimizat și coordonat cu transportul de suprafață (h = 135 s, P = 1000 pers); A2, mentenanță predictivă a echipamentelor critice (scări rulante, ventilație, aparate de cale, semnalizare), cu disponibilitate de 99,1%; A3, modernizarea infrastructurii printr-o scară fixă suplimentară de 2,4 m între peron și vestibul (W = 14,91 m în S3); A4, pachet integrat: comandă-control cu h = 120

s, mentenanţă predictivă, management al fluxurilor (P = 950 pers), informare şi exerciţii care reduc t_0 cu 15 s, lărgirea căilor cu 1,2 m (W = 13,71 m în S3) şi ghidaj care creşte debitul cu 5%.

Matricea de decizie este dată în tabelul 7. Timpul C2 rezultă din model (ecuaţia 5, scenariul S3); ceilalţi parametri sunt estimări de inginerie, introduse ca ipoteze de lucru, care se înlocuiesc cu date de exploatare reale. Pentru o aplicare reală, disponibilitatea (C3) se calculează din registrele de defecte, ca A = MTBF/(MTBF + MTTR) [26], regularitatea (C4) din înregistrările sistemului de comandă-control, consumul specific (C5) din contorizarea energiei de tracțiune, iar costurile (C6) din devizele soluțiilor, anualizate pe durata de viață.

Tabelul 7. Matricea de decizie şi conformitatea normativă (scenariul S3)

Alt.	C1, pers/h	C2, s	C3, %	C4, %	C5	C6	T_p / T_s, s; conform
A0	24 000	253	98,2	94,0	8,0	0,0	147 / 253; da
A1	26 667	244	98,4	96,5	7,6	0,8	138 / 244; da
A2	24 000	253	99,1	95,0	8,0	1,2	147 / 253; da
A3	24 000	237	98,4	94,0	8,1	3,5	131 / 237; da
A4	30 000	212	99,2	97,5	7,4	4,0	107 / 212; da

4.2. Validarea normativă

Validarea se aplică înaintea clasificării. Alternativa este acceptată numai dacă în scenariul de proiectare S3 respectă simultan $T_p \leq 240$ s şi $T_s \leq 360$ s. Cu lăţimile reale ale căilor şi locul sigur la nivelul vestibulului, toate cele cinci alternative sunt conforme: situaţia de referinţă A0 şi A2 (147 s / 253 s), A1 (138 s / 244 s), A3 (131 s / 237 s) şi A4 (107 s / 212 s), cu rezerve de 39–56% la T_p şi 30–41% la T_s. Filtrul normativ nu elimină nicio alternativă, iar diferenţele dintre soluţii privind evacuarea devin secundare faţă de capacitate, disponibilitate şi cost.

Rezervele contează din cauza incertitudinii modelului hidraulic discutate în subcapitolul 1.1 [7]: dacă timpul total ar fi subestimat cu circa 17% (diferența dintre calculul NFPA 130 și valorile SFPE în exemplul citat), A0 ar ajunge la circa 296 s şi ar rămâne sub pragul de 360 s, la fel ca toate celelalte alternative; în schimb, scenariul de stres S4 ar ajunge la circa 383 s. Testul este orientativ, dar arată că verificarea prin simulare este necesară mai ales pentru scenariul de urgență și pentru ipoteza privind poziția locului sigur.

4.3. Clasificarea multicriterială prin TOPSIS

Matricea de decizie X = [x_{ij}] se normalizează vectorial, se ponderează cu w_j din tabelul 3 şi se determină distanţele faţă de soluţia ideală (D_i^+) şi anti-ideală (D_i^-) [22]:

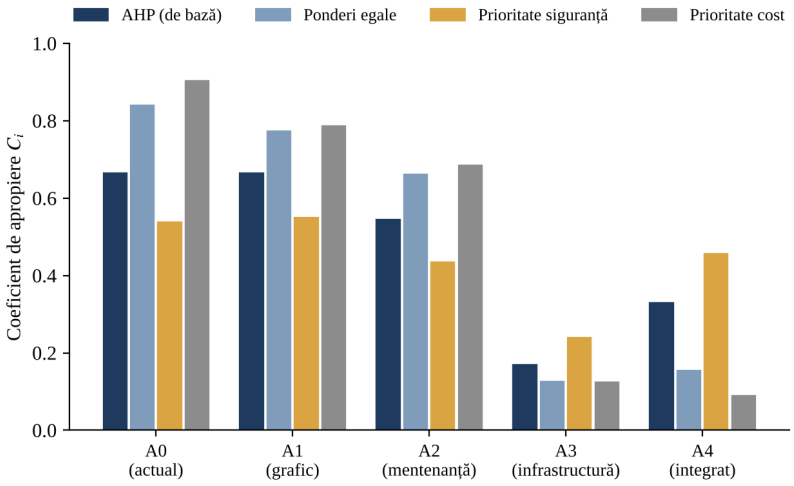
$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \tag{6}$$

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \tag{7}$$

unde: r_{ij} = valoarea normalizată a alternativei i pentru parametrul j; m = numărul de alternative; $C_i \in [0,1]$ = coeficientul de apropiere de soluţia ideală.

Filtrul normativ nu elimină nicio alternativă, astfel încât clasamentul cu ponderile AHP este şi cel final: A1 (0,668), A0 (0,668), A2 (0,547), A4 (0,332), A3 (0,173) (figura 6). Situaţia de referinţă şi graficul optimizat sunt practic la egalitate pe primele locuri, iar soluţiile cu investiţii în infrastructură (A3, A4) se clasează ultimele, deoarece reducerea timpului de evacuare nu compensează costul suplimentar. Clasamentul depinde de ponderi: cu prioritate pentru capacitate, A1 ocupă primul loc (0,609), iar A4 urcă pe locul al treilea (0,462); A4 nu ocupă primul loc pentru niciunul dintre cele cinci seturi testate. Seturile de ponderi testate sunt: ponderile AHP, ponderi egale şi trei seturi cu prioritate pentru capacitate (w_1 = 0,40), siguranţă (w_2 = 0,55), respectiv cost (w_6 = 0,35), în care ceilalţi parametri păstrează proporţiile din AHP.

Eliminarea alternativelor neconforme modifică normalizarea vectorială şi, în principiu, poate inversa ordinea alternativelor rămase [25]. În cazul de faţă filtrul nu elimină nicio alternativă, deci problema inversării clasamentului nu apare; ea trebuie însă verificată dacă setul de alternative se modifică (de exemplu, dacă locul sigur se mută la suprafaţă şi unele alternative devin neconforme).



Toate alternativele sunt conforme cu criteriul normativ (scenariul S3, loc sigur la vestibul)

Figura 6. Coeficientul de apropiere C_i pentru patru seturi de ponderi (toate alternativele sunt conforme)

5. PROPUNERI DE OPTIMIZARE A EXPLOATĂRII ȘI ÎNTREȚINERII

Rezultatele conduc la un pachet de măsuri în care fiecare componentă are rol distinct:

- **Graficul de circulație**: reducerea intervalului numai în limita în care T_p și T_s rămân conforme în scenariul S3, cu coordonarea orarelor de suprafață (autobuze, tramvaie) pentru atenuarea vârfurilor de sosire la stație. Practic, după fiecare modificare a intervalului se recalculează încărcarea de vârf a peronului și se compară cu P_{max} din relația (8) și din figura 5.

- **Mentenanța predictivă**: monitorizarea continuă a stării scărilor rulante, a ventilației, a aparatelor de cale și a semnalizării (curenți de motor, vibrații, temperaturi, numărul de manevre), prioritizarea echipamentelor prin analiza FMECA și urmărirea indicatorilor MTBF și MTTR; ținta este reducerea indisponibilității scărilor rulante, care determină direct scenariul S3. Mentenanța nu modifică verificarea normativă, care presupune oricum o scară rulantă scoasă din uz, dar reduce durata în care stația funcționează efectiv în configurația S3: pentru două scări rulante cu defectări independente, probabilitatea ca cel puțin una să fie indisponibilă este $1 - A^2$; cu valori ilustrative MTBF = 2000 h, reducerea MTTR de la 40 h la 8 h crește disponibilitatea de la 98,0% la 99,6% și reduce această probabilitate de la circa 3,9% la circa 0,8% [26,27].

- **Infrastructura de evacuare**: pentru stația analizată, lățimea căilor peron–vestibul asigură rezerve mari, astfel încât investițiile se orientează spre

stațiile cu rezerve sub 10% și spre verificarea traseului până la locul sigur (lungimea parcursului în vestibul, porțile de control, ieșirile la suprafață; măsurile care permit tratarea vestibulului ca loc sigur, respectiv compartimentarea față de peron și controlul fumului); stațiile adânci se reevaluează cu metode care iau în calcul oboseala pasagerilor [6], iar cele cu rezerve sub 10% se verifică prin simulare pietonală [7].

- **Măsuri organizatorice**: informare vocală și vizuală, instruirea personalului și exerciții periodice pentru reducerea timpului de pre-mișcare; limitarea fluxurilor către stațiile critice prin dirijarea accesului, cu un prag de declanșare stabilit din diagrama de lucru (de exemplu, 90% din P_{max}). Avertizarea informativă și intervenția personalului instruit au efect direct asupra timpului de pre-mișcare [14,15].

- **Monitorizare și revalidare**: includerea indicatorilor C1–C6 într-un tablou de bord și repetarea validării normative după fiecare modificare a graficului, a geometriei stației sau a materialului rulant.

Pentru aplicarea pe stațiile reale ale unei rețele se propune procedura din tabelul 8, în care fiecare pas are precizate datele necesare și sursa lor. Procedura se aplică întâi stațiilor cu cele mai mari încărcări de vârf și cu cea mai mare diferență de nivel, unde rezervele sunt cele mai mici.

Tabelul 8. Procedura de aplicare a metodei pe o stație reală

Pas	Activitate	Date necesare și sursa lor	Rezultat
1	Încărcarea de calcul a peronului	Numărători automate, validări, gradul de ocupare al trenurilor în ora de vârf; ca înfășurătoare, metoda densității [5]	P pentru scenariile S1–S4
2	Inventarierea căilor de evacuare	Releveu: lățimi utile, H, L; scări rulante (oprire de la distanță, utilizare ca scări fixe)	W, H, L; scara rulantă cea mai defavorabilă
3	Timpul de pre-mișcare	Tipul sistemului de alarmare, procedura dispeceratului, exerciții cronometrate [14,15]	t_0 pentru fiecare scenariu
4	Calculul T_p, T_s și al pragurilor	Ecuațiile (4), (5), (8); ipotezele din ediția aplicată a NFPA 130 [4]	Conformitate, rezerve, P_{max}, diagrama de lucru
5	Verificarea prin simulare	Cazurile cu rezerve sub 10%; model pietonal calibrat [7,13]	Confirmarea sau corectarea timpilor
6	Ponderile AHP	Grup de experți; agregare AIJ; CR ≤ 0,10 [24]	Vectorul de ponderi w
7	Matricea de decizie și TOPSIS	Registre de defecte (MTBF, MTTR), date de comandă-control, contorizarea energiei, devize [26]	Clasamentul soluțiilor conforme
8	Revalidare	După modificări de grafic, de geometrie a stației sau de material rulant	Tablou de bord C1–C6

6. CONCLUZII

Lucrarea a propus şi a exemplificat o abordare multicriterială în care parametrii sunt definiţi explicit, ponderile rezultă din AHP cu verificarea consistenţei, iar validarea normativă precede clasificarea. Aplicată staţiei Piaţa Unirii 1, cu lăţimile căilor de evacuare preluate din releveele nivelurilor −2 şi −1 (W = 14,02 m; 12,51 m cu o scară rulantă scoasă din uz) şi cu locul sigur la nivelul vestibulului (L ≈ 48 m, H = 6 m), metoda arată că staţia respectă ambele criterii în toate scenariile: timpul până la loc sigur creşte de la 194 s în regim normal la 253 s în S3 şi la 327 s în S4. Pentru P, W şi t_0 guvernează criteriul de 4 minute, cu pragurile $P_{max} \approx 2100$ pers, $W_{min} \approx 6{,}56$ m şi $t_{0,max} \approx 138$ s; parcursul pe peron poate ajunge la circa 115 m. Filtrul normativ nu elimină nicio alternativă, iar clasificarea TOPSIS favorizează soluţiile fără investiţii în infrastructură. Concluzia este condiţionată de admisibilitatea vestibulului ca loc sigur, care trebuie demonstrată prin scenariul de securitate la incendiu; dacă locul sigur este la suprafaţă, parcursul de până la circa 125 m în vestibul trebuie adăugat.

Limitele studiului sunt: încărcările peronului P şi ceilalţi parametri ai matricei de decizie (C1, C3–C6) sunt ipoteze de lucru, modelul de evacuare este determinist şi simplificat, iar matricea AHP este ilustrativă. Lăţimile căilor provin din releveu, iar lungimile au fost măsurate grafic (precizie estimată ±5%); releveele nu conţin cote de nivel, astfel încât H este o ipoteză, iar lăţimile utile ale scărilor rulante se verifică faţă de fişele tehnice ale echipamentelor. Tratarea vestibulului ca loc sigur este o ipoteză care trebuie confirmată. Dezvoltările următoare vizează calibrarea cu date de exploatare reale (numărători de călători, cote de nivel din secţiunile staţiei), completarea cu simulări ale fluxurilor pietonale şi analiza de sensibilitate prin metode probabilistice. De asemenea, corespondenţa dintre pragurile NFPA 130 şi prevederile P 118/1-2025 aplicabile staţiilor subterane trebuie stabilită pentru fiecare obiectiv, iar soluţiile aflate sub rezerva de 10% trebuie verificate prin simulare [7].

BIBLIOGRAFIE

[1]. V.R. VUCHIC: „*Urban Transit: Operations, Planning and Economics*”, John Wiley & Sons, Hoboken, **2005**.

[2]. D. FENNELL: „*Investigation into the King’s Cross Underground Fire*”, Department of Transport, HMSO, Londra, **1988**.

[3]. K. FRIDOLF, D. NILSSON, H. FRANTZICH: „*Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research*”, Fire Technology, vol. **49**, nr. 2, p. **451–475**, DOI 10.1007/s10694-011-0217-x, **2013**.

[4]. NFPA: „*NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*”, National Fire Protection Association, Quincy (MA), ediția **2026**.

[5]. SINGAPORE CIVIL DEFENCE FORCE: „*Code of Practice for Fire Precautions in Rapid Transit Systems (CPFPRTS)*”, ediția 2022, capitolul 2 „Station Means of Escape”, clauza 2.2 „Determination of Exit Requirements”, Singapore, **2022**.

[6]. H.T. LANDOW: „*Safe Egress from Deep Stations: Flawed Criteria in NFPA 130*”, Transportation Research Forum, disponibil în AgEcon Search, ageconsearch.umn.edu/record/207944, **2006**.

[7]. THUNDERHEAD ENGINEERING: „*Comparing NFPA 130, SFPE, and Pathfinder*”, Pathfinder Documentation, versiunea 2026-1, document online, thunderheadeng.com.

[8]. PARLAMENTUL EUROPEAN ȘI CONSILIUL: „*Directiva (UE) 2016/797 privind interoperabilitatea sistemului feroviar în Uniunea Europeană*”, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 138, art. 1 alin. (3), **2016**.

[9]. COMISIA EUROPEANĂ: „*Regulamentul (UE) nr. 1303/2014 privind specificația tehnică de interoperabilitate referitoare la «siguranța în tunelurile feroviare» a sistemului feroviar al Uniunii Europene*”, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 356, modificat prin Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2019/776, **2014**.

[10]. „*Legea nr. 307/2006 privind apărarea împotriva incendiilor*”, republicată, cu modificările și completările ulterioare, Monitorul Oficial al României, București.

[11]. MDLPA: „*Normativ privind securitatea la incendiu a construcțiilor, indicativ P 118/1-2025*”, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 267/28.02.2025, Monitorul Oficial al României, Partea I, **2025**.

[12]. S.M.V. GWYNNE, E.R. ROSENBAUM: „*Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement*”, în: M.J. HURLEY (ed.), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, ediția a 5-a, Springer, New York, **2016**.

[13]. A. SEYFRIED, O. PASSON, B. STEFFEN, M. BOLTES, T. RUPPRECHT, W. KLINGSCH: „*New Insights into Pedestrian Flow Through Bottlenecks*”, Transportation Science, vol. **43**, nr. 3, p. **395–406**, DOI 10.1287/trsc.1090.0263, **2009**.

[14]. BSI: „*PD 7974-6:2019, Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 6: Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*”, British Standards Institution, Londra, **2019**.

[15]. D.A. PURSER, M. BENSILUM: „*Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations*”, Safety Science, vol. **38**, nr. 2, p. **157–182**, **2001**.

[16]. KITTELSON & ASSOCIATES et al.: „*Transit Capacity and Quality of Service Manual*”, ediția a 3-a, TCRP Report 165, Transportation Research Board, Washington DC, **2013**.

[17]. J.J. FRUIN: „*Pedestrian Planning and Design*”, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, **1971**.

[18]. T.L. SAATY: „*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*”, McGraw-Hill, New York, **1980**.

[19]. T.L. SAATY: „*A scaling method for priorities in hierarchical structures*”, Journal of Mathematical Psychology, vol. **15**, nr. 3, p. **234–281**, **1977**.

[20]. T.L. SAATY: „*How to make a decision: The analytic hierarchy process*”, European Journal of Operational Research, vol. **48**, nr. 1, p. **9–26**, **1990**.

[21]. T.L. SAATY: „*Decision making with the analytic hierarchy process*”, International Journal of Services Sciences, vol. **1**, nr. 1, p. **83–98**, **2008**.

[22]. C.L. HWANG, K. YOON: „*Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*”, Springer, Berlin, **1981**.

[23]. M. BEHZADIAN, S.K. OTAGHSARA, M. YAZDANI, J. IGNATIUS: „*A state-of the-art survey of TOPSIS applications*”, Expert Systems with Applications, vol. **39**, nr. 17, p. **13051–13069**, **2012**.

[24]. E. FORMAN, K. PENIWATI: „*Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process*”, European Journal of Operational Research, vol. **108**, nr. 1, p. **165–169**, **1998**.

[25]. M.S. GARCÍA-CASCALES, M.T. LAMATA: „*On rank reversal and TOPSIS method*”, Mathematical and Computer Modelling, vol. **56**, nr. 5–6, p. **123–132**, **2012**.

[26]. CENELEC: „*SR EN 50126-1:2017, Aplicații feroviare. Specificarea și demonstrarea fiabilității, disponibilității, mentenabilității și siguranței (RAMS). Partea 1: Proces RAMS generic*”, Bruxelles, **2017**.

[27]. N. DAVARI, B. VELOSO, G.A. COSTA, P.M. PEREIRA, R.P. RIBEIRO, J. GAMA: „*A Survey on Data-Driven Predictive Maintenance for the Railway Industry*”, Sensors, vol. **21**, nr. 17, art. 5739, DOI 10.3390/s21175739, **2021**.

[28]. CENELEC: „*EN 50129:2018, Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling*”, Bruxelles, **2018**.

[29]. IEC: „*IEC 62290-1:2014, Railway applications. Urban guided transport management and command/control systems. Part 1: System principles and fundamental concepts*”, Geneva, **2014**.

[30]. CEN: „*SR EN 13816:2003, Transport. Logistică și servicii. Transport public de călători. Definirea, obiectivele și măsurarea calității serviciului*”, Bruxelles, **2002**.

[31]. A. GONZÁLEZ-GIL, R. PALACIN, P. BATTY, J.P. POWELL: „*A systems approach to reduce urban rail energy consumption*”, Energy Conversion and Management, vol. **80**, p. **509–524**, **2014**.

[32]. J.A. ALONSO, M.T. LAMATA: „*Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach*”, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, vol. **14**, nr. 4, p. **445–459**, **2006**.

[33]. METROREX S.A.: „*Documentație tehnică internă. Releveul stației Piața Unirii 1, nivelul −1 (vestibul) și nivelul −2 (peron)*”, document intern, București.

BETOANE DRENANTE UTILIZATE ÎN INFRASTRUCTURA RUTIERĂ

Amăreanu Marin, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mirel.amareanu@gmail.com
Mazilu Claudiu Octavian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: claudiumazilu@yahoo.com

Rezumat

Lucrarea se concentrează pe studii privind proiectarea și obținerea unor betoane cu proprietăți drenante și fizico-mecanice performante. Rezistențele mecanice nu sunt cerința principală impusă betonului drenant, dar durabilitatea oferită în anumite condiții de mediu, coroborată cu funcția de drenare dată de structura macroporoasă, pot conduce la considerarea betonului ca fiind unul performant. Pentru prepararea betonului s-au adus modificări compoziționale matricei liante prin introducere de polimeri, iar calculul compozitional a pornit de la valoarea volumului intergranular al agregatului utilizat.

Betonul poros, obținut în acest mod, are proprietăți cheie – de drenare și aderență internă matrice liantă – agregat, conform cărora se obține un echilibru între permeabilitate și rezistență structurală, echilibru ce reprezintă un factor important pentru ca acest beton să poată fi utilizat atât la realizarea infrastructurii rutiere cât și în procese de reparație.

Cuvinte cheie: beton drenant, compoziție, infrastructură

Abstract

This work focuses on the design and production of concrete with high-performance drainage and physico-mechanical properties. While mechanical strength is not the primary requirement for pervious concrete, its durability under specific environmental conditions—combined with the drainage function provided by its macroporous structure—allows it to be classified as a high-performance material. To prepare the concrete, the binder matrix was modified through the incorporation of polymers, with the mix design based on the intergranular volume of the aggregates used.

The resulting porous concrete exhibits key properties—specifically regarding drainage and the internal bond between the binder matrix and the aggregates—that achieve a balance between permeability and structural strength. This balance is a crucial factor enabling the use of this concrete both in the construction of road infrastructure and in repair applications.

Keywords: pervious concrete, composition, infrastructure

1. INTRODUCERE

Este esențial ca betonul să reziste, în condițiile pentru care a fost proiectat, o perioadă îndelungată de timp, fără ca el să se deterioreze. Un beton care îndeplinește această condiție este durabil [1].

Rezistența teoretică, intrinsecă a pietrei de ciment, practic, nu poate fi atinsă, în principal, datorită porozității și microfisurilor existente – punctele cele mai vulnerabile de la care se propagă fisurarea în condițiile aplicării unei sarcini exterioare.

Un tip special de beton cu o porozitate ridicată, obținut prin eliminarea aproape completă a unui sort din amestec, îl reprezintă betonul drenant cunoscut și sub numele de beton macroporos. Porozitatea ridicată (între 15–30% vol.) creează o rețea de goluri interconectate care drenează apa în sol, debitul de apă putând să ajungă la valori foarte mari, cca. 720 litri pe minut pe metru pătrat [2]. Din cauza structurii poroase, rezistența la compresiune a betonului drenant este mult mai mică decât cea a betonului standard, variind în general între 3,5 și 20 MPa [3]. Din acest motiv, nu poate fi utilizat pentru elemente structurale sau drumuri cu trafic greu, dar se poate folosi pentru intersecții, parcări auto, alei pietonale, trotuare, piste de biciclete, căi de acces etc. (figura 1).



Figura 1. Exemple de utilizări ale betonului drenant, [4].

În Statele Unite, betonul drenant este utilizat de peste treizeci de ani. Agenția pentru Protecția Mediului din SUA (EPA) consideră betonul drenant drept cea mai bună soluție de gestionare urbană, având un impact pozitiv asupra controlului poluării apei și a gestionării apelor pluviale [5,6]; dezvoltatorii imobiliari utilizează betonul drenant, realizând astfel economii prin evitarea

costurilor suplimentare asociate construcţiei bazinelor de retenţie şi a sistemelor complexe de drenaj.

În Europa, utilizarea betonului drenant este redusă. Materiile prime folosite în SUA şi în ţările europene pentru prepararea betoanelor drenante sunt aceleaşi ca şi în cazul betonului convenţional, cu excepţia faptului că agregatul fin este, în general, complet eliminat, iar distribuţia granulometrică a agregatului mare este menţinută în limite restrânse pentru a limita efectul de „împachetare” a particulelor mici [7].

Cercetările în prezenta lucrare prevăd modelarea compoziţiei betonului şi structurii acestuia în scopul creşterii răspunsului betonului drenant la solicitările complexe chimice şi fizico-mecanice şi a păstrării funcţionalităţii. Astfel se aduc modificări matricei liante, în vederea îmbunătăţirii proprietăţilor de întărire şi diminuării porozităţii sale, prin utilizarea unui liant complex anorganic (ciment Portland) şi organic (compus macromolecular) cu rol de umplere a porilor cu polimeri cât şi de plastifiant [1]. De asemenea, s-a urmărit *optimizarea dimensiunilor agregatului* pentru reglarea dimensiunii porilor şi a fracţiei de pori interconectaţi astfel încât să favorizeze funcţia de drenare [8]. Componentul organic contribuie la îmbunătăţirea aderenţei dintre piatra de ciment şi agregat precum şi dintre particulele de ciment.

Betonul poros astfel obţinut – caracterizat prin proprietăţi cheie precum drenajul coroborat cu timpii reduşi de priză şi întărire, permit utilizarea directă în execuţia infrastructurii rutiere sau în lucrări de reparaţii – trebuie să asigure o calitate a produsului finit (betonul întărit) conformă cu standardele EN 13369 şi SR EN 206-9.

În ţara noastră, aceste tipuri de beton sunt puţin utilizate iar tehnologia lor de obţinere incomplet studiată.

2. OBIECTIVE. CONDIŢII ŞI PROCEDURI EXPERIMENTALE

2.1. Obiective

Obiectivul principal al lucrării a constat în proiectarea compoziţională, realizarea şi validarea, în condiţii de laborator, a unui beton drenant, precum şi stabilirea tehnologiei adecvate de execuţie.

Se urmăreşte evaluarea impactului – atât din perspectivă socială (siguranţă şi confort în trafic datorită drenării apei de pe carosabil), cât şi economică (reducerea costurilor de producţie a betonului prin metode corecte şi eficiente de

proiectare, care implică o abordare unitară şi holistică a proceselor de fabricaţie şi prelucrare pentru a-i spori durabilitatea şi a reduce consumul de materiale naturale, precum cimentul şi agregatele naturale).

2.2. Condiţii şi proceduri experimentale

Materialele componente ale betoanelor studiate sunt: liantul mineral, liantul organic (polimerul), apa de amestecare, agregatele. Liantul mineral care s-a folosit este cimentul CEM II/B-LL 32,5R fabricat în România de Holcim, pentru betoane armate şi nearmate cu decofrare rapidă (24 ore). O serie de caracteristici fizico-chimice sunt prezentate în tabelul 1 [5].

Tabelul 1. Caracteristicile fizico-chimice ale cimentului utilizat

Caracteristici		Valoare	Conform
Compoziție	Clincher, K (% masice)	65 ÷ 79	SR EN 413-1:2011
	Calcar, LL (%)	21 ÷ 35	
	Aditivi (%)	0 ÷ 5	
Caracteristici fizico-chimice	Conţinut sulfaţi (sub formă de SO_3, %)	≤ 3,5	
	Conţinut de cloruri (%)	≤ 3,5	
	Conţinut de crom hexavalent (%)	≤ 0,0002	
Caracteristici fizico-mecanice	Timp de priză iniţial (min.)	≥ 75	
	Stabilitate (mm)	≤ 3	
	Rezistenţă compresiune la 7 zile (MPa)	≥ 14	
	Rezistenţă compresiune, 28 zile (MPa)	≥ 35; ≤ 52,5	

În scopul proiectării compoziţionale s-a propus în lucrare o metodă de calcul pornind de la volumul de goluri (V_{ig}) din agregatul ales (agregat din care au fost excluse sorturile mici 0/4 – sorturi ce intră în realizarea matricei liante în combinaţie cu pasta de ciment şi pentru care s-a considerat un raport: agregat 0/4 (N = nisip)/ ciment (C) = 3, şi sortul 4/8 – sort neutilizat pentru a mări porozitatea betonului rezultat) şi de la porozitatea impusă betonului drenant. S-a ales raportul A/C, procentul de aditiv, respectiv polimer faţă de ciment. Pe betoanele obţinute s-au făcut studii experimentale privitoare la activitatea sistemului liant complex – apă, în vederea evidenţierii disponibilităţii lor de a dezvolta structuri de întărire rezistente – evaluate prin determinări de rezistenţă mecanică.

S-au realizat 4 compoziţii de beton drenant, prezentate în tabelul 2, ţinând cont de faptul că V_{ig}= 45%, agregat 8/16= 55%, aditiv plastifiant= 0,01C, porozitate impusă betonului, P = 20%.

Tabelul 2. Compoziţie beton drenant

Nr. beton drenant	**1**	**2**	**3**	**4**
Compoziţie	martor	cu 10% ciment suplimentar faţă de martor	cu răşină epoxidică (RE) în plus faţă de martor	cu 10% ciment şi răşină epoxidică în plus faţă de martor

Procentul de răşină epoxidică din beton s-a stabilit pe baza rezultatelor obţinute la încercările mecanice realizate pe mortare de compoziţia matricei liante folosind procente diferite de răşină.

Încercări fizico – mecanice : Volumul intergranular al agregatului 8/16 s-a determinat prin metoda dezlocuirii cu lichid inert (apa) şi vase de capacitate cunoscută. Rezistenţa la compresiune după 28 zile de întărire s-a făcut conform SR EN 12390-3, pe probe cubice cu latura de 100 mm. Probele au fost menţinute în aer până la termenul de încercare.

Determinare volum apă ce trece prin beton: S-a utilizat un dispozitiv improvizat care permite măsurarea timpului de scurgere a unui litru de apă prin probele de beton cu grosimea de 10 cm, figura 2.



Figura 2. Dispozitiv improvizat pentru măsurarea timpului de scurgere a apei prin beton.

Suprafaţa de scurgere a fost de 6x6 cm^2 iar rezultatele finale s-au exprimat în litri apă scursă pe minut pe m^2.

3. REZULTATE ŞI INTERPRETĂRI

3.1. Rezultate experimentale

Pentru o evaluare a rezistenţelor mecanice ale mortarelor cu aceeaşi compoziţie cu a matricei liante din betoanele drenante realizate, s-au confecţionat următoarele compoziţii care au fost testate la compresiune şi încovoiere, prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3. Mortare cu răşina epoxidică (RE)

Caracteristici / Mortare cu N/C = 3	+0% RE	+2% RE	+4% RE	+6% RE
Rezistența la încovoiere, MPa	7,8	8,1	9,0	9,1
Rezistența la compresiune, MPa	45,1	48,7	51,5	49,3

Se observă, în general, o îmbunătăţire a proprietăţilor cu creşterea procentului de răşină epoxidică din mortare, procentul de 2% RE fiind ales a fi folosit în betoanele drenante şi datorită preţului de cost ridicat pe care răşina epoxidică îl are.

Astfel, în cadrul lucrării, au fost testate şi validate în laborator modele de betoane drenante (numerotate 1, 2, 3 şi 4, vezi tabel 2), precum şi o posibilă tehnologie aferentă acestui proces de execuţie. Rezultatele obţinute sunt prezentate în tabelele 4, 5 şi 6.

Imagini ale determinărilor şi epruvetelor obţinute pentru încercările pe beton întărit sunt prezentate în figura 3.

Tabelul 4. Caracteristici ale betoanelor drenante în stare proaspătă

Caracteristici / Betoane drenante	1	2	3	4
Tasare, mm	155	150	170	165
Răspândire, mm	555	535	505	560

Tabelul 5. Valori ale rezistenţelor la compresiune pentru betoanele studiate

Caracteristici / Betoane drenante	1	2	3	4
Densitate aparentă la 28 zile, Kg/m^3	1837	1839	1841	1873
Rezistență la compresiune la 28 zile, MPa	11,35	15,75	14,00	15,30

Tabelul 6. Valori volume apă trecute prin unitatea de suprafaţă în unitatea de timp, prin betoanele studiate

Caracteristici drenare / Betoane drenante	1	2	3	4
Timp scurgere măsurat, sec.	7,44	12,33	8,74	16,41
Litri apă /min. /m^2	2240,3	1351,8	1907,1	1015,7



a) răspândire



b) tasare



c) epruvete beton drenant



d) drenaj apă

Figura 3. Imagini cu determinările de răspândire (a), tasare (b), drenaj (d) și epruvetele (c) obținute pentru încercările pe beton întărit.

3.2. Interpretarea rezultatelor

Se poate constata faptul că matricea de liant complex dezvoltă rezistențele mecanice necesare asigurării calității produsului finit (beton întărit) în conformitate cu standardele în vigoare. Componentul organic are rol de agent de îmbunătățire a aderenței, contribuind la coeziunea internă a materialului, aderența fiind optimizată atât între matricea liantă şi agregat, dar şi între particulele de ciment între ele, respectiv ciment – agregat fin din matricea liantă.

Rezultatele arată o creștere a rezistențelor mecanice față de martor odată cu sporirea dozajului de ciment și/sau cu adăugarea de rășină epoxidică, acest lucru fiind în strânsă corelare cu porozitatea și capacitatea de a drena apa a betoanelor.

Volumul intergranular al agregatului utilizat este un parametru esențial pentru proiectarea compoziţională a betonului drenant în vederea controlării porozităţii materialului, atât ca mărime a porilor, cât şi ca proporţie a porilor interconectaţi, pentru a îmbunătăţi capacitatea de drenare a materialului, ceea ce sugerează un obiectiv funcţional clar: facilitarea evacuării apei.

Metoda de calcul pentru stabilirea compoziţiei poate fi validată de către rezultatele obţinute deoarece materialul proiectat este capabil să combine o porozitate favorabilă drenajului cu o aderenţă internă matrice liantă – agregat îmbunătăţită, obţinându-se un echilibru între permeabilitate şi rezistenţă structurală.

4. CONCLUZII

Betonul obținut în prezenta lucrare este un material cu porozitate controlată și cu o structură internă mai stabilă, datorită modificărilor compoziționale aduse.

Lucrarea prezintă importanță deosebită prin obținerea unor structuri poroase active – precum și prin noile tehnologii de obținere și punere în operă. Se propune modificarea compoziției și a modului de prelucrare a betonului tradițional, obținându-se astfel materiale compozite noi, cu proprietăți adecvate domeniului vizat (infrastructura rutieră). Betoanele obținute astfel asigură drenarea apei de pe calea de rulare, contribuind la îmbunătățirea circulației rutiere pe timp de ploaie (în special în condițiile climatice actuale, caracterizate prin alternanța perioadelor de secetă prelungită cu cele de ploi torențiale). Betoanele utilizate în infrastructura rutieră, sub formă de strat de uzură al îmbrăcăminții, contribuie – prin efectul de drenare a apei – la curățarea și protejarea solului și a resurselor de apă din zonele adiacente. Îmbrăcămințile realizate din aceste tipuri de beton permit operațiuni de întreținere facile; betonul degradat, recuperat din calea de rulare prin frezare, poate fi reutilizat ca agregat pentru prepararea unor betoane noi, asigurându-se astfel o protecție eficientă a mediului.

Se propun îmbunătăţiri ale matricei liante prin modificări aduse cimentului (fie de compoziţie, fie privind suprafaţa specifică), cu scopul de a reduce substanţial timpii de priză şi întărire; astfel, elementele rutiere realizate (sau reparate) cu aceste betoane pot fi date rapid în exploatare, asigurându-se totodată proprietăţi optime ale liantului pentru a garanta durabilitatea betonului.

Principalii beneficiari ai rezultatelor proiectului sunt stațiile de betoane capabile să producă acest tip de material. În țara noastră, aceste tipuri de beton sunt puțin utilizate, tehnologia lor de obținere nu este mult studiată; validarea în laborator a acestui tip de beton și a tehnologiei de obținere a acestuia contribuie la creșterea nivelului de dezvoltare tehnologică la scară națională.

BIBLIOGRAFIE

[1]. M. AMAREANU: „*Concretes with mineral binders and macromolecular compounds*”, Romanian Journal of Materials, 40 (3), 149–152, **2010**.

[2]. O. ALSHAREEDAH, S. NASSIRI: „*Pervious concrete mixture optimization, physical and mechanical properties and pavement design: A review*”, Journal of Cleaner Production, vol.288, articol 125095, **2021**, DOI 10.1016/j.jclepro.2020.125095

[3]. M. ADRESI, A. YAMANI, M. TABARESTANI, H. ROOHOLAMINI: „*A comprehensive review on pervious concrete*”, Construction and Building Materials, vol.407, articol 133308, **2023**, DOI 10.1016/j.conbuildmat.2023.133308

[4]. http://www.magrudercs.com/whatispervious.html

[5]. https://www.holcim.ro/sites/romania/files/2022-12/41-dop-cem-ii-b-ll-32.5r-noul-structo-cp_nov-22_v3.pdf

[6]. M. BURY, C. MAWBY: „*Pervious concrete mixes: the right ingredients and proportions are critical to success*”, Concrete Construction, 51(4), 37–40, **2006**

[7]. „*Pervious Concrete – When It Rains, It Drains*”, Concrete Management Solutions, **2010**, http://www.perviousconsulting.com/1.html, accesat 25.05.2019.

[8]. http://www.torromeo.com/Services/Mix-Design-and-Materials.html

SOLUȚII INGINEREȘTI INTEGRATE PENTRU INFRASTRUCTURA MODERNĂ: STRUCTURI METALICE, PODURI PREFABRICATE, SISTEME GEOTEHNICE ȘI MANAGEMENTUL APELOR

Andronic Cosmin, Ing., ViaCon România SRL, e-mail: office@viacon.ro

Rezumat

Articolul sintetizează principalele familii de produse și soluții tehnice prezentate de ViaCon România în publicații de specialitate din perioada 2024–2026. Sunt analizate structurile flexibile din oțel ondulat HelCor, HelCor PipeArch și ViaPlate, arcele prefabricate din beton armat CON/SPAN, podurile modulare ACROW, soluțiile geotehnice bazate pe geosintetice, gabioane și sisteme de sprijin, precum și conductele și sistemele pentru gestionarea apelor pluviale. Accentul este pus pe principiul structural, condițiile de punere în operă, limitele utilizării și aplicațiile reprezentative. Două studii de caz evidențiază reabilitarea unui pod din zidărie prin relining și intubarea unui curs de apă cu două structuri ovoidale. Sinteza diferențiază caracteristicile declarate în materialele companiei de verificările care trebuie realizate pentru fiecare amplasament. Se urmărește evidențierea unor criterii obiective de alegere a soluțiilor, din perspectiva siguranței structurale, eficienței execuției, întreținerii și integrării în infrastructura existentă.

Cuvinte cheie: structuri flexibile din oțel ondulat, arce prefabricate din beton armat, poduri modulare, geosintetice, gestionarea apelor pluviale, relining

Abstract

This review brings together the main ViaCon infrastructure solutions described in specialist articles published between 2024 and 2026. It examines corrugated steel structures, precast concrete arches, modular steel bridges, geotechnical systems and stormwater management products. Technical principles, installation requirements, design-dependent limitations and representative applications are discussed. Case studies cover masonry bridge rehabilitation through relining and the enclosure of a watercourse using two parallel pipe-arch structures. The paper distinguishes product information from project-specific engineering verification.

Keywords: corrugated steel structures, precast concrete arches, modular bridges, geosynthetics, stormwater management, relining

1. INTRODUCERE. ABORDAREA INTEGRATĂ A INFRASTRUCTURII

Modernizarea rețelelor rutiere și feroviare presupune soluții adaptate simultan condițiilor geotehnice, hidraulice, structurale și tehnologice. Structurile de traversare, sprijinire și drenaj nu pot fi tratate separat de terasamente, de traseul infrastructurii și de modalitatea de realizare a lucrărilor. Alegerea unui produs trebuie fundamentată prin cerințe funcționale și verificări de proiect, nu exclusiv printr-o comparație de prețuri sau de durate declarate de montaj.

Portofoliul ViaCon România, descris în articolele de specialitate puse la dispoziție, cuprinde trei direcții majore: soluții pentru poduri și podețe, soluții geotehnice și sisteme de management al apelor. În interiorul acestor categorii se regăsesc atât structuri de rezistență – arce metalice, poduri modulare sau elemente prefabricate din beton –, cât și materiale complementare pentru consolidarea terenurilor, separarea straturilor, filtrare, drenaj și protecție antierozională.

Articolul de față este o sinteză editorială nouă, structurată pe familii constructive. Un produs este prezentat o singură dată, iar studiile de caz sunt utilizate numai pentru a ilustra comportamentul și criteriile de alegere. Valorile dimensionale citate sunt preluate din materialele furnizate și nu constituie, în absența unui calcul de proiect, limite generale pentru toate configurațiile comerciale.

1.1. Criterii generale de selectare

Tabelul 1. Criterii de selectare

Criteriu	Întrebarea de proiectare
Funcțional	Ce gabarit, debit sau capacitate de trafic trebuie asigurate?
Structural	Ce acțiuni, combinații, reazeme și condiții de teren există?
Constructiv	Ce spațiu de montaj, etapizare și compactare sunt posibile?
Durabilitate	Ce agresivitate a mediului și ce acces la inspecție există?
Economic	Care este costul pe ciclul de viață, nu doar prețul produsului?

În cazul structurilor îngropate, parametrul decisiv este adesea calitatea sistemului complet – structură, material de umplutură, compactare, drenaj și fundație – mai mult decât rezistența nominală a elementului livrat.

2. STRUCTURI FLEXIBILE DIN OȚEL ONDULAT

2.1. Principiul de funcţionare

Structurile flexibile din tablă de oţel ondulată sunt utilizate la podeţe, subtraversări, pasaje, canale acoperite şi lucrări de reabilitare. Spre deosebire de o structură masivă care preia singură o mare parte a solicitărilor, o structură flexibilă îngropată dezvoltă o interacţiune sol–structură. Sub acţiunea umpluturii şi a traficului, deformabilitatea controlată permite mobilizarea sprijinului lateral al materialului granular compactat.

Rigiditatea şi capacitatea portantă a ansamblului depind de geometria secţiunii, profilul de ondulaţie, grosimea şi calitatea oţelului, îmbinări, înălţimea de acoperire şi caracteristicile mecanice ale umpluturii. De aceea, grosimea tablei sau diametrul interior nu reprezintă singure o justificare a încărcării admisibile.

2.2. HelCor® – secţiuni circulare

HelCor reprezintă familia de conducte elicoidale din oţel ondulat, realizate prin profilarea la rece a tablei şi formarea unei secţiuni tubulare. Soluţia este asociată lucrărilor de evacuare şi tranzitare a apei, podeţelor sub drumuri, subtraversărilor şi, în configuraţii specifice, lucrărilor tehnologice de canalizare. Articolele ViaCon menţionează sisteme complete ce pot integra coturi, racorduri şi elemente de inspecţie.

Performanţa hidraulică se stabileşte utilizând geometria efectivă, rugozitatea corespunzătoare, panta hidraulică, regimul de curgere şi condiţiile de intrare şi ieşire. Calculul structural tratează distinct fazele de montaj, încărcările permanente şi acţiunile din exploatare. În proiect este esenţială definirea tehnologiei de realizare a patului de pozare şi a umpluturilor laterale.



Figura 1. Exemplu de structură HelCor şi amenajare a capetelor – imagine din materialele ViaCon.

2.3. HelCor PipeArch® – secţiuni aplatizate şi ovoidale

HelCor PipeArch utilizează o secţiune cu lăţime relativ mare faţă de înălţime, fiind adecvată situaţiilor în care cota disponibilă între radier şi linia roşie limitează utilizarea unei conducte circulare. Secţiunile ovoidale şi arcuite trebuie alese ţinând seama de gabaritul hidraulic, de vitezele de curgere şi de posibilitatea compactării corespunzătoare la laterale şi în zona inferioară.

Dintre avantajele potenţiale se evidenţiază reducerea înălţimii constructive la o deschidere utilă dată şi valorificarea eficientă a spaţiului în zone urbane. O secţiune mai largă nu conduce automat la o soluţie mai bună: geometria reală a curgerii, pierderile locale, transportul sedimentelor şi condiţiile de întreţinere pot modifica decisiv rezultatul comparaţiei cu un canal deschis sau cu un podeţ din beton.

2.4. Cerinţe de proiectare şi execuţie

Pentru HelCor şi PipeArch, documentaţia tehnică trebuie să stabilească explicit acoperirea minimă şi maximă rezultată din calcul, clasa materialelor de umplutură, gradul de compactare, ordinea aşternerii şi limitele utilizării utilajelor de compactare. Se verifică atât stările-limită structurale, cât şi capacitatea hidraulică şi stabilitatea patului albiei, după caz.

Protecţia anticorozivă prin zincare şi, când este prevăzută, prin acoperiri suplimentare, trebuie corelată cu mediul de exploatare. Durabilitatea nu este o valoare independentă de pH, rezistivitatea solului, abraziunea produsă de

aluviuni, agresivitatea apelor sau întreținere. Alegerea acoperirii trebuie documentată pentru amplasament.



Figura 2. Exemplu de utilizare a structurilor ovoidale HelCor PipeArch – documentație ViaCon.

3. SISTEMELE VIAPLATE® DIN PLĂCI METALICE ONDULATE

Familia ViaPlate cuprinde structuri asamblate din plăci de oțel ondulat, utilizate în special la deschideri și geometrii pentru care soluțiile tubulare realizate dintr-o singură piesă nu sunt practice. Materialele de prezentare ViaCon disting familiile ViaPlate 200, ViaPlate 380 și ViaPlate 500, corespunzătoare unor profile de ondulație diferite, cu rigidități și domenii constructive distincte.

3.1. De la plăci la structură spațială

Plăcile curbe sunt montate în șantier și solidarizate prin îmbinări mecanice, formând secțiunea proiectată. Sistemele pot fi concepute ca profile închise sau deschise, în funcție de configurația comercială și de reazemele prevăzute. În cazul profilelor deschise, fundațiile și transmiterea împingerilor orizontale impun o analiză distinctă față de un tub închis îngropat.

Profilul ondulat mărește rigiditatea locală a plăcii și influențează capacitatea ansamblului de a distribui eforturile. Totuși, alegerea profilului ViaPlate nu se poate face după o regulă de tipul „ondulație mai mare înseamnă întotdeauna soluție mai bună”; aceasta depinde de deschidere, înălțimea de acoperire, geometrie, încărcările de trafic și condițiile de fundare.

Tabelul 2. Tipuri de structuri din plăci ondulate

Familie	Caracter distinctiv în materialele ViaCon	Utilizare tipică
ViaPlate 200	Plăci metalice profilate, asamblate	Podețe, pasaje și traversări
ViaPlate 380	Profil cu rigiditate crescută	Deschideri și configurații adaptate proiectului
ViaPlate 500	Profil de ondulație de dimensiuni mari	Structuri flexibile de anvergură

La proiectare se analizează rezistența plăcilor și a îmbinărilor, efectul umpluturii, stabilitatea locală și globală, precum și deformațiile. În execuție contează controlul geometriei înaintea și în timpul umplerii, asigurarea simetriei straturilor laterale și urmărirea eventualelor deplasări ale secțiunii.

3.2. Aplicații și integrare în infrastructură

Structurile ViaPlate pot fi evaluate pentru traversări rutiere și feroviare, pasaje pentru fauna sălbatică, canale acoperite sau soluții care necesită deschideri semnificative în raport cu înălțimea constructivă. Configurația deschisă poate reduce intervențiile în albie, dar introduce cerințe asupra fundațiilor, a reacțiunilor și a protecției la afuiere. Profilul închis poate oferi alt mod de transmitere a încărcărilor, cu condiția realizării corespunzătoare a patului de fundare.

Un avantaj constructiv rezultă din transportul pe componente și asamblarea în amplasament. Acest avantaj trebuie pus în balanță cu necesarul de acces, echipamente de ridicare, toleranțe geometrice și ritmul de realizare a umpluturilor. Pentru trafic menținut în execuție, soluția trebuie corelată cu proiectul de organizare a circulației și cu etapele temporare de rezistență.

3.3. Comparația sistemelor flexibile

Tabelul 3. Comparație structuri metalice

Aspect	Conducte HelCor / PipeArch	Plăci ViaPlate
Livrare	Elemente tubulare / tronsoane	Panouri asamblate pe șantier
Flexibilitate geometrică	Secțiuni din gama de fabricație	Configurații multiple de secțiuni
Montaj	Pozare și îmbinare tronsoane	Asamblare mecanică a panourilor
Punct critic	Pozare și compactare la laterale	Îmbinări, geometrie și compactare
Verificări	Hidraulic + sol–structură	Sol–structură + reazeme / fundații

Comparația reprezintă o sinteză inginerească, nu o clasificare normativă sau o substituire a calculului structural. Pentru toate familiile, calitatea lucrărilor de terasamente influențează direct performanța în exploatare.

4. ARCE PREFABRICATE DIN BETON ARMAT CON/SPAN®

Sistemul CON/SPAN utilizează elemente prefabricate din beton armat cu formă arcată, destinate realizării de poduri, podețe, subtraversări și pasaje. Geometria arcului favorizează transmiterea unei părți importante a eforturilor prin compresiune către reazeme; aceasta nu elimină însă momentele încovoietoare, forțele tăietoare sau necesitatea armării, care trebuie stabilite prin calcul în funcție de configurația reală.

Prefabricarea permite controlul calității betonului și armăturilor în condiții industriale, repetabilitatea geometriei și limitarea unor operații umede în amplasament. Elementele trebuie transportate, ridicate și rezemate conform proiectului, deoarece stările temporare de manipulare și montaj pot deveni dimensionante. Sistemul final include fundațiile, arcul prefabricat, legăturile constructive, umpluturile și calea de deasupra.

4.1. Principii structurale

Într-o schemă de arc, încărcările verticale conduc atât la reacțiuni verticale, cât și la împingeri orizontale. Prin urmare, tipul fundației, condițiile de teren și rigiditatea de rezemare sunt componente ale sistemului de rezistență. Umplutura

poate influența distribuția acțiunilor și sprijinirea laterală, dar efectul ei favorabil trebuie justificat prin modelul structural, nu presupus.

Elementele prefabricate sunt potrivite amplasamentelor în care se urmărește scurtarea intervențiilor în teren și unde accesul utilajelor de transport și ridicare poate fi asigurat. Geometria secțiunii poate răspunde atât nevoilor hidraulice, cât și cerințelor privind gabaritele ecologice sau funcționale.



Figura 3. Element arcat din beton armat prefabricat CON/SPAN – sursa: articolul ViaCon privind structurile din beton armat.

4.2. Montaj, condiții de exploatare și limite

Succesiunea generală cuprinde pregătirea terenului și a fundațiilor, amplasarea elementelor prefabricate, realizarea conexiunilor și a lucrărilor de etanșare, execuția umpluturilor în straturi controlate și definitivarea suprastructurii rutiere. Etapele și toleranțele depind de detaliul proiectat. Pentru secțiuni care traversează cursuri de apă sunt necesare verificări de scurgere, eroziune locală, stabilitate de albie și acces pentru întreținere.

Avantajele de durată de execuție trebuie evaluate în raport cu disponibilitatea echipamentelor, lungimea și masa elementelor, distanța de transport, existența rețelelor edilitare și condițiile de trafic. O comparație economică relevantă include prefabricatele, fundațiile, transportul, montajul, umpluturile, protecțiile și eventualele devieri temporare.

5. PODURI MODULARE METALICE ACROW® 700XS®

Podurile ACROW 700XS sunt sisteme modulare cu grinzi cu zăbrele, alcătuite din panouri de oțel și elemente repetabile, care permit configurarea lungimii și a capacității portante pentru diferite cerințe. Materialele furnizate ViaCon menționează utilizări temporare, de urgență și permanente, precum și posibilitatea transportului și asamblării rapide. Valorile generale de capacitate sau durată de viață publicate în materiale comerciale nu pot fi aplicate oricărei configurații fără verificare.

Modularitatea favorizează refolosirea componentelor și adaptarea podului la etapele unui șantier. Sistemele pot fi de interes pentru înlocuirea provizorie a unui pod avariat, asigurarea unei variante de circulație sau realizarea unei traversări permanente, în condițiile verificării complete a structurii și a infrastructurilor.



Figura 4. Pod modular cu grinzi cu zăbrele ACROW – imagine din articolul ViaCon.

5.1. Configurația și verificările unui pod modular

Componentele repetitive pot fi asamblate în mai multe scheme de zăbrele și pot utiliza elemente suplimentare de rigidizare, potrivit deschiderii și încărcărilor. Schema de calcul trebuie să includă transmiterea încărcărilor din tablier la grinzi, stabilitatea laterală, comportamentul îmbinărilor, reazemele și infrastructurile. În cazul podurilor provizorii se verifică și fazele de lansare ori ridicare, dacă acestea fac parte din tehnologia aleasă.

Pentru traficul rutier, verificarea se raportează la încărcările și combinațiile aplicabile amplasamentului, nu la o singură valoare globală în tone. Este necesară

delimitarea gabaritului, a lățimii utile, a parapetelor, a vitezei şi a condiţiilor de exploatare; pentru amplasamente feroviare sau utilizări speciale sunt indispensabile cerinţele specifice beneficiarului şi sistemului de transport.

5.2. Domenii de aplicare

Tabelul 4. Domenii de aplicare

Situație	Beneficiu urmărit	Condiție critică
Pod de urgență	Restabilirea rapidă a legăturii	Fundații/reazeme sigure și logistică
Variantă provizorie	Menținerea traficului în șantier	Etapizare și protecția utilizatorilor
Pod permanent	Modularitate și întreținere	Durabilitate și proiect complet
Zone izolate	Transport pe componente	Acces și capacitatea utilajelor

Când se analizează soluţia, durata de închidere a circulaţiei poate fi un criteriu la fel de important ca preţul structurii. Trebuie însă inclus timpul necesar fundaţiilor, organizării de şantier, încercărilor şi recepţiei, nu numai perioada de asamblare a panourilor.

6. SOLUȚII GEOTEHNICE ŞI LUCRĂRI DE SPRIJIN

Portofoliul geotehnic prezentat de ViaCon cuprinde geotextile, geogrile, geocompozite, geocelule, materiale pentru controlul eroziunii, geomembrane, gabioane şi sisteme de sprijin precum ViaWall şi ViaBlock. Aceste categorii trebuie diferenţiate după funcţia dominantă: armare, separare, filtrare, drenaj, protecţie, impermeabilizare sau susţinerea unui masiv de pământ.



Figura 5. Amenajare canal de irigare – imagine din articolul ViaCon.

6.1. Geotextile şi geogrile

Geotextilele sunt utilizate în funcţie de produs pentru separarea materialelor cu granulometrii diferite, filtrare, protecţie şi drenaj. Într-o structură rutieră, separarea reduce contaminarea stratului granular cu particule fine din terenul suport, dar nu înlocuieşte îmbunătăţirea unui teren necorespunzător şi nici nu garantează automat creşterea capacităţii portante.

Geogrilele sunt produse de armare care pot contribui la limitarea deformaţiilor şi la redistribuirea eforturilor în pământuri armate sau în straturi granulare. Proprietăţile de proiectare nu se reduc la rezistenţa nominală la tracţiune; sunt relevante rigiditatea la deformaţii, rezistenţa pe termen lung, fluajul, deteriorarea în timpul instalării şi interacţiunea cu umplutura.

6.2. Geocompozite, geocelule şi materiale antierozionale

Geocompozitele combină funcţii multiple, de exemplu separare şi drenaj, iar geocelulele realizează confinarea materialului granular. Georeţelele şi saltelele antierozionale pot proteja temporar sau permanent taluzurile, fiind corelate cu vegetaţia, intensitatea curgerii şi condiţiile climatice. Pentru lucrările hidrotehnice, trebuie diferenţiate materialele filtrante de straturile impermeabile: substituirea unui produs cu altul fără verificarea funcţiei poate compromite soluţia.

6.3. Ziduri de sprijin, gabioane şi pământ armat

Sistemele de sprijin şi gabioanele permit configurări diferite ale faţadelor, ale elementelor de rezistenţă şi ale drenajelor. În cazul zidurilor din pământ armat, stabilitatea se bazează pe interacţiunea dintre umplutura selectată şi armăturile introduse în masiv. Faţada are rol structural şi funcţional specific sistemului, dar nu trebuie confundată cu întregul mecanism de rezistenţă.

Gabioanele sunt coşuri sau saltele metalice umplute cu piatră, utilizate la protecţii de mal, sprijiniri, lucrări de regularizare şi stabilizare locală. Caracterul drenabil şi adaptabilitatea geometrică sunt avantaje potenţiale, însă o lucrare din gabioane necesită verificarea stabilităţii la alunecare, răsturnare, cedare a terenului, eroziune şi stabilitate globală, în funcţie de tipul lucrării.

Produsele ViaWall şi ViaBlock sunt menţionate în prezentarea portofoliului ca soluţii pentru lucrări de sprijin. Configuraţia exactă şi parametrii de proiectare trebuie preluaţi din documentaţiile tehnice ale variantelor efectiv ofertate; nu se poate considera că toate sistemele au aceeaşi geometrie, acelaşi mod de ancorare sau aceleaşi limite de înălţime.

6.4. Verificări de proiect necesare

Tabelul 5. Verificări de proiect

Tip de lucrare	Verificări relevante
Pământ armat	Stabilitate externă, internă şi globală; deformaţii
Zid din gabioane	Stabilitate, teren de fundare, drenaj şi eroziune
Strat rutier armat	Deformaţii, capacitate portantă şi compatibilitatea materialelor
Protecţie de taluz	Stabilitatea taluzului, eroziune, durabilitatea ancorajelor

Aceste verificări sunt enunţate ca principii generale de proiectare. Alegerea combinaţiilor, coeficienţilor şi metodelor se face pentru proiectul concret, prin raportare la reglementările aplicabile şi la documentaţia geotehnică.

7. SISTEME PENTRU GESTIONAREA APELOR

Managementul apelor include captarea, transportul, laminarea şi evacuarea controlată a debitelor. În materialele ViaCon apar conducte din oţel ondulat HelCor, conducte din polietilenă de înaltă densitate din familia PeCor şi soluţii de retenţie ori drenaj. Produsele cu funcţie hidraulică nu sunt interschimbabile automat: alegerea depinde de debit, presiune, adâncime de montaj, solicitări externe şi condiţii de exploatare.

7.1. Conducte PeCor Optima® şi PeCor Quattro®

PeCor Optima este prezentată în articolul ViaCon ca o conductă cu pereţi dubli şi interior neted, soluţie care favorizează comportarea hidraulică pentru curgeri gravitaţionale. Profilarea peretelui exterior oferă rigiditate inelară, în timp ce suprafaţa interioară contribuie la reducerea pierderilor de energie faţă de configuraţii mai rugoase, pentru condiţii comparabile. Articolul enumeră clase de rigiditate SN 4, SN 6 şi SN 8 pentru anumite diametre; disponibilitatea altor clase sau dimensiuni trebuie confirmată din fişa actuală.

PeCor Quattro apare în portofoliul materialelor furnizate, însă materialele primite nu oferă în același nivel de detaliu parametrii săi dimensionali și structurali. Din acest motiv, produsul este reținut în sinteză ca familie distinctă, fără a i se atribui caracteristici neconfirmate.



Figura 6. Amenajare podețe accese la proprietăți – imagine din articolul ViaCon.

7.2. Retenție și evacuare controlată

Bazinele sau rezervoarele de retenție pot limita debitul de vârf evacuat într-un receptor, reținând temporar volumele generate de precipitații. Dimensionarea nu se bazează doar pe volumul fizic al rezervorului, ci și pe hidrograma de intrare, debitul de evacuare admis, posibilitatea de golire și necesitățile de întreținere. Se urmăresc accesul pentru inspecție, etanșeitatea, protecția contra colmatării și compatibilitatea cu nivelul apelor subterane.

7.3. Comparație funcțională și criterii de alegere

Tabelul 6. Comparație funcțională a soluțiilor pentru gestionarea apelor

Soluție	Rol predominant	Elemente de verificat
HelCor	Traversare / drenaj / intubare	Hidraulică, coroziune, sol–structură
HelCor PipeArch	Secțiune aplatizată / intubare	Înălțime disponibilă, sedimentare, compactare
PeCor Optima	Transport gravitațional al apei	Rigiditate inelară, pozare, capacitate hidraulică
PeCor Quattro	Familie de conducte din portofoliu	Caracteristici din fișa de produs
Rezervoare de retenție	Atenuare debite de vârf	Volum, evacuare, etanșeitate, mentenanță

În zona traversărilor de cursuri de apă, hidraulica podului sau podețului trebuie analizată în contextul albiei și al amenajărilor existente. Debitul de calcul, nivelul amonte, afuierea, materialul aluvionar și posibilitatea blocării cu plutitori sunt parametri care pot modifica semnificativ alegerea unui produs. O soluție cu secțiune închisă implică, după caz, un regim de curgere cu control la intrare sau la ieșire și pierderi locale care nu pot fi surprinse numai printr-o formulă simplificată de curgere uniformă.

7.4. Integrarea proiectării hidraulice și structurale

În cazul unui sistem de drenaj montat sub carosabil, calculul hidraulic și calculul structural trebuie să utilizeze aceeași geometrie și aceleași cote de proiect. Din verificarea hidraulică rezultă nivelurile și vitezele, iar din proiectarea rutieră și geotehnică provin acoperirea, condițiile de rezemare și încărcările. Coordonarea între specialități evită alegerea unor diametre sau înălțimi de secțiune incompatibile cu profilul longitudinal și cu stratificația rutieră.

De asemenea, durabilitatea sistemului depinde de controlul infiltrațiilor exterioare, de posibilitatea curățării și de inspecția periodică. Avantajele prezentate de fabricant trebuie evaluate în raport cu costul lucrărilor auxiliare și cu durata de viață proiectată a întregii investiții.

8. STUDIU DE CAZ: REABILITAREA PRIN RELINING A UNUI POD EXISTENT

Un articol ViaCon publicat în august 2026 prezintă reabilitarea unui pod din zidărie de piatră în cadrul proiectului de modernizare a DJ 108C Mănăstireni–Călata–Mărgău, între km 36+050 și km 59+000, proiectul fiind indicat ca aferent anului 2025. Situația inițială includea degradări ale suprastructurii și infrastructurii, neconformități ale gabaritului și deficiențe ale căii de rulare și protecțiilor.

Soluția relining constă în amplasarea unei structuri metalice ondulate în interiorul deschiderii existente și realizarea sistemului de umplere și contact prevăzut prin proiect. În principiu, aceasta permite păstrarea unei părți din construcția existentă și evitarea demolării integrale. Totuși, conservarea zidăriei nu înseamnă că vechiul arc poate fi creditat structural fără o analiză explicită a stării și a mecanismului de transmitere a încărcărilor.

Criteriile majore de alegere sunt geometria deschiderii existente, secțiunea hidraulică rămasă după introducerea noii structuri, accesul de montaj, soluția de umplere a spațiului dintre structuri, starea fundațiilor și regimul de scurgere. Este necesară și verificarea efectelor execuției asupra stabilității locale a vechii zidării. În particular, reducerea ariei de scurgere poate produce creșterea nivelului apei amonte și a vitezelor.



Figura 7. Pod din zidărie și soluție de reabilitare prin relining – sursa: studiul de caz ViaCon.

9. STUDIU DE CAZ: INTUBAREA CU DOUĂ STRUCTURI OVOIDALE

Articolul privind amenajarea unui curs de apă în mediul urban descrie trecerea de la o soluție inițială cu canal deschis din beton armat la două structuri metalice HelCor PipeArch dispuse în paralel. Motivația soluției ține de

disponibilitatea limitată a spațiului și de necesitatea integrării trotuarelor, pistelor pentru biciclete, acceselor la proprietăți și infrastructurii de transport în profilul străzii.

Pentru structurile tip HCPA-50, publicația indică o deschidere interioară de 3,67 m, înălțime interioară de 2,61 m, tablă de 3,50 mm, ondulație 125 × 26 mm și oțel S250GD. Aceste date descriu aplicația publicată, nu dimensiunile obligatorii ale întregii game. Soluția include lucrări auxiliare la intrare și ieșire și protecții ale albiei.

Verificarea decisivă este capacitatea de tranzitare a debitului de proiect în condițiile unui sistem cu două ramuri, ținând seama de distribuția curgerii, pierderile la intrare și la ieșire, sedimentare și riscul de obturare. Structural, trebuie evaluată interacțiunea cu terasamentul și sarcinile de trafic de deasupra. Compararea cu varianta de canal deschis include atât economia de spațiu, cât și accesibilitatea pentru întreținerea viitoare.



Figura 8. Structuri ovoidale montate în paralel – material tehnic aferent studiului de caz.

10. CONCLUZII

Analiza comparativă evidențiază că portofoliul ViaCon acoperă probleme tehnice complementare, nu doar produse concurente. HelCor și HelCor PipeArch oferă soluții pentru drenaj și traversări de secțiune închisă; ViaPlate extinde posibilitățile constructive ale structurilor flexibile din plăci; CON/SPAN valorifică prefabricarea arcelor din beton armat; ACROW permite configurații metalice modulare; iar geosinteticele, sistemele de sprijin și conductele de gestionare a apelor completează ansamblurile de infrastructură.

Din punct de vedere ingineresc, avantajul principal al unei soluții industrializate apare numai dacă proiectarea, detalierea și execuția sunt tratate unitar. Pentru structurile îngropate este esențială compactarea; pentru arcele deschise, răspunsul reazemelor și al terenului; pentru podurile modulare, verificarea schemei statice și a fazelor de montaj; pentru geosintetice, alegerea caracteristicilor pe termen lung; pentru sistemele hidraulice, verificarea debitului și a întreținerii.

Studiile de caz relining și intubare arată că eficiența tehnică depinde de condițiile de amplasament: conservarea unei construcții existente, reducerea ocupării spațiului sau menținerea circulației pot cântări decisiv în alegerea soluției. Niciuna dintre aceste opțiuni nu trebuie însă promovată ca universal superioară, fără analiză structurală, hidraulică, geotehnică și economică specifică.

BIBLIOGRAFIE

[1]. VIACON ROMÂNIA, „*Soluțiile ViaCon – un partener de încredere pentru infrastructură*”, Revista Construcțiilor, decembrie **2025**.

[2]. VIACON ROMÂNIA, „*HelCor și HelCor PipeArch – o soluție viabilă și ecologică*”, Revista Construcțiilor, aprilie **2025**.

[3]. VIACON ROMÂNIA, „*Structuri prefabricate arc din beton armat tip ConSpan*”, Revista Construcțiilor, noiembrie **2025**.

[4]. VIACON ROMÂNIA, „*ACROW 700XS – sisteme de poduri modulare*”, articole și materiale furnizate, **2025–2026**.

[5]. VIACON ROMÂNIA, „*Soluțiile tehnice pentru aplicații de gestionare a apelor*”, Revista Construcțiilor, decembrie **2024**.

[6]. VIACON ROMÂNIA, „*Soluții și produse geotextile pentru ingineria geotehnică și hidrotehnică*”, Revista Construcțiilor, februarie **2025**.

[7]. VIACON ROMÂNIA, „*Reabilitarea podurilor din zidărie prin metoda relining*”, Revista Construcțiilor, august **2026**.

[8]. VIACON ROMÂNIA, „*Intubarea unui curs de apă cu două structuri metalice ovoidale*”, Revista Construcțiilor, septembrie **2026**.

INFLUENȚA DOZAJULUI DE LIANT ȘI A COMPOZIȚIEI GRANULOMETRICE ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MIXTURILOR ASFALTICE DRENANTE

Badea Ioana-Cristina, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: ioana-cristina.badea@phd.utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Mixturile asfaltice drenante reprezintă o categorie de mixturi asfaltice cu structură deschisă, proiectate pentru a permite evacuarea apei printr-o rețea de goluri interconectate. Performanțele acestora depind de interacțiunea dintre scheletul mineral, liantul bituminos și structura poroasă rezultată. Dintre factorii de compoziție, dozajul de liant și granulometria agregatelor prezintă o importanță deosebită, deoarece influențează simultan permeabilitatea, rezistența la dezagregare, stabilitatea și durabilitatea mixturii.

Lucrarea analizează critic literatura de specialitate privind mecanismele prin care acești doi factori determină proprietățile mixturilor asfaltice drenante. Sunt examinate rolul fracțiilor granulometrice în formarea scheletului mineral, efectul conținutului de liant asupra peliculei bituminoase și a conectivității golurilor, precum și compromisurile dintre funcționalitatea hidraulică și comportarea mecanică. De asemenea, sunt discutate metodele de proiectare utilizate în literatura internațională și limitele evaluării performanțelor exclusiv pe baza porozității totale. Sinteza evidențiază necesitatea unei abordări integrate, în care dozajul de liant să fie analizat în raport cu granulometria, caracteristicile agregatelor, tipul de liant și condițiile de exploatare. În final, sunt identificate direcții de cercetare relevante pentru dezvoltarea unor metodologii de stabilire a dozajelor optime, adaptate materialelor și condițiilor specifice infrastructurii rutiere din România.

Cuvinte cheie: mixturi asfaltice drenante, liant bituminos, compoziție granulometrică, porozitate, permeabilitate, durabilitate.

Abstract

Porous asphalt mixtures are open-graded bituminous materials designed to allow water drainage through an interconnected network of air voids. Their performance depends on the interaction between the aggregate skeleton, bituminous binder and resulting pore structure.

Binder content and aggregate gradation are particularly important because they simultaneously affect permeability, resistance to raveling, structural stability and durability.

This paper critically reviews the literature on the mechanisms through which these two composition variables influence porous asphalt properties. The role of aggregate gradation in forming the mineral skeleton, the effects of binder content on coating thickness and void connectivity, and the trade-offs between hydraulic functionality and mechanical performance are examined. International mix-design approaches are also discussed, with particular attention to the limitations of evaluating porous mixtures solely on the basis of total air-void content. The review highlights the need for an integrated approach in which binder content is considered alongside aggregate gradation, aggregate characteristics, binder type and service conditions. Finally, research needs are identified to support the development of mix-design and binder-optimization methodologies adapted to the materials and conditions of road infrastructure in Romania.

Keywords: porous asphalt, bituminous binder, aggregate gradation, air voids, permeability, durability.

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea infrastructurii rutiere moderne presupune utilizarea unor materiale capabile să asigure atât rezistența necesară preluării solicitărilor din trafic, cât și condiții corespunzătoare de siguranță și confort. În cazul straturilor de uzură, performanțele funcționale sunt influențate inclusiv de modul în care suprafața carosabilului interacționează cu apa, de textura acesteia și de capacitatea de evacuare a precipitațiilor.

Mixturile asfaltice drenante, cunoscute în literatura internațională sub denumirea de Porous Asphalt (PA) sau, în anumite aplicații, Open-Graded Friction Course (OGFC), sunt proiectate pentru a permite circulația apei prin structura stratului asfaltic. Spre deosebire de mixturile dense, acestea conțin o rețea de goluri interconectate, obținută prin utilizarea unei compoziții granulometrice predominant grosiere și prin limitarea cantității de material fin.

Prin evacuarea apei din zona de contact dintre pneu și carosabil, aceste mixturi pot contribui la reducerea peliculei de apă, la îmbunătățirea condițiilor de aderență în timpul precipitațiilor și la diminuarea fenomenelor de stropire. Totodată, structura lor poroasă poate contribui la reducerea zgomotului de rulare. Beneficiile respective depind însă de păstrarea conectivității golurilor și de menținerea performanțelor pe durata exploatării. Literatura de specialitate

evidențiază și vulnerabilități precum dezagregarea, îmbătrânirea liantului, colmatarea și pierderea progresivă a capacității de drenare [1].

Particularitatea principală a mixturilor drenante constă în necesitatea satisfacerii simultane a unor cerințe care pot intra în conflict. Creșterea volumului de goluri favorizează drenabilitatea, dar poate diminua suprafața de contact dintre agregate și poate crește sensibilitatea la pierderea particulelor. Creșterea cantității de liant poate îmbunătăți acoperirea agregatelor și coeziunea, însă poate favoriza obturarea parțială a porilor sau drenarea liantului în timpul producerii și transportului.

În acest context, dozajul de liant nu poate fi stabilit independent de compoziția granulometrică. Cele două variabile determină împreună organizarea scheletului mineral, distribuția golurilor și modul de transmitere a solicitărilor prin mixtură. Cercetări publicate în ultimii ani au analizat explicit această interdependență și au evidențiat rolul combinat al granulometriei, compactării și conținutului de asfalt asupra porozității și permeabilității [2, 3].

Obiectivul acestei lucrări este realizarea unei analize critice a literaturii de specialitate referitoare la influența dozajului de liant și a compoziției granulometrice asupra proprietăților mixturilor asfaltice drenante, cu accent pe mecanismele care controlează echilibrul dintre drenabilitate, rezistență mecanică și durabilitate.

Obiectivele specifice ale lucrării sunt următoarele:

- sintetizarea principiilor de alcătuire a mixturilor asfaltice drenante;
- explicarea influenței dozajului de liant asupra proprietăților fizice și mecanice;
- analizarea rolului compoziției granulometrice în formarea structurii poroase;
- evidențierea interdependenței dintre cei doi factori;
- compararea principalelor criterii de proiectare și evaluare din literatura de specialitate;
- identificarea limitelor cercetărilor existente și a direcțiilor viitoare de studiu.

2. PARTICULARITĂȚILE STRUCTURALE ALE MIXTURILOR ASFALTICE DRENANTE

2.1. Alcătuirea şi principiul de funcţionare

Mixturile asfaltice drenante sunt alcătuite din agregate minerale de diferite dimensiuni, filer și liant bituminos. În funcție de soluția de proiectare, pot fi utilizați lianți modificați cu polimeri, fibre sau aditivi care contribuie la îmbunătățirea stabilității și durabilității.

Caracteristica definitorie este scheletul mineral deschis, în care agregatele grosiere formează o rețea de contacte, iar spațiile dintre acestea generează golurile necesare circulației apei.

În figura 1 este reprezentată o structură rutieră cu strat drenant din mixtură asfaltică.

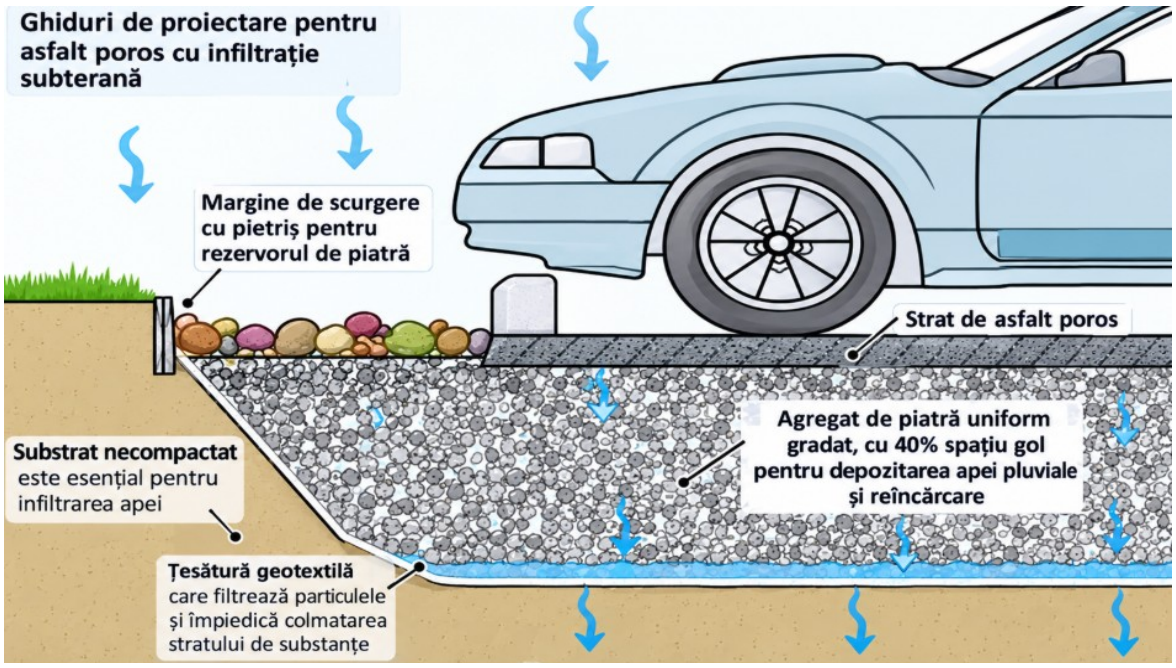


Figura 1. Reprezentarea conceptuală a funcționării unui strat asfaltic drenant [9]

Funcționarea stratului depinde de continuitatea traseelor de curgere. Golurile izolate contribuie la porozitatea totală, dar nu asigură în aceeași măsură evacuarea apei. Din acest motiv, două mixturi asfaltice cu volume totale de goluri apropiate pot avea comportări diferite din punct de vedere hidraulic.

De asemenea, capacitatea de drenare a stratului nu trebuie confundată cu infiltrarea apei în teren. Evacuarea efectivă a apei depinde de alcătuirea întregii structuri rutiere, de poziția stratului drenant, de panta transversală și de existența unor căi corespunzătoare de evacuare laterală.

2.2. Parametri principali de caracterizare

Proprietățile mixturilor drenante trebuie interpretate ca un ansamblu de caracteristici interdependente. În tabelul 1 se prezintă aceste proprietăți.

Tabelul 1. Principalele proprietăți utilizate pentru caracterizarea mixturilor asfaltice drenante [1, 2]

Proprietate	Semnificație	Relevanță pentru proiectare
Volumul de goluri	Proporția volumetrică a spațiilor neocupate de material solid	Caracterizează structura poroasă
Permeabilitatea	Capacitatea apei de a traversa structura mixturii	Reflectă funcționalitatea hidraulică
Pierderea de particule	Sensibilitatea la dezagregare sub solicitări mecanice	Oferă informații despre durabilitate
Drenarea liantului	Tendința liantului de a se separa de scheletul mineral la temperaturi ridicate	Importantă pentru producție și transport
Sensibilitatea la apă	Modificarea performanței prin acțiunea apei	Reflectă durabilitatea adeziunii liant–agregat
Rezistența la deformații permanente	Capacitatea de a limita acumularea de deformații	Relevantă pentru exploatarea sub trafic
Rezistența la temperaturi scăzute	Capacitatea de a limita fisurarea în condiții termice nefavorabile	Importantă pentru comportarea pe termen lung

Niciunul dintre acești indicatori nu este suficient, luat separat, pentru stabilirea calității globale a mixturii. Proiectarea trebuie să urmărească satisfacerea concomitentă a cerințelor funcționale, mecanice și de durabilitate.

3. INFLUENȚA DOZAJULUI DE LIANT ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MIXTURILOR ASFALTICE DRENANTE

Liantul bituminos asigură aderarea la suprafața agregatelor, contribuie la coeziunea mixturii și influențează comportarea acesteia sub acțiunea solicitărilor mecanice și a factorilor de mediu. În mixturile asfaltice drenante, distribuția liantului prezintă o importanță deosebită deoarece structura deschisă limitează cantitatea de material fin disponibilă pentru formarea mortarului bituminos.

Spre deosebire de mixturile asfaltice dense, în care mortarul ocupă o proporție mai mare din volumul disponibil, în mixturile asfaltice drenante liantul trebuie să formeze o peliculă suficientă în jurul agregatelor fără a compromite continuitatea golurilor.

Conținutul de liant influențează simultan grosimea peliculei bituminoase, calitatea legăturilor dintre particulele minerale, susceptibilitatea la dezagregare și stabilitatea structurii poroase. Cercetările de sinteză evidențiază că alegerea liantului și stabilirea conținutului acestuia trebuie corelate cu cerințele de durabilitate și permeabilitate [1].

Un conținut insuficient de liant poate determina acoperirea incompletă a agregatelor și formarea unor legături cu rezistență redusă între particulele minerale.

În timpul exploatării, traficul generează solicitări repetate care pot conduce la desprinderea particulelor (fenomenul de dezgrădinare), în special în zonele de frânare, în intersecții și în sectoarele supuse unor solicitări tangențiale importante. Acest fenomen, denumit ”raveling” în literatura internațională, constituie una dintre formele specifice de degradare a mixturilor asfaltice poroase.

În plus, pelicula de liant insuficientă oferă o protecție mai redusă împotriva oxidării și a acțiunii apei. Prin urmare, un dozaj prea redus poate compromite durabilitatea chiar dacă mixtura prezintă inițial o porozitate ridicată și o capacitate bună de drenare.

Totuși, relația dintre conținutul de liant și rezistența la dezagregare nu poate fi generalizată fără a lua în considerare tipul de liant, natura agregatelor, compactarea și condițiile de încercare.

Creșterea cantității de liant poate îmbunătăți acoperirea agregatelor și rezistența la pierderea particulelor, dar efectul favorabil nu este nelimitat.

La temperaturi ridicate, liantul cu vâscozitate insuficientă poate migra prin scheletul mineral și se poate acumula în anumite zone ale mixturii. Fenomenul de

drenare a liantului poate genera o distribuție neuniformă a acestuia și poate afecta atât calitatea stratului, cât și continuitatea porilor.

De asemenea, excesul de liant poate reduce volumul golurilor disponibile pentru circulația apei. Efectul depinde de proprietățile reologice ale liantului, de granulometrie și de modul în care acesta este distribuit în structura mixturii.

În literatura de specialitate sunt analizate mai multe soluții pentru limitarea acestor efecte, inclusiv utilizarea lianților modificați cu polimeri și a fibrelor stabilizatoare. Aceste soluții pot îmbunătăți retenția liantului și rezistența la dezagregare, însă eficiența lor trebuie evaluată în raport cu celelalte performanțe ale mixturii [1, 4].

În tabelul 2 este prezentată o sinteză a efectelor asociate dozajului de liant bituminos. Interpretarea este una calitativă, bazată pe literatura de specialitate. Efectele efective depind de compoziția mixturii și nu reprezintă rezultate experimentale proprii.

Tabelul 2. Sinteza efectelor asociate dozajului de liant

Aspect analizat	Dozaj insuficient	Dozaj excesiv
Pelicula bituminoasă	Poate fi prea subțire	Poate deveni excesivă
Coeziunea mixturii	Poate fi redusă	Se poate îmbunătăți până la un anumit nivel
Pierderea de particule	Susceptibilitate potențial mai mare	Poate scădea, în funcție de materialele utilizate
Volumul de goluri	Poate rămâne ridicat	Poate scădea
Permeabilitatea	Poate fi favorizată de structura deschisă	Poate fi redusă prin obturarea parțială a porilor
Drenarea liantului	Risc mai redus, în general	Risc potențial mai mare
Durabilitatea	Poate fi afectată de coeziunea insuficientă	Poate fi afectată de drenare sau de pierderea funcționalității poroase

4. INFLUENȚA COMPOZIȚIEI GRANULOMETRICE ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MIXTURILOR DRENANTE

Compoziția granulometrică determină proporțiile în care sunt utilizate diferitele fracții de agregate și influențează modul de aranjare a particulelor în structura mixturii.

În cazul mixturilor asfaltice drenante, scheletul mineral trebuie să asigure un echilibru între contactele dintre agregate și spațiile necesare circulației apei. O proporție corespunzătoare de agregate grosiere favorizează formarea unei structuri deschise, în timp ce fracțiile fine contribuie la stabilitatea și compactitatea locală a structurii.

Totuși, relația dintre granulometrie și porozitate nu este determinată exclusiv de proporția agregatelor grosiere. Forma particulelor, textura suprafeței, distribuția dimensiunilor și modul de compactare influențează poziția relativă a agregatelor și conectivitatea golurilor.

Un studiu publicat în 2023, care a analizat tipul agregatelor și trei variante granulometrice, a evidențiat diferențe între porozitatea, permeabilitatea și rezistența la abraziune ale mixturilor analizate. Rezultatele subliniază faptul că performanțele depind de combinația dintre materialele utilizate și curba granulometrică, nu de un singur parametru [2].

Fracția fină și filerul influențează structura mortarului bituminos și distribuția golurilor dintre agregatele grosiere.

Creșterea cantității de material fin poate îmbunătăți anumite caracteristici ale coeziunii, dar poate conduce la ocuparea unor spații care ar fi contribuit la drenaj. În plus, un conținut necorespunzător de filer modifică suprafața specifică totală a agregatelor și, implicit, cantitatea de liant necesară pentru formarea unei pelicule adecvate.

Trebuie subliniat că reducerea fracției fine nu garantează automat o permeabilitate mai mare. Dacă aranjarea agregatelor produce goluri izolate sau trasee de curgere cu rezistență ridicată, capacitatea hidraulică poate rămâne limitată.

În consecință, proiectarea granulometriei trebuie să urmărească formarea unei rețele de goluri conectate, nu doar obținerea unui volum total ridicat de goluri.

Porozitatea totală reprezintă un indicator important al structurii mixturii, însă nu descrie complet comportarea hidraulică.

Permeabilitatea depinde de proporţia golurilor conectate, dimensiunea secţiunilor de trecere, complexitatea traseelor şi distribuţia spaţială a golurilor. Din acest motiv, o mixtură cu porozitate ridicată poate avea o permeabilitate mai mică decât o altă mixtură cu porozitate apropiată, dacă traseele de curgere sunt mai puţin eficiente.

Cercetările recente asupra structurii golurilor au evidenţiat importanţa caracteristicilor tridimensionale ale reţelei de goluri şi necesitatea corelării parametrilor volumetrici cu măsurătorile hidraulice [3].

Compoziţia granulometrică influenţează în mod direct structura scheletului mineral şi distribuţia golurilor din mixturile asfaltice drenante. Creşterea proporţiei de agregate grosiere favorizează formarea unei structuri deschise, contribuind astfel la îmbunătăţirea capacităţii de drenare a apei. În schimb, creşterea cantităţii de fracţii fine determină ocuparea parţială a spaţiilor dintre agregatele grosiere, ceea ce poate reduce volumul golurilor interconectate şi permeabilitatea mixturii. De asemenea, proporţia de filer influenţează caracteristicile mortarului bituminos şi suprafaţa specifică a agregatelor, având un rol important în stabilirea cantităţii de liant necesare pentru asigurarea unei acoperiri corespunzătoare. Modificarea dimensiunii maxime a agregatelor şi a formei acestora poate afecta modul de aranjare şi interblocare a particulelor, influenţând atât stabilitatea scheletului mineral, cât şi distribuţia golurilor. Prin urmare, alegerea compoziţiei granulometrice trebuie să urmărească un echilibru între obţinerea unei permeabilităţi adecvate şi asigurarea unei rezistenţe corespunzătoare la solicitările mecanice şi la dezagregare.

Figura 2 prezintă o comparaţie între diferite structuri ale mixturilor asfaltice. Se constată faptul că dacă fracţiile fine ocupă mai multe spaţii, golurile disponibile pentru circulaţia apei se vor reduce [10].

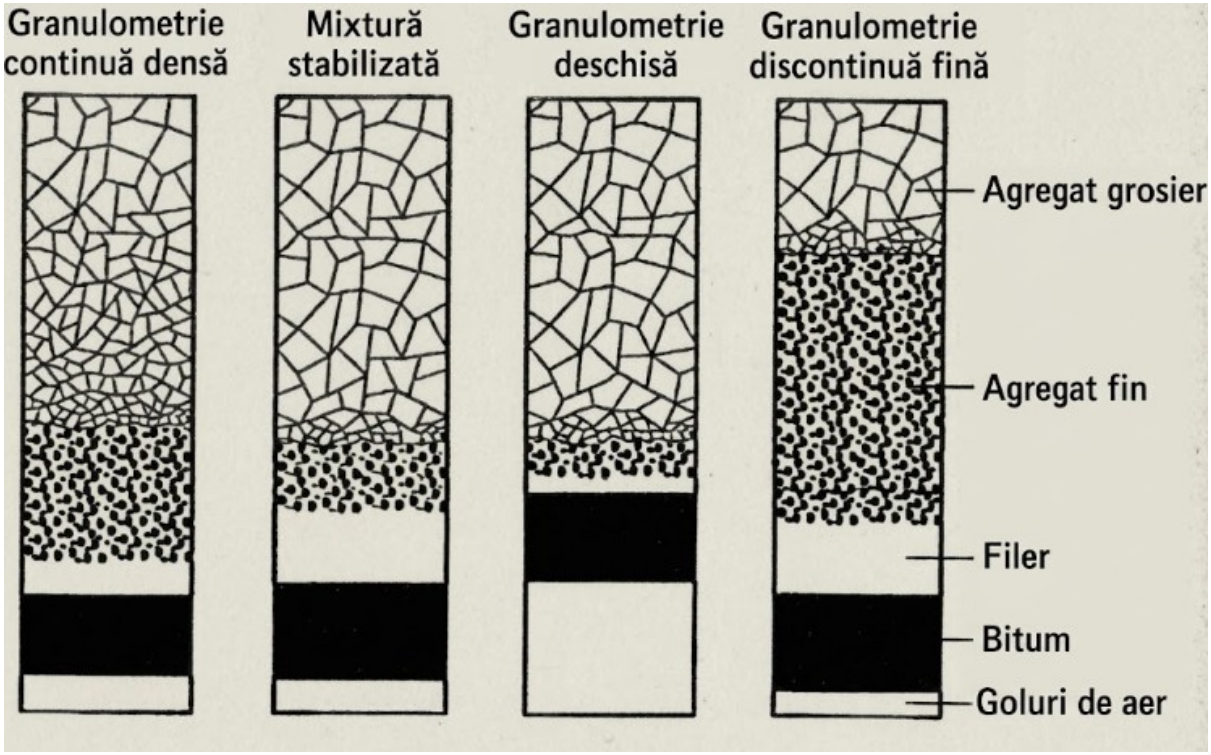


Figura 2. Comparație conceptuală între structura deschisă și structura mai densă [10]

5. INTERDEPENDENȚA DINTRE DOZAJUL DE LIANT ȘI COMPOZIȚIA GRANULOMETRICĂ

Această interdependență reprezintă obiectivul principal al lucrării.

Dozajul de liant determină cantitatea de material disponibilă pentru acoperirea agregatelor și formarea legăturilor dintre acestea. Granulometria determină suprafața specifică a agregatelor, geometria scheletului mineral și volumul spațiilor intergranulare. Prin urmare, aceeași cantitate de liant poate conduce la comportări diferite atunci când se modifică distribuția granulometrică.

O granulometrie cu o suprafață specifică mai mare poate necesita o cantitate diferită de liant pentru obținerea unei pelicule comparabile. În același timp, modificarea fracției fine poate schimba atât spațiul disponibil pentru liant, cât și modul în care acesta este reținut în mixtură.

Această relație impune evaluarea combinată a celor doi factori. Un dozaj de liant considerat satisfăcător pentru o anumită granulometrie nu trebuie transferat automat unei alte curbe granulometrice, chiar dacă ambele mixturi aparțin aceleiași categorii.

Studiul de optimizare publicat în 2024 [4] a utilizat metodologia RSM (*Response Surface Methodology*) și rețele neuronale artificiale pentru analiza relațiilor complexe dintre granulometrie, efortul de compactare, porozitate și permeabilitate. Metodologia RSM reprezintă o colecție de tehnici matematice și statistice utilizate pentru modelarea și optimizarea răspunsurilor influențate de multipli factori independenți, permițând identificarea interacțiunilor simultane dintre variabilele de compoziție cu un număr minim de determinări experimentale. Cuplarea acesteia cu rețelele neuronale a asigurat o capacitate avansată de predicție a comportamentului hidraulic al mixturii. Pe baza acestei modelări, autorii au evidențiat complexitatea interacțiunilor dintre parametri și dificultatea stabilirii unei relații universale între volumul de goluri și permeabilitate.

Figura 3 prezintă interacțiunea dintre factorii de compoziție și performanțele mixturilor asfaltice drenante.

Factorii de compoziție acționează în mod interdependent asupra structurii interne a mixturii asfaltice drenante, determinând atât capacitatea de evacuare a apei, cât și rezistența la solicitările mecanice și durabilitatea în exploatare.

Optimizarea alcătuirii mixturilor asfaltice drenante presupune gestionarea unui compromis între capacitatea de evacuare a apei și rezistența la degradare.

O structură deschisă poate favoriza drenajul, însă poate reduce numărul contactelor dintre particule și poate crește expunerea liantului la aer și apă. Pe de altă parte, o structură mai densă poate îmbunătăți anumite caracteristici mecanice, dar poate limita circulația apei.



Figura 3. Interacțiunea dintre factorii de compoziție și performanțele mixturilor asfaltice drenante, prelucrat după SR EN 13108-7, Mixturi asfaltice — Specificații pentru materiale [6]

În mod similar, un liant cu vâscozitate mai mare sau modificat cu polimeri poate contribui la menținerea peliculei bituminoase și la reducerea dezagregării, dar efectul asupra permeabilității depinde de cantitatea utilizată și de distribuția liantului în structura mixturii.

Prin urmare, obiectivul proiectării dozajelor nu este sporirea porozității, a cantității de liant sau a rezistenței la abraziune luate separat. Obiectivul este identificarea unei combinații de materiale care să satisfacă simultan cerințele funcționale și mecanice.

În tabelul 3 sunt prezentate principalele compromisuri care au fost identificate conform literaturii de specialitate [6].

Tabelul 3. Principalele compromisuri identificate în literatura de specialitate [6]

Criteriu	Tendință favorabilă	Risc asociat
Porozitate ridicată	Posibilă creștere a drenabilității	Scăderea stabilității sau a rezistenței la fisurare
Conținut mai mare de liant bituminos	Peliculă mai consistentă și coeziune potențial mai bună	Obturarea golurilor și drenarea liantului
Creșterea fracției fine	Îmbunătățirea anumitor caracteristici ale mortarului	Reducerea conectivității golurilor
Liant bituminos modificat	Posibilă îmbunătățire a elasticității și rezistenței la dezagregare	Costuri suplimentare și efecte dependente de formulare
Utilizarea fibrelor	Retenția liantului și stabilizarea mixturii	Efecte dependente de tip, dozaj și dispersie

6. METODE DE PROIECTARE A DOZAJELOR ȘI EVALUARE PREZENTATE ÎN LITERATURA DE SPECIALITATE

Proiectarea dozajelor mixturilor drenante nu se limitează la alegerea unei curbe granulometrice și a unui dozaj de liant. Literatura internațională utilizează combinații de indicatori volumetrici, hidraulici și mecanici pentru evaluarea compozițiilor.

Printre metodele întâlnite se numără determinarea volumului de goluri, încercarea Cantabro pentru evaluarea pierderii de particule, încercările de permeabilitate și evaluarea tendinței de drenare a liantului. Acestea permit examinarea unor aspecte diferite ale comportării mixturii asfaltice și contribuie la identificarea compromisurilor dintre proprietăți.

În Statele Unite, procedurile pentru mixturile asfaltice drenante pentru stratul de uzură (cunoscute sub denumirea de *Open-Graded Friction Courses* – OGFC) includ criterii de alegere a agregatelor, recomandări granulometrice și proceduri pentru stabilirea conținutului de asfalt [5]. Cerințele respective trebuie interpretate în contextul sistemului normativ și al aplicației pentru care au fost formulate, fără a fi transferate automat la toate tipurile de mixturi asfaltice drenante.

În cercetările recente, proiectarea dozajelor mixturilor asfaltice drenante este abordată și prin metode statistice și modele predictive. Acestea urmăresc identificarea relațiilor dintre variabilele de compoziție și proprietățile rezultate, precum și evaluarea interacțiunilor dintre factorii independenți.

Totuşi, modelele predictive nu elimină necesitatea unei interpretări fizice a rezultatelor. Un model poate estima o anumită proprietate în domeniul datelor utilizate la dezvoltare, dar transferabilitatea sa către alte materiale, alte tipuri de liant sau alte condiţii de compactare trebuie demonstrată separat.

7. CONCLUZII

Analiza literaturii de specialitate evidenţiază faptul că dozajul de liant şi compoziţia granulometrică reprezintă factori determinanţi pentru performanţele mixturilor asfaltice drenante. Efectele lor nu trebuie interpretate izolat, deoarece proprietăţile finale rezultă din interacţiunea dintre scheletul mineral, liant şi structura poroasă.

Compoziţia granulometrică controlează formarea scheletului mineral şi influenţează distribuţia şi conectivitatea golurilor. Dozajul de liant influenţează grosimea peliculei de bitum, coeziunea şi rezistenţa la dezagregare, dar poate afecta şi permeabilitatea, precum şi stabilitatea mixturii la temperaturi ridicate.

Un aspect esenţial este faptul că porozitatea totală nu reprezintă un indicator suficient pentru descrierea comportării hidraulice. Permeabilitatea depinde şi de conectivitatea şi geometria golurilor, ceea ce justifică utilizarea unor metode complementare de evaluare.

De asemenea, creşterea dozajului de liant nu conduce în mod automat la o îmbunătăţire globală a performanţelor. Deşi poate contribui la creşterea coeziunii, un conţinut excesiv poate favoriza drenarea liantului şi reducerea volumului de goluri. În mod similar, creşterea proporţiei de agregate grosiere poate favoriza formarea unei structuri deschise, dar necesită evaluarea rezistenţei la dezagregare şi a stabilităţii scheletului mineral.

Din perspectiva proiectării amestecului, stabilirea dozajului optim trebuie tratată ca o problemă multicriterială, care să includă cel puţin porozitatea, permeabilitatea, rezistenţa la pierderea particulelor şi tendinţa de drenare a liantului, completate de cerinţele mecanice şi de durabilitate relevante pentru aplicaţia analizată.

În concluzie, literatura susţine necesitatea unei abordări integrate, în care dozajul de liant să fie stabilit în raport cu granulometria şi cu proprietăţile materialelor utilizate. Pentru infrastructura rutieră din România, dezvoltarea unei astfel de metodologii poate constitui o direcţie importantă de cercetare, cu potenţialul de a contribui la obţinerea unor mixturi drenante cu performanţe funcţionale şi durabilitate corespunzătoare.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ZHOU, Y., CHENG, Z., ZHENG, X., WANG, T., WU, X., YU, X., XIE, S. *A holistic exploration of porous asphalt mixtures: From durability and permeability to low-temperature and functional properties*. Heliyon, 11(2), **2025**.

[2]. MANSOUR KHAKI, A., KARIMI, AN., KARIMI, M., *Effect of type and aggregate gradation on the functional properties of porous asphalt (case study of Iran).* Discover Applied Sciences, **2023**.

[3]. CHEN, Z., XU, L., SUN, D., NI, H., GUO, J., TIAN, Y., *Regulation of void/pore characteristics and permeability in porous asphalt mixture for semi-flexible pavement*. Construction and Building Materials, **2025.**

[4]. RAZA, M. S., SHARMA, S. K., *Optimizing porous asphalt mix design for permeability and air voids using response surface methodology and artificial neural networks*. Construction and Building Materials, 442, **2024.**

[5]. Federal Highway Administration (FHWA). Technical Advisory T 5040.31: *Open Graded Friction Courses,* **1990.**

[6]. SR EN 13108-7, *Mixturi asfaltice. Specificații pentru materiale. Partea 7: Betoane asfaltice drenante.* Asociația de Standardizare din România (ASRO), **2007.**

[7]. SR EN 12697-17, *Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 17: Pierderea de material a epruvetelor din mixtură asfaltică drenantă*. Asociația de Standardizare din România (ASRO), **2017.**

[8]. SR EN 12697-18, *Mixturi asfaltice. Metode de încercare pentru mixturi asfaltice preparate la cald. Partea 18: Încercarea de scurgere a liantului*. Asociația de Standardizare din România (ASRO), **2004.**

[9] DYLLA, H. L., & HANSEN, K. R. (2015). Porous Asphalt Pavements with Stone Reservoirs. Federal Highway Administration, FHWA-HIF-15-009, **2015.**

[10] *Austroads. Guide to Pavement Technology — Part 4B: Asphalt.* Austroads Ltd., Sydney, Australia, **2014.**

MODELE HIDRAULICE MODERNE

Andrei-Mihai BAICU, dr.ing., expert tehnic atestat A7, B5, D5, Director, S.C. VIO TOP S.R.L., e-mail: baicu_andrei@yahoo.com

Rezumat

Lucrarea analizează ascensiunea valurilor Dunării pe paramentele apărărilor de mal din acumularea Porțile de Fier I și influența înclinării, rugozității și reflexiei asupra solicitărilor. Studiul de caz folosește o expertiză tehnică privind infrastructura feroviară Drobeta Turnu Severin–Băile Herculane și o scrisoare tehnică privind protecția unei albii la un pod de pe Olt. Valorile preliminare de pentru un perete vertical și pentru un taluz rugos sunt discutate ca rezultate de predimensionare. Recalcularea evidențiază necesitatea verificării compatibilității parametrilor valului și a definițiilor ascensiunii. Analiza documentară confirmă existența unor prevederi referitoare la valuri și arată de ce aplicarea lor trebuie demonstrată prin calcule reproductibile, măsurători și verificări locale.

Cuvinte cheie: Dunăre, ascensiunea valurilor, parament, rugozitate, reflexie, afuiere.

Abstract

This paper examines Danube wave run-up on bank protection structures in the Iron Gates I reservoir and the influence of slope, roughness and reflection on hydraulic loading. A railway infrastructure assessment and a technical letter concerning riverbed protection provide two distinct case studies. The preliminary values for a vertical wall and for a rough slope as preliminary calculations. Recalculation highlights the need to check wave parameter consistency and harmonise run-up definitions. Available guidance addresses wave effects; practical implementation must be supported by reproducible calculations and site-specific validation.

Keywords: Danube, wave run-up, slope, roughness, reflection, scour.

1. INTRODUCERE

În PD095/2002 se specifică clar la art 50 (2) Înălţimea de siguranţă (garda) la terasamentele de acces la râurile la care lăţimea oglinzii apei şi adâncimea apei conduc la formarea de valuri, la determinarea înălţimii de siguranţă se va ţine seama şi de înălţimea valurilor. Astfel înălţimea liberă sub pod va fi: Nivelul apelor extraordinare (NAE) + înălţimea valurilor (hv)+ înălţimea de siguranţă (garda), iar la terasamentele de acces se va ţine cont şi de înălţimea de urcare a apei pe taluz sau parament culei/pile, cerinţa care este semnificativ mai drastică decât cea din Stas 7582/91 unde la punctul 2.5.2.3 se solicită minim 0.5m deasupra NAE 1% pentru Rambleu, cota NSS fiind în practică la minim 1m deasupra NAE1%.

Astfel ajungem să avem o cerinţă fără valuri din Standard pentru terasamentul normal, şi o cerinţă cu valuri şi urcarea lor pe taluz din Normativ pentru rampele de acces la pod.

Pe malurile unei acumulări, nivelul mediu al apei nu delimitează singur zona solicitată hidraulic. Valul incident, unda reflectată, ascensiunea pe parament şi retragerea apei produc solicitări variabile, care se transmit protecţiei, fundaţiilor şi terenului. Pentru infrastructura feroviară apropiată de apă, afuierile sau degradarea masivului de rocă poate afecta şi stabilitatea lucrărilor susţinute de mal.

Obiectivul lucrării este construirea unui cadru de analiză care leagă geometria paramentului de răspunsul hidraulic şi structural. Articolul confruntă calculele preliminare cu semnificaţia parametrilor utilizaţi şi separă observaţiile de teren de estimările şi ipotezele de proiectare. Articolul doreşte să prezinte cazuri frecvent ignorate în practica inginerească curentă.

2. MATERIAL ŞI METODĂ

Prima sursă este expertiza tehnică pentru lucrările de apărare a malurilor şi amenajare a albiei aferente Lotului 4 Drobeta Turnu Severin–Băile Herculane, revizia 2 din 7 august 2026 [1].

A doua sursă este scrisoarea privind podul de pe râul Olt. Ea furnizează un exemplu separat de curgere rapidă şi protecţie de albie. Metoda constă în extragerea datelor, refacerea operaţiilor aritmetice, verificarea sensului fizic şi confruntarea cu ghiduri tehnice. Nu sunt disponibile serii instrumentale de valuri

sau o calibrare hidraulică locală. Prin urmare, rezultatele numerice rămân preliminare.

3. ASCENSIUNEA ŞI REFLEXIA VALURILOR

Ascensiunea valului reprezintă diferența verticală dintre nivelul de referință al apei și limita atinsă pe parament. Ea diferă de înălțimea valului, măsurată între creastă și depresiune, și de distanța parcursă pe suprafața înclinată.

Pentru o undă regulată, în aproximația liniară și la un perete cu reflexie completă, amplitudinea oscilației la perete se dublează. Dacă a_i este amplitudinea incidentă, $H_i = 2a_i$ este înălțimea incidentă. Creșterea crestei deasupra nivelului mediu este atunci H_i, nu $2H_i$. Această distincție previne dublarea greșită a unei înălțimi deja definite între creastă și depresiune.

$$K_r = H_r / H_i \, ; \, a_{perete} = \left(1 + K_r\right) a_i \tag{2}$$

Relația (2) descrie superpoziția în fază la perete; H_r este înălțimea undei reflectate. Un clapotis ideal presupune unde compatibile și un regim fără deferlare. Impactul valurilor deferlate, jeturile și geometria tridimensională necesită altă descriere. Colțurile, racordările și variația adâncimii pot modifica local răspunsul și trebuie incluse în model.

La retragere, vitezele inverse și diferențele de presiune dintre fețele protecției pot antrena materialul fin sau disloca elemente. O ascensiune redusă nu demonstrează, singură, o protecție stabilă.



Figura 1. coperta Overtopping-manual [3] unde se văd în fundal valurile pe parament vertical și în primul plan valurile mai mici peste o bermă

4. INFLUENȚA ÎNCLINĂRII ȘI RUGOZITĂȚII

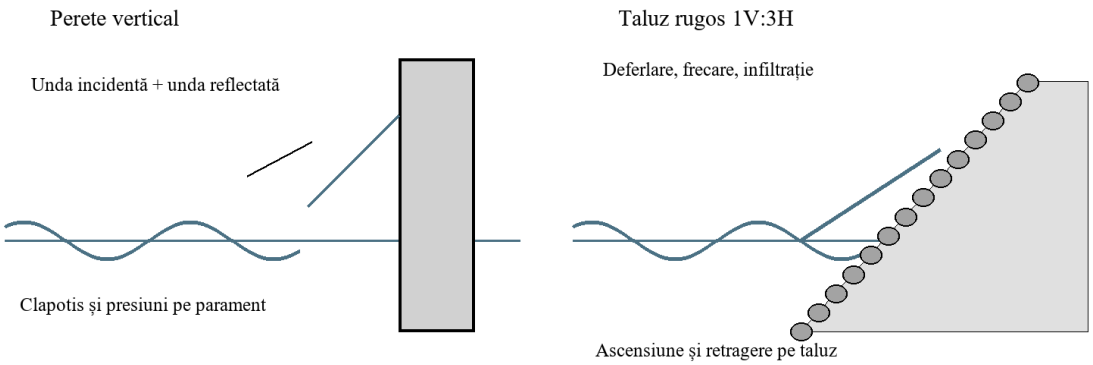


Figura 2. Mecanisme la perete și taluz rugos. Schemă conceptuală

Pe un perete vertical se face o ridicare mai mare a valului, semnificativ mai mare, și se reflectă unda. Combinațiile dintre valuri+valul reflectat pot produce fenomene de rezonanță cu valuri semnificativ mai turbulente. Afuierea este semnificativ mai mare pentru această opțiune. Fenomenul de val staționar la care unda reflectată se suprapune peste cea incidentă dublează înălțimea valului la contactul cu peretele.

Un perete înclinat însă absoarbe și disipă energia valului. Textura peretelui permite micro-turbulențe ce disipă suplimentar energia valului.

Pentru zona Orşova, calculul maximal de val duce la următoarele rezultate comparative

Tip structură	Înălțime urcare apă	Reducere față de peretele vertical
Perete vertical (Sainflou)	6.74 m	0% (Efect maxim de reflexie / clapotis)
Taluz 1:3 din Beton (EurOtop)	3.41 m	~50% mai mică (Datorită pantei line)
Taluz 1:3 cu Anrocamente (EurOtop)	1.87 m	~72% mai mică (Datorită pantei și rugozității)

Introducerea suplimentară a unei berme de 4m la nivelul calm al apei (SWL) sau foarte puțin sub acesta asigură maximum de eficiență geometrică. Impactul conform EurOtop:

Urcare pe taluz neted: 3.04 m (55% mai mică)

Urcare pe taluz cu anrocamente: 1.67 m (75% mai mică)

5. SOLICITĂRI ŞI CONSECINȚE STRUCTURALE

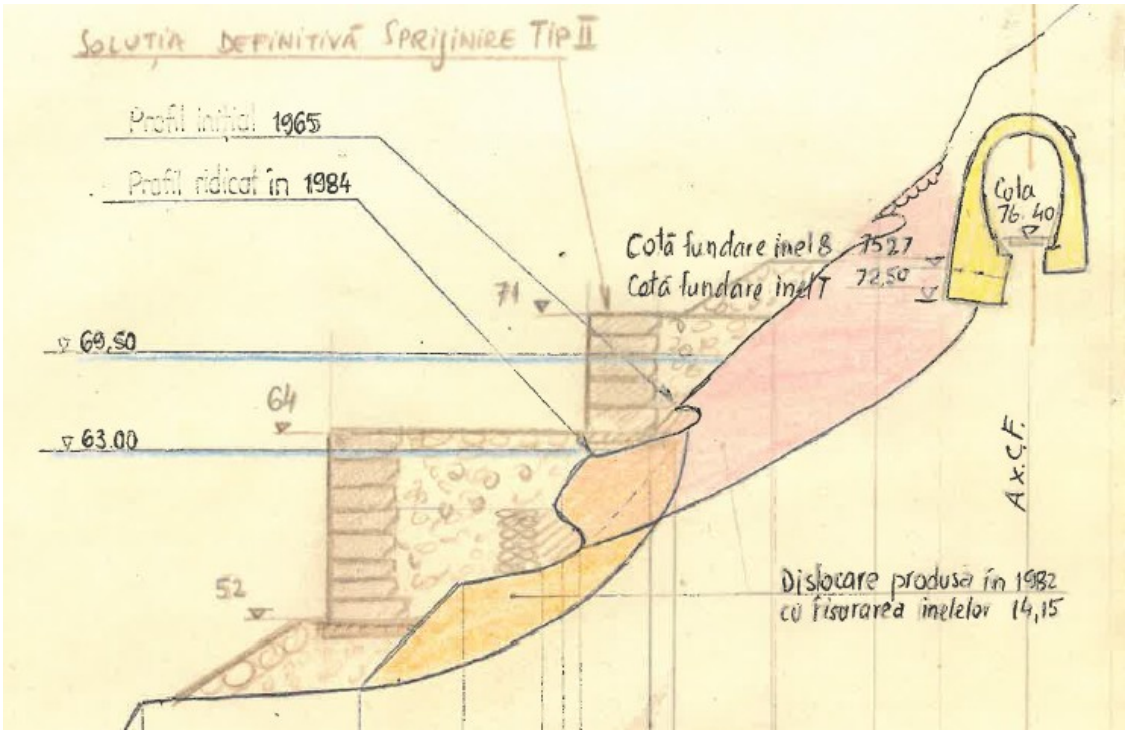


Figura 3. Din studiul istoric al degradărilor, lăsat neprotejat taluzul dinspre lac a produs degradări inclusiv la tunele



Figura 4. poza din teren pe un taluz natural neprotejat erodat de acțiunea valurilor

[3] The Rock Manual dă formula lui Van der Meer ca variantă modernă pentru calculul forțelor și a diametrelor de piatră stabile. Metoda clasică fiind Hudson. Diferențele sunt semnificative între cele 2, cu Van der Meer rezultă 530kg dimensiunea medie, Hudson 2.440kg minim., forțele fiind 3.21kN vs 14.73kN/bloc.

Pentru Taluz pereat Presiunea de smulgere se calculează cu formulele lui Pilarczyk și presiunea de smulgere fiind 24kN/m^2, rezultând o grosime minimă de 1m pt dala de beton doar pentru a nu fi ridicată de valuri. (atenție această grosime nu garantează și stabilitatea pe pantă)



Figura 5. poza din teren Protecție netedă din beton degradată

La peretele vertical, unda este reflectată complet sub formă de *clapotis*. Forțele extreme apar la impactul frontal (compresiune), însă componenta de "smulgere" sau recul apare în faza de masă descendentă (trough), când fața zidului experimentează o decompresie rapidă. Forța de smulgere orizontală în cazul acesta este de 34.3kN/m^2. Forța verticală a apei calculată cu formula lui Goda însă ajunge la 227kN/ml parament, care trebuie considerată pentru eroziunea de suprafață a betoanelor.

6. PREVEDERI TEHNICE ȘI APLICARE PRACTICĂ

În zona Porțile de Fier I- Orșova dimensiunile lacului de acumulare și viteza vânturilor montane ce se dezvoltă depășesc prevederile constructive uzuale. Viteza vântului de calcul (U): Coșava (un vânt regional extrem de violent care suflă dinspre sud-vest, din Serbia, și mătură Clisura Dunării)130km/h= 36.1m/s, specifică episoadelor de furtună severă din Defileul Dunării. Cea mai mare viteză a vântului înregistrată oficial la stația meteo din zona Porțile de Fier (Gura Văii / Drobeta-Turnu Severin) în timpul unor episoade severe de vijelie sau viscol a fost 110 km/h, lungimea de fetch D ajunge până la 6.5km luciul maxim continuu de apă pe direcția vântului orientat spre țărmul Orșovei, rezultând înălțimi teoretice de val de 3.43m, pentru zone de apă adâncă. Pe zonele cu apă mică, calculele se complică, în prima instanță valurile ridicându-se odată cu ridicarea fundului albiei, și dacă zona este lungă ajung să se spargă înainte de a lovi malul.

Ascensiunea valurilor Dunării trebuie inclusă în evaluarea zonei expuse, împreună cu reflexia, izbirea, retragerea apei și stabilitatea terenului. Înclinarea, rugozitatea și permeabilitatea schimbă înălțimea ce trebuie protejată, și încărcările asupra terasamentului. În cel mai bun caz încă 5.5m trebuie protejați deasupra NAE conform PD095.

Normativele românești PD095, GE 027-2023 și STAS-urile (ex 7582/91): păstrează legătura cu școala tehnică est-europeană, și modele de calcul vechi. Pentru un perete vertical, folosește ecuații deterministe pe tipic Sainflou (valuri nesparte, *clapotis* regulat). Pe taluz înclinat, calculează înălțimea medie sau maximă a valului pe baza unor coeficienți simplificați de pantă și rugozitate**.** Ghidul românesc pune un mare accent pe dale din beton (netede) și saltele de gabioane. Forța de smulgere pe taluz neted este privită prin prisma ecuației de echilibru la antrenare (viteza critică a curentului de *backwash).*

Modelele de calcul moderne europene prezentate în EurOtop şi The Rock Manual: foloseşte abordarea statistică modernă. Introduc conceptul de regim impulsiv şi non-impulsiv. În calculul pe taluz 1:3 introduce coeficienţi detaliaţi de rugozitate testaţi în laboratoare hidraulice pentru zeci de tipuri de materiale: se concentrează pe elemente disipative (anrocamente). Forţa de smulgere este calculată statistic: formula ia în considerare durata furtunii (numărul de valuri N) şi nivelul acceptat de avariere (S), recunoscând că un dig poate suferi mici dislocări fără a se prăbuşi.

7. CONCLUZII

Evaluarea apărărilor de mal din acumularea Porţile de Fier I trebuie să considere ascensiunea valurilor, reflexia, impactul şi retragerea apei, împreună cu stabilitatea terenului şi a lucrărilor susţinute. Nivelul de calcul al apei şi o gardă constructivă nu descriu singure zona expusă. Înălţimea valului incident, ascensiunea pe parament şi cota coronamentului sunt mărimi distincte, care trebuie corelate pentru fiecare amplasament.

Comparaţiile de predimensionare prezentate indică avantajul hidraulic al taluzului înclinat şi rugos faţă de peretele vertical. Pentru ipotezele analizate, valorile de 6,74 m, 3,41 m şi 1,87 m ilustrează influenţa geometriei şi a alcătuirii suprafeţei; introducerea unei berme poate reduce suplimentar ascensiunea, însă nu are un impact major.

Reducerea ascensiunii nu garantează stabilitatea protecţiei. Dimensionarea anrocamentelor, verificarea dalelor la ridicare şi alunecare, controlul afuierii şi alcătuirea filtrului trebuie tratate împreună. Diferenţele dintre rezultatele obţinute prin metodele Hudson şi Van der Meer impun compararea definiţiilor, ipotezelor şi criteriilor de avariere înaintea alegerii masei blocurilor. Solicitările hidraulice trebuie transformate în verificări structurale şi geotehnice, fără echivalarea directă a unei presiuni cu pierderea stabilităţii.

Abordările moderne permit descrierea mai detaliată a rugozităţii, regimului valurilor şi avarierii acceptate. Utilizarea lor trebuie corelată cu prevederile aplicabile lucrării şi cu datele locale, fără a atribui normativelor o omisiune generală a fenomenului. Concluzia practică este necesitatea justificării explicite a acţiunii valurilor în proiectare, prin măsurători, calcule reproductibile şi verificări independente, urmate de monitorizarea comportării protecţiilor în exploatare.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ANDREI-MIHAI BAICU. *Expertiză tehnică lucrări de apărare maluri și amenajare albie, Lot 4 Drobeta Turnu Severin–Băile Herculane.* Revizia 2, 7 august **2026**;

[2]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR, CONSTRUCȚIILOR ȘI TURISMULUI Ghid pentru stabilirea parametrilor de calcul ai valurilor de vânt pentru determinarea acțiunii asupra construcțiilor portuare maritime și fluviale, indicativ GP-086-03

[3]. J. W. VAN DER MEER ȘI COLAB. *EurOtop Manual on wave overtopping of sea defences and related structures.* Ediția a doua, **2018**; cap. 5–6. https://www.overtopping-manual.com/eurotop/downloads/

[4]. CIRIA, CUR, CETMEF. *The Rock Manual The use of rock in hydraulic engineering.* C683, ediția a doua,

[5]. M. ESCARAMEIA, R. W. P. MAY. *Channel protection Turbulence downstream of structures.* https://eprints.hrwallingford.com/id/eprint/322/

[6]. MINISTERUL DEZVOLTĂRII LUCRĂRILOR PUBLICE ȘI ADMINISTRAȚIEI. *Ghid pentru proiectarea și execuția lucrărilor de protejare și consolidare a taluzurilor la canale și diguri, indicativ GE 027-**2022***

[7]. ASRO – STAS 7581/91 *Lucrări de căi ferate. Terasamente. Prescripții de proiectare și de verificare a calității*

ANALIZA TEHNICĂ A PERFORMANȚEI LA IMPACT A SISTEMELOR DE PROTECȚIE RUTIERĂ: METODE REGLEMENTATE DE ÎNCERCARE ŞI INTERPRETAREA CRITERIILOR DE EVALUARE

Bălăceanu Andreea Alexandra, drd., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: andreea-alexandra.balaceanu@phd.utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Sistemele de protecție rutieră contribuie la limitarea consecințelor produse de părăsirea accidentală a părții carosabile, prin reținerea și redirecționarea controlată a vehiculelor. Evaluarea performanței acestora nu poate fi realizată exclusiv pe baza geometriei sau a materialului utilizat, ci trebuie fundamentată pe comportarea demonstrată în condiții de încercare definite. Articolul analizează cadrul tehnic al seriei SR EN 1317, principiile încercărilor la impact, clasele de retenție și indicatorii utilizați pentru aprecierea severității impactului și a deformării sistemului. Sunt discutate rolul încercărilor cu vehicule de mase diferite, semnificația parametrilor ASI și THIV, precum și relevanța deflexiunii dinamice și a lățimii de lucru în alegerea și amplasarea parapetelor. În plus, sunt evidențiate limitele extrapolării rezultatelor standardizate la accidentele reale și importanța respectării configurației de montaj pentru care performanța a fost demonstrată. Demersul are caracter tehnico-analitic și se bazează pe materialul documentar furnizat; nu prezintă rezultate experimentale proprii.

Cuvinte cheie: parapete de siguranță; SR EN 1317; încercări la impact; nivel de retenție; ASI; THIV; lățime de lucru.

Abstract

Road restraint systems contribute to mitigating the consequences of vehicles accidentally leaving the carriageway by containing and safely redirecting them. Their performance cannot be assessed solely on the basis of their geometry or the materials used; rather, it must be established through demonstrated behaviour under defined test conditions. This article examines the technical framework of the SR EN 1317 series, the principles of impact testing, containment performance classes, and the indicators used to assess impact severity and system deformation. It discusses the role of tests involving vehicles of different masses, the significance of the ASI and THIV parameters, and the relevance of dynamic deflection and working width in the selection and installation of safety barriers. Furthermore, it highlights the limitations of extrapolating standardised test results to real-world accidents and the importance of complying with the installation configuration for which performance has been demonstrated. This study adopts a technical and analytical approach based on the supplied documentary material and does not present original experimental results.

Keywords: safety barriers; SR EN 1317; impact testing; containment level; ASI; THIV; working width

1. INTRODUCERE

Părăsirea accidentală a părţii carosabile poate conduce la coliziuni cu obstacole, căderi de la diferenţe de nivel sau pătrunderea vehiculului pe sensul opus de circulaţie. În funcţie de configuraţia drumului şi de elementele existente în vecinătatea platformei, consecinţele unui astfel de eveniment pot varia semnificativ. Sistemele de protecţie rutieră sunt utilizate pentru a limita aceste consecinţe, având rolul de a reţine vehiculul, de a-i controla traiectoria şi, atunci când condiţiile permit, de a-l redirecţiona către carosabil.

Performanţa unui parapet nu poate fi dedusă doar din aspectul său constructiv, din tipul materialului sau din rigiditatea aparentă. În timpul impactului, interacţiunea dintre vehicul şi sistem este un proces dinamic, influenţat de masa şi viteza vehiculului, unghiul de lovire, geometria sistemului, condiţiile de ancorare şi caracteristicile zonei din spatele parapetului. Din acest motiv, evaluarea se bazează pe încercări standardizate, concepute pentru a permite compararea unor soluţii constructive diferite în condiţii controlate.

Scopul articolului este de a sintetiza şi dezvolta principalele elemente tehnice, punând accentul pe relaţia dintre cadrul normativ, procedurile de încercare şi interpretarea rezultatelor. Sunt urmărite trei direcţii complementare: capacitatea de retenţie, solicitările transmise ocupanţilor şi deformarea sistemului în timpul impactului. Acestea trebuie analizate împreună, deoarece îndeplinirea unei singure cerinţe nu garantează, în mod izolat, adecvarea parapetului pentru un anumit amplasament.

2. CADRUL NORMATIV ŞI ROLUL SERIEI SR EN 1317

La nivel european, evaluarea dispozitivelor de protecţie rutieră este structurată prin seria EN 1317, preluată în România prin standardele SR EN 1317 (Dispozitive de protecţie la drumuri) şi corelată cu reglementările tehnice naţionale. Această structură urmăreşte stabilirea unei terminologii comune, definirea condiţiilor de încercare şi clasificarea performanţelor pe baza unor rezultate măsurabile. În materialul analizat este menţionat şi normativul naţional AND 593, asociat cerinţelor de utilizare a sistemelor pe drumuri, autostrăzi şi lucrări de artă [1], [3].

Standardul naţional SR EN 1317 are mai multe părţi:

- SR EN 1317-1: 2011 (Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 1: Terminologie şi prevederi generale pentru metodele de încercare) asigură terminologia şi prevederile generale necesare descrierii sistemelor şi a comportării lor la impact;

- SR EN 1317-2: 2010 (Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 2: Clase de performanţă, criterii de acceptare a încercărilor la impact şi metode de încercare pentru parapetele de siguranţă) este direct relevant pentru parapetele de siguranţă, întrucât stabileşte clasele de performanţă, criteriile de acceptare şi metodele de încercare;
- SR EN 1317-3: 2011 (Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 3: Clase de performanţă, criterii de acceptare a încercărilor la impact şi metode de încercare pentru atenuatorii de impact) tratează atenuatorii de impact, dispozitive care funcţionează în condiţii distincte faţă de parapetele longitudinale;
- SR EN 1317-5+A2: 2012 şi SR EN 1317-5+A2: 2012/AC: 2013 (Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 5: Cerinţe referitoare la produse şi evaluarea conformităţii dispozitivelor de reţinere a vehiculelor) se referă la cerințe pentru produse și evaluarea conformității;
- SR CEN/TR 1317-10: 2026 (Dispozitive de protecţie la drumuri – Partea 10: Metode de evaluare și linii directoare de proiectare pentru segmente de tranziţie, elemente/dispozitive terminale și atenuatoare de impact – Segmente de tranziţie) contribuie la realizarea unei treceri sigure și funcționale între sisteme de protecţie care pot avea caracteristici constructive sau niveluri de performanţă diferite.

Separarea domeniilor de aplicare are importanță practică. Un parapet longitudinal, un atenuator de impact și o extremitate de parapet nu sunt supuse acelorași configurații de solicitare și nu pot fi evaluate prin simpla transferare a concluziilor de la un tip de dispozitiv la altul. Fiecare categorie are o funcție specifică și necesită verificarea performanței potrivit condițiilor aplicabile. Pentru proiectant și administratorul drumului, documentația de conformitate trebuie, prin urmare, să fie analizată în raport cu tipul exact de produs și cu utilizarea avută în vedere.

Standardizarea oferă un limbaj comun pentru compararea produselor, dar nu înlocuiește analiza amplasamentului. Clasa declarată trebuie interpretată împreună cu rezultatele încercărilor, deformarea măsurată și condițiile de instalare. În plus, standardele și reglementările pot fi revizuite; la proiectarea sau evaluarea unei lucrări concrete trebuie consultate edițiile în vigoare și documentele de conformitate aplicabile produsului.

3. PRINCIPIILE ÎNCERCĂRILOR LA IMPACT

Încercările la impact reproduc, în condiții controlate, interacţiunea dintre un vehicul de încercare și sistemul de protecție. Parametrii principali sunt masa vehiculului, viteza la impact și unghiul de incidență. Combinația acestora determină solicitarea mecanică aplicată parapetului și influențează atât deformarea sistemului, cât și mișcarea ulterioară a vehiculului. Pentru a putea compara rezultate obținute pentru produse diferite, condițiile de testare nu sunt alese arbitrar, ci sunt definite de procedurile normative.

Materialul analizat indică un domeniu al vitezelor de impact de aproximativ 65–110 km/h, în funcţie de încercare, şi unghiuri prestabilite de până la 20°. Aceste valori nu trebuie interpretate ca parametri identici pentru toate testele. Fiecare încercare are o combinaţie proprie de masă, viteză şi unghi, adaptată nivelului de solicitare pe care urmăreşte să îl verifice. Prin urmare, identificarea codului de încercare şi a condiţiilor sale este esenţială pentru interpretarea corectă a rezultatului.

În timpul testului se observă dacă vehiculul este reţinut, dacă traversează sau depăşeşte sistemul, cum este redirecţionat şi ce deformări se produc. În paralel, se înregistrează parametri care permit aprecierea severităţii impactului pentru ocupanţi. Rezultatul nu se reduce la o concluzie binară de tipul «parapetul a rezistat» sau «parapetul nu a rezistat». Evaluarea presupune verificarea mai multor criterii, iar performanţa globală trebuie interpretată în raport cu obiectivele de siguranţă urmărite.

Încercările standardizate reprezintă un compromis tehnic între reproductibilitate şi diversitatea situaţiilor reale. Ele permit compararea sistemelor în condiţii comune, dar nu pot reproduce toate combinaţiile posibile întâlnite în trafic. Astfel, rezultatul unui test demonstrează performanţa produsului în condiţiile încercării respective, nu o garanţie că acelaşi răspuns va apărea în orice accident.

4. CLASELE DE RETENŢIE ŞI SEMNIFICAŢIA LOR

Clasificarea parapetelor se bazează pe comportarea observată la încercările prescrise. Sunt prevăzute nivelurile T1–T3 asociate protecţiei temporare la unghiuri reduse, clasele N1–N2 pentru niveluri normale de retenţie şi clasele H1–H4b, respectiv L1–L4b, pentru niveluri ridicate sau foarte ridicate. Fiecărei clase îi corespunde o combinaţie prestabilită de teste, iar încadrarea se bazează pe rezultatele acestora.

Pentru nivelul H1 sunt menţionate încercările TB42 şi TB11, în care sunt utilizate vehicule cu mase de 10000 kg şi, respectiv, 900 kg. Pentru nivelul H2 sunt indicate TB51 şi TB11, încercarea TB51 folosind un vehicul de 13000 kg. La nivelul H4b, încercarea TB81 implică un vehicul de 38000 kg, fiind asociată cu TB11 pentru autoturismul de 900 kg. Pentru clasele L este indicată suplimentar încercarea TB32, realizată cu un vehicul de 1500 kg. Aceste combinaţii sunt prezentate aici potrivit materialului furnizat şi trebuie verificate în raport cu ediţia normativă aplicabilă proiectului concret.

Utilizarea unor vehicule de mase diferite reflectă necesitatea de a verifica mai multe moduri de răspuns ale sistemului. Un parapet care reţine un vehicul greu nu are automat un comportament optim la impactul cu un autoturism. Rigiditatea necesară pentru a prelua solicitarea unui vehicul de mare masă poate modifica acceleraţiile şi mişcarea vehiculului uşor. Testele complementare

permit evaluarea simultană a capacității de retenție și a severității impactului pentru categorii diferite de vehicule.

În consecință, clasa de retenție nu trebuie tratată ca o măsură unică a siguranței. Ea indică performanța de retenție demonstrată în cadrul unei configurații standardizate de încercări, dar trebuie analizată împreună cu indicatorii de severitate și de deformare. Alegerea unui nivel mai ridicat nu este, în sine, suficientă pentru a stabili că produsul este optim pentru orice sector de drum.

Figura 1 prezintă tipuri de parapet rutier.



Figura 1. Tipuri de parapet rutier

5. EVALUAREA SEVERITĂȚII IMPACTULUI: ASI ȘI THIV

Pe lângă reținerea vehiculului, un criteriu fundamental îl reprezintă severitatea solicitărilor transmise ocupanților. În seria de standarde SR EN 1317 sunt utilizați, între alții, indicatorii ASI (Acceleration Severity Index) și THIV (Theoretical Head Impact Velocity). Aceștia descriu aspecte diferite ale răspunsului dinamic și oferă informații care nu pot fi deduse exclusiv din deformarea vizibilă a parapetului [3].

ASI caracterizează severitatea accelerațiilor înregistrate la nivelul vehiculului în timpul coliziunii. Interpretarea sa urmărește nivelul solicitărilor dinamice asociate impactului. THIV reprezintă viteza teoretică de impact a capului ocupantului, calculată pe baza modelului de mișcare utilizat de procedura de evaluare. Împreună, acești indicatori permit aprecierea unor aspecte ale riscului pentru ocupanți și completează informația furnizată de criteriul de retenție.

Din perspectiva proiectării, ASI și THIV subliniază faptul că un sistem de protecție trebuie să îndeplinească două obiective care pot intra în tensiune: să

ofere suficientă rezistență pentru a controla vehiculul și să evite transmiterea unor solicitări excesive către ocupanți. Un sistem foarte rigid poate limita deplasarea laterală, însă răspunsul vehiculului trebuie evaluat în ansamblu. În mod similar, un sistem deformabil poate absorbi energie, dar trebuie să asigure retenția și să nu permită pătrunderea vehiculului într-o zonă periculoasă.

Prin urmare, ASI și THIV sunt elemente importante ale evaluării comparative. Ei trebuie examinați împreună cu filmările testului, mișcarea vehiculului, integritatea sistemului și rezultatele privind deformarea. Numai o lectură combinată poate susține o concluzie tehnică echilibrată asupra performanței.

6. DEFORMAREA SISTEMULUI: DEFLEXIUNE ȘI LĂȚIME DE LUCRU

În timpul impactului, parapetul se poate deplasa lateral, iar vehiculul poate pătrunde parțial în spațiul din spatele poziției inițiale a sistemului. Pentru proiectare, aceste fenomene sunt importante deoarece pot determina contactul cu obstacolele protejate sau ocuparea unei zone necesare altor funcții ale infrastructurii.

Deflexiunea dinamică (D) descrie deplasarea laterală maximă a feței parapetului orientate spre trafic în timpul impactului.

Lățimea de lucru (W) ia în considerare limita laterală maximă atinsă de sistem în timpul coliziunii, raportată la poziția inițială (Figura 2).

Figura 2 ilustrează modul de determinare a deflexiunii dinamice (D) și a lățimii de lucru (W) ale parapetelor de siguranță rutieră în timpul impactului unui vehicul. Reprezentările a, b, c, d, e și f evidențiază deformarea laterală a sistemului de protecție și extinderea acestuia către zona adiacentă carosabilului, în diferite situații de impact.

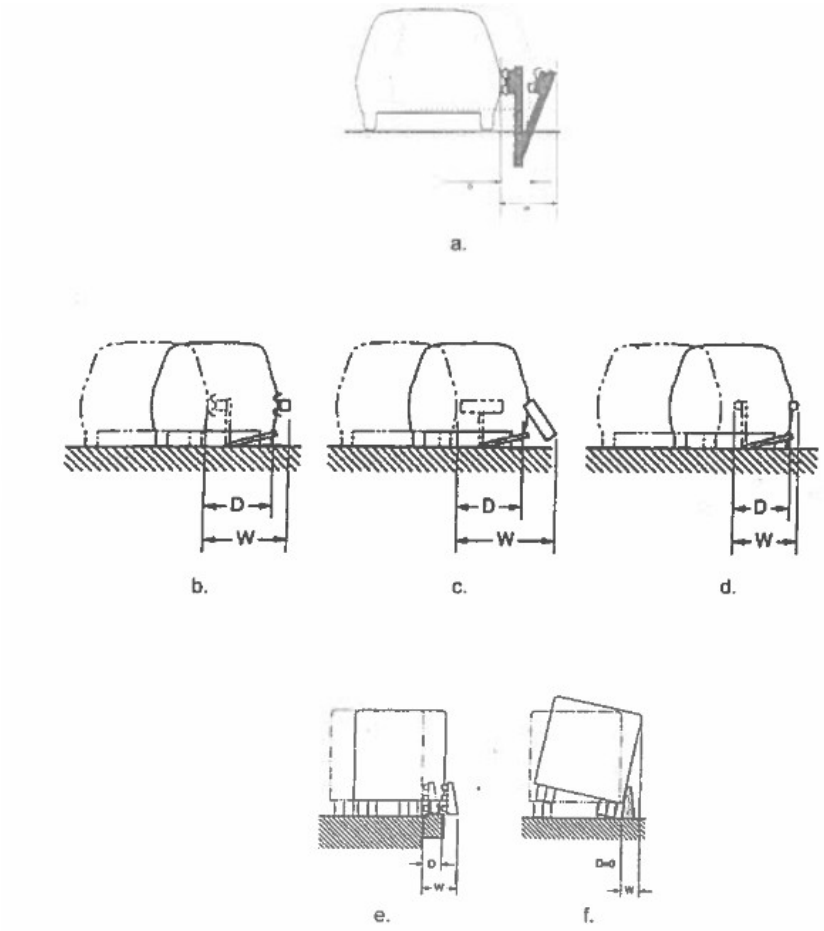


Figura 2. Deflexiunea dinamică (D) și lățimea de lucru (W)

Valoarea deformării are consecințe directe asupra amplasării. Dacă în spatele parapetului se află un stâlp, un zid, o structură de pod, un echipament tehnic sau o altă zonă vulnerabilă, deplasarea sistemului trebuie comparată cu distanța reală până la obstacol. În lipsa acestei verificări, performanța demonstrată la încercare nu garantează protejarea elementului din spatele parapetului.

În alegerea sistemului, proiectantul trebuie să coreleze lățimea de lucru și deflexiunea cu geometria platformei, poziția obstacolelor, configurația terenului și condițiile de montaj. Analiza spațiului necesar deformării trebuie realizată înainte de selectarea definitivă a produsului, nu doar în etapa de verificare a lucrării executate.

Din punct de vedere metodologic, parametrii de deformare transformă rezultatul încercării într-o informație utilă pentru proiectare. Ei permit compararea unor soluții cu clase de retenție similare, dar cu cerințe spațiale diferite. Un sistem cu deformare redusă poate fi avantajos în zone înguste, însă selecția sa trebuie să țină cont și de severitatea impactului, de clasa de retenție și de compatibilitatea cu vehiculele relevante pentru sectorul analizat.

7. CADRUL NORMATIV ÎN PROIECTARE ŞI ÎN EXPLOATARE

Alegerea unui parapet trebuie să pornească de la evaluarea riscului sectorului de drum. Sunt relevante categoria drumului, vitezele de circulație, configurația platformei, existența obstacolelor, diferențele de nivel, posibilitatea pătrunderii pe sensul opus și consecințele potențiale ale unei ieșiri de pe carosabil. Funcția parapetului trebuie definită clar: protecție laterală, separarea sensurilor, protejarea unei structuri sau limitarea accesului într-o zonă periculoasă.

Figura 3 prezintă o schemă cadru pentru evaluarea și utilizarea sistemelor de protecție în zona drumului.

După identificarea riscului, clasa de retenție trebuie selectată în raport cu cerințele aplicabile și cu vehiculele care pot genera consecințe semnificative. Ulterior, se verifică indicatorii de severitate și deformare. Această succesiune evită alegerea unui sistem exclusiv pe baza unei clase de retenție sau a unei valori de catalog. Documentația tehnică trebuie să permită identificarea testelor efectuate, a parametrilor măsurați și a configurației de montaj relevante [1].

Compatibilitatea spațială este o condiție distinctă de performanța la impact. Dacă lățimea de lucru depășește spațiul disponibil, sistemul poate fi nepotrivit pentru amplasamentul avut în vedere, chiar dacă nivelul de retenție este adecvat. În asemenea situații trebuie analizate alternative compatibile cu spațiul disponibil sau reconfigurarea amplasamentului, cu respectarea reglementărilor și a cerințelor de siguranță.

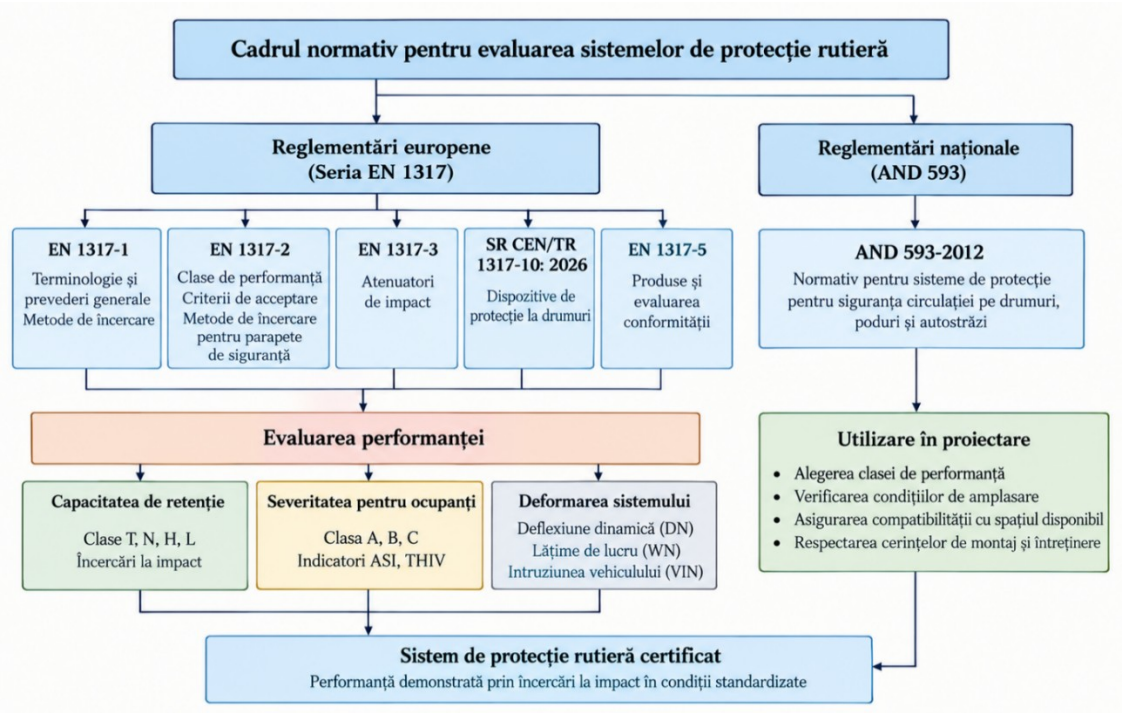


Figura 3. Schema cadrului normativ pentru evaluarea și utilizarea sistemelor de protecție rutieră

În etapa de punere în operă, verificarea trebuie să urmărească fidelitatea execuţiei faţă de configuraţia evaluată: poziţia şi distanţa stâlpilor, prinderile, continuitatea, lungimea de lucru, condiţiile suportului şi realizarea extremităţilor. Detaliile de racordare între sisteme cu rigidităţi diferite au o importanţă deosebită, deoarece comportarea în zona de tranziţie poate fi diferită de cea pe lungimea curentă a parapetului.

În exploatare, inspecţiile şi întreţinerea sunt necesare pentru păstrarea funcţiei de protecţie. După un impact, chiar dacă deteriorarea pare limitată, trebuie evaluată integritatea elementelor şi a prinderilor. Înlocuirea componentelor trebuie realizată cu piese compatibile, iar intervenţiile care modifică sistemul trebuie analizate tehnic. Siguranţa nu depinde numai de performanţa iniţială declarată, ci şi de menţinerea configuraţiei şi a stării corespunzătoare pe durata de utilizare.

8. CONCLUZII

Evaluarea performanţei parapetelor de siguranţă rutieră evidenţiază necesitatea unei abordări integrate, în care capacitatea de retenţie, severitatea impactului şi deformarea sistemului sunt analizate împreună. Alegerea unui parapet nu trebuie să se bazeze exclusiv pe clasa de retenţie declarată, ci trebuie să ţină cont de caracteristicile traficului, de riscurile specifice amplasamentului şi de consecinţele potenţiale ale părăsirii accidentale a părţii carosabile.

Rezultatele încercărilor standardizate la impact constituie baza evaluării performanţei sistemelor de protecţie, prin furnizarea unor informaţii obiective privind comportarea vehiculului şi a parapetului în condiţii controlate. Indicatorii ASI şi THIV contribuie la aprecierea severităţii solicitărilor transmise ocupanţilor, în timp ce deflexiunea dinamică şi lăţimea de lucru permit determinarea spaţiului necesar deformării sistemului. Corelarea acestor parametri este esenţială pentru identificarea unei soluţii care să asigure atât reţinerea şi redirecţionarea vehiculului, cât şi limitarea consecinţelor impactului.

Totodată, compatibilitatea dintre caracteristicile parapetului şi geometria amplasamentului reprezintă o condiţie fundamentală pentru eficienţa măsurilor de protecţie. Un sistem cu performanţe corespunzătoare la impact poate fi inadecvat dacă deformarea sa depăşeşte spaţiul disponibil sau dacă montajul nu respectă configuraţia evaluată. În acest sens, verificarea condiţiilor de instalare, a prinderilor, a continuităţii sistemului şi a racordărilor dintre componente trebuie să constituie parte integrantă a procesului de implementare.

În concluzie, siguranţa asigurată de un parapet rutier depinde atât de performanţa demonstrată prin încercări standardizate, cât şi de corectitudinea selectării, instalării şi întreţinerii acestuia. Respectarea cerinţelor normative aplicabile, verificarea documentaţiei tehnice şi menţinerea caracteristicilor constructive pe întreaga durată de exploatare sunt condiţii esenţiale pentru

asigurarea funcţiei de protecţie. Prin urmare, alegerea şi gestionarea sistemelor de retenţie trebuie abordate ca un proces tehnic continuu, adaptat riscurilor reale ale infrastructurii şi obiectivelor de siguranţă rutieră.

BIBLIOGRAFIE

[1]. Compania Națională de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România. *AND 593-2012 – Normativ pentru sisteme de protecție pentru siguranța circulației pe drumuri, poduri și autostrăzi. București*, **2012.**

[2]. Comisia Europeană. *Directiva 2008/96/CE privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere, modificată prin Directiva (UE) 2019/1936,* **2019.**

[3]. SR EN 1317-1: 2011 *Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 1: Terminologie şi prevederi generale pentru metodele de încercare,* **2011.**

[4]. SR EN 1317-2:2010. *Dispozitive de protecție la drumuri. Partea 2: Clase de performanță, criterii de acceptare a încercărilor la impact și metode de încercare pentru parapetele de siguranță. București,* **2010.**

[5]. SR EN 1317-3: 2011. *Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 3: Clase de performanţă, criterii de acceptare a încercărilor la impact şi metode de încercare pentru atenuatorii de impact,* **2011**.

[6]. SR EN 1317-5+A2: 2012 și SR EN 1317-5+A2: 2012/AC: 2013. *Dispozitive de protecţie la drumuri. Partea 5: Cerinţe referitoare la produse şi evaluarea conformităţii dispozitivelor de reţinere a vehiculelor, 2013.*

[7]. SR CEN/TR 1317-10: 2026, *Dispozitive de protecție la drumuri – Partea 10: Metode de evaluare și linii directoare de proiectare pentru segmente de tranziție, elemente/dispozitive terminale și atenuatoare de impact – Segmente de tranziție*, **2026.**

[8]. Abraham, N., Ghosh, B., Simms, C., Thomson, R., & Amato, G. *Assessment of the impact speed and angle conditions for the EN1317 barrier tests*. International Journal of Crashworthiness, **2016.**

[9]. Roque, C. A., & Cardoso, J. L. *Observations on the relationship between European standards for safety barrier impact severity and the degree of injury sustained*. IATSS Research, **2013.**

[10]. Ren, Z., & Vesenjak, M. *Computational and experimental crash analysis of the road safety barrier. Engineering Failure Analysis*, **2005.**

PROIECTAREA DRUMURILOR CU AJUTORUL CIVIL SITE DESIGN (CSD) ȘI INTELIGENȚEI ARTIFICIALE (A.I.)

Balcu Florin, ing. Director, Australian Design Company, e-mail: florin.balcu@australiandc.ro

Rezumat

Articolul prezintă modulul de inteligență artificială Project Assist AI, integrat în aplicația Civil Site Design V27, care se poate instala peste platformele CAD BricsCAD, AutoCAD sau Civil 3D. Prin agentul AI TEX, proiectantul dialoghează în limba română cu aplicația pentru a extrage date din proiect și a genera rapoarte personalizate (profile longitudinale, geometria orizontală, coordonate de trasare), iar prin configurarea Model Context Protocol (MCP) datele proiectului pot fi legate de un server AI local. Sunt prezentate antrenarea agentului cu „skill-uri” reutilizabile, generarea rapoartelor în format Excel, CSV și HTML, verificarea curbelor orizontale conform STAS 863, definirea automată a taluzurilor complexe cu banchete prin opțiunea Intelligent Sections, precum și proiectarea intersecțiilor și a sensurilor giratorii (trotuare, insule, profile longitudinale și model 3D) cu modulul FAST TRAK. Exemplele arată că inteligența artificială poate automatiza operațiile repetitive din proiectarea drumurilor, reducând timpul de lucru și sprijinind verificarea conformității cu normele tehnice.

Cuvinte cheie: proiectarea drumurilor, Civil Site Design, inteligență artificială, rapoarte automate, FAST TRAK

Abstract

The paper presents the Project Assist AI artificial intelligence module integrated in Civil Site Design V27, which can be installed on BricsCAD, AutoCAD or Civil 3D. Through the TEX AI agent, the designer can converse with the application in Romanian in order to extract project data and generate customised reports (longitudinal profiles, horizontal geometry, stake-out coordinates), while the Model Context Protocol (MCP) configuration links the project data to a local AI server. The paper describes training the agent with reusable “skills”, generating reports in Excel, CSV and HTML formats, checking horizontal curves against the Romanian standard STAS 863, automatically defining complex benched slopes with the Intelligent Sections option, and designing intersections and roundabouts (footpaths, islands, longitudinal profiles and 3D model) with the FAST TRAK module. The examples show that artificial intelligence can automate repetitive road design operations, reducing design time and supporting compliance checks against technical standards.

Keywords: road design, Civil Site Design, artificial intelligence, automated reports, FAST TRAK

1. INTRODUCERE

Proiectarea drumurilor cu ajutorul inteligenței artificiale (A.I.) în aplicația Civil Site Design ajunge să prindă contur. Avem la dispoziție un modul prin care putem verifica și extrage date în diferite forme de rapoarte necesare proiectului tehnic sau putem face o serie de operații automatizate, prin inițierea unui dialog cu A.I.

Aplicația Civil Site Design, împreună cu modulul special de A.I. integrat, se poate instala peste platforma CAD disponibilă, precum BricsCAD, AutoCAD sau Civil 3D. De asemenea, există versiunea de instalare care vine cu tot cu modulul AutoCAD, cu licență permanentă, sub denumirea de Civil Site Design PLUS.

Aplicațiile pot fi descărcate de pe site-ul https://australiandc.ro/civil-site-design/, unde veți găsi o direcționare spre pagina specială a aplicației, apelând DESCARCĂ.

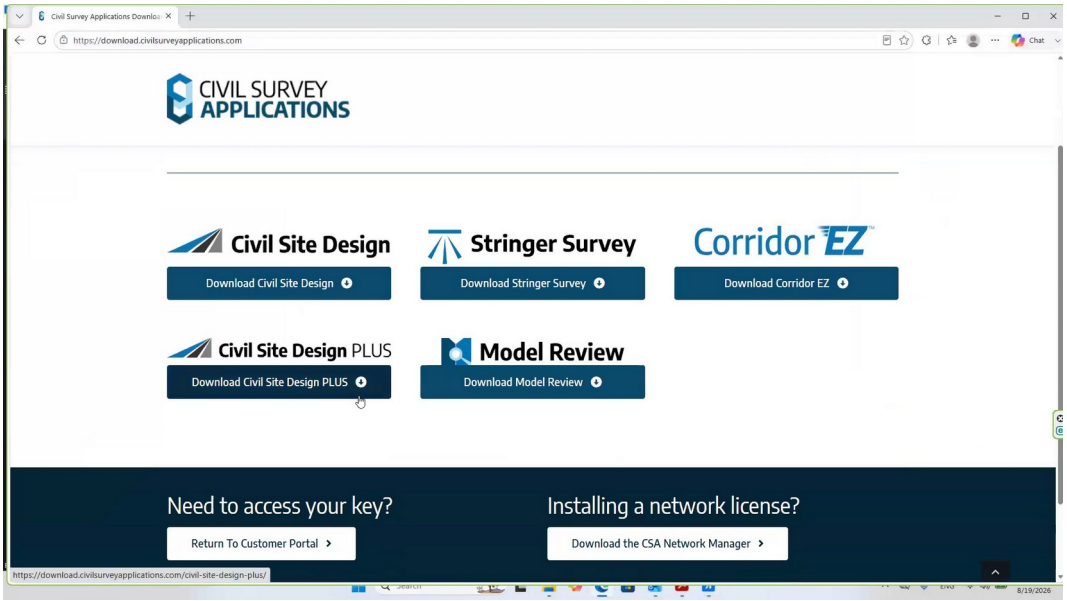


Figura 1. Pagina de descărcare a aplicațiilor Civil Site Design

2. INTEGRAREA AI ÎN CIVIL SITE DESIGN INSTALAT PESTE BRICSCAD V27

Pe orice platformă CAD ați instala, meniurile și opțiunile vor fi aceleași. O utilizare frecventă este instalarea peste BricsCAD, datorită costurilor de achiziție și a licenței pe viață pe care o primiți.

Lista de meniuri pe care o avem în Toolspace pune la dispoziție butonul Project Assist AI.

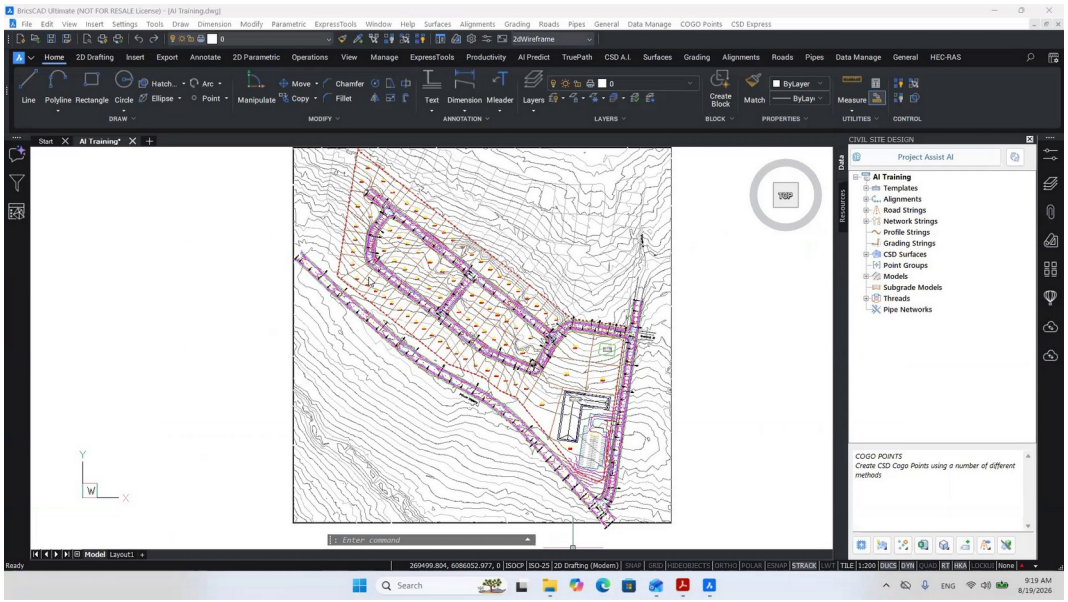


Figura 2. Butonul Project Assist AI din Toolspace (Civil Site Design V27 instalat peste BricsCAD)

Apelând Project Assist AI, vom avea la dispoziție un agent A.I. pasiv, cu numele TEX, ce ne poate crea rapoarte personalizate extrase din proiectul realizat de noi, precum cantități sau coordonate de trasare.

Acest modul A.I. este gratuit și, după o utilizare mai îndelungată, este posibil să fie nevoie de o pauză pentru a putea continua să îl utilizăm; aceasta nu este o eroare, ci o limitare a modulelor A.I. gratuite.

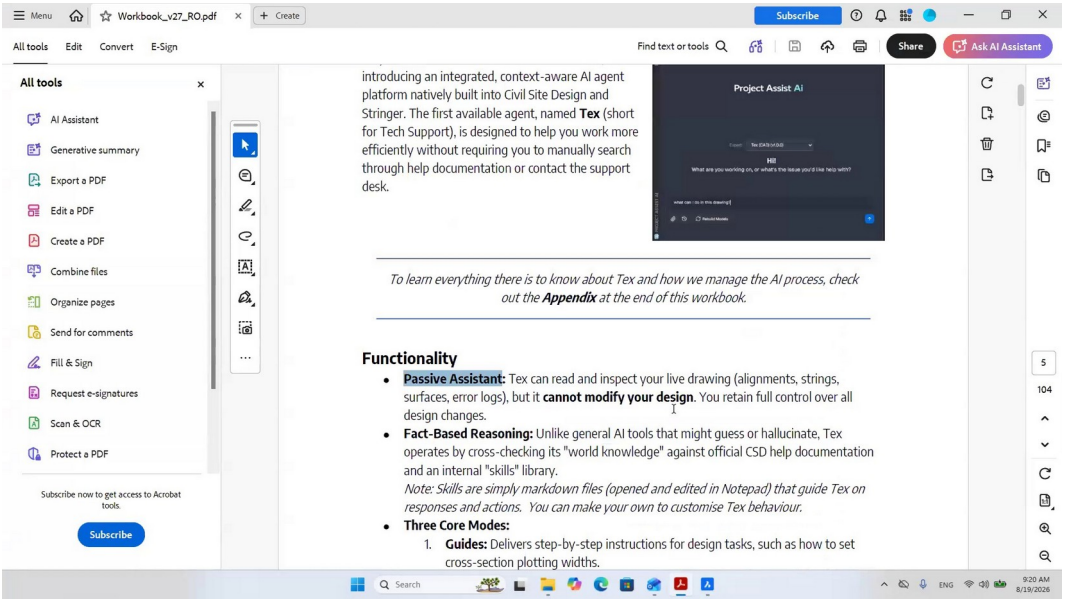


Figura 3. Prezentarea agentului TEX în documentația aplicației

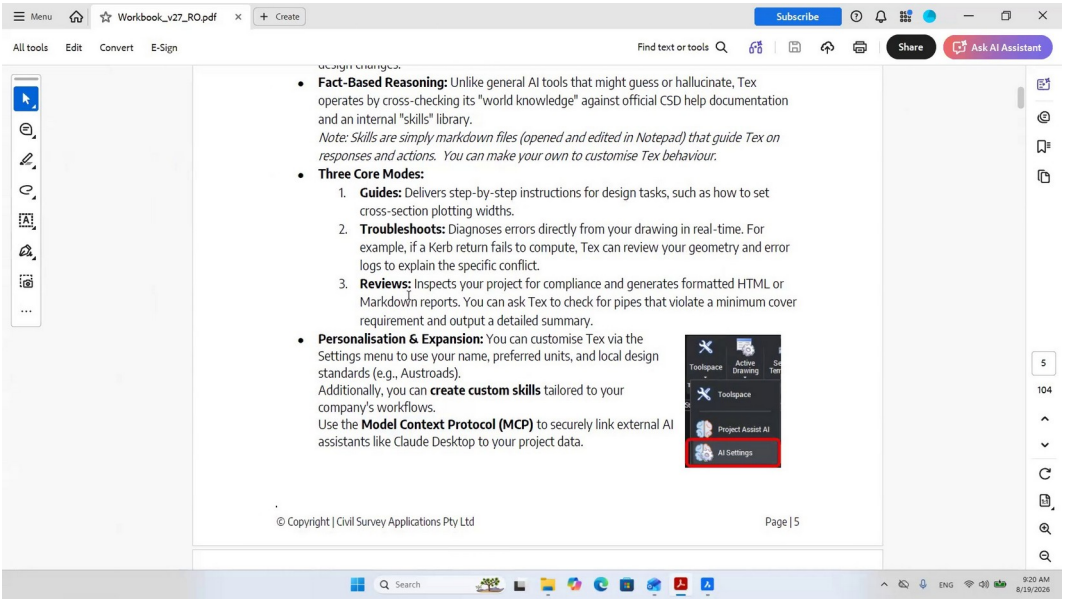


Figura 4. Modurile de lucru ale agentului TEX și opțiunea AI Settings (MCP)

3. CONFIGURAREA MODEL CONTEXT PROTOCOL (MCP)

În acest pas, selectăm opțiunea „AI Settings” din meniul „Project Assist AI” pentru a configura Model Context Protocol (MCP). Aceasta permite legarea unui server de AI local cu datele din proiect, oferind astfel o funcționalitate de înaltă performanță. În continuare, verificăm setările pentru a ne asigura că sunt corespunzătoare specificului proiectului.

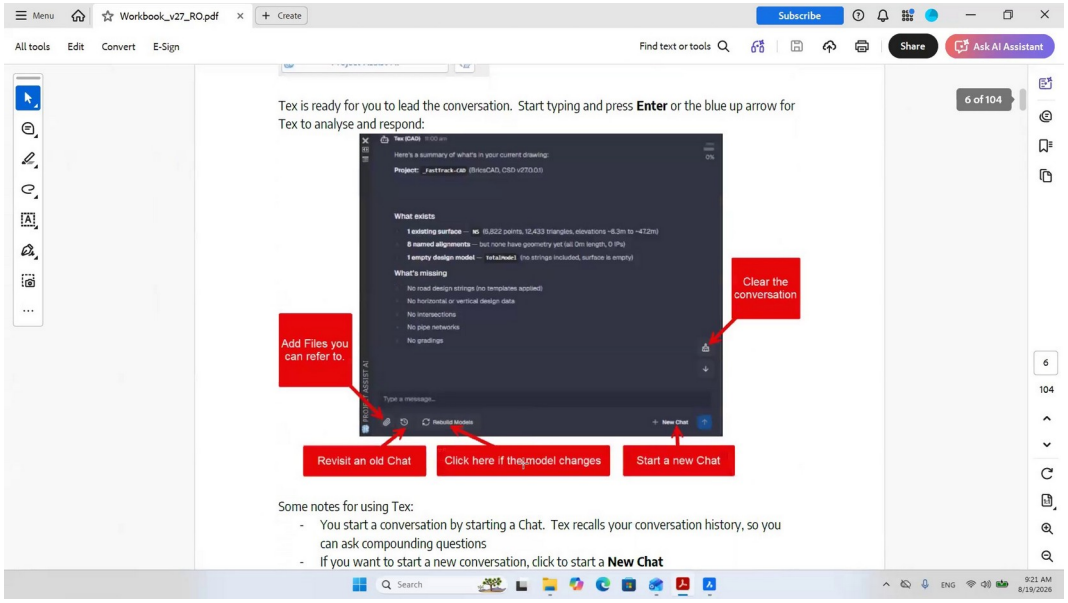


Figura 5. Fereastra de dialog a agentului TEX

4. REALIZAREA UNUI RAPORT PENTRU PROFILUL LONGITUDINAL ŞI A RAPORTULUI GEOMETRIEI ORIZONTALE PENTRU TOATE DRUMURILE DIN PROIECT

Profilul longitudinal în versiunea V27 poate conține inclusiv reprezentarea solidelor, precum poduri sau podețe. Este nevoie ca aceste opțiuni de afișare să fie bifate pentru a fi luate în considerare în cadrul raportărilor.

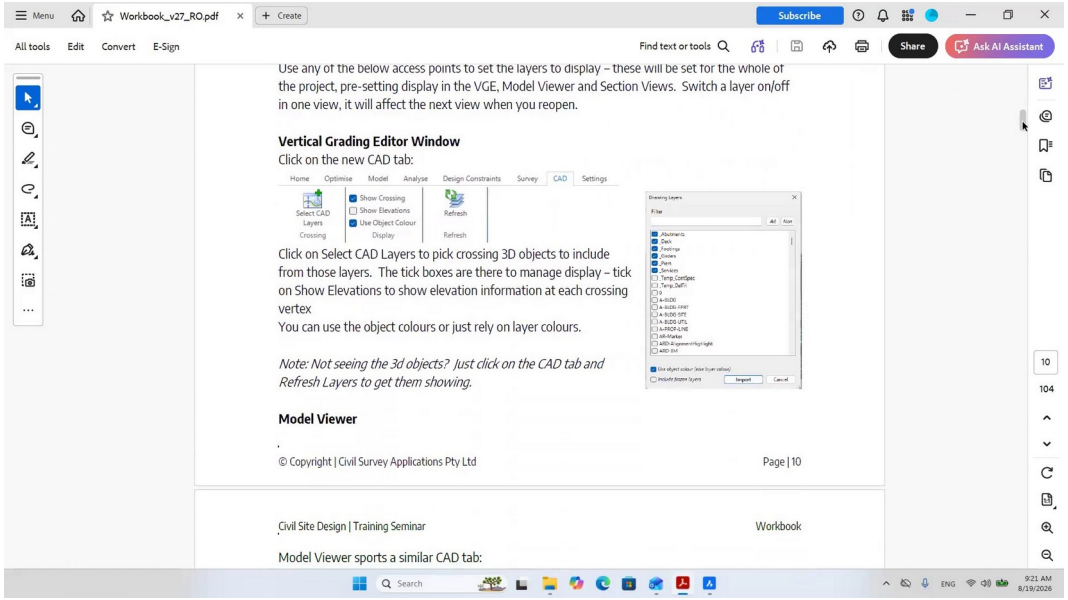


Figura 6. Setarea straturilor afișate în Vertical Grading Editor

Selectam elementele care vor fi afișate în fereastra Vertical Grading Editor. Acest lucru permite vizualizarea corectă a obiectelor 3D și a informațiilor de nivel în proiectul nostru.

Odată cu utilizarea agentului A.I., putem să îi cerem să învețe „skill-uri” și funcții, de fapt acțiuni standard pe care le folosim în orice proiect, date tehnice necesare, astfel încât, într-o viitoare utilizare, să nu trebuiască să reluăm tot procesul. El va reține și va utiliza configurațiile și abilitățile învățate pentru ca procesul să decurgă mai ușor și să obținem formatul de raportare ca și complexitate, respectiv să respecte parametrii de proiectare pe care i-am configurat anterior.

Configurăm AI Dragon pentru a învăța skill-uri. Vizualizăm și selectăm secțiunea „How to Train your AI Dragon” din meniu pentru a vedea opțiunile disponibile. Verificăm setările și parametrii pentru a maximiza capacitatea de învățare a AI Dragon.

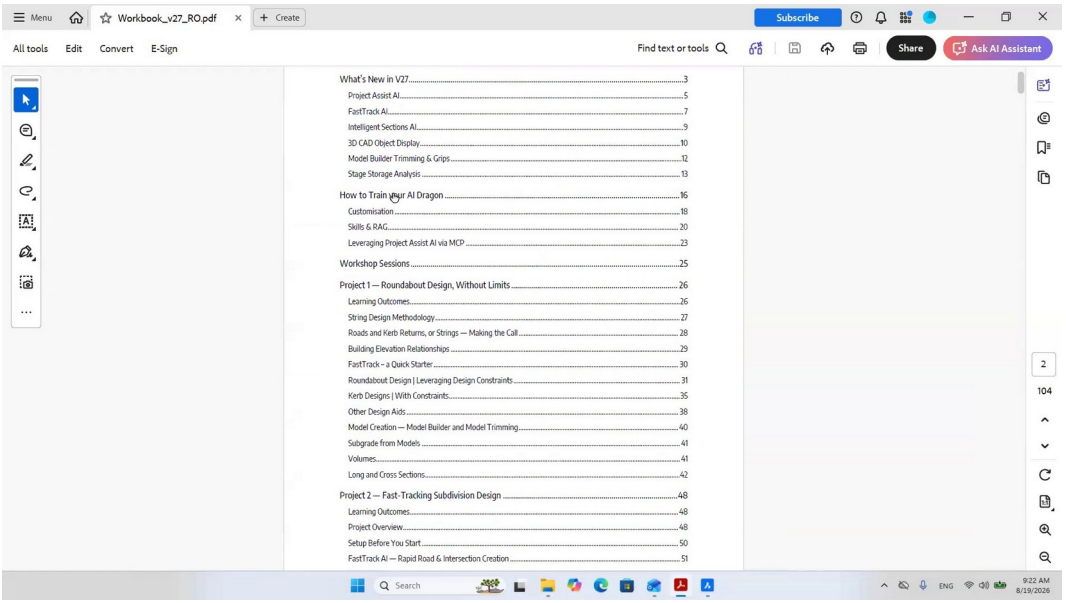


Figura 7. Secțiunea „How to Train your AI Dragon” din documentație

Spre exemplu, putem selecta funcția AI care va genera un skill automatizat pentru proiectarea interactivă a unui profil longitudinal. Deschidem fereastra de setări ale AI-ului și introducem cerințele specifice pentru profilul longitudinal, precum raza minimă și declivitatea maximă. Verificăm setările și configurăm AI-ul pentru a genera automat profilul longitudinal care respectă aceste cerințe. Poate genera automat profile longitudinale pentru toate drumurile din proiect, ținând cont de aceste cerințe tehnice impuse de noi.

De asemenea, putem configura un raport conform unui anumit tip de fișier, ca mod de raportare și ca date necesare, și vom obține un raport personalizat pentru tot ceea ce dorim ca date din proiectul nostru. Putem folosi limba română pentru a discuta și a configura rapoartele, respectiv pentru a le genera.

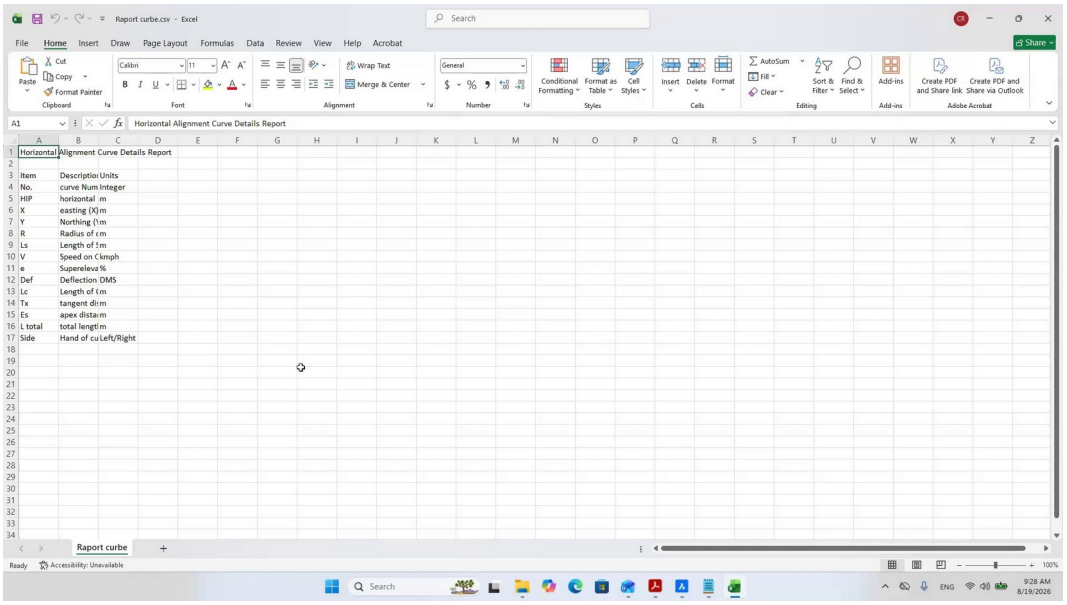


Figura 8. Șablonul Excel pentru raportul curbelor orizontale

Raportarea geometriei orizontale poate fi făcută, de asemenea, foarte ușor prin intermediul A.I. Putem cere descrierea, punctul de intersecție de racordare, lungimea și altele, pentru a crea un raport de detaliu al curbei orizontale. Aceste elemente vor fi introduse într-un șablon predefinit în Excel, care va fi utilizat ca bază pentru raportul final. În acest exemplu selectăm fișierul CSV numit „Raport curbe.csv” din folderul „2. AI Deep Dive”. Apoi, deschidem acest fișier pentru a extrage informațiile necesare pentru raportul de curbe.

Vom face această raportare pentru toate drumurile din proiect. Selectăm toate axele de drum din proiect, numai cele de tip Road, pentru a crea un raport HTML. În continuare, introducem descrierea, punctul de intersecție de racordare și lungimea pentru fiecare ax. Acest raport poate fi folosit ca bază pentru un format clasic și va fi aranjat și colorat în format HTML, creând astfel un skill de bază.

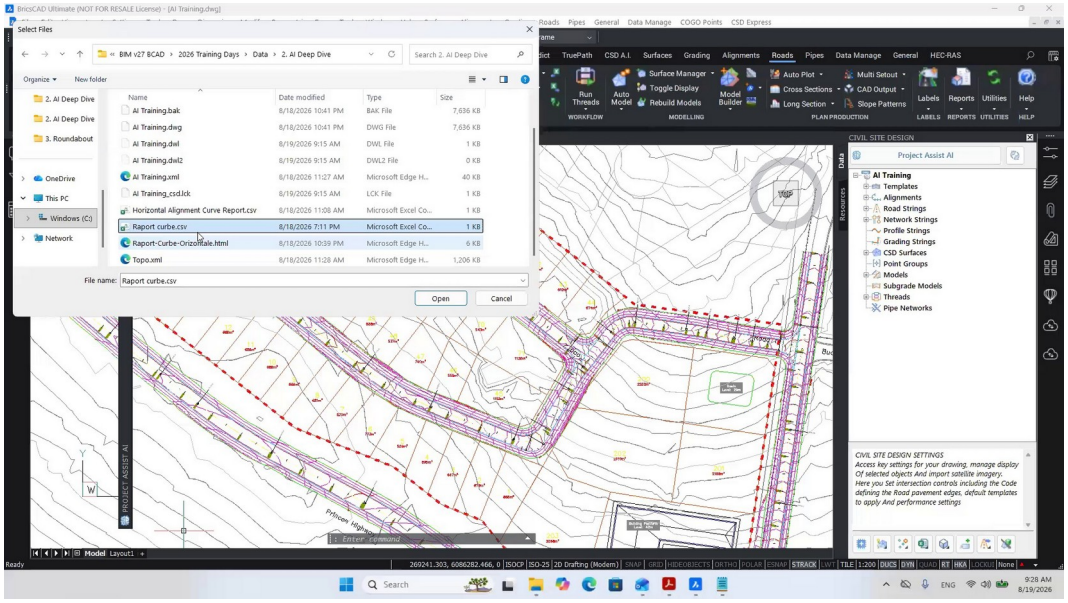


Figura 9. Selectarea fișierului „Raport curbe.csv”

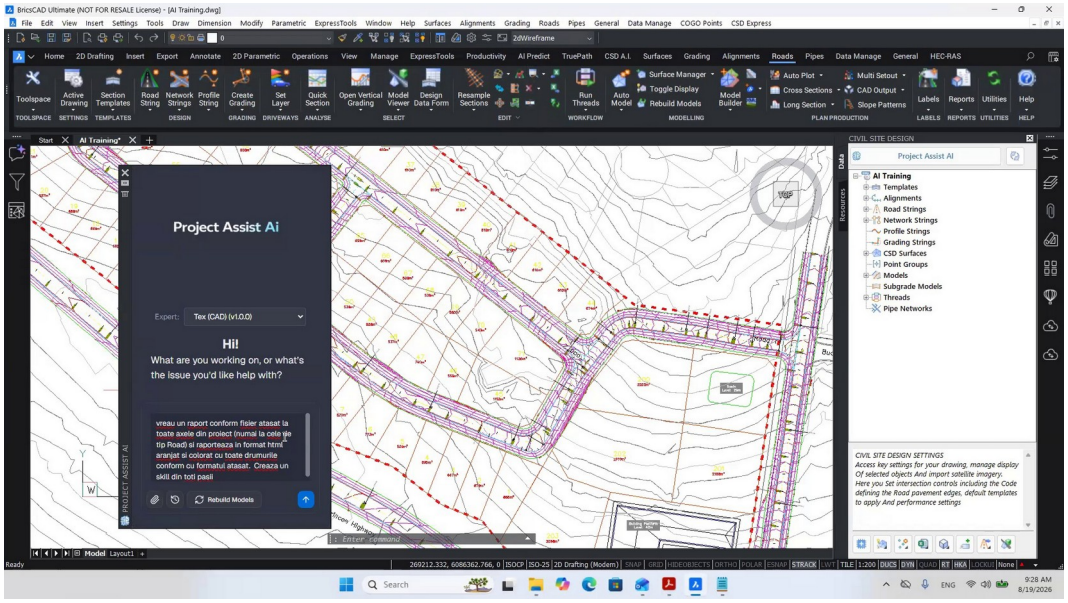


Figura 10. Cererea adresată agentului AI pentru raportul curbelor

Vom obține un astfel de raport, organizat conform cerințelor noastre.

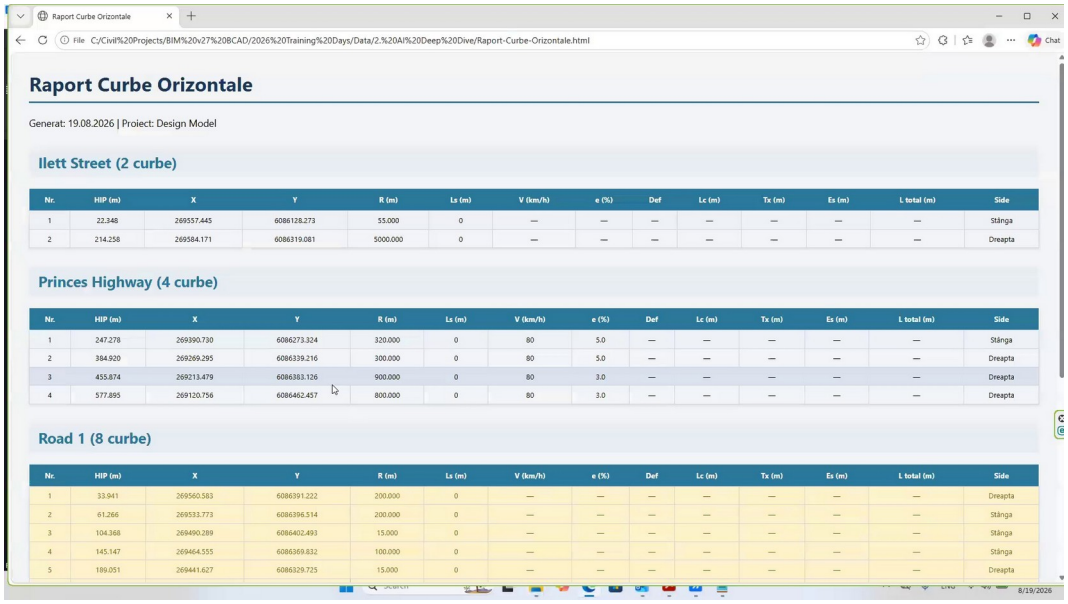


Figura 11. Raportul HTML al curbelor orizontale, generat pentru toate drumurile din proiect

Un raport cu coordonatele de trasare x, y, z se obține, de asemenea, ușor, doar prin specificarea datelor pe care le dorim sau a tipului de fișier ca model, pentru drumurile și codurile din proiect. A.I. va genera automat aceste rapoarte într-un timp foarte scurt și fără ca noi să mai trebuiască să accesăm vreo comandă din meniul de lucru standard al programului.

Toate fișierele și rapoartele solicitate vor fi salvate în directorul Program Data/CSS/ ARD/ Common/Common 10, MCP / Io.

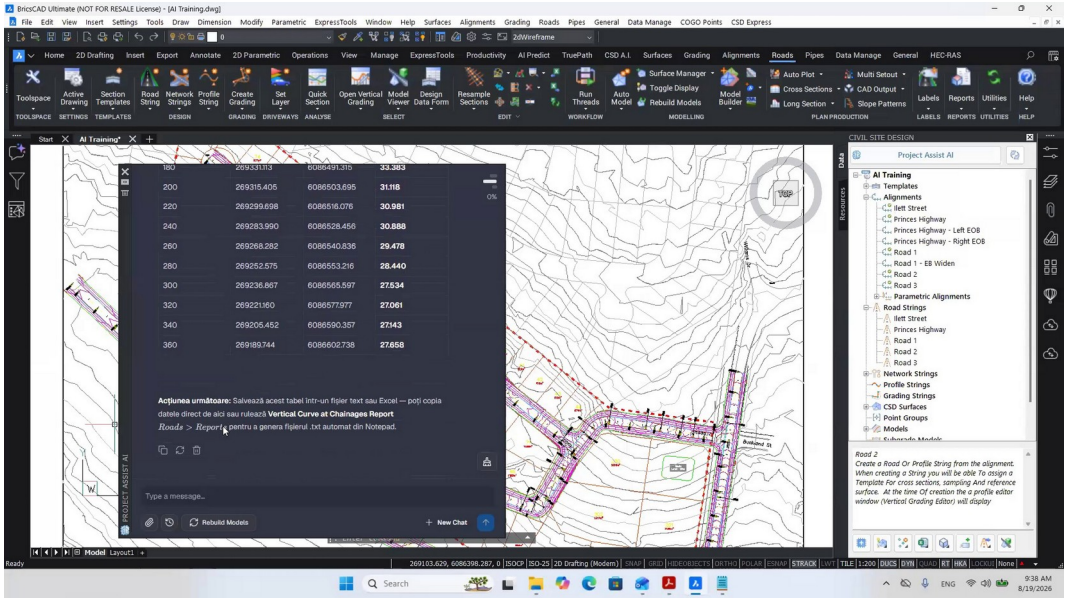


Figura 12. Raport cu coordonatele de trasare, generat de agentul AI

Putem face o analiză a corectitudinii datelor de geometrie orizontală, în care să ne ajutăm de A.I. pentru verificarea fiecărei curbe conform STAS 863.

Un exemplu de dialog poate fi acesta:

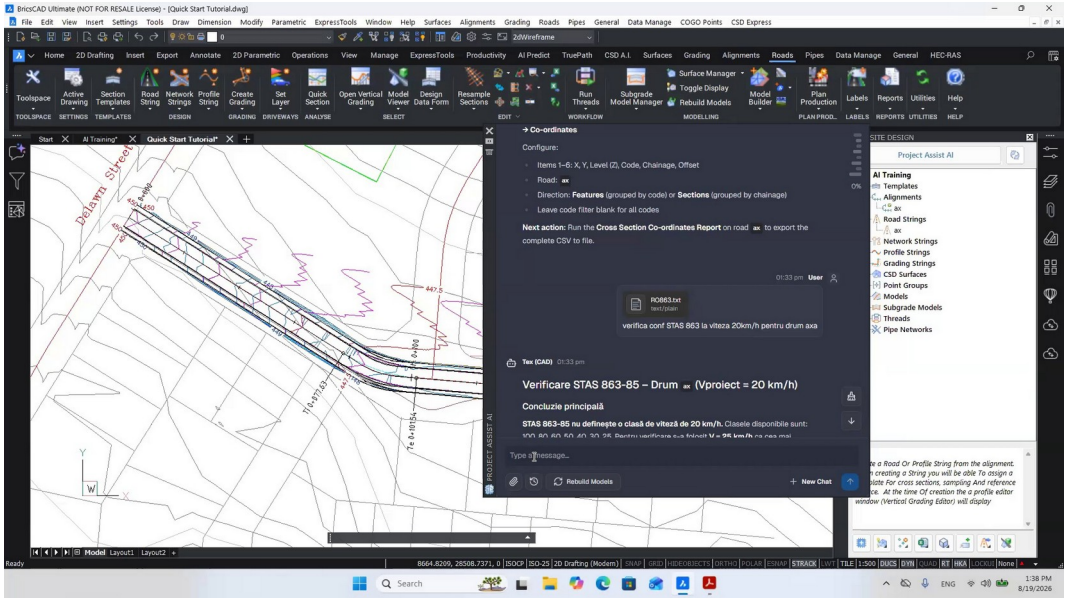


Figura 13. Cerere de verificare a curbelor conform STAS 863

Răspunsul vine la scurt timp, în funcție de numărul de curbe verificate în proiect, și include conformitatea sau neconformitatea, cât și recomandarea conform STAS pentru curba respectivă.

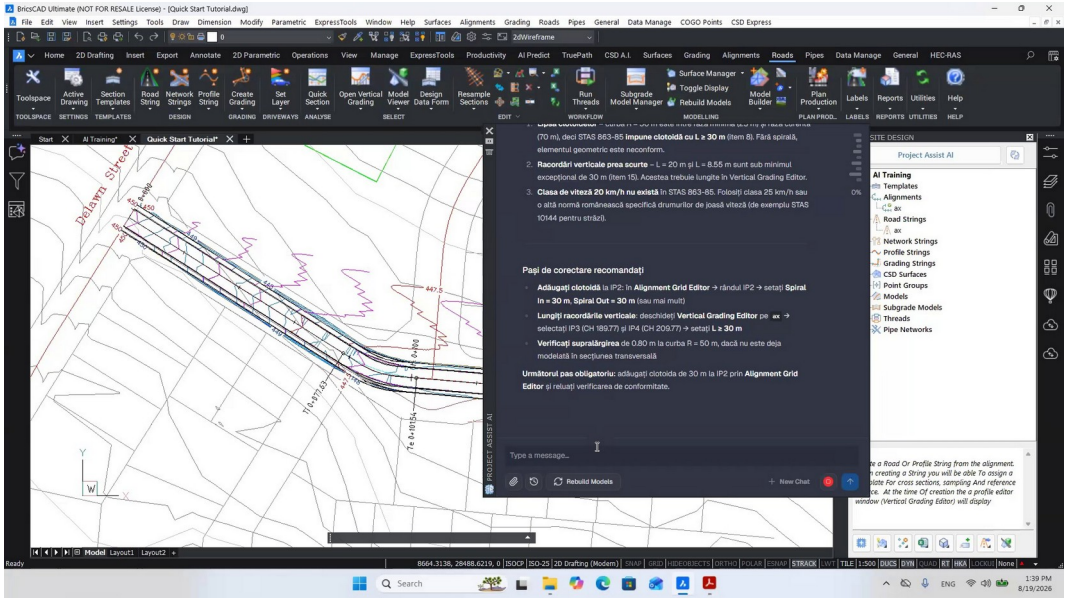


Figura 14. Răspunsul agentului AI: conformitatea curbelor și recomandări

5. UTILIZAREA A.I. ÎN DEFINIREA TALUZURILOR COMPLEXE

În multe proiecte mari, în care se definesc săpături şi umpluturi cu taluzuri foarte înalte, este nevoie de aplicarea unor taluzuri cu banchete şi şanţuri intermediare, cu diferite taluzări şi lucrări de consolidare. Aceste tipuri de taluzări complexe pot fi făcute acum automat cu ajutorul agentului A.I., descriind textual, în limba română, ceea ce avem nevoie.

Spre exemplu, putem cere crearea unui taluz cu înclinarea de 1:2 în primii 7 metri şi 1:1,5 în următorii 6 metri sau a unui zid de sprijin.

Aceasta se face cu opţiunea Intelligent Sections, pe care o avem în Civil Site Design V27.

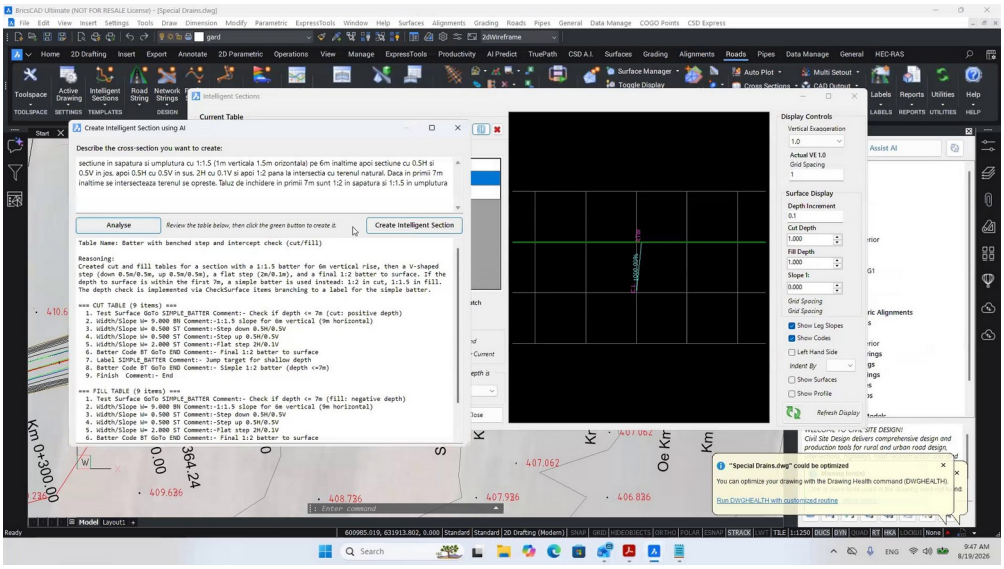


Figura 15. Descrierea textuală a unui taluz complex în Intelligent Sections

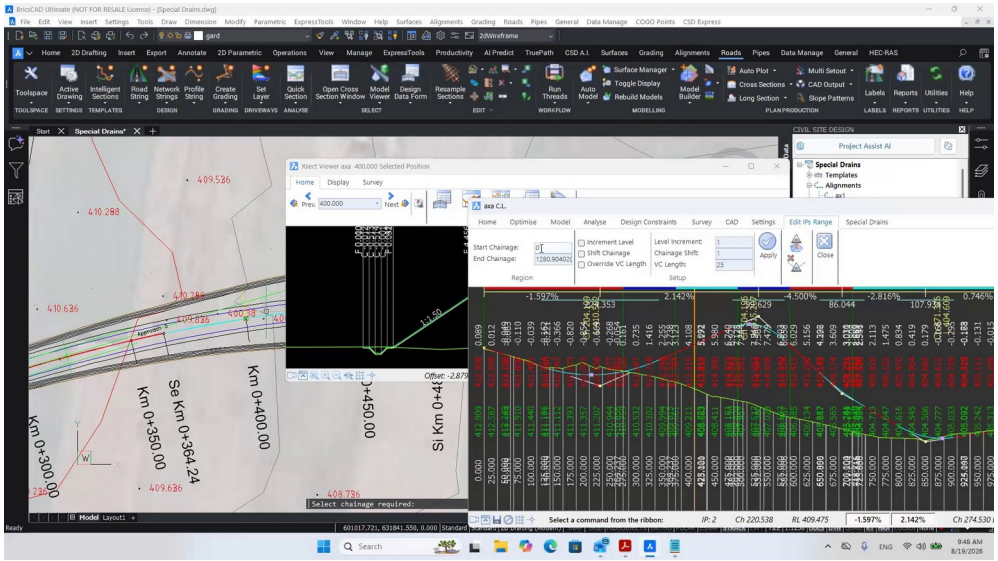


Figura 16. Taluzul complex generat în secţiunea transversală

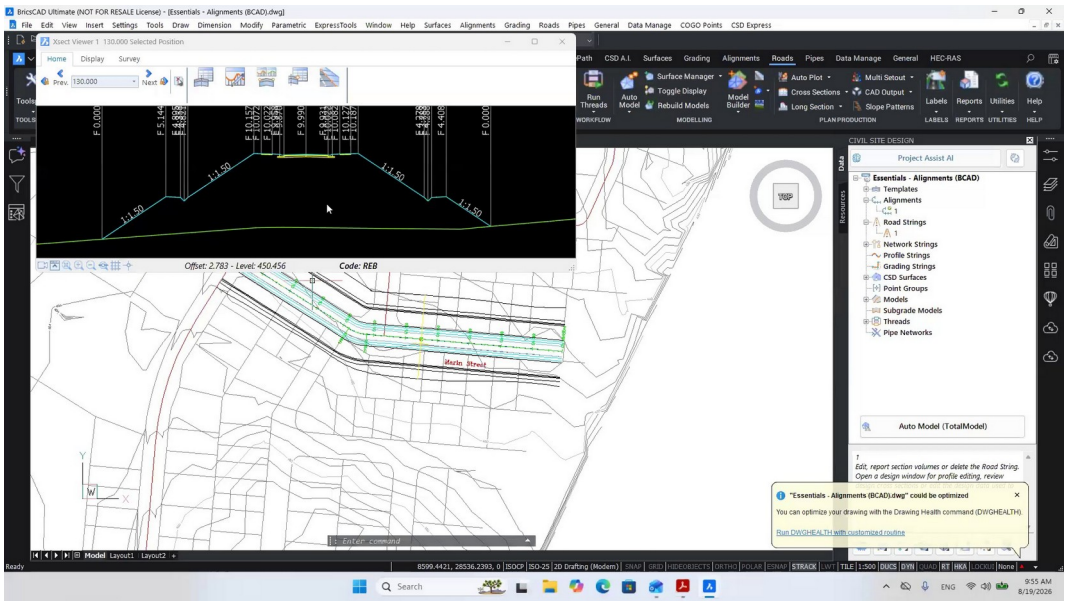


Figura 17. Taluz cu banchete, vizualizat în secțiune și în plan

6. UTILIZAREA A.I. ÎN PROIECTAREA INTERSECȚIILOR DINTRE DRUMURI – FAST TRAK

Prin modulul FAST TRAK putem proiecta și personaliza intersecțiile mai multor drumuri, cu tot cu profilele longitudinale și profilele transversale aplicate, cu calculul automatizat al racordărilor la intersecții. De asemenea, se creează automat modelarea 3D a suprafețelor proiectate.

Dialogul nostru cu A.I. poate fi așa:

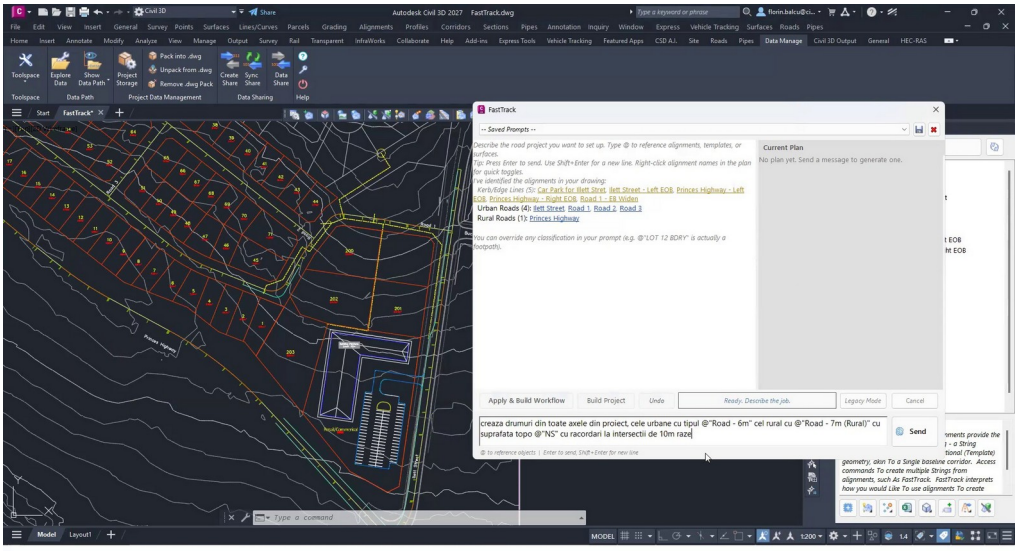


Figura 18. Dialogul cu agentul AI în FAST TRAK pentru proiectarea intersecțiilor

Iar softul va configura şi executa ceea ce am cerut, făcând şi un raport final .pdf sau video cu paşii executaţi.

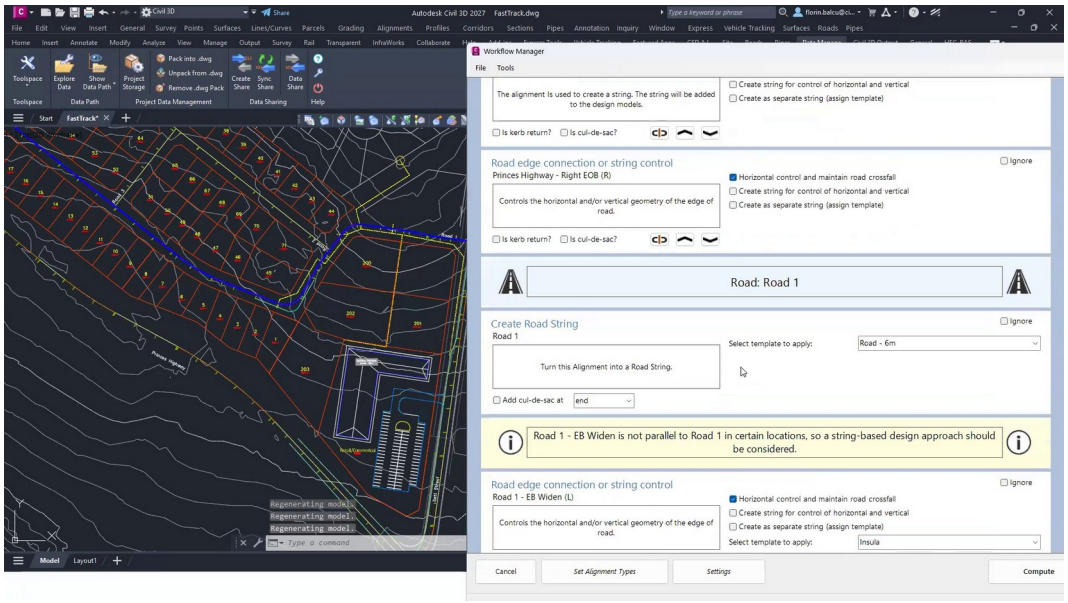


Figura 19. Fluxul de lucru configurat de FAST TRAK

Generează profilele longitudinale

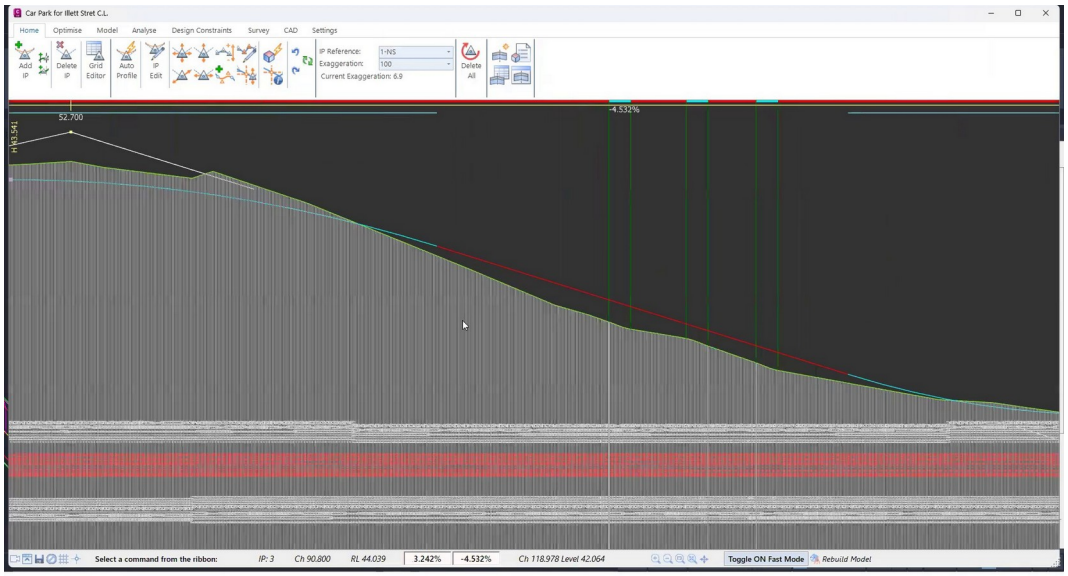


Figura 20. Profil longitudinal generat automat

şi modelul 3D al suprafeţei proiectate.

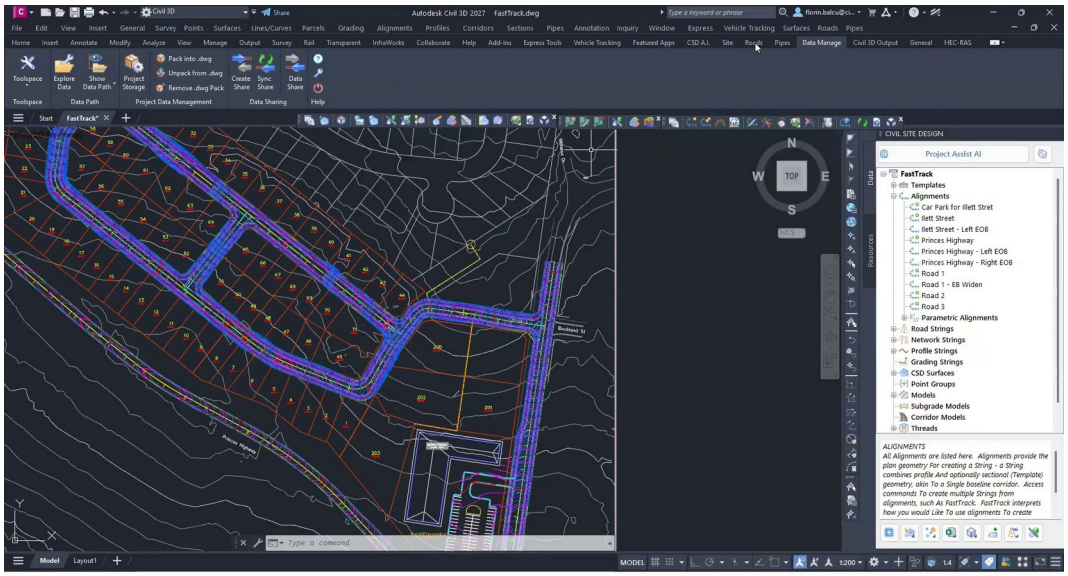


Figura 21. Rețeaua de drumuri și intersecții modelată

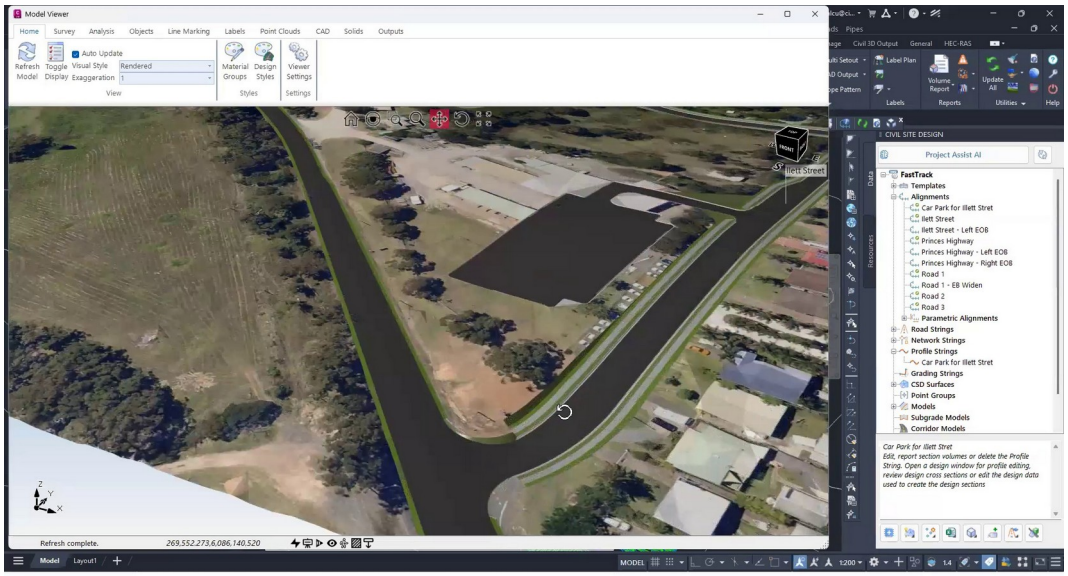


Figura 22. Modelul 3D al suprafeței proiectate

7. UTILIZAREA A.I. ÎN PROIECTAREA TROTUARELOR ÎN CAZUL UNUI SENS GIRATORIU – FAST TRAK

Aceeași rutină FAST TRAK o putem utiliza pentru proiectarea sensurilor giratorii, deoarece permite realizarea variațiilor și racordărilor necesare tranziției în sensul giratoriu.

Aici avem, ca exemplu, o personalizare a proiectării trotuarelor după aliniamentele definite în plan ca traseu și lățimi de trotuar, în cazul unui sens giratoriu.

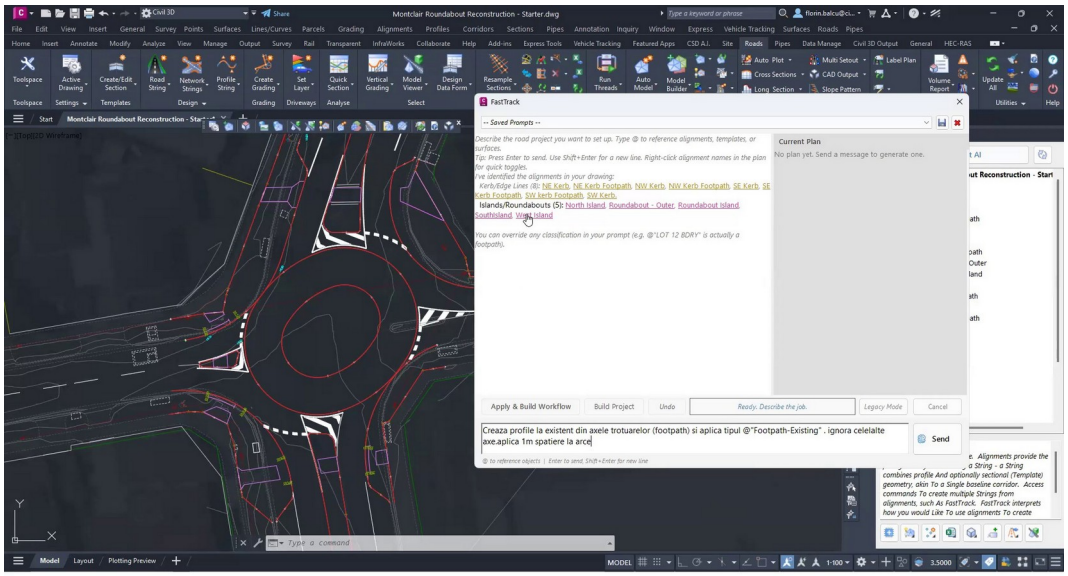


Figura 23. Cererea pentru proiectarea trotuarelor din sensul giratoriu

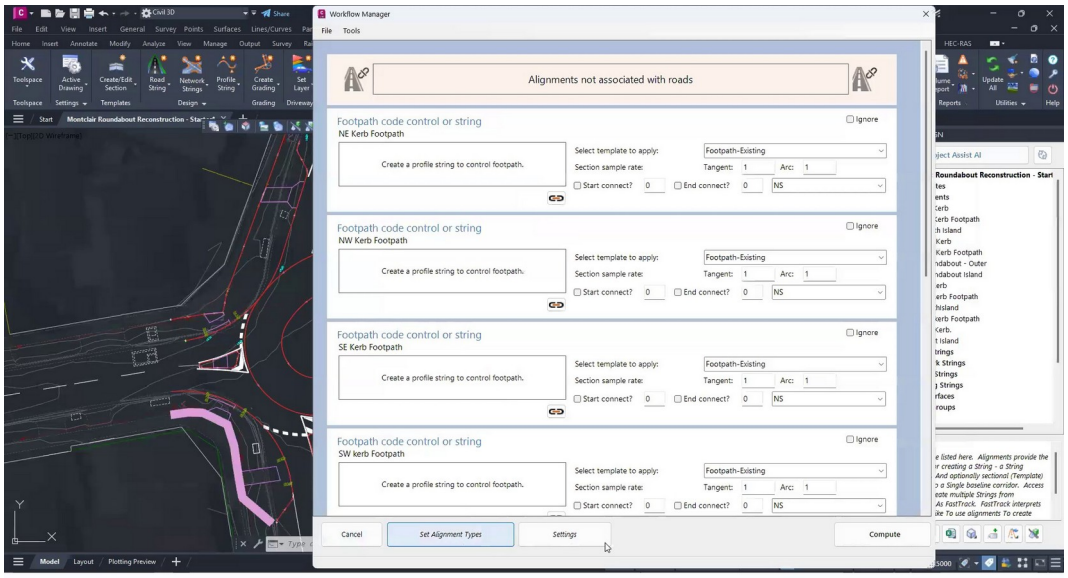


Figura 24. Configurarea profilelor trotuarelor în Workflow Manager

Se va avea în vedere proiectarea profilelor longitudinale la terenul existent pentru aceste trotuare. Modelarea se face ușor cu un A.I. al profilului longitudinal, pe care îl găsim în Auto Profile și căruia îi putem cere să calculeze profilul longitudinal la suprafața existentă ca și cote.

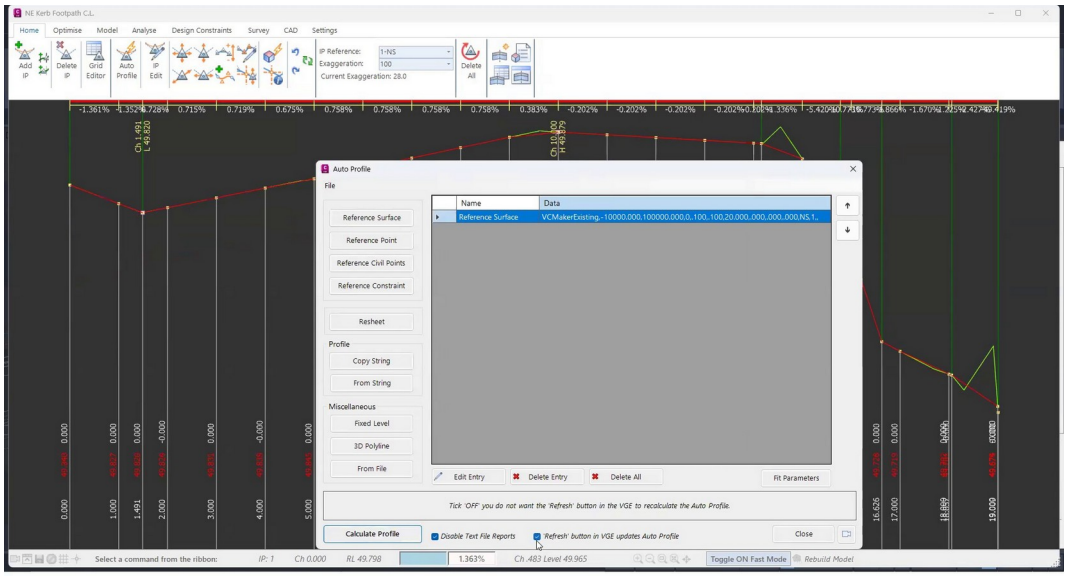


Figura 25. Calculul profilului longitudinal la terenul existent (Auto Profile)

Generarea insulelor în sensurile giratorii, cu aceeaşi rutină FAST TRAK, este o altă cerință a noastră către A.I.

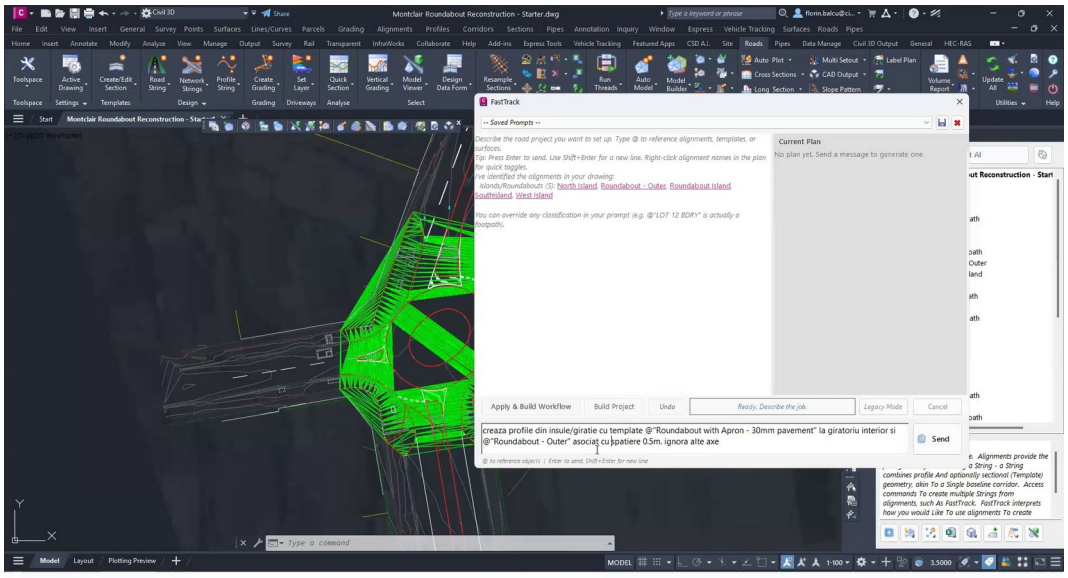


Figura 26. Generarea insulelor sensului giratoriu

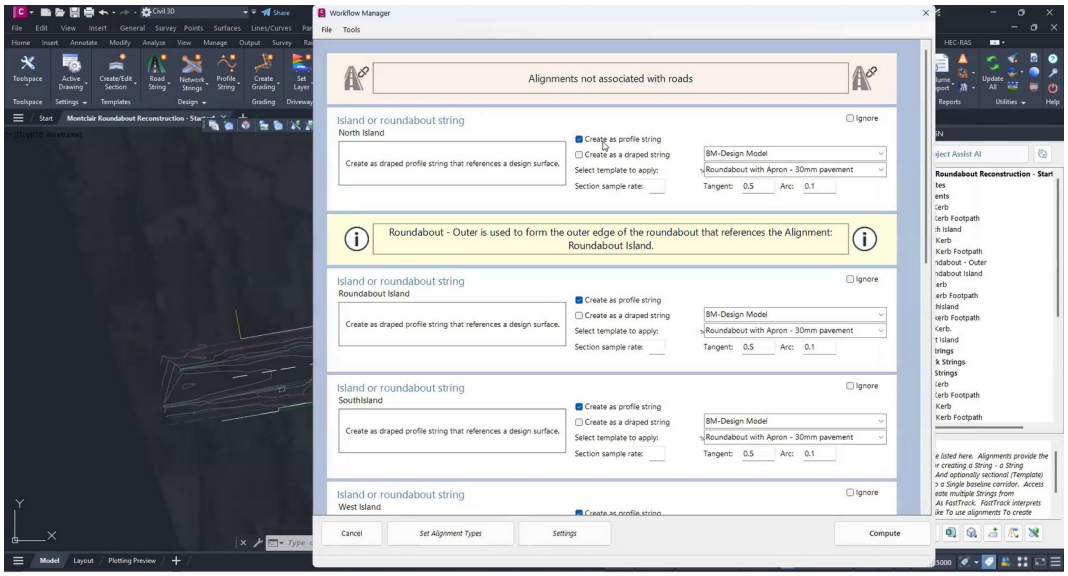


Figura 27. Configurarea insulelor în Workflow Manager

De asemenea, vom proiecta profilul longitudinal ținând cont de suprafața modelată proiectată a giratiei.

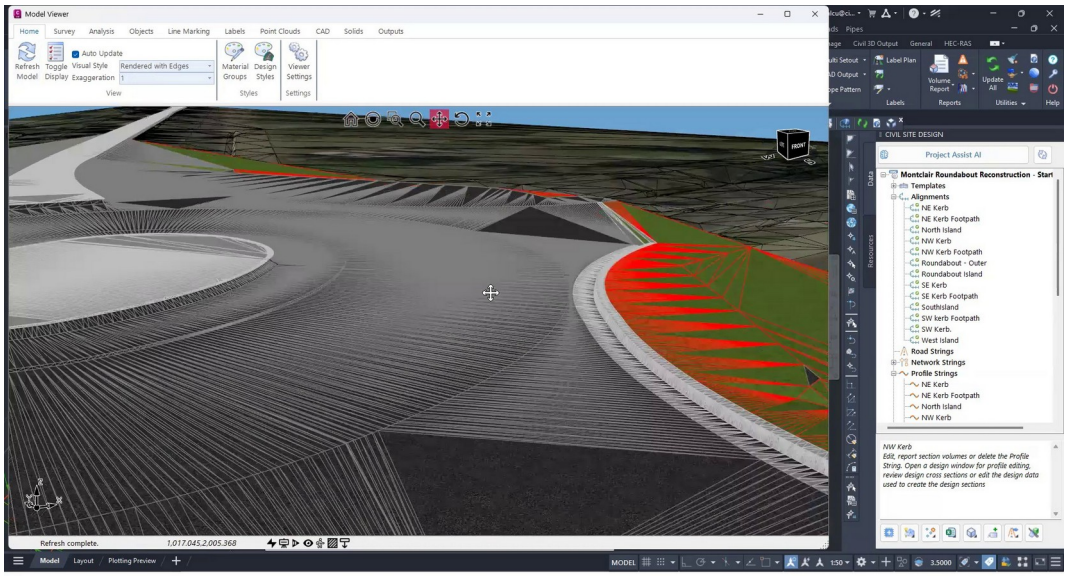


Figura 28. Modelul 3D al sensului giratoriu

O secțiune complexă prin sensul giratoriu, cu tot cu trotuarele și insulele create, poate fi vizualizată prin Quick Section și putem modifica geometria trotuarului, spre exemplu, pentru a obține elementele de proiectare dorite, sprijinind astfel modelarea 3D și predarea conformă a datelor proiectate.

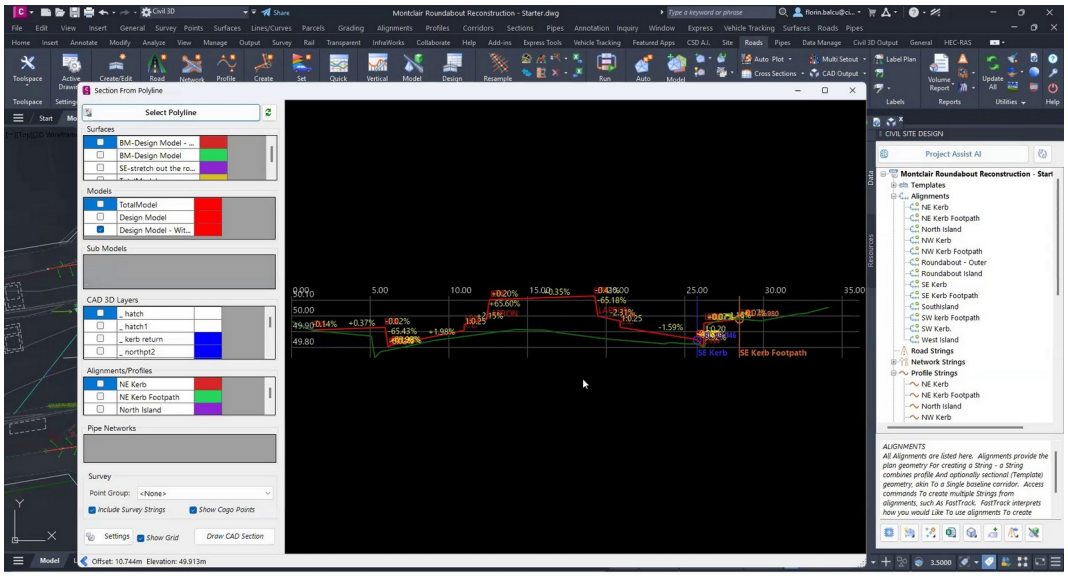


Figura 29. Secțiune transversală prin sensul giratoriu (Quick Section)

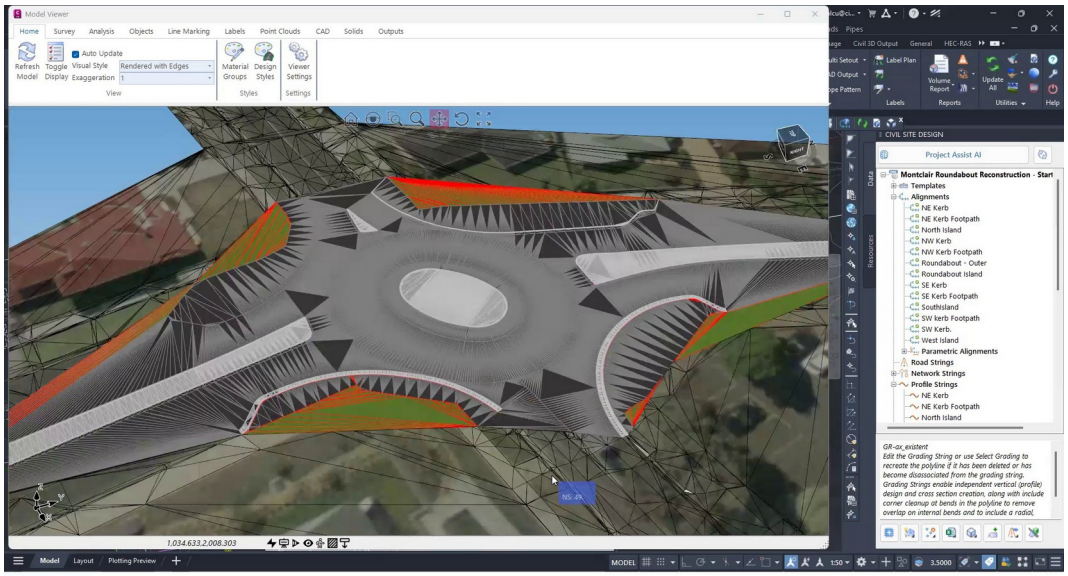


Figura 30. Modelul 3D final al sensului giratoriu, cu trotuare și insule

8. CONCLUZII

Modulul Project Assist AI, integrat în Civil Site Design V27, aduce inteligența artificială direct în mediul de proiectare a drumurilor, indiferent de platforma CAD folosită (BricsCAD, AutoCAD sau Civil 3D). Prin dialogul în limba română cu agentul TEX, proiectantul poate extrage date din proiect și poate executa operații fără să mai parcurgă meniurile și comenzile standard ale programului.

Exemplele prezentate arată că agentul AI poate genera rapid rapoarte personalizate – profile longitudinale, geometria orizontală, coordonate de trasare – în formatele cerute (Excel, CSV, HTML). Prin „skill-urile” învăţate, configuraţiile şi parametrii de proiectare se păstrează şi se reutilizează în proiectele următoare, ceea ce reduce munca repetitivă.

Verificarea curbelor orizontale conform STAS 863, cu indicarea neconformităţilor şi a recomandărilor de corectare, arată că inteligența artificială poate sprijini și controlul calităţii proiectului, nu doar producerea lui.

Definirea textuală a taluzurilor complexe prin Intelligent Sections și proiectarea intersecţiilor şi a sensurilor giratorii cu FAST TRAK (trotuare, insule, profile longitudinale și model 3D) arată că operaţii laborioase pot fi automatizate pornind de la o simplă descriere a cerinţelor.

Rezultatele generate automat trebuie însă verificate de proiectant, care rămâne responsabil de soluţiile adoptate; în plus, varianta gratuită a modulului are limitări de utilizare. Cu aceste precauţii, integrarea inteligenţei artificiale în aplicaţiile de proiectare rutieră poate reduce semnificativ timpul de lucru şi poate creşte calitatea şi uniformitatea documentaţiilor tehnice.

REZISTENȚA LA COMPRESIUNE, FORFECARE ȘI ÎNCOVOIERE A ZIDĂRIILOR DIN BCA REALIZATE CU MORTAR DE UZ GENERAL ȘI CU MORTAR PENTRU ROSTURI SUBȚIRI. COMPARAȚIE CU PREVEDERILE CR6-2013

Bârnaure Mircea, șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Departamentul de Construcții Civile, Inginerie Urbană și Tehnologie, e-mail: mircea.barnaure@utcb.ro
Voiniţchi Constantin, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții i, e-mail: constantin.voinitchi@utcb.ro
Panait Fănica Virginica, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: fanica-virginica.panait@utcb.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă rezultatele unui program experimental privind comportarea zidăriilor realizate cu blocuri din beton celular autoclavizat (BCA) cu densitatea în stare uscată de 400 kg/m³ și rezistența la compresiune de 2,8 MPa, executate cu două tipuri de mortar: un mortar de uz general M5 și un mortar pentru rosturi subțiri M10. Au fost determinate, pe module de zidărie, rezistența la compresiune (SR EN 1052-1), rezistența inițială la forfecare (SR EN 1052-3) și rezistența la încovoiere perpendiculară pe planul peretelui, cu planul de rupere paralel și perpendicular pe rosturile orizontale (SR EN 1052-2). Valorile caracteristice obținute au fost comparate cu cele furnizate de Codul de proiectare pentru structuri din zidărie CR6-2013 și de SR EN 1996-1-1:2022/NA. Rezultatele arată că zidăria cu mortar pentru rosturi subțiri are performanțe superioare la compresiune și forfecare, iar rezistențele la compresiune și forfecare obținute experimental sunt, pentru ambele mortare, sub valorile normate. La încovoiere, valorile experimentale pentru mortarul pentru rosturi subțiri depășesc valorile CR6-2013, ceea ce evidențiază caracterul conservator al limitării $0{,}035 \cdot f_b$ aplicate elementelor din BCA. Sunt discutate diferențele dintre CR6-2013 și Eurocod în privința modului de stabilire a acestor valori.

Cuvinte cheie: zidărie, BCA, mortar pentru rosturi subțiri, rezistență la forfecare, rezistență la încovoiere, CR6-2013

Abstract

The paper presents the results of an experimental programme on masonry built with autoclaved aerated concrete (AAC) blocks with a dry density of 400 kg/m³ and a compressive strength of 2.8 MPa, laid with two types of mortar: an M5 general purpose mortar and an M10 thin layer mortar. Compressive strength (EN 1052-1), initial shear strength (EN 1052-3) and flexural strength out of plane, with the plane of failure parallel and perpendicular to the bed

joints (EN 1052-2), were determined on masonry specimens. The characteristic values obtained were compared with those given by the Romanian masonry design code CR6-2013 and by SR EN 1996-1-1:2022/NA. Masonry with thin layer mortar performs better in compression and shear, while the experimental compressive and shear strengths are lower than the code values for both mortars. In flexure, the experimental values for thin layer mortar exceed the CR6-2013 values, showing that the 0.035·fb limit applied to AAC units is conservative. The differences between CR6-2013 and the Eurocode in the way these values are established are discussed.

Keywords: masonry, AAC, thin layer mortar, shear strength, flexural strength, CR6-2013

1. INTRODUCERE

Blocurile din beton celular autoclavizat (BCA) sunt utilizate pe scară largă în România, atât pentru pereți de umplutură, cât și pentru pereți structurali ai clădirilor cu regim redus de înălțime. Proiectarea acestor pereți se face pe baza rezistențelor caracteristice ale zidăriei la compresiune, forfecare și încovoiere, care pot fi determinate experimental sau, în lipsa unor valori declarate, pot fi luate din relațiile și tabelele codurilor de proiectare.

În practica actuală coexistă două tehnologii de execuție: zidăria cu mortar de uz general (G), cu rosturi de aproximativ 10 mm, și zidăria cu mortar pentru rosturi subțiri (T), cu rosturi de câțiva milimetri, aplicabilă elementelor cu toleranțe dimensionale reduse. Codul de proiectare CR6-2013 [2] și SR EN 1996-1-1:2022/NA [3] tratează diferit cele două categorii, iar între cele două documente există diferențe în modul de stabilire a unor valori de calcul.

Scopul lucrării este de a prezenta rezultatele unui studiu experimental realizat la solicitarea Organizației Patronale a Producătorilor de BCA – PRO BCA [1] și de a compara valorile caracteristice obținute cu cele prevăzute de reglementările în vigoare, pentru a evalua în ce măsură acestea descriu corect comportarea zidăriilor din BCA.

2. MATERIALE ŞI METODE DE ÎNCERCARE

2.1. Materiale

S-au utilizat blocuri din BCA cu densitatea în stare uscată de 400 kg/m^3 și două mortare industriale: un mortar de uz general de tip M5 (Baumit) și un mortar pentru rosturi subțiri de tip M10 (CELCO). Modulele de zidărie au fost executate de o echipă a beneficiarului, iar încercările au fost efectuate în laborator.

2.2. Încercări pe elementele din BCA şi pe mortare

Densitatea în stare uscată a elementelor a fost determinată conform SR EN 772-13 [5] pe eşantioane extrase prin tăiere uscată din 6 elemente, uscate în etuvă la 105 °C până la o pierdere de masă sub 0,2 % în 24 h. Umiditatea a fost stabilită prin cântărirea fiecărui element, conform SR EN 772-10 [6]. Rezistența la compresiune a fost determinată conform SR EN 772-1+A1 [4] pe câte 3 cuburi extrase din 4 blocuri, conform anexei B din SR EN 771-4+A1 [7], încercate la o umiditate de 6 ± 2 %. Valoarea rezistenței la compresiune utilizată în calcule este f_b = 2,8 MPa.

Pentru fiecare mortar s-au determinat, în stare proaspătă, consistența cu masa de împrăştiere (SR EN 1015-3), conținutul de aer antrenat (SR EN 1015-7) şi densitatea aparentă (SR EN 1015-6), iar în stare întărită, densitatea (SR EN 1015-10) şi rezistențele la încovoiere şi compresiune pe prisme 40 × 40 × 160 mm (SR EN 1015-11) [8]. Rezistența la încovoiere a mortarului se calculează cu relația (1), iar rezistența la compresiune, pe cele 6 jumătăți de prismă rezultate, cu relația (2):

$$f_i = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{h^3} [N/mm^2] \quad (1)$$

$$f_c = \frac{F}{A} [N/mm^2] \quad (2)$$

unde: F = forța de rupere, N; l = distanța dintre reazeme (100 mm); h = latura secțiunii prismei (40 mm); A = aria suprafeței de încercare, mm².

2.3. Încercări pe module de zidărie

Rezistența la compresiune a fost determinată conform SR EN 1052-1 [9] pe module alcătuite din blocuri întregi de 600 × 250 × 200 mm şi bucăți de 450 mm şi 150 mm, cu fețele tăiate la exterior, executate pe un suport metalic de 3 mm cu strat de egalizare din mortar. Forța a fost transmisă printr-un profil HEA cu dimensiunile în plan ale modulului. S-au înregistrat forța la apariția primei fisuri vizibile şi forța maximă. Rezistența a fost calculată ca raport între forța maximă şi aria încărcată, iar valoarea caracteristică a fost considerată valoarea minimă din setul de rezultate.

Rezistența inițială la forfecare a fost determinată prin procedura B din SR EN 1052-3+A1:2007 [10], pe module alcătuite din trei blocuri tăiate la 325 × 250 × 200 mm. După execuție, modulele au fost încărcate uniform cu 25 kg, acoperite cu folie de polietilenă şi păstrate în laborator până la vârsta de 28 ± 1 zile. Forța a fost aplicată pe elementul central printr-o placă de oțel de 12 mm aşezată pe role,

iar elementele laterale au rezemat pe plăci de oțel pe role cu diametrul de 12 mm. Rezistența individuală se calculează cu relația:

$$f_{v0,i} = \frac{F_{i,max}}{2 \cdot A_i} \tag{3}$$

unde $F_{i,max}$ este forța maximă înregistrată, iar A_i aria zonei de contact (325 × 250 mm). Valoarea caracteristică s-a determinat prin abordarea statistică din standard, iar modul de rupere a fost evaluat conform anexei A a acestuia.

Rezistența la încovoiere perpendiculară pe planul peretelui a fost determinată conform SR EN 1052-2 [11], pentru ambele axe principale. Modulele pentru ruperea paralelă cu rosturile orizontale au fost alcătuite din blocuri de 600 × 250 × 200 mm și porțiuni de 300 mm, cu fețele tăiate la exterior, și au fost încărcate în timpul întăririi cu 70 kg; modulele pentru ruperea perpendiculară pe rosturi au fost încărcate cu 140 kg. Toate modulele au fost păstrate sub folie, 28 ± 1 zile, și încercate în poziție verticală, rezemate pe role de oțel de 12 mm. Sarcina a fost aplicată cu un cric hidraulic, măsurată cu o celulă de forță și transmisă prin două bare cu diametrul de 5 cm, cu lamele de cauciuc între bare și zidărie. Rezistența se calculează cu relația:

$$f_{x,i} = \frac{3 \cdot F_{i,max} \cdot (l_1 - l_2)}{2 \cdot b \cdot t_u^2} \tag{4}$$

unde l_1 este distanța dintre barele de reazem, l_2 distanța dintre barele de încărcare, b dimensiunea modulului perpendiculară pe deschidere, iar t_u grosimea elementului de zidărie. Valoarea caracteristică s-a stabilit prin metoda statistică.

3. REZULTATE EXPERIMENTALE

Valorile individuale obținute pe modulele de zidărie, media aritmetică, coeficientul de variație și valoarea caracteristică sunt sintetizate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Rezistențele zidăriei obținute experimental

Mărime	Mortar	Valori individuale [MPa]	Media [MPa]	CV [%]	Val. caract. [MPa]
f_k	G	0,96; 1,23; 1,29; 1,38	1,22	14,9	0,96
f_k	T	1,35; 1,67; 1,70; 1,54	1,57	10,2	1,35
f_{vk0}	G	0,086; 0,074; 0,086; 0,068; 0,058; 0,095; 0,068	0,076	17,0	0,05

Mărime	Mortar	Valori individuale [MPa]	Media [MPa]	CV [%]	Val. caract. [MPa]
f_{vk0}	T	0,33; 0,17; 0,33; 0,265; 0,32; 0,22; 0,28	0,274	22,3	0,16
f_{xk1}	G	0,059; 0,051; 0,046; 0,058; 0,042; 0,042	0,050	15,3	0,04
f_{xk1}	T	0,196; 0,149; 0,171; 0,131; 0,259; 0,197	0,184	24,5	0,11
f_{xk2}	G	0,21; 0,19; 0,23; 0,26; 0,24; 0,18	0,218	14,0	0,16
f_{xk2}	T	0,21; 0,23; 0,22; 0,20; 0,21; 0,17	0,207	10,0	0,17

Zidăria cu mortar pentru rosturi subțiri a avut o rezistență la compresiune medie cu aproximativ 29 % mai mare decât cea cu mortar de uz general și o rezistență inițială la forfecare de circa 3,6 ori mai mare. Diferența cea mai mare apare la încovoiere cu rupere paralelă cu rosturile, unde media este de 3,7 ori mai mare în cazul mortarului T. Acest mod de rupere este controlat de aderența dintre mortar și element, iar rezultatele indică o aderență net superioară a mortarului pentru rosturi subțiri. La ruperea perpendiculară pe rosturi, valorile pentru cele două mortare sunt apropiate, ceea ce sugerează că în acest caz rezistența este influențată în principal de elementul din BCA și de aderența mortarului la elemente în rosturile verticale, care depinde de punerea în operă a zidăriei.

Coeficienții de variație sunt cuprinși între 10 % și 25 %, valori uzuale pentru încercările pe zidărie. Dispersia mai mare la forfecare și la încovoiere paralelă cu rosturile, pentru mortarul T, reflectă sensibilitatea acestor mărimi la calitatea execuției rosturilor subțiri.

4. COMPARAȚIA CU VALORILE DIN CR6-2013 ȘI SR EN 1996-1-1:2022/NA

4.1. Rezistența la compresiune

Pentru zidăria cu mortar de uz general, CR6-2013 stabilește rezistența caracteristică cu relația (5), unde pentru BCA K = 0,55, iar pentru mortare fără adaos de var valoarea se reduce cu 15 %:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,70} \cdot f_m^{0,30} \tag{5}$$

Rezultă f_k,CR6 = 0,85 · 0,55 · $2{,}8^{0,70}$ · $5^{0,30}$ = 1,56 MPa. Pentru mortarul pentru rosturi subțiri, rezistența nu depinde de marca mortarului și se calculează

cu relația (6), cu K = 0,80, obținându-se 1,92 MPa. Abordarea este similară în SR EN 1996-1-1:2022/NA.

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \tag{6}$$

4.2. Rezistența inițială la forfecare

În lipsa unor valori declarate, CR6-2013 trimite la anexa C din SR EN 998-2 [12], de unde rezultă f_{vk0} = 0,15 N/mm² pentru mortarul G şi 0,30 N/mm² pentru mortarul T. Valorile experimentale reprezintă o treime, respectiv aproximativ jumătate din aceste valori.

4.3. Rezistența la încovoiere

Pentru mortarul de uz general, valorile din tabelul 4.6 al CR6-2013 sunt f_{xk1} = 0,10 N/mm² şi f_{xk2} = 0,20 N/mm². Pentru mortarul pentru rosturi subțiri, codul limitează valorile cu relația (7), cu plafon de 0,150 N/mm² pentru f_{xk1} şi de 0,200 N/mm² pentru f_{xk2}, rezultând în ambele cazuri 0,098 MPa:

$$f_{xk} = 0{,}035 \cdot f_b \tag{7}$$

Comparația sintetică dintre valorile experimentale şi cele normate este prezentată în Tabelul 2 şi în Figura 1.

Tabelul 2. Valori caracteristice experimentale şi normate

Mărime	Mortar	Experimental [MPa]	CR6-2013 [MPa]	Raport exp./CR6	Observații
f_k	G	0,96	1,56	0,62	sub valoarea normată
f_k	T	1,35	1,92	0,70	sub valoarea normată
f_{vk0}	G	0,05	0,15	0,33	sub valoarea normată
f_{vk0}	T	0,16	0,30	0,53	sub valoarea normată
f_{xk1}	G	0,04	0,10	0,40	aceeași valoare în SR EN 1996-1-1/NA
f_{xk1}	T	0,11	0,098	1,12	peste valoarea normată

Mărime	Mortar	Experimental [MPa]	CR6-2013 [MPa]	Raport exp./CR6	Observații
f_{xk2}	G	0,16	0,20	0,80	SR EN 1996-1-1/NA: 0,4 MPa pentru $\rho_d \geq$ 400 kg/m³
f_{xk2}	T	0,17	0,098	1,73	peste valoarea normată

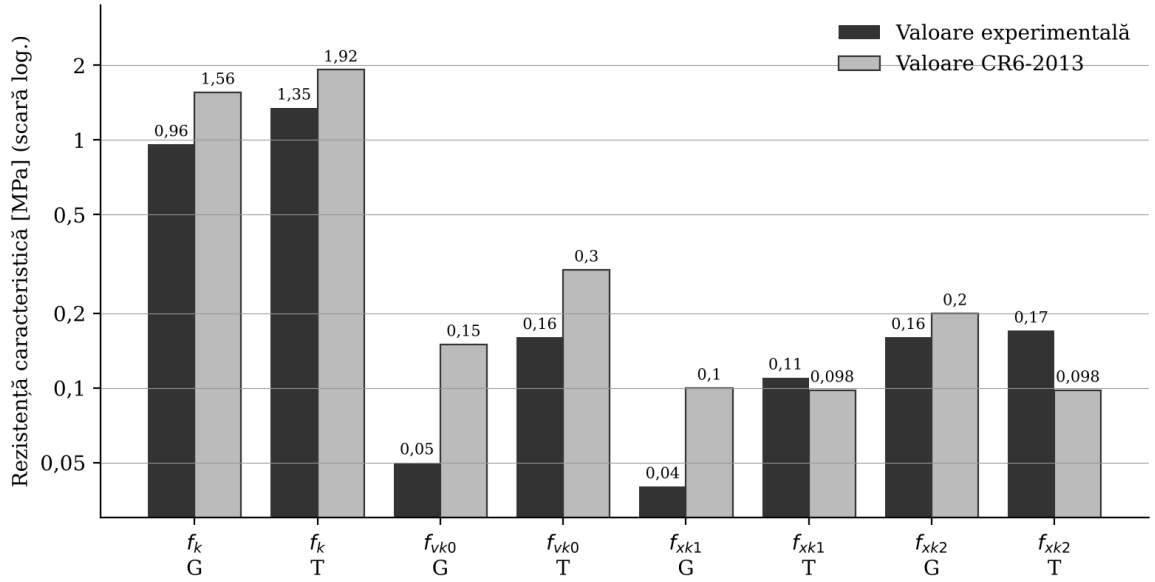


Figura 1. Valori caracteristice experimentale comparate cu valorile din CR6-2013 (G – mortar de uz general, T – mortar pentru rosturi subțiri)

4.4. Diferențe între CR6-2013 și SR EN 1996-1-1:2022/NA

Pentru zidăria cu mortar pentru rosturi subțiri, deși relația de calcul și valoarea tabelară sunt identice în cele două documente, SR EN 1996-1-1 permite alegerea uneia dintre variante, în timp ce CR6-2013 impune valoarea minimă dintre ele. În cazul elementelor ceramice, limitarea ar putea fi explicată prin rezistența caracteristică la întindere a elementului ($f_{bt} = 0{,}035 f_b$). Pentru elementele din BCA însă, relația 4.2b din CR6-2013 prevede $f_{bt} = 0{,}08 f_b$ pentru $f_b > 2{,}0$ MPa, astfel încât aplicarea coeficientului 0,035 nu are o justificare plauzibilă. Rezultatele experimentale confirmă acest lucru: valorile obținute pentru mortarul T depășesc cu 12 %, respectiv 73 % valorile date de cod.

O a doua diferență privește f_{xk2} pentru mortarul de uz general: SR EN 1996-1-1:2022/NA recomandă 0,2 MPa pentru BCA cu densitatea sub 400 kg/m³ și 0,4 MPa pentru densități de cel puțin 400 kg/m³. Pentru elementele încercate (400 kg/m³), valoarea experimentală de 0,16 MPa reprezintă doar 40 % din valoarea

recomandată de Eurocod, deci aplicarea acesteia nu ar fi acoperitoare pentru produsele testate.

5. CONCLUZII

Programul experimental a permis determinarea rezistențelor caracteristice ale zidăriei din BCA de 400 kg/m³ pentru două tehnologii de execuție și compararea lor cu valorile normate. Principalele concluzii sunt următoarele:

– zidăria cu mortar pentru rosturi subțiri are performanțe superioare celei cu mortar de uz general la compresiune, la forfecare și, mai ales, la încovoiere cu rupere paralelă cu rosturile, unde aderența mortarului este determinantă;

– rezistențele caracteristice la compresiune și la forfecare obținute experimental sunt, pentru ambele mortare, sub valorile din CR6-2013, cu rapoarte cuprinse între 0,33 și 0,70; pentru produsele testate, utilizarea valorilor din cod în lipsa unor valori declarate nu este acoperitoare;

– la încovoiere cu mortar pentru rosturi subțiri, valorile experimentale depășesc valorile CR6-2013, ceea ce arată că limitarea la $0{,}035 \cdot f_b$ este conservatoare pentru elementele din BCA;

– valoarea $f_{xk2} = 0{,}4$ MPa recomandată de SR EN 1996-1-1:2022/NA pentru BCA cu densitatea de cel puțin 400 kg/m³ nu este confirmată de rezultatele pentru mortarul de uz general.

Din punct de vedere practic, rezultatele susțin recomandarea ca producătorii să declare valori ale rezistențelor zidăriei determinate experimental pentru combinația element-mortar utilizată, iar la revizuirea CR6-2013 să fie reanalizate atât relațiile pentru compresiune și forfecare, cât și limitarea rezistențelor la încovoiere pentru zidăria din BCA cu rosturi subțiri. Concluziile sunt valabile pentru materialele și numărul de încercări din studiu; extinderea lor necesită un program experimental mai amplu.

BIBLIOGRAFIE

[1]. M. BÂRNAURE, C. VOINIȚCHI, F. PANAIT: *Studiu asupra rezistenței la compresiune, încovoiere și forfecare a unor zidării realizate cu elemente din BCA și diferite mortare*, Contractor: Organizația Patronală a Producătorilor de BCA – PRO BCA, București, **2026**.

[2]. *CR6-2013 – Cod de proiectare pentru structuri din zidărie*, Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, București, **2013**.

[3]. *SR EN 1996-1-1:2022/NA – Eurocod 6: Proiectarea structurilor de zidărie. Partea 1-1: Reguli generale pentru structuri de zidărie armată și nearmată. Anexa națională*, ASRO, București, **2022**.

[4]. *SR EN 772-1+A1 – Metode de încercare a elementelor pentru zidărie. Partea 1: Determinarea rezistenței la compresiune*, ASRO, București, **2016**.

[5]. *SR EN 772-13 – Metode de încercare a elementelor pentru zidărie. Partea 13: Determinarea densității aparente absolute în stare uscată și a densității aparente în stare uscată a elementelor pentru zidărie*, ASRO, București.

[6]. *SR EN 772-10 – Metode de încercare a elementelor pentru zidărie. Partea 10: Determinarea conținutului de umiditate al elementelor din silico-calcar și din beton celular autoclavizat*, ASRO, București, **2001**.

[7]. *SR EN 771-4+A1 – Specificație pentru elemente de zidărie. Partea 4: Elemente pentru zidărie din beton celular autoclavizat*, ASRO, București, **2015**.

[8]. *SR EN 1015 (părțile 3, 6, 7, 10 și 11) – Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie*, ASRO, București.

[9]. *SR EN 1052-1 – Metode de încercare a zidăriei. Partea 1: Determinarea rezistenței la compresiune*, ASRO, București.

[10]. *SR EN 1052-3+A1 – Metode de încercare a zidăriei. Partea 3: Determinarea rezistenței inițiale la forfecare*, ASRO, București, **2007**.

[11]. *SR EN 1052-2 – Metode de încercare a zidăriei. Partea 2: Determinarea rezistenței la încovoiere*, ASRO, București.

[12]. *SR EN 998-2 – Specificație a mortarelor pentru zidărie. Partea 2: Mortare pentru zidărie*, ASRO, București.

INFLUENȚA DIRECȚIEI DE PRINTARE ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MECANICE ALE MATERIALELOR PLASTICE

Berbecaru Adina, Şef lucr.dr.chim.**,** Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departament Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţie, Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, e-mail: adina.berbecaru@utcb.ro
Katajisto Jani, M.Eng**.,** Department of Mechanical Engineering and Industrial Engineering, Tampere University of Applied Sciences (TAMK), Tampere, Finland, e-mail: jani.katajisto@tuni.fi

Rezumat

Această lucrare prezintă aspecte privind modalităţile de determinare a proprietăţilor mecanice ale materialelor din construcţii folosind printarea 3D. S-a determinat că direcţia de printare a probelor (paralel sau perpendicular) are o influenţă semnificativă asupra rezistenţelor mecanice ale materialelor plastice.

Cuvinte cheie: proprietăţi mecanice, imprimare 3D, direcţie de printare, paralel, perpendicular, materiale plastice

Abstract

This paper presents issues regarding the mechanical properties of a material using 3D Printer for manufacture of the samples. It was determined that the printing direction (parallel or perpendicular) has a significant influence on the plastic materials.

Keywords: mechanical properties, 3D Printer, printing direction**,** parallel, perpendicular, plastic materials

1. INTRODUCERE

Materialele plastice utilizate în construcţii în exterior pentru protecţia teraselor, pereţilor laterali, acoperişurilor pentru staţii de transport (protecţia călătorilor de ploaie, zăpadă) sau pentru elemente curbate, carcase de protecţie sau panouri cu forme speciale, placări decorative, socluri sau elemente de semnalizare, trebuie să prezinte anumite proprietăţi legate de transparenţă, expunerea la intemperii şi de asemenea trebuie să prezinte proprietăţi mecanice superioare. Din acest motiv, producătorii testează aceste materiale pentru a obţine un material superior cu rezistenţe mecanice cât mai mari, dar care să prezinte şi un aspect cât mai deosebit.

Această lucrare prezintă aspecte privind modalităţile de determinare a proprietăţilor mecanice ale unor materiale utilizând o răşină termorigidă pentru testare şi folosind pentru producerea probelor testate o imprimantă 3D.

Imprimantele 3D utilizate pentru producerea diferitelor piese din materiale plastice sunt de două tipuri: cu filament sau cu rășină. Imprimantele care utilizează rășină sunt foarte bune pentru producerea de piese care necesită detalii fine şi pot imprima mult mai precis piese mici. De asemenea, viteza de imprimare a rășinii este mult mai mare decât a imprimantelor cu filament, în cazul în care este nevoie de obținerea mai multor piese într-un timp scurt pentru testarea proprietăților mecanice ale materialelor [1], [2], [3].

2. PARTE EXPERIMENTALĂ

Materialul utilizat în această lucrare este un material plastic lichid (rășină). Au fost confecționate probe standard pentru testarea mecanică a materialelor plastice (tip polimer rigid), folosind pentru producerea probelor o imprimantă 3D cu rășină. Rășina este extrudată, iar când ansamblul extruderului se mișcă, trasează o traiectoria programată într-un fișier obiect 3D pentru a crea strat cu strat obiectul imprimat la dimensiunile dorite. Se formează astfel, așa cum se observă în Figura 1, piese din rășină lichidă care se întăresc şi devin solide când sunt expuse la lumină UV.

Rășina lichidă este o substanță chimică care necesită echipament de protecție, purtarea măștilor și a mănușilor speciale în contact cu rășina. Pe piesele imprimate cu rășină vor rămâne pe suprafața lor mici urme de rășină atunci când sunt terminate. Din acest motiv, pentru îndepărtarea acestor urme probele au fost spălate folosind solvenți speciali (alcool izopropilic).

Au fost imprimate la aceleaşi dimensiuni standard două tipuri de probe, unele imprimate paralel cu direcția de imprimare, iar un alt set a fost imprimat perpendicular pe direcția de printare, așa cum se observă în Figura 2.

Probele au fost apoi supuse încercărilor mecanice folosind echipamentul utilizat la încercarea la tracțiune a probelor, așa cum se observă în Figura 3.



Figura 1. Imprimanta 3D utilizată în laboratoarele TAMK

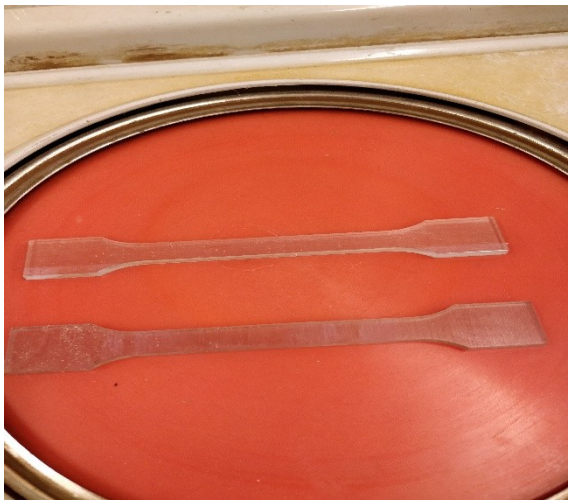


Figura 2. Probele obținute folosind imprimanta 3D în laboratoarele TAMK



Figura 3. Echipamentul utilizat pentru încercarea la tracțiune a probelor obținute folosind imprimanta 3D în laboratoarele TAMK

3. CONCLUZII

Rezultatele obținute au arătat că rezistențele la tracțiune pentru probele imprimate paralel cu direcția de turnare a rășinii au fost mai mari față de cele care au fost obținute prin imprimare perpendicular pe direcția de turnare a rășinii (Tabelul 1).

Tabelul 1. Rezultate obținute la încercarea la tracțiune a probelor

Material printat 3D	Rezistența la tracțiune (MPa)
Paralel cu direcția de imprimare	**67,8**
Perpendicular pe direcția de imprimare	**66**

Acest lucru indică importanța modalității de turnare a materialului plastic lichid pentru obținerea rezistențelor mecanice superioare ale materialului plastic ce urmează a fi utilizat.

Astfel, utilizând pentru obținerea unui material plastic o imprimantă 3D cu rășină se pot obține materiale decorative care prezintă detalii fine, dar în același timp și rezistențe mecanice superioare dacă imprimarea se realizează paralel cu direcția de turnare a rășinii.

Această lucrare a fost realizată prin colaborare comună interinstituțională dintre Universitatea Tehnică de Construcții București și Universitatea de Științe Aplicate din Tampere, Finlanda prin programul Erasmus de Mobilitate tip STT.

BIBLIOGRAFIE

[1]. C.G. WILLSON, R.R. DAMMEL, A. REISEN: *„Photoresistent materials: a historical perspective”*, Tarascon Aurial, Regine, **1997**.

[2]. V.J. KHARAT: *„Additive manufacturing 3D printing: A review of materials, methods, applications and challenges”*, **2023.**

[3]. FORMLABS: „Guide to Stereolithograp*hy (SLA) 3D Printing”*, **https://www.formlabs.com, 2023**.

ANALIZA CIRCUITĂȚII REȚELELOR DE TRANSPORT PLANARE REGULATE UTILIZÂND METRICA TAXICAB

Boldeanu Ana-Maria, drd.mat., Departamentul de Matematică și Informatică, Universitatea Transilvania din Brașov, Bulevardul Iuliu Maniu nr. 50, 500091 Brașov, România, e-mail: ana.boldeanu@unitbv.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro
Mihai Adela, prof.univ.dr.mat., Departamentul de Matematică și Informatică, Universitatea Tehnică de Construcții București, Bulevardul Lacul Tei nr. 122-124, 020396 București, România; Școala Doctorală Interdisciplinară, Universitatea Transilvania din Brașov, Bulevardul Eroilor nr. 29, 500036 Brașov, România, e-mail: adela.mihai@utcb.ro; adela.mihai@unitbv.ro

Rezumat

Circuititatea rețelei măsoară deviația dintre cel mai scurt traseu disponibil într-o rețea de transport și distanța euclidiană corespunzătoare. Este un indicator fundamental în ingineria transporturilor, urbanism și teoria rețelelor geometrice. În acest articol se prezintă o introducere matematică în circuititate, începând cu metrica taxicab și continuând cu rețelele de transport triunghiulare, hexagonale și radial-concentrice. O atenție deosebită este acordată interpretării geometrice a formulelor și relevanței acestora pentru proiectarea drumurilor.

Cuvinte cheie: metrica taxicab, rețele de transport triunghiulare, rețele de transport hexagonale, rețele de transport radial-concentrice.

Abstract

Network circuity measures the deviation between the shortest route available on a transportation network and the corresponding Euclidean distance. It is a fundamental indicator in transportation engineering, urban planning, and geometric network theory. This article presents a mathematical introduction to circuity, beginning with the taxicab metric and continuing with triangular, hexagonal, and radial–concentric transportation networks. Particular attention is given to the geometric interpretation of the formulas and their relevance for road design.

Keywords: taxicab metric, triangular transportation networks, hexagonal transportation networks, radial-concentric transportation networks.

1. INTRODUCERE

Conform [7], geometria taxicab sau geometria Manhattan este un cadru matematic non-euclidian care redefinește distanța utilizând suma diferențelor absolute ale coordonatelor carteziene. Cunoscută și sub denumirea de distanța Manhattan, taxicab sau distanța de bloc urban, această metrică modelează deplasarea restricționată la o rețea dreptunghiulară, amintind de configurația străzilor din mediul urban. O caracteristică definitorie a acestei geometrii este că distanța dintre oricare două puncte corespunde lungimii minime a unui traseu valid pe rețeaua care le conectează. În plus, această metrică alternativă modifică modul în care sunt determinate lungimile curbelor, egalând lungimea unui segment de dreaptă direct cu cea a traseului său ortogonal corespunzător pe rețea.

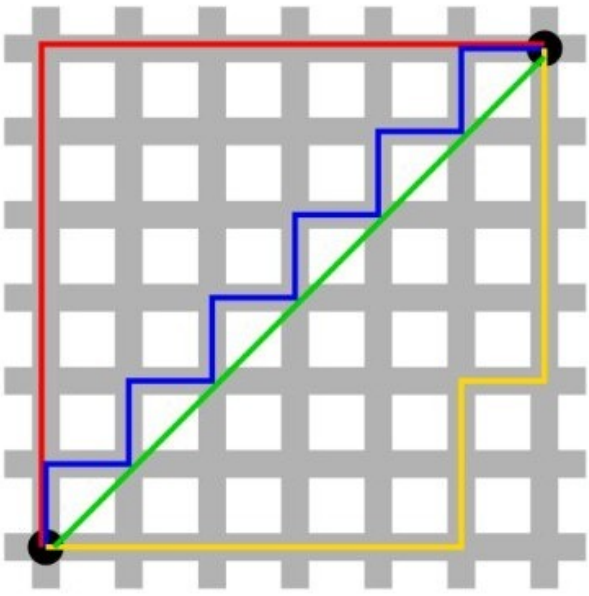


Figura 1. Geometria Taxicab

În geometria taxicab descrisă în Figura 1 preluată din [7], lungimile traseelor de culoare roșie, albastră, verde și galbenă sunt toate egale cu 12, reprezentând distanța taxicab dintre colțurile opuse, și toate cele patru trasee sunt cele mai scurte drumuri. În schimb, în geometria euclidiană, traseele de culoare roșie, albastră și galbenă au în continuare lungimea 12, dar traseul verde este unicul drum cel mai scurt, cu o lungime egală cu distanța euclidiană dintre colțurile opuse, $6\sqrt{2} \approx 8.49$.

În lucrarea lui Hanson [5], metrica taxicab este introdusă, comparată cu metrica euclidiană şi utilizată pentru a defini cercul taxi. Pentru toate perechile de puncte A şi B este determinată mulţimea punctelor egal depărtate în metrica taxi de A şi B. Pentru orice triunghi, aceste mulţimi sunt folosite fie pentru a găsi centrul unui cerc taxi care poate circumscrie triunghiul, fie pentru a arăta că nu există un cerc taxi care să circumscrie triunghiul. Distanţa taxi de la un punct P la o dreaptă l este arătată ca fiind cea mai mică dintre distanţa verticală de la P la l şi distanţa orizontală de la P la l. Se arată că rapoartele lungimilor euclidiene ale segmentelor coliniare sau aflate pe drepte paralele sunt egale cu rapoartele taxi corespunzătoare ale aceloraşi segmente. Utilizând această proprietate, este demonstrată o metodă de construcţie a bisectoarei taxi a oricărui unghi. Pentru orice triunghi, intersecţia a două bisectoare taxi oferă centrul cercului taxi înscris în triunghi.

Lucrarea lui Weisstein [6] discută despre metrica taxicab (numită şi distanţă taxicab, distanţă rectilinie, distanţa de bloc urban sau distanţă Manhattan), care este metrica planului euclidian definită pentru toate punctele $P_1(x_1, y_1)$ şi $P_2(x_2, y_2)$. Acest număr este egal cu lungimea tuturor traseelor ce conectează P_1 şi P_2 de-a lungul segmentelor orizontale şi verticale, fără întoarcere, asemenea celor parcurse de un vehicul ce se deplasează într-o reţea stradală de tip grilă.

Metrica taxicab este abordată şi în cercetarea lui Aitken [1]. Aceasta este utilă dacă accentul cade în mod specific pe metrica taxicab ca concept de spaţiu metric mai degrabă decât pe geometria taxicab. Se defineşte metrica taxicab pe R^n ca

$$d(a,b)=\sum_{i=1}^{n}|a_i-b_i|$$

şi se discută motivele din cauza cărora sunt satisfăcute proprietăţile metricii:

1) $d(a,b)\geq 0, \forall a,b \in R^n;$

2) $d(a,b)=0$ dacă şi numai dacă $a=b;$

3) $d(a,b)=d(b,a), \forall a,b \in R^n;$

4) $d(a,c)\leq d(a,b)+d(b,c), \forall a,b,c \in R^n$ (inegalitatea triunghiului).

În concluzie, într-un cadru geometric ideal, cea mai scurtă distanţă dintre două puncte este distanţa euclidiană, reprezentată printr-un segment de dreaptă. Cu toate acestea, sistemele de transport reale sunt restricţionate de străzi, autostrăzi, sensuri giratorii, intersecţii, bariere naturale şi reglementări de urbanism. Ca urmare, participanţii la trafic rareori se deplasează în linie dreaptă.

Din acest motiv, inginerii de transport fac diferența între distanța euclidiană și distanța reală pe rețea. Discrepanța dintre aceste două mărimi oferă informații valoroase privind accesibilitatea, eficiența deplasării, consumul de combustibil și timpii de răspuns în situații de urgență. Mărimea matematică ce surprinde această discrepanță se numește *circuitatea rețelei*.

2. DISTANȚELE EUCLIDIENE ȘI CELE DE REȚEA

Fie

$$A=(x_1,y_1),B=(x_2,y_2)$$

două puncte în planul euclidian.
Distanța euclidiană dintre ele este

$$d_E(A,B)=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}.$$

Considerăm acum o rețea de transport reprezentată printr-un graf ale cărui muchii corespund segmentelor de drum. Cel mai scurt traseu admisibil care unește A și B are o lungime notată cu $d_N(A,B)$.

Deoarece segmentul drept care unește două puncte este cea mai scurtă curbă posibilă, avem întotdeauna

$$d_N(A,B)\geq d_E(A,B).$$

Egalitatea are loc numai atunci când rețeaua conține o cale ce coincide cu segmentul drept ce unește cele două puncte.

3. DEFINIȚIA CIRCUITĂȚII REȚELEI

Circuitatea asociată perechii (A,B) este definită prin

$$C(A,B)=\frac{d_N(A,B)}{d_E(A,B)}.$$

Deoarece $d_N\geq d_E$, rezultă imediat că

$$C(A,B)\geq 1.$$

Valorile apropiate de unu indică rețele de transport extrem de eficiente, în timp ce valorile mai mari indică ocoliri tot mai mari impuse de geometria rețelei.

4. METRICA TAXICAB ŞI REȚELELE STRADALE ORTOGONALE

Multe orașe sunt organizate în jurul unor grile stradale aproximativ dreptunghiulare. În astfel de situații, deplasarea are loc în principal de-a lungul străzilor orizontale și verticale. Metrica rezultată este cunoscută sub numele de metrica Manhattan sau Taxicab.

Pentru două puncte $A=(x_1,y_1)$ şi $B=(x_2,y_2)$, distanța taxicab este

$$d_T(A,B)=|x_2-x_1|+|y_2-y_1|.$$

Circuititatea unei grile pătratice ideale devine astfel

$$C_T=\frac{|x_2-x_1|+|y_2-y_1|}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}.$$

Introducând coordonatele polare prin

$$\Delta x=d_E\cos\theta,\Delta y=d_E\sin\theta,$$

obținem formula dependentă de direcție

$$C_T(\theta)=|\cos\theta|+|\sin\theta|.$$

Această expresie arată în mod explicit cum depinde circuititatea de direcția de deplasare. Mișcarea aliniată cu grila stradală produce o circuititate egală cu unu, în timp ce mișcarea pe diagonală produce valori mai mari. Valoarea maximă are loc atunci când $\theta=45^\circ$ și este egală cu

$$C_T^{max}=\sqrt{2}.$$

Media pentru toate direcțiile de deplasare oferă

$$\overline{C}_T=\frac{4}{\pi}\approx 1.273.$$

Astfel, în medie, distanțele de parcurs într-o grilă dreptunghiulară perfectă sunt cu aproximativ 27% mai lungi decât distanțele euclidiene.

5. REȚELE DE TRANSPORT TRIUNGHIULARE

Rețelele triunghiulare apar atunci când străzile sunt orientate pe trei direcții separate prin unghiuri de 60°. Astfel de tipare apar în unele amenajări urbane planificate și prezintă interes datorită gradului lor ridicat de simetrie direcțională.

Orientările principale sunt

$$0^\circ,60^\circ,120^\circ.$$

Funcția de circuititate corespunzătoare este

$$C_{\triangle}(\theta)=|\cos\theta|+|\cos(\theta-60^{\circ})|+|\cos(\theta-120^{\circ})|.$$

Evaluarea funcției pe direcțiile caracteristice oferă

$$C_{\triangle}(0)=2, C_{\triangle}(30^{\circ})=\sqrt{3}.$$

Prin urmare

$$\sqrt{3}\le C_{\triangle}(\theta)\le 2.$$

Valoarea medie este

$$\overline{C}_{\triangle}=\frac{6}{\pi}\approx 1.910.$$

În comparație cu o grilă pătratică, rețeaua triunghiulară distribuie direcțiile mai uniform și prezintă un comportament anizotrop diferit.

6. REȚELE DE TRANSPORT HEXAGONALE

Rețelele hexagonale sunt generate de trei direcții rotite cu 30° relativ la cazul triunghiular. Orientările lor principale sunt

$$30^{\circ}, 90^{\circ}, 150^{\circ}.$$

Funcția de circuititate este

$$C_{hexagon}(\theta)=|\cos(\theta-30^{\circ})|+|\cos(\theta-90^{\circ})|+|\cos(\theta-150^{\circ})|.$$

Deoarece mulțimea direcțiilor diferă de cazul triunghiular doar printr-o rotație globală, se păstrează aceleași limite:

$$\sqrt{3}\le C_{hexagon}(\theta)\le 2.$$

În mod similar,

$$\overline{C}_{hexagon}=\frac{6}{\pi}.$$

Configurațiile hexagonale sunt frecvent citate în proiectarea urbană deoarece oferă o distribuție relativ uniformă a direcțiilor și reduc erorile de orientare.

7. REȚELE DE TRANSPORT RADIAL-CONCENTRICE

Multe zone metropolitane evoluează în jurul unui centru de afaceri. În astfel de cazuri, rețeaua de transport seamănă adesea cu o pânză de păianjen compusă din artere radiale conectate prin inele rutiere concentrice.

Fie două puncte aflate la distanță egală r față de centru și având o separație unghiulară $\Delta\varphi$. Traseul pe rețea urmează un arc de cerc și are lungimea

$$d_N = r|\Delta\varphi|.$$

Distanța euclidiană este lungimea coardei corespunzătoare

$$d_E = 2r\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right).$$

Prin urmare,

$$C_R(\Delta\varphi) = \frac{|\Delta\varphi|}{2\sin(\Delta\varphi/2)}.$$

Pe măsură ce $\Delta\varphi \to 0$, arcul și coarda devin imposibil de deosebit și

$$C_R \to 1.$$

Pentru puncte diametral opuse,

$$C_R = \frac{\pi}{2}.$$

În consecință,

$$1 \le C_R \le \frac{\pi}{2}.$$

Acest rezultat demonstrează că rețelele radiale pot oferi un acces eficient în apropierea centrului, devenind în schimb din ce în ce mai ocolite pentru separații unghiulare mari.

8. IMPLICAȚII PENTRU PROIECTAREA DRUMURILOR

Circuititatea este un indicator practic de performanță. Valorile mai mici ale circuitității implică în general timpi de parcurs mai scurți, costuri de operare mai reduse, accesibilitate îmbunătățită pentru situații de urgență și un impact redus asupra mediului. Din acest motiv, circuititatea este frecvent utilizată la compararea alternativelor de trasee stradale în faza de planificare a proiectelor de transport.

Din punct de vedere geometric, circuititatea cuantifică modul în care topologia unei rețele de transport se abate de la geometria euclidiană ideală a planului. Conceptul creează astfel o punte naturală între geometria diferențială, geometria metrică, teoria grafurilor și ingineria transporturilor.

9. CONCLUZII

Metrica taxicab oferă cel mai simplu exemplu de distanță indusă de rețea. Geometriile de rețea mai sofisticate dau naștere funcțiilor de circuititate

triunghiulare, hexagonale şi radiale. Împreună, aceste modele ilustrează modul în care structura reţelei influenţează eficienţa deplasării. Studiul matematic al circuitității oferă instrumente teoretice utile pentru planificarea transporturilor, oferind în acelaşi timp aplicaţii interesante ale conceptelor geometrice în sistemele din lumea reală.

BIBLIOGRAFIE

[1]. W. AITKEN: „*General Topology. Part 4: Metric Spaces*”, **2020**.

[2]. A. BURLACU, A. MIHAI: „*Applications of Differential Geometry of Curves in Road Design*”, Romanian J. of Transport Infrastructure 12(2) (**2023**), 1–13. https://doi.org/10.2478/rjti-2023-0010

[3]. E. DIACONU, M. DICU, C. RĂCĂNEL: „*Căi de Comunicații Rutiere*”, Conspress București, **2006**.

[4]. E.F. KRAUSE: „*Taxicab Geometry: An Adventure in Non-Euclidean Geometry*”, Dover Publications, **1986**.

[5]. J.R. HANSON: „*A visit to taxicab geometry*”, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology 43(8) (**2012**), 1109–1123. https://doi.org/10.1080/0020739X.2012.662291

[6]. E.W. WEISSTEIN: „*Taxicab Metric*”, MathWorld-A Wolfram Resource.

[7]. https://en.wikipedia.org/wiki/Taxicab_geometry

EFECTUL TRAFICULUI ASUPRA STRUCTURILOR ÎNGROPATE. STUDIU DE CAZ: CABLU ELECTRIC DE 110 KV POZAT SUB UN DRUM DE ACCES CU TRAFIC GREU

Boţi Ioan, şef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Hidrotehnică, Departamentul de Geotehnică şi Fundaţii, e-mail: ioanboti@gmail.com
Abara Khalil, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Şcoala Doctorală

Rezumat

Lucrarea analizează modul în care încărcările din traficul rutier greu se transmit prin structura rutieră şi prin terenul de fundare către o structură îngropată la adâncime mică – în cazul de faţă un cablu electric pozat la minimum 0,90 m sub carosabilul unui drum de acces cu trafic greu. Sunt comparate trei familii de abordări: (a) soluţiile analitice de semispaţiu elastic (Boussinesq) şi tabelele/abacele din normele britanice (BS 9295), germane (ATV-DVWK-A 127) şi româneşti (PD 177-2001); (b) analiza stratificată a stării de eforturi pentru osia standard de 115 kN; (c) modelarea numerică 3D cu elemente finite (Midas GTS NX), în regim dinamic, pentru cinci sectoare ale drumului cu poziţii diferite ale cablului faţă de ax. Rezultatele arată că, funcţie de poziţia cablului prin raport cu drumul, presiunea verticală netă indusă de trafic la cota cablului este de ordinul 5–70 kPa (25–90 kPa presiune totală, incluzând sarcina geologică), cu un maxim atunci când cablul se află sub banda de circulaţie, şi scade la circa 5 kPa când cablul iese în afara platformei. Tasările din trafic la cota cablului sunt sub 1 mm, iar forţa axială indusă în cablu este de ordinul a 10 N, neglijabilă faţă de forţa de tragere admisibilă (18,9 kN). Presiunile obţinute sunt cu cel puţin un ordin de mărime sub presiunea laterală admisibilă a cablului. Lucrarea discută adâncimea de influenţă a traficului, aplicabilitatea soluţiei Boussinesq faţă de modelarea cu elemente finite şi riscurile reale pentru structurile îngropate (goluri, eroziune, pierderea reazemului), formulând recomandări de monitorizare şi întreţinere.

Cuvinte cheie: structuri îngropate, încărcări din trafic, cablu 110 kV, Boussinesq, BS 9295, ATV-DVWK-A 127

Abstract

This paper analyzes how loads from heavy road traffic are transmitted through the pavement structure and the subgrade to a shallow-buried structure—in this case, an electric cable laid at a minimum depth of 0.90 m beneath the carriageway of an access road subject to heavy traffic. Three categories of approaches are compared: (a) analytical solutions based on the elastic half-space theory (Boussinesq) and tables/charts from British (BS 9295), German (ATV-DVWK-A 127), and Romanian (PD 177-2001) standards; (b) a layered analysis of the stress state for a standard 115 kN axle load; and (c) 3D numerical modeling using the finite element method (Midas GTS NX) under dynamic conditions, covering five road sections with varying cable positions relative to the traffic lane axis. The results indicate that, depending on the cable's position relative to the road, the net vertical pressure induced by traffic at the cable's depth ranges from approximately 5–70 kPa (25–90 kPa total pressure, including geostatic load). This pressure reaches a maximum when the cable is located beneath the traffic lane and drops to about 5 kPa when the cable lies outside the road platform. Traffic-induced settlements

at the cable's depth are less than 1 mm, and the axial force induced in the cable is on the order of 10 N—a negligible value compared to the allowable pulling force (18.9 kN). The calculated pressures are at least one order of magnitude lower than the cable's allowable lateral pressure. The paper discusses the depth of traffic influence, the applicability of the Boussinesq solution versus finite element modeling, and the actual risks to buried structures (voids, erosion, loss of support), while formulating recommendations for monitoring and maintenance.
Keywords: buried structures, traffic loads, 110 kV cable, Boussinesq, BS 9295, ATV-DVWK-A 127

1. INTRODUCERE

Rețelele tehnico-edilitare – conducte, canale, tuburi de protecție și cabluri electrice – sunt pozate frecvent la adâncimi mici (0,6–1,5 m) sub drumuri și platforme circulate. Spre deosebire de fundațiile construcțiilor, aceste structuri îngropate sunt supuse, pe lângă sarcina geologică a umpluturii, unor încărcări utile tranzitorii, repetate de milioane de ori pe durata de exploatare: presiunile de contact ale pneurilor, transmise prin structura rutieră și prin terenul de fundare. Evaluarea corectă a acestor încărcări este o problemă clasică a ingineriei geotehnice, formulată încă de la începutul secolului XX prin teoria Marston–Spangler a încărcărilor pe conducte îngropate [41, 60, 61] și dezvoltată ulterior în standarde naționale dedicate [1, 11, 13] și în standardul european de sinteză EN 1295-1 [16].

În România, cadrul normativ tratează separat dimensionarea sistemelor rutiere la trafic [7], proiectarea geotehnică a fundațiilor [45] și pozarea rețelelor de cabluri electrice [8], însă nu există o metodă națională explicită de calcul al încărcărilor din trafic transmise elementelor îngropate; SR EN 1295-1 inventariază metodele altor state membre CEN, fără să conțină una românească [16].

Obiectivul prezentului articol este de a analiza, evalua și stabili starea de eforturi și deformații din masivul de pământ din jurul cablului sub acțiuni statice și dinamice din trafic. Pe lângă prezentarea studiului de caz, articolul sintetizează stadiul cunoașterii privind transmiterea încărcărilor din trafic în adâncime, compară metodele analitice cu modelarea cu elemente finite și extrage concluzii cu aplicabilitate generală pentru cablurile și conductele pozate în zona drumurilor.

2. STADIUL CUNOAȘTERII ȘI CADRUL NORMATIV

2.1. Transmiterea încărcărilor concentrate în masivul de pământ

Baza teoretică a tuturor metodelor de evaluare a încărcărilor din trafic asupra structurilor îngropate este soluția Boussinesq pentru efortul vertical indus de o forță concentrată aplicată la suprafața unui semispațiu elastic, omogen și

izotrop [12]: $\sigma_z = 3P \cdot z^3/(2\pi \cdot R^5)$, unde R este distanţa de la punctul de aplicare al forţei la punctul considerat. Integrarea acestei soluţii pe suprafeţe încărcate uniform a condus la coeficienţii de influenţă pentru suprafeţe dreptunghiulare şi la abacele Newmark [52], folosite şi astăzi în calculul tasărilor fundaţiilor şi, în România, în metoda însumării pe strate elementare din STAS 3300/2 şi NP 112-2014 [45, 62]. Pentru o suprafaţă circulară de rază r încărcată cu presiunea uniformă q, efortul vertical pe axa de încărcare este $\sigma_z = q \cdot \{1 - [1/(1 + (r/z)^2)]^{3/2}\}$ – relaţie utilizată direct în normele rutiere pentru amprenta echivalentă a roţii [7].

Deşi structura rutieră reală este un sistem multistrat cu rigidităţi foarte diferite, omiterea îmbrăcămintei rigide în calculul Boussinesq este considerată o simplificare acoperitoare, validată de măsurători: încă din 1951, Hardy şi Rivard au arătat, prin celule de presiune instalate sub îmbrăcăminţi flexibile şi rigide din Edmonton, că distribuţia presiunilor sub îmbrăcămintea flexibilă concordă bine cu ecuaţiile Boussinesq, iar sub dala rigidă concordă dacă grosimea dalei se înlocuieşte cu o grosime echivalentă de pământ; aceiaşi autori au constatat că efectele de impact, frânare şi accelerare sunt mici în raport cu eforturile statice [30]. Limitele soluţiei de semispaţiu la încărcări distribuite pe suprafeţe de contact adiacente – inclusiv satisfacerea condiţiilor de contur la suprafaţă – au fost analizate recent de Ferretti pe baza unui program experimental pe o îmbrăcăminte aeroportuară [26]. Alternativ, numeroase ghiduri folosesc metoda dispersiei încărcării după un unghi fix (2:1 sau 30–45° faţă de verticală), adoptată şi de EN 1991-2 pentru umpluturile bine compactate [15, 66].

Pentru conductele îngropate propriu-zise, teoria Marston [41] a introdus noţiunea de încărcare din pământ redistribuită prin frecarea pe pereţii tranşeei, iar Spangler [60] a dezvoltat formula Iowa pentru deformaţia conductelor flexibile, în care încărcarea utilă de la suprafaţă se adaugă încărcării din pământ. Tratatele de referinţă [49, 61, 66] prezintă aceste metode împreună cu tabelele de încărcări utile transmise conductelor de vehiculul HS-20, în care presiunea scade de la circa 86 kPa la 0,3 m acoperire la 38 kPa la 0,6 m, 29 kPa la 0,9 m şi sub 5 kPa la 2,4 m [3, 49].

2.2. Modelele de încărcare din trafic în normele de proiectare

Marea Britanie. BS 9295 [13] tratează încărcarea din trafic ca o serie de sarcini concentrate pe roţi care acţionează simultan, calculate prin metoda Boussinesq cu coeficient de impact inclus. Încărcarea „drum principal” – cea mai severă, aplicabilă tuturor drumurilor principale şi drumurilor secundare pe care poate fi deviat trafic greu (orientativ peste 200 de vehicule comerciale pe zi şi sens) – presupune două vehicule grele care trec simultan deasupra conductei şi constă din 8 sarcini pe roată de 112,5 kN fiecare (incluzând factorul dinamic 1,3), cu ecartament de 1,0 m şi distanţă între osii de 1,8 m [18]. Tabelele publicate pe această bază indică, pentru adâncimea de acoperire de 0,9 m, presiuni de circa

81,5 kPa pentru drumuri principale, 72,8 kPa pentru drumuri secundare și 41,6 kPa pentru terenuri necirculate de vehicule rutiere; valorile scad la 40 kPa, 21,5 kPa, respectiv 12,3 kPa la 2,0 m acoperire. Fundamentul acestor tabele este programul de calcul Boussinesq dezvoltat la TRRL pentru încărcările HB [50].

Germania. Fișa de lucru ATV-DVWK-A 127 [11] folosește vehiculele standard din DIN 1072 [24]: SLW 60 (HGV 60 în versiunea engleză) cu masa totală de 600 kN, trei osii de 200 kN și roți de 100 kN aplicate pe suprafețe de contact de 0,20 m × 0,60 m, respectiv SLW 30 și LKW 12 pentru drumuri cu trafic mai redus. Presiunea verticală la adâncimea de acoperire h se citește din diagrama D2d și se multiplică cu coeficientul de impact φ din tabelul T6, egal cu 1,2 pentru SLW 60, 1,4 pentru SLW 30 și 1,5 pentru LKW 12; pentru SLW 60 presiunea citită din abacă la 0,9 m este de ordinul a 55 kPa. Norma germană modifică soluția Boussinesq pură pentru a ține seama de reazemul lateral al conductei și este considerată una dintre cele mai complete metode de calcul [16].

Statele Unite. AASHTO LRFD [1] distribuie sarcina pe roată (amprentă 0,51 m × 0,25 m) printr-o piramidă cu factorul LLDF = 1,15 pentru umpluturi granulare selectate (1,00 pentru alte pământuri) și aplică un coeficient dinamic descrescător cu adâncimea, $IM = 33\cdot(1 - 0{,}125\cdot D_E) \geq 0$ %, cu D_E în picioare; încărcarea utilă poate fi neglijată când acoperirea depășește 2,4 m și deschiderea structurii. Aceste prevederi au la bază analizele tridimensionale pe circa 830 de structuri îngropate din proiectul NCHRP 15-29 [56]. Pentru conducte de beton, ACPA indică, de exemplu, 76,7 kPa la 0,6 m acoperire sub osia HS-20 de 142 kN și 17,6 kPa la 1,8 m [3].

Eurocode. EN 1991-2 [15] definește pentru poduri Modelul de încărcare 1 (LM1): sistem tandem cu osii de 300 kN pe banda 1 (roți de 150 kN pe suprafețe de contact pătrate de 0,40 m), 200 kN pe banda 2 și 100 kN pe banda 3, plus încărcări uniform distribuite de 9,0 kN/m² (banda 1) și 2,5 kN/m² (restul); Modelul 2 (LM2) prevede o osie unică de 400 kN cu amprente de 0,35 m × 0,60 m. Dispersia încărcărilor concentrate prin îmbrăcăminte și plăci se face la 45°, iar prin umpluturi bine compactate la 30° față de verticală (§4.9.1). Deși destinat podurilor, LM1 este folosit uzual, în lipsa altor prevederi, pentru încărcarea mobilă în modelele numerice ale structurilor îngropate de sub drumuri.

România. PD 177-2001 [7] dimensionează sistemele rutiere suple și semirigide la traficul de calcul exprimat în osii standard de 115 kN (o.s. 115), definită prin sarcina pe roțile duble de 57,5 kN, presiunea de contact de 0,625 MPa și raza suprafeței circulare echivalente de 0,171 m; masa maximă admisă pe osia simplă motoare pe drumurile publice reabilitate este, de asemenea, de 11,5 t [27]. Normativul furnizează și modulii de elasticitate dinamici E_p ai pământurilor de fundare în funcție de tipul de pământ P1–P5 [36] și de regimul hidrologic, parametri care pot fi preluați în analizele de interacțiune. Pentru cabluri, NTE 007/08/00 [8] nu conține un criteriu explicit de încărcare din trafic, ci prescrie adâncimi minime de pozare și protecții mecanice (§2.5).

2.3. Măsurători in situ, efecte dinamice şi adâncimea de influenţă

Măsurătorile cu celule de presiune în structuri rutiere instrumentate confirmă atenuarea rapidă a eforturilor din trafic cu adâncimea. Pe secţiunile pistei experimentale NCAT (SUA), presiunea măsurată la partea superioară a patului drumului, la circa 0,76 m sub suprafaţă, sub osii simple de 89 kN şi tandem de 178 kN, se situează între 0 şi 83 kPa, cu o dependenţă puternică de temperatura mixturii asfaltice; teoria elastică multistrat a supraestimat presiunea la nivelul patului cu circa 16 % [64]. Pe autostrada I-40 (New Mexico), sub o osie tandem, s-au măsurat 20–26 kPa la 0,26 m (partea superioară a stratului de bază) şi 9–14 kPa la 0,51 m (partea superioară a patului) [37]. Impulsul de efort vertical are formă de haversinus, cu durate de la 0,02 s la 70 km/h şi adâncime mică până la 1 s la 10 km/h şi 0,6 m adâncime [40], deci frecvenţe de încărcare de ordinul 1–50 Hz.

Factorul de amplificare dinamică măsurat pe structuri îngropate la adâncime mică este, de regulă, moderat: pe cinci podeţe casetate cu acoperire sub 0,5 m, valoarea maximă determinată experimental a fost de 1,20, iar pentru două dintre ele sub 1,05, autorii recomandând DAF = 1,20 pentru drumuri în stare bună [68]. Studiile numerice validate pe măsurători arată că încărcarea statică echivalentă este cazul cel mai defavorabil pentru conducte, raportul dintre deplasarea sub încărcare statică şi cea sub încărcare mobilă fiind de 1,04–1,70, iar creşterea vitezei reducând uşor răspunsul [5]. Vibraţiile induse de trafic în teren sunt controlate de neregularităţile suprafeţei de rulare, nu de rugozitatea normală: frecvenţele dominante corespund saltului roţii (8–16 Hz) şi oscilaţiei caroseriei (≈2,5 Hz), iar vitezele particulelor rămân sub pragul de percepţie pe suprafeţe netede [29, 67]. Rezultă că întreţinerea îmbrăcămintei rutiere este cea mai eficientă măsură de limitare a încărcărilor dinamice asupra structurilor îngropate.

Adâncimea de influenţă a traficului poate fi definită prin raportul dintre efortul indus de trafic şi efortul din greutate proprie: cu criteriile 1/5 („adâncime sensibilă”) şi 1/10 („adâncime de influenţă”), pentru o structură rutieră de 0,75 m şi osii de 100 kN rezultă 1,34 m, respectiv 1,82 m, valori validate pe măsurători în foraj instrumentat [39]. Analizele tridimensionale cu elemente finite pentru încărcarea BS 9295 arată că 88–90 % din presiunea de contact a pneului este disipată la 1,0 m acoperire şi 97–99 % la 3,0 m, efectul asupra eforturilor din conducte devenind neglijabil dincolo de 2–3 m [18]. Pentru pământuri argiloase moi, adâncimea de influenţă poate fi definită şi prin conceptul de shakedown, pe baza raportului de efort ciclic [63], iar pe terenuri de fundare moi (Saga, Japonia) traficul a influenţat deformaţiile permanente până la circa 6 m sub baza rambleului [17].

Tasările de lungă durată ale drumurilor sunt determinate în principal de consolidarea terenului de fundare sub greutatea terasamentului şi de fluaj; aportul

direct al traficului – acumularea de deformaţii plastice sub încărcări ciclice – este descris de modele empirice în funcţie de raportul dintre efortul deviator şi rezistența statică și de numărul de cicluri [38, 47], a fost integrat în proceduri de calcul structural al platformelor [2] şi în metode combinate consolidare–fluaj–trafic validate pe măsurători in situ [14]. Toate aceste studii indică faptul că, pe terenuri bune (pietrișuri îndesate), compactarea suplimentară indusă de trafic se epuizează în primii ani de exploatare și se concentrează în partea superioară a terasamentului. În ceea ce privește parametrii de deformabilitate, raportul dintre modulul dinamic și cel static al materialelor granulare nu este o constantă universală: măsurătorile pereche cu deflectometrul cu sarcină ușoară și placa statică indică rapoarte de 0,5–4, dependente de nivelul de rigiditate [22], motiv pentru care adoptarea modulilor dinamici necesită justificare pe baza comportării observate.

2.4. Cercetări privind răspunsul structurilor îngropate la încărcări de suprafață

Literatura recentă nuanțează aplicabilitatea soluției Boussinesq la conductele îngropate. Yoo et al. au arătat, prin încercări pe model și analize numerice, că metodele de proiectare care ignoră interacțiunea teren–structură nu reproduc corect răspunsul conductelor flexibile la încărcări de suprafață [69]. Chapman et al. au constatat că ecuația Boussinesq din BS 9295 subestimează presiunea pe conductă la acoperiri de 0,5–1,0 m (PVC) și 0,5–2,5 m (beton) și o supraestimează la adâncimi mai mari, raportul dintre valoarea calculată și cea din modelul numeric variind între 0,04 și 3,6 [18]; același grup a propus proceduri economice de proiectare bazate pe modelare numerică [6]. Încercările în centrifugă pe conducte rigide de diametru mare au arătat că momentul încovoietor indus de un camion de 850 kN scade de la 22,4 kN·m/m la 1 m acoperire la 4,3 kN·m/m la 4 m, egalându-l pe cel din greutatea pământului la circa 3,6 m, iar metoda Boussinesq a subestimat efectul încărcării utile la adâncimi mari [59]. Trickey și Moore au arătat că soluțiile elastice de tip Mindlin sunt acoperitoare pentru conductele adânci, dar neacoperitoare la pozare superficială [65], iar încercările de laborator pe conducte flexibile au cuantificat reducerea presiunii la creastă cu raportul acoperire/diametru [48]. Concluzia comună este că metodele analitice rămân instrumente valoroase de predimensionare, dar, atunci când marja de siguranță este redusă sau structura îngropată este sensibilă la deformații, se impune validarea prin analiză numerică sau prin măsurători.

2.5. Cablurile electrice de înaltă tensiune: limite mecanice şi condiţii de pozare

Cablurile de 110 kV cu izolaţie extrudată sunt proiectate şi încercate conform IEC 60840 [33], standard care tratează încercările electrice şi de îmbătrânire şi încercarea la îndoire, dar nu defineşte un criteriu de rezistenţă la încărcări externe din pământ sau trafic. Limitele mecanice relevante pentru interacţiunea cu terenul sunt cele din ghidurile de instalare: forţa maximă de tragere pe conductor de 30 N/mm² pentru aluminiu şi 50 N/mm² pentru cupru (pentru 630 mm² Al rezultă 18,9 kN), presiunea laterală admisibilă pe role şi la curbe de 3–10 kN/m pentru cablurile monofilare fără manta metalică şi raza minimă de curbură de 15–20 D [8, 20, 21, 31, 34]. Mantaua exterioară din HDPE are rezistenţa la tracţiune de 20–30 MPa, iar izolaţia XLPE are o comportare ductilă, cu modul de elasticitate dependent de temperatură [42]; în literatura românească, factorii de solicitare şi degradare ai cablurilor îngropate au fost analizaţi de Ioniță et al. [35].

Adâncimea de pozare este reglementată în România de NTE 007/08/00 [8]: de regulă 0,7–0,8 m pentru cablurile de până la 20 kV şi 1,0–1,2 m pentru cablurile de peste 20 kV, cu posibilitatea reducerii la 0,5 m pe tronsoane scurte, sub plăci de beton sau în tuburi de protecţie; la traversarea drumurilor, cablurile se pozează în tuburi, la minimum 1 m sub axul drumului, iar sub carosabil se prevede „o protecţie mecanică corespunzătoare” (plăci avertizoare sau dale). Zonele de protecţie şi de siguranţă ale liniilor electrice subterane sunt definite de norma tehnică aprobată prin Ordinul ANRE nr. 239/2019 [9, 55], iar condiţiile generale de amplasare a reţelelor edilitare subterane din SR 8591 exclud explicit reţelele electrice de peste 20 kV [10]. Practicile internaţionale sunt convergente: în Marea Britanie se recomandă 750–1200 mm sub carosabil pentru cablurile de înaltă tensiune, cu observaţia că aparatajul pozat în straturile structurii rutiere este „semnificativ mai expus la avarii din încărcările din trafic şi din excavaţii” [53]; în Franţa adâncimea de 0,80 m pentru medie tensiune se majorează la 0,85 m la traversarea căilor accesibile autovehiculelor [58]; pentru cablurile de transport de 400 kV pozate direct în pământ, National Grid indică o adâncime tipică de circa 1 m, cu umplutură de nisip stabilizat cu ciment şi plăci de protecţie din beton [51]; iar ghidul irlandez din 2025 pentru autorităţile rutiere reglementează explicit amplasarea cablurilor de medie şi înaltă tensiune sub drumurile publice [23].

Cercetările experimentale directe asupra cablurilor îngropate sub încărcări repetate sunt puţine. Chong et al. au efectuat încercări la scară naturală pe un cablu pozat direct în nisip, la 0,8, 1,0 şi 1,2 m adâncime, cu 10 000 de cicluri de încărcare, constatând că eforturile pe cablu sunt mai mici decât presiunea aplicată la suprafaţă şi că încărcarea repetată îndeasă pământul din jurul cablului, crescând uşor efortul şi deformaţia acumulată, mai ales la grade de compactare iniţială reduse [19]. Încercările pe cabluri de 230 kV în cameră de pământ au furnizat

coeficienți de împingere laterală și unghiuri de frecare la interfața cablu–pământ pentru deformații permanente impuse [4]. Cea mai instructivă experiență de teren provine însă din cutremurul de la Christchurch (2011): 50 % din cablurile subterane de 66 kV au suferit defecte, față de 5,5 % din cele de 11 kV, iar mecanismul nu a fost șocul seismic (deformația specifică a terenului fiind de circa 10 % din limita de curgere), ci tasările diferențiale locale de 2–5 cm, care au fisurat betonul termic nearmat al patului și au produs încovoieri cu curbură inversă, striviri și cutarea mantalei [25]. Această observație susține concluzia că, pentru cablurile îngropate, pierderea locală a reazemului este mult mai periculoasă decât presiunea uniformă din trafic.

2.6. Cadrul normativ românesc privind adâncimea de pozare și protecția mecanică a cablurilor sub drumuri

Pozarea cablurilor electrice în pământ este reglementată prin NTE 007/08/00 [8], care a înlocuit PE 107/1995 preluând neschimbate prevederile privind adâncimea de pozare și protecția mecanică. Art. 59 alin. (1) stabilește adâncimea de pozare „H” în șanț: *„Adâncimea de pozare «H» în condiții normale nu este, de regulă, mai mică de: a) în cazul cablurilor cu tensiune nominală până la 20 kV inclusiv (0,7 ÷ 0,8) m; b) în cazul cablurilor cu tensiune nominală peste 20 kV (1 ÷ 1,2) m. Adâncimea de pozare se poate reduce până la 0,5 m în incinta stațiilor de conexiuni și de transformare, pe porțiuni scurte (sub 5 m lungime) la intrarea cablurilor în clădiri, la pozarea sub planșee de beton și la pozarea în tuburi de protecție.”* Pentru un cablu de 110 kV, adâncimea normală de pozare este, așadar, de 1,0–1,2 m, iar situațiile în care normativul admite o adâncime mai mică pe un traseu curent sunt pozarea sub planșee de beton și pozarea în tuburi de protecție.

Pentru amplasarea în raport cu căile de circulație, art. 60 pct. 2 prevede că *„în orașe și în zone locuite, rețelele de cabluri trebuie pozate, de regulă, pe partea necarosabilă a străzilor (sub trotuare) […]. Cablurile pozate pe partea carosabilă a străzilor trebuie să aibă o protecție mecanică corespunzătoare”*, iar la intersecția cu drumurile Tabelul 5, poz. 15, prevede o distanță de siguranță în plan vertical de 1 m, măsurată în axul drumului, cu cablul instalat în tub de protecție care depășește bordura, respectiv ampriza, cu circa 0,5 m, și un unghi de traversare de minimum 60° (recomandat 75–90°). Art. 62 alin. (1) precizează că instalarea în tuburi se utilizează, de regulă, „pentru subtraversarea căilor de circulație de către cablurile de energie”, acolo unde este necesară „o protecție mecanică ridicată a cablurilor”, iar alin. (5) lit. b) cere ca, „în cazul subtraversării căilor de circulație, … să se asigure rezistența mecanică și stabilitatea necesară”. Art. 60 pct. 1 prevede pozarea între două straturi de nisip de circa 10 cm, cu dispozitiv avertizor (benzi și/sau plăci avertizoare), utilizarea plăcilor avertizoare

fiind recomandată „în situațiile în care este necesară o protecție mecanică suplimentară (vezi art. 33)”.

Art. 33 stabilește că rezistența mecanică a cablurilor este asigurată, în mod normal, de învelișurile proprii și că traseele se aleg ferite de solicitări mecanice, enumerând totodată situațiile în care este necesară o protecție mecanică suplimentară – între care *„pozare în terenuri supuse alunecărilor sau lăsărilor”*, *„pozare în locuri supuse trepidațiilor puternice”* și *„zone unde traseul de cabluri nu este marcat”*. Același articol admite pozarea directă în pământ, fără protecție mecanică complementară, pentru *„cablurile nearmate cu înveliș exterior din PVC, și anume cele de circuite secundare și de joasă tensiune, precum și cele de medie tensiune prevăzute cu ecran metalic legat la pământ peste fiecare conductor izolat (cabluri cu câmp radial) […] dacă sunt garantate de furnizorul cablului pentru acest mod de pozare și nu sunt susceptibile de a fi supuse la eforturi mecanice deosebite”*; cablurile de înaltă tensiune nu sunt menționate în această enumerare. Protecția mecanică suplimentară a cablurilor monofazate se realizează „prin dispozitive de protecție mecanică exterioară cablului, din materiale nemagnetice” (art. 33, Notă). Norma tehnică privind zonele de protecție și de siguranță ale capacităților energetice [9] definește, la art. 21, zona de protecție a liniilor electrice în cablu pozate direct în pământ ca fiind simetrică față de axul traseului, cu lățimea de 0,8 m, delimitată pe verticală *„prin distanța (adâncimea) de pozare în valoare de cel puțin 0,8 m”*, iar pentru cablurile de 110 kV pozate în elemente prefabricate din beton o zonă de protecție cu *„lățimea de cel puțin 1 m și adâncimea de cel puțin 1,3 m”*; în aceste zone se aplică servituțile și interdicțiile prevăzute de Legea nr. 123/2012 [55], iar amplasarea instalațiilor în zona drumului se face cu acordul și autorizația administratorului drumului [27]. SR 8591 [10] exclude din domeniul său rețelele electrice de peste 20 kV, astfel încât pentru cablurile de 110 kV cerințele de amplasare rămân cele din NTE 007/08/00 și din norma ANRE privind zonele de protecție.

3. STUDIUL DE CAZ: CABLU DE 110 KV POZAT SUB UN DRUM DE ACCES CU TRAFIC GREU

3.1. Amplasament și istoric

Drumul analizat este un drum de exploatare asfaltat, cu lungimea de circa 310 m, care face legătura între un drum național și accesul pe proprietatea unui centru logistic situat în Câmpia Română. Platforma carosabilă are 7,00 m lățime – 6,00 m parte carosabilă cu pante transversale de 2,5 % și acostamente de 0,50 m – și este mărginită pe partea stângă de un canal de desecare cu secțiune trapezoidală din beton (Figura 1). Din informațiile puse la dispoziție de beneficiar, cablul de 110 kV a fost pozat în anul 2010, iar drumul a fost asfaltat în 2012; de atunci drumul a preluat permanent trafic, inclusiv trafic greu de aprovizionare, iar starea

tehnică a carosabilului este vizual bună. Informațiile privind existența unui canal de protecție din beton armat acoperit cu dale nu au putut fi confirmate, motiv pentru care, de comun acord cu beneficiarul, cablul a fost considerat în calcule pozat direct în pământ – ipoteza cea mai defavorabilă.

Ridicarea topografică a traseului a arătat că distanța în plan dintre cablu și axul drumului variază între 2,29 m și 4,62 m: pe unele sectoare cablul se află sub banda de circulație, pe altele iese în afara platformei carosabile. Această variabilitate a impus discretizarea drumului în cinci sectoare de calcul (Tabelul 4).

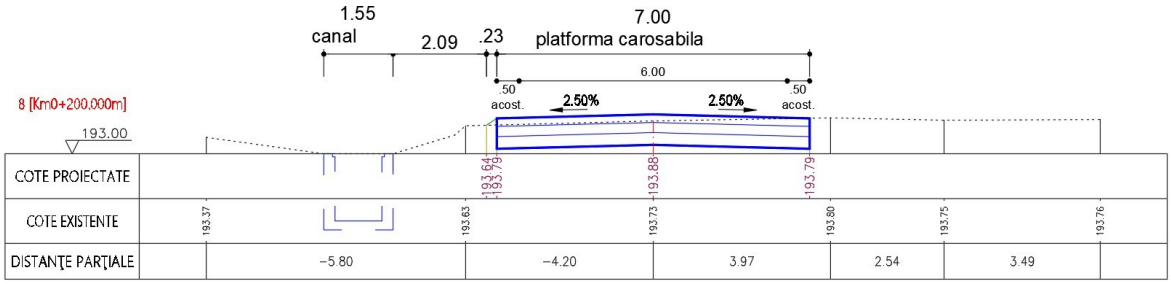


Figura 1. Profil transversal tip al drumului analizat (km 0+200): platformă de 7,00 m, canal de desecare pe partea stângă.

3.2. Condiții geomorfologice, geologice și hidrogeologice

Amplasamentul se află în partea nordică a Câmpiei Române, într-un șes aluvionar format la confluența unor râuri cu obârșia în Carpații de Curbură. Depozitele de suprafață sunt de vârstă Holocen superior, alcătuite la partea superioară din nisipuri fine argiloase (cca 2 m) și, spre bază, din pietrișuri cu stratificație torențială și lentile de nisipuri, cu grosimi ce ating 20–30 m, indicând o subsidență activă; petrografic, pietrișurile provin predominant din flișul cretacic inferior, cu aport din flișul paleogen. Hidrogeologic, zona aparține unui con aluvionar cu un acvifer freatic dezvoltat în nisipuri, pietrișuri și bolovănișuri cu intercalații argiloase, alimentat din precipitații, cu direcția generală de curgere NV–SE; coloana litologică medie indică pietrișuri și nisipuri grosiere de terasă între 0,5 și 6,0 m și nisipuri cu pietrișuri cu intercalații argiloase până la circa 28,5 m, urmate de alternanțe de argile și nisipuri acvifere până la peste 60 m. Nivelul hidrostatic nu a fost interceptat în forajele executate.

3.3. Condiții geotehnice

Studiul geotehnic realizat în 2020–2021 pentru centrul logistic (30 de foraje cu adâncimi între 4,5 și 20 m, 15 penetrări dinamice supergrele și două tranșee exploratorii) a pus în evidență succesiunea din Tabelul 1: un orizont slab coeziv de copertă (prafuri argiloase și argile nisipoase cu pietrișuri), depozite necoezive grosiere îndesate (pietrișuri mari cu bolovănișuri în liant prăfos-nisipos) până la 3–5 m, urmate de alternanțe de depozite fine coezive și depozite

grosiere. Dintre cele 15 penetrări dinamice, doar una a depășit adâncimea de 1,5 m, semn al compactității ridicate a pietrișurilor. În zona activă a drumului sunt prezente materialele stratelor 1 și 2.

Tabelul 1. Stratificația și valorile caracteristice ale parametrilor geotehnici din studiul geotehnic (2020–2021), sinteză.

Strat	Adâncime (m)	Descriere	γ (kN/m³)	E (kPa)	φ (°)	c (kPa)
1	0,3–1,0	Prafuri argiloase și argile nisipoase cu pietrișuri, slab coezive, uscate, îndesare medie (I_D = 0,4)	18,0	12 000	30	5 (c_u)
2	0,5/1,0–3,0/5,0	Pietrișuri mari cu bolovănișuri în liant prăfos-nisipos, îndesate–foarte îndesate (I_D = 0,7)	20,5	67 000	50	–
3	3,0/5,0–7,0/9,5	Argile prăfoase, argile nisipoase și prafuri argiloase, plastic consistente (I_c = 0,67)	19,0	8 600	13 (28′)	30 (12′)
4	7,0/9,5–11,5/15,0	Pietrișuri mari cu bolovănișuri în liant prăfos-nisipos, îndesare medie (I_D = 0,65)	20,5	50 000	40	–
5	11,5/15,0–16,0/20,0	Argile, argile nisipoase și argile prăfoase, plastic vârtoase (I_c = 0,8)	19,5	14 000	16 (28′)	42 (30′)

Notă: valorile dintre paranteze (′) reprezintă parametrii efectivi (CD); celelalte valori sunt parametri totali/nedrenați.

Pentru confirmarea stratificației de calcul, în mai 2025 a fost executat un sondaj la marginea carosabilului (Figura 2), care a interceptat: asfalt de 16–18 cm; balast stabilizat și balast de 32–34 cm; argilă prăfoasă cafenie plastic vârtoasă cu rar pietriș (strat de formă, cca 20 cm); balast în matrice argiloasă (stratul 2 din studiul geotehnic) de la circa 0,70 m în jos. Conform STAS 1709/2-90 și PD 177-2001 [7, 36], pământurile de sub sistemul rutier se încadrează în tipurile P5 (argile, argile prăfoase) și P2 (pietriș cu nisip), iar amplasamentul aparține tipului climateric I. Conform NP 074-2022 [43], lucrarea se încadrează în categoria geotehnică 2 – risc geotehnic moderat (12 puncte: teren bun – 2; apă subterană fără epuizmente – 1; construcție normală – 3; vecinătăți cu risc moderat – 3; zonă seismică cu $a_g \geq 0,25$ g conform P 100-1/2013 [44] – 3).



Figura 2. Sondajul de verificare executat la marginea carosabilului (mai 2025): grosimea asfaltului și a straturilor de balast (stânga) și adâncimea la care a fost interceptat balastul în matrice argiloasă (dreapta).

3.4. Cablul analizat

Cablul este monofilar, cu conductor rotund compactat din aluminiu de 630 mm², izolație XLPE, ecran din fire de cupru și manta exterioară din polietilenă (tip XLPE/CWS/HDPE), 64/110 (123) kV, fabricat conform IEC 60840, cu diametrul exterior de circa 70 mm și masa de 6,0 kg/m [33, 57]. Fișa tehnică indică o forță maximă de tragere la instalare de 18,9 kN (echivalentul a 30 N/mm² pe secțiunea de aluminiu, în acord cu NTE 007/08/00 [8]) și o presiune laterală admisibilă pe role, la instalare, de 500 daN. Raportând această forță la o suprafață de contact de ordinul 20 mm × 70 mm, rezultă o presiune de contact admisibilă de circa 3,5 MPa – valoare care constituie un reper conservativ pentru compararea cu presiunile din teren, întrucât în exploatare cablul este rezemat continuu pe toată lungimea, nu punctual, pe role.

4. METODOLOGIE

4.1. Modelul de calcul al terenului

Stratificația de calcul (Tabelul 2) a fost stabilită pe baza studiului geotehnic și a sondajului de verificare, cu valori caracteristice ale parametrilor geotehnici în sensul NP 122-2010 [46]. Pentru analizele în regim static s-au folosit modulii de deformație liniară din studiul geotehnic, iar pentru analizele în regim dinamic s-au adoptat moduli de 2–3 ori mai mari pentru straturile granulare și coezive, în acord cu rapoartele uzuale dintre modulul rezilient/dinamic și modulul static [7, 22] și cu observația că, după mai bine de un deceniu de exploatare, deformațiile induse de trafic sunt mici și reversibile, situându-se în domeniul elastic (modulii de încărcare–descărcare sunt reprezentativi). Coeficientul lui Poisson a fost considerat 0,30 în static și 0,495 în dinamic (comportare nedrenată, de scurtă durată).

Tabelul 2. Stratificația de calcul și parametrii adoptați în analizele statice și dinamice (valori caracteristice).

Strat	h (m)	γ (kN/m³)	E static (kPa)	c′ (kPa) / φ′ (°)	E dinamic (kPa)	c_u (kPa) / φ (°)
Asfalt	0,18	25	3 600 000	–	3 600 000	–
Balast stabilizat	0,20	21	70 000	0 / 35	140 000	0 / 35
Balast	0,10	21	50 000	0 / 35	100 000	0 / 35
Argilă prăfoasă (strat de formă)	0,20	18	10 000	15 / 18	30 000	60 / 0
Pietriș în matrice coezivă	5,00	20	40 000	5 / 28	80 000	5 / 28

4.2. Încărcările din trafic

Au fost considerate patru modele de încărcare, corespunzătoare normelor analizate în §2.2: (a) osia standard de 115 kN din PD 177-2001 – două grupuri de roți duble de 57,5 kN, presiune de contact 0,625 MPa, rază echivalentă 0,171 m; pentru starea limită ultimă încărcarea a fost majorată cu coeficientul 1,5 (86,25 kN); (b) încărcarea „drum principal” din BS 9295 – 8 sarcini pe roată de 112,5 kN incluzând factorul dinamic 1,3; (c) vehiculul standard SLW 60/HGV 60 din ATV-DVWK-A 127 – osie de 200 kN, roți de 100 kN pe suprafețe de contact 0,20 m × 0,60 m; (d) pentru modelul cu elemente finite, Modelul de încărcare 1 (LM1) din SR EN 1991-2 – sistem tandem cu osii de 300 kN (roți de 150 kN pe suprafețe de contact 0,40 m × 0,40 m) și încărcare uniform distribuită de 9 kN/m², aplicate ca încărcare mobilă în timp [7, 11, 13, 15].

4.3. Calcule analitice

Presiunile verticale la cota cablului au fost estimate (a) direct din tabelele și abacele BS 9295 și ATV-DVWK-A 127, pentru adâncimea de acoperire de 0,9 m, și (b) prin metoda însumării pe strate elementare a eforturilor verticale (coeficienții de influență ai semispațiului Boussinesq pentru suprafață circulară încărcată), pentru osia standard de 115 kN aplicată pe suprafața echivalentă cu diametrul de 0,342 m, cu limita zonei active $\sigma_z = 0{,}2 \cdot \sigma_g$ [45]. Aceeași procedură a furnizat tasarea elastică a suprafeței și a cotei cablului. Suplimentar, soluția de semispațiu omogen a fost evaluată pe toată adâncimea pentru osia standard (roata dublă pe suprafață circulară, la care se adaugă aportul celeilalte roți duble, aflată la 1,8 m, tratată ca forță concentrată).

4.4. Modelul numeric 3D

Analiza numerică a fost realizată în midas GTS NX, cu elemente finite solide 3D pentru teren și structura rutieră, cablul fiind modelat ca element liniar încastrat în masivul de pământ (Figura 3, Figura 4). Drumul a fost împărțit în cinci sectoare (modele) în funcție de distanța cablului față de axul drumului (Tabelul 4). Materialele au fost modelate liniar elastic cu parametrii dinamici din Tabelul 2, iar încărcarea mobilă LM1 a fost aplicată pe ambele benzi, în analiză dinamică liniară în domeniul timp (time history), inclusiv pentru scenariul intersectării a două autocamioane deasupra sectorului analizat. Mărimile urmărite au fost: deplasarea verticală la suprafață și la cota cablului, efortul vertical total la cota cablului și deformata cablului.

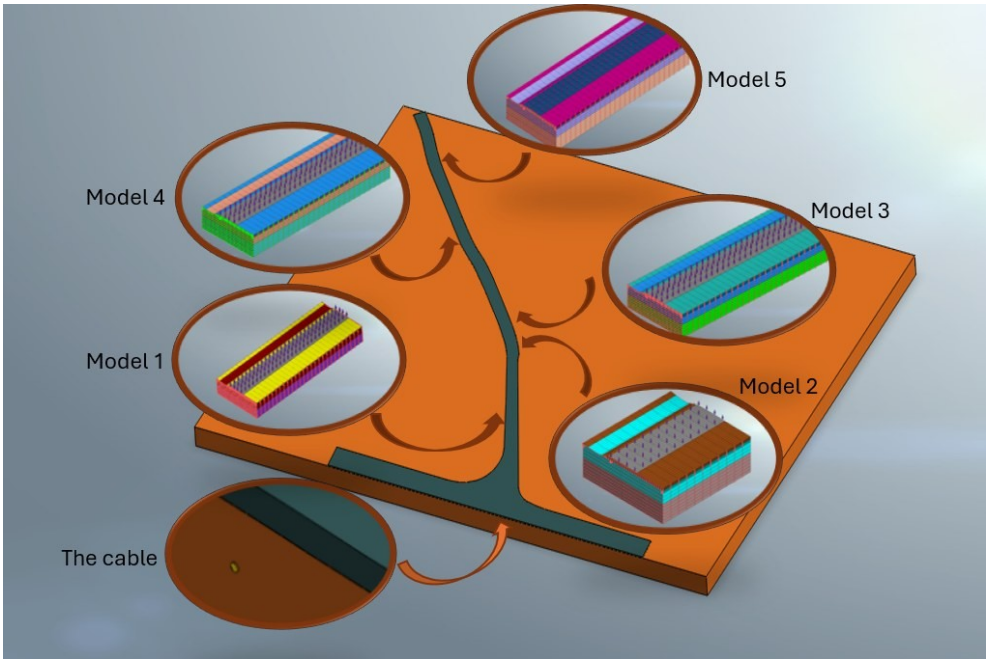


Figura 3. Schema de discretizare a drumului în cinci modele 3D (M1–M5), în funcție de poziția cablului față de axul drumului.

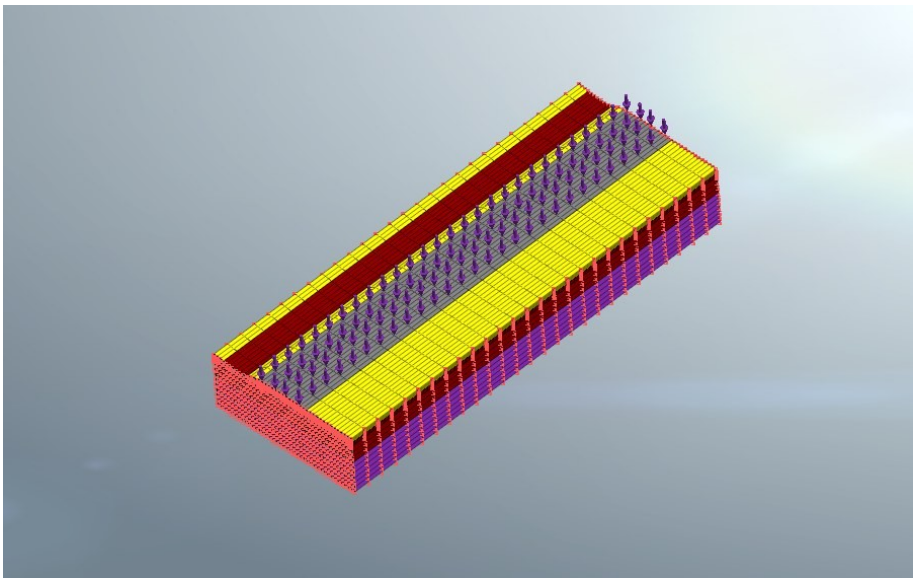


Figura 4. Modelul teren – structură rutieră – cablu (M1) cu încărcarea mobilă LM1 aplicată pe cele două benzi de circulaţie.

5. REZULTATE

5.1. Estimări analitice şi după norme

Pentru adâncimea de acoperire de 0,9 m, tabelele BS 9295 indică o presiune din trafic de 81,5 kPa pentru drumuri principale, 72,8 kPa pentru drumuri secundare și 41,6 kPa pentru terenuri necirculate; abaca ATV-DVWK-A 127 pentru vehiculul SLW 60 conduce la circa 55 kPa (circa 66 kPa cu coeficientul de impact φ = 1,2). Calculul stratificat pentru osia standard de 115 kN a furnizat, la cota cablului, o presiune de circa 55 kPa în gruparea de exploatare (SLS) și circa 82 kPa pentru încărcarea majorată cu 1,5 (ULS), cu tasări elastice de 1,2–1,9 mm la suprafața drumului și de 0,4–0,7 mm la cota cablului. Soluția de semispațiu omogen pentru osia standard nemajorată conduce la circa 33 kPa la 0,9 m (Figura 5), ceea ce arată că tabelele normative – construite pentru vehicule mai grele și incluzând factori de impact – sunt acoperitoare. Valorile măsurate în ploturi experimentale la această adâncime, de ordinul a 55 kPa, se situează în același interval [30, 64]. Echivalând traficul cu o suprasarcină uniformă, presiunile ULS de circa 70 kPa corespund unei înălțimi echivalente de pământ de aproximativ 1,3 m.

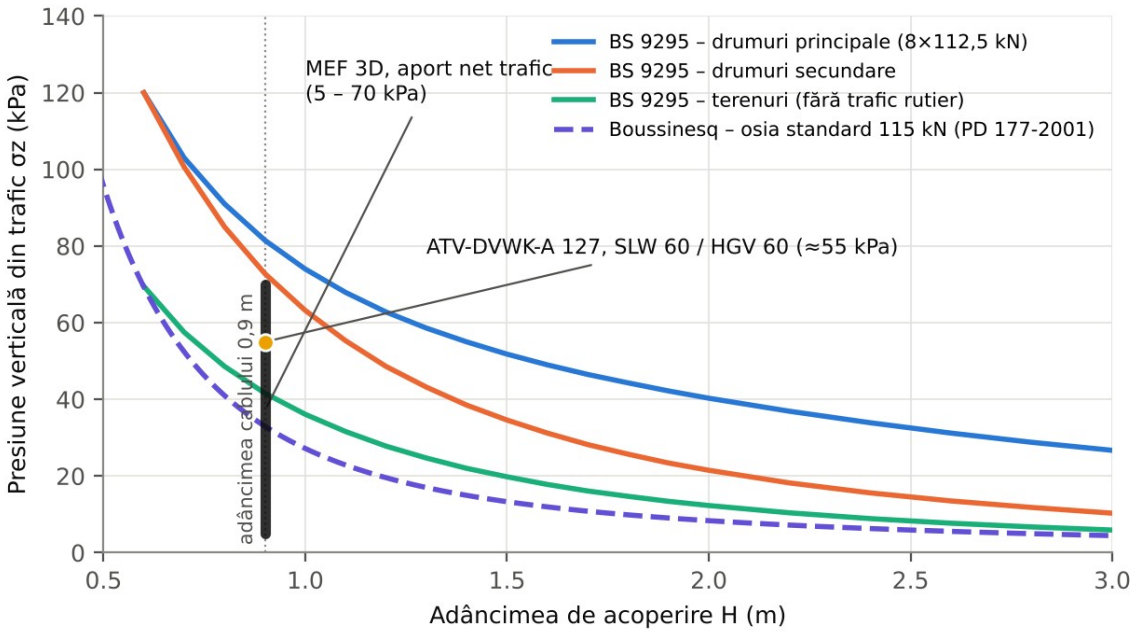


Figura 5. Variația presiunii verticale din trafic cu adâncimea de acoperire: tabelele BS 9295 (drumuri principale, secundare, terenuri), soluția Boussinesq pentru osia standard de 115 kN (PD 177-2001), valoarea ATV-DVWK-A 127 pentru SLW 60 și intervalul aportului net al traficului rezultat din modelele MEF 3D la 0,9 m.

Tabelul 3. Presiunea verticală din trafic la 0,9 m adâncime, după metodele și normele analizate.

Metodă / normă	Vehicul de calcul	Presiune la 0,9 m (kPa)	Observații
Boussinesq, semispațiu omogen	Osia standard 115 kN (2 × 57,5 kN)	≈ 33	fără coeficient de impact
Calcul stratificat (strate elementare), SLS	Roată dublă 57,5 kN, D = 0,342 m	≈ 55	tasare 1,2 mm suprafață / 0,4 mm cablu
Calcul stratificat (strate elementare), ULS	Roată dublă 1,5 × 57,5 = 86,25 kN	≈ 82	tasare 1,9 mm suprafață / 0,7 mm cablu
ATV-DVWK-A 127, abaca D2d	SLW 60 (roți de 100 kN)	≈ 55 (66 cu φ = 1,2)	două vehicule simultan
BS 9295 – drumuri principale	8 × 112,5 kN (incl. 1,3)	81,5	două vehicule simultan
BS 9295 – drumuri secundare	2 × 105 kN	72,8	–
MEF 3D, midas GTS NX (M2–M5)	LM1, SR EN 1991-2, dinamic	60–70 net (80–88 total)	cablul sub banda de circulație
MEF 3D, midas GTS NX (M1)	LM1, SR EN 1991-2, dinamic	≈ 5 net (24,5 total)	cablul în afara platformei

5.2. Rezultatele modelării numerice

Presiunile verticale totale la cota cablului obținute din cele cinci modele sunt prezentate în Tabelul 4 și în Figura 8. Acestea variază între 24,5 kPa (M1, cablul la 4,62 m de ax, în afara platformei) și 88,1 kPa (M2, cablul la 2,29 m de ax, sub banda de circulație – Figura 6), incluzând presiunea geologică de circa 15–20 kPa. Aportul net al traficului este, prin urmare, de circa 5–70 kPa. Deplasările verticale dinamice maxime la suprafața drumului au fost de circa 1 mm la trecerea unui singur vehicul și de circa 1,5 mm la intersectarea a două autocamioane (Figura 7), iar la cota cablului tasarea maximă a fost de 0,8 mm (Figura 9).

Tabelul 4. Sectoarele de calcul și rezultatele modelării MEF 3D.

Model	Sector (km)	Lungime (m)	Distanța cablu – ax (m)	Poziția cablului	Presiune totală la cablu (kPa)	Aport net trafic (kPa)
M1	0+025 – 0+075	50	4,62	în afara platformei	24,5	≈ 5
M2	0+075 – 0+103	28	2,29	sub banda de circulație	88,1	≈ 70
M3	0+103 – 0+194	91	3,14	sub marginea benzii	79,7	≈ 60
M4	0+194 – 0+257	63	2,88	sub banda de circulație	85,1	≈ 65
M5	0+275 – 0+311	54	3,00	sub banda de circulație	81,7	≈ 62

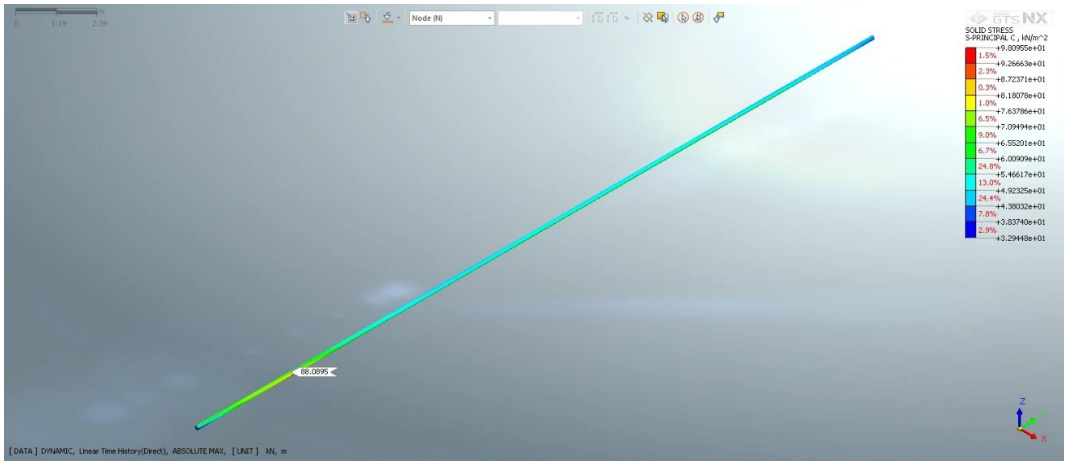


Figura 6. Efortul vertical de-a lungul cablului în modelul M2 (cablul la 2,29 m de ax): valoare maximă de circa 88 kN/m².

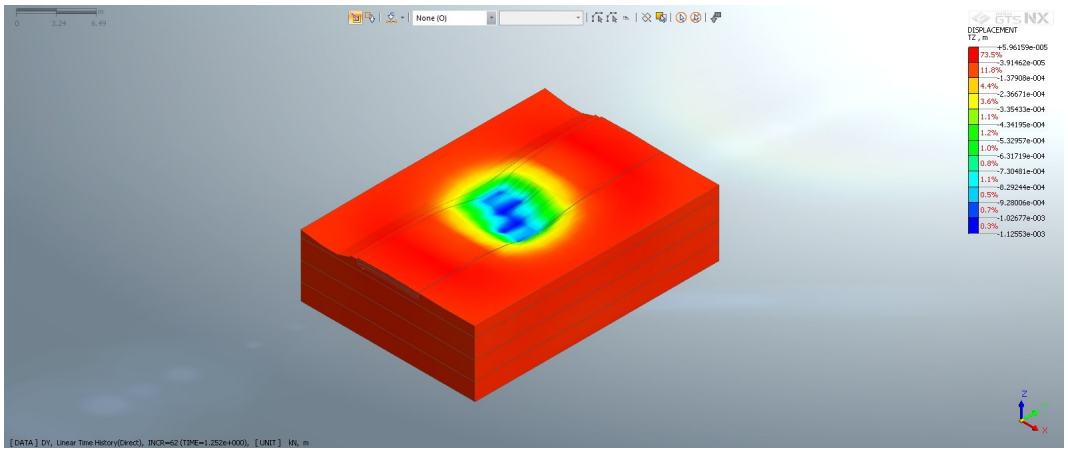


Figura 7. Deplasarea verticală maximă la suprafața drumului (≈1,5 mm) la intersectarea a două autocamioane – analiză dinamică în domeniul timp, modelul M1.

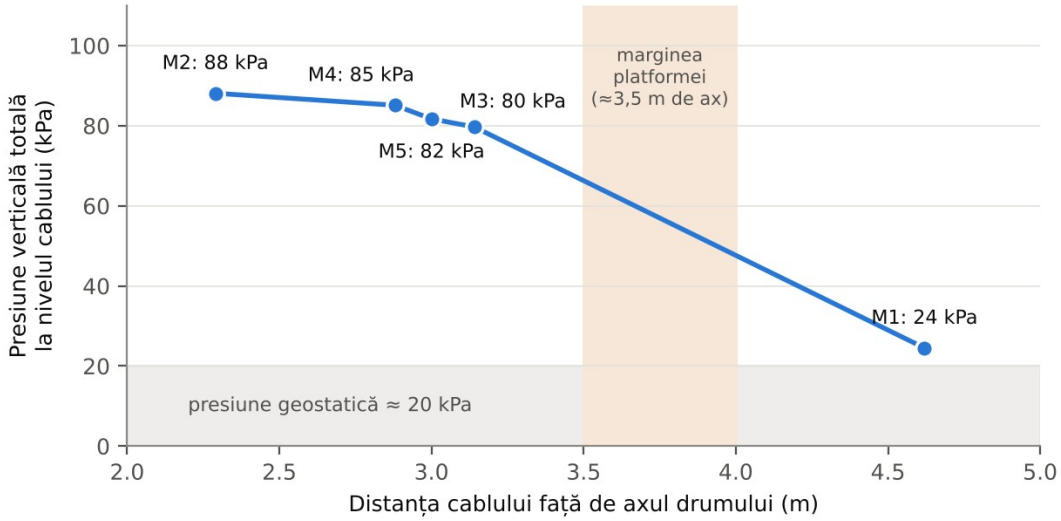


Figura 8. Presiunea verticală totală la nivelul cablului în funcție de distanța cablului față de axul drumului (modelele M1–M5).

5.3. Deformația și eforturile din cablu

Deformata cablului sub încărcarea mobilă (Figura 9) are o săgeată maximă de 0,8 mm, distribuită pe o lungime de influență de ordinul a 10 m, ceea ce corespunde unei alungiri de ordinul micrometrilor. Aplicând legea lui Hooke pentru conductorul de aluminiu (A = 630 mm², E = 69 GPa) pe o lungime de referință L = 12 m și o alungire ΔL ≈ 2 μm, forța axială suplimentară rezultă T = ΔL·A·E/L ≈ 7 N, adică sub 0,1 % din forța de tragere admisibilă de 18,9 kN [8, 57]. Presiunile totale de 25–90 kPa reprezintă sub 3 % din presiunea de contact admisibilă estimată (≈3,5 MPa) și sunt cu mult sub presiunile de ordinul a 1000 kPa pe care cablurile de acest tip le suportă fără deteriorare, conform informațiilor producătorului.

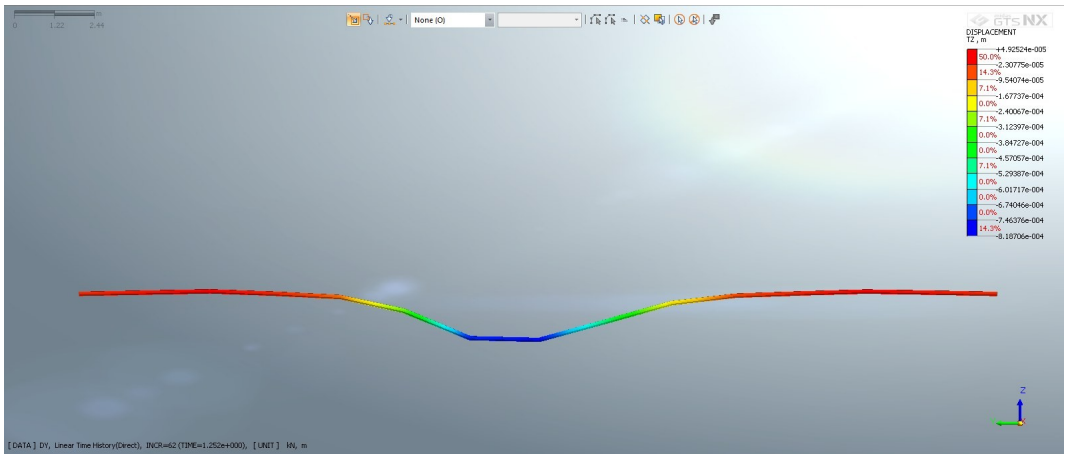


Figura 6. Deformata cablului sub încărcarea mobilă (scară deformată): săgeată maximă de 0,8 mm.

6. DISCUȚIE

6.1. Convergența metodelor

Cele trei familii de abordări conduc la valori ale presiunii din trafic la 0,9 m adâncime cuprinse într-un interval relativ îngust, 55–90 kPa, pentru pozițiile în care cablul se află sub banda de circulație (Tabelul 3, Figura 5). Tabelele normative BS 9295 și ATV-A 127 înglobează vehicule de calcul mai grele decât osia standard românească și factori de impact de 1,2–1,3, ceea ce explică de ce valorile lor sunt mai mari decât soluția Boussinesq pentru osia de 115 kN (≈33 kPa) și comparabile cu valoarea ULS a calculului stratificat (≈82 kPa). Modelul MEF 3D, care ia în considerare rigiditatea sistemului rutier, stratificația și caracterul mobil al încărcării, furnizează pentru cablul aflat sub bandă presiuni totale de 80–88 kPa, deci un aport din trafic de circa 60–70 kPa, în bună concordanță cu abordările analitice acoperitoare. Rezultatul confirmă concluziile literaturii [18, 59, 69]: soluția Boussinesq este un instrument adecvat de predimensionare la adâncimi mici, dar poate subestima sau supraestima efortul real în funcție de rigiditatea relativă a structurii rutiere și a elementului îngropat, astfel încât, pentru situațiile cu marjă de siguranță redusă, validarea prin analiză numerică sau prin măsurători in situ este recomandabilă.

6.2. Influența poziției în plan

Rezultatul cel mai important din punct de vedere practic este sensibilitatea presiunii față de poziția în plan a cablului: deplasarea cablului de la 2,3 m la 4,6 m față de ax (de sub banda de circulație în afara platformei) reduce presiunea totală de la 88 kPa la 24,5 kPa, iar aportul traficului de la circa 70 kPa la circa 5 kPa (Figura 8). La adâncimi de pozare mici, distanța orizontală față de urma roților

este, așadar, la fel de importantă ca adâncimea de acoperire – o concluzie utilă la amplasarea rețelelor în zona drumurilor și la evaluarea cablurilor existente, concordantă cu recomandarea ghidurilor de a poza rețelele sub trotuare sau acostamente și nu sub carosabil [8, 53].

6.3. Adâncimea de influență a traficului și tasările de lungă durată

Încărcările din trafic sunt tranzitorii; eforturile pe care le induc se atenuează rapid cu adâncimea, astfel încât sub 1,5–2,5 m aportul lor devine nesemnificativ față de sarcina geologică [18, 39, 56]. Compactarea suplimentară produsă de încărcările ciclice se manifestă, de regulă, în primii ani de exploatare și preponderent în partea superioară a terasamentului (0,3–0,5 m sub structura rutieră), pe terenuri bune; tasările de lungă durată ale drumurilor sunt controlate de greutatea terasamentului și de consolidarea terenului de fundare, nu de trafic [14, 17, 47]. În cazul analizat, cei peste zece ani de exploatare fără intervenții la cablu, starea tehnică bună a carosabilului și tasările dinamice sub 1 mm confirmă această comportare și justifică folosirea modulilor de încărcare–descărcare (dinamici) în analize.

6.4. Riscurile reale pentru structura îngropată

Analizele arată că presiunea din trafic nu constituie, în sine, un pericol pentru cablu. Mecanismele cu potențial real de avarie sunt cele care modifică reazemul continuu al cablului: formarea de goluri subterane, eroziunea internă sau spălarea materialului fin la nivelul cablului (în special în vecinătatea canalului de desecare), cedări laterale ale terenului sau intervenții necontrolate la rețele – mecanisme confirmate de experiența de teren asupra cablurilor de înaltă tensiune [25, 32]. Un cablu rămas suspendat pe o lungime de câțiva metri este supus încovoierii și întinderii sub greutate proprie și sub sarcinile transmise de trafic, condiții în care limitele mecanice ale mantalei și ale conductorului pot fi depășite. De asemenea, degradarea suprafeței de rulare (gropi, denivelări) majorează semnificativ factorul dinamic al încărcărilor [67, 68], motiv pentru care întreținerea îmbrăcămintei rutiere face parte din protecția structurii îngropate. În sfârșit, rezultatele sunt valabile pentru cablul pozat direct în pământ; existența unui canal de protecție din beton cu dale, dacă s-ar confirma, ar reduce suplimentar presiunile transmise cablului, dar ar introduce și riscul evidențiat la Christchurch – fisurarea elementelor de beton nearmat la tasări diferențiale locale [25].

Raportat la cadrul normativ prezentat în §2.6, un cablu de 110 kV pozat la minimum 0,9 m sub carosabil se situează sub adâncimea de 1,0–1,2 m prevăzută „de regulă” de NTE 007/08/00, art. 59 [8], iar cele două situații în care normativul admite o adâncime mai mică pe traseu curent – pozarea sub planșee de beton și

pozarea în tuburi de protecţie – sunt tocmai protecţiile mecanice pe care art. 60 pct. 2 le cere pentru cablurile pozate pe partea carosabilă. Conformitatea pozării cu aceste prevederi depinde, prin urmare, de confirmarea existenței plăcilor de beton sau a tubului de protecţie, informaţie care în cazul analizat nu a putut fi verificată documentar şi care se recomandă a fi stabilită prin sondaje pe sectoarele în care cablul se află sub banda de circulaţie. Analizele de eforturi arată că abaterea de 10–30 cm faţă de adâncimea normativă nu produce, în sine, un risc de avarie din presiunea traficului; cerinţa de protecţie mecanică din art. 33 vizează însă lăsările terenului, trepidaţiile şi intervenţiile pe trasee nemarcate – exact mecanismele identificate mai sus ca având potenţial real de avarie – astfel încât recomandarea normativă şi cea geotehnică sunt convergente: plăci de protecţie (din beton sau din material nemagnetic) peste stratul de nisip ori tub nemagnetic la traversări, cu ocazia primei intervenţii la drum, şi marcarea traseului conform art. 60 pct. 1.

7. CONCLUZII ŞI RECOMANDĂRI

1. Pentru un cablu de 110 kV pozat la 0,9 m sub un drum cu trafic greu, presiunea verticală netă indusă de trafic la cota cablului este de 5–70 kPa, în funcţie de poziţia cablului faţă de urma roţilor; presiunea totală (inclusiv sarcina geologică) nu depăşeşte circa 90 kPa.
2. Soluţiile analitice (Boussinesq, calcul stratificat) şi tabelele normative (BS 9295, ATV-DVWK-A 127) furnizează valori acoperitoare şi comparabile cu rezultatele modelării MEF 3D; diferenţele se explică prin vehiculele de calcul şi factorii de impact adoptaţi.
3. Tasările dinamice la cota cablului sunt sub 1 mm, iar forţa axială suplimentară indusă este de ordinul a 10 N – neglijabilă faţă de forţa de tragere admisibilă (18,9 kN). Presiunile de contact sunt cu cel puţin un ordin de mărime sub capacitatea cablului.
4. În condiţii normale de exploatare a drumului, integritatea cablului nu este afectată de trafic, concluzie susţinută şi de comportarea fără incidente din perioada 2012–2025.
5. La adâncimi de pozare mici, distanţa orizontală faţă de urma roţilor influenţează presiunea la fel de mult ca adâncimea de acoperire; pozarea reţelelor în afara carosabilului reduce aportul traficului cu peste un ordin de mărime.
6. Se recomandă: (a) întreţinerea îmbrăcămintei rutiere pentru limitarea încărcărilor dinamice; (b) inspecţia şi întreţinerea periodică a canalului de desecare, pentru evitarea eroziunii şi a pierderii reazemului; (c) marcarea şi protejarea traseului cablului la orice intervenţie în zona drumului; (d) în cazul lucrărilor viitoare de modernizare, protejarea cablului prin plăci sau tuburi, conform NTE 007/08/00.

7. Din punct de vedere metodologic, studiul arată utilitatea combinării calculului analitic rapid cu modelarea numerică 3D şi cu observaţiile de teren, în spiritul NP 074-2022, pentru expertizele geotehnice privind interacțiunea dintre terenul de fundare și structurile îngropate.

Mulţumiri

Autorii mulţumesc beneficiarului expertizei geotehnice pentru acordul de a utiliza datele în scop ştiinţific, în formă anonimizată, şi elaboratorului studiului geotehnic pentru documentaţia pusă la dispoziţie. Analizele numerice au fost realizate cu programul MIDAS GTS NX.

BIBLIOGRAFIE

[1]. AASHTO (2020). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, ed. a 9-a, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. (art. 3.6.1.2.6 – distribuția încărcărilor din roți prin umplutură; art. 3.6.2.2 – coeficient dinamic pentru elemente îngropate).

[2]. Abdelkrim, M., de Buhan, P., Bonnet, G. (2006). A general method for calculating the traffic load-induced residual settlement of a platform, based on a structural analysis approach. *Soils and Foundations*, 46(4), 401–414.

[3]. ACPA (2009). *Highway Live Loads on Concrete Pipe*. Design Data 1 (DD 1), American Concrete Pipe Association, Irving, TX.

[4]. Ahmadnia, A., Wijewickreme, D., Ventura, C.E., Toth, J. (2008). Response of buried power transmission cables to earthquake-induced permanent ground deformations. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, paper 06-0086.

[5]. Alzabeebee, S., Chapman, D.N., Faramarzi, A. (2018). A comparative study of the response of buried pipes under static and moving loads. *Transportation Geotechnics*, 15, 39–46. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.03.001

[6]. Alzabeebee, S., Chapman, D.N., Faramarzi, A. (2019). Economical design of buried concrete pipes subjected to UK standard traffic loading. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings*, 172(2), 141–156. https://doi.org/10.1680/jstbu.17.00035

[7]. AND (2001). *PD 177-2001 Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide (metoda analitică)*. Administrația Națională a Drumurilor, Bucureşti.

[8]. ANRE (2008). *NTE 007/08/00 Normativ pentru proiectarea şi executarea reţelelor de cabluri electrice*, aprobat prin Ordinul ANRE nr. 38/2008. Autoritatea Națională de Reglementare în Domeniul Energiei, Bucureşti.

[9]. ANRE (2019). *Ordinul nr. 239/2019 pentru aprobarea Normei tehnice privind delimitarea zonelor de protecție și de siguranță aferente capacităților energetice*. Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 36 și 36 bis/20.01.2020.

[10]. ASRO (1997). *SR 8591:1997 Rețele edilitare subterane. Condiții de amplasare*. Asociația de Standardizare din România, București.

[11]. ATV-DVWK (2000). *Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen*, ed. a 3-a, GFA, Hennef (ediția în limba engleză: ATV-DVWK-A 127E, *Static Calculation of Drains and Sewers*).

[12]. Boussinesq, J. (1885). *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques*. Gauthier-Villars, Paris.

[13]. BSI (2020). *BS 9295:2020 Guide to the structural design of buried pipes*. British Standards Institution, Londra (ediția anterioară: BS 9295:2010 *Guide to the structural design of buried pipelines*).

[14]. Cai, Y., Chen, Y., Cao, Z., Ren, C. (2018). A combined method to predict the long-term settlements of roads on soft soil under cyclic traffic loadings. *Acta Geotechnica*, 13(5), 1215–1226. https://doi.org/10.1007/s11440-017-0616-3

[15]. CEN (2003). *EN 1991-2:2003 Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges*. Comitetul European de Standardizare, Bruxelles; versiunea română SR EN 1991-2:2004 și Anexa Națională SR EN 1991-2:2004/NB:2006, ASRO, București.

[16]. CEN (2019). *EN 1295-1:2019 Structural design of buried pipelines under various conditions of loading – Part 1: General requirements*. Comitetul European de Standardizare, Bruxelles; versiunea română SR EN 1295-1:2019, ASRO, București.

[17]. Chai, J.-C., Miura, N. (2002). Traffic-load-induced permanent deformation of road on soft subsoil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(11), 907–916. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:11(907)

[18]. Chapman, D.N., Alzabeebee, S., Jefferson, I., Faramarzi, A. (2017). The response of buried pipes to UK standard traffic loading. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering*, 170(1), 38–50. https://doi.org/10.1680/jgeen.15.00190

[19]. Chong, S.-H., An, J.-B., Cho, G.-C. (2022). Full-scale test of direct-buried cable in sand under repetitive loading. *Transportation Geotechnics*, 37, 100877. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100877

[20]. CIGRE WG 21.17 (2001). *Construction, laying and installation techniques for extruded and self-contained fluid filled cable systems*. Technical Brochure 194, CIGRE, Paris.

[21]. CIGRE WG B1.61 (2022). *Installation of High Voltage (HV) Cable Systems*. Technical Brochure 889, CIGRE, Paris.

[22]. Decký, M., Drusa, M., Papán, D., Šrámek, J. (2022). The relationship between dynamic and static deformation modulus of unbound pavement materials used for their quality control methodology. *Materials*, 15(8), 2922. https://doi.org/10.3390/ma15082922

[23]. Department of Transport / Transport Infrastructure Ireland (2025). *Interim Guidance to Road Authorities regarding the proposed placement of Medium or High Voltage electricity assets, including ducts, cables, and associated infrastructure under public roads*. Dublin, martie 2025.

[24]. DIN (1985). *DIN 1072:1985-12 Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen*. Deutsches Institut für Normung, Berlin.

[25]. Eidinger, J.M. (2013). Performance of buried high voltage power cables due to liquefaction. În: *International Efforts in Lifeline Earthquake Engineering*, ASCE TCLEE Monograph 38. https://doi.org/10.1061/9780784413234.012

[26]. Ferretti, E. (2019). Satisfying boundary conditions in homogeneous, linear-elastic and isotropic half-spaces subjected to loads perpendicular to the surface: distributed loads on adjacent contact areas. *Curved and Layered Structures*, 6(1), 11–29. https://doi.org/10.1515/cls-2019-0002

[27]. Guvernul României (1997). *Ordonanța nr. 43/1997 privind regimul drumurilor*, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 237/29.06.1998, cu modificările şi completările ulterioare.

[28]. Guvernul României (2018). *Hotărârea nr. 742/2018 privind modificarea Hotărârii Guvernului nr. 925/1995 pentru aprobarea Regulamentului de verificare şi expertizare tehnică de calitate a proiectelor, a execuției lucrărilor şi a construcțiilor*. Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 828/27.09.2018.

[29]. Hao, H., Ang, T.C. (1998). Analytical modeling of traffic-induced ground vibrations. *Journal of Engineering Mechanics*, 124(8), 921–928. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1998)124:8(921)

[30]. Hardy, R.M., Rivard, P.J. (1951). Stress distribution below pavements under trolley bus loadings. *Highway Research Board Proceedings*, 30, 396–406.

[31]. Herbreteau, A., Thevenon, H. (2003). Power drive rollers pulling improvements. *Proceedings Jicable '03*, paper A.10.1, Versailles.

[32]. HSE (2014). *Avoiding danger from underground services*. HSG47, ed. a 3-a, Health and Safety Executive, Londra.

[33]. IEC (2020). *IEC 60840:2020 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) – Test methods and requirements*. International Electrotechnical Commission, Geneva.

[34]. IEEE (2019). *IEEE Std 1185-2019 Recommended Practice for Cable Installation in Generating Stations and Industrial Facilities*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York.

[35]. Ioniță, I., Rădulescu, C., Stihi, C., Popescu, I.V., Poinescu, A.A., Bunghez, I.R. (2014). The behavior of underground power cables under the action of stress factors. *Romanian Journal of Physics*, 59(9–10), 1150–1159.

[36]. IRS (1990). *STAS 1709/2-90 Acțiunea fenomenului de îngheț-dezgheț la lucrări de drumuri. Prevenirea și remedierea degradărilor din îngheț-dezgheț. Prescripții tehnice*. Institutul Român de Standardizare, București.

[37]. Islam, M.R., Tarefder, R.A. (2020). Structural responses data measured in an instrumented flexible pavement. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 9(1), 1–13.

[38]. Li, D., Selig, E.T. (1996). Cumulative plastic deformation for fine-grained subgrade soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(12), 1006–1013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1996)122:12(1006)

[39]. Li, Y., Du, Y., Liu, L., Zhang, J., Hao, J., Zhang, X., Jin, Q., Tian, C., Li, X., Zhang, X. (2024). Influence depth of highway subgrade under heavy vehicle loads based on a theoretical model. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1497868. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1497868

[40]. Loulizi, A., Al-Qadi, I.L., Lahouar, S., Freeman, T.E. (2002). Measurement of vertical compressive stress pulse in flexible pavements: representation for dynamic loading tests. *Transportation Research Record*, 1816, 125–136. https://doi.org/10.3141/1816-14

[41]. Marston, A. (1930). The theory of external loads on closed conduits in the light of the latest experiments. *Highway Research Board Proceedings*, 9, 138–170 (Iowa Engineering Experiment Station Bulletin 96).

[42]. Martin, C.P., Vaughan, A.S., Sutton, S.J. (2003). The thermomechanical behaviour of crosslinked polyethylene cable insulation material. *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) Annual Report*, Albuquerque, NM.

[43]. MDLPA (2023). *NP 074-2022 Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții*, aprobat prin Ordinul MDLPA nr. 27/2023, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 56 și 56 bis/20.01.2023.

[44]. MDRAP (2013). *P 100-1/2013 Cod de proiectare seismică – Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri*. București.

[45]. MDRAP (2014). *NP 112-2014 Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață*, aprobat prin Ordinul MDRAP nr. 2352/2014, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 935/22.12.2014.

[46]. MDRT (2010). *NP 122-2010 Normativ privind determinarea valorilor caracteristice şi de calcul ale parametrilor geotehnici*. București.

[47]. Monismith, C.L., Ogawa, N., Freeme, C.R. (1975). Permanent deformation characteristics of subgrade soils due to repeated loading. *Transportation Research Record*, 537, 1–17.

[48]. Mosadegh, A., Nikraz, H. (2017). Buried pipe response subjected to traffic load: experimental and numerical investigations. *International Journal of GEOMATE*, 13(39), 1–8. https://doi.org/10.21660/2017.39.91957

[49]. Moser, A.P., Folkman, S.L. (2008). *Buried Pipe Design*, ed. a 3-a, McGraw-Hill, New York.

[50]. Nath, P. (1981). *Pressures on Buried Pipes due to Revised HB Loading*. TRRL Laboratory Report LR 977, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

[51]. National Grid (2015). *Undergrounding high voltage electricity transmission lines: The technical issues*. Issue 4, National Grid plc, Warwick, UK.

[52]. Newmark, N.M. (1942). *Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Foundations*. University of Illinois Engineering Experiment Station, Bulletin 338, Urbana.

[53]. NJUG (2013). *Guidelines on the Positioning and Colour Coding of Underground Utilities' Apparatus*. Volume 1, Issue 8, National Joint Utilities Group, Londra.

[54]. Parlamentul României (1995). *Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții*, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 765/30.09.2016, cu modificările şi completările ulterioare.

[55]. Parlamentul României (2012). *Legea nr. 123/2012 a energiei electrice şi a gazelor naturale*, cu modificările şi completările ulterioare. Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 485/16.07.2012.

[56]. Petersen, D.L., Nelson, C.R., Li, G., McGrath, T.J., Kitane, Y. (2010). *Recommended Design Specifications for Live Load Distribution to Buried Structures*. NCHRP Report 647, Transportation Research Board, Washington, D.C. https://doi.org/10.17226/14377

[57]. Producătorul cablului (2020). *Fişa tehnică: cablu monofilar 64/110 (123) kV, 1×630 mm² Al, XLPE/CWS/HDPE, IEC 60840* (documentație pusă la dispoziție de beneficiar; anexă la raportul de expertiză).

[58]. Prysmian Group France (2018). *Fiche technique N° B – Conseils de pose des câbles enterrés*, V4, ianuarie 2018. Prysmian Group, Franța.

[59]. Rakitin, B., Xu, M. (2014). Centrifuge modeling of large-diameter underground pipes subjected to heavy traffic loads. *Canadian Geotechnical Journal*, 51(4), 353–368.

[60]. Spangler, M.G. (1941). *The Structural Design of Flexible Pipe Culverts*. Iowa Engineering Experiment Station, Bulletin 153, Ames.

[61]. Spangler, M.G., Handy, R.L. (1982). *Soil Engineering*, ed. a 4-a, Harper & Row, New York.

[62]. Stanciu, A., Lungu, I. (2006). *Fundații I. Fizica și mecanica pământurilor*. Editura Tehnică, Bucureşti.

[63]. Tang, L., Chen, H., Sang, H., Zhang, S., Zhang, J. (2015). Determination of traffic-load-influenced depths in clayey subsoil based on the shakedown concept. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 182–191. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.05.009

[64]. Timm, D.H., West, R., Priest, A., Powell, B., Selvaraj, I., Zhang, J., Brown, R. (2006). *Phase II NCAT Test Track Results*. NCAT Report 06-05, National Center for Asphalt Technology, Auburn University.

[65]. Trickey, S.A., Moore, I.D. (2007). Three-dimensional response of buried pipes under circular surface loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(2), 219–223. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:2(219)

[66]. Watkins, R.K., Anderson, L.R. (2000). *Structural Mechanics of Buried Pipes*. CRC Press, Boca Raton.

[67]. Watts, G.R., Krylov, V.V. (2000). Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions. *Applied Acoustics*, 59(3), 221–236. https://doi.org/10.1016/S0003-682X(99)00026-2

[68]. Wells, A., Shenton, H.W., Manahiloh, K.N., Wenczel, G. (2017). Experimental evaluation of dynamic amplification factor for box culverts. *TRB 96th Annual Meeting*, paper 17-06223, Transportation Research Board, Washington, D.C.

[69]. Yoo, C.-S., Chung, S.-W., Lee, K.-M., Kim, J.-S. (1999). Interaction between flexible buried pipe and surface load. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 15(3), 83–97.

ROLUL MICROSIMULĂRII ÎN FUNDAMENTAREA SOLUȚIILOR DE CIRCULAȚIE STUDIU DE CAZ PRIVIND SENSUL GIRATORIU PROPUS PE DN2 LA MĂRĂCINENI

Brașov Teodor Gabriel, Serviciul Model de Transport, ing., CESTRIN**, e-mail:** office@cestrin.ro
Georgescu Luminița Roxana, Serviciul Model de Transport, ing., CESTRIN, **e-mail:** office@cestrin.ro

Rezumat

Lucrarea evidențiază rolul microsimulării în evaluarea soluțiilor de amenajare rutieră înaintea implementării. Este prezentat studiul de capacitate realizat de CESTRIN pentru intersecția DN2/E85 – DJ203K – Strada Focșanei, în localitatea Mărăcineni, județul Buzău, pentru traficul de referință al anului 2026. Cu ajutorul PTV Vissim au fost analizate situația existentă, două variante cu sens giratoriu amplasat direct pe DN2 și o soluție cu două giratorii laterale. În model, variantele pe DN2 ating nivelul de serviciu LOS F, cu întârzieri medii de 181,45 și 175,15 s/vehicul și cozi maxime de aproximativ 516 m. Situația existentă și soluția laterală obțin LOS A. Rezultatele arată că microsimularea poate face vizibile efectele unei propuneri asupra întregii rețele modelate și poate susține revizuirea acesteia. Concluziile se referă la geometria, cererea și ipotezele raportate pentru anul analizat; ele nu înlocuiesc verificările de teren, geometrice și de siguranță.

Cuvinte cheie: microsimulare, PTV Vissim, analiză de capacitate, nivel de serviciu, DN2, Mărăcineni.

Abstract

This paper highlights the role of microsimulation in assessing road design solutions before implementation. It presents a CESTRIN capacity study of the DN2/E85 – DJ203K – Focșanei Street intersection in Mărăcineni, Buzău County, for the 2026 reference traffic. PTV Vissim was used to assess the existing layout, two alternatives with a roundabout directly on DN2, and an option with two secondary roundabouts. In the model, the DN2 roundabout alternatives reached LOS F, with average delays of 181.45 and 175.15 seconds per vehicle and maximum queues of about 516 m. The existing layout and the secondary-roundabout option achieved LOS A. The results show how microsimulation can make network-wide effects visible before construction and support a redesign. The findings apply to the geometry, demand and assumptions reported for the modelled year; they do not replace field, geometric or road-safety checks.

Keywords: microsimulation, PTV Vissim, capacity analysis, level of service, DN2, Mărăcineni.

1. INTRODUCERE

Alegerea unei soluții pentru o intersecție nu se rezumă la desenarea unei geometrii care permite mai multe manevre. Orice modificare schimbă regulile de prioritate, traseele vehiculelor și modul în care cozile se propagă spre nodurile apropiate. Pe un drum național cu trafic de tranzit, o intervenție locală poate îmbunătăți accesul pentru un braț și, în același timp, poate introduce întârzieri pe direcția principală. Evaluarea înainte de execuție este, prin urmare, o etapă esențială a proiectării.

Microsimularea permite examinarea acestor interacțiuni la nivel de vehicul și compararea scenariilor în condiții comune de cerere. Studiul CESTRIN de la Mărăcineni este relevant tocmai pentru că rezultatele au contrazis așteptarea intuitivă că un sens giratoriu ar îmbunătăți automat funcționarea intersecției. Lucrarea urmărește să prezinte datele, variantele și concluziile modelului, apoi să discute ce aduce un astfel de instrument în procesul de decizie tehnică și în formarea inginerilor.

1.1. Amplasamentul analizat

Intersecția DN2/E85 – DJ203K – Strada Focșanei este situată în Mărăcineni, lângă podul peste râul Buzău. DN2 asigură continuitatea traficului de tranzit și a traficului greu, iar brațele secundare conectează deplasările locale și regionale. Amplasarea într-o zonă construită și proximitatea podului fac ca relațiile de acces, traseele de întoarcere și ocuparea spațiului disponibil să fie importante atât pentru funcționare, cât și pentru geometria amenajării [1].



Figura 1. Localizarea intersecției în rețeaua rutieră. Sursa: [1]



Figura 2. Vedere de teren a sectorului DN2/E85 din zona analizată. Sursa: [1]

1.2. Organizarea existentă și relațiile de circulație

În situația existentă, DN2/E85 funcționează ca arteră principală, cu sensuri separate și fluxuri consistente. Accesul din DJ203K și Strada Focșanei către DN2 este limitat la virajul la dreapta. Pentru celelalte relații — inclusiv virajul la stânga, întoarcerea sau accesul către sensul opus — vehiculele folosesc traseul amenajat pe sub podul peste râul Buzău, care le permite să revină pe direcția dorită [1].

Restricționarea manevrelor directe reduce traversările fluxului principal și numărul punctelor de conflict în intersecție. În schimb, o parte dintre deplasările locale parcurg un traseu mai lung, iar evaluarea unei propuneri trebuie să ia în calcul atât accesibilitatea, cât și efectele asupra circulației de tranzit. În această balanță se află întrebarea tehnică a studiului: poate un nod cu conectivitate mai completă să deservească traficul local fără să degradeze funcționarea DN2?



Figura 3. Reprezentare tridimensională a zonei și a conexiunilor rutiere studiate. Sursa: [1]

Tabelul 1. Relații principale în organizarea existentă

Relație	Organizare descrisă în studiu	Consecință pentru analiză
DN2/E85, direcția principală	Circulație continuă pe axul drumului național.	Trebuie protejată fluența traficului de tranzit.
DJ203K / Strada Focșanei către DN2	Acces direct permis la dreapta.	Acces local restricționat pentru unele destinații.
Viraje la stânga și întoarceri	Traseu prin zona de sub pod.	Apar ocoluri, dar se evită traversări directe.

Această organizare oferă reperul de comparație pentru variantele proiectate. În analiza rezultatelor, performanța situației existente nu trebuie citită ca lipsă a oricăror inconveniente, ci

ca rezultat operațional al restricțiilor curente, care păstrează continuitatea DN2 în scenariul modelat [1].

2. DATE DE TRAFIC ŞI CONSTRUIREA CERERII

Pentru microsimulare sunt necesare volumele de trafic şi distribuţia lor pe relaţii de deplasare, nu doar totalurile înregistrate pe un sector de drum. Studiul a folosit informaţii de la contorul automat de trafic de pe DN2, în zona Mărăcineni, şi date parţiale din recensământul de circulaţie desfăşurat în 2026 pe DJ203K. Cererea pe direcţii şi relaţii de viraj a fost distribuită utilizând matricea din Modelul Naţional de Transport [1].

Tabelul 2. Surse de date şi rolul lor în model

Sursă	Utilizare în studiu	Precizare
Contor automat DN2, zona Mărăcineni	Caracterizarea volumelor pe drumul naţional.	Date înregistrate pe secţiunea DN2.
Recensământ DJ203K, 2026	Estimarea cererii asociate drumului judeţean.	Date parţiale disponibile la elaborarea analizei.
Modelul Naţional de Transport	Repartizarea volumelor pe relaţii origine–destinaţie şi viraje.	Ponderi utilizate pentru completarea structurii fluxurilor.

Fluxurile aferente orei de vârf au fost transformate în intrări pe relaţiile modelului. În felul acesta, reţeaua digitală a putut reprezenta simultan traficul de pe DN2 şi cererea generată de braţele secundare. Diagrama din Figura 4 redă distribuţia fluxurilor introdusă în analiza de capacitate şi arată de ce volumele pe direcţie şi pe viraj sunt importante pentru testarea unei intersecţii [1].

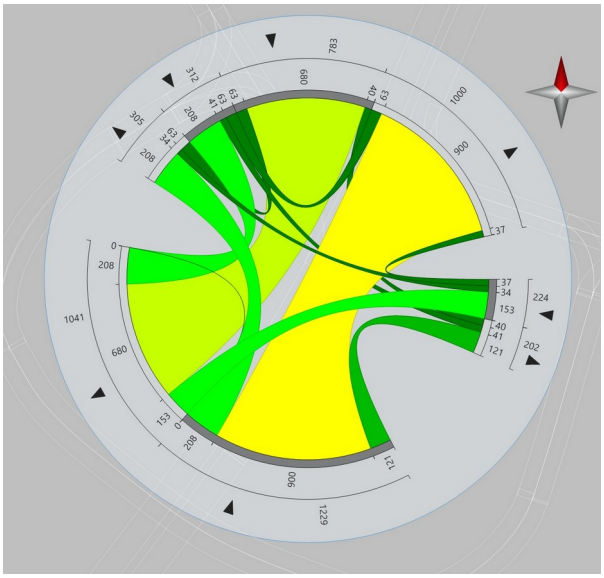


Figura 4. Diagramă a volumelor de trafic şi a relaţiilor de deplasare utilizate. Sursa: [1]

2.1. PTV Vissim şi indicatorii de performanţă

PTV Vissim este un program de microsimulare multimodală în care vehiculele sunt reprezentate individual, iar deplasarea şi interacţiunile lor sunt urmărite în timp. Pentru o intersecţie, modelul poate reuni geometria, benzile, regulile de prioritate, relaţiile de viraj şi cererea de trafic. O simulare animată ajută la observarea formării cozilor şi a zonelor de interacţiune; indicatorii calculaţi permit comparaţii numerice între scenarii [1].

Raportul CESTRIN foloseşte nivelul de serviciu (LOS), întârzierea medie, lungimile medie şi maximă ale cozilor, numărul de opriri şi vehiculele procesate. Sunt raportate, de asemenea, consumul de combustibil şi emisiile estimate de model. Clasificarea LOS aplicată în raport este sintetizată în Tabelul 3 [1].

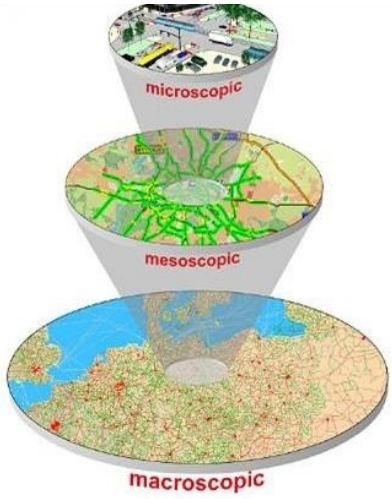


Figura 5. Scara de modelare a transportului ilustrată în studiul CESTRIN. Sursa: [1]

Tabelul 3. Încadrarea nivelului de serviciu după întârzierea de control

LOS	Întârziere (s/veh.)	Caracterizare sintetică din raport
A	< 10	Circulaţie fluentă, fără cozi de aşteptare.
B	10–20	Circulaţie fluentă, cu viteză mai redusă.
C	20–35	Circulaţie acceptabilă; pot apărea cozi.
D	35–55	Circulaţie acceptabilă, cozi reduse.
E	55–80	Circulaţie dificilă, cozi permanente.
F	> 80	Circulaţie foarte dificilă, opriri multiple.

Întârzierea se interpretează împreună cu cozile, opririle şi vehiculele procesate; imaginile localizează efectele în reţeaua simulată.

2.2. Situația existentă ca scenariu de referință

Scenariul existent oferă reperul față de care sunt comparate cele două variante de sens giratoriu pe DN2 și soluția recomandată cu giratii laterale. În rețeaua simulată pentru 2026, situația de bază este încadrată la LOS A, cu întârziere medie redusă și cozi medii scurte. Acest rezultat este compatibil cu organizarea în care traficul principal își păstrează continuitatea, iar o parte dintre manevrele locale se realizează prin traseul de sub pod [1].



Figura 6. Rețea în scenariul existent, reprezentată în PTV Vissim. Sursa: [1].



Figura 7. Reprezentarea vitezei medii de circulație pentru scenariul existent. Sursa: [1].

Scenariul existent este reperul comparativ pentru variantele propuse. Raportul prezintă rezultate agregate și pe relații, astfel că indicatorul general trebuie citit împreună cu distribuția locală a vitezelor și a cozilor [1].

2.3. Rolul scenariului de referință

Comparația între soluții este relevantă atunci când scenariile păstrează aceeași cerere și aceeași perioadă de analiză. În acest cadru, diferențele dintre rezultate pot fi interpretate în raport cu schimbarea geometriei și a regulilor de circulație reprezentate în model. Microsimularea creează astfel un experiment controlat pentru proiectare, dar rezultatul rămâne legat de ipotezele și limitele scenariilor testate.

Performanța bună a scenariului existent pe DN2 nu înseamnă că accesibilitatea locală este optimă. Restricția la dreapta și utilizarea traseului de sub pod pentru celelalte mișcări pot crește distanța de parcurs. Întârzierea și coada nu descriu singure distanța suplimentară sau ușurința accesului, de aceea obiectivele de accesibilitate trebuie urmărite și prin indicatori dedicați.

Raportul indică sursele de trafic și valorile rezultate, dar materialul disponibil nu detaliază toate etapele calibrării și validării modelului. În consecință, articolul prezintă valorile ca rezultate raportate de CESTRIN, fără a le trata ca validare independentă a modelului.

3.1. Varianta 1 – sens giratoriu amplasat pe DN2

Prima variantă propune un sens giratoriu direct pe DN2 și menține unele restricții de circulație, inclusiv obligativitatea virajului la dreapta pentru anumite fluxuri. Amenajarea urmărește să organizeze mai clar relațiile dintre DN2 și brațele secundare, dar introduce o cedare a priorității și o reducere a vitezei pe axul drumului național. Efectul asupra traficului principal depinde de volumul cererii și de distribuția virajelor, nu doar de forma nodului [1].



Figura 8. Planul variantei 1, cu giratie pe DN2. Sursa: [1]



Figura 9. Captură PTV Vissim pentru varianta 1. Sursa: [1]

În simulare, rezultatul este nefavorabil la nivel de rețea: întârzierea medie depășește pragul de 80 s/vehicul și se încadrează în LOS F, iar cozile se extind pe abordări și pe legăturile din jurul intersecției. Imaginea din Figura 9 arată distribuția acumulărilor în rețeaua simulată. Pentru proiectant, această observație este utilă deoarece localizează mecanismul degradării, în timp ce raportul tabelar permite cuantificarea ei în raport cu situația existentă [1].

Varianta 1 evidențiază riscul ca o soluție care pare să simplifice accesul să producă efectul opus pentru fluxurile dominante. Microsimularea nu respinge în abstract sensurile giratorii; ea arată că amplasarea lor pe un coridor cu trafic de tranzit trebuie verificată în raport cu volumul și geometria concretă a intersecției.

3.2. Varianta 2 – conectivitate extinsă prin giratia de pe DN2

A doua variantă extinde conectivitatea între ramurile intersecției și urmărește să faciliteze accesul către direcțiile Buzău, Râmnicu Sărat, Mărăcineni, Gura Câlnăului și DJ203K. Manevrele de viraj și de întoarcere sunt reorganizate prin giratia de pe DN2, cu intenția de a evita traversările directe și de a face traseele mai intuitive [1].

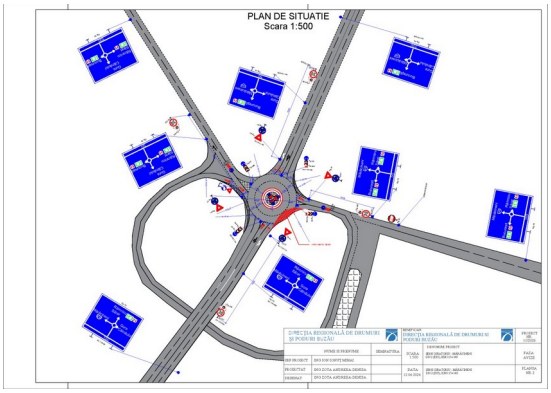


Figura 10. Planul variantei 2, cu giraţie pe DN2. Sursa: [1]



Figura 11. Reprezentare tridimensională / microsimulare a variantei 2. Sursa: [1]

Rezultatele agregate rămân însă în LOS F. Întârzierea medie se reduce uşor faţă de varianta 1, dar cozile maxime rămân de ordinul a 516 m, iar numărul mediu de opriri creşte. Aşadar, diferenţa dintre cele două configuraţii nu modifică diagnosticul general: giraţia amplasată pe DN2 nu gestionează satisfăcător cererea modelată în ora de vârf [1].

Valoarea comparării celor două geometrii este că permite separarea unei preferinţe de proiectare de performanţa demonstrată. Varianta 2 oferă mai multe relaţii directe, însă această conectivitate suplimentară nu compensează efectul asupra capacităţii coridorului principal în scenariul analizat. Decizia trebuie să ia în calcul funcţionarea întregii reţele, nu doar accesul la nivelul nodului.

4. COMPARAŢIA REZULTATELOR DE CAPACITATE

Tabelul 4 reuneşte valorile agregate publicate de CESTRIN pentru situaţia existentă, variantele 1 şi 2 cu giraţie pe DN2 şi soluţia cu două giraţii laterale. Valorile se referă la modelul anului 2026 şi la intervalul de raportare folosit în analiza de capacitate. Nivelul de serviciu general sintetizează diferenţa, iar cozile şi numărul de opriri arată dimensiunea operaţională a acesteia [1].

Tabelul 4. Indicatori agregaţi pentru variantele analizate

Indicator	Existent	V1 DN2	V2 DN2	Două giraţii laterale
Nivel de serviciu (LOS)	A	F	F	A
Întârziere medie (s/veh.)	3,55	181,45	175,15	5,06
Coada medie (m)	1,24	266,76	204,37	0,98
Coada maximă (m)	93,63	516,46	516,48	60,65
Opriri medii (opriri/veh.)	0,20	6,84	10,79	0,27
Vehicule procesate	2 548	2 392	2 328	2 543
Consum combustibil (l)	119,125	848,888	1 047,381	136,309

Saltul de la LOS A la LOS F în ambele variante amplasate pe DN2 este consistent cu acumularea de vehicule şi cu întârzierile mari din raport. Deşi varianta 2 are o întârziere medie cu aproximativ 6 s/vehicul mai mică decât varianta 1, ea nu schimbă categoria de serviciu şi nici ordinul de mărime al cozilor. Numărul de vehicule procesate este, de asemenea, mai mic decât în situaţia existentă în ambele scenarii, fapt ce trebuie interpretat împreună cu congestia şi cu intervalul simulat, nu ca o măsură izolată a cererii [1].

Soluţia laterală păstrează LOS A şi valori ale întârzierii apropiate de scenariul existent. Comparaţia nu susţine introducerea giraţiei pe DN2 în configuraţiile testate; ea susţine continuarea analizei unei soluţii care preia accesul local fără a întrerupe axul principal.

4.1. Viteze, emisii şi costul operaţional al congestiei

Hărţile de viteză din raport ajută la observarea diferenţelor dintre cele două configuraţii cu giraţie pe DN2. Ele nu substituie indicatorii agregaţi, dar arată distribuţia spaţială a condiţiilor de circulaţie şi zonele în care vitezele se reduc. În Figurile 12 şi 13 sunt alăturate reprezentările pentru variantele 1 şi 2 [1].

Raportul include şi emisii estimate de model, precum şi consumul de



Figura 12. Viteza medie de circulaţie – varianta 1. Sursa: [1]



Figura 13. Viteza medie de circulaţie – varianta 2. Sursa: [1]

combustibil. Tabelul 5 redă valorile totale raportate pentru reţeaua şi perioada simulate. Acestea sunt rezultate ale modelării, nu măsurători ale calităţii aerului. În scenariile cu giraţie pe DN2, valorile sunt mult mai mari decât în situaţia existentă; în soluţia laterală ele rămân apropiate de bază, dar uşor superioare [1].

Tabelul 5. Emisii şi consum de combustibil raportate de model

Indicator	Existent	V1 DN2	V2 DN2	Două giraţii laterale
CO (g)	2 199,94	15 676,9	19 342,6	2 517,34
NOx (g)	428,028	3 050,16	3 763,38	489,783
COV (g)	509,857	3 633,282	4 482,844	583,418
Combustibil (l)	119,125	848,888	1 047,381	136,309

Creșterea emisiilor estimate și a consumului în scenariile congestionate este coerentă cu întârzierile și opririle raportate. Comparația este utilă pentru identificarea unei direcții de efect, dar valorile absolute depind de parametrii modelului și de numărul de vehicule care au circulat în simulare; ele trebuie prezentate cu această limită și nu transformate în estimări de impact asupra mediului în afara modelului [1].

5. VERIFICAREA GEOMETRIEI ȘI SOLUȚIA RECOMANDATĂ

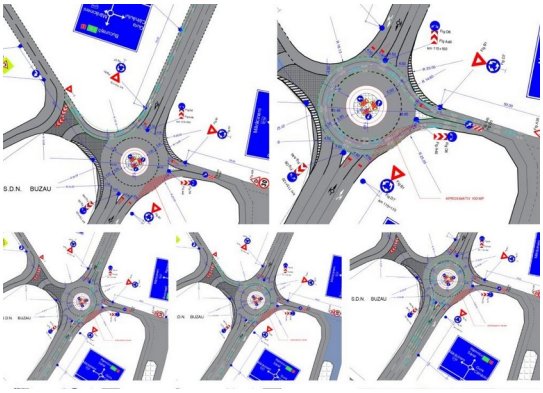


Figura 14. Verificarea traiectoriilor cu AutoTURN. Sursa: [1]



Figura 15. Soluția recomandată cu două sensuri giratorii laterale. Sursa: [1]

Analiza operațională a fost completată prin verificarea traiectoriei unui camion cu remorcă în AutoTURN. Pentru ambele variante cu girație pe DN2, raportul arată că manevra de întoarcere a vehiculului analizat depășește benzile și ajunge peste elemente de separare ori acostamente. Această constatare privește geometria și gabaritul; ea este distinctă de rezultatele de capacitate obținute în PTV Vissim [1].

Pe baza rezultatelor, CESTRIN recomandă două sensuri giratorii în zona drumurilor de legătură, fără o girație direct pe axul DN2. Configurația reorganizează accesul local și păstrează continuitatea direcției principale. În model, soluția recomandată menține LOS A și un număr de vehicule procesate apropiat de scenariul existent [1].

Tabelul 6. Ce verifică fiecare instrument în analiza de soluție

Instrument / analiză	Întrebarea tehnică	Ce aduce în decizie
PTV Vissim	Cum se modifică întârzierile, cozile și opririle?	Comparație operațională între scenarii.

Instrument / analiză	Întrebarea tehnică	Ce aduce în decizie
AutoTURN	Pot vehiculele de proiect parcurge geometria?	Identifică depășiri peste benzi, insule sau acostamente.
Studiu de trafic la nivel de rețea	Cum se redistribuie traficul pe un traseu nou?	Necesită modelare și evaluare distinctă pentru varianta ocolitoare.

Combinarea instrumentelor reduce riscul de a judeca o propunere pe baza unui singur criteriu. O configurație poate fi acceptabilă ca formă, dar să funcționeze slab sub cererea de vârf; invers, o funcționare bună în simulare nu certifică singură gabaritele, siguranța sau fezabilitatea.

6. CONCLUZII ȘI IMPLICAȚII PENTRU PRACTICA INGINEREASCĂ

Studiul de la Mărăcineni arată valoarea practică a microsimulării: două soluții cu sens giratoriu pe DN2 au putut fi testate înainte de implementare, iar modelul a evidențiat întârzieri, cozi și emisii estimate mult mai mari decât în scenariul existent. Rezultatul a susținut revizuirea propunerii către două giratii laterale, care păstrează continuitatea drumului național și obțin LOS A în condițiile modelate. Lecția tehnică este specifică acestui amplasament și acestor ipoteze; ea nu poate fi generalizată la toate sensurile giratorii [1].

În raport este prezentată și o posibilă variantă ocolitoare, concepută să preia o parte a traficului de tranzit din zona Mărăcineni – Buzău. Aceasta este o intervenție la nivel de rețea, nu o variantă cuantificată în aceeași comparație microsimulată. Imaginea din Figura 17 indică traseul propus în documentul-sursă; evaluarea efectelor sale ar necesita un studiu separat privind redistribuirea fluxurilor, timpii de parcurs, siguranța și fezabilitatea [1].



Figura 16. Reprezentarea vitezei medii pentru soluția recomandată. Sursa: [1]



Figura 17. Traseul indicativ al variantei ocolitoare din studiul CESTRIN. Sursa: [1]

6.1. Concluzie pentru formarea inginerească

Pentru educația tehnică, exemplul reunește observația din teren, datele de trafic, geometria, modelarea digitală și interpretarea critică. Inginerul nu se limitează la a produce o randare convingătoare: trebuie să compare rezultate, să explice compromisurile și să accepte revizuirea unei idei atunci când indicatorii o cer. În contextul celor 145 de ani de învățământ tehnic, această legătură dintre fundamentul ingineresc și instrumentele digitale actuale reprezintă o temă relevantă de prezentat și discutat.

Înaintea unei decizii de implementare rămân necesare verificarea și actualizarea datelor, documentarea calibrării și validării modelului, testarea cererii de perspectivă și evaluările geometrice și de siguranță. Raportul furnizează o comparație utilă pentru scenariul analizat, iar microsimularea oferă un mijloc de a face consecințele proiectării vizibile, cuantificabile și discutabile.

BIBLIOGRAFIE

[1]. CESTRIN: *„Analiză de capacitate a traficului pentru intersecția DN2 – DJ203K – Strada Focșanei, localitatea Mărăcineni, județul Buzău, anul 2026”*, București, **2026**.

AUDITUL DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ ȘI ROLUL ASOCIAȚIEI PROFESIONALE ÎN CREȘTEREA CALITĂȚII INFRASTRUCTURII RUTIERE ȘI REDUCEREA NUMĂRULUI DE VICTIME

Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, Asociația Profesională a Auditorilor de Siguranță Rutieră – ViaSecura, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro
Vîlcu Cristian, ing., Asociația Profesională a Auditorilor de Siguranță Rutieră – ViaSecura, e-mail: cristi.vilcu@gmail.com
Bălăjel Liviu, ing., Asociația Profesională a Auditorilor de Siguranță Rutieră – ViaSecura, e-mail: balajel.liviu@gmail.com

Rezumat

România rămâne, în anul 2025, printre statele membre ale Uniunii Europene cu cea mai ridicată mortalitate rutieră, 68 de decese la un milion de locuitori, față de o medie europeană de 43. Totodată, șapte din cele opt regiuni de dezvoltare ale țării se află în ultimul sfert al clasamentului celor aproximativ 234 de regiuni europene NUTS 2. Lucrarea analizează auditul de siguranță rutieră (ASR) ca instrument tehnic proactiv, aliniat abordării de tip „Sistem Sigur”, care identifică deficiențele unui proiect înainte ca acestea să devină cauze de accidente. Pentru ASR, literatura de specialitate raportează rapoarte beneficiu/cost cuprinse între 3:1 și peste 200:1. Se argumentează că eficiența auditului depinde direct de competența și independența auditorilor și de modul în care recomandările sunt preluate în proiect, cerințe care nu pot fi asigurate doar prin certificarea inițială. Este prezentat rolul Asociației Profesionale a Auditorilor de Siguranță Rutieră – ViaSecura: partener tehnic de dialog cu autoritățile, organizator al pregătirii profesionale continue și garant al standardelor de etică și calitate. Lucrarea propune un obiectiv măsurabil: reducerea cu 40% a numărului de decese până în anul 2030, față de nivelul anului 2025, în contextul țintei europene de reducere cu 50% față de anul 2019. Aplicată ratelor regionale, această reducere ar aduce regiunilor de dezvoltare ale României câștiguri de 42 până la 115 poziții în clasamentul european.

Cuvinte cheie: audit de siguranță rutieră, Sistem Sigur, pregătire profesională continuă, asociație profesională, mortalitate rutieră

Abstract

In 2025, Romania still ranks among the European Union Member States with the highest road mortality, 68 deaths per million inhabitants against an EU average of 43. Seven of the country's eight development regions lie in the bottom quarter of the ranking of about 234 European NUTS 2 regions. The paper examines road safety audit (RSA) as a proactive engineering tool aligned with the Safe System approach, which detects design deficiencies before they turn into crash causes. Reported benefit–cost ratios for RSA range from 3:1 to

over 200:1. The paper argues that audit effectiveness depends on auditor competence and independence and on how recommendations are taken up in the project, requirements that initial certification alone cannot secure. It then presents the role of the Professional Association of Road Safety Auditors – ViaSecura: technical partner for dialogue with authorities, organiser of continuing professional development and guarantor of ethical and quality standards. A measurable objective is proposed: a 40% reduction in road deaths by 2030 compared with 2025, set against the EU target of a 50% reduction compared with 2019. Applied to regional death rates, this reduction would move Romania's development regions up by 42 to 115 places in the European ranking.

Keywords: road safety audit, Safe System, continuing professional development, professional association, road mortality

1. INTRODUCERE

La nivel mondial, accidentele rutiere produc anual aproximativ 1,19 milioane de decese și circa 50 de milioane de răniți. Ele reprezintă principala cauză de deces pentru tinerii cu vârste între 15 și 29 de ani [1]. Al doilea Deceniu de Acțiune ONU pentru Siguranță Rutieră (2021–2030) și Uniunea Europeană au adoptat aceeași țintă: reducerea cu cel puțin 50% a numărului de decese și de răniți grav până în anul 2030, față de anul 2019 [1], [10].

În anul 2025, pe drumurile Uniunii Europene au murit aproximativ 19.400 de persoane, cu 3% mai puține decese decât în anul 2024. Aproximativ 53% dintre acestea s-au produs pe drumurile din afara localităților [10]. Față de anul 2019, reducerea la nivelul Uniunii este de numai 15%, în timp ce traiectoria necesară atingerii țintei pentru 2030 ar fi impus deja o scădere de cel puțin 31% [11].

România a înregistrat în anul 2025, conform datelor Poliției Române, 1.293 de decese și 3.125 de răniți grav [13]. Mortalitatea este de 68 de decese la un milion de locuitori, aproape dublă față de media europeană (43) și de peste trei ori mai mare decât în Suedia sau Norvegia (19–20) [10], [11]. Progresul recent este real: o reducere de aproximativ 30% a numărului de decese în perioada 2019–2025, una dintre cele mai bune evoluții din Uniune [11]. Nivelul absolut rămâne însă inacceptabil. La nivel regional, datele Eurostat pentru anul 2023 arată că regiunile Sud-Vest Oltenia (107) și Sud-Est (102) se numără printre cele numai șapte regiuni europene cu peste 100 de decese la un milion de locuitori [9].

Abordarea de tip „Sistem Sigur”, pe care se sprijină atât Manualul de Siguranță Rutieră PIARC [1], [2], cât și politica europeană, pornește de la premisa că oamenii greșesc. Sistemul rutier trebuie deci proiectat astfel încât erorile inevitabile să nu se soldeze cu decese sau răniri grave. În această logică, infrastructura este adesea factorul cel mai important pentru gravitatea consecințelor unui accident [2]. Calitatea proiectelor de drum devine astfel o

pârghie de primă mărime, iar auditul de siguranţă rutieră este instrumentul prin care această calitate poate fi verificată sistematic, înainte ca betonul şi asfaltul să fie turnate.

Lucrarea sintetizează argumentele tehnice şi economice pentru un audit de calitate, arată de ce această calitate depinde de o comunitate profesională organizată şi propune pentru România o țintă măsurabilă: reducerea cu 40% a numărului de decese până în anul 2030.

2. AUDITUL DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ – INSTRUMENT TEHNIC AL SISTEMULUI SIGUR

2.1. Definiţie şi cadru normativ

Auditul de siguranţă rutieră este o verificare tehnică formală şi independentă a proiectului şi a execuţiei unui drum. Scopul său este identificarea elementelor nesigure şi a pericolelor potenţiale, precum şi formularea de recomandări pentru eliminarea lor, în toate stadiile, de la planificare până la exploatarea timpurie [1]. ASR **nu este o verificare a conformităţii cu standardele de proiectare**, ci un instrument de detectare a pericolelor. Proiectul trebuie analizat în toate condiţiile de exploatare şi din perspectiva tuturor participanţilor la trafic, motorizaţi şi nemotorizaţi [1], [6].

ASR face parte dintr-o familie de proceduri de management al siguranţei infrastructurii. Pentru proiectele noi se aplică evaluarea de impact asupra siguranţei rutiere (EISR) şi auditul (ASR). Pentru reţeaua aflată în exploatare se aplică inspecţia de siguranţă rutieră (ISR) şi inspecţia suplimentară la locul accidentelor grave (ISRS) [6]. La nivel european, cadrul este stabilit de Directiva 2008/96/CE, modificată prin Directiva (UE) 2019/1936. Aceasta a extins aplicarea procedurilor la autostrăzi, la drumurile principale şi la drumurile din afara localităţilor finanţate din fonduri europene şi a introdus evaluarea la nivelul întregii reţele [7]. Directiva cere statelor membre să asigure pregătirea iniţială certificată a auditorilor, dar şi **participarea periodică a acestora la cursuri de perfecţionare** [7]. În România, prevederile sunt transpuse prin Legea nr. 265/2008, republicată, cu modificările şi completările ulterioare [8].

2.2. Stadiile auditului

Directiva europeană prevede auditul la nivelul proiectului preliminar, al proiectului de detaliu, înainte de deschiderea circulaţiei şi în perioada de exploatare timpurie. Multe ţări adaugă un stadiu la nivelul studiului de fezabilitate şi, uneori, unul pe durata execuţiei [1]. Stadiile sunt sintetizate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Stadiile auditului de siguranță rutieră și efectul lor

Stadiul	Momentul	Ce se poate corecta
1	Studiu de prefezabilitate / fezabilitate	Traseu, tip de intersecții, secțiune transversală, funcția drumului, accese – corecturi cu cost minim
2	Proiect tehnic și detalii de execuție	Geometrie de detaliu, vizibilitate, sisteme de protecție, semnalizare, amenajări pentru pietoni și bicicliști
3	Înainte de deschiderea traficului	Neconcordanțe proiect–execuție, semnalizare, marcaje, iluminat, obstacole laterale (verificare și noaptea)
4	După deschiderea traficului	Comportamentul real al participanților la trafic; validarea măsurilor; informații pentru proiectele viitoare

Cu cât auditul se face mai devreme, cu atât beneficiul este mai mare. Modificarea unui plan costă mult mai puțin decât montarea ulterioară a unor echipamente de siguranță pe un drum deja construit [1], [6]. Experiența românească arată și un risc specific al drumurilor reabilitate: o suprafață de rulare îmbunătățită, fără măsuri de siguranță corespunzătoare, poate crește vitezele de circulație și, implicit, numărul și gravitatea accidentelor [6].

2.3. Eficiența economică

Eficiența economică a auditului este bine documentată. Studiile citate de PIARC și de manualul românesc al auditorului (Tabelul 2) arată rapoarte beneficiu/cost cu una sau două ordine de mărime peste pragul de rentabilitate [1], [6].

Tabelul 2. Beneficiile raportate ale auditului de siguranță rutieră

Sursa / țara	Rezultat raportat
Australia (Macaulay și McInerney, 2002)	Raport beneficiu/cost între 3:1 și 242:1 la auditurile în faza de proiectare; 75% din recomandări cu raport peste 10
Austria (KfV)	Beneficii de circa 50 de ori mai mari decât costul
Germania (studii de caz)	Raport beneficiu/cost între 4:1 și 99:1
Noua Zeelandă / Scoția / Danemarca	Aproximativ 20:1 / 15:1 / 16,8:1
Marea Britanie	Până la una din trei coliziuni evitate pe drumurile auditate
Costul auditului (Austroads, consultanți)	Sub 4% din costul proiectării, respectiv sub 0,5% din costul construcției

Ordinul ministrului transporturilor nr. 762/2016 stabilește în România costul auditului pe fiecare stadiu [6]. Comparat cu valoarea unui proiect de

infrastructură şi cu costul social al unui singur deces evitat, acest cost este marginal. Prin urmare, întrebarea relevantă nu este dacă ne permitem un audit, ci dacă ne permitem un audit de calitate slabă.

2.4. Calitatea auditului – variabila critică

Beneficiile din Tabelul 2 provin din audituri efectuate de echipe competente, independente de proiectant, ale căror recomandări au fost efectiv implementate. PIARC subliniază patru condiții [1]:

– **independența** echipei de audit față de echipa de proiectare, care permite examinarea proiectului cu „ochi proaspeți”;
– **competența** auditorilor: experiență solidă în ingineria drumurilor şi în investigarea accidentelor, completată pentru proiectele complexe cu specialişti în trafic, factor uman sau dinamica vehiculelor;
– **raționamentul profesional** dincolo de listele de verificare: acestea sunt doar ghiduri şi nu înlocuiesc judecata inginerească;
– **răspunsul formal la raportul de audit**: pentru fiecare recomandare, beneficiarul documentează acceptarea sau motivele respingerii, împreună cu măsurile alternative de reducere a riscului. Neimplementarea recomandărilor este, potrivit PIARC, una dintre principalele critici aduse auditului în practică.

Potențialul tehnic al recomandărilor este considerabil. Din sinteza internațională prezentată în [6], câteva exemple de reduceri ale numărului de accidente:

– reamenajarea intersecțiilor nesigure: 40–95%;
– corectarea geometriei riscante a traseului: 20–80%;
– îmbunătățirea rugozității: 18–74%;
– consolidarea acostamentelor: 22–50%;
– introducerea zonei mediane: circa 40%.

Experiența suedeză cu drumurile 2+1 cu parapet median din cablu arată o scădere cu 63% a numărului de decese şi răniți grav, fără lărgirea platformei [4]. Aceste efecte apar însă doar dacă deficiența este identificată corect, iar măsura este formulată adecvat şi susținută argumentat în fața beneficiarului. Toate aceste etape țin de calitatea auditorului.

3. LANȚUL VALORII: DE LA PREGĂTIREA AUDITORULUI LA VIEȚI SALVATE

Relația dintre pregătirea auditorilor şi numărul de victime poate fi descrisă ca un lanț cauzal (Figura 1). Pregătirea profesională continuă determină calitatea auditului. Calitatea auditului determină calitatea proiectului şi a măsurilor implementate. Acestea produc o infrastructură „care iartă”,

compatibilă cu toleranța biomecanică a corpului uman, iar rezultatul final este reducerea numărului de decese și de răniți grav.

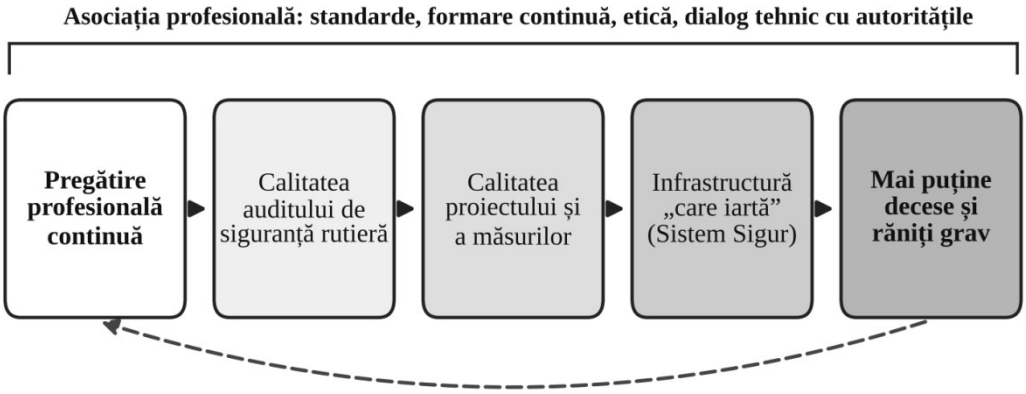


Figura 1. Lanțul valorii în auditul de siguranță rutieră și rolul asociației profesionale

Lanțul este la fel de puternic ca veriga sa cea mai slabă. Un auditor bine pregătit nu poate compensa lipsa unui mecanism de urmărire a recomandărilor. La fel, o legislație bună nu poate compensa auditori care aplică mecanic listele de verificare. Bucla de învățare are o importanță deosebită. Auditul în stadiul 4, inspecțiile ISR și ISRS și analiza datelor de accidente trebuie să se întoarcă în conținutul pregătirii și în revizuirea normativelor. PIARC recomandă explicit, pentru etapa de consolidare, instruirea auditorilor în principiile factorului uman și aplicarea acestora în audit [1].

Elementele care țin lanțul împreună sunt standardele profesionale comune, formarea continuă, disciplina etică și canalul de dialog cu autoritățile. Ele nu pot fi asigurate de auditori individuali. Este rolul firesc al unei asociații profesionale.

4. ROLUL ASOCIAȚIEI PROFESIONALE

4.1. Asociația ViaSecura – cadru și obiective

Manualul PIARC constată că rețelele profesionale joacă un rol-cheie în construirea cunoașterii și în sprijinirea implementării [2], [3]. Asociația Profesională a Auditorilor de Siguranță Rutieră – ViaSecura este o persoană juridică de drept privat, fără scop patrimonial, constituită în baza O.G. nr. 26/2000 [12]. Membrii săi sunt auditori înscriși în registrul național sau în

registre internaţionale echivalente, precum şi specialişti în siguranţa rutieră. Statutul şi Regulamentul de organizare [12], [14] stabilesc, între altele, următoarele obiective:

– informarea şi perfecţionarea profesională continuă a membrilor;
– reprezentarea membrilor în relaţia cu Autoritatea Rutieră Română şi cu alte instituţii relevante;
– propunerea şi participarea la elaborarea de legi, instrucţiuni, ghiduri de bună practică, standarde şi normative tehnice;
– susţinerea cercetării ştiinţifice şi a inovării în domeniul siguranţei rutiere;
– colaborarea şi afilierea la organisme similare naţionale şi internaţionale.

Pentru aplicarea acestor obiective, Regulamentul prevede **comitete tehnice** pe domenii: audit de siguranță rutieră, instruire și formare, cercetare și inovare, relații internaționale, educație rutieră. Comitetele au atribuții explicite privind actualizarea metodologiilor și ghidurilor, elaborarea materialelor de instruire și identificarea nevoilor de formare continuă [14].

4.2. Dialogul tehnic cu autorităţile

Siguranța infrastructurii este, în final, o responsabilitate a administrației, prin autoritatea rutieră și administratorii de drum [2]. Auditorul are însă o poziție privilegiată: vede sistematic, proiect după proiect, aceleași tipuri de deficiențe. O asociație poate agrega această experiență și o poate transforma în propuneri argumentate tehnic. Considerăm prioritare următoarele teme de dialog cu Ministerul Transporturilor, Autoritatea Rutieră Română, administratorii de drumuri și Poliția Rutieră:

– **urmărirea recomandărilor**: răspunsul formal al beneficiarului la fiecare recomandare de audit să fie obligatoriu și arhivat, cu evidența anuală a gradului de implementare;
– **actualizarea normativelor de proiectare** cu principiile Sistemului Sigur și ale factorului uman, pe baza deficiențelor recurente semnalate în audituri;
– **accesul auditorilor la date de accidente** georeferențiate, pentru cel puțin ultimii 3 ani, condiție pentru combinarea abordărilor proactive și reactive [1];
– **criterii de selecţie** a auditorilor care să pună în prim-plan competența și independența, nu doar prețul;
– **extinderea voluntară a procedurilor** asupra drumurilor județene și a străzilor urbane, unde se produce o parte importantă a deceselor participanților vulnerabili.

4.3. Pregătirea profesională continuă

Certificarea inițială atestă un nivel minim de competență la un moment dat. Domeniul evoluează însă rapid: apar noi tipuri de participanți la trafic, noi echipamente și sisteme de protecție, noi instrumente de evaluare cantitativă (de exemplu, evaluarea proiectelor prin sistemul de clasificare cu stele iRAP), precum și revizii ale cadrului european. Propunem un program de formare continuă structurat pe module tehnice (Tabelul 3), cu un volum anual minim de ore recunoscut de asociație.

Tabelul 3. Program-cadru propus pentru pregătirea profesională continuă

Modul	Conținut tehnic principal
Sistem Sigur și biomecanică	Viteze de impact supraviețuibile, gestionarea energiei la impact, ierarhia măsurilor
Factorul uman	Percepție și timp de reacție, drumuri care se explică singure, consecvența traseului
Participanți vulnerabili	Audituri pentru pietoni și bicicliști, sisteme de protecție pentru motocicliști
Zone de lucrări	Semnalizarea temporară, gestionarea traficului și protecția lucrătorilor [5]
Evaluare cantitativă	Factori de modificare a accidentelor, raport beneficiu/cost, iRAP
Date și investigare	Analiza datelor de accidente, inspecții ISRS, puncte negre
Raportul de audit	Formularea recomandărilor, ierarhizarea riscului, susținerea în fața beneficiarului
Etică profesională	Independență, conflict de interese, confidențialitate

Formele de lucru recomandate sunt atelierele pe studii de caz reale, cu precădere din România, auditul în tandem auditor experimentat – auditor tânăr (mentorat) și sesiunile de analiză colegială (*peer review*) a rapoartelor anonimizate. Se adaugă abordarea de tip „formarea formatorilor”, recomandată de PIARC pentru construirea capacității naționale de instruire [1].

4.4. Etică și asigurarea calității

Încrederea în audit se sprijină pe integritatea auditorilor. Regulamentul ViaSecura stabilește principiile de conduită: respectarea legii și a normelor de siguranță rutieră, onestitate și imparțialitate, confidențialitate, evitarea conflictelor de interese [14]. Consiliul de Onoare are competențe disciplinare explicite. Pe această bază, asociația poate institui un sistem de asigurare a calității format din ghiduri interne de redactare a rapoartelor, o bibliotecă de cazuri anonimizate, analiza colegială periodică și un raport tehnic anual. Raportul anual sintetizează deficiențele recurente și este pus la dispoziția autorităților ca fundament pentru revizuirea normelor.

5. O ȚINTĂ MĂSURABILĂ: REDUCEREA CU 40% A NUMĂRULUI DE DECESE

Un angajament profesional devine credibil atunci când este măsurabil. Ținta europeană, asumată și de România, este **reducerea cu 50% a numărului de decese şi de răniţi grav până în anul 2030, faţă de anul 2019** [10], adică cel mult 932 de decese în 2030, față de 1.864 în 2019. Datorită progreselor din ultimii ani, România a parcurs deja aproximativ 30% din acest drum [11].

Propunem ca angajament propriu al profesiei o țintă formulată față de situația actuală: **reducerea cu 40% a numărului de decese până în anul 2030, față de anul 2025**. Pornind de la 1.293 de decese în 2025, aceasta înseamnă cel mult 776 de decese în 2030, sub pragul european de 932. Rata medie anuală de reducere necesară rezultă din relația (1):

$$r = 1 - \left(\frac{N_{2030}}{N_{2025}}\right)^{1/t} = 1 - \left(\frac{776}{1293}\right)^{1/5} \approx 9,7\% \quad (1)$$

unde: N_{2025} = numărul de decese în anul 2025; N_{2030} = numărul-țintă de decese în anul 2030; t = numărul de ani (5); r = rata medie anuală de reducere.

Pentru a vedea ce înseamnă această țintă în comparația europeană, am aplicat reducerea de 40% ratelor regionale din cel mai recent clasament Eurostat al celor aproximativ 234 de regiuni NUTS 2 (anul 2023, setul *tran_r_acci*), considerând neschimbate valorile celorlalte regiuni [9]. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 4 și în Figura 2. Poziția 1 corespunde regiunii cu cea mai mică mortalitate.

Tabelul 4. Efectul reducerii cu 40% asupra poziției regiunilor în clasamentul european

Regiunea	Rata 2023	Poziția 2023	Rata −40%	Poziția estimată	Poziții câștigate
Sud-Vest Oltenia	107	231	64	189	42
Sud-Est	102	229	61	180	49
Sud-Muntenia	97	227	58	165	62
Nord-Est	85	218	51	137	81
Vest	76	212	46	104	108
Nord-Vest	74	209	44	98	111
Centru	66	190	40	75	115
Bucureşti-Ilfov	40	77	24	24	53

Notă: ratele sunt exprimate în decese la un milion de locuitori; pozițiile sunt calculate din setul de date Eurostat *tran_r_acci* pentru anul 2023 și pot diferi cu 1–2 poziții de clasamentul oficial, în funcție de versiunea clasificării NUTS.

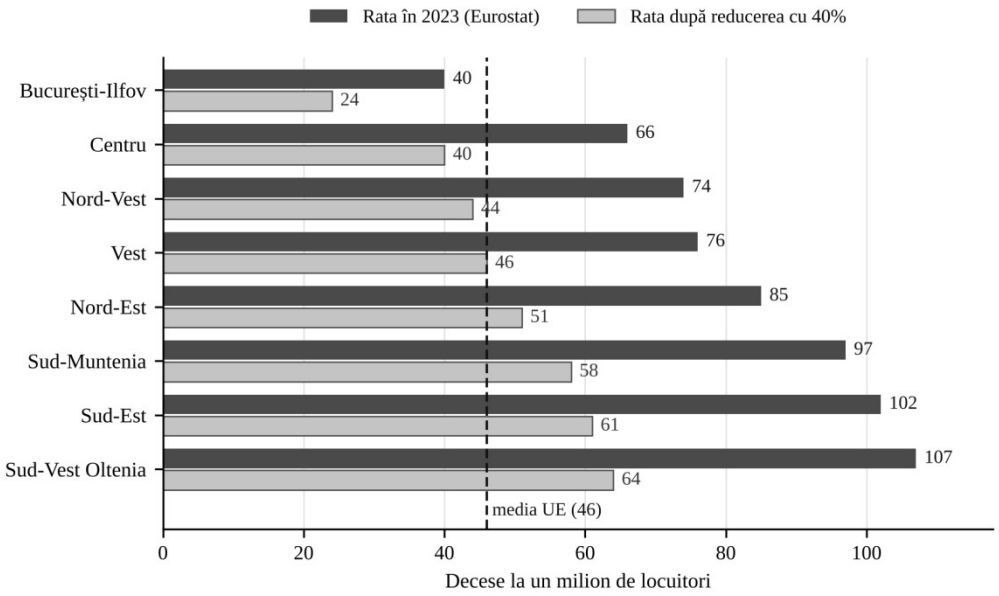


Figura 2. Rata deceselor pe regiuni de dezvoltare în 2023 și rata după o reducere de 40%

Cu o reducere de 40%, regiunile București-Ilfov, Centru și Nord-Vest ar coborî sub media europeană actuală (46), regiunea Vest ar atinge-o, iar toate regiunile ar câștiga între 42 și 115 poziții. Deoarece și celelalte regiuni europene progresează, câștigurile reale vor fi mai mici, ceea ce justifică o țintă proprie mai exigentă decât simpla urmărire a celei europene.

O reducere susținută de circa 9,7% pe an este ambițioasă: în perioada 2019–2025, ritmul mediu a fost de aproximativ 5,9% pe an [11]. Diferența trebuie acoperită prin măsuri cu efect mare și rapid, între care infrastructura sigură are un loc central. Contribuția infrastructurii și, implicit, a auditului poate fi concentrată acolo unde efectul este maxim. PIARC recomandă tratarea cu prioritate a sectoarelor de rețea cu cea mai mare concentrare a deceselor și răniților grav, inclusiv prin proiecte demonstrative pe coridoare cu risc ridicat [2]. Pentru România, aceasta înseamnă:

– audit în toate stadiile pentru proiectele de reabilitare și modernizare a drumurilor naționale din cele patru regiuni cu rata cea mai ridicată (Sud-Vest Oltenia, Sud-Est, Sud-Muntenia, Nord-Est);
– inspecții ISR sistematice pe sectoarele de drum din afara localităților cu acumulări de accidente grave;
– cel puțin un coridor demonstrativ de tip „Sistem Sigur” pe un drum național cu trafic ridicat, monitorizat înainte și după intervenție;

– raportarea anuală, de către asociație, a progresului regional și a gradului de implementare a recomandărilor de audit.

6. CONCLUZII

Auditul de siguranță rutieră este unul dintre cele mai eficiente instrumente de inginerie disponibile administratorilor de drum, cu beneficii care depășesc de zeci de ori costul. Beneficiile se obțin însă numai atunci când auditul este realizat de specialiști competenți și independenți, iar recomandările sunt urmărite până la implementare.

Calitatea auditului nu poate fi garantată doar prin certificarea inițială. Ea se construiește continuu, prin formare tehnică actualizată, schimb de experiență și disciplină etică. Aceste funcții revin în mod firesc unei asociații profesionale. Prin dialogul tehnic cu autoritățile, asociația poate transforma experiența acumulată în audituri în propuneri concrete de îmbunătățire a normelor și a practicilor.

Propunerea autorilor este un angajament comun al auditorilor, proiectanților, administratorilor de drum și autorităților: **reducerea cu 40% a numărului de decese până în anul 2030, față de anul 2025**, adică cel mult 776 de decese. Ținta europeană este reducerea cu 50% față de anul 2019, adică cel mult 932 de decese; angajamentul propus o depășește și ar aduce regiunilor țării câștiguri de 42 până la 115 poziții în clasamentul european. Ținta este măsurabilă anual, pe baza datelor oficiale, și poate deveni reperul de evaluare a contribuției profesiei de auditor de siguranță rutieră la salvarea de vieți.

BIBLIOGRAFIE

[1]. PIARC (WORLD ROAD ASSOCIATION): *„Road Safety Manual – Part 3: Safe Planning, Design, Operation and Use of the Road Network”*, PIARC, Paris, **2025**.

[2]. PIARC (WORLD ROAD ASSOCIATION): *„Road Safety Manual – Key Messages for Managers”*, PIARC, Paris, **2025**.

[3]. PIARC (WORLD ROAD ASSOCIATION): *„Road Safety Manual – Part 2: Road Safety Management”* și *„Part 1: Strategic Global Perspective”*, PIARC, Paris, **2025**.

[4]. PIARC (WORLD ROAD ASSOCIATION): *„Road Safety Challenges and Solutions in Rural and Interurban Areas”*, Briefing Note 2025R08EN, PIARC, Paris, **2025**.

[5]. PIARC (WORLD ROAD ASSOCIATION): *„Management of Road Worksites”*, Special Project 2025SP01EN, PIARC, Paris, **2025**.

[6]. F.A. BURLACU, A. BURLACU, C. RĂCĂNEL: *„Manualul auditorului de siguranță rutieră, realizat pe baza celor mai bune practici internaționale curente”*, Editura Conspress, București, **2019**.

[7]. PARLAMENTUL EUROPEAN ȘI CONSILIUL UE: *„Directiva 2008/96/CE privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere”*, modificată prin *„Directiva (UE) 2019/1936”*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, **2008**, **2019**.

[8]. *„Legea nr. 265/2008 privind gestionarea siguranței circulației pe infrastructura rutieră”*, republicată, cu modificările și completările ulterioare, Monitorul Oficial al României.

[9]. EUROSTAT: *„Road fatality rate higher in EU's south-east regions”*, Eurostat News, 13 noiembrie **2025**; set de date *tran_r_acci*, accesat la 15 octombrie **2026**.

[10]. COMISIA EUROPEANĂ: *„EU road deaths drop by 3% in 2025”*, date preliminare, European Road Safety Charter, martie **2026**.

[11]. EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL (ETSC): *„20th Annual Road Safety Performance Index (PIN) Report”*, Bruxelles, **2026**.

[12]. ASOCIAȚIA PROFESIONALĂ A AUDITORILOR DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ – VIASECURA: *„Statut”*, București.

[13]. POLIȚIA ROMÂNĂ: *„Bilanțul accidentelor rutiere grave în anul 2025”*, preluat de Romania Insider, *„Romania registered fewer road accidents and deaths in 2025”*, **2026**.

[14]. ASOCIAȚIA PROFESIONALĂ A AUDITORILOR DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ – VIASECURA: *„Regulament de organizare interioară”*, București.

NOI PRACTICI ÎN GESTIONAREA VITEZEI PENTRU PREVENIREA EVENIMENTELOR RUTIERE: ADAPTAREA CADRULUI „DRUMURI-PENTRU-VIAȚĂ” LA CONTEXTUL ROMÂNIEI

Burlacu Florentina-Alina, Asist.univ.dr.ing., Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, UTCB & Specialist Senior în Transporturi, Banca Mondială, Washington DC, e-mail: fburlacu@worldbank.org

Rezumat

Viteza este principalul factor de risc în producerea și gravitatea evenimentelor rutiere. România înregistra în anul 2025 1.296 de decese rutiere, adică 68 de decese la un milion de locuitori, față de media UE de 43, deși numărul deceselor a scăzut cu 30% față de 2019. Lucrarea prezintă noile practici internaționale de gestionare a vitezei, cu accent pe cadrul Drumuri-pentru-Viață (DPV). Spre deosebire de abordările tradiționale, bazate pe funcția de circulație a drumului și pe viteza practicată de majoritatea conducătorilor auto, cadrul DPV stabilește limitele de viteză pornind de la vitezele de impact pe care corpul uman le poate supraviețui și de la prezența utilizatorilor vulnerabili. Lucrarea propune o adaptare a cadrului DPV la clasificarea drumurilor din România și o analizează pe cazul drumului național DN2 (E85), unde intervențiile recente – configurația 2+1 cu limită de 80 km/h pe sectoarele cu o singură bandă între Sinești și Moviliţa, limita de 60 km/h pe tronsonul reconfigurat de la ieșirea din Buzău și controlul automat al vitezei prin sistemul e-SIGUR – sunt corelate cu o reducere a numărului de accidente grave. Sunt discutate experiențele Franței, Suediei și Poloniei și este propusă o foaie de parcurs pentru implementarea limitelor de viteză sigure în România.

Cuvinte cheie: managementul vitezei, viteze sigure, Drumuri-pentru-Viață, Sistem Sigur, DN2, România

Abstract

Speed is the main risk factor for both the occurrence and the severity of road crashes. In 2025 Romania recorded 1,296 road deaths, or 68 deaths per million inhabitants against an EU average of 43, although deaths fell by 30% compared with 2019. This paper presents new international practice in speed management, with a focus on the Roads-for-Life (R4L) framework. Unlike traditional approaches based on the traffic function of a road and on the speed chosen by most drivers, the R4L framework sets speed limits based on the impact speeds the human body can survive and on the presence of vulnerable road users. The paper proposes an adaptation of the R4L framework to the Romanian road classification and examines it through the case of national road DN2 (E85), where recent interventions – the 2+1 layout with an 80 km/h limit on single-lane sections between Sinești and Moviliţa, a 60 km/h limit on the reconfigured section at the exit from Buzău, and automated speed control through the e-SIGUR system – are associated with a reduction in serious crashes. Experience from France, Sweden and Poland is discussed, and a roadmap for implementing safe speed limits in Romania is proposed.

Keywords: speed management, safe speeds, Roads-for-Life, Safe System, DN2, Romania

1. INTRODUCERE

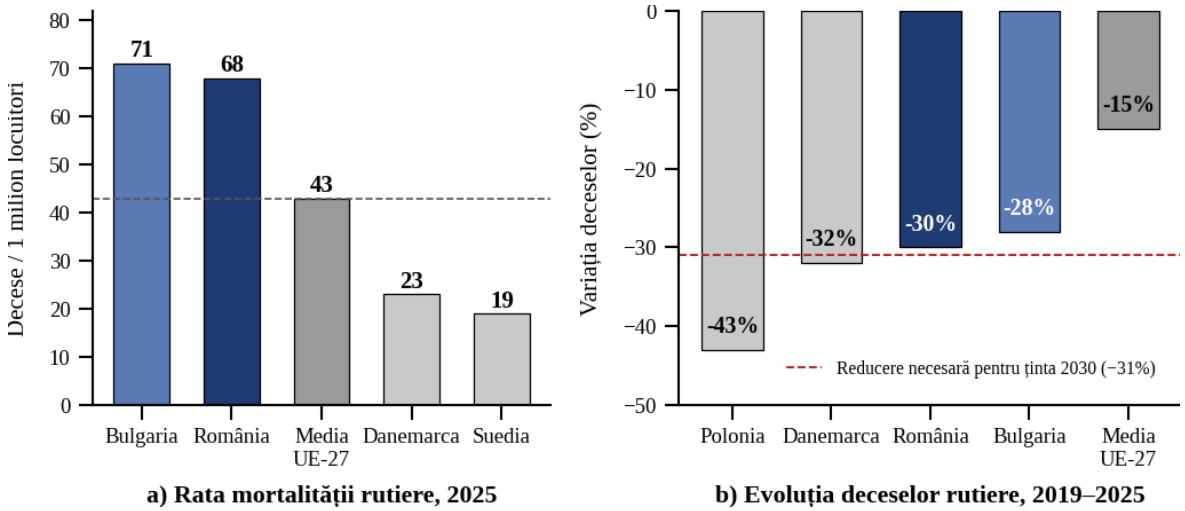
1.1. Viteza – factor central de risc

Viteza este recunoscută la nivel internațional ca principalul factor care contribuie la decesele și rănirile grave din traficul rutier. O viteză mai mare crește atât probabilitatea producerii unui accident – prin reducerea timpului disponibil pentru reacție și creșterea distanței de oprire –, cât și gravitatea consecințelor, deoarece energia cinetică transferată la impact crește cu pătratul vitezei [1], [4]. Planul Global pentru Deceniul de Acțiune pentru Siguranță Rutieră 2021–2030 acordă managementului vitezei un loc central, ca factor de risc transversal care trebuie tratat simultan prin planificarea utilizării terenului, infrastructură, vehicule și comportamentul participanților la trafic [4].

Global Road Safety Facility (GRSF) a dezvoltat un Centru de resurse pentru managementul vitezei (*Speed Management Hub*), care pune de la dispoziția celor interesați materiale explicative, instrumente de evaluare a vitezelor practicate și a riscului de accident, o bibliotecă de resurse și răspunsuri la peste 130 de întrebări frecvente și mituri [4]. Documentul central al acestui centru este *Ghidul pentru viteze sigure* (2024), elaborat de Banca Mondială și World Resources Institute, care introduce un cadru nou pentru stabilirea limitelor de viteză: cadrul Roads-for-Life / Drumuri-pentru-Viață (DPV) [1].

1.2. Situația României

Conform celui de-al 20-lea raport anual PIN al Consiliului European pentru Siguranța Transporturilor (ETSC), în anul 2025 în România au fost înregistrate 1.296 de decese rutiere, adică 68 de decese la un milion de locuitori, față de media UE de 43; România se situează pe locul al doilea în UE, după Bulgaria (71 de decese la un milion de locuitori), în timp ce Suedia (19) și Danemarca (23) au cele mai sigure drumuri (Figura 1) [2], [3]. Tendința este totuși favorabilă: numărul deceselor rutiere din România a scăzut cu 30% în perioada 2019–2025, față de numai 15% la nivelul UE, unde reducerea necesară pentru atingerea țintei pentru 2030 ar fi fost de 31% [2], [3].



a) Rata mortalității rutiere, 2025 **b) Evoluția deceselor rutiere, 2019–2025**

Figura 1. Rata mortalității rutiere în anul 2025 (a) și evoluția numărului de decese rutiere în perioada 2019–2025 (b) (prelucrare după [2], [3])

Strategia națională privind siguranța rutieră pentru perioada 2022–2030 (HG nr. 682/2022) adoptă abordarea „Sistem Sigur” și obiectivul de reducere cu 50% a numărului de decese și de răniți grav până în 2030 [6]. Limitele generale de viteză stabilite prin Codul rutier (OUG nr. 195/2002) pentru autoturisme sunt de 50 km/h în localități, 90 km/h pe drumurile naționale obișnuite, 100 km/h pe drumurile naționale europene (E), 120 km/h pe drumurile expres și 130 km/h pe autostrăzi [7]. Aceste valori sunt stabilite în funcție de categoria administrativă a drumului, nu de modul real de utilizare a acestuia – o problemă evidentă pe drumurile naționale europene care traversează localități și au o singură bandă pe sens, fără separare fizică.

1.3. Obiectivul lucrării

Lucrarea prezintă noile practici de gestionare a vitezei la nivel global, propune o adaptare a cadrului DPV la rețeaua rutieră din România și o ilustrează pe cazul DN2 (E85), unul dintre cele mai periculoase drumuri din țară. Sunt incluse și exemple din alte țări europene care au redus mortalitatea prin măsuri de gestionare a vitezei.

2. PRINCIPII NOI ÎN GESTIONAREA VITEZEI

2.1. De la viteza practicată la viteza supraviețuibilă

Abordarea tradițională stabilea limita de viteză pe baza funcției de circulație a drumului și a percentilei 85 a vitezelor practicate, ceea ce, în timp, tinde să legitimeze vitezele ridicate. Abordarea „Sistem Sigur” pornește de la premisa că erorile umane sunt inevitabile, dar decesele și rănirile grave nu sunt

acceptabile; prin urmare, vitezele trebuie limitate la valori pe care corpul uman le poate tolera la impact [1]. Utilizatorii vulnerabili – pietonii, bicicliștii şi motocicliștii – pot supraviețui de regulă unor viteze de impact de cel mult 30 km/h; peste această valoare, probabilitatea de supraviețuire scade dramatic [1]. Pentru ocupanții vehiculelor, pragurile utilizate în abordarea Sistem Sigur sunt de circa 50 km/h pentru impactul lateral (de exemplu, la intersecții) și de circa 70 km/h pentru coliziunile frontale [1], [5].

2.2. Relația dintre viteză şi accidente

Relația dintre viteza medie de circulație și numărul accidentelor mortale este descrisă de modelul de putere [8]:

$$N_1 = N_0 \cdot \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^4 \quad (1)$$

unde: N_0, N_1 = numărul de accidente mortale înainte, respectiv după modificarea vitezei;

v_0, v_1 = viteza medie de circulație înainte, respectiv după intervenție, km/h.

Conform relației (1), o reducere ilustrativă a vitezei medii de la 90 la 85 km/h ar conduce la o scădere de aproximativ 20% a accidentelor mortale, deoarece $(85/90)^4 \approx 0{,}80$. Valorile sunt confirmate de evaluările ex-post: în Franța, reducerea limitei de viteză de la 90 la 80 km/h pe drumurile cu două sensuri fără separator central, la 1 iulie 2018, a redus viteza medie practicată cu 3,3 km/h și mortalitatea cu 12% față de restul rețelei, ceea ce corespunde unui număr de 389 de decese evitate în primele 18 luni [9].

2.3. Cadrul Drumuri-pentru-Viață (DPV)

Cadrul DPV, dezvoltat special pentru *Ghidul pentru viteze sigure*, se bazează pe abordarea Sistem Sigur și preia elementele esențiale ale conceptului „Mișcare și Loc” (*Movement and Place*). Drumurile sunt clasificate după două cerințe care pot intra în conflict: deplasarea persoanelor și a mărfurilor și prezența utilizatorilor vulnerabili. Spre deosebire de clasificarea funcțională tradițională, cadrul ține seama de utilizarea terenului adiacent, de obiectivele care generează trafic pietonal (școli, spitale, stații de transport public, piețe), de tipurile de utilizatori și de calitatea infrastructurii [1].

Cadrul DPV respectă patru principii: siguranța tuturor utilizatorilor este principiul director, iar bunăstarea comunității, predictibilitatea și disponibilitatea rețelei sunt principii de susținere, care asigură echitatea, aplicabilitatea, consecvența și respectarea limitelor [1]. Implementarea se face în patru pași: (i) delimitarea zonei analizate și stabilirea limitei sigure prin comparare cu tipologia

DPV şi cunoaşterea riscurilor locale; (ii) compararea noii limite cu viteza practicată, pentru a identifica măsurile de susţinere necesare; (iii) implementarea limitei – prin act normativ, actualizarea registrului limitelor de viteză, informarea publicului, semnalizare şi infrastructură de control; (iv) monitorizarea şi evaluarea efectelor [1]. Tabelul 1 prezintă limitele de viteză recomandate de cadrul DPV.

Tabelul 1. Limitele de viteză sigure recomandate de cadrul DPV [1]

Mediu	Tipul de drum DPV	Limită DPV (km/h)	Limită generală actuală în România (km/h) [7]
Urban	Zonă partajată (pietoni şi vehicule pe aceeaşi suprafaţă)	max. 10	–
	Drum cu activitate umană intensă (şcoli, pieţe, zone rezidenţiale)	max. 30	50
	Drum urban principal (activitate mixtă)	max. 30–50	50
	Drum urban de legătură	max. 50	50
	Autostradă urbană	max. 80	–
Rural / Extraurban	Drum rural/ extraurban cu activitate umană	max. 30	50 (în localitate)
	Drum rural/ extraurban de acces	max. 50–70	90
	Drum rural/ extraurban de legătură	max. 70–80	90–100
	Drum rural/ extraurban cu acces controlat	max. 100	120–130

3. ADAPTAREA CADRULUI DPV LA ROMÂNIA

3.1. Corespondenţa cu reţeaua rutieră românească

Comparaţia din Tabelul 1 arată că diferenţele cele mai mari între limitele DPV şi cele actuale apar în două situaţii specifice României: traversările de localităţi de către drumurile naţionale şi drumurile naţionale europene cu o singură bandă pe sens, fără separare fizică între sensuri. În primul caz, drumul are simultan funcţia de legătură regională şi pe cea de stradă principală, cu pietoni, bicicliști şi vehicule agricole pe aceeaşi platformă; conform DPV, acestea sunt drumuri cu activitate umană sau drumuri urbane principale, pentru care limita sigură este de 30–50 km/h [1]. În al doilea caz, limita de 100 km/h depăşeşte cu mult pragul de circa 70 km/h pentru coliziunile frontale, în condiţiile în care riscul de coliziune frontală nu este eliminat prin separare fizică [1], [5].

Adaptarea cadrului DPV în România poate fi realizată fără o revizuire completă a Codului rutier, prin trei instrumente: (i) un registru naţional al limitelor de viteză, în care fiecare sector al reţelei naţionale să fie clasificat după tipologia DPV; (ii) limite diferenţiate pe sectoare, stabilite de administratorul drumului (CNAIR) împreună cu Poliţia Rutieră, în baza unei metodologii unice; (iii) corelarea limitelor cu configuraţia drumului, astfel încât limite mai ridicate să

fie permise numai acolo unde infrastructura elimină riscul de coliziune frontală şi protejează utilizatorii vulnerabili [1].

3.2. Studiu de caz: drumul naţional DN2 (E85)

DN2 are o lungime de 446 km şi leagă Bucureştiul de frontiera cu Ucraina la Siret, traversând oraşele Urziceni, Buzău, Râmnicu Sărat, Focşani, Adjud, Bacău, Roman, Fălticeni şi Suceava. Viteza maximă admisă în afara localităţilor este de 100 km/h, cu limite locale de 70 km/h sau 40 km/h în unele localităţi [12]. Datele IGPR arată că în perioada 2015–2023 pe DN2 au decedat 771 de persoane, iar în ultimul deceniu peste 800 (Figura 2) [12]. Drumul este cunoscut public drept „drumul morţii”.

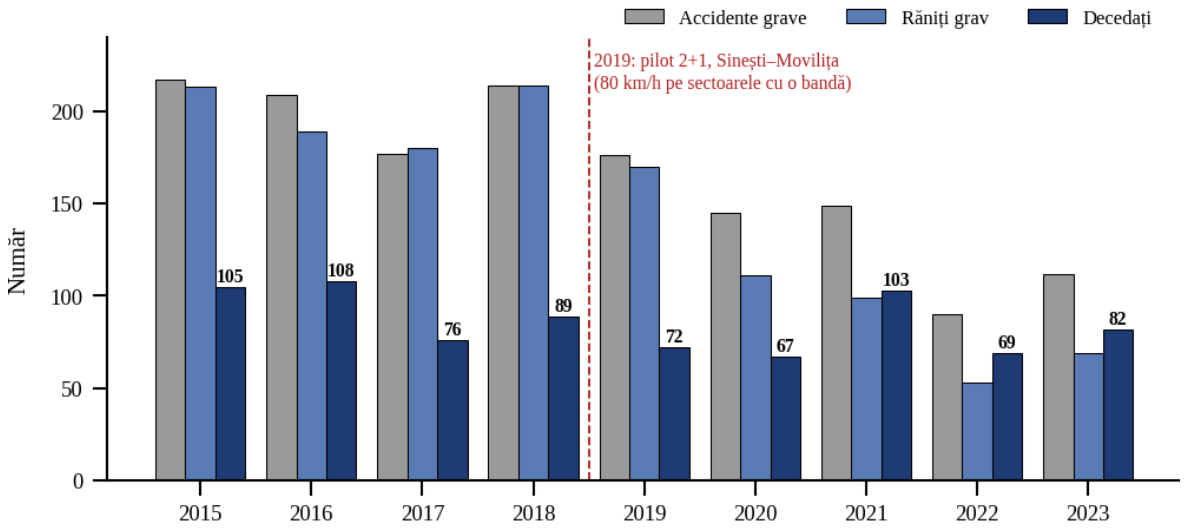


Figura 2. Accidentele rutiere grave, persoanele rănite grav şi decedate pe DN2 în perioada 2015–2023 (prelucrare după datele IGPR [12])

Configuraţia 2+1 cu limită redusă la Sineşti–Movilița. Din 2019, pe un tronson de circa 10 km între Sinești și Movilița, drumul a fost remarcat în sistem 2+1 alternativ (două benzi într-un sens şi una în celălalt, alternând), iar pe sectoarele cu o singură bandă viteza a fost limitată la 80 km/h [13], [14]. Asociația Pro Infrastructura a raportat zero decese în primii peste doi ani de funcționare, iar CNAIR a decis extinderea soluției pe întregul DN2, între București şi Bacău, după ce a constatat scăderea numărului de accidente grave [13], [14]. Pe ansamblul DN2, numărul accidentelor grave a scăzut de la 217 în 2015 şi 176 în 2019 la 112 în 2023, iar cel al răniților grav de la 213 la 69 (Figura 2) [12].

Tronsonul de la ieşirea din Buzău. În 2024, CNAIR a reconfigurat în sistem 2+1 un tronson de circa 2 km între Hanul lui Țintă şi Pasajul Nehoiu, la ieşirea din Buzău spre Ploieşti – o zonă cu numeroase accidente mortale –, cu limita de viteză de 60 km/h şi parapet care împiedică intrarea pe contrasens [14].

Este o aplicare directă a principiului DPV: viteza este redusă acolo unde riscul este mare, iar infrastructura susține limita impusă.

Controlul automat al vitezei. Din 1 ianuarie 2025, sistemul e-SIGUR de monitorizare a traficului cu radare automate pe trepied a fost operaționalizat inițial pe autostrăzile A1 și A2 și pe DN2 în județul Vrancea, apoi extins la nivel național. Abaterile sunt înregistrate și validate de Centrul de Monitorizare Automată a Traficului Rutier, iar amenzile sunt transmise la domiciliu, fără oprirea vehiculului.

Limitele analizei. Datele disponibile se referă la întregul DN2 și nu permit izolarea efectului fiecărei măsuri: o parte din scădere se datorează restricțiilor din perioada pandemiei COVID-19 și altor investiții punctuale ale CNAIR [12]. De asemenea, anul 2021 a înregistrat 103 decese, iar pe tronsonul 2+1 de la Sinești s-au produs ulterior accidente grave cauzate de pătrunderea pe contrasens. Aceste cazuri confirmă lecția din experiența suedeză: configurația 2+1 își atinge potențialul maxim numai cu separare fizică a sensurilor. Pe drumurile 2+1 cu cablu median din Suedia, rata deceselor a scăzut cu circa 80% față de situația inițială, iar numărul deceselor și al răniților grav cu 55% [10], [11]. Pentru o evaluare riguroasă a DN2 este necesară o analiză înainte–după, pe sectoare, cu grup de control, după modelul evaluării realizate de Cerema în Franța [9].

3.3. Lecții din alte țări europene

Tabelul 2. Exemple europene de gestionare a vitezei și rezultate

Țara	Măsură	Rezultate
Franța	Reducerea limitei de la 90 la 80 km/h pe drumurile cu două sensuri fără separator central (2018)	Viteza medie −3,3 km/h; mortalitate −12% față de restul rețelei; 389 de decese evitate în 18 luni [9]
Suedia	Drumuri 2+1 cu cablu median, în cadrul profilului existent de 13 m	Rata deceselor redusă cu circa 80%; decese și răniri grave −55% [10], [11]
Polonia	Extinderea radarelor și a controlului vitezei medii pe sector, protecția pietonilor	Decese −47% în 2012–2022; cea mai mare reducere din UE în 2019–2025 (−43%) [2]
România (DN2)	2+1 cu 80 km/h pe sectoarele cu o bandă; 60 km/h și parapet la Buzău; radare e-SIGUR	Zero decese în primii peste 2 ani la Sinești–Movilița; accidente grave pe DN2: 176 (2019) → 112 (2023) [12], [13]

4. FOAIE DE PARCURS PENTRU ROMÂNIA

Se recomandă ca modificările limitelor de viteză să fie strategice – pe trasee și zone întregi, nu punctuale – și să înceapă în zonele cu risc ridicat, unde impactul este semnificativ și acceptarea publică este mai ușor de obținut. Pe această bază, Tabelul 3 propune o etapizare pentru România.

Tabelul 3. Foaie de parcurs pentru implementarea limitelor de viteză sigure în România

Orizont	Acțiuni prioritare
Termen scurt (1–2 ani)	Strategie națională de management al vitezei, aliniată cu Strategia 2022–2030; metodologie DPV pentru clasificarea sectoarelor de drum național; 30 km/h în zonele școlare și la traversările de localități cu activitate pietonală intensă; extinderea e-SIGUR și a controlului vitezei medii pe sector pe DN2, DN1 și DN7
Termen mediu (3–5 ani)	Registru național al limitelor de viteză; extinderea configurației 2+1 cu separare fizică pe DN2 și pe alte drumuri naționale europene; limite de 70–80 km/h pe drumurile naționale fără separare a sensurilor; măsuri de calmare a traficului la intrarea în localități
Termen lung (peste 5 ani)	Revizuirea limitelor generale din Codul rutier pe baza cadrului DPV; integrarea DPV în proiectarea drumurilor noi (viteza de proiectare corelată cu viteza sigură); evaluări înainte–după publicate periodic, cu grup de control

Succesul acestor măsuri depinde de acceptarea publică. Experiența internațională arată că miturile despre viteză – de exemplu, că limitele mai reduse cresc semnificativ timpul de parcurs sau congestia – pot fi contracarate cu date clare și cu o comunicare consecventă, iar măsurile trebuie însoțite de campanii care explică rolul vitezei în producerea deceselor [1].

5. CONCLUZII

Noile practici de gestionare a vitezei schimbă întrebarea de la care pornește stabilirea limitelor: nu „cu ce viteză circulă majoritatea șoferilor?”, ci „la ce viteză poate supraviețui corpul uman pe acest drum, cu acești utilizatori?”. Cadrul Drumuri-pentru-Viață oferă un instrument practic pentru această schimbare, prin corelarea limitei de viteză cu modul real de utilizare a drumului și cu prezența utilizatorilor vulnerabili.

Pentru România, cele mai mari câștiguri pot fi obținute pe drumurile naționale cu o singură bandă pe sens și în localitățile lineare, unde limitele actuale depășesc cu mult pragurile de supraviețuire. Cazul DN2 arată că reducerea vitezei, combinată cu reconfigurarea drumului și cu controlul automat, este asociată cu scăderea numărului de accidente grave, dar și că limitele de viteză trebuie susținute de infrastructură – în special de separarea fizică a sensurilor – și evaluate riguros.

Adoptarea unei metodologii naționale bazate pe DPV și a unui registru al limitelor de viteză ar reprezenta pașii cu cel mai mare impact.

BIBLIOGRAFIE

[1]. B.M. TURNER, E.M. EICHINGER-VILL, S. EL-SAMRA, C. ADRIAZOLA-STEIL, A.F. BURLACU: *„Guide for Safe Speeds: Managing Traffic Speeds to Save Lives and Improve Livability”*, World Bank & World Resources Institute, Washington DC, **2024**.

[2]. ETSC: *„Ranking EU progress on road safety. 20th Road Safety Performance Index (PIN) Report”*, European Transport Safety Council, Brussels, **2026**.

[3]. ETSC: *„EU Road Safety Exchange – country profiles: Romania, Bulgaria”*, European Transport Safety Council, Brussels, **2026**.

[4]. GLOBAL ROAD SAFETY FACILITY: *„Speed Management Hub”*, World Bank, Washington DC, **2026**.

[5]. WHO, GRSF: *„Speed Management: A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners, 2nd edition”*, World Health Organization & World Bank, Geneva, **2023**.

[6]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Strategia națională privind siguranța rutieră pentru perioada 2022–2030”*, aprobată prin HG nr. 682/2022, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 535 bis, București, **2022**.

[7]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Ordonanța de urgență nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice, republicată, cu modificările și completările ulterioare”*, Monitorul Oficial al României, București, **2006**.

[8]. R. ELVIK, P. CHRISTENSEN, A.H. AMUNDSEN: *„Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model”*, Institute of Transport Economics (TØI), Oslo, **2004**.

[9]. CEREMA: *„Abaissement de la vitesse maximale autorisée à 80 km/h – Rapport final d’évaluation”*, Cerema, Bron, **2020**.

[10]. A. CARLSSON: *„Evaluation of 2+1 roads with cable barrier. Final report”*, VTI rapport 636A, Linköping, **2009**.

[11]. T. BERGH, A. CARLSSON, J. MOBERG: *„2+1-roads with cable barriers – A Swedish success story”*, Swedish Road Administration, Borlänge, **2008**.

[12]. A. NAN: *„Moartea pândește pe fiecare metru al DN2-E85 (date IGPR 2015–2024)”*, Opinia Buzău, Buzău, **2024**.

[13]. S. FILON: *„Soluția pentru ca E85 să nu mai fie numit «drumul morții»”*, Impact.ro, București, **2021**.

[14]. TVR INFO: *„DN2 – «Drumul morții» – va fi reconfigurat pentru a scădea numărul de accidente”*, Televiziunea Română, București, **2024**.

[15]. ETSC: *„Poland – PIN Award 2023”*, European Transport Safety Council, Brussels, **2023**.

[16]. S. EL-SAMRA, A. KUSTAR: *„A Comprehensive Guide for Safer Roads and Livable Cities”*, World Resources Institute, Washington DC, **2025**.

SIGURANȚA RUTIERĂ ȘI SCHIMBĂRILE CLIMATICE: BENEFICII COMUNE PENTRU O INFRASTRUCTURĂ RUTIERĂ MAI SIGURĂ, MAI REZILIENTĂ ȘI CU EMISII REDUSE ÎN ROMÂNIA

Burlacu Florentina-Alina, asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții & Specialist Senior în Transporturi, Banca Mondială, Washington DC, e-mail: fburlacu@worldbank.org

Rezumat

România înregistrează una dintre cele mai ridicate rate ale mortalității rutiere din Uniunea Europeană – 68 de decese la un milion de locuitori în anul 2025, de circa 1,6 ori media UE de 43 – în timp ce rețeaua rutieră este tot mai expusă inundațiilor, valurilor de căldură și alunecărilor de teren, iar transportul rutier rămâne principala sursă de emisii de gaze cu efect de seră din sectorul transporturilor. Lucrarea analizează legăturile dintre siguranța rutieră, reziliența climatică și decarbonizare, pornind de la raportul Băncii Mondiale *Safe Roads for a Changing Climate* și adaptând concluziile acestuia la contextul românesc. Sunt identificate cinci mecanisme prin care evenimentele climatice extreme amplifică riscul rutier – pericolele fizice directe, perturbarea rețelei de transport, reducerea aderenței și a controlului vehiculului, degradarea accelerată a infrastructurii și afectarea intervenției de urgență – ilustrate prin inundațiile din județele Galați și Vaslui și prin valurile de căldură din anul 2024. Sunt analizate apoi punctele comune dintre siguranța rutieră și emisii (infrastructura pentru utilizatorii nemotorizați, managementul vitezei, vechimea parcului auto și îngrijirea post-accident), măsurile fiind structurate după cadrul Evitare–Transfer–Îmbunătățire. Exemplele din Polonia, Slovenia, Spania, Ecuador și Brazilia arată că managementul vitezei, inspecția tehnică integrată, drenajul sigur și contractele bazate pe performanță generează beneficii multiplicative. Lucrarea propune o foaie de parcurs etapizată pentru România și subliniază necesitatea integrării obiectivelor de siguranță și climă încă din faza de planificare a proiectelor.

Cuvinte cheie: siguranță rutieră, reziliență climatică, decarbonizare, managementul vitezei, sistem sigur, România

Abstract

Romania has one of the highest road fatality rates in the European Union – 68 deaths per million inhabitants in 2025, about 1.6 times the EU average of 43 – while its road network is increasingly exposed to floods, heatwaves and landslides, and road transport remains the main source of transport greenhouse gas emissions. This paper examines the linkages between road safety, climate resilience and decarbonization, building on the World Bank report *Safe Roads for a Changing Climate* and adapting its findings to the Romanian context. Five mechanisms through which extreme climate events increase road risk are identified – direct physical hazards, network disruption, reduced vehicle control and surface performance, accelerated infrastructure degradation and impaired emergency response – and illustrated through the 2024

floods in Galați and Vaslui counties and the 2024 heatwaves. The paper then analyses the touchpoints between road safety and emissions (infrastructure for non-motorized users, speed management, fleet age and post-crash care), organizing joint-benefit measures under the Avoid–Shift–Improve framework. Evidence from Poland, Slovenia, Spain, Ecuador and Brazil shows that speed management, integrated vehicle inspection, safe drainage and performance-based contracts deliver multiplicative benefits. A phased roadmap for Romania is proposed, highlighting the need to embed safety and climate objectives jointly from the earliest stages of project preparation.

Keywords: road safety, climate resilience, decarbonization, speed management, Safe System, Romania

1. INTRODUCERE

1.1. Transportul rutier la intersecția provocărilor globale

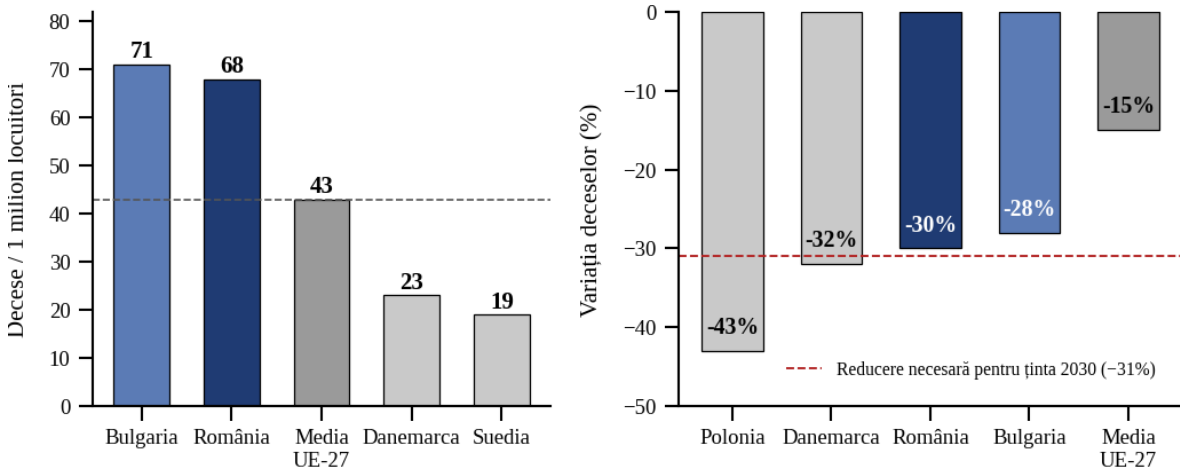
Transportul rutier asigură accesul la locuri de muncă, educație, servicii de sănătate și puncte de interes economic, dar se află la mijlocul a două mari provocări. Pe de o parte, accidentele rutiere provoacă anual aproximativ 1,19 milioane de decese, fiind principala cauză de deces pentru tinerii cu vârsta între 5 și 29 de ani, iar 92% dintre decese se produc în țările cu venituri mici și medii [1], [2]. Pe de altă parte, schimbările climatice cresc frecvența și severitatea inundațiilor, furtunilor, alunecărilor de teren și valurilor de căldură: daunele directe asupra infrastructurii de transport sunt estimate la circa 15 miliarde USD pe an [1]. În același timp, în anul 2023 sectorul transporturilor a generat 14,3% din emisiile globale de gaze cu efect de seră (GES), din care transportul rutier 12,7% [1].

Deși afectează aceeași infrastructură, aceiași utilizatori și aceleași programe de investiții, siguranța rutieră, adaptarea la schimbările climatice și decarbonizarea au fost tratate istoric separat, de instituții diferite, cu obiective, indicatori și surse de finanțare distincte. Declarația de la Stockholm (2020) și Planul Global pentru Deceniul de Acțiune pentru Siguranță Rutieră 2021–2030 recunosc explicit legătura dintre siguranța rutieră, mediu și climă [1]. Raportul Băncii Mondiale *Safe Roads for a Changing Climate* [1] demonstrează că aceleași investiții care fac drumurile mai sigure pot crește reziliența la hazarde climatice și pot reduce emisiile, iar invers, investițiile de adaptare și decarbonizare pot produce beneficii semnificative de siguranță atunci când sunt proiectate după principiile Sistemului Sigur.

1.2. Contextul României

Conform celui de-al 20-lea raport anual PIN al Consiliului European pentru Siguranța Transporturilor (ETSC), în anul 2025 în România au fost înregistrate

1.296 de decese rutiere, adică 68 de decese la un milion de locuitori, față de media UE de 43, ceea ce plasează țara pe locul al doilea în UE, după Bulgaria (71 de decese la un milion de locuitori); Suedia (19) și Danemarca (23) au cele mai sigure drumuri (Figura 1) [3], [4]. Tendința este totuși favorabilă: numărul deceselor rutiere din România a scăzut cu 30% în perioada 2019–2025, în timp ce la nivelul UE reducerea a fost de numai 15%, față de 31% cât ar fi fost necesar pentru atingerea țintei pentru 2030 [3], [4]. Strategia națională privind siguranța rutieră pentru perioada 2022–2030, aprobată prin HG nr. 682/2022, preia obiectivul european de reducere cu 50% a numărului de decese și de răniți grav până în 2030 și abordarea de tip „Sistem Sigur” [5].



a) Rata mortalității rutiere, 2025 **b) Evoluția deceselor rutiere, 2019–2025**

Figura 1. Rata mortalității rutiere în anul 2025 (a) și evoluția numărului de decese rutiere în perioada 2019–2025 (b) (prelucrare după [3], [4])

Expunerea climatică a rețelei rutiere românești crește rapid. Anul 2024 a fost cel mai cald an din istoria măsurătorilor meteorologice din România, cu o temperatură medie de 12,99 °C (abatere de +2,71 °C față de media 1991–2020), 15 avertizări de cod roșu pentru caniculă și o maximă de 41,7 °C la Cernavodă [6]. În septembrie 2024, ciclonul Boris a produs în județele Galați și Vaslui precipitații de 148–165 mm în 24 de ore, de aproximativ două ori peste valorile prognozate; peste 300 km de drumuri au fost distruse sau blocate de alunecări de teren, poduri au fost luate de ape, iar comunități întregi au rămas izolate, ceea ce a întârziat intervenția echipajelor de salvare [7].

Din perspectiva decarbonizării, emisiile din sectoarele care nu fac parte din schema UE de comercializare a certificatelor de emisii – inclusiv transporturile – au crescut în România cu 8,4% față de anul 2005 [8], iar la nivelul UE transportul rutier generează 73% din emisiile de GES ale transporturilor [9]. Parcul auto românesc are o vârstă medie de 15,4 ani (2023), față de media UE de 12,5 ani [10], iar autobuzele, cu o vechime de circa 18 ani, se numără printre cele mai vechi din UE [11] – un factor care afectează simultan siguranța și emisiile.

1.3. Obiectivul lucrării

Lucrarea sintetizează principalele aspecte ale legăturii dintre siguranța rutieră și schimbările climatice și le adaptează la contextul României cu scopul de a identifica intervențiile care pot genera simultan beneficii pentru siguranța rutieră, reziliența climatică și decarbonizare. Analiza este structurată în două părți – siguranță rutieră și reziliență (adaptare), respectiv siguranță rutieră și decarbonizare (atenuare) – și este completată de exemple din țări cu caracteristici similare și de o foaie de parcurs etapizată pentru administratorii de drumuri și autoritățile publice din România.

2. SIGURANȚA RUTIERĂ ȘI REZILIENȚA CLIMATICĂ

2.1. Mecanisme prin care evenimentele climatice afectează siguranța rutieră

Evenimentele meteorologice extreme afectează siguranța rutieră atât direct, în timpul evenimentului, cât și indirect, prin efectele asupra rețelei de transport, a infrastructurii și a sistemului de intervenție de urgență. Au fost identificate cinci mecanisme principale, sintetizate în Tabelul 1 împreună cu manifestările lor relevante pentru România.

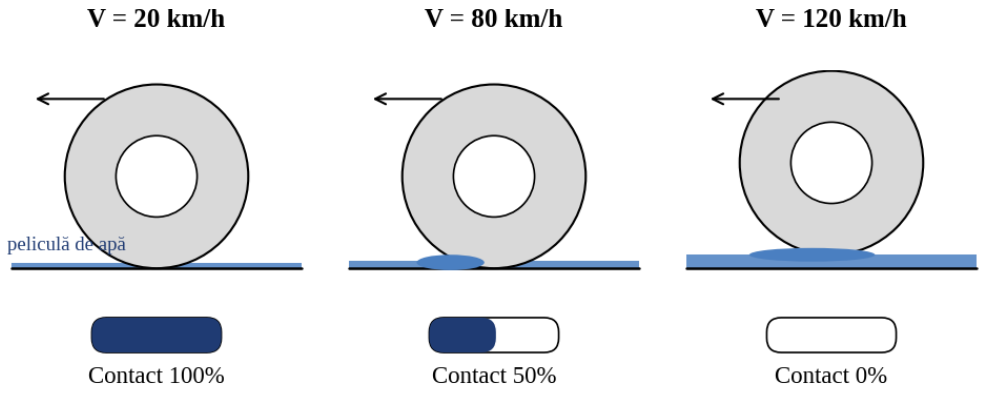
Tabelul 1. Mecanisme de legătură între evenimentele climatice și siguranța rutieră

Mecanism	Efecte asupra siguranței rutiere	Relevanță pentru România
1. Pericole fizice directe	Spălarea drumurilor și a podurilor, vehicule antrenate de ape (un vehicul poate pluti în doar 15 cm de apă), căderi de arbori și de roci, vizibilitate redusă	Inundațiile din Galați și Vaslui (2024): poduri distruse, drumuri spălate, localități izolate [7]
2. Perturbarea rețelei de transport	Devierea traficului pe rute cu standarde inferioare: platformă îngustă, fără acostamente, semnalizare deficitară, traversarea localităților	Rutele ocolitoare traversează frecvent localități rurale, cu pietoni și bicicliști pe partea carosabilă
3. Reducerea aderenței și a controlului vehiculului	Distanțe de frânare mai mari, acvaplanare, instabilitate pe zăpadă, gheață și noroi; risc ridicat pentru motocicliști	Ploi torențiale pe autostrăzi și drumuri expres, polei și cicluri îngheț-dezgheț în sezonul rece
4. Degradarea accelerată a infrastructurii	Făgășuire, fisurare și gropi; deteriorarea marcajelor, indicatoarelor și parapetelor	Temperaturi de peste 40 °C în 2024 [6], care solicită sever îmbrăcămințile bituminoase

Mecanism	Efecte asupra siguranței rutiere	Relevanță pentru România
5. Afectarea intervenției de urgență	Raportare întârziată a accidentelor, acces blocat pentru ambulanțe, servicii medicale suprasolicitate	Întârzierea intervențiilor în comunitățile izolate în septembrie 2024 [7]

2.2. Fenomenul de acvaplanare în contextul schimbărilor climatice

Acvaplanarea apare atunci când între pneu și suprafața de rulare se formează o peliculă de apă, ceea ce reduce suprafața de contact, aderența și controlul vehiculului. Fenomenul depinde de grosimea peliculei de apă, de viteză și de caracteristicile drumului – textura suprafeței, geometria și eficiența drenajului. Creșterea intensității precipitațiilor determină pelicule de apă mai groase și stagnări mai frecvente ale apei pe partea carosabilă, ceea ce sporește probabilitatea acvaplanării, în special pe drumurile de mare viteză (Figura 2) [12].



Suprafața de contact pneu–îmbrăcăminte rutieră

Figura 2. Reprezentarea suprafeței de contact pneu–îmbrăcăminte rutieră în funcție de viteza de circulație (adaptare după [12])

Soluțiile tehnice urmăresc reducerea grosimii peliculei de apă: straturi de uzură cu macrotextură adecvată, optimizarea pantelor transversale și longitudinale, rigole transversale (soluție utilizată pe autostrăzile din Germania), betoane asfaltice drenante și îmbrăcăminți permeabile [1], [12]. Aceste măsuri sunt direct aplicabile în proiectarea și reabilitarea autostrăzilor și drumurilor expres din România.

2.3. Măsuri cu beneficii comune pentru siguranță și reziliență

Măsurile sunt organizate după cei cinci piloni ai rezilienței climatice utilizați de Banca Mondială pe întregul ciclu de viață al infrastructurii: capacitate instituțională și coordonare; planificare și finanțare; inginerie și proiectare; exploatare și întreținere; planificare pentru situații de urgență [13].

Planificare integrată. Evaluările care suprapun riscul de accident (istoricul accidentelor, auditurile și inspecțiile de siguranță rutieră, vitezele) cu hărțile de hazard climatic permit prioritizarea tronsoanelor unde investițiile sunt cele mai necesare. În India, orașele Surat și Bhubaneswar suprapun evaluările de siguranță rutieră pentru 600 km de drumuri cu hărți ale inundațiilor urbane și ale stresului termic [14], iar în Guyana modelul de rețea de transport a combinat zonele cu accidente grave cu cele vulnerabile la inundații [1]. Pentru România, o abordare similară poate fi aplicată pe drumurile naționale, prin integrarea datelor de accidente cu hărțile de risc la inundații și alunecări de teren.

Proiectare bazată pe risc. Normativele de proiectare trebuie actualizate pentru a reflecta atât condițiile climatice actuale, cât și bunele practici de siguranță. În Mozambic, analiza standardelor rutiere pe baza criteriilor Băncii Mondiale de reziliență și sustenabilitate a evidențiat lipsa prevederilor privind sistemele de drenaj sustenabil și infrastructura pentru pietoni și bicicliști [1]. În Samoa, un audit de siguranță rutieră post-construcție a arătat că podețele de acces de la proprietăți reprezentau obstacole periculoase; soluția a fost amplasarea lor în afara zonei de siguranță sau prevederea de timpane traversabile, fără a reduce capacitatea de drenaj [15]. Lecția este relevantă pentru drumurile românești cu șanțuri adânci și podețe de acces în zona de siguranță.

Exploatare și întreținere. Curățarea rigolelor și podețelor, controlul vegetației, înlocuirea marcajelor și a dispozitivelor de siguranță deteriorate și monitorizarea podurilor reduc simultan riscul de avarii și pe cel de accident. Măsurile operaționale sunt la fel de importante: în iulie 2024, pe fondul avertizărilor de cod roșu, CNAIR a restricționat circulația vehiculelor de peste 7,5 t între orele 10:00 și 20:00 pe drumurile naționale, drumurile expres și autostrăzile din numeroase județe [16]. Contractele bazate pe performanță pot integra un Plan de management al riscului climatic și un Plan de management al traficului și siguranței rutiere, cu plăți legate de disponibilitatea rețelei și de performanța de siguranță [17].

Planificare pentru situații de urgență. Inundațiile din august 2023 din Slovenia – o țară din aceeași regiune, cu relief montan și deluros – au afectat circa două treimi din teritoriu, au deteriorat aproape 2.000 km de drumuri și au produs pagube totale de circa 10 miliarde euro [18]. Experiența arată necesitatea unor rute alternative planificate și sigure, a evaluării rapide a avariilor cu drone și teledetecție, a fondurilor de contingență și a procedurilor de achiziție de urgență pre-aprobate [1].

3. SIGURANȚA RUTIERĂ ȘI DECARBONIZAREA

3.1. Puncte de legătură între siguranța rutieră și emisii

Raportul [1] identifică patru puncte de legătură. **Lipsa infrastructurii pentru utilizatorii nemotorizaţi** crește expunerea pietonilor și bicicliștilor la trafic și, totodată, încurajează dependența de autoturism; extinderea infrastructurii sigure pentru mers pe jos și bicicletă ar putea reduce emisiile globale din transport cu circa 6% [1]. **Managementul nesustenabil al vitezei și al traficului** amplifică atât gravitatea accidentelor, cât și consumul de combustibil. **Vehiculele vechi** nu dispun de echipamente moderne de siguranță (airbaguri, ABS, ESC) și emit mai mult; autoturismele cotate cu 2 stele au un risc de vătămare mortală cu 68% mai mare decât cele de 5 stele [1]. De asemenea, **îngrijirea post-accident** generează emisii suplimentare prin intervenția de urgență, tratamentul medical, repararea vehiculelor și congestia produsă de accidente [1].

3.2. Viteza – factor comun de risc și de emisii

Viteza este principalul factor care influențează atât producerea, cât și gravitatea accidentelor. Relația dintre viteza medie și numărul accidentelor mortale este descrisă de modelul de putere [19]:

$$N_1 = N_0 \cdot \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^4 \quad (1)$$

unde: N_0, N_1 = numărul de accidente mortale înainte, respectiv după modificarea vitezei;

v_0, v_1 = viteza medie de circulație înainte, respectiv după intervenție, km/h.

Conform relației (1), o creștere cu 1% a vitezei medii determină o creștere de circa 4% a accidentelor mortale, iar o reducere cu 5% a vitezei medii conduce la o scădere de aproximativ 19% a acestora. Pentru decarbonizare, consumul și emisiile cresc semnificativ peste aproximativ 70 km/h, din cauza rezistenței aerodinamice, în timp ce în mediul urban beneficiile apar mai ales prin fluidizarea traficului și transferul către mersul pe jos și bicicletă [1], [20]. Ghidul Băncii Mondiale pentru viteze sigure recomandă 30 km/h în zonele cu utilizatori vulnerabili și 50 km/h acolo unde există infrastructură adecvată pentru aceștia [21].

Analiza realizată de Banca Mondială pentru Raportul de țară privind clima și dezvoltarea (CCDR) al Ecuadorului arată că reducerea limitei de viteză interurbane de la 90 la 80 km/h ar reduce emisiile de CO_2 cu 3% (360.000 t/an) și decesele și rănirile grave cu 15–20%, iar reducerea limitei urbane de la 50 la 30

km/h ar reduce decesele și rănirile grave cu 30–40% [22]. Polonia, care avea în urmă cu un deceniu unele dintre cele mai periculoase drumuri din UE, a redus numărul deceselor rutiere cu 47% în perioada 2012–2022 și înregistrează cea mai mare reducere din UE în perioada 2019–2025 (−43%) [3], prin extinderea rețelei de radare și a sistemelor de control al vitezei medii pe sector, eliminarea diferențelor dintre limitele de viteză de zi și de noapte și protecția sporită a pietonilor [23]. Experiența poloneză este cea mai relevantă pentru România, ca țară vecină din aceeași regiune, cu un punct de plecare similar.

3.3. Măsuri în cadrul Evitare – Transfer modal – Îmbunătățire

Cadrul Evitare–Transfer modal–Îmbunătățire (*Avoid–Shift–Improve*) organizează intervențiile care reduc nevoia de deplasare, transferă deplasările către moduri mai sigure și cu emisii mai mici și cresc eficiența vehiculelor și a infrastructurii. Tabelul 2 sintetizează măsurile cu beneficii comune și exemplele relevante.

Tabelul 2. Măsuri cu beneficii comune pentru siguranța rutieră și decarbonizare

Categorie	Măsură	Rezultate documentate
Evitare	Planificare urbană compactă, superblocuri și limite de viteză reduse	Vitoria-Gasteiz (Spania): circa 0,5 decese/an în perioada 2013–2017, jumătate din deplasări pe jos și 10% cu bicicleta [1]
Evitare	Centre de consolidare a mărfurilor în zonele urbane	Londra: −20% distanță parcursă și −54% emisii de CO_2 echivalent per colet [24]
Transfer modal	Transport public de capacitate (BRT, metrou)	TransMilenio, Bogotá: −50% decese în trafic, −40% emisii [25]
Transfer modal	Transferul mărfurilor de pe camion pe calea ferată	Camioanele emit de 4–5 ori mai multe GES per t·km decât calea ferată [26]
Transfer modal	Amenajarea drumurilor principale care traversează localități lineare	Programul Pró-Rodovias (Brazilia): calmarea traficului, trotuare, piste pentru biciclete și drenaj în zonele urbane traversate de drumuri [1]
Îmbunătățire	Inspecție tehnică periodică integrată (siguranță și emisii)	Monterrey (Mexic): reducere estimată a emisiilor de HC cu 69% și de CO cu 42% [27]
Îmbunătățire	Managementul motorizării și reînnoirea parcului auto	Vehicule mai sigure și mai eficiente; reducerea riscului ca vehiculele vechi să devină o sursă permanentă de risc și poluare [28]

Exemplul brazilian este deosebit de relevant pentru România, unde numeroase drumuri naționale traversează localități și combină funcția de legătură regională cu cea de acces local, cu pietoni, bicicliști și vehicule grele pe aceeași platformă.

4. DIRECȚII DE ACȚIUNE PENTRU ROMÂNIA

4.1. Foaie de parcurs etapizată

Pe baza analizei, intervențiile pot fi ordonate în funcție de impact, fezabilitate și orizont de implementare (Tabelul 3), astfel încât rezultatele rapide să fie combinate cu reforme structurale.

Tabelul 3. Foaie de parcurs pentru integrarea siguranței rutiere și a obiectivelor climatice

Orizont	Intervenții prioritare
Termen scurt	Managementul vitezei (30 km/h în zonele cu utilizatori vulnerabili, control automat al vitezei); integrarea testelor de emisii și de siguranță în inspecția tehnică; inspecții/audituri de siguranță rutieră combinate cu evaluări de vulnerabilitate climatică; campanii de conducere preventivă și ecologică
Termen mediu	Infrastructură sigură pentru mers pe jos și bicicletă; amenajarea drumurilor care traversează localități lineare; contracte de întreținere bazate pe performanță cu cerințe de siguranță și reziliență; actualizarea normativelor de proiectare (drenaj, materiale rezistente la temperaturi ridicate, zona de siguranță)
Termen lung	Transport public de capacitate și transfer modal al mărfurilor pe calea ferată; observator național integrat al datelor de siguranță rutieră și climă; consolidarea coordonării dintre transport, poliție, sănătate, mediu și situații de urgență

4.2. Gestionarea compromisurilor

Unele intervenții pot genera efecte contrare. Îmbunătățirea suprafeței de rulare crește reziliența, dar poate induce viteze mai mari, motiv pentru care trebuie însoțită de măsuri de calmare a traficului. Aliniamentele de arbori oferă umbrire și captare de carbon, dar pe drumurile de viteză devin obstacole fixe dacă nu sunt protejate prin dispozitive de reținere. Vehiculele electrice reduc emisiile pe ciclul de viață cu circa 52–54%, însă masa lor mai mare solicită suplimentar parapetele și dispozitivele de reținere proiectate pentru un parc auto mai ușor [1]. Evaluările integrate de risc și analizele multidisciplinare permit identificarea timpurie a acestor compromisuri.

5. CONCLUZII

Siguranța rutieră, reziliența climatică și decarbonizarea sunt dimensiuni interdependente ale aceluiași sistem de transport. Pentru România, care are una dintre cele mai ridicate rate ale mortalității rutiere din UE și o rețea rutieră tot mai

expusă la inundaţii şi canicule, tratarea separată a acestor obiective conduce la oportunităţi ratate, dubluri de efort şi investiţii suboptime.

Analiza arată că un set relativ restrâns de intervenţii – managementul vitezei, inspecţia tehnică integrată, drenajul sigur, întreţinerea bazată pe performanţă, infrastructura pentru utilizatorii vulnerabili şi transferul modal – produce beneficii simultane pentru siguranţă, reziliență şi emisii. Experienţa Poloniei arată că o reducere rapidă a mortalităţii rutiere este posibilă într-un context regional similar, iar experienţa Sloveniei arată costul ridicat al lipsei de pregătire pentru evenimente extreme.

Cea mai importantă implicaţie practică este integrarea, încă din faza de pregătire a proiectelor, a evaluărilor de siguranţă rutieră şi de risc climatic, susţinută de indicatori comuni, date integrate şi mecanisme de finanţare care recompensează beneficiile multiple. Pentru învăţământul tehnic ingineresc, aceasta presupune formarea unor specialişti capabili să proiecteze infrastructuri rutiere sigure, reziliente şi cu emisii reduse.

BIBLIOGRAFIE

[1]. F.A. BURLACU, J. MOODY, B.M. TURNER, C. AL HADDAD: *„Safe Roads for a Changing Climate. Unlocking Joint Benefits from Safer, More Resilient, and Greener Road Transport”*, World Bank, Washington DC, **2026**.

[2]. WORLD HEALTH ORGANIZATION: *„Road traffic injuries: Fact sheet”*, WHO, Geneva, **2026**.

[3]. ETSC: *„Ranking EU progress on road safety. 20th Road Safety Performance Index (PIN) Report”*, European Transport Safety Council, Brussels, **2026**.

[4]. ETSC: *„EU Road Safety Exchange – country profiles: Romania, Bulgaria”*, European Transport Safety Council, Brussels, **2026**.

[5]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Strategia națională privind siguranța rutieră pentru perioada 2022–2030”*, aprobată prin HG nr. 682/2022, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 535 bis, București, **2022**.

[6]. R. DUMITRESCU: *„Official data: 2024 was the hottest year on record in Romania”*, Romania Insider, București, **2025**.

[7]. IFRC: *„Romania: Floods – DREF Operation n° MDRRO006”*, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, ReliefWeb, **2024**.

[8]. D. YOUGOVA: *„Romania's climate action strategy”*, European Parliamentary Research Service, PE 772.860, Brussels, **2025**.

[9]. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: *„Greenhouse gas emissions from transport in Europe”*, EEA, Copenhagen, **2025**.

[10]. ACEA: *„Vehicles on European Roads”*, European Automobile Manufacturers' Association, Brussels, **2024**.

[11]. ACEA: *„Average age of the EU vehicle fleet, by country”*, European Automobile Manufacturers' Association, Brussels, **2024**.

[12]. A.F. BURLACU, C. RĂCĂNEL, A. BURLACU: *„Preventing aquaplaning phenomenon”*, Građevinar, vol. 70, nr. 12, **2018**.

[13]. O. KEOU, M. DEHGHANI, M. BRETEAU: *„Disaster and Climate-Resilient Transport Guidance Note”*, World Bank, Washington DC, **2025**.

[14]. iRAP: *„Mapping Climate and Road Safety Risk in Bhubaneshwar and Surat, India”*, International Road Assessment Programme, **2025**.

[15]. A.F. BURLACU, S. MICHAELS, F. PEDROSO: *„What has the Pacific taught us about building resilient and safe roads?”*, World Bank Blogs, Washington DC, **2024**.

[16]. IRU: *„Romania: driving restrictions (>7.5 t) due to heat waves on 13 July and 14 July 2024”*, World Road Transport Organisation, Geneva, **2024**.

[17]. E. LANCELOT, C. BELLAS, A. DA COSTA ș.a.: *„How to Prepare and Execute Performance Based Contracts for Road Asset Management”*, World Bank, Washington DC, **2026**.

[18]. GUVERNUL REPUBLICII SLOVENIA: *„The 2023 floods were not just a natural disaster, they were a turning point”*, Office for Post-Flood and Landslide Reconstruction, Ljubljana, **2025**.

[19]. R. ELVIK, P. CHRISTENSEN, A.H. AMUNDSEN: *„Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model”*, Institute of Transport Economics (TØI), Oslo, **2004**.

[20]. S.K. FONDZENYUY, B.M. TURNER, A.F. BURLACU ș.a.: *„The Impact of Speed Limit Change on Emissions: A Systematic Review of Literature”*, Sustainability, vol. 16, nr. 17, **2024**.

[21]. B.M. TURNER, E.M. EICHINGER-VILL, S. EL-SAMRA, C. ADRIAZOLA-STEIL, A.F. BURLACU: *„Guide for Safe Speeds: Managing Traffic Speeds to Save Lives and Improve Livability”*, World Bank, Washington DC, **2024**.

[22]. WORLD BANK: *„Ecuador Country Climate and Development Report”*, World Bank, Washington DC, **2024**.

[23]. ETSC: *„Poland – EU Road Safety Exchange country profile; PIN Award 2023”*, European Transport Safety Council, Brussels, **2023**.

[24]. M. BROWNE, J. ALLEN, J. LEONARDI: *„Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London”*, IATSS Research, vol. 35, pp. 1–6, **2011**.

[25]. WORLD BANK: *„Replicable Mass Transit Systems Reduce Emissions and Connect People to Opportunities in Latin American Cities”*, World Bank, Washington DC, **2024**.

[26]. M. LAWRENCE, R. BULLOCK, J. MOODY: *„Unlocking Green Logistics for Development”*, World Bank, Washington DC, **2023**.

[27]. J. HUERTAS, A. MOGRO, A. MENDOZA, M. HUERTAS, R. IBARRA: *„Assessment of the Reduction in Vehicles Emissions by Implementing Inspection and Maintenance Programs”*, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 17, nr. 13, **2020**.

[28]. WORLD BANK: *„Motorization Management and the Trade of Used Vehicles”*, World Bank, Washington DC, **2021**.

MODELAREA ŞI ANALIZA STATICĂ A UNUI POD HOBANAT, CU LUAREA ÎN CONSIDERARE A ETAPELOR DE EXECUȚIE

Chiotan Claudia, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: claudia_chiotan@yahoo.com

Răcănel Ionuţ-Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro

Rezumat

Mai multe accidente produse la poduri în timpul construcției au evidențiat importanța monitorizării eforturilor și a deformațiilor pe parcursul întregului proces de execuție. Prelucrarea datelor obținute din monitorizarea in situ oferă informații esențiale despre comportarea podurilor. Aceste informații pot fi utilizate în etapa de proiectare a unor noi poduri.

Lucrarea de față prezintă rezultatele, exprimate prin forțe și deplasări, înregistrate pe parcursul procesului de construcție a unui pod hobanat peste râul Dâmbovița, în București.

Pentru determinarea stării de eforturi și deformații în elementele structurale, a fost elaborat un model de calcul 3D bazat pe metoda elementului finit. Pentru modelarea suprastructurii, a fost creată o rețea plană de grinzi (grilaj), utilizându-se elemente finite de tip bară spațială, cu două noduri și șase grade de libertate pentru fiecare nod: trei translații și trei rotații. Pentru modelarea plăcii de beton, au fost utilizate elemente finite plane cu 4 noduri, care prezintă atât un comportament de placă, cât și de membrană.

În cadrul analizelor statice efectuate, care au luat în considerare etapele de construcție, au fost incluse acțiunile caracteristice și frecvente, conform standardelor Eurocod pentru combinarea încărcărilor. Scopul principal al analizei a fost monitorizarea eforturilor secționale și a deplasărilor, atât în hobane și în elementele suprastructurii, cât și în piloni și fundațiile acestora.

Rezultatele analizelor neliniare efectuate pe etapele de construcție au indicat faptul că tehnologia de execuție aleasă este adecvată, iar nivelul de siguranță asigurat structurii este corespunzător.

Cuvinte cheie: pod hobanat, stare de tensiune-deformare, etape de construcție, model, analiză

Abstract

Several accidents that occurred at bridges during construction have highlighted the importance of monitoring efforts and deformations throughout the construction process. Processing the data obtained from in-situ monitoring provides essential information about the behavior of bridges. This information can be utilized in the design phase of new bridges.

This paper presents the results, in terms of forces and displacements, during the construction process of a cable-stayed bridge over the Dâmbovița River in Bucharest.

To determine the stress-strain state in the structural elements, a 3D finite element analysis model was developed. For modeling the superstructure, a planar grillage was created and finite elements used were straight space beams with two nodes and six degrees of freedom for each node: three translations and three rotations. To model the concrete slab, plane finite elements with 4 nodes were used, exhibiting both plate and membrane behavior.

In the static analyses conducted considering the construction stages, characteristic and frequent actions were considered according to Eurocode standards for load combinations. The main purpose of the conducted analysis was to monitor the internal forces and displacements in both, the cables and the superstructure elements, as well as in the pylons and their foundations.

The results of the nonlinear analyses conducted in construction stages have indicated that the chosen construction technology is suitable, and the safety level achieved for the structure is appropriate.

Keywords: cable-stayed bridge, stress-strain state, construction stages, model, analysis

1. PREZENTARE GENERALĂ

Pentru a evita prăbușirea podurilor în timpul construcției, inginerii trebuie să ia în considerare, încă din etapa de proiectare a podului, forţele şi deplasările structurii pentru fiecare etapă de execuție.

În cadrul acestui studiu au fost analizate starea de tensiuni şi deformații, precum și comportarea la deformare a structurii Podului Ciurel.

Starea de tensiuni și deformații a fost studiată și analizată la nivelul tablierului și al cablurilor, în timp ce deformațiile au fost evaluate atât la nivelul întregii structuri, prin analiza deformației totale, cât și la nivelul pilonilor.

1.1. Date de proiectare

Podul Ciurel face parte din proiectul „Penetrație Splaiul Independenței – Ciurel – Autostrada A1, pod peste râul Dâmbovița în cadrul nodului rutier Ciurel”, pentru un singur sens de circulație [1].

Podul are o lungime totală de 235,20 m. Acesta a fost proiectat cu două deschideri asimetrice: prima deschidere are o lungime de 69,50 m, iar cea de-a doua, de 164,70 m [1].

Lățimea totală a podului este de 13,90 m, acesta fiind prevăzut cu trei benzi de circulație, fiecare având o lățime de 3,50 m, și două trotuare, fiecare cu o lățime de 1,25 m [1].

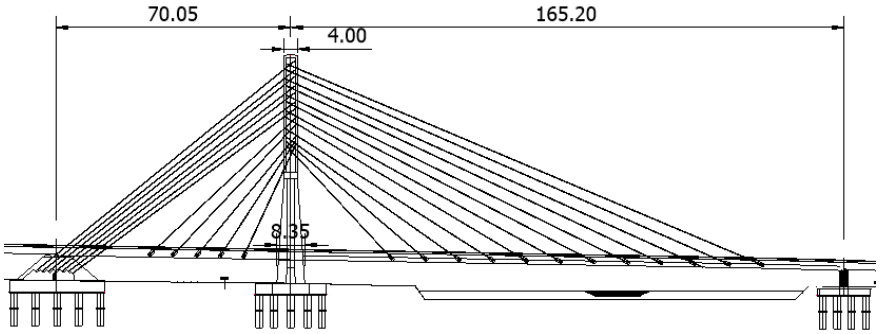


Figura 1. Vedere longitudinală

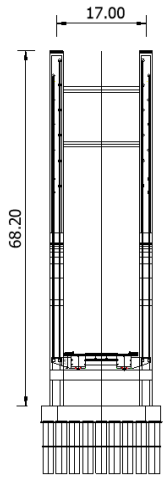


Figura 2. Secțiune transversală

Suprastructura podului este de tip mixt, fiind alcătuită din două casete metalice închise și o placă din beton monolit, care lucrează în conlucrare cu structura metalică [1].

Casetele metalice au o lățime de 2,80 m și o înălțime de 2,50 m fiecare. Distanța dintre axele celor două casete este de 8,70 m [1].

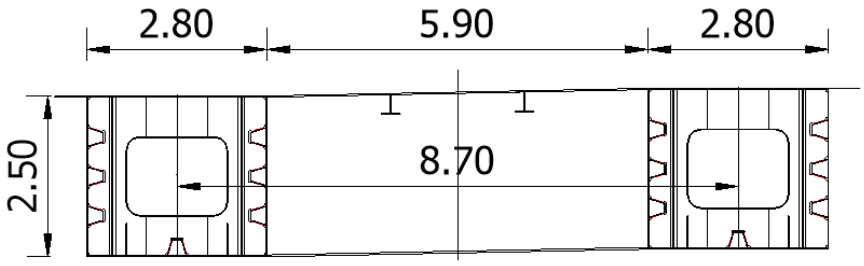


Figura 3. Secțiune transversală tablier

Cablurile sunt dispuse în două plane, având o configurație de tip harpă. Acestea sunt organizate în 12 perechi, însă distanțele dintre perechi sunt variabile. Pilonul are forma literei „H”, fiind prevăzut cu două grinzi transversale suplimentare pentru creșterea rezistenței la torsiune. Acesta are o

secţiune transversală variabilă pe înălţime, înălţimea totală fiind de 30,80 m (Figura 1) [1].

Podul are fundaţii de adâncime, realizate din piloţi cu diametrul de 2,00 m şi lungimea de 18,00 m pentru blocul de ancoraj, respectiv de 32,00 m pentru pilon. Acesta a fost proiectat pentru zona seismică 8_1, caracterizată printr-o perioadă de colţ T_C=1,6 s şi o valoare a acceleraţiei maxime a terenului a_g=0,24g, conform normativului românesc P100-1/2006 şi standardului românesc SR 11100/1-93 [1].

Podul este amplasat în municipiul Bucureşti, în apropierea barajului de la Lacul Morii [1].

2. MODELUL, ETAPELE DE EXECUȚIE, CARACTERISTICI ŞI ÎNCĂRCĂRI

2.1. Model

Pentru analiza statică a modelului tridimensional (3D) a fost utilizată Metoda Elementelor Finite (MEF).

Pentru modelarea suprastructurii a fost realizată o reţea de grinzi plană, utilizându-se elemente finite de tip bară spaţială, cu două noduri şi şase grade de libertate pentru fiecare nod: trei translaţii şi trei rotaţii. Pentru modelarea plăcii din beton au fost utilizate elemente finite plane cu patru noduri, care prezintă atât comportare de placă, cât şi de membrană [8], [9].

Elementele longitudinale reprezintă cele două casete metalice şi antretoaza longitudinală. Elementele transversale reprezintă grinzile transversale dispuse între cele două casete [8], [9].

Analiza efectuată a fost una neliniară, desfăşurată pe etape de construcţie. Fiecare etapă de execuţie ia în considerare forma deformată a structurii rezultată din etapa precedentă. De asemenea, a fost luat în considerare comportamentul neliniar al cablurilor.

2.2. Etape de execuţie

Conform proiectului tehnic, au fost luate în considerare 40 de etape de execuţie. În prima etapă au fost realizate fundaţiile, pilonul şi blocul de ancoraj.

Următoarele 34 de etape au constat în montarea tronsoanelor tablierului pe eşafodaje provizorii, sudarea casetelor metalice de grinzile transversale şi longitudinale, turnarea pe tronsoane a plăcii din beton armat a tablierului în zona comprimată, sudarea consolelor de susţinere a cablurilor, precum şi montarea şi tensionarea acestora [1].

În etapa a 37-a s-au realizat tensionarea finală a cablurilor, montarea grinzii parapetului de siguranță și turnarea plăcii din beton armat pe porțiunea rămasă a tablierului [1].

În etapa a 38-a s-au executat turnarea căii de rulare și montarea parapetelor de siguranță și pietonale [1].

În etapa a 39-a au fost demontate pilele provizorii, iar în etapa a 40-a s-a realizat echilibrarea tensiunilor din cabluri, în vederea obținerii geometriei finale proiectate a tablierului [1].

Pentru modelul tridimensional, etapele de execuție au fost comasate, fiind luate în considerare doar 17 etape [11], [12].

2.3. Materiale

Betonul utilizat pentru elevația infrastructurii, fundații, placa din beton armat a tablierului și pile este de clasa C35/45, iar oțelul utilizat pentru tablier și grinzile longitudinale și transversale este de marca S355 NL [13].

Caracteristicile materialelor utilizate în modelare au fost stabilite în conformitate cu normativele și standardele în vigoare [13].

2.4. Încărcări

Încărcările luate în considerare în cadrul analizei sunt: greutatea proprie, calculată automat de program pe baza geometriei și a secțiunilor transversale ale tuturor elementelor; greutatea betonului proaspăt turnat; greutatea îmbrăcăminții rutiere și eforturile normale rezultate în urma tensionării cablurilor. Aceste acțiuni au fost activate în modelul cu elemente finite corespunzător fiecărei etape de execuție [14].

Toate încărcările au fost combinate în conformitate cu normativele și standardele în vigoare, utilizând coeficienții parțiali de siguranță [13], [15].

3. REZULTATE

În urma analizelor neliniare pe etape de execuție, au fost determinate starea de tensiuni și deformații, precum și deplasările structurii corespunzătoare fiecărei etape de construcție.

Acest tip de analiză a permis definirea etapelor de execuție și aplicarea succesivă a încărcărilor asupra structurii. Rezultatele analizelor sunt prezentate în graficele următoare.

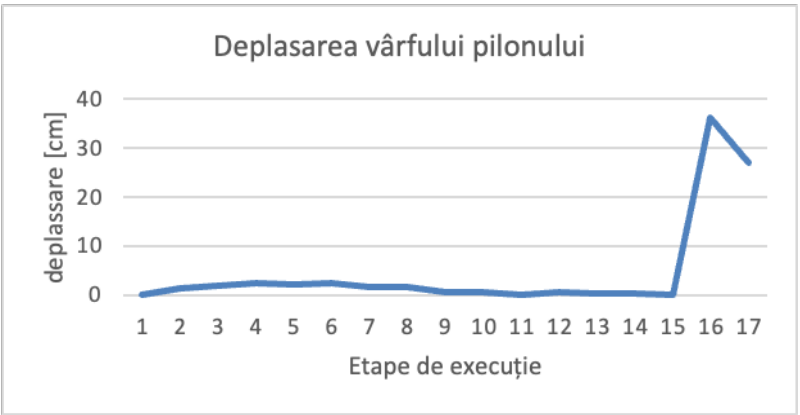


Figura 4. Deplasarea vârfului pilonului

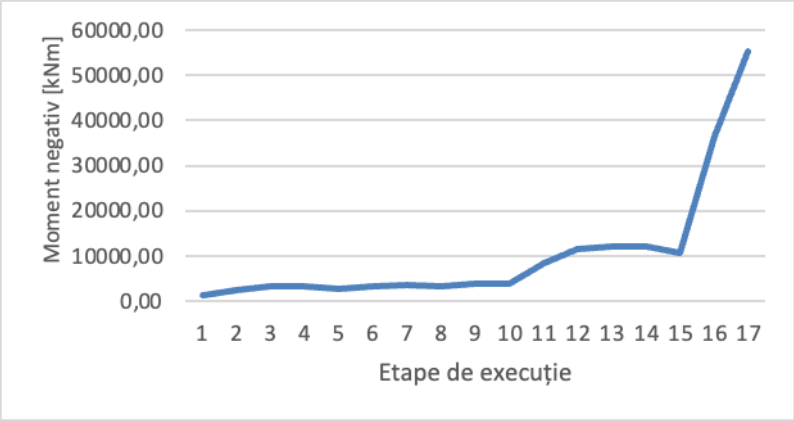


Figura 5. Diagramă moment negativ în tablier, în secțiunea de mijloc a deschiderii principale

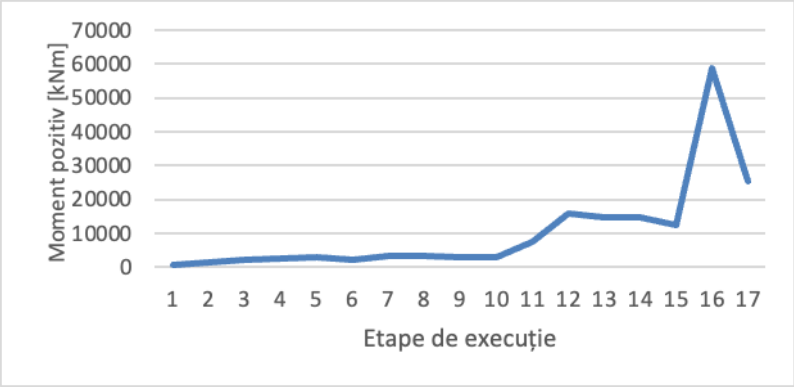


Figura 6. Diagramă moment pozitiv în tablier, în secțiunea de mijloc a deschiderii principale

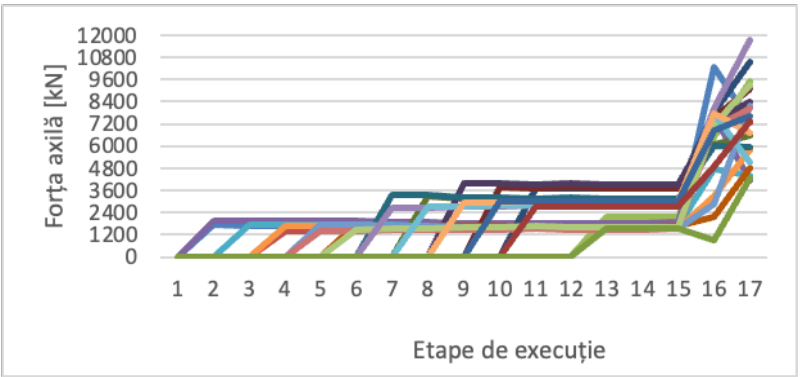


Figura 7. Evoluția forțelor axiale în cabluri pe partea dreaptă a tablierului pe ambele deschideri

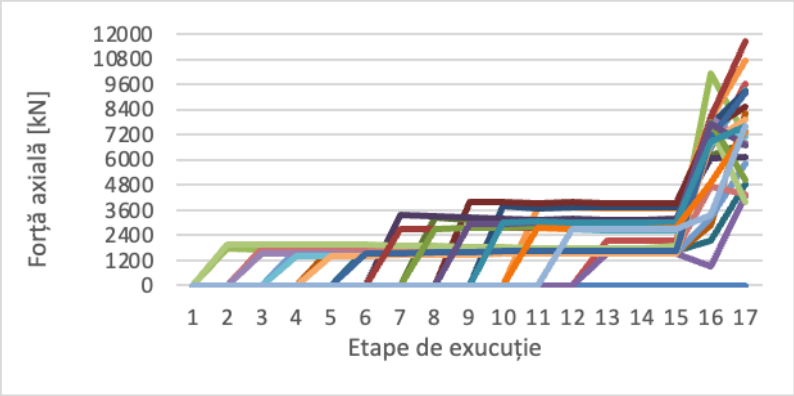


Figura 8. Evoluția forțelor axiale în cabluri pe partea stângă a tablierului pe ambele deschideri

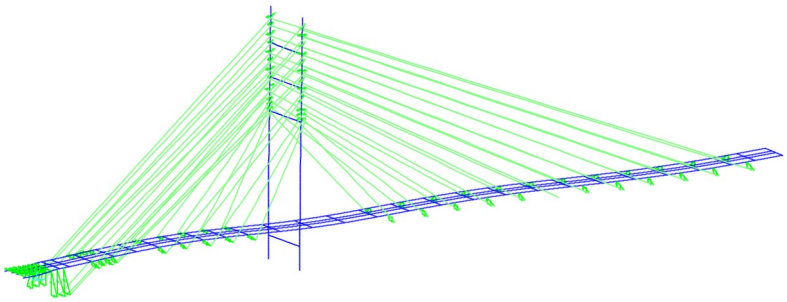


Figura 9. Forma deformată a podului pentru ultima etapă de execuție

4. CONCLUZII

Metoda prezentată în această lucrare evidențiază importanța luării în considerare a etapelor de execuție încă din faza de proiectare, pentru a anticipa eventualele probleme care pot apărea în timpul construcției. Valorile deplasărilor și ale stării de tensiuni și deformații pot influența alegerea metodei de execuție. În cazul apariției unor probleme, metoda permite simularea impactului modificărilor și adaptărilor necesare asupra structurii.

Valorile reduse ale momentelor încovoietoare din tablier și pilon demonstrează că metoda de execuție adoptată este adecvată (Figura 4, Figura 5 și Figura 6).

Metoda de execuție permite limitarea deplasărilor tablierului, precum și a tensiunilor și deformațiilor, la valori reduse și foarte reduse (Figura 4, Figura 5 și Figura 6).

Utilizarea pilelor provizorii în timpul construcției podului permite limitarea deplasării vârfului pilonului, precum și a eforturilor axiale și a momentului încovoietor de la baza acestuia (Figura 4, Figura 5 și Figura 6).

Valoarea maximă a deplasării pilonului în ultima etapă de execuție este de aproximativ $H_{pilon}/250$. Această valoare se încadrează în limitele recomandate de normativele în vigoare.

Cablurile au fost tensionate în două etape, ceea ce a permis un control mai bun al deplasărilor tablierului și pilonului.

Pentru obținerea contrasăgeții tablierului, unele cabluri au fost tensionate într-o singură etapă, iar altele, în două etape.

Figurile 7 și 8 prezintă modul în care cablurile au început să preia eforturi în diferite etape de execuție, precum și tendința eforturilor axiale din cabluri de a se autoregla în funcție de deformarea generală a structurii.

Valoarea inițială a efortului axial din cabluri este de 2.000 kN, iar valoarea finală este de 1.180 kN.

În Figura 9 se poate observa contrasăgeata suprastructurii în etapa finală, realizată pentru a compensa săgeata care se dezvoltă în suprastructură în timpul exploatării.

Din graficele prezentate în Figurile 7 și 8 se observă că variația valorilor eforturilor axiale din cabluri este redusă. Acest lucru demonstrează o comportare favorabilă a structurii și contribuie la diminuarea riscului de detensionare a cablurilor.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Caiet de sarcini „Penetrație Splaiul Independenței Autostrada București-Ploiești, Pod peste râul Dâmbovița*.”

[2]. W. JR. PODOLNY: „*Cable-Suspended Bridges*”, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

[3]. M. KUTUT, V. ZAVADSKAS, E.K.: „*Multicriteria assessment of unfinished construction projects*”, GRAĐEVINAR, 67 (2015) 4, pp. **319–328**, doi: **10.14256/JCE.1179.2014**

[4]. I. R. RĂCĂNEL: „*Curs Poduri metalice”*, Universitatea Tehnică de Construcții

București

[5]. W. JR. PODOLNY, J.B. SCALZY: *„Construction and Design of Cable Stayed-Bridges”*, Ediția a doua, John Wiley & Sons, **1986**

[6]. M. TANG, E. WAI-FENCHEN, L. BUAN: *„Cable Stayed-Bridges. Bridges Engineering Handbook”*, Boca Raton: CRC Press, **2000**

[7]. D. J. FARQUAR: *„Cable Stayed-Bridges, ICE Manual of bridge engineering”*, doi: **10.1680/mobe34525.0357**, pp. **357–381**, **2008**

[8]. I. PETRESCU: *„Curs MEF”*, Universitatea Tehnică de Construcții București

[9]. *„CSI Bridge manual”*

[10]. K. H. SIDEEK: *„Cable element analysis technique”*, Al-Mutansiriya, Bagdad, Irak

[11]. M. J. GRABOW: *„Construction Stage Analysis of Cable Stayed-Bridges”*, Technical University of Hamburg, Hamburg, **2004**

[12]. I.R. RĂCĂNEL: *„Raport privind verificarea structurii de rezistență pentru podul cu hobane de la km 0+540 pe canal Dunăre-Marea Neagră”*

[13]. *„SR EN 1991-1-1:2004: Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-1: Acțiuni generale- Greutăți specifice, greutăți proprii, încărcări utile pentru clădiri”*

[14]. *„SR EN 1991-1-6:2006: Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-6: Acțiuni generale – Acțiuni pe durata execuției”*

[15]. *„SR EN 1990/NA:2006: Eurocod: Bazele proiectării structurilor, Anexă națională”*

STRUCTURI RUTIERE PENTRU PLATFORME INDUSTRIALE CU TRAFIC GREU: SINTEZĂ COMPARATIVĂ ÎNTRE STRUCTURI RUTIERE SUPLE/SEMIRIGIDE, BETON DE CIMENT RUTIER ȘI PAVAJE PREFABRICATE

Clitan Andrei-Florin, șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcţii, Departamentul Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, e-mail: andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro
Hoda Gavril, Conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcţii, Departamentul Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, e-mail: gavril.hoda@cfdp.utcluj.ro
Beca Ilinca Mirela, Șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcţii, Departamentul Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, e-mail: Ilinca.Beca@cfdp.utcluj.ro

Rezumat

Platformele industriale sunt zone în care traficul poate deveni intens, atât ca volum, cât și ca sarcini. Structurile lor rutiere se dimensionează uzual la osia standard de 115 kN, deși în realitate pot circula și vehicule cu sarcini mai mari. Lucrarea compară, pe baza literaturii și a normativelor PD 177 și NP 081, trei tipuri de structuri: cu mixturi asfaltice (suple și semirigide), din beton de ciment rutier și cu pavaje prefabricate autoblocante. S-au considerat structuri clasice, alcătuite din mixturi asfaltice (4 cm BA16, 6 cm BAD22.4 și 8 cm AB31.5), respectiv din beton de ciment rutier, aflate pe pământuri de fundare necoeziv (P2) și coeziv (P5), și s-au efectuat verificări cu programul de calcul pentru trafic de 1, 3 și 5 m.o.s. În ultima parte s-a estimat efectul unei supraîncărcări de până la 30% pe osie asupra numărului de treceri admisibile.

Cuvinte cheie: platforme industriale, structuri rutiere suple și semirigide, dală de beton de ciment rutier, pavaje prefabricate autoblocante, supraîncărcare

Abstract

Industrial platforms are areas where traffic can become heavy, both in volume and in axle loads. Their pavement structures are usually designed for the 115 kN standard axle, although vehicles with higher loads may also operate in practice. Based on the literature and on the Romanian standards PD 177 and NP 081, the paper compares three types of structures: asphalt mixtures (flexible and semi-rigid), road cement concrete and interlocking precast pavements. Conventional structures made of asphalt mixtures (4 cm BA16, 6 cm BAD22.4 and 8 cm AB31.5) and of road cement concrete were considered, on non-cohesive (P2) and cohesive (P5) subgrade soils, and checks were carried out with a design software for 1, 3 and 5 million standard axles. In the last part, the effect of an axle overload of up to 30% on the allowable number of load repetitions was estimated.

Keywords: industrial platforms, flexible and semi-rigid pavements, road cement concrete slab, interlocking precast pavements, overloading

1. INTRODUCERE

Traficul platformelor industriale şi logistice (parcări de camioane, zone de încărcare, drumuri interne) este format, de regulă, din vehicule rutiere obişnuite; în unele cazuri pot apărea însă vehicule cu sarcini mai mari, iar intensitatea traficului şi sarcinile diferă de cele ale drumurilor publice. Conform normativelor româneşti, sistemele rutiere suple şi semirigide (PD 177 [1]) şi cele rigide (NP 081 [2]) se dimensionează la osia standard de 115 kN, iar traficul de calcul se exprimă în milioane de osii standard (m.o.s.); valoarea corespunde masei maxime de 11,5 t admise pentru osia simplă motoare de OG 43/1997 [3]. Supraîncărcarea vehiculelor grele este documentată atât în Europa [4], cât şi la nivelul ţării noastre. În lucrare se consideră, ca scenariu de calcul, osii mai încărcate decât cea standard cu 10, 20 şi 30%.

Lucrarea îşi propune o sinteză comparativă a celor trei tipuri uzuale de structuri pentru astfel de platforme: cu mixturi asfaltice, cu dală de beton de ciment rutier şi cu pavaje prefabricate.

2. STRUCTURI RUTIERE SUPLE ŞI SEMIRIGIDE

Sistemul rutier suplu, cu straturi din mixturi asfaltice peste un strat de bază din agregate naturale, preia sarcina prin grosimea straturilor şi prin baza granulară, însă, chiar dacă nu se ţine cont în calcule, comportarea structurii rutiere depinde de temperatura ambiantă. Dimensionarea conform PD 177 [1] se face pentru o perioadă de perspectivă de 15 ani.

Pe zonele cu sarcini lente sau staționare, făgaşuirea reprezintă principala degradare. Pe lângă aceasta, mai apar, conform clasificării din Normativul AND 554-2002 [5], următoarele degradări: denivelările şi făgaşele, fisurile şi crăpăturile, excesul de bitum, suprafeţele şlefuite şi pietrişul sau criblura alergătoare.

3. STRUCTURI RUTIERE RIGIDE

Sistemul rutier rigid are dale din beton de ciment rutier, aşezate pe un strat suport (straturi de fundaţie superior şi inferior şi, eventual, strat de formă); ele preiau sarcina prin rigiditatea proprie şi o distribuie pe o suprafaţă mare a patului drumului, iar solicitarea determinantă este tensiunea de întindere din încovoiere la marginea dalei, în dreptul rosturilor. NP 081 [2] se poate aplica şi la drumurile de exploatare, şi implicit şi la platforme industriale. Perioada de perspectivă este de 30 de ani. Variabilele de proiectare sunt grosimea dalei (cel puţin 18 cm), clasa betonului rutier BcR, definită prin rezistenţa caracteristică la întindere din încovoiere (BcR 3,5; 4,0; 4,5 sau 5,0), şi alcătuirea stratului suport.

Dimensionarea conform NP 081 [2] se bazează pe un singur criteriu: tensiunea de întindere din încovoiere de la marginea dalei, σ, nu trebuie să depășească tensiunea admisibilă a betonului,

$$\sigma \le \sigma_{adm} = R_{ti} \cdot 1{,}1 \cdot (0{,}70 - 0{,}05 \cdot \log N_c) \quad (1)$$

unde R_{ti} este rezistența caracteristică la întindere din încovoiere a betonului, 1,1 este coeficientul de creștere a rezistenței între 28 și 90 de zile, iar N_c este traficul de calcul în m.o.s. Tensiunea σ include, după clasa tehnică a drumului, și efectul gradientului zilnic de temperatură: ipoteza 1 la clasele I și II ($\sigma_t + 0{,}8\ \sigma_{grad}$), ipoteza 2 la clasele III și IV ($\sigma_t + 0{,}8 \cdot 0{,}65\ \sigma_{grad}$) și ipoteza 3 la clasa V (numai traficul, σ_t). Stratul suport se caracterizează prin modulul de reacție K, determinat din cel al pământului de fundare, K_0, și din grosimea echivalentă $H_{ech} = \Sigma\ h_i \cdot a_i$, unde coeficienții de echivalare a_i sunt cei din NP 081 [2]. Comportarea la oboseală este foarte sensibilă la raportul dintre tensiunea produsă de sarcină și rezistența betonului: sub o anumită valoare a acestui raport dala nu se degradează prin oboseală, iar peste ea degradarea crește rapid odată cu sarcina.

4. PAVAJE PREFABRICATE AUTOBLOCANTE

Pavajul prefabricat din beton este o structură segmentată: blocurile, rosturile umplute cu nisip și patul de nisip formează stratul de egalizare, care preia sarcina prin frecare între blocuri (interblocare) și o transmite fundației. Spre deosebire de structurile continue, la care geometria stratului de suprafață nu intervine în calcul, la pavaje forma blocurilor și schema de așezare pot constitui criterii de proiectare [6]. Pentru platformele industriale, grosimea blocurilor este, de regulă, de 10 sau 12 cm, în timp ce literatura menționează valori de 8–20 cm pentru zonele cu sarcini mari [6]. În România, pavajele se dimensionează ca structuri rutiere semirigide, conform PD 177 [1], iar forma blocurilor și schema de așezare nu intervin în dimensionare. În alte țări aceste elemente sunt avute în vedere: în Japonia, metoda standard TA-CBR derivă din dimensionarea structurilor suple, însă [6] subliniază că forma blocului și schema de așezare trebuie considerate criterii de proiectare, iar pentru analiză s-au dezvoltat programe cu elemente finite (de exemplu BLPAV3D, DesignPave, LOCKPAVE).

Blocurile trebuie să fie autoblocante, adică să aibă o formă care împiedică deplasarea și rotirea lor sub sarcină (Figura 1). După [6], forma și dimensiunile blocului sunt determinante pentru interblocare: blocurile dreptunghiulare sunt mai răspândite, dar cele cu margini dințate (pavajul dublu T) sunt concepute pentru o interblocare mai bună. Schema de așezare influențează de asemenea tensiunile: într-o modelare cu elemente finite sintetizată în [6], schema în spic (herringbone) a dat tensiuni și deplasări sub blocuri mai mici decât schema în rânduri paralele (stretcher), iar pentru blocurile dințate se recomandă spicul cu unghi de 100° sau 110°; aceeași sinteză nu raportează însă o dependență a

degradărilor observate în teren de dimensiunea blocurilor sau de schema de așezare.

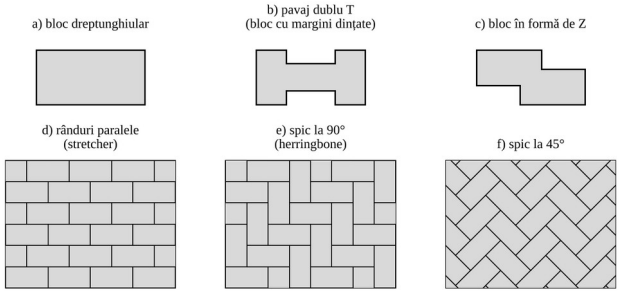


Figura 1. Forme de blocuri autoblocante (a–c; b – pavaj dublu T) și scheme de așezare (d–f), reprezentare schematică; unghiurile spicului se raportează la direcția de circulație

Performanța depinde și de execuție: în încercările pe model din [7], cea mai bună interblocare s-a obținut, la blocuri de 100 mm, cu pat de nisip de 50 mm și rosturi de 5 mm, iar la blocuri de 160 mm, cu pat de 80 mm; execuția inadecvată a produs făgașe, prin migrarea nisipului. Comportarea elementelor prefabricate nu depinde de temperatură [6], iar instalarea și repararea sunt rapide [7].

5. COMPARAȚIE

Tabelul 1 sintetizează principalele diferențe dintre cele trei tipuri de structuri; datele numerice provin din rezultatele programului de calcul prezentate în capitolul 6.

Tabelul 1. Comparație între cele trei tipuri de structuri

Criteriu	Mixturi asfaltice (suple / semirigide)	Dală de beton de ciment rutier	Pavaj prefabricat autoblocant
Preluarea sarcinii	strat flexibil; distribuție prin grosime și strat suport; la semirigid, strat stabilizat rigid	dală rigidă pe suprafață mare	elemente prefabricate autoblocante, care transmit sarcina prin rosturi, așezate pe pat de nisip
Cedări tipice	făgaș, deformații plastice, fisuri; fisurare reflectată la semirigid	fisuri la margini și rosturi, oboseală	făgaș prin execuție inadecvată, deplasarea nisipului
Sarcini lente	sensibil (făgaș)	favorabil	favorabil, dacă interblocarea este bună

Criteriu	Mixturi asfaltice (suple / semirigide)	Dală de beton de ciment rutier	Pavaj prefabricat autoblocant
Parametri de proiectare	grosimi, module, tip de bitum	grosime, clasa BcR, rosturi	în România, conform PD 177 (structură semirigidă), fără forma blocului și schema de așezare; în alte țări, acestea sunt criterii de proiectare [6]
Grosimi considerate	mixturi asfaltice 18 cm (4+6+8 cm) pe 20 cm piatră spartă sau balast stabilizat	dală BcR 4,5 de 21–23 cm, în funcție de trafic, pământ și strat suport	pavaj de 12 cm pe 20 cm balast stabilizat sau piatră spartă
Supraîncărcare +30% (estimare, 6.3)	oboseală −28…−34%; ε_z −61%; σ_r (semirigid) −86…−89%	−99,3%	ε_z −60%; σ_r −83…−87%
Execuție, reparații	rapidă, reparabilă pe straturi	prindere lentă, rosturi	instalare și reparare rapidă [7]

Costul total cuprinde costul inițial și cel de întreținere și reparații pe perioada de perspectivă; poziția relativă a soluțiilor depinde de grosimi, de prețurile locale și de perioada de analiză, iar studiile din literatură ajung la concluzii diferite [8], [9].

6. VERIFICĂRI LA OSIA STANDARD ŞI EFECTUL SUPRAÎNCĂRCĂRII

6.1. Structuri şi date de intrare

S-au considerat structurile din Figura 2, pe pământ de fundare P2 (necoeziv, pietriș cu nisip, E = 90 MPa) și P5 (coeziv, argilă prăfoasă, E = 70 MPa), în tipul climateric I, regim hidrologic 2b (nefavorabil), clasa tehnică IV, conform PD 177 [1] și NP 081 [2]. Calculele s-au efectuat pe baza acestor normative, inclusiv verificarea la îngheț–dezgheț, conform STAS 1709/1-90 [10] și 1709/2-90 [11]. Mixturile asfaltice sunt de 4 cm BA16, 6 cm BAD22.4 și 8 cm AB31.5, în total 18 cm, peste 20 cm de piatră spartă (structura suplă) sau de balast stabilizat cu ciment (structura semirigidă), 30 cm de balast și 40 cm de strat de formă din pământ stabilizat. Pavajul (blocuri de 12 cm) și dala de beton de ciment rutier de clasă BcR 4,5 s-au așezat pe același strat suport; traficul de calcul s-a considerat având valori de 1, 3 și 5 m.o.s., pe perioada de perspectivă a fiecărei structuri (15 ani la mixturile asfaltice și pavaje, 30 de ani la dală). Platformele se asimilează drumurilor de exploatare, fără o clasă tehnică stabilită; s-a adoptat RDO_{adm} = 1,00. La dală s-a aplicat ipoteza 2 (clasa tehnică IV).

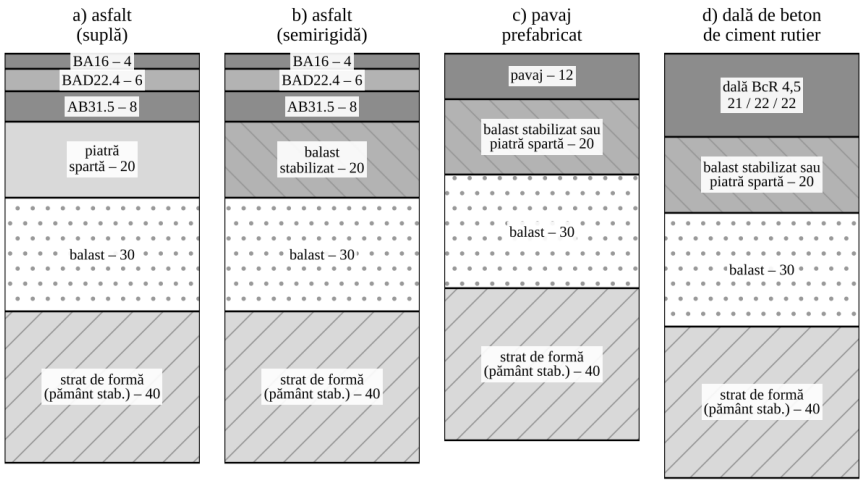


Figura 2. Structurile considerate (grosimi în cm, în afara scării; pământ de fundare P2 sau P5); grosimea dalei: 21 / 22 / 22 cm la 1 / 3 / 5 m.o.s., la ambele pământuri

Tabelul 2. Date de intrare

Strat	Grosime [cm]	E [MPa]	ν	Observaţii
BA16 + BAD22.4 / AB31.5	4 + 6 / 8	3231 / 5000	0,35	primele două, strat echivalent
Piatră spartă	20	500	0,27	suplă, pavaj, dală
Balast stabilizat cu ciment	20	1000	0,25	semirigidă, pavaj, dală
Balast	30	417 (P2); 378 (P5)	0,27	modul calculat de program
Strat de formă din pământ stabilizat	40	160 (P2); 145 (P5)	0,30	–
Pământ de fundare	–	90 (P2); 70 (P5)	0,30 (P2); 0,42 (P5)	K_0 = 53 (P2); 46 (P5) MN/m^3
Pavaj din beton	12	5000	0,25	strat continuu echivalent
Dală BcR 4,5	21–23	–	–	R_{ti} = 4,5 MPa; K în Tabelul 4

6.2. Verificări la osia standard

Osia standard are, conform PD 177 [1], sarcina pe roata dublă de 57,5 kN, presiunea de contact de 0,625 MPa şi raza suprafeţei circulare echivalente de 0,171 m. Conform PD 177 [1], structura verifică dacă rata de degradare prin oboseală (RDO), deformaţia specifică verticală de la nivelul patului drumului şi, la structura semirigidă şi la pavajul pe balast stabilizat, tensiunea de întindere de la baza stratului stabilizat nu depăşesc valorile admisibile:

$$\text{RDO} = N_c / N_{adm} \le \text{RDO}_{adm}; \quad N_{adm} = 4{,}27 \cdot 10^8 \cdot \varepsilon_r^{-3{,}97} \tag{2}$$

$$\varepsilon_{z,adm} = 329 \cdot N_c^{-0{,}27} \tag{3}$$

$$\sigma_{r,adm} = R_t \cdot (0{,}60 - 0{,}056 \cdot \log N_c) \tag{4}$$

unde N_c este traficul de calcul în m.o.s., N_{adm} – numărul admisibil de treceri ale osiei standard, în m.o.s., ε_r – deformația specifică de întindere la baza straturilor bituminoase, $\varepsilon_{z,adm}$ – deformația specifică verticală admisibilă la nivelul patului drumului, în με, σ_r – tensiunea de întindere la baza stratului stabilizat, iar R_t – rezistența la întindere a acestuia (0,35 MPa la structura semirigidă și 0,40 MPa la pavaj, valori adoptate de program). Pentru $N_c \le 1$ m.o.s., PD 177 prevede constanta $24{,}5 \cdot 10^8$ în relația (2) și $\varepsilon_{z,adm} = 600 \cdot N_c^{-0{,}28}$ în relația (3); în rapoartele programului, la $N_c = 1$ m.o.s., RDO și $\varepsilon_{z,adm}$ (329 με) corespund însă relațiilor de mai sus, deci sunt valori acoperitoare.

Rezultatele sunt date în Tabelul 3 și în Figura 3 pentru mixturile asfaltice și pavaj, respectiv în Tabelul 4 pentru dală. Structura suplă de 18 cm verifică numai la 1 m.o.s. la ambele pământuri: la 3 și 5 m.o.s. nu verifică la oboseală (RDO = 1,07 și 1,78 la P2; 1,14 și 1,9 la P5), deși verifică la deformația verticală (utilizare de 71–82% la P2 și 76–87% la P5, la 3 și 5 m.o.s.). Structura semirigidă verifică la toate valorile de trafic, la ambele pământuri, cu utilizări maxime de 74% la P2 și 79% la P5 (deformația verticală, la 5 m.o.s.). Pavajul de 12 cm pe balast stabilizat verifică de asemenea la toate valorile, criteriul determinant fiind deformația verticală (utilizare de 59–91% la P2 și 63–97% la P5), iar tensiunea din balastul stabilizat nu depășește 51%. Pe piatră spartă, la P5, pavajul verifică la 1 și 3 m.o.s. (utilizare de 71 și 96%), dar nu și la 5 m.o.s. (110%). Verificarea la îngheț–dezgheț este îndeplinită la toate structurile (K = 0,59–0,64 la P2 și 0,68–0,74 la P5, față de K_{adm} = 0,3–0,5).

Tabelul 3. Mixturi asfaltice și pavaj: rezultatele programului la osia standard (1 / 3 / 5 m.o.s.)

Pământ	**Structura**	**ε_r [με]**	**RDO**	**ε_z [με]**	**ε_z / $\varepsilon_{z,adm}$**	**σ_r / $\sigma_{r,adm}$**	**K / K_{adm} (îngheț)**	**Verifică**
P2	Suplă	115	0,36 / **1,07** / **1,78**	174	53 / 71	–	0,64 / 0,5	da / **nu** / **nu**
	Semirigidă	80	0,08 / 0,25 / 0,42	158	48 / 65	38 / 40	0,63 / 0,4	da / da / da
	Pavaj, balast stab.	–	–	194	59 / 79	42 / 44	0,59 / 0,3	da / da / da
P5	Suplă	117	0,38 / **1,14** / **1,9**	186	57 / 76	–	0,74 / 0,5	da / **nu** / **nu**
	Semirigidă	81	0,09 / 0,26 / 0,44	168	51 / 69	42 / 44	0,72 / 0,40	da / da / da
	Pavaj, balast stab.	–	–	207	63 / 85	47 / 49	0,68 / 0,30	da / da / da
	Pavaj, piatră spartă	–	–	234	71 / 96	–	0,70 / 0,30	da / da / **nu**

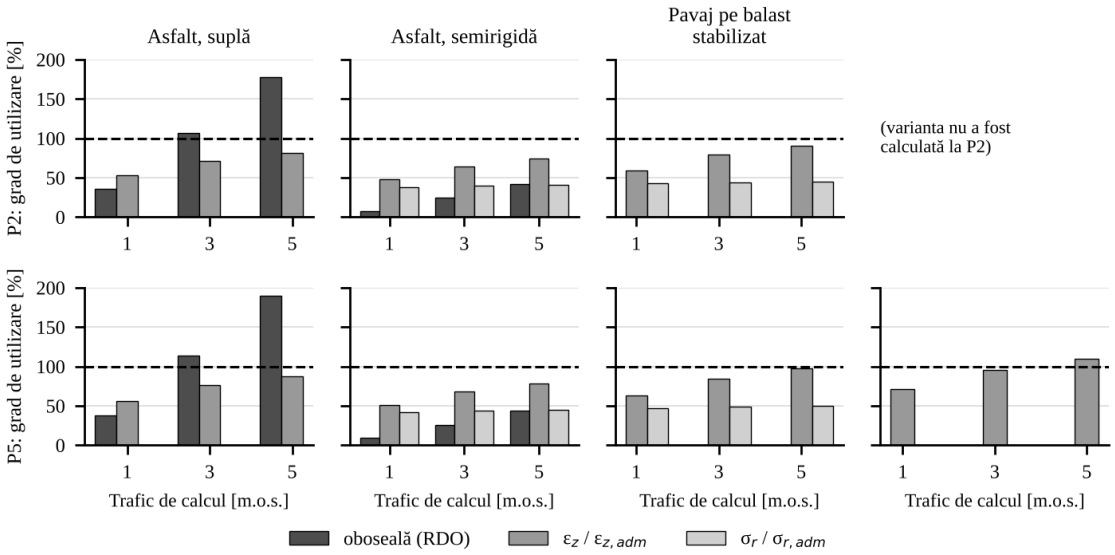


Figura 3. Gradul de utilizare la osia standard (limita: 100%)

La dală, din dimensionare au rezultat grosimi de 21 / 22 / 22 cm la 1 / 3 / 5 m.o.s. la ambele pământuri şi la toate variantele de strat suport cu strat de formă: balast stabilizat (K = 109,25 MN/m^3) sau piatră spartă (K = 108,25 MN/m^3) la P2, piatră spartă (K = 104,25 MN/m^3) sau piatră spartă stabilizată (K = 105,25 MN/m^3) la P5 (Tabelul 4).

Tabelul 4. Dală de beton de ciment rutier BcR 4,5, ipoteza 2: rezultatele programului (1 / 3 / 5 m.o.s.)

Pământ	**Strat suport sub dală**	**K [MN/m^3]**	**σ_{adm} [MPa]**	**Grosimea dalei [cm]**	**K / K_{adm}**
P2	piatră spartă 20 / balast 30 / formă 40	108,25	3,47 / 3,35 / 3,29	21 / 22 / 22	0,61 / 0,25
P2	balast stabilizat 20 / balast 30 / formă 40	109,25	3,47 / 3,35 / 3,29	21 / 22 / 22	0,60 / 0,25
P5	piatră spartă 20 / balast 30 / formă 40	104,25	3,47 / 3,35 / 3,29	21 / 22 / 22	0,70 / 0,30
P5	piatră spartă stab. 20 / balast 30 / formă 40	105,25	3,47 / 3,35 / 3,29	21 / 22 / 22	0,69 / 0,30

6.3. Efectul supraîncărcării

Normativele PD 177 [1] şi NP 081 [2] verifică structura numai la osia standard şi nu prevăd o procedură pentru osii mai încărcate. Efectul supraîncărcării cu 10, 20 şi 30% (λ = 1,1; 1,2; 1,3) s-a estimat de aceea pornind de la rezultatele programului, în patru etape. În prima, sarcina pe roata dublă s-a majorat la λ·57,5 kN, cu presiunea de contact constantă, astfel încât raza amprentei creşte proporţional cu √λ. În a doua, cu un model elastic multistrat, cu

straturi legate [12], aplicat structurilor din Tabelul 2, s-au calculat rapoartele dintre ε_r, ε_z şi σ_r la osia supraîncărcată şi la cea standard, iar la dală raportul tensiunilor de la marginea dalei, cu relația Ioannides et al. [13]; rapoartele s-au aplicat valorilor obținute din dimensionare. În a treia etapă s-a determinat numărul de treceri admisibile, N_{adm}, cu relațiile (2)–(4) inversate în raport cu N_c, pentru structurile asfaltice şi pavaj, şi cu relația (1) inversată pentru beton de ciment, adică

$$\log N_{adm} = [0{,}70 - \sigma / (1{,}1 \cdot R_{ti})] / 0{,}05 \quad (5)$$

În a patra, efectul s-a exprimat prin reducerea relativă a numărului de treceri admisibile față de osia standard,

$$\Delta N = 1 - N_{adm,\lambda} / N_{adm,1} \quad (6)$$

unde $N_{adm,\lambda}$ şi $N_{adm,1}$ sunt numerele de treceri admisibile la osia supraîncărcată şi la cea standard. La +30%, raporturile de răspuns (P2 – P5) sunt: 1,11 (suplă) şi 1,09 (semirigidă) la ε_r; 1,29 la ε_z; 1,21 (semirigidă) şi 1,17–1,18 (pavaj) la σ_r; 1,20 la tensiunea de la marginea dalei. Metoda presupune că legile din normative, calibrate pentru osia standard, rămân valabile la sarcini mai mari; rezultatele sunt estimări comparative, nu verificări în programul de calcul.

Reducerile numărului de treceri admisibile sunt prezentate în Tabelul 5 şi în Figura 4; ele nu depind de traficul de calcul, legile de oboseală şi diferă puțin între cele două pământuri. La +30%, numărul de treceri admisibile scade cu 28–34% la oboseala straturilor bituminoase, cu 60–61% la deformația verticală a patului drumului şi cu 83–89% la tensiunea din balastul stabilizat. La dală, reducerea este mult mai mare, de 81,8%, 96,5% şi 99,3% la +10, +20 şi +30% (P2), datorită legii de oboseală abrupte din NP 081 [2]; în literatură, exponentul relației de echivalare a sarcinilor pentru plăci rigide variază între 4 şi peste 20 [14], deci valorile pentru dală depind puternic de legea adoptată.

Tabelul 5. Reducerea numărului de treceri admisibile la o osie supraîncărcată, estimare (P2 / P5)

Structura şi criteriul	+10%	+20%	+30%
Asfalt, suplă: oboseală (RDO)	−15%	−25% / −26%	−34%
Asfalt, semirigidă: oboseală (RDO)	−12% / −13%	−22%	−28% / −29%
Asfalt (suplă şi semirigidă): deformația verticală, ε_z	−29%	−48%	−61%
Asfalt, semirigidă: tensiunea la baza balastului stabilizat, σ_r	−50% / −54%	−74% / −78%	−86% / −89%
Pavaj: deformația verticală, ε_z	−29%	−48%	−60%
Pavaj: tensiunea la baza balastului stabilizat, σ_r	−47% / −52%	−71% / −76%	−83% / −87%
Dală BcR 4,5 de 22 cm: tensiunea la marginea dalei, σ	−81,8% / −82,1%	−96,5% / −96,6%	−99,3%

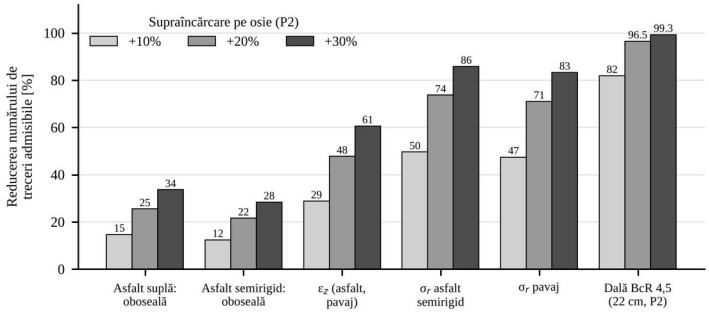


Figura 4. Reducerea numărului de treceri admisibile la osii supraîncărcate cu 10, 20 și 30%, la P2 (estimare); la P5 valorile sunt apropiate (Tabelul 5)

7. CONCLUZII

Cele trei tipuri de structuri diferă prin modul de preluare a sarcinii și prin cedările caracteristice: făgaș și fisurare la mixturile asfaltice, fisurare la margini și rosturi la dala de beton de ciment rutier, interblocare insuficientă la pavajele prefabricate. La pavaje, performanța depinde de forma blocurilor și de schema de așezare, elemente care nu intră în dimensionarea conform PD 177, dar sunt criterii de proiectare în alte țări. Conform rezultatelor programului de calcul, pe pământurile P2 și P5, cu strat de formă stabilizat de 40 cm, structura suplă de 18 cm din mixturi asfaltice verifică numai la 1 m.o.s., fiind limitată de oboseala straturilor bituminoase (RDO = 1,07–1,9 la 3 și 5 m.o.s.), în timp ce structura semirigidă și pavajul de 12 cm pe 20 cm de balast stabilizat verifică la 1, 3 și 5 m.o.s., cu utilizări maxime de 79%, respectiv 97% (deformația verticală a patului drumului); pavajul pe piatră spartă nu verifică la 5 m.o.s. pe P5. Dala de beton de ciment rutier BcR 4,5 va avea o grosime, pe pământ P2, de 21 cm la 1 m.o.s. și 22 cm la 3 și 5 m.o.s., la fel pe P5 (21 / 22 / 22 cm), cu stratul suport din piatră spartă sau din balast stabilizat; toate structurile rutiere verifică la îngheț–dezgheț. O supraîncărcare de 30% pe osie reduce, după estimarea făcută, numărul de treceri admisibile cu 28–34% la oboseala mixturilor asfaltice, cu 60–61% la deformația verticală a patului drumului și cu 99,3% la dală, datorită legii ei de oboseală abrupte. Pe platformele cu supraîncărcări probabile se recomandă structura semirigidă sau dala de beton de ciment rutier cu rezervă de grosime.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ADMINISTRAȚIA NAȚIONALĂ A DRUMURILOR: *Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică), indicativ PD 177-2001*, aprobat prin Ordinul directorului general al ANDR nr. 9 din 17.01.2001, Buletin Tehnic Rutier, nr. 1, **2001**.

[2]. *NP 081-2002 – Normativ de dimensionare a structurilor rutiere rigide*, București, **2002**.

[3]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *Ordonanța Guvernului nr. 43/1997 privind regimul drumurilor, anexa nr. 2 „Mase și dimensiuni”, pct. 3.4*, cu modificările și completările ulterioare, **1997**.

[4]. A. ŽNIDARIČ: *Road infrastructure challenges posed by heavy-duty vehicle loads*, Transportation Research Procedia, vol. 99, pp. 77–90 (12th BCRRA), **2026**.

[5]. ADMINISTRAȚIA NAȚIONALĂ A DRUMURILOR: *Normativ privind întreținerea și repararea drumurilor publice, indicativ AND 554-2002*, aprobat prin Decizia ANDR nr. 13 din 09.01.2002, București, **2002**.

[6]. A. JAMSHIDI, K. KURUMISAWA, G. WHITE, T. NISHIZAWA, T. IGARASHI, T. NAWA, J. MAO: *State-of-the-art of interlocking concrete block pavement technology in Japan as a post-modern pavement*, Construction and Building Materials, vol. 200, pp. 713–755, **2019**.

[7]. I. KIM, C.-K. CHUNG, J.-H. RYU: *Evaluation of interlocking block pavement performance under varying construction conditions by model chamber tests*, Case Studies in Construction Materials, vol. 22, art. e04067, **2025**.

[8]. P. DI MASCIO, G. LOPRENCIPE, L. MORETTI: *Technical and Economic Criteria to Select Pavement Surfaces of Port Handling Plants*, Coatings, vol. 9, nr. 2, art. 126, **2019**.

[9]. O. SAHIN, B. AKSOY: *A Combined AHP–TOPSIS-Based Decision Support System for Highway Pavement Type Selection*, Sustainability, vol. 17, nr. 21, art. 9396, **2025**.

[10]. INSTITUTUL ROMÂN DE STANDARDIZARE: *STAS 1709/1-90 – Acțiunea fenomenului de îngheț-dezgheț la lucrări de drumuri. Adâncimea de îngheț în complexul rutier*, București, **1990**.

[11]. INSTITUTUL ROMÂN DE STANDARDIZARE: *STAS 1709/2-90 – Acțiunea fenomenului de îngheț-dezgheț la lucrări de drumuri. Prevenirea și remedierea degradărilor din îngheț-dezgheț. Prescripții tehnice*, București, **1990**.

[12]. D.M. BURMISTER: *The general theory of stresses and displacements in layered systems*, Journal of Applied Physics, vol. 16, pp. 89–94, 126–127, 296–302, **1945**.

[13]. A.M. IOANNIDES, M.R. THOMPSON, E.J. BARENBERG: *Westergaard Solutions Reconsidered*, Transportation Research Record 1043, pp. 13–23, **1985**.

[14]. J. JUDYCKI: *Equivalent axle load factors for design of rigid pavements derived from fatigue criteria*, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, vol. 6, nr. 4, pp. 219–224, **2011**.

INFLUENȚA SISTEMULUI DE CONTRAVÂNTUIRE ASUPRA STABILITĂȚII GENERALE A PODURILOR METALICE PE ARCE

Cojan Elisei, drd.ing., Academia Tehnică Militară „Ferdinand I”, Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: elisei.cojan@phd.utcb.ro
Răcănel Ionuț-Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro

Rezumat

Lucrarea sintetizează rezultatele din literatura de specialitate privind influența sistemului de contravântuire asupra stabilității în afara planului a podurilor metalice pe arce. Sunt analizate tipologia sistemului (Vierendeel, în X, în K), poziția și numărul contravântuirilor, rigiditatea elementelor și modul în care acestea sunt tratate în Anexa D a EN 1993-2. Sursele converg asupra faptului că sistemele în X și K sunt net superioare celor de tip Vierendeel, că amplasarea optimă este în zona sferturilor și a nașterilor, nu la cheie, iar rigiditatea proprie a elementelor are un efect secundar. Metoda simplificată din Anexa D nu ține cont de tipul contravântuirii, ceea ce poate conduce la supraestimarea forței critice cu un raport de până la 3,54 față de analiza neliniară cu elemente finite.

Cuvinte cheie: poduri pe arce, contravântuiri, stabilitate în afara planului, forță critică, Eurocod 3

Abstract

The paper synthesises results from the literature on the influence of the bracing system on the out-of-plane stability of steel arch bridges. The bracing typology (Vierendeel, X, K), the position and number of bracing members, their stiffness and their treatment in Annex D of EN 1993-2 are reviewed. The sources agree that X and K systems clearly outperform Vierendeel bracing, that the optimal location lies near the quarter points and the springings rather than at the crown, and that the stiffness of the individual members has a secondary effect. The simplified method of Annex D does not account for the bracing type, which may overestimate the critical load by a ratio of up to 3.54 compared with nonlinear finite element analysis.

Keywords: arch bridges, bracing, out-of-plane stability, critical load, Eurocode 3

1. INTRODUCERE

La podurile în arc cu tirant, împingerea orizontală a arcului este preluată de tablier sau de un element longitudinal de legătură (tirant), nu de reacțiunile culeelor, astfel încât fundațiile preiau doar încărcarea verticală și pot fi mai puțin masive [1, 2]. Un alt avantaj al acestor poduri constă în posibilitatea de prefabricare și de montare la poziție [2].

Pentru podurile metalice pe arce cu deschideri mari, instabilitatea în afara planului precede adesea instabilitatea în plan [3]. Într-un studiu parametric pe poduri cu arce în rețea, pentru deschideri $L > 75$ m primul mod de flambaj este în afara planului în aproape 78% din analize, în timp ce pentru $L \leq 75$ m predomină modurile în plan [4]. Comportarea în afara planului depinde în mare măsură de sistemul de contravântuire [3, 5, 6]. Studiile analizate folosesc analiza de flambaj elastic (EBA) și analiza neliniară (NEA) prin elemente finite [4, 6–8], dar și metode analitice [3] sau metoda exactă a matricei de rigiditate [9, 10].

Lucrarea de față sintetizează aceste rezultate privind rolul, tipologia, poziția, numărul și rigiditatea contravântuirilor și le confruntă cu prevederile Anexei D din SR EN 1993-2 [11].

2. ROLUL CONTRAVÂNTUIRILOR ÎN STABILITATEA ÎN AFARA PLANULUI

Modelele cu elemente finite ale lui Wang et al. arată că o zonă contravântuită mai mică în raport cu lungimea totală a arcului reduce semnificativ forța axială critică în afara planului [5]. Tot acolo se arată că, atunci când raportul de rigiditate arc/contravântuiri este relativ mare, forța critică scade odată cu creșterea distanței dintre arce, deoarece contravântuirile cu aceeași secțiune devin mai slabe pe măsură ce distanța dintre arce crește [5].

La nivel structural, zona contravântuită a arcelor se comportă aproape rigid, iar comportarea globală la instabilitate este influențată în mare măsură de porțiunile necontravântuite de la capete, adică de portalurile de capăt [6, 7]. Pe un pod real cu arce casetate, simpla introducere a contravântuirilor transversale între arcele principale ridică coeficientul de stabilitate globală cu aproximativ 29% (de la 20,5 la 26,5) [12]. Încercările de laborator pe machete de poduri în arc cu tirant au arătat că, în majoritatea cazurilor, cedarea s-a produs prin flambajul lateral al arcelor, ceea ce indică un nivel insuficient de contravântuire la partea superioară [2].

Contravântuirea nu este însă singurul mecanism de rigidizare laterală. La același pod, legarea arcelor principale de arce laterale înclinate prin contravântuiri transversale crește coeficientul de stabilitate cu aproximativ 71% față de sistemul fără arce înclinate, comparativ cu 29% cât aduc contravântuirile dispuse doar între arcele principale [12]. Ammendolea et al. arată că, la un pod cu

contravântuire de tip Vierendeel, înclinarea arcelor majorează multiplicatorul încărcării utile obținut prin analiză neliniară de la 1,34 la 4,33 [6]. În schimb, pentru contravântuirea de tip K, raportul Ncr/Ny rămâne practic constant, în jur de 2,1, indiferent de unghiul de înclinare, deoarece sistemul K rigidizează arcele atât de mult încât contribuția înclinării devine neglijabilă [6]. La podurile cu arce în rețea, creșterea unghiului de înclinare de la 0° la 10° majorează factorul de stabilitate elastică cu circa 10,7%, tiranții limitând ei înșiși deformația laterală a arcului prin efectul nedirecțional al forței din tiranți [3].

3. INFLUENȚA TIPOLOGIEI SISTEMULUI DE CONTRAVÂNTUIRE

Eficiența contravântuirilor depinde decisiv de tipologie, iar literatura prezintă aici o convergență obținută independent, de grupuri de cercetare diferite și prin metode diferite: sistemele în X și în K sunt superioare celor pur transversale de tip Vierendeel [6–10, 13].

Într-un studiu numeric-parametric pe poduri cu tirant cu deschiderea de 150 m, schemele K și X asigură cea mai bună comportare la flambajul în afara planului, iar schema Vierendeel capacitatea cea mai redusă [8]. Din Figura 1a și 1b se observă că multiplicatorul de sarcină obținut prin EBA este de circa 8–12 pentru schemele X și K, față de circa 2,5 pentru Vierendeel, iar prin analiză neliniară de circa 6–8, față de sub 1 [8]. Același rezultat este regăsit de Lonetti et al., la care sistemul K asigură cea mai bună performanță [7], și de Răcănel et al., la care cea mai mare valoare a factorului critic, de aproximativ 10, se obține pentru contravântuirea în X [13]. Avantajul triangulării se explică prin rigiditatea considerabilă conferită de geometria schemelor K și X, care permite dimensionarea traverselor și diagonalelor ca elemente zvelte și economisirea unei cantități importante de material [8]. În Figura 1 se observă similitudinea alurii curbelor, deși analizele au fost făcute de autori diferiți [7, 8].

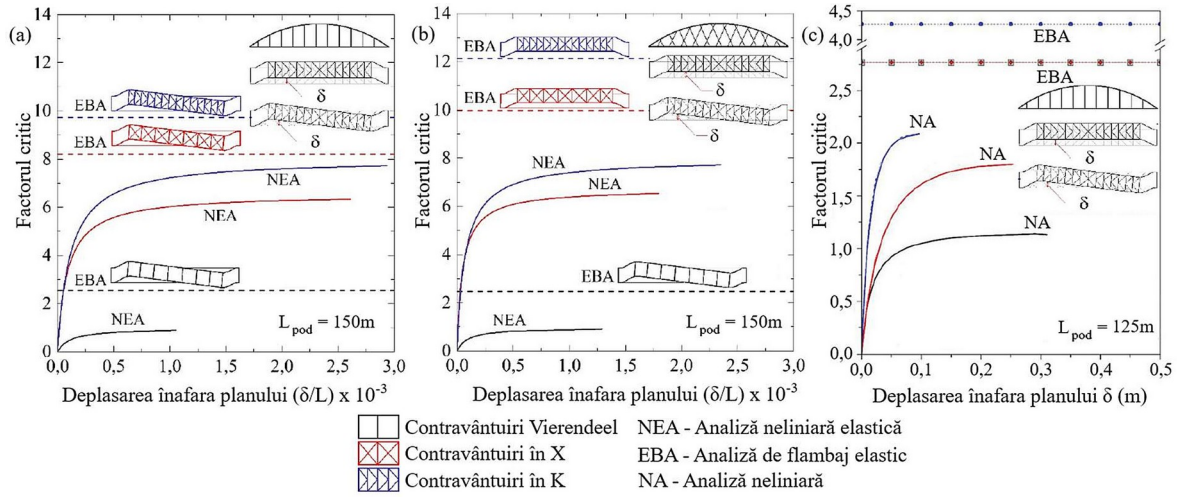


Figura 1. Influența contravântuirilor asupra stabilității arcelor cu tiranți în sistem Langer (a) și în sistem rețea de tiranți (b), conform [8], și asupra stabilității arcelor cu tiranți în sistem Langer (c), conform [7]

Pe modele de poduri cu 2 arce funiculare, contravântuirile în X amplasate în apropierea poziției S/4 majorează sarcina critică de flambaj în afara planului cu 66% (două contravântuiri) și cu 131,6% (patru contravântuiri) față de contravântuirile transversale, în timp ce la amplasarea la cheie diagonalele nu aduc o creștere notabilă [10]. Studiul extins la arcele cu trei nervuri confirmă că sistemele K și X sunt mai eficiente împotriva flambajului lateral-torsional decât cele transversale, care nu sunt recomandate [9]. Dintre configurațiile echivalente ca performanță, sunt preferabile cele care utilizează mai puțin material [9].

4. POZIȚIA, NUMĂRUL ȘI RIGIDITATEA CONTRAVÂNTUIRILOR

4.1. Poziția și numărul contravântuirilor

Eficiența unei contravântuiri depinde puternic de poziția ei pe lungimea arcului, iar rezultatele converg către o concluzie contraintuitivă: zona cheii este cea mai puțin importantă, în timp ce regiunile sferturilor și ale nașterilor sunt critice. Optimizarea pe poduri formate din 2 arce situează poziția optimă a contravântuirii transversale la S/4 din lungimea arcului S, unde rotirea din modul de flambaj atinge valoarea maximă, în timp ce o contravântuire amplasată la cheie are un efect minim asupra sarcinii critice [10]. Rezultatul este reconfirmat pe arcele cu trei nervuri, unde poziția optimă rămâne tot în apropierea S/4 [9]. Pe podul cu arce înclinate laterale analizat de She et al., eliminarea contravântuirilor dintre arcele principale și cele înclinate din vecinătatea nașterilor reduce coeficientul de stabilitate cu 26%, pe când eliminarea celor din zona cheii îl reduce cu numai 2,3% [12]. Cele două rezultate (optimul la S/4 [9, 10] și

criticitatea naşterilor [12]) sunt coerente, întrucât ambele arată că zona cheii este cea mai puțin eficientă pentru amplasarea contravântuirilor (Figura 2a).

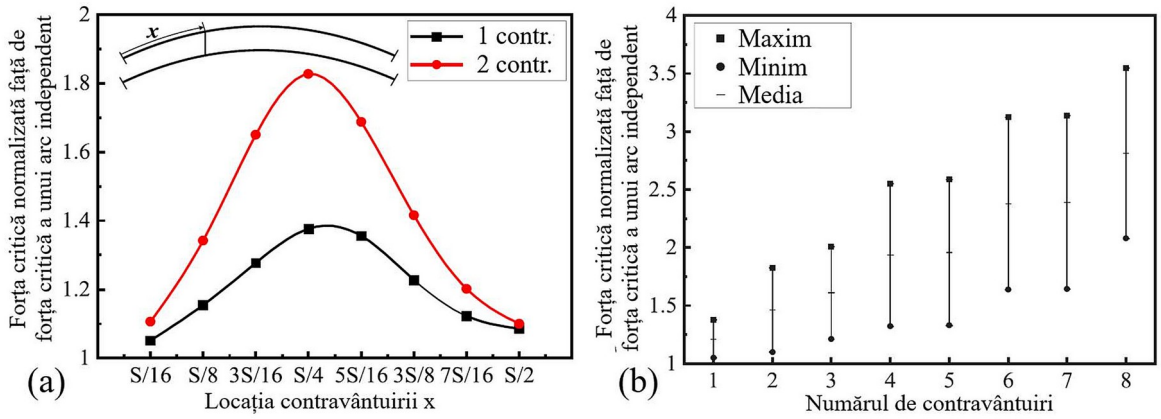


Figura 2. Influența poziției (a) și a numărului (b) contravântuirilor asupra forței critice, conform [10]

Aportul cheii nu este totuși nul în orice condiții. La arcele cu trei nervuri cu două celule de contravântuire, o contravântuire suplimentară la cheie amplifică sarcina critică de flambaj lateral-torsional, efect care nu mai este evident la patru sau șase celule, unde constrângerea cheii este deja asigurată; în plus, contravântuirea de la cheie schimbă modul de flambaj din simetric în antisimetric [9]. O contravântuire la cheie este recomandată și pentru limitarea deformației de torsiune a arcului [10]. Sarcina critică crește cu numărul de contravântuiri (Figura 2b) [9, 10], însă aportul fiecărei contravântuiri rămâne condiționat de poziția sa [12]. Totodată, sarcina critică în afara planului scade odată cu creșterea raportului lățime/deschidere, deoarece contravântuirile mai scurte restricționează mai puternic deformația arcului [10].

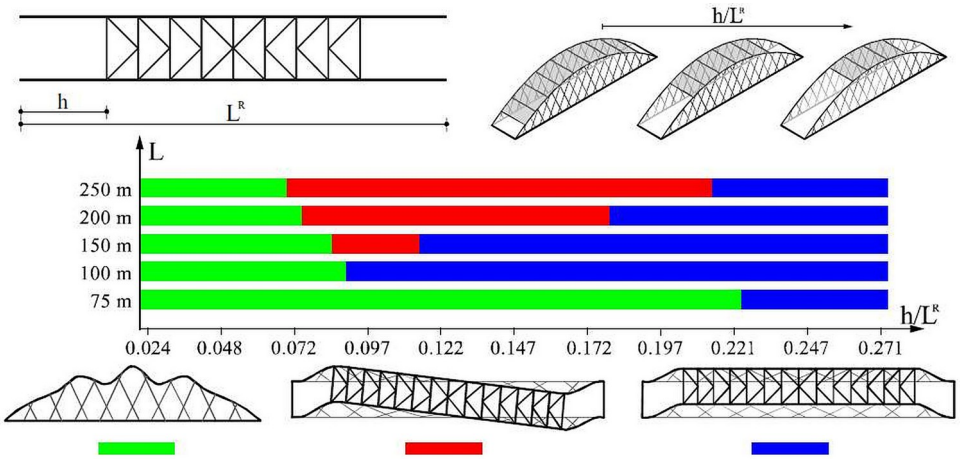


Figura 3. Variația modului de flambaj în funcție de deschidere și de dimensiunea portalului, conform [4]

Din Figura 3 se observă că, odată cu creşterea deschiderii, zona modurilor în plan se restrânge, iar modurile în afara planului devin dominante; ponderea modurilor antisimetrice creşte cu deschiderea [4]. Creşterea raportului h/L^R, adică a lungimii zonei necontravântuite de la capete, schimbă tipul modului critic [4].

4.2. Rigiditatea contravântuirilor

Configuraţia şi distribuţia contravântuirilor domină, în vreme ce rigiditatea locală are o influenţă secundară. Lonetti et al. arată că rezistenţa la instabilitate nu este influenţată de rigiditatea locală a elementelor, ci în principal de configuraţia sistemului de contravântuire şi de distribuţia sa pe lungimea arcului [7]. Pe podul studiat de She et al., dublarea rigidităţii la încovoiere a contravântuirilor transversale creşte coeficientul de stabilitate de la 34,9 la 38,6, spor pe care autorii îl caracterizează drept modest, efectul fiind relativ limitat în comparaţie cu cel al arcelor însele [12].

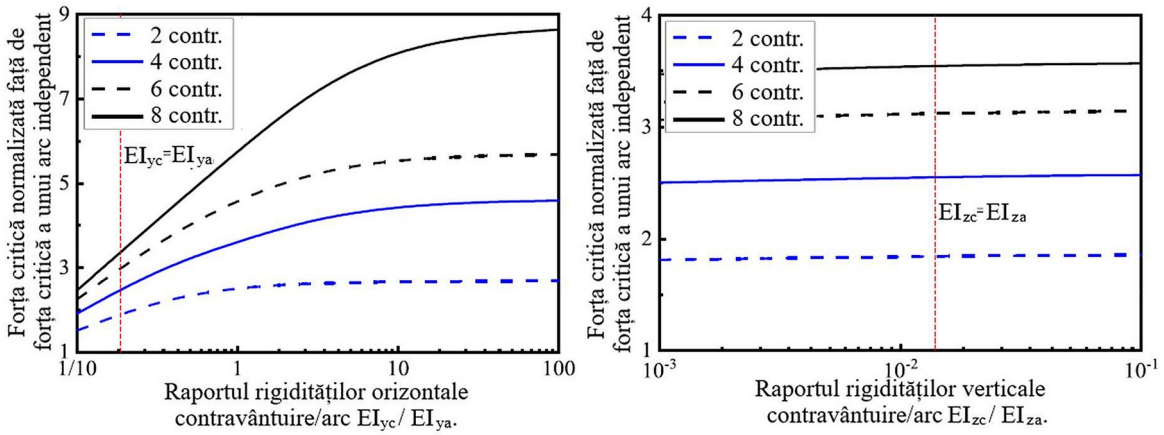


Figura 4. Influenţa rigidităţii contravântuirilor asupra stabilităţii podurilor pe arce, conform [10]

Acolo unde rigiditatea contează, ea contează selectiv. La podurile cu 2 arce, rigiditatea la încovoiere orizontală a contravântuirilor transversale este factorul critic, a cărui creştere majorează sarcina critică, în timp ce rigiditatea verticală are o influenţă redusă (Figura 4) [10]. Analizele de sensibilitate ale lui Lonetti şi Pascuzzo pentru podurile cu arce în reţea arată că variabilele cele mai importante pentru forţa critică şi pentru lungimea de flambaj în afara planului sunt caracteristicile geometrice ale secţiunii arcului şi extinderea portalului de capăt, în timp ce diametrul elementelor de contravântuire are un indicator de importanţă sub pragul de 5% [4]. Concluzii similare rezultă din studiul lui Greco et al., în care lăţimea secţiunii arcului şi înălţimea portalului de capăt sunt singurele variabile cu indicator de importanţă peste pragul de 10% [8].

5. TRATAREA CONTRAVÂNTUIRILOR ÎN EN 1993-2, ANEXA D

Conform paragrafului D.3.4 din Anexa D a SR EN 1993-2, flambajul în afara planului al arcelor cu contravântuiri şi cadre de capăt poate fi verificat printr-un control al stabilităţii cadrelor de capăt, efectuat în conformitate cu D.2.2, factorul β fiind obţinut din Tabelul D.1 pe baza geometriei din Figura D.5 [11]. Verificarea se reduce aşadar la stabilitatea portalului de capăt.

Lonetti şi Pascuzzo subliniază că această abordare exprimă forţa axială critică a arcelor în funcţie de proprietăţile mecanice şi geometrice ale portalurilor de capăt, fără a lua în considerare tipologia contravântuirilor [4]. Formularea presupune, în plus, că sistemul de suspendare (dispunerea tiranţilor, deformabilitatea grinzii) are efecte neglijabile asupra sarcinii critice şi admite a priori că modul critic este simetric, ipoteză discutabilă, deoarece configuraţia tiranţilor şi dimensiunile podului influenţează forma modului de flambaj [4].

Consecința este o supraestimare a capacității portante. Pentru podul cu tirant de 125 m analizat de Lonetti et al., prescripțiile EC3 supraestimează rezistența la instabilitate în general, cu valori periculoase pentru sistemul Vierendeel, unde raportul dintre forța critică estimată normativ și cea obținută prin analiză neliniară atinge 3,54 (Tabelul 1) [7]. Din Tabelul 1 se observă că acest raport depinde puternic de tipul de contravântuire, deși metoda normativă ia în considerare doar proprietățile portalului [4, 7].

Tabelul 1. Raportul dintre forţa critică obţinută conform Eurocod şi cea obţinută prin analiză neliniară MEF, conform [7]

Lungimea portalului h / înălţimea portalului h_r	Sistem de contravântuire	I (m^4)	$N_{k,EC3}/N_{k,MEF}$
0,35	Vierendeel	6,52E−03	3,54
0,35	X	8,00E−04	0,87
0,35	K	6,85E−04	1,08
0,56	Vierendeel	5,73E−03	2,30
0,56	X	1,53E−03	1,13
0,56	K	1,36E−03	1,27
0,75	Vierendeel	5,92E−03	2,00
0,75	X	1,53E−03	1,24
0,75	K	2,08E−03	1,44

Studiul comparativ al codurilor de proiectare realizat de Wang et al. arată că Eurocodul 3 subestimează în general forța critică pentru podurile cu calea sus, o estimează corect pentru podurile cu calea jos și cu calea la mijloc atunci când raportul de rigiditate arc/contravântuiri este mic și $\gamma < 0,86$, iar în celelalte cazuri o supraestimează în majoritatea situațiilor [5].

6. CONCLUZII

Literatura analizată arată că sistemul de contravântuire influenţează decisiv stabilitatea în afara planului a podurilor metalice pe arce [3, 5, 6]. Eficiența sa depinde de:

- tipologie – sistemele X și K sunt net superioare celor Vierendeel [6–10, 13];
- amplasare – contravântuirile sunt eficiente în zona sferturilor şi a naşterilor, nu la cheie [9, 10, 12];
- număr – sarcina critică creşte cu numărul de contravântuiri, în limita poziției acestora [9, 10, 12];
- rigiditatea proprie a elementelor – efect secundar, dintre componente contând în principal rigiditatea la încovoiere orizontală [4, 7, 8, 10, 12].

Metoda simplificată din Anexa D a SR EN 1993-2 verifică stabilitatea în afara planului exclusiv prin intermediul portalului de capăt şi nu ia în considerare tipologia contravântuirilor, deşi aceasta influenţează puternic comportarea structurii [4, 7, 11]. Comparațiile cu analizele neliniare arată că, în special pentru sistemele cu contravântuiri pur transversale, norma poate supraestima forța critică şi poate conduce la evaluări nesigure [5, 7]. Pentru proiectare, aceasta înseamnă că verificarea normativă a acestor structuri trebuie tratată cu prudență şi completată cu analize neliniare, singurele care surprind corect capacitatea la flambaj în afara planului [6, 8]. Totodată, rezultatele sintetizate oferă repere practice clare pentru alcătuirea sistemului de contravântuire: preferarea schemelor X şi K, amplasarea contravântuirilor în afara zonei cheii şi dimensionarea elementelor în primul rând din condiția de rigiditate orizontală. Metodele alternative propuse deja în literatură [4, 7] arată că includerea tipului de contravântuire şi a formei reale a modului de flambaj în verificările simplificate este posibilă, aceasta rămânând o direcție de cercetare relevantă.

BIBLIOGRAFIE

[1]. J.E. GORDON: *„Structures – or why things don't fall down”*, Penguin Books, London, **1978**.

[2]. M. VLAD: *„Studiu privind alcătuirea şi calculul structurilor cu cabluri portante”*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, **2019**.

[3]. Z. JIANG, R. XIAO, C. SONG, B. SUN, S. TONG, Y. MA: *„An analytical method for out-of-plane stability assessment of network arch bridges”*, Thin-Walled Structures, vol. **204**, art. **112289**, **2024**, https://doi.org/10.1016/j.tws.2024.112289.

[4]. P. LONETTI, A. PASCUZZO: *„A practical method for the elastic buckling design*

of network arch bridges”, International Journal of Steel Structures, vol. **20**(1), pp. **311–329**, **2020**, https://doi.org/10.1007/s13296-019-00282-8.

[5]. W. WANG, Y. LIN, K. CHEN: *„Evaluation of criteria for out-of-plane stability of steel arch bridges in major design codes by FE analysis”*, Applied Sciences, vol. **12**(24), art. **12632**, **2022**, https://doi.org/10.3390/app122412632.

[6]. D. AMMENDOLEA, F. GRECO, P.N. BLASI, P. LONETTI, A. PASCUZZO: *„Strategies to improve the structural integrity of tied-arch bridges affected by instability phenomena”*, Procedia Structural Integrity, vol. **25**, pp. **454–464**, **2020**, https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.04.051.

[7]. P. LONETTI, A. PASCUZZO, S. AIELLO: *„Instability design analysis in tied-arch bridges”*, Mechanics of Advanced Materials and Structures, vol. **26**(8), pp. **716–726**, **2019**, https://doi.org/10.1080/15376494.2017.1410911.

[8]. F. GRECO, P. LONETTI, A. PASCUZZO: *„Structural integrity of tied arch bridges affected by instability phenomena”*, Procedia Structural Integrity, vol. **18**, pp. **891–902**, **2019**, https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.240.

[9]. C.H. ZHAO, W.H. PAN, C.M. WANG, Y.Z. LUO: *„Bracing systems for three-ribbed arch bridges against out-of-plane buckling”*, Structures, vol. **68**, art. **107169**, **2024**, https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107169.

[10]. W.H. PAN, C.H. ZHAO, C.M. WANG, Y.Z. LUO: *„Optimal bracing system design for funicular twin arches against out-of-plane buckling”*, Engineering Structures, vol. **301**, art. **117250**, **2024**, https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117250.

[11]. ASOCIAȚIA DE STANDARDIZARE DIN ROMÂNIA: *„SR EN 1993-2. Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 2: Poduri de oțel”*, ASRO, București, **2007**.

[12]. Z. SHE, Q. LIN, X. LUO, Z. SHE, W. HUANG, J. ZHOU: *„Stability performance of leaning-type steel box arch bridges: a parametric study based on a validated finite element model”*, Preprint, Research Square, **2026**, https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-8734345/v1.

[13]. I.R. RĂCĂNEL, V.D. URDĂREANU, A. RADU: *„«Bowstring» arches in Langer system without wind bracing”*, Romanian Journal of Transport Infrastructure, vol. **4**(1), pp. **67–77**, **2015**, https://doi.org/10.1515/rjti-2015-0032.

INVESTIGAȚII PRIVIND REDUCEREA FISURILOR REFLECTIVE ÎN ASFALTUL ARMAT CU GEOSINTETICE

Correia Natalia S., dr., Laboratorul de Geotehnică și Geosintetice, Departamentul de Inginerie Civilă, Universitatea Federală din São Carlos, P.O. Box 676, São Carlos, SP 13565-905, e-mail: ncorreia@ufscar.br
Kumar V. Vinay, dr.**,** Manager Tehnic – Structuri Rutiere, Huesker Inc., Leander, TX - 78641, SUA, e-mail: vkumar@huesker.com

Rezumat

Straturile intermediare geosintetice și-au dovedit capacitatea de a îmbunătăți durata de viață la oboseală a straturilor asfaltice prin preluarea fisurilor reflective. Cu toate acestea, modurile de propagare a fisurilor și mecanismele asociate diferitelor straturi intermediare geosintetice sunt complexe, ceea ce impune studii suplimentare pentru dezvoltarea unor metodologii de proiectare pentru asfaltul armat cu geosintetice. În acest sens, prezentul studiu își propune să evalueze performanța plăcilor din mixtură asfaltică armate cu straturi intermediare geosintetice prin încercări ciclice de încovoiere în patru puncte, combinate cu corelarea digitală a imaginilor (DIC), în mod specific cu obiectivul de a înțelege mai bine modurile de cedare și mecanismele prin care armarea geosintetică minimizează fisurarea reflectivă și îmbunătățește performanța structurii rutiere. Epruvete armate cu geosintetice și nearmate au fost extrase dintr-o secțiune experimentală realizată la Aeroportul Internațional Salvador, Bahia, și au fost pregătite pentru programul de încercări. Rezultatele au demonstrat că tehnica DIC este eficientă în determinarea deformațiilor specifice de întindere dezvoltate la vârful fisurii în timpul încercării, oferind astfel o mai bună înțelegere a mecanismelor de armare implicate. În plus, analiza DIC a oferit indicii clare privind modul în care stratul intermediar geosintetic întârzie propagarea fisurilor în straturile asfaltice. Prezența stratului intermediar geosintetic între straturile de asfalt a condus la creșterea duratei de viață la oboseală de circa 13 ori față de straturile asfaltice nearmate. În ansamblu, acest studiu evidențiază eficacitatea straturilor intermediare geosintetice în împiedicarea propagării fisurilor reflective în covoarele asfaltice. Analiza DIC a oferit informații detaliate privind distribuția deformațiilor specifice și comportamentul la vârful fisurii, subliniind beneficiile substanțiale ale straturilor intermediare geosintetice în consolidarea rezilienței structurale a straturilor asfaltice. Constatările subliniază că aderența la forfecare la interfață s-a menținut, demonstrând importanța critică atât a aderenței la interfață, cât și a proprietăților armăturii în prelungirea duratei de exploatare a structurii rutiere sub încărcări repetate.

Cuvinte cheie: geosintetice, fisurare reflectivă, covor asfaltic, corelarea digitală a imaginilor (DIC), durata de viață la oboseală

Abstract

Geosynthetic interlayers have proven to improve the fatigue life of asphalt layers by resisting reflective cracks. However, the complexity of crack propagation modes and the mechanisms associated with different geosynthetic interlayers is complex, which necessitate further studies to develop design methodologies involving geosynthetic-reinforced asphalt. In this regard, this study aims to evaluate the performance of asphalt slabs reinforced with

geosynthetic interlayers by using cyclic four-point bending tests combined with Digital Image Correlation (DIC). Specifically, with an objective to better understand the failure modes and the mechanisms by which geosynthetic reinforcement minimize reflective cracking and enhance the pavement performance. Geosynthetic-reinforced and unreinforced specimens were extracted from an experimental section constructed at Salvador International Airport, Bahia and prepared for the testing program. The results demonstrated that the DIC technique is effective in determining the tensile strains developed at the crack-tip during testing. Thus, providing a better understanding of the reinforcement mechanisms involved. Additionally, DIC analysis provided clear insights into how geosynthetic interlayer retards crack propagation in asphalt layers. The presence of the geosynthetic interlayer between asphalt layers increased the fatigue life by about 13-fold compared to the unreinforced asphalt layers. Overall, this study highlights the effectiveness of geosynthetic interlayers in resisting the reflective crack propagation in asphalt overlays. The DIC analysis offered detailed insights into strain distribution and crack-tip behavior, underscoring the substantial benefits of geosynthetic interlayers in strengthening the structural resilience of asphalt layers. The findings emphasize that the shear bond at the interface was maintained, demonstrating the critical importance of both interface bonding and reinforcement properties in extending pavement service life under repetitive loading.

Keywords: geosynthetics, reflective cracking, asphalt overlay, digital image correlation (DIC), fatigue life

1. INTRODUCERE

În reabilitarea îmbrăcăminților asfaltice, așternerea unui covor asfaltic nou este una dintre tehnicile cel mai frecvent utilizate. Totuși, o limitare semnificativă a acestei abordări o reprezintă apariția în stratul nou a unor fisuri similare celor prezente în stratul vechi, și anume fisurile reflective. În acest context, straturile intermediare geosintetice pentru îmbrăcăminți asfaltice au fost utilizate pe scară largă pentru a controla inițierea și propagarea fisurilor reflective și, prin aceasta, severitatea degradărilor din covorul asfaltic. În mod specific, stratul intermediar geosintetic se instalează între stratul de asfalt vechi și cel nou, astfel încât acesta să poată minimiza fisurile reflective prin mecanisme de armare sau de relaxare a tensiunilor [16]. Studiile de cercetare recente privind aplicarea straturilor intermediare geosintetice ca armături pentru asfalt între straturile asfaltice au raportat o minimizare eficientă a fisurilor reflective, cu factori de îmbunătățire a duratei de viață la oboseală de ordinul a 2 până la 22 de ori, în funcție de compoziția și proprietățile produsului. Astfel, se furnizează dovezi privind eficiența includerii straturilor intermediare geosintetice pentru minimizarea fisurilor reflective. În mod specific, o aderență corespunzătoare la interfața dintre stratul intermediar geosintetic și straturile asfaltice adiacente influențează funcția de armare a straturilor intermediare geosintetice [7, 8, 13, 14, 16].

În plus, în ultimii ani, investigațiile privind performanța straturilor asfaltice armate cu geosintetice au adoptat tehnica de corelare digitală a imaginilor (DIC) pentru a surprinde câmpul de deformații pe parcursul încercărilor, care nu poate fi

obținut prin măsurători convenționale [18, 19, 20]. Prin aceste studii a fost posibilă o mai bună cuantificare a beneficiilor instalării armăturii, analizarea diferitelor mecanisme de acțiune ale armării și a tiparului de fisurare asociat, precum și observarea influenței aderenței dintre straturile armate, care poate fi afectată de prezența materialului de armare [8, 11, 12, 15, 18, 19]. În ciuda progreselor, în condițiile în care piața geosinteticelor, aflată în creștere, oferă materiale cu caracteristici tot mai diferite, se cunosc puține lucruri despre proprietățile lor diferite în performanța asfaltului armat, în special în corelație cu aderența la interfață.

În acest sens, prezentul studiu de cercetare își propune să evalueze performanța grinzilor de asfalt armate cu geosintetice, prin încercări de încovoiere în patru puncte (4PBT), combinate cu tehnica DIC, pentru a înțelege mai bine modurile de cedare și mecanismele straturilor intermediare geosintetice. În consecință, epruvete armate cu geosintetice și nearmate au fost extrase din secțiunile experimentale realizate la Aeroportul Internațional Salvador, Bahia, conform descrierii din [9].

2. CONTEXT

Secțiuni experimentale la scară naturală au fost realizate la Aeroportul Internațional Salvador, Bahia, Brazilia, în 2021, pentru a investiga performanța covoarelor asfaltice cu diferite condiții de interfață (respectiv armături geosintetice și dozaje diferite de amorsă). Secțiunile experimentale au fost amplasate pe Platforma de staționare aeronave 3, o zonă neoperațională a aeroportului, și au inclus combinații de interfețe martor (nearmate) și interfețe armate cu cinci straturi intermediare geosintetice diferite, precum și dozaje variabile de amorsă (emulsie RR-2C). Dintre diversele secțiuni experimentale realizate, prezentul studiu se concentrează pe epruvetele extrase din secțiunea armată cu geosinteticul G-FG, cu un dozaj de amorsă (rezidual) de 788,2 g/m², și pe secțiunea martor cu același dozaj de amorsă. Mai multe detalii despre tronsonul experimental se găsesc în [9] și [17].

Armătura geosintetică G-FG este un geocompozit din fibră de sticlă cu geotextil nețesut ultrașor din polipropilenă, acoperit complet cu liant polimeric. Geocompozitul are o rezistență la tracțiune de 50 kN/m (bidirecțional) la o deformație specifică de 3%. Capacitatea de retenție a asfaltului [2] și masa pe unitatea de suprafață [3] sunt de 421,1 g/m², respectiv 326 g/m².

Procesul de construcție a secțiunilor experimentale, prezentat în Figura 1, a cuprins frezarea a 20 mm din suprafața asfaltică preexistentă, aplicarea amorsei din emulsie bituminoasă, instalarea armăturii geosintetice și, în final, execuția unui strat asfaltic nou de 60 mm grosime din mixtură asfaltică la cald cu granulometrie densă (CAUQ). Ca amorsă a fost utilizată emulsia RR-2C, cu o viscozitate Saybolt Furol de 182,5 secunde la 50 °C [5], un rezultat la încercarea

de cernere de 0,03% [4] şi un conţinut de liant rezidual de 53% [6]. După ruperea emulsiei, armătura geosintetică a fost instalată pe suprafață în secțiunea armată. Pentru execuția noului strat asfaltic s-a utilizat o mixtură asfaltică la cald conformă cu Banda de granulometrie 3 din standardul brazilian DIRENG 04.05.610 pentru structuri aeroportuare flexibile.

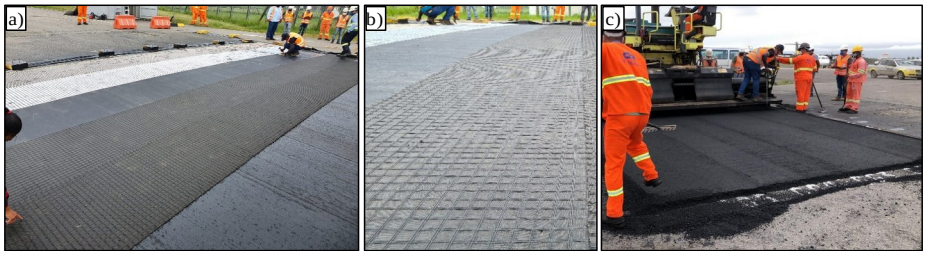


Figura 1. Execuția secțiunilor experimentale: a) instalarea armăturilor geosintetice; b) secțiunea armată cu G-FG; c) execuția covorului asfaltic.

3. PROGRAM EXPERIMENTAL

3.1. Pregătirea epruvetelor

Pentru 4PBT, plăci din beton asfaltic cu dimensiunile de 500 mm (lungime) × 500 mm (lățime) × 110 mm (înălțime) au fost extrase din secțiunile experimentale şi ulterior tăiate la dimensiunile de 400 mm (lungime) × 75 mm (lățime) × 60 mm (înălțime), asigurându-se că interfața dintre straturi se află în treimea inferioară a epruvetelor. Toate fețele au fost rectificate pentru a elimina orice imperfecțiuni de suprafață care ar fi putut introduce variabilitate în rezultatele încercării şi ale analizei de imagine. O pre-crestătură cu înălțimea de 10 mm şi lățimea de 3 mm a fost realizată în centrul bazei grinzii. În plus, epruvetele supuse încercării de încovoiere şi analizei digitale a imaginilor au avut o suprafață pregătită pentru înregistrarea deformațiilor în timpul încercării. Ulterior, fețele au fost vopsite în alb, iar pe suprafața de interes au fost aplicate cu grijă puncte negre aleatorii, utilizând vopsea spray neagră. Figura 2 prezintă extragerea plăcilor din secțiunile experimentale de la Aeroportul Internațional Salvador şi o schemă cu dimensiunile epruvetei pregătite pentru încercare.

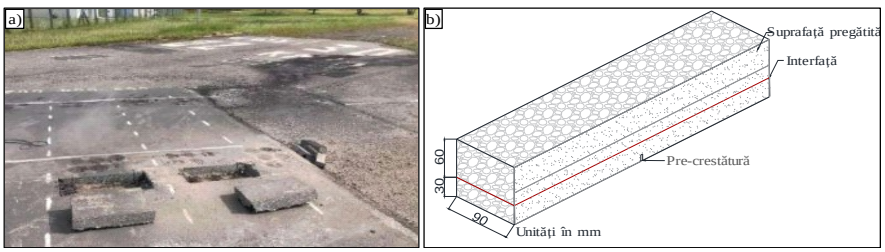


Figura 2. Epruvete pentru 4PBT: a) extragerea plăcilor pe teren; b) schema epruvetei pregătite pentru încercare.

3.2. Încercări de încovoiere în patru puncte

În acest studiu, epruvetele armate cu G-FG şi epruvetele martor au fost supuse 4PBT utilizând o presă pneumatică în regim de tensiune controlată. Măsurătorile deplasării verticale au fost înregistrate cu un traductor de deplasare liniară (LVDT) cu rezoluţia de 0,01 mm, poziţionat central la partea superioară a grinzii. Încercările au fost efectuate la o temperatură controlată de 20 ± 2 °C, conform ASTM D7460 [1]. Încărcarea a fost aplicată în impulsuri de tip haversin cu durata de 0,1 secunde, cu o perioadă de repaus de 0,1 secunde, la o frecvenţă de 5 Hz. Asupra epruvetei a fost aplicată o încărcare maximă de 450 N pentru a genera o presiune de 550 kPa, cu o încărcare de contact de 150 N. Încercarea a fost oprită când grinda a cedat complet.

3.3. Analiza prin corelarea digitală a imaginilor

Pentru a înțelege mai bine mecanismele prin care armarea geosintetică contribuie la creșterea duratei de viață la oboseală a straturilor asfaltice armate, precum și propagarea fisurilor din stratul inferior către cel superior, au fost efectuate analize de corelare digitală a imaginilor (DIC) pentru măsurarea câmpurilor de deplasări și de deformații specifice în zona de fisurare. Tehnica DIC determină modificările suprafeţei prin compararea poziţiilor pixelilor din imaginea deformată faţă de cea nedeformată. În timpul analizei, o funcţie discretă descrie suprafaţa epruvetei pe baza nivelului de gri al fiecărui pixel, cu valori de la 0 (negru) la 255 (alb). Pentru calculele de corelare se consideră un set de pixeli denumit tipar, în cadrul căruia câmpul de deplasări este presupus omogen. Corelarea are loc prin compararea subseturilor de valori între imaginea de referinţă (iniţială) şi imaginea finală, convertind pixelii în unităţi fizice. Pentru această cercetare, la captarea imaginilor epruvetelor în timpul încercărilor s-a utilizat o cameră Canon EOS Rebel T6i cu obiectiv de 18-55 mm. Pentru o mai bună iluminare a suprafeţei au fost folosite două lămpi LED. După încercare şi înregistrarea imaginilor, pentru analiza modificărilor pixelilor între imaginile deformate şi imaginea de referinţă s-a utilizat software-ul open-source MATLAB Ncorr, destinat corelării digitale a imaginilor 2D.

Utilizând extensia Ncorr denumită Ncorr Long Line, au fost trasate linii orizontale la fiecare 2 mm pe înălţimea epruvetei, începând de la pre-crestătura aflată la 10 mm de baza grinzii. Această metodologie urmează Freire et al. [11]. Pentru fiecare linie trasată, software-ul a înregistrat deformaţiile specifice la fiecare 1 mm de-a lungul liniei. Deformaţiile specifice orizontale au fost înregistrate în trei etape-cheie: (I) când pre-crestătura a atins interfaţa; (II) când pre-crestătura a traversat interfaţa (reflectarea fisurii); şi (III) când epruveta a cedat. Aceste etape au fost identificate printr-o analiză preliminară a imaginilor captate în timpul încercării.

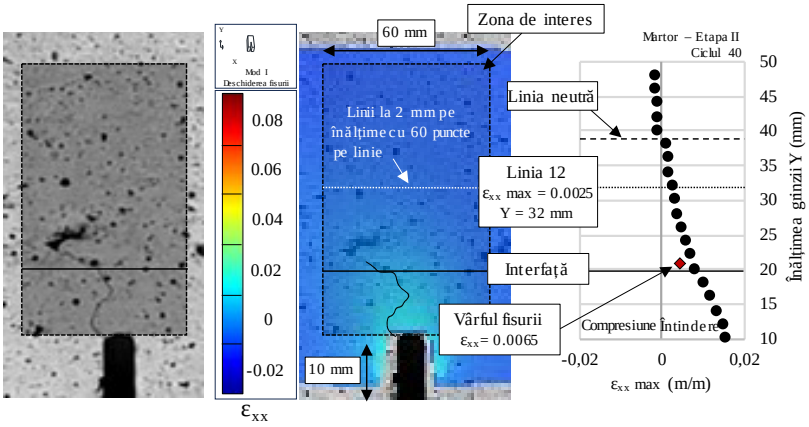


Figura 3. Metodologia utilizată în această cercetare pentru analizele DIC.

Pentru captarea deformațiilor specifice în apropierea zonei pre-crestăturii, a fost selectată o zonă de interes redusă, cu lățimea de 60 mm și înălțimea de 40 mm. Pentru fiecare linie, valorile maxime ale deformațiilor specifice înregistrate în zona de interes au fost utilizate pentru a genera curbele deformație specifică orizontală (m/m) în funcție de înălțimea grinzii (mm). În analize, valorile pozitive ale deformației specifice orizontale indică alungire (întindere), în timp ce valorile negative reprezintă contracție (compresiune), datorate mișcării de încovoiere și deschiderii fisurii. Figura 3 ilustrează metodologia de analiză descrisă pentru obținerea deformațiilor specifice orizontale observate de-a lungul epruvetei în Etapa II a grinzii Martor. Deplasările obținute din analiza DIC au fost verificate printr-un proces riguros de calibrare, utilizând deplasările verticale obținute cu LVDT. Figura 4 prezintă relația dintre deplasările verticale măsurate cu LVDT în funcție de valorile captate prin DIC pentru epruveta armată cu G-FG. Se poate observa că relația dintre valorile analizate s-a menținut aproape de linia 1:1, cu o eroare maximă de 0,5 mm, așa cum s-a verificat și în cercetarea lui Sudarsanan et al. [19].

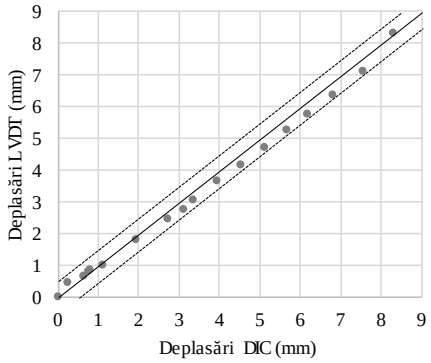


Figura 4. Comparație între valorile deplasărilor verticale măsurate cu LVDT și prin tehnica DIC în această cercetare.

4. REZULTATE ŞI DISCUŢII

Rezultatele încercărilor la oboseală cu şi fără prezenţa armăturii geosintetice sunt prezentate în Figura 5a, care arată curba deplasării verticale în funcţie de numărul de cicluri. După cum se poate vedea în Figura 5b, deplasările iniţiale la epruveta armată au fost mai mari decât la sistemul martor, întrucât introducerea armăturii determină o uşoară scădere a modulului de rigiditate iniţial al sistemului dublu-strat. Observaţii similare au fost raportate de Jaskula et al. [13]. Ulterior, viteza deplasărilor verticale a crescut la grinda martor, care la 50 de cicluri a cedat complet. La grinda armată, deplasările au crescut într-un ritm mai redus. La circa 360 de cicluri, grinda a atins 5 mm de deplasare verticală (valoare a deplasării apropiată de limita de exploatare a structurii rutiere), iar cedarea completă a fost observată la 650 de cicluri de încărcare. Aceasta confirmă performanţa efectivă a armăturii geosintetice în reducerea reflectării fisurilor, care a condus la un factor de îmbunătăţire de 7,2 ori până la atingerea limitei de exploatare a structurii rutiere şi de 13 ori până la ruperea epruvetei, aşa cum au observat şi alţi cercetători [7, 8, 15, 18].

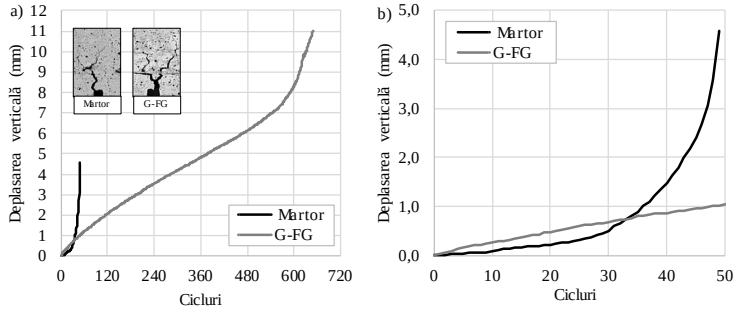


Figura 5. Deplasarea verticală în funcţie de numărul de cicluri pentru epruvetele martor şi armate: a) curbele până la cedarea epruvetelor; b) curbele la ciclul de cedare al epruvetei martor.

4.1. Analiza digitală a imaginilor

Figura 6 prezintă analizele DIC pentru epruvetele martor şi armate în Etapa I. În figură se pot observa propagarea pre-crestăturii, deformaţiile specifice orizontale (ε_{xx}) în zona de interes, poziţia axei neutre şi deformaţia înregistrată la vârful fisurii. După cum se ilustrează, nivelul deformaţiilor la epruvetele martor şi armate a fost similar la ciclul 35. La acest ciclu, pre-crestătura a atins interfaţa (Etapa I) în ambele combinaţii, cu valori ale deformaţiilor la vârful fisurii de acelaşi ordin de mărime pentru cele două sisteme analizate. În plus, poziţia axei neutre a fost, de asemenea, destul de similară atât la epruvetele armate, cât şi la cele martor. Aceste observaţii sugerează că armătura geosintetică nu a fost

mobilizată până când fisura nu a atins interfața, așa cum a observat și Freire et al. [11].

Figura 7 prezintă analizele DIC ale epruvetelor martor și armate, corespunzătoare cedării epruvetei martor la 50 de cicluri de încărcare. Din figură se poate observa că epruveta martor este complet fracturată, cu deformații și deformații specifice de întindere maxime la circa 50 de cicluri, în timp ce secțiunea armată a prezentat deformații și deformații specifice de întindere minime la același număr de cicluri de încărcare (vezi Figura 7b). În plus, este important de remarcat că poziția axei neutre la epruveta martor și la cea armată diferă semnificativ, respectiv epruveta martor nu mai are o axă neutră, în timp ce epruveta armată a avut o axă neutră similară celei observate la circa 35 de cicluri. Aceste observații evidențiază că, după 35 de cicluri, epruvetele martor au început să acumuleze deformații orizontale și deformații specifice de întindere, conducând la fracturarea completă a epruvetei la circa 50 de cicluri. În schimb, acumularea deformațiilor orizontale și a deformațiilor specifice de întindere la epruveta armată este semnificativ mai redusă în aceeași etapă (50 de cicluri), datorită mobilizării funcției de armare a G-FG. Aceasta indică, la rândul său, că armătura geosintetică amplasată la interfața dintre cele două straturi asfaltice a redus eficient reflectarea fisurilor și a îmbunătățit semnificativ durata de viață la oboseală a covoarelor asfaltice.

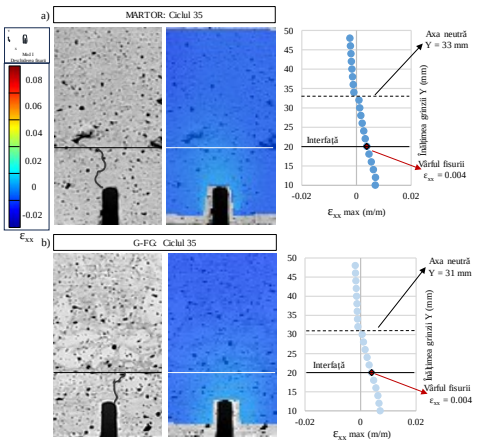


Figura 6. Analiza DIC a etapei de inițiere a fisurii la epruvetele: a) Martor; și b) G-FG.

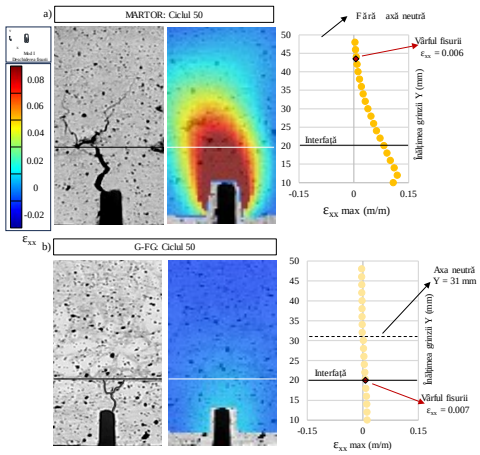


Figura 7. Analiza DIC la cedarea epruvetei martor (50 de cicluri): a) epruveta Martor; și b) epruveta G-FG.

Figura 8 prezintă Etapa II și Etapa III ale analizelor DIC pentru epruvetele armate, mai exact după 175, respectiv 650 de cicluri. După cum se observă din figură, viteza de creștere a fisurii a fost graduală până la atingerea Etapei II, la 175 de cicluri. În schimb, viteza de creștere a fisurii la epruveta martor a fost semnificativ mai mare, Etapa II fiind atinsă la circa 40 de cicluri. Aceste observații sugerează o îmbunătățire de circa 4 ori a duratei de viață la oboseală a grinzii armate pentru această etapă de analiză. În plus, la grinda martor s-a putut observa că fisura s-a propagat direct din pre-crestătură către stratul superior, în timp ce la epruveta armată s-a putut observa formarea de microfisuri în timpul reflectării, determinând o reducere a energiei de propagare a fisurii. De asemenea, Figurile 7a și 8b sugerează că, după 50 de cicluri de încărcare, epruveta nearmată a prezentat cedare totală din cauza propagării fisurii până la o înălțime de 43,5 mm. Epruveta armată a atins o condiție similară la circa 650 de cicluri, cu vârful fisurii la o înălțime de 45,18 mm, rezultând, mai exact, o îmbunătățire de 13 ori a duratei de viață la oboseală înainte de cedare. În ceea ce privește propagarea fisurilor, s-a observat în această etapă formarea de microfisuri la grinda martor, așa cum s-a produs la sistemul armat în etapa anterioară. Totuși, o diferență care poate fi atribuită prezenței armăturii la interfața dintre straturile asfaltice a atenuat acumularea tensiunilor de întindere. În plus, merită remarcate modificările poziției axei neutre în diferitele etape la epruvetele martor și la cele armate cu geosintetice. Mai exact, poziția axei neutre la epruveta martor în Etapele I (35 de cicluri), II (40 de cicluri) și III (50 de cicluri) a fost de circa 37 mm, 39 mm, respectiv 50 mm. La epruveta armată cu geosintetice, aceasta a fost de circa 31 mm (Etapa I – 35 de cicluri), 39 mm (Etapa II – 175 de cicluri) și 45 mm (Etapa III – 650 de cicluri). Aceste observații sugerează, de asemenea, că armătura geosintetică a redus acumularea tensiunilor de întindere și a redus eficient propagarea fisurii în covorul asfaltic pentru o perioadă substanțială (respectiv cu 600 de cicluri mai mult decât epruveta martor).

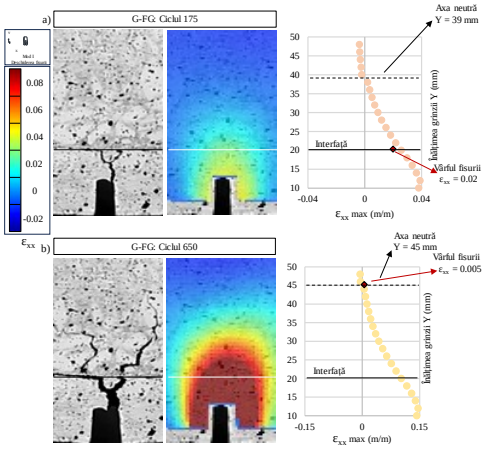


Figura 8. Analiza DIC a epruvetei armate: a) Etapa II; și b) Etapa III.

5. CONCLUZII

Prezentul studiu a evaluat performanțele covoarelor asfaltice nearmate și armate cu geosintetice, prin intermediul 4PBT și al tehnicii DIC. Se pot desprinde următoarele concluzii:

- Armătura geosintetică amplasată la interfața dintre cele două straturi asfaltice a reușit să minimizeze fisurile reflective și a îmbunătățit durata de viață la oboseală a covoarelor asfaltice de circa 13 ori.

- Tehnica DIC a fost eficientă în calcularea deformațiilor, a câmpului de deformații specifice orizontale și a poziției axei neutre la vârful pre-crestăturii în timpul încercărilor, permițând o mai bună înțelegere a mobilizării mecanismului de armare geosintetică.

- Deformațiile calculate prin tehnica DIC arată că armătura geosintetică nu a fost mobilizată până când fisura nu a atins zona interfeței.

- Aderența similară a interfeței între grinda armată și cea nearmată, dovedită prin încercarea de forfecare Leutner, a confirmat ipoteza mecanismului de armare, întrucât nu s-a produs nicio deviere orizontală a fisurii și nicio deplasare la interfață la niciuna dintre epruvete.

MULȚUMIRI

Autorii doresc să mulțumească VINCI Airports, Aeroportului Internațional Salvador și Laboratorului de Geotehnică și Geosintetice al Universității Federale din São Carlos. Autorii mulțumesc Huesker Brazilia pentru donarea geosinteticelor.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ASTM (American Society for Testing and Materials): *„Standard Test Method for Determining Fatigue Failure of Compacted Asphalt Concrete Subjected to Repeated*

Flexural Bending”, ASTM D7460, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, **2010**.

[2]. ASTM (American Society for Testing and Materials): *„Standard Test Method to Determine Asphalt Retention of Paving Fabrics Used in Asphalt Paving for Full-Width Applications”*, ASTM D6140, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, **2014**.

[3]. ASTM (American Society for Testing and Materials): *„Standard Test Method for Measuring Mass Per Unit Area of Geotextiles”*, ASTM D5261, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, **2018**.

[4]. ASTM (American Society for Testing and Materials): *„Standard Test Method for Oversized Particles in Emulsified Asphalts (Sieve Test)”*, ASTM D6933, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, **2018**.

[5]. ASTM (American Society for Testing and Materials): *„Standard Test Method for Viscosity of Emulsified Asphalt by Saybolt Furol Viscometer”*, ASTM D7496, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, **2018**.

[6]. ASTM (American Society for Testing and Materials): *„Standard Test Method for Distillation of Emulsified Asphalt”*, ASTM D6997, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, **2020**.

[7]. A.L.C.S. BERNARDINELLI, T.R. SOUZA, N.S. CORREIA: *„Desempenho de fadiga à flexão de revestimentos asfálticos reforçados com geossintéticos”*, X Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental & IX Congresso Brasileiro de Geossintéticos, Salvador, Bahia, **2023**.

[8]. N.S. CORREIA, A.L.C. SOUZA, K.M. SANTOS, V.V. KUMAR: *„Fatigue performance of geosynthetic-reinforced asphalt using DIC”*, 5th Pan-American Conference on Geosynthetics, GEOAMERICAS, Toronto, **2024**.

[9]. N.S. CORREIA, T.R. SOUZA, M.P. SILVA, V.V. KUMAR: *„Investigations on interlayer shear strength characteristics of geosynthetic-reinforced asphalt overlay sections at Salvador International Airport”*, Road Materials and Pavement Design, v. **24**, n. 6, p. **1542-1558**, **2022**.

[10]. FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen): *„Arbeitspapier für die Verwendung von Vliesstoffen, Gittern und Verbundstoffen im Asphaltstraßenbau”*, FGSV 770, **2013**.

[11]. R.A. FREIRE, H. DI BENEDETTO, C. SAUZÉAT, S. POUGET, D. LESUEUR: *„Crack propagation analysis in bituminous mixtures reinforced by different types of geogrids using digital image correlation”*, Construction and Building Materials, v. **303**, p. **124522**, **2021**.

[12]. R.A. FREIRE, H. DI BENEDETTO, C. SAUZÉAT, S. POUGET, D. LESUEUR: *„Rational design method for bituminous pavements reinforced by geogrid”*, Geotextiles and Geomembranes, v. **51**, n. 5, p. **39-52**, **2023**.

[13]. P. JASKULA, D. RYS, M. STIENSS, C. SZYDLOWSKI, M. GOLOS, K. KORNACKA, J. ZOLTKO, J. KAWALEC: *„The effect of multiaxial geocomposite reinforcement on fatigue performance and crack propagation delay in double-layered asphalt beams”*, Road Materials and Pavement Design, v. **24**, n. sup1, p. **352-368**, **2023**.

[14]. A. KHAN, A. GOLI, A. ALI, Y. METHA, W. LEIN: *„Laboratory cracking and interlayer bond strength performance characterization of full-scale accelerated geosynthetic reinforced asphalt concrete”*, Construction and Building Materials, v. **420**, p. **135628**, **2024**.

[15]. V.V. KUMAR, S. SARIDE: *„Evaluation of flexural fatigue behavior of two layered asphalt beams with geosynthetic interlayers using Digital Image Correlation”*, Proceedings of Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington D.C., USA, pp. **8-12**, **2017**.

[16]. V.V. KUMAR, G.H. ROODI, S. SUBRAMANIAN, J.G. ZORNBERG: *„Installation of geosynthetic interlayers during overlay construction: Case study of Texas State Highway 21”*, Transportation Geotechnics, v. **43**, p. **101127**, **2023**. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2023.101127

[17]. T. SOUZA, N.S. CORREIA: *„Investigação da aderência de interface de revestimentos asfálticos reforçados com geossintéticos em seção experimental no Aeroporto Internacional de Salvador”*, 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) & 47ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv), Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, **2022**.

[18]. S. SARIDE, V.V. KUMAR: *„Reflection Crack Assessment using Digital Image Analysis”*, Frontiers in Geotechnical Engineering, Development in Civil Engineering, pp. **139-156**, **2019**. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5871-5_8

[19]. N. SUDARSANAN, A. ARULRAJAH, R. KARPURAPU, V. AMRITHALINGAM: *„Digital image correlation technique for measurement of surface strains in reinforced asphalt concrete beams under fatigue loading”*, Journal of Materials in Civil Engineering, v. **31**, n. 8, p. **04019135**, **2019**.

[20]. S. WANG, Z. ZHU, T. MA, J. FAN: *„Asphalt Concrete Characterization Using Digital Image Correlation: A Systematic Review of Best Practices, Applications, and Future Vision”*, Journal of Testing and Evaluation, p. **1-35**, **2024**.

TEHNOLOGII SUSTENABILE ŞI ECONOMIA CIRCULARĂ ÎN INGINERIA RUTIERĂ: ANALIZA CICLULUI DE VIAȚĂ, VALORIFICAREA MATERIALELOR RECUPERATE ŞI STABILIZAREA ALTERNATIVĂ A STRATURILOR RUTIERE

Costescu Ciprian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Politehnica Timişoara, costescu.ciprian@upt.ro
Marc Paul, conf.univ.dr.ing., Universitatea Politehnica Timişoara, e-mail: paul.marc@upt.ro
Forton Andrei, şef lucr.dr.ing., Universitatea Politehnica Timişoara, e-mail: forton.andrei@upt.ro
Ştirb Adelin, asist.univ.dr.ing., Universitatea Politehnica Timişoara, e-mail: adelin.stirb@upt.ro

Rezumat

Sectorul infrastructurii de transport traversează o schimbare de paradigmă fundamentală, determinată de intensificarea traficului greu, epuizarea resurselor minerale primare şi obiectivele europene de neutralitate climatică asumate prin Pactul Verde European (European Green Deal, 2019).

În condițiile în care transportul reprezintă peste 7% din PIB-ul Uniunii Europene şi consumă circa 30% din totalul energiei, iar combustibilii fosili utilizaţi în construcția infrastructurii rutiere generează peste 25% din emisiile de gaze cu efect de seră aferente domeniului, tranziția de la modelul liniar tradițional la economia circulară devine o cerință tehnică imperativă.

Prezentul articol sintetizează rezultatele ştiinţifice, metodologiile de încercare, diagramele de proces şi datele experimentale din patru lucrări de referinţă elaborate în cadrul Facultății de Construcții din Timişoara. Cercetările acoperă patru direcții complementare: scăderea temperaturii de preparare prin tehnologii Warm Mix Asphalt (WMA), politicile şi tehnologiile de reutilizare a asfaltului frezat (RAP), stabilizarea „in situ” a drumurilor comunale cu biopolimeri pe bază de lignină şi modificarea mixturilor de uzură cu polimeri plastomeri din deşeuri de plastic reciclat.

Cuvinte cheie: mixturi asfaltice călduțe, reciclare, stabilizare, polimeri, deformații permanente

Abstract

The transport infrastructure sector is undergoing a fundamental paradigm shift driven by the intensification of heavy traffic, the depletion of primary mineral resources, and the European climate neutrality objectives assumed through the European Green Deal (2019).

Given that transport accounts for over 7% of the European Union's GDP and consumes approximately 30% of total energy, while fossil fuels used in road infrastructure construction generate over 25% of the sector's greenhouse gas emissions, the transition from the traditional linear model to the circular economy becomes an imperative technical requirement.

This document synthesizes the scientific results, testing methodologies, process diagrams, and experimental data from four reference papers developed within the Faculty of Civil Engineering in Timişoara. The research covers four complementary directions: lowering preparation temperatures through Warm Mix Asphalt (WMA) technologies, policies and technologies for Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) reuse, "in situ" stabilization of local roads using lignin-based biopolymers, and the modification of wearing course mixtures with plastomeric polymers derived from recycled plastic waste.

Keywords: warm mix asphalt, recycling, stabilization, polymers, permanent deformation

1. REDUCEREA TEMPERATURII DE PREPARARE A MIXTURILOR ASFALTICE: CADRU METODOLOGIC LCA [1]

Producerea mixturilor asfaltice convenționale la cald (Hot Mix Asphalt – HMA) implică un consum ridicat de energie termică și generează emisii semnificative de gaze cu efect de seră (GES) și compuși organici volatili. Implementarea tehnologiei Warm Mix Asphalt (WMA – mixturi asfaltice călduțe) permite reducerea temperaturilor de preparare și compactare cu aproximativ 40 °C (de la circa 160 °C la 120 °C), diminuând expunerea personalului la vapori nocivi, scăzând consumul de combustibil și facilitând încorporarea unor proporții mai mari de asfalt recuperat (RAP).

Pentru cuantificarea riguroasă a beneficiilor ecologice, studiul aplică metodologia Evaluării Ciclului de Viață (Life Cycle Assessment – LCA) conform standardului EN 15804:2012+A2:2020. Din cele trei categorii metodologice consacrate în literatură (metoda bazată pe proces, metoda input-output și metoda hibridă), autorii au selectat metoda bazată pe proces, modelată în software-ul dedicat GaBi, utilizând bazele de date Professional și Ecoinvent.

Deși ciclul complet de viață al unei structuri rutiere cuprinde cinci etape (producere, construcție, utilizare, întreținere și sfârșitul duratei de viață), cercetarea se concentrează exclusiv pe etapa de producere, conform abordării „Cradle-to-Gate” (Figura 1).

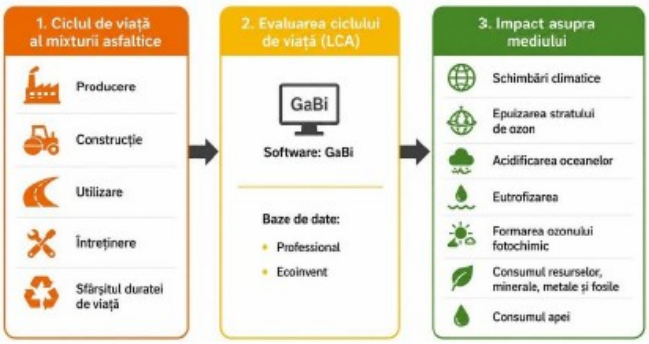


Figura 1. Schema analizei impactului asupra mediului pe baza evaluării ciclului de viață (LCA) a mixturilor asfaltice

Unitatea funcţională a fost stabilită la producerea unei tone (1 t) de mixtură asfaltică destinată stratului de uzură. Compoziția de bază cuprinde: 54,0% criblură 4/16, 25,6% nisip de concasaj 0/4, 7,6% nisip natural 0/4, 7,6% filer şi 5,2% bitum 50/70. Au fost comparate trei variante tehnologice: (1) HMA – mixtură clasică la cald (160 °C); (2) WMA + 0,5%C – mixtură călduță (120 °C) cu 0,5% aditiv chimic (surfactant neionic) raportat la masa bitumului; (3) WMA + 0,3%Z – mixtură călduță (120 °C) cu 0,3% zeolit sintetic raportat la masa mixturii.

Studiul realizat evaluează impactul asupra mediului al mixturilor asfaltice clasice la cald (HMA) comparativ cu mixturile asfaltice călduțe (WMA) obținute cu aditiv chimic (0,5% din masa bitumului) sau zeolit sintetic (0,3% din masa mixturii). Evaluarea s-a efectuat conform standardului european EN 15804:2012+A2:2020, utilizând software-ul GaBi şi o abordare de tip „Cradle-to-Gate” pentru o unitate funcțională de 1 tonă de mixtură asfaltică destinată stratului de uzură.

Limitele sistemului (Figura 2) au acoperit trei etape principale: A1 (procurarea materialelor componente şi extracţia materiilor prime), A2 (transportul componentelor către stație) şi A3 (producerea propriu-zisă în stația de mixturi asfaltice) (Figura 3). Datele de inventar au provenit din bazele de date Professional (pentru agregate, nisipuri, filer şi bitum) şi Ecoinvent (pentru aditivi). Consumul energetic în stație a fost considerat 340 MJ/t pentru HMA şi redus cu 20% (270 MJ/t) pentru WMA datorită temperaturilor de lucru mai scăzute.

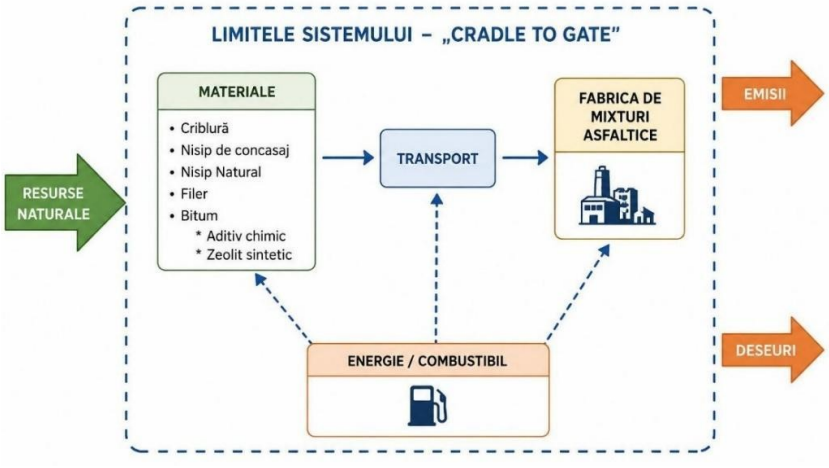


Figura 2. Limitele sistemului

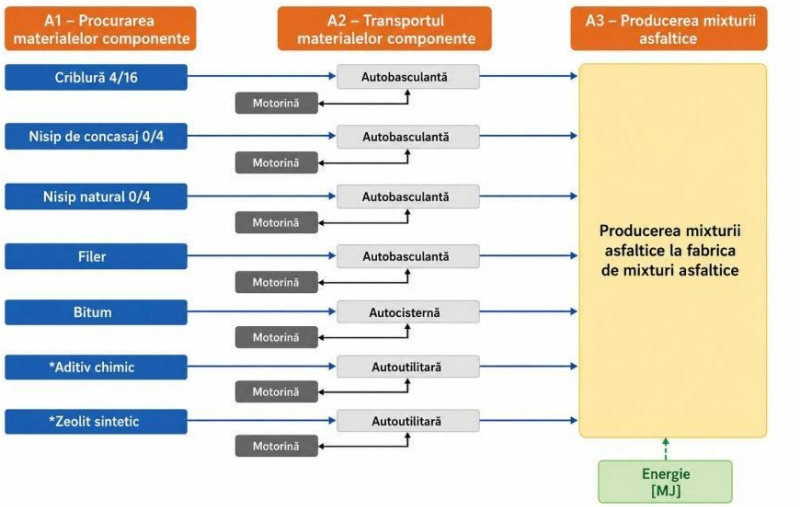


Figura 3. Organigrama etapei de producere a mixturii asfaltice

Evaluarea întregului proces tehnologic demonstrează că avantajele reducerii temperaturii de fabricație trebuie analizate în corelație cu impactul de mediu asociat materialelor și aditivilor utilizați. Cu toate acestea, utilizarea tehnologiilor WMA oferă și beneficii care nu sunt reflectate integral în analiza LCA. Reducerea temperaturii de preparare contribuie la îmbunătățirea condițiilor de muncă în stațiile de mixtură asfaltică și pe șantiere, prin diminuarea expunerii personalului la temperaturi ridicate, fum și emisii de gaze cu efect de seră, precum și prin reducerea riscurilor asociate manipulării materialelor fierbinți.

Aceste avantaje reprezintă un argument suplimentar în favoarea utilizării tehnologiilor WMA, alături de beneficiile privind reducerea consumului energetic și a impactului asupra mediului.

2. TENDINȚE ACTUALE ÎN PROIECTAREA, PRODUCEREA ȘI PUNEREA ÎN OPERĂ A MIXTURILOR ASFALTICE – TRANZIȚIA CĂTRE ECONOMIA CIRCULARĂ [2]

Primele încercări de recuperare a mixturii asfaltice sunt menționate începând cu 1915. În perioada 1930–1950 au apărut echipamente experimentale pentru reciclarea la rece și la cald, însă cantitățile reutilizate erau în general limitate la aproximativ 25%, din cauza dificultăților de tratare a bitumului îmbătrânit. Criza petrolieră din 1973–1974 a accelerat programele industriale de recuperare a mixturii asfaltice în SUA. Frezele moderne dezvoltate și răspândite în anii 1970 au făcut posibilă îndepărtarea controlată și uniformă a straturilor vechi.

În România, reciclarea la rece a început să fie introdusă la începutul anilor 1990, iar reglementarea AND 532 a stabilit reguli tehnice în 1997–1998. Reciclarea la cald s-a dezvoltat în anii 2000, fiind menționate normativul DD 509-2003 și actualizarea DD 509-2024 pentru stațiile fixe, semimobile și mobile.

În funcție de temperatura de fabricare, se disting patru categorii: reciclare la rece (Cold Recycling), semicaldă (Half Warm Recycling), călduță (Warm Recycling) și la cald (Hot Recycling). Trecerea de la HMA (mixturi asfaltice la cald) la WMA (mixturi asfaltice călduțe) este una dintre direcțiile urmărite pentru reducerea temperaturilor de producție, a consumului de energie și a costurilor (Figura 4).

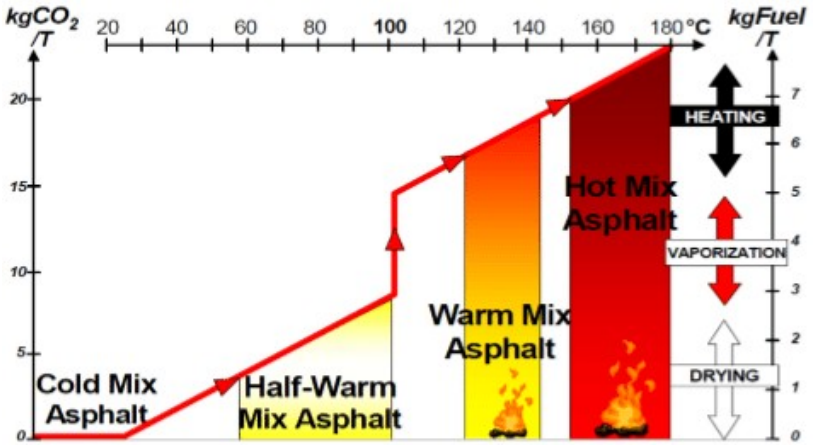


Figura 4. Evoluția tehnologiilor de producere a mixturilor asfaltice în funcție de temperatură

În SUA se generează anual aproximativ 80–100 milioane de tone de RAP, iar materialul este valorificat aproape integral. Conținutul mediu de RAP din noile mixturi asfaltice a depășit 22%; autorii citează economii anuale de peste 4,7 miliarde USD și o reducere cumulată a emisiilor de 21,1 milioane de tone CO_2 într-o perioadă de 10 ani (Figura 5).

La nivel european, circa 50 milioane de tone RAP anual: 65–75% ar fi reutilizat în noi mixturi HMA/WMA, iar 25–35% valorificat ca material granular stabilizat sau în straturi de fundație. Sunt evidențiate rate ridicate de reutilizare în țări precum Olanda, Germania și Franța.

Beneficiile reutilizării RAP sunt grupate în patru dimensiuni:

- tehnică: valorificarea componentelor existente și posibilitatea obținerii unor mixturi cu performanțe adecvate, dacă proiectarea și controlul sunt corespunzătoare;
- economică: reducerea consumului de bitum și agregate virgine și a costurilor directe și indirecte;
- de mediu: conservarea resurselor, reducerea amprentei de carbon și diminuarea cantităților depozitate;
- logistică: îmbunătățirea gestionării materialelor rezultate din lucrări și optimizarea fluxurilor de aprovizionare.

Pentru extinderea utilizării sunt necesare cercetări privind calitatea și comportarea mixturilor cu RAP, existența unei piețe funcționale pentru materialele recuperate, reglementări și politici publice clare, investiții în echipamente și tehnologii, precum și colaborare mai bună între beneficiari, proiectanți, antreprenori și furnizori. Raportul preț/performanță trebuie să fie comparabil cu cel al soluțiilor tradiționale.



Figura 5. Reutilizarea mixturilor asfaltice

Ingineria modernă poate valorifica materialul recuperat, cu condiția unei proiectări adecvate și a controlului proprietăților. Sunt propuse trei direcții principale:

- proiectarea bazată pe performanță, cu investigarea reologiei bitumului, modelare numerică și integrarea controlată a unor deșeuri industriale;
- fabricarea cu impact redus, inclusiv țintirea unor proporții RAP de peste 40% cu rejuvenatori și reducerea temperaturii de producție prin aditivi;
- digitalizarea punerii în operă prin ghidaje 3D/GPS, monitorizare termică continuă și compactare inteligentă.

Concluzia centrală este că infrastructura rutieră trebuie să evolueze de la modelul liniar „extrage–folosește–aruncă” la un model circular, în care materialele asfaltice recuperate sunt reintegrate în lucrări noi. Pentru România, valorificarea potențialului RAP presupune cercetare, adaptarea cadrului normativ, investiții și adoptarea unei culturi tehnice orientate spre reutilizare.

3. METODĂ ALTERNATIVĂ DE STABILIZARE A STRATURILOR RUTIERE EXISTENTE FOLOSIND BIOPOLIMERI PE BAZĂ DE LIGNINĂ [3]

Articolul „Metodă alternativă de stabilizare a straturilor rutiere existente folosind biopolimeri pe bază de lignină” analizează o soluție de reciclare și

stabilizare „in situ” (Figura 6) destinată în principal drumurilor locale pietruite. Conceptul tehnologic urmărește reutilizarea materialului granular deja existent în corpul drumului, evitând excavarea și înlocuirea masivă cu agregate naturale noi.



Figura 6. Schema tehnologiei de stabilizare „in situ” utilizând biopolimeri pe bază de lignină

Procesul presupune scarificarea și mărunțirea stratului rutier, omogenizarea materialului până la o adâncime de aproximativ 35 cm, aplicarea controlată a biopolimerului, profilarea și compactarea. Biopolimerul este un produs lichid pe bază de lignină, din familia lignosulfonaților. Lignina este un polimer natural din biomasa lemnoasă și reprezintă un produs secundar important al industriei celulozei și hârtiei.

Din punct de vedere funcțional, lignina este utilizată pentru capacitatea sa de legare a particulelor minerale, caracterul hidrofob și potențialul de reducere a permeabilității. Autorii urmăresc patru efecte principale: creșterea coeziunii și a capacității portante, diminuarea sensibilității la apă, creșterea rezistenței la îngheț-dezgheț și reducerea producerii de praf pe drumurile pietruite (Figura 7).



Figura 7. Echipament de stabilizare și sursa ligninei

Creșterea dozajului de biopolimer a determinat o creștere evidentă a capacității portante. Testele experimentale arată că, față de martor, dozajul de 2% produce o creștere cu 86,5% a CBR la penetrația de 2,5 mm în stare imersată și creșteri și mai mari după solicitarea prin îngheț-dezgheț. Dozajul de 2% a fost ales ca variantă optimă din perspectiva comportării globale, chiar dacă la 2,5% unele valori CBR sunt mai mari.

Caracterul hidrofob al tratamentului limitează pătrunderea și reținerea apei în masa granulară. Această proprietate este importantă deoarece umiditatea ridicată reduce de regulă capacitatea portantă și favorizează făgașele, deformările locale și pierderea stabilității suprafeței. Prin reducerea apei disponibile în pori se diminuează și degradările asociate ciclurilor repetate de îngheț-dezgheț.

Sectorul experimental a fost realizat în perioada septembrie-noiembrie 2022 pe drumul Ohaba-Forgaci, comuna Boldur. La aproape un an de la aplicare, după trecerea unei ierni, autorii raportează o stare tehnică îmbunătățită și mai puține degradări decât pe alte drumuri locale care au necesitat reparații și aport suplimentar de piatră spartă.

Soluția are o logică de economie circulară pe două niveluri: reutilizează materialul granular existent în amplasament și valorifică lignina, produs secundar al industriei celulozei și hârtiei. Reducerea excavării, a transportului și a consumului de agregate naturale constituie principalele mecanisme de diminuare a impactului de mediu.

- dozajul de 2% biopolimer a fost selectat ca dozaj optim pentru validarea în teren;
- tratamentul îmbunătățește capacitatea portantă și reduce sensibilitatea la apă și îngheț-dezgheț;
- tehnologia este fezabilă pentru stabilizare direct în amplasament, cu reutilizarea materialului existent;
- sunt necesare monitorizare pe termen lung, control riguros al dozajului/omogenizării și studii pentru alte tipuri de materiale granulare.

Din perspectiva performanței tehnice, studiul cu lignină oferă un rezultat coerent: stabilizarea îmbunătățește capacitatea portantă și rezistența la acțiunea apei, iar dozajul de 2% a fost confirmat ca soluție echilibrată pentru continuarea experimentului în teren. Observațiile după prima iarnă susțin fezabilitatea soluției pentru drumuri locale pietruite, dar nu înlocuiesc monitorizarea pe termen lung.

4. MIXTURI ASFALTICE CU ADAOS DE POLIMER PLASTOMER DIN PLASTIC RECICLAT [4]

Studiu experimental privind comportarea mixturilor asfaltice cu adaos de polimer plastomer utilizate în stratul de uzură al îmbrăcăminților bituminoase evaluează influența unui polimer plastomer obținut din deșeuri de plastic asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice. Obiectivul este dublu: creșterea performanțelor stratului de uzură și valorificarea unui flux de deșeuri în spiritul economiei circulare.

Agregatele utilizate în studiu provin dintr-o carieră de diorit; bitumul utilizat este 50/70, iar polimerul plastomer este produs din deșeuri de plastic reciclat. Programul experimental a inclus inițial 12 mixturi asfaltice pentru selectarea curbei granulometrice și a conținutului optim de liant. Pentru etapa a doua a fost selectată curba D_2 și un conținut de bitum de 4,7%, iar polimerul a fost introdus în proporții de 2%, 4%, 6%, 8% și 10% din masa bitumului.

Încercările principale utilizate pentru caracterizarea mixturilor au fost: stabilitatea Marshall, modulul de rigiditate prin întindere indirectă la 20 °C, fluajul dinamic/deformația la 50 °C, sensibilitatea la apă și rezistența la ornieraj la 60 °C. Rezultatele au fost raportate la cerințele normativului AND 605.

- polimerul plastomer crește stabilitatea Marshall și modulul de rigiditate; la dozaje mari apare o rigidizare excesivă (Figura 8 și Figura 9);
- rezistența la deformații permanente se îmbunătățește, dar relația cu dozajul nu este uniformă pentru fluajul dinamic;
- sensibilitatea la apă se deteriorează pentru dozaje ridicate; 8% și 10% nu respectă limita minimă AND 605;
- rezistența la ornieraj se îmbunătățește progresiv, însă niciuna dintre rețetele testate nu respectă limita maximă AND 605 pentru adâncimea făgașului.

Rezultatele indică necesitatea optimizării simultane a conținutului de polimer, liantului și scheletului mineral; maximizarea unui singur indicator nu conduce la o rețetă global optimă.

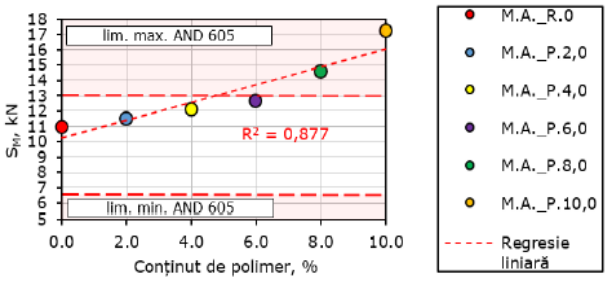


Figura 8. Stabilitatea Marshall - valori experimentale vs. limitele impuse de către AND 605

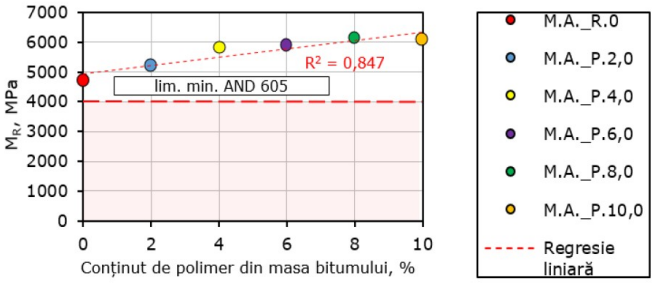


Figura 9. Modul de rigiditate - valori experimentale vs. limitele impuse de către AND 605

Studiul cu polimer plastomer demonstrează clar capacitatea plasticului reciclat de a modifica răspunsul mecanic al mixturilor asfaltice. Creșterea rigidității și reducerea făgașului sunt avantaje importante, însă apar limite la sensibilitatea la apă și la conformarea cu cerința de ornieraj. În consecință, nu rezultă din articol un „procent optim universal” de polimer: 6% este favorabil la fluaj dinamic, 10% minimizează făgașul, dar dozajele mari penalizează sensibilitatea la apă și pot conduce la rigidizare excesivă.

5. CONCLUZII

Toate cele patru cercetări privite împreună, susțin direcția utilizării materialelor secundare, a reducerii temperaturilor de producere a mixturilor asfaltice și a reciclării în infrastructura rutieră, dar evidențiază aceeași cerință de bază: sustenabilitatea trebuie corelată cu performanța tehnică și cu respectarea criteriilor normative.

BIBLIOGRAFIE

[1]. C. COSTESCU, F. BELC, P. MARC, A. FORTON, A. ȘTIRB: *„Studii privind posibilitatea reducerii temperaturii de preparare a mixturilor asfaltice la cald din punct de vedere al impactului asupra mediului înconjurător”, Lucrare* de la al XVII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Brașov, 23-25 septembrie **2026**.

[2]. A. FORTON, P. MARC, C. COSTESCU, A. ȘTIRB: *„Tendințe actuale în proiectarea, producerea și punerea în operă a mixturilor asfaltice”, Lucrare* de la al XVII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Brașov, 23-25 septembrie **2026**.

[3]. P. MARC, A. FORTON, C. COSTESCU, G. LUCACI, A. ȘTIRB: *„Metodă alternativă de stabilizare a straturilor rutiere existente folosind biopolimeri pe bază de lignină”, Lucrare* de la al XVII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Brașov, 23-25 septembrie **2026**.

[4]. A. ȘTIRB, A. CIUTINA, A. FORTON, P. MARC, C. COSTESCU: *„Studiu*

experimental privind comportarea mixturilor asfaltice cu adaos de polimer plastomer utilizate în stratul de uzură al îmbrăcăminților bituminoase”, Lucrare de la al XVII-lea Congres Național de Drumuri și Poduri, Brașov, 23-25 septembrie **2026**.

INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ ÎN INSPECȚIA ȘI EVALUAREA STĂRII TEHNICE A PODURILOR: APLICAȚII, OPORTUNITĂȚI INGINEREȘTI ȘI PROVOCĂRI DE IMPLEMENTARE

DANCIU Alexandra-Denisa, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: alexandra.danciu@cfdp.utcluj.ro
GUȚIU Ștefan-Iuliu, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: stefan.gutiu@cfdp.utcluj.ro
MARUSCEAC Vladimir, șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: vladimir.marusceac@cfdp.utcluj.ro
DRAGOMIR Mihai-Liviu, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: mihai.dragomir@cfdp.utcluj.ro
CIOTLĂUȘ Mădălina Adriana, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: madalina.ciotlaus@cfdp.utcluj.ro
CHINDRIȘ Ionuț-Iacob, asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: ionut.chindris@cfdp.utcluj.ro

Rezumat

Inteligența artificială (IA) este tot mai frecvent investigată pentru interpretarea imaginilor obținute la inspecția podurilor și pentru sprijinirea identificării, documentării și evaluării degradărilor. Sinteza narativă, orientată spre aplicații, valorifică un eșantion constituit anterior din 261 de studii primare privind podurile, publicate între 2015 și 21 septembrie 2026, și urmărește trecerea de la detectarea defectelor la măsurare, interpretare la nivel de element structural și evaluarea stării tehnice, pe baza unor studii reprezentative privind fisurile, coroziunea, degradările betonului, termografia și inspecția cu UAV. Sunt diferențiate observațiile extrase din imagini de dovezile suplimentare necesare deciziilor inginerești și se propune un flux de lucru în cinci etape. Analiza automată a imaginilor cu IA poate îmbunătăți documentarea și prioritizarea inspecțiilor, dar nu stabilește prin ea însăși starea structurală; validarea independentă, localizarea geometrică și verificarea de către specialiști rămân esențiale.

Cuvinte cheie: inspecția podurilor; inteligență artificială; evaluarea stării tehnice; vedere artificială; coroziune; detectarea fisurilor; UAV; verificare inginerească.

Abstract

Artificial intelligence (AI) is increasingly investigated for interpreting bridge inspection imagery and supporting the identification, documentation and assessment of deterioration. This application-oriented narrative review draws on a previously assembled corpus of 261 bridge-specific primary studies published from 2015 to 21 September 2026. Representative studies on cracking, steel corrosion, concrete deterioration, infrared thermography and UAV-assisted inspection illustrate the progression from defect detection to measurement, component-level interpretation and condition assessment. The paper distinguishes image-derived observations from the additional evidence required for engineering decisions and proposes a five-stage workflow. Visual AI may improve inspection documentation and prioritization, but it does not by itself establish structural condition; independent validation, geometric traceability and professional verification remain essential.

Keywords: bridge inspection; artificial intelligence; condition assessment; computer vision; corrosion; crack detection; UAV; engineering verification.

1. INTRODUCERE

Inspecția podurilor furnizează informațiile necesare identificării degradărilor, documentării stării elementelor structurale și planificării lucrărilor de întreținere. Inspecția vizuală convențională rămâne indispensabilă, deoarece observațiile trebuie interpretate în raport cu sistemul structural, solicitările, comportarea materialelor și istoricul inspecțiilor. În același timp, dificultățile de acces, volumul mare de fotografii și variația condițiilor de observare creează oportunități pentru utilizarea instrumentelor digitale [1,2].

Metodele de vedere artificială și învățare profundă pot identifica în imagini fisuri, coroziune și degradări ale betonului. UAV-urile și platformele robotizate pot extinde accesul vizual, iar fotogrametria și modelele tridimensionale permit organizarea spațială a observațiilor [1–3]. Totuși, recunoașterea corectă a unui defect vizibil nu echivalează cu evaluarea inginerească a gravității sau consecințelor acestuia. O mască de segmentare poate delimita o suprafață corodată fără a măsura pierderea de secțiune a oțelului; identificarea unei fisuri nu evidențiază neapărat adâncimea, evoluția sau semnificația ei structurală.

Scopul lucrării este de a analiza contribuţiile realiste ale analizei automate a imaginilor cu IA la inspecţia şi evaluarea stării tehnice a podurilor, fără a dezvolta un nou algoritm şi fără a relua o evaluare formală a maturităţii tehnologiilor. Sunt discutate aplicaţiile, informaţiile inginereşti rezultate, limitele dovezilor disponibile şi cerinţele integrării practice, urmărind trei întrebări: Ce informaţii poate genera IA? În ce condiţii pot aceste informaţii susţine evaluarea stării tehnice? Ce verificări şi înregistrări sunt necesare înainte de utilizarea curentă?

Lucrarea este o sinteză orientată spre aplicaţii, fundamentată pe un eşantion analitic constituit anterior din 261 de studii primare privind podurile, publicate între 2015 şi 21 septembrie 2026. Selecţia iniţială a urmărit aplicaţii IA bazate pe imagini în spectrul vizibil sau în infraroşu, inclusiv imagini obţinute cu UAV-uri ori platforme robotizate; studiile bazate predominant pe ultrasunete, acustică sau radar nu au intrat în acest domeniu. Studiile reprezentative au fost alese pentru a ilustra funcţii inginereşti distincte, iar rezultatele numerice nu sunt agregate sau ierarhizate, deoarece seturile de imagini, definiţiile defectelor şi indicatorii diferă între studii. Lucrarea nu constituie o nouă căutare sistematică, o metaanaliză sau o prezentare exhaustivă.

2. TEHNOLOGII DE VIZIUNE ARTIFICIALĂ ŞI APLICAŢII ÎN INSPECŢIA PODURILOR

2.1. Clasificarea imaginilor, detectarea obiectelor şi segmentarea

Un pas intermediar între detectarea unui defect şi evaluarea elementului este identificarea automată a componentei structurale din imagine. Zhang et al. [1] au analizat simultan recunoaşterea elementelor de pod şi segmentarea degradărilor, evitând tratarea unei regiuni deteriorate ca observaţie izolată. Clasificarea atribuie o etichetă unei imagini, detectarea estimează poziţia defectului, iar segmentarea delimitează pixelii afectaţi; numărul de pixeli nu reprezintă însă o dimensiune fizică decât dacă scara imaginii şi geometria achiziţiei sunt controlate [1,2].

2.2. Fisuri, coroziune şi alte degradări vizibile

Pentru documentarea cantitativă a fisurilor, Zhou et al. [2] au investigat un sistem UAV pentru cuantificarea şi vizualizarea lor. Transformarea informaţiilor

vizuale despre fisuri în lățimi fizice necesită calibrare, luarea în considerare a unghiului de fotografiere, rezoluției și incertitudinii, iar interpretarea presupune cunoașterea poziției în cadrul structurii și a scheletului de armare. Zhang et al. [3] corelează informațiile despre fisuri extrase din imagini cu clasele de stare ale tablierelor, depășind simpla recunoaștere.

În cazul coroziunii, Jiang et al. [4] au studiat o metodă automată în două etape pentru examinarea acoperirilor cu un sistem aerian tolerant la coliziuni, Ameli et al. [5] au asociat segmentarea coroziunii cu evaluarea stării, iar Bakhtiari et al. [6] au investigat caracterizarea coroziunii la nivel de element. Suprafața acoperită de rugină și pierderea efectivă de secțiune rămân însă mărimi diferite; pot fi necesare măsurători de grosime și interpretare structurală.

La beton, Huamani et al. [7] au abordat segmentarea și cuantificarea exfolierilor, iar pentru aparatele de reazem Wang și Su [8] au propus identificarea defectelor și clasificarea stării din imagini. Extinderea aparentă a degradării nu indică adâncimea delaminării sau starea armăturii, iar o evaluare vizuală a reazemului nu demonstrează funcționarea sau condițiile de blocare; aceste diferențe limitează transformarea directă a etichetelor (categoriile atribuite de model imaginilor sau zonelor din imagine, de exemplu „fisură”, „coroziune” sau „exfoliere”) în calificative de stare (încadrarea elementului într-o clasă de stare tehnică, stabilită de inginer pe criterii normate).

2.3. Termografia în infraroșu

Cheng et al. [9] au analizat segmentarea zonelor cu delaminări ale tablierelor prin termografie UAV și rețele de tip encoder-decoder, iar Abu Dabous et al. [10] au evaluat tablierele prin combinarea termografiei în infraroșu cu radarul de penetrare a solului. Combinarea metodelor indică avantajul complementarității, iar ansamblul studiilor arată că o anomalie termică reprezintă un indiciu, nu confirmarea suficientă a unei degradări interne. Contrastul termic depinde de expunerea solară, umiditate, vânt și momentul achiziției, iar trierea termografică și confirmarea defectului sunt funcții distincte ale inspecției.

3. DE LA RECUNOAȘTEREA DEFECTELOR LA EVALUAREA STĂRII TEHNICE

3.1. Detectarea, măsurarea şi interpretarea sunt etape distincte

Rezultatul unui model IA trebuie interpretat în raport cu sarcina pentru care a fost conceput: detectarea stabileşte poziţia posibilă a unui defect, cuantificarea estimează dimensiuni în condiţiile unor ipoteze geometrice, iar evaluarea stării tehnice interpretează observaţia verificată în context structural şi pe baza unor criterii definite. Etapele sunt legate, dar nu sunt interschimbabile (Figura 1). Un clasificator aparent precis poate fi nepotrivit pentru o evaluare formală dacă rezultatele sale nu pot fi confruntate cu dovezile inginereşti necesare.

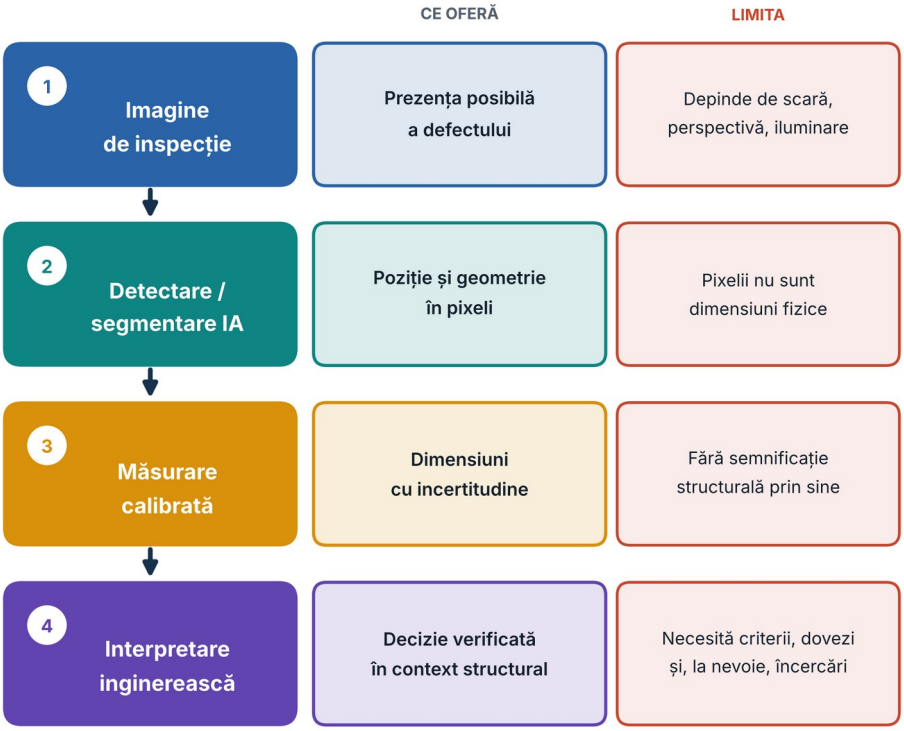


Figura 1. Etapele transformării unei observaţii vizuale în informaţie pentru evaluarea stării tehnice.

3.2. Dovezi din studii reprezentative privind podurile

În literatura orientată spre clasificarea stării, Çelik et al. [11] au analizat un sistem semiautomat care conectează segmentarea degradărilor cu evaluarea stării elementelor din beton, iar Rahman et al. [12] au asociat imaginile UAV cu cartografierea tridimensională a degradărilor şi cuantificarea stării la nivel de element. Kim et al. [13] au comparat inspecţia convenţională cu un flux bazat pe UAV, constatând posibile diferenţe între clasele de stare atribuite, care trebuie

investigate, nu interpretate ca dovadă a superiorității uneia dintre proceduri. Aceste abordări includ o etapă de interpretare inginerească, dar necesită verificarea regulilor de clasificare și a transferabilității între sisteme.

3.3. De ce indicatorii de performanță ai modelelor nu sunt direct comparabili

Indicatorii uzuali de performanță descriu proprietăți diferite ale unui model. Acuratețea clasificării reprezintă proporția imaginilor sau regiunilor încadrate corect. Scorul F1 combină precizia (ce parte din defectele semnalate sunt reale) cu sensibilitatea (ce parte din defectele reale sunt găsite), penalizând atât alarmele false, cât și defectele omise. Intersecția peste reuniune (IoU) măsoară suprapunerea dintre zona marcată de model și cea marcată de inspector, raportată la aria lor reunită, și scade rapid la defecte mici precum fisurile. Eroarea măsurătorilor geometrice se referă la abaterea dimensiunilor estimate față de cele reale, iar acordul cu evaluarea inspectorului arată în ce măsură modelul atribuie aceleași categorii de stare. Valorile depind de calitatea adnotărilor, scara imaginilor, definirea defectelor și separarea datelor de antrenare și testare; un indicator mai bun într-o publicație nu dovedește deci o performanță superioară în teren. Diferența dintre observațiile IA și dovezile inginerești necesare este rezumată în Tabelul 1.

Tabelul 1. Diferența dintre observațiile IA și dovezile inginerești.

Rezultat IA	Constatare susținută direct	Dovezi suplimentare necesare
Dreptunghi de încadrare a fisurii	O posibilă fisură este localizată în imagine	Verificare, element structural, dimensiuni
Estimarea lățimii fisurii	A fost calculată o lățime aparentă	Calibrare, incertitudine, repetabilitate
Coroziune	Au fost identificați pixeli cu aspect de coroziune	Starea protecției, măsurarea pierderii de secțiune
Suprafață exfoliată	A fost delimitată degradarea vizibilă	Adâncime, starea armăturii, verificări fizice
Etichetă de stare	Modelul a atribuit o categorie de stare	Criterii de evaluare, dovezi, verificare inginerească
Marcaj 3D al defectului	Observația a fost asociată unei poziții din model	Precizia înregistrării și identitatea elementului

4. UAV, CARTOGRAFIERE SPAȚIALĂ ȘI DOCUMENTARE DIGITALĂ A INSPECȚIILOR

UAV-urile pot reduce necesitatea unor operațiuni dificile de acces și pot furniza imagini ale unor suprafețe greu de documentat. Morgenthal et al. [14] au propus un cadru de evaluare bazat pe sisteme aeriene fără pilot (UAS), iar Kim et al. [13] au comparat fluxuri asistate de UAV cu inspecția convențională. Utilitatea imaginilor depinde de distanța față de suprafață, rezoluție, geometria de fotografiere, iluminare și obstacole, iar simpla utilizare a unui UAV nu demonstrează acoperirea completă, reducerea costurilor sau fiabilitatea calificativelor de stare.

Bolourian et al. [15] au investigat segmentarea semantică a defectelor betonului pe baza norilor de puncte, Cabral et al. [16] au folosit imagini UAV integrate într-un model BIM, iar Pantoja-Rosero și Salamone [17] au investigat segmentarea degradărilor prin IA împreună cu instrumente de realitate extinsă. Aceste soluții permit organizarea spațială a observațiilor, dar compararea în timp depinde de coregistrarea precisă (suprapunerea exactă în același sistem de coordonate) a datelor din campaniile succesive, iar un model 3D cu marcaje de defecte nu constituie, în sine, o evaluare validată a stării tehnice.

Un dosar digital al inspecției (Figura 2) ar trebui să păstreze, pentru fiecare observație, imaginea originală, data achiziției, identificatorul componentei, rezultatul IA, verificarea inspectorului, eventualele măsurători calibrate și interpretarea inginerească rezultată.

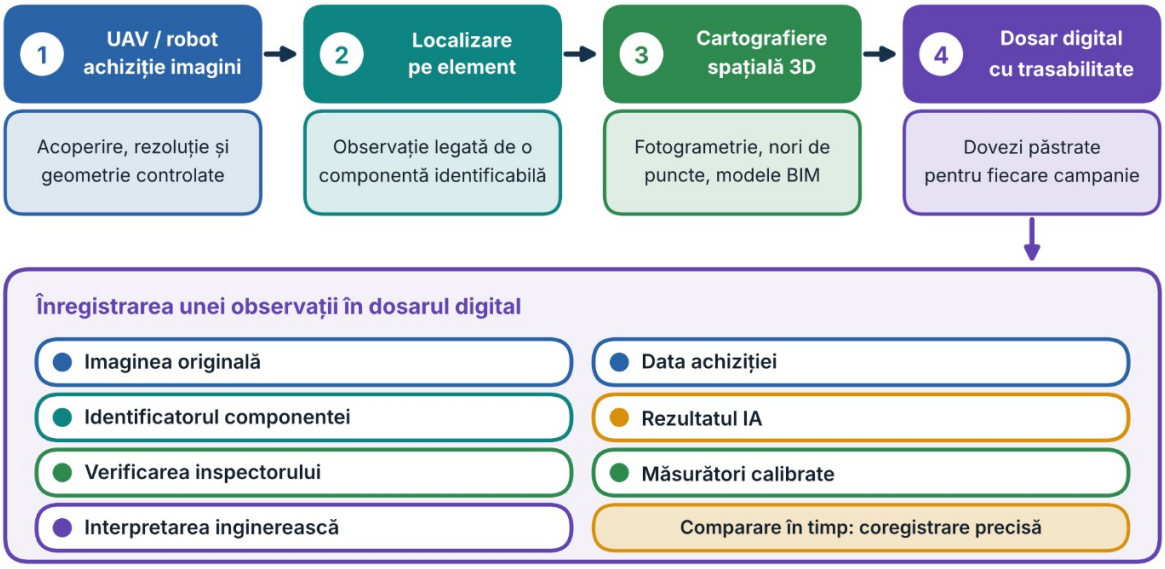


Figura 2. Integrarea imaginilor UAV și a observațiilor IA în dosarul digital al inspecției podului.

5. CERINȚE PENTRU IMPLEMENTAREA PRACTICĂ

5.1. Validare independentă și incertitudine

Bartczak et al. [18] au evaluat un flux de inspecție UAV care propune automat candidați de degradare, urmat de verificare umană. Park et al. [19] au investigat urmărirea evoluției degradărilor folosind imagini multivizuale din inspecții repetate. Aceste exemple subliniază importanța trasabilității observațiilor, a verificării independente și a controlului diferențelor dintre condițiile de achiziție.

Validarea trebuie să reflecte utilizarea preconizată: împărțirea aleatorie a imaginilor poate supraestima generalizarea dacă datele de antrenare și testare conțin același pod, iar testarea pe poduri independente de cele utilizate la antrenarea modelului oferă dovezi mai puternice, cu documentarea cazurilor de eșec, a defectelor omise și a incertitudinii măsurătorilor.

5.2. Considerații privind aplicarea în România

Pentru practica inspecțiilor podurilor din România, o primă etapă realistă este organizarea asistată de IA și trierea preliminară a înregistrărilor vizuale,

urmate de verificarea de către ingineri calificați. Un studiu viitor de implementare ar trebui să coreleze câmpurile de date generate de sistemele IA cu cerințele ghidurilor naționale aplicabile și ale documentației de administrare a podurilor. În particular, orice corespondență cu prevederile AND 522 trebuie stabilită prin analiza explicită, articol cu articol, a ediției aplicabile și a statutului său juridic; prezenta sinteză nu pretinde că această corelare a fost realizată.

5.3. Flux propus de implementare în cinci etape

Se propune un flux etapizat ca model organizațional, nu ca procedură autonomă de inspecție validată: (1) achiziția imaginilor împreună cu metadatele podului și componentei; (2) analiza preliminară asistată de IA, cu păstrarea rezultatelor originale; (3) verificarea defectelor și calibrarea măsurătorilor; (4) interpretarea constatărilor în raport cu criterii inginerești, cu solicitarea unor examinări suplimentare când este necesar; și (5) documentarea observațiilor și deciziilor verificate, într-o formă trasabilă, în dosarul digital al inspecției. Succesiunea separă percepția automată de evaluarea profesională și introduce puncte de control pentru incertitudine și asigurarea calității (Figura 3, Tabelul 2).

Extinderea spre sprijinul deciziilor este ilustrată de Hu et al. [20], care au evaluat durata de viață la oboseală a tablierelor metalice ortotrope printr-un flux ce combină un robot de inspecție, învățarea profundă și un „geamăn digital”, adică un model numeric al structurii, actualizat cu date reale provenite din inspecții și utilizat pentru a simula comportarea podului în timp. Informația vizuală este însă doar una dintre intrările necesare acestui tip de evaluare și nu poate înlocui verificarea structurală.

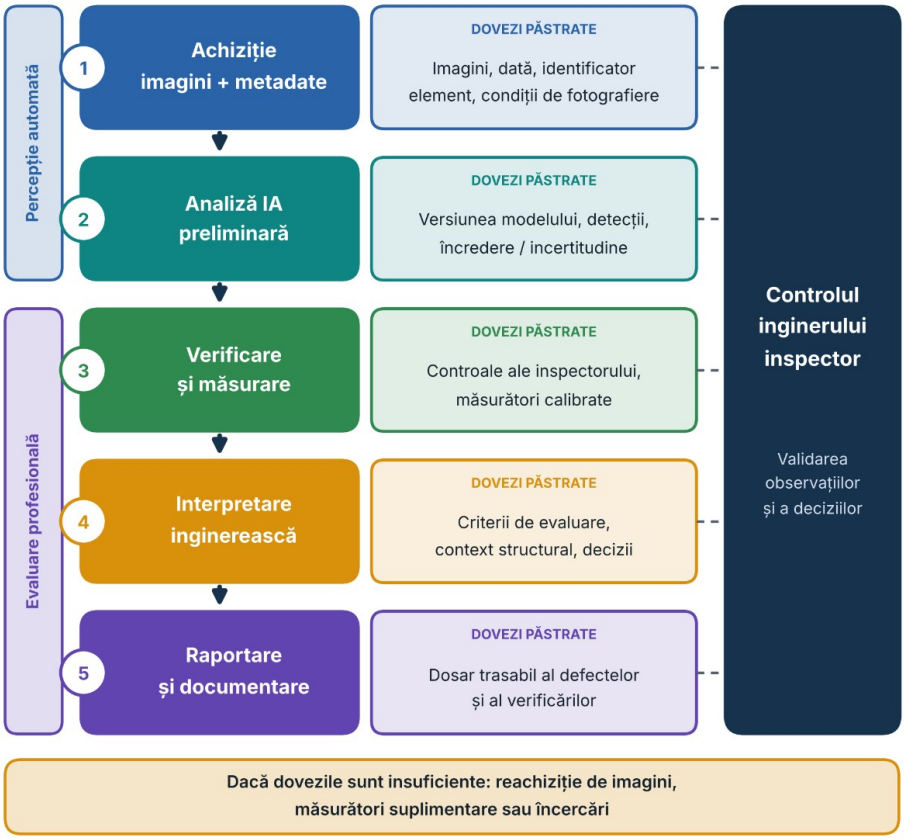


Figura 3. Flux propus pentru integrarea IA în inspecția podurilor și verificarea inginerească.

Tabelul 2. Puncte de control propuse pentru inspecția podurilor asistată de IA.

Etapă	Dovezi minime păstrate	Întrebare de verificare
1. Achiziție	Imagini, dată, identificator element, condiții de fotografiere	Sunt suficiente acoperirea și rezoluția?
2. Analiză IA	Versiunea modelului, detecții, încredere sau incertitudine	Au fost analizate posibilele omisiuni?
3. Verificare	Controale ale inspectorului, măsurători calibrate	Sunt justificabile dimensiunile și etichetele?
4. Interpretare	Criterii de evaluare, context structural, decizii	Susțin dovezile concluzia despre starea tehnică?
5. Raportare	Dosarul trasabil al defectelor și al verificărilor	Poate alt inspector reproduce concluzia?

6. DISCUȚII ȘI CONCLUZII

Provocarea centrală pentru analiza automată a imaginilor cu IA nu este îmbunătățirea indicatorilor de performanță ai algoritmilor de recunoaștere, ci transformarea observațiilor automate în informații utilizabile în practica inginerească. IA poate ajuta inspectorii să detecteze, să segmenteze și să organizeze dovezile privind fisurile, coroziunea și alte degradări vizibile, iar UAV-urile și reprezentările digitale oferă oportunități pentru documentarea spațială. Recunoașterea defectelor, măsurarea cantitativă și evaluarea inginerească a stării tehnice rămân însă funcții distincte. Valoarea unei aplicații depinde de rolul definit în procesul de inspecție: un sistem performant, dar fără trasabilitate geometrică, validare independentă sau legătură cu criteriile de inspecție, are utilitate limitată, în timp ce un instrument simplu de triere poate fi valoros dacă îmbunătățește caracterul complet și consecvența documentării.

Limitele sintezei decurg din domeniul definit în Secțiunea 1: un corpus constituit anterior, aplicații cu imagini în spectrul vizibil și infraroșu, studii reprezentative și rezultate neagregate. În plus, fluxul propus este o sinteză conceptuală inginerească și nu a fost validat experimental, iar concluziile trebuie interpretate în acest cadru.

Implementarea cea mai justificată pe termen scurt este un flux verificat de specialiști, care păstrează dovezile originale ale inspecției, controlează măsurătorile geometrice și corelează observațiile cu criterii inginerești explicite. Înainte de afirmații mai ample privind eficiența operațională sunt necesare testarea independentă pe poduri diferite, tratarea riguroasă a incertitudinii și evaluarea beneficiilor la nivelul întregului flux. Pentru practica din România, următoarea etapă de cercetare este corelarea documentată a înregistrărilor generate de IA cu cerințele naționale aplicabile, urmată de validare controlată în teren.

BIBLIOGRAFIE

[1]. C. ZHANG, M.M. KARIM, R.A. QIN: „*Multitask Deep Learning Model for Parsing Bridge Elements and Segmenting Defect in Bridge Inspection Images*”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, **2023**, **2677**(7), pp. **693–704**, DOI: 10.1177/03611981231155418.

[2]. L. ZHOU, Y. JIANG, H. JIA, L. ZHANG, F. XU, Y. TIAN, Z. MA, X. LIU, S. GUO, Y. WU, Z. ZHAO, H. ZHENG: „*UAV vision-based crack quantification and visualization of bridges: system design and engineering application*”, Structural Health Monitoring, **2025**, **24**(2), pp. **1083–1100**, DOI: 10.1177/14759217241251778.

[3]. X. ZHANG, B.E. WOGEN, X. LIU, L. ITURBURU, M. SALMERON, S.J. DYKE, R. POSTON, J.A. RAMIREZ: „*Machine-Aided Bridge Deck Crack Condition State Assessment Using Artificial Intelligence*”, Sensors, **2023**, **23**, art. 4192, DOI: 10.3390/s23094192.

[4]. S. JIANG, Y. WU, J. ZHANG: „*Bridge coating inspection based on two-stage automatic method and collision-tolerant unmanned aerial system*”, Automation in Construction, **2023**, **146**, art. 104685, DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104685.

[5]. Z. AMELI, S.J. NESHELI, E.N. LANDIS: „*Deep Learning-Based Steel Bridge Corrosion Segmentation and Condition Rating Using Mask RCNN and YOLOv8*”, Infrastructures, **2024**, **9**, art. 3, DOI: 10.3390/infrastructures9010003.

[6]. P. BAKHTIARI, M. HEBDON, M. ZAKER ESTEGHAMATI: „*Quantifying element-level corrosion intensity in steel bridges using context-aware late fusion*”, Automation in Construction, **2026**, **189**, art. 107048, DOI: 10.1016/j.autcon.2026.107048.

[7]. K. HUAMANI, L. ESPINOLA-DIAZ, L.A. BEDRIÑANA, C. MÁLAGA-CHUQUITAYPE: „*Dual-instance automatic segmentation and damage quantification of concrete spalling in RC bridges*”, Structures, **2026**, **88**, art. 111817, DOI: 10.1016/j.istruc.2026.111817.

[8]. W. WANG, C. SU: „*Deep learning-based detection and condition classification of bridge steel bearings*”, Automation in Construction, **2023**, **156**, art. 105085, DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105085.

[9]. C. CHENG, Z. SHANG, Z. SHEN: „*Automatic delamination segmentation for bridge deck based on encoder-decoder deep learning through UAV-based thermography*”, NDT & E International, **2020**, **116**, art. 102341, DOI: 10.1016/j.ndteint.2020.102341.

[10]. S. ABU DABOUS, S. YAGHI, S. ALKASS, O. MOSELHI: „*Concrete bridge deck condition assessment using IR Thermography and Ground Penetrating Radar technologies*”, Automation in Construction, **2017**, **81**, pp. **340–354**, DOI: 10.1016/j.autcon.2017.04.006.

[11]. R.F. ÇELIK, V. HOSKERE, S. KESSLER: „*From pixels to rating – A semiautomated system linking multi-damage segmentation and condition rating in concrete bridge inspections*”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, **2025**, **40**(30), pp. **5842–5866**, DOI: 10.1111/mice.70145.

[12]. A.U. RAHMAN, D. HASSANLOU, V. HOSKERE: „*Automated element-level bridge inspection from unmanned aerial vehicle imagery using 3D damage mapping and condition-state quantification*”, Automation in Construction, **2026**, **192**, art. 107224, DOI: 10.1016/j.autcon.2026.107224.

[13]. I.H. KIM, S. YOON, J.H. LEE, S. JUNG, S. CHO, H.J. JUNG: „*A Comparative Study of Bridge Inspection and Condition Assessment between Manpower and a UAS*”, Drones, **2022**, **6**, art. 355, DOI: 10.3390/drones6110355.

[14]. G. MORGENTHAL, N. HALLERMANN, J. KERSTEN, J. TARABEN, P. DEBUS, M. HELMRICH, V. RODEHORST: „*Framework for automated UAS-based structural condition assessment of bridges*”, Automation in Construction, **2019**, **97**, pp. **77–95**, DOI: 10.1016/j.autcon.2018.10.006.

[15]. N. BOLOURIAN, M. NASROLLAHI, F. BAHREINI, A. HAMMAD: „*Point Cloud-Based Concrete Surface Defect Semantic Segmentation*”, Journal of Computing in Civil Engineering, **2023**, **37**(2), DOI: 10.1061/JCCEE5.CPENG-5009.

[16]. R. CABRAL, R. SANTOS, J.A.F.O. CORREIA, D. RIBEIRO: „*Automated bridge damage mapping from UAV imagery slicing with BIM-based enrichment*”, Engineering Structures, **2026**, **361**, art. 122909, DOI: 10.1016/j.engstruct.2026.122909.

[17]. B.G. PANTOJA-ROSERO, S. SALAMONE: „*Integrating extended reality and AI-based damage segmentation for near real-time, traceable bridge inspections*”, Automation in Construction, **2025**, **180**, art. 106567, DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106567.

[18]. E.T. BARTCZAK, M. BASSIER, M. VERGAUWEN: „*Evaluation of a UAS-based Bridge Inspection Framework with Automated Damage Candidate Suggestion and Human-in-the-loop Damage Assessment*”, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, **2025**, **XLVIII-G-2025**, pp. **189–196**, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-189-2025.

[19]. J. PARK, T. AN, H. KIM: „*Long-term monitoring of damage progression using multi-view images from routine inspections of bridges*”, Structural Health Monitoring, **2026**, în curs de publicare, DOI: 10.1177/14759217261443618.

[20]. F. HU, H. GOU, H. YANG, Y.Q. NI, Y.W. WANG, Y. BAO: „*Digital twin-based fatigue life assessment of orthotropic steel bridge decks using inspection robot and deep learning*”, Automation in Construction, **2025**, **172**, art. 106022, DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106022.

INFLUENȚA DEZVOLTĂRII REȚELEI DE AUTOSTRĂZI ASUPRA CREȘTERII ECONOMICE REGIONALE: O ANALIZĂ CU MODELE DE ÎNVĂȚARE AUTOMATĂ

Dedu Eugen, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Școala Doctorală de Transporturi, e-mail: eugen_marius.dedu@stud.trans.upb.ro
Dinu Oana, Conf.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Facultatea de Transporturi, e-mail: oana.dinu@upb.ro
Ruscă Aura, Conf.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Facultatea de Transporturi, e-mail: aura.rusca@upb.ro
Burciu Ștefan, Conf.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Facultatea de Transporturi, e-mail: stefan.burciu@upb.ro
Dimancea Paul, doctorand, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Școala Doctorală de Transporturi, e-mail: paul.dimancea@stud.trans.upb.ro
Petropoulos Alexandros Theodoros, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, Școala Doctorală de Transporturi, e-mail: apetropoulos@upb.ro
Roşca Eugen, Prof.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica din București, Facultatea de Transporturi, e-mail: eugen.rosca@upb.ro

Rezumat

Relația dintre infrastructura de transport și dezvoltarea economică rămâne un subiect central în știința regională și economia transporturilor. Deși investițiile în autostrăzi sunt adesea justificate ca instrumente de stimulare a creșterii economice și reducerea disparităților teritoriale, dovezile empirice privind eficiența lor rămân mixte. Acest studiu investighează contribuția infrastructurii rutiere la creșterea economică regională din România, folosind tehnici de învățare automată. Analiza acoperă cele opt regiuni de dezvoltare ale României în perioada 2000–2024 și folosește Produsul Intern Brut pe cap de locuitor ca indicator al performanței economice regionale. Lungimea autostrăzilor, investițiile private de capital, rata de ocupare a forței de muncă, densitatea populației, efectele regionale și perioadele de criză sunt incluse ca variabile explicative. Doi algoritmi de învățare automată, Random Forest (RF) și Extreme Gradient Boosting (XGBoost), sunt aplicați pentru a evalua importanța relativă a autostrăzilor comparativ cu alți determinanți ai creșterii și pentru a identifica potențiale efecte neliniare. Rezultatele indică faptul că rețeaua de autostrăzi contribuie pozitiv la creșterea economică regională, deși influența sa este mai mică decât cea a investițiilor private de capital și a ocupării forței de muncă. Infrastructura rutieră acționează în principal ca un factor care îmbunătățește accesibilitatea, susține atragerea investițiilor și facilitează interacțiunile economice. Graficele de dependență parțială dezvăluie o relație neliniară, caracterizată de beneficii economice puternice în etapele inițiale ale dezvoltării autostrăzilor și de randamente marginale în scădere pe măsură ce rețelele de autostrăzi devin mai extinse. Studiul

demonstrează utilitatea metodelor de învățare automată pentru analizarea proceselor complexe de dezvoltare regională.

Cuvinte cheie: autostrăzi, creştere economică regională, criză economică şi pandemii, învățare automată

Abstract

The relationship between transport infrastructure and economic development remains a central topic in regional science and transport economics. Although highway investments are often justified as tools to stimulate growth and reduce territorial disparities, the empirical evidence on their effectiveness is mixed. This study investigates the contribution of road infrastructure to regional economic growth in Romania using machine learning techniques. The analysis covers Romania’s eight development regions over 2000–2024 and uses gross domestic product per capita as the indicator of regional economic performance. Highway length, private capital investment, employment rate, population density, regional effects and crisis periods are included as explanatory variables. Two machine learning algorithms, Random Forest (RF) and Extreme Gradient Boosting (XGBoost), are applied to assess the relative importance of highways compared with other growth determinants and to identify potential nonlinear effects. The results indicate that the highway network contributes positively to regional economic growth, although its influence is smaller than that of private capital investment and employment. Road infrastructure acts mainly as a factor that improves accessibility, supports investment attraction and facilitates economic interaction. Partial dependence plots reveal a nonlinear relationship, with strong economic benefits in the early stages of highway development and diminishing marginal returns as highway networks become more extensive. The study demonstrates the usefulness of machine learning methods for analysing complex regional development processes.

Keywords: highways, regional economic growth, economic crises and pandemics, machine learning

1. INTRODUCERE

Infrastructura de transport este considerată o componentă fundamentală a dezvoltării economice. Prin facilitarea circulației mărfurilor, oamenilor și a informațiilor, rețelele de transport îmbunătățesc accesibilitatea, extind piețele și sporesc competitivitatea. Dintre diversele moduri de transport, infrastructura rutieră ocupă o poziție deosebit de importantă deoarece susține mobilitatea mărfurilor, mobilitatea forței de muncă și integrarea economiilor regionale pe piețele naționale și internaționale. Prin urmare, investițiile în rețelele rutiere sunt

adesea justificate ca instrumente de stimulare a creşterii economice şi reducere a disparităţilor teritoriale.

Relaţia teoretică dintre infrastructura de transport şi creşterea economică a fost susţinută constant în literatură. Accesibilitatea îmbunătăţită poate creşte productivitatea prin reducerea costurilor de transport, creşterea mobilităţii forţei de muncă, facilitarea comerţului şi încurajarea investiţiilor private. Dezvoltarea infrastructurii poate genera externalităţi pozitive prin economii de scală, difuzarea cunoştinţelor şi conexiuni mai puternice între firme şi pieţe. În consecinţă, investiţiile în transport sunt adesea privite drept catalizatori ai dezvoltării regionale şi ca elemente cheie ale strategiilor de politică economică pe termen lung. Banister & Berechman [1] afirmă că investiţiile în transport susţin creşterea economică atunci când sunt însoţite de condiţii economice favorabile, în timp ce Munnell [2] evidenţiază contribuţia capitalului şi a infrastructurii la productivitate şi performanţă economică. În ciuda opiniei larg răspândite că infrastructura de transport stimulează creşterea economică, dovezile empirice rămân neconcludente. Numeroase studii de pe continente şi ţări diferite au identificat efecte pozitive ale investiţiilor în infrastructura de transport asupra performanţei economice regionale şi naţionale [3–14], în timp ce altele raportează rezultate slabe, eterogene sau chiar negative [15–20]. Diversitatea rezultatelor sugerează că relaţia dintre infrastructură şi dezvoltare este influenţată de condiţiile geografice, structurile economice şi sociale, mediile instituţionale şi nivelul de dezvoltare regională. Prin urmare, beneficiile economice ale infrastructurii de transport nu pot fi considerate automate sau universale.

În cadrul Uniunii Europene, infrastructura de transport a fost o componentă centrală a politicii de coeziune, având ca scop promovarea integrării teritoriale şi reducerea disparităţilor regionale. Investiţiile la scară largă în reţelele rutiere şi feroviare au fost susţinute prin Fonduri Structurale, Fondul de Coeziune şi Reţeaua Trans-Europeană de Transport (TEN-T). Aceste iniţiative urmăresc să îmbunătăţească accesibilitatea, să întărească interacţiunile economice şi să faciliteze integrarea regiunilor periferice în pieţele europene mai largi. Cu toate acestea, diferenţe semnificative în performanţa economică continuă să caracterizeze multe ţări europene, sugerând că dezvoltarea infrastructurii poate să nu fie suficientă pentru a obţine o creştere regională echilibrată [21–23]. Investiţiile în infrastructura de transport continuă să atragă atenţia mediului politic deoarece sunt considerate un catalizator pentru creşterea economică şi competitivitatea regională. Guvernele, organizaţiile de afaceri şi autorităţile regionale justifică frecvent proiectele majore de infrastructură pe baza premisei

că acestea vor genera beneficii economice şi sociale substanţiale. Totuşi, această perspectivă a fost pusă sub semnul întrebării în literatură. Offner [24] descrie acest fenomen ca fiind „mitificare politică”, argumentând că legătura presupusă dintre infrastructura de transport şi prosperitatea regională este adesea acceptată fără dovezi empirice suficiente. În loc să producă câştiguri economice uniforme, efectele investiţiilor în transport depind de o gamă largă de factori contextuali, inclusiv condiţiile economice locale, calitatea instituţională şi politicile complementare. Potrivit lui Offner [24], mitificarea politică este întărită de mai multe mecanisme:

- Justificarea de mediu: factorii de decizie pun frecvent accent pe beneficiile economice anticipate pentru a compensa preocupările de mediu legate de degradarea habitatului, utilizarea terenului şi creşterea emisiilor de gaze cu efect de seră.

- Efecte structurale presupuse: investiţiile în infrastructură sunt adesea prezentate ca fiind în mod inerent capabile să stimuleze dezvoltarea regională, în ciuda dovezilor empirice mixte privind impactul lor economic real.

- Evaluări optimiste ale proiectelor: studiile de fezabilitate pot supraestima cerinţele viitoare de trafic, subestimând în acelaşi timp costurile de construcţie, întreţinere şi operare, conducând la evaluări cost-beneficiu prea favorabile.

Aceste practici pot produce consecinţe „neintenţionate”. Una dintre cele mai comune este dezvoltarea proiectelor, unde resurse publice substanţiale sunt investite în infrastructură care generează randamente economice sau sociale slabe, deturnând fonduri din sectoare potenţial mai productive precum educaţia, sănătatea sau cercetarea şi inovaţia [15,16,22,25]. Un alt posibil rezultat este efectul vidului, prin care conexiunile de transport îmbunătăţite facilitează relocarea afacerilor, investiţiilor şi a lucrătorilor calificaţi din regiunile mai puţin dezvoltate către centre economice mai puternice, crescând astfel disparităţile teritoriale. În cele din urmă, atunci când beneficiile economice proiectate nu se materializează, aşteptările neîndeplinite pot slăbi încrederea publicului în planificarea guvernamentală, evaluările experţilor şi politicile publice de investiţii.

România oferă un caz deosebit de relevant pentru investigarea acestei relaţii. De la începutul anilor 2000 şi mai ales după aderarea la Uniunea Europeană în 2007, resurse substanţiale au fost alocate extinderii reţelei naţionale de autostrăzi. Totuşi, ritmul dezvoltării a variat considerabil între regiuni, generând diferenţe substanţiale în accesibilitate şi conectivitate. În acelaşi timp, disparităţile economice regionale rămân printre cele mai ridicate din Uniunea

Europeană [21]. Regiunea Bucureşti–Ilfov a cunoscut o expansiune economică rapidă, în timp ce regiunile estice şi sudice continuă să se confrunte cu niveluri mai scăzute de venituri, investiţii şi productivitate. Aceste evoluţii contrastante ridică întrebări importante privind contribuţia reală a infrastructurii rutiere la creşterea economică regională.

Un sondaj asupra studiilor existente relevă dependenţa generală de abordările econometrice tradiţionale care presupun relaţii liniare între infrastructură şi performanţa economică [26]. Totuşi, procesele de dezvoltare regională sunt adesea caracterizate prin neliniarităţi, efecte de prag şi interacţiuni complexe între variabile economice. Modelele convenţionale de regresie nu surprind pe deplin complexitatea acestor relaţii. Progresele recente în modelele de învăţare automată (machine learning) oferă noi oportunităţi pentru investigarea legăturilor între infrastructura de transport şi creşterea economică [27–30]. Spre deosebire de modelele econometrice convenţionale, algoritmii de învăţare automată pot identifica tipare neliniare, efecte de interacţiune şi răspunsuri eterogene fără a impune presupuneri funcţionale restrictive.

Studiul de faţă examinează relaţia dintre dezvoltarea reţelei de autostrăzi şi creşterea economică regională în România, folosind tehnici de învăţare automată. Analiza acoperă cele opt regiuni de dezvoltare ale României pe o perioadă de 25 de ani. Prin utilizarea modelelor Random Forest (RF) şi Extreme Gradient Boosting (XGBoost), studiul îşi propune nu doar să evalueze importanţa relativă a autostrăzilor comparativ cu alţi factori determinanţi ai creşterii economice, ci şi să identifice potenţiale efecte neliniare şi praguri de dezvoltare. Cercetarea formulează următoarele întrebări:

- Întrebarea 1: Dezvoltarea reţelei de autostrăzi contribuie în mod pozitiv la creşterea economică regională?

- Întrebarea 2: Influenţa reţelei de autostrăzi asupra creşterii economice regionale este neliniară şi variază în funcţie de nivelul extinderii autostrăzilor?

- Întrebarea 3: Cât de importantă este reţeaua de autostrăzi în explicarea creşterii economice regionale în raport cu alţi factori determinanţi?

Acest studiu contribuie la dezvoltarea literaturii ştiinţifice în mai multe moduri. În primul rând, extinde analiza rolului infrastructurii de transport în dezvoltarea regională prin aplicarea tehnicilor de învăţare automată, care sunt relativ subutilizate în economia transporturilor. În al doilea rând, oferă noi dovezi privind importanţa infrastructurii rutiere într-o ţară caracterizată de disparităţi teritoriale semnificative şi un proces de extindere continuă a reţelei de transport. În al treilea rând, oferă perspective relevante pentru politicile publice despre

contribuția relativă a infrastructurii de transport și a altor factori economici la creșterea regională.

2. METODOLOGIE

2.1. Aria de studiu

România a cunoscut schimbări economice și infrastructurale substanțiale după tranziția către o economie de piață și aderarea la Uniunea Europeană în 2007. Analiza este realizată la nivelul celor opt regiuni de dezvoltare ale României (NUTS 2): Nord-Vest, Centru, Nord-Est, Sud, Sud-Est, București–Ilfov, Sud-Vest și Vest. Aceste regiuni constituie principalele unități teritoriale folosite pentru planificarea dezvoltării regionale, implementarea politicilor europene de coeziune și raportarea statistică (Figura 1).

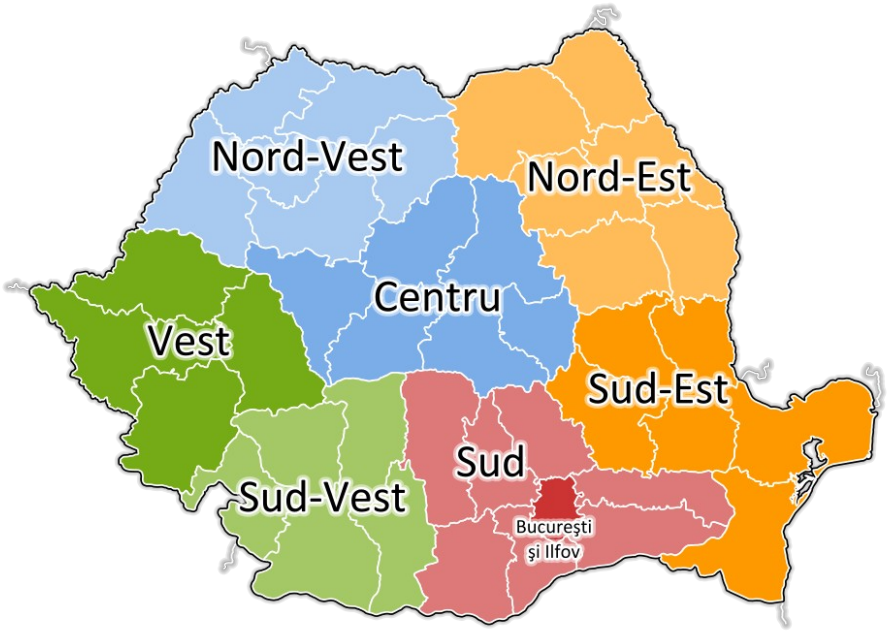


Figura 1. Regiunile de dezvoltare ale României

Economia românească a înregistrat o creștere substanțială de la începutul anilor 2000, dar beneficiile au fost distribuite inegal între regiuni. Regiunea București–Ilfov a devenit centrul economic dominant al țării, concentrând o pondere mare din PIB-ul național, investiții directe străine, servicii de afaceri avansate și activități de inovare. Regiunile de Vest și Nord-Vest au cunoscut, de asemenea, o dezvoltare economică dinamică, beneficiind de apropierea de piețele

Europei de Vest şi de integrarea mai puternică în reţelele internaţionale de producţie. În contrast, regiunile Nord-Est şi Sud-Vest continuă să prezinte niveluri mai scăzute de venituri, productivitate şi investiţii, reflectând dezavantaje structurale persistente şi condiţii de accesibilitate mai slabe. Studii anterioare au evidenţiat existenţa unei polarizări regionale semnificative în România, cu creşterea economică tot mai concentrată în jurul marilor centre urbane şi poli de dezvoltare [31–33].

Evoluţia infrastructurii rutiere a fost una dintre cele mai vizibile componente ale politicii de transport a României. În perioada analizată, au fost alocate fonduri publice şi europene considerabile pentru construcţia şi modernizarea coridoarelor de transport, menite să îmbunătăţească conectivitatea naţională şi să consolideze legăturile cu Reţeaua Transeuropeană de Transport. În ciuda acestui progres, distribuţia spaţială a infrastructurii rutiere rămâne foarte inegală. Aceste diferenţe pot influenţa performanţa economică regională prin mai multe canale. Accesibilitatea îmbunătăţită a autostrăzilor poate facilita comerţul, reduce costurile de transport, mobilitatea forţei de muncă, atrage investiţii private şi creşte potenţialul pieţei. Amploarea acestor efecte variază în funcţie de structura economică, clima investiţională, nivelul de urbanizare şi caracteristicile pieţei muncii. În consecinţă, cazul României oferă oportunitatea de a examina dacă extinderea autostrăzilor acţionează ca un motor independent al creşterii economice regionale sau dacă depinde de condiţiile socio-economice mai largi.

2.2. Variabile

Analiza empirică se bazează pe un set de date care acoperă cele opt regiuni de dezvoltare româneşti (NUTS 2) în perioada 2000–2024. Variabilele selectate sunt menite să surprindă principalii factori care influenţează creşterea economică regională, ţinând totodată cont de diferenţele în extinderea infrastructurii, caracteristicile demografice, activitatea investiţională, condiţiile pieţei muncii şi şocurile macroeconomice majore. Alegerea variabilelor se bazează pe teoria creşterii regionale şi pe studii empirice anterioare care investighează relaţia dintre infrastructura de transport şi performanţa economică [1–15].

Creşterea economică regională este măsurată prin Produsul Intern Brut pe cap de locuitor (GDPPC), exprimat în euro pe locuitor. PIB-ul pe cap de locuitor este folosit pe scară largă ca indicator al prosperităţii regionale deoarece reflectă atât productivitatea, cât şi generarea de venituri, permiţând totodată comparaţii semnificative între regiuni şi în timp [31,32]. GDPPC reprezintă variabila ţintă a

modelelor de învățare automată și servește ca principală măsură a performanței economice.

Principala variabilă explicativă este lungimea autostrăzilor (HWAY), măsurată în kilometri. Infrastructura rutieră joacă un rol critic în îmbunătățirea accesibilității regionale, reducerea timpilor de călătorie, facilitarea transportului de marfă și consolidarea interacțiunilor economice dintre regiuni. De asemenea, poate atrage investiții private și stimula dezvoltarea afacerilor printr-o integrare îmbunătățită în lanțurile naționale și internaționale de aprovizionare. Totuși, studii anterioare indică faptul că efectele economice ale investițiilor în autostrăzi sunt adesea eterogene și pot depinde de contextul socio-economic mai larg al fiecărei regiuni [9,15,16,33]. În consecință, relația dintre autostrăzi și creșterea economică poate să nu fie strict liniară, ceea ce o face deosebit de potrivită pentru analiza prin tehnici de învățare automată.

Modelul econometric propus introduce mai multe variabile socio-economice care influențează creșterea regională. Prima este investiția de capital privat (PCAPIT), măsurată prin formarea brută de capital fix privat. Această variabilă surprinde acumularea activelor productive precum utilaje, facilități industriale, clădiri comerciale și echipamente tehnologice. Este unul dintre principalii motori ai expansiunii economice deoarece crește capacitatea productivă și promovează progresul tehnologic [3,26]. Rata de ocupare a forței de muncă (EMPLOY) este inclusă pentru a reprezenta condițiile pieței muncii și utilizarea resurselor umane în economiile regionale. Munca constituie unul dintre factorii fundamentali ai producției și joacă un rol central în generarea producției economice [3,9]. Nivelurile mai ridicate de ocupare a forței de muncă contribuie direct la productivitatea regională, veniturile gospodăriilor și creșterea cererii agregate. Mai mult, piața muncii poate interacționa cu dezvoltarea infrastructurii, deoarece accesibilitatea îmbunătățită poate facilita naveta și mobilitatea forței de muncă între centrele economice și zonele periferice. Urbanizarea (URB), măsurată ca ponderea populației urbane în totalul populației regionale, este inclusă ca indicator al efectului de concentrare. Regiunile urbanizate beneficiază de obicei de concentrații mai mari de firme, consumatori, instituții și infrastructură. O astfel de concentrare spațială generează economii de scară, specializarea pieței muncii și un potențial crescut de inovație. Literatura de specialitate identifică constant urbanizarea ca un factor important care determină productivitatea și creșterea economică pe termen lung [34–36]. Densitatea populației (POPDENS), exprimată ca locuitori pe kilometru pătrat, este inclusă în analiză. Densitatea populației reflectă concentrarea spațială a activității

economice şi oferă informaţii suplimentare privind intensitatea interacţiunilor umane într-un teritoriu. Regiunile dens populate beneficiază adesea de efecte de aglomerare mai puternice, pieţe locale mai mari şi o mai mare eficienţă a serviciilor publice. Includerea densităţii populaţiei permite algoritmilor de învăţare automată să identifice potenţialele efecte prag şi relaţii neliniare între concentrarea demografică şi creşterea economică regională.

Pe lângă determinanţii structurali, analiza controlează evenimentele macroeconomice majore care au afectat toate regiunile româneşti în perioada studiului. Primul eveniment este asociat cu criza financiară globală (2009-2011). Criza financiară a produs reduceri substanţiale ale activităţii investiţionale, producţiei economice şi ocupării forţei de muncă în întreaga Europă, inclusiv în România. Al doilea eveniment este pandemia COVID-19 (2020-2021), care a generat perturbări fără precedent în activitatea economică, tiparele de mobilitate, piaţa muncii şi în deciziile de investiţii. Încorporarea unei variabile binare (CRISIS – 1 prezenţă eveniment disruptiv, 0 lipsă eveniment) permite modelelor să distingă efectele pe termen lung ale dezvoltării infrastructurii de şocurile temporare generate de evenimente macroeconomice excepţionale.

Dovezile recente la nivelul Uniunii Europene arată că integrarea tehnologiei digitale este puternic asociată cu productivitatea muncii, în timp ce relaţia sa cu exporturile este pozitivă, dar comparativ mai slabă [37]. Aceste constatări sugerează că beneficiile economice ale conectivităţii fizice ar trebui luate în considerare alături de factori complementari precum digitizarea, abilităţile forţei de muncă şi investiţiile productive [38].

O altă consideraţie priveşte existenţa diferenţelor persistente între regiunile româneşti. Traiectoriile istorice de dezvoltare, poziţia geografică, apropierea de pieţele internaţionale, caracteristicile instituţionale şi specializarea economică variază considerabil între cele opt regiuni de dezvoltare. Aceste caracteristici structurale rămân relativ stabile în timp şi pot influenţa performanţa economică independent de variabilele explicative incluse în model. Pentru a ține cont de această eterogenitate, o variabilă categorială (REGION), care identifică fiecare regiune de dezvoltare, este încorporată în cadrul de învăţare automată. Algoritmii Random Forest şi XGBoost pot exploata direct variabilele categorice pentru a surprinde tipare specifice regiunii şi caracteristici teritoriale persistente. Această abordare permite modelelor să înveţe diferenţe sistematice între regiuni fără a impune presupuneri restrictive privind forma lor funcţională.

Tabelul 1. Variabile de studiu

Variabilă	Unitate	Efectul așteptat
GDPPC	EUR/capita	Dependent
HWAY	km	+
PCAPIT	milioane de euro	+
EMPLOY	%	+
URB	%	+
POPDENS	Locuitori/km²	+
CRISIS	0/1	−
REGION	Categoric	Control

2.3. Modelul Random Forest

Algoritmul Random Forest este una dintre cele mai utilizate tehnici de învățare automată pentru probleme de regresie. Random Forest este deosebit de potrivit pentru studii de dezvoltare regională deoarece poate identifica relații complexe și neliniare între variabile fără a necesita presupuneri prealabile privind forma lor funcțională. Spre deosebire de modelele tradiționale de regresie, care presupun că fiecare variabilă explicativă are un efect constant asupra variabilei dependente, Random Forest permite acestor efecte să varieze între observații. Această caracteristică este deosebit de relevantă la analiza investițiilor în infrastructură, deoarece impactul economic al autostrăzilor poate varia în funcție de caracteristicile regionale, nivelurile de investiții, condițiile pieței muncii sau concentrația populației. Random Forest se bazează pe o colecție largă de arbori decizionali. Fiecare arbore este estimat folosind un eșantion aleatoriu de observații din setul de date original, în timp ce un subset aleatoriu de variabile explicative este considerat la fiecare punct decizional. Predicția finală se obține prin media predicțiilor generate de toți arborii selectați:

$$\hat{y} = \frac{\sum T(X)}{B} \tag{1}$$

unde:

- ŷ reprezintă valoarea prezisă (PIB-ul pe cap de locuitor);
- B denotă numărul total de arbori generați;
- T(X) este predicția generată de arborele b pentru un set dat de variabile explicative X.

În studiul de față, PIB-ul regional pe cap de locuitor reprezintă variabila dependentă. Variabilele explicative (X) includ lungimea autostrăzii, investițiile private de capital, rata ocupării forței de muncă, rata urbanizării, densitatea

populației, identificatorii regionali și variabilele de șoc macroeconomice asociate cu criza financiară și pandemia de COVID-19. Algoritmul împarte recursiv datele în grupuri din ce în ce mai omogene în funcție de valorile variabilelor explicative. De exemplu, modelul poate identifica că regiunile cu un nivel ridicat de investiții private și infrastructură rutieră extinsă tind să prezinte un PIB pe cap de locuitor mai mare decât regiunile caracterizate printr-o activitate investițională mai slabă.

O caracteristică importantă a algoritmului Random Forest este estimarea importanței variabilelor. Algoritmul măsoară cât de mult contribuie fiecare variabilă explicativă la acuratețea predicției. Variabilele care îmbunătățesc substanțial predicția PIB-ului pe cap de locuitor sunt considerate determinanți mai importanți ai creșterii economice regionale. În consecință, modelul oferă o clasificare obiectivă a variabilelor explicative, permițând compararea contribuției relative a infrastructurii rutiere cu restul factorilor.

2.4. Modelul XGBoost

XGBoost a devenit una dintre cele mai utilizate metode de învățare automată în prognoza economică datorită capacității sale de a surprinde relații neliniare complexe, menținând în același timp o acuratețe predictivă ridicată. Algoritmul construiește secvențial o serie de arbori decizionali, unde fiecare arbore nou este antrenat pentru a reduce erorile de predicție generate de arborii anteriori. Prin acest proces iterativ de învățare, XGBoost poate modela interacțiuni complexe între variabile explicative și poate descoperi tipare neliniare care pot să nu fie detectate prin abordările econometrice tradiționale. Spre deosebire de modelele convenționale de regresie, care presupun în general relații liniare între variabilele explicative și variabila dependentă, XGBoost nu impune nicio formă funcțională predefinită. În schimb, modelul învață relația direct din date prin combinarea predicțiilor mai multor arbori decizionali. Modelul rezultat poate fi exprimat astfel:

$$GDPPC = \sum f_k(Xi) + \varepsilon \quad (2)$$

unde:

- f_k reprezintă un arbore individual de regresie;
- Xi denotă mulțimea variabilelor explicative;
- ε este termenul de eroare aleatorie.

Prin procedura de boosting, fiecare arbore succesiv se concentrează pe erorile reziduale ale ansamblului anterior, îmbunătățind treptat performanța

predictivă şi reducând funcţia de pierdere generală. Procesul de estimare începe cu o predicţie iniţială bazată pe valoarea medie a PIB-ului pe cap de locuitor. Ulterior, arbori noi sunt adăugaţi iterativ în model pentru a minimiza eroarea de predicţie folosind optimizarea gradientului descendent. Pentru a preveni supra-ajustarea, XGBoost încorporează tehnici de regularizare, parametri de contracţie şi proceduri de sub-eşantionare care îmbunătăţesc generalizarea şi stabilitatea modelului. Aceste caracteristici permit algoritmului să atingă o acurateţe predictivă ridicată, menţinând robusteţe în seturi de date relativ mici, cum ar fi panelul regional analizat în acest studiu. Un avantaj cheie al XGBoost este capacitatea de a evalua importanţa relativă a variabilelor explicative. Măsurile de importanţă variabilă cuantifică contribuţia fiecărui predictor la reducerea erorilor de predicţie pe întregul ansamblu de arbori. În acest studiu, importanţa este evaluată folosind statistica Gain, care măsoară îmbunătăţirea medie a performanţei modelului rezultată din divizări pe baza unei anumite variabile. Variabilele cu valori de câştig mai mari sunt considerate mai influente în explicarea diferenţelor regionale ale PIB-ului pe cap de locuitor.

3. REZULTATE

3.1. Statistici descriptive ale variabilelor de studiu

Variabilele de intrare ale regiunilor de dezvoltare ale României sunt redate în Tabelul 2.

Tabelul 2. Valori statistice ale variabilelor regionale

Variabilă	Medie	Abatere standard	Mediană	Min	Max	Asimetrie
GDPPC	8013	7230	5960	1078	48604	2.73
HWAY	61.84	73.11	35	0	264	1.06
PCAPIT	1532.16	1744.85	970	185	12450	3.47
EMPLOY	0.402	0.042	0.402	0.32	0.52	0.23
URB	0.563	0.148	0.538	0.402	0.918	1.26
POPDENS	223.68	390.83	78.2	54.92	1286.86	2.28

Se poate observa o variabilitate considerabilă în regiunile de dezvoltare ale României în timp, reflectând natura eterogenă a dezvoltării economice regionale.

Diferenţa substanţială dintre media şi mediana PIB-ului regional pe cap de locuitor, împreună cu abaterea standard mare (EUR 7.230), indică o asimetrie

pronunțată în distribuția nivelurilor veniturilor regionale. Această interpretare este confirmată de coeficientul de asimetrie pozitiv mare (2,73), care arată o creștere economică concentrată într-un număr limitat de zone. Rezultatele evidențiază astfel persistența disparităților regionale semnificative în România.

Lungimea autostrăzilor (HWAY) prezintă variații substanțiale între regiuni și ani. Deviația standard relativ mare (73,11 km) demonstrează diferențe importante în extinderea infrastructurii de autostrăzi între regiuni. Coeficientul de asimetrie pozitiv (1,06) indică faptul că un număr limitat de zone posedă rețele de autostrăzi semnificativ mai mari decât majoritatea regiunilor. Acest rezultat reflectă ritmul inegal al dezvoltării autostrăzilor în România. Investițiile private de capital (PCAPIT) prezintă cel mai ridicat grad de asimetrie dintre toate variabilele explicative. Mai mult, coeficientul de asimetrie de 3,47 indică o distribuție puternic asimetrică la dreapta, sugerând că investițiile mari sunt concentrate într-un număr relativ mic de regiuni. Această constatare este consistentă cu concentrarea puternică a activității economice și a investițiilor directe străine în România, în special în regiunea capitalei și într-un număr limitat de poli de creștere dinamică. Rata de angajare (EMPLOY) prezintă o variabilitate considerabil mai scăzută comparativ cu celelalte variabile. Dispersia relativ mică sugerează că ratele de participare pe piața muncii sunt mai omogene între regiuni decât indicatorii de venit, investiții sau infrastructură. Mai mult, coeficientul de asimetrie de 0,23 indică o distribuție aproximativ simetrică. Deviația standard relativ mare a ratei de urbanizare (URB) reflectă diferențe notabile în sistemul de localități dintre regiunile românești. Coeficientul de asimetrie pozitiv (1,26) sugerează că regiunile puternic urbanizate constituie o minoritate în eșantion. Acest rezultat este în concordanță cu poziția dominantă a zonei București–Ilfov și a mai multor centre regionale foarte urbanizate comparativ cu regiunile predominant rurale. Densitatea populației (POPDENS) prezintă o eterogenitate substanțială. Abaterea standard mare și asimetria pozitivă pronunțată (2,28) confirmă existența observațiilor extreme caracterizate prin concentrații excepțional de mari de populație. Aceste valori sunt asociate în principal cu regiunea București–Ilfov, care diferă substanțial de restul țării în ceea ce privește concentrarea demografică și activitatea economică.

Statisticile descriptive dezvăluie disparități semnificative între regiunile de dezvoltare ale României în ceea ce privește performanța economică, infrastructura rutieră, activitatea investițională, urbanizarea și concentrarea populației. Asimetria pozitivă puternică observată pentru GDPPC, lungimea autostrăzilor, investițiile private, urbanizarea și densitatea populației indică

prezența unor tipare neliniare și valori extreme. Aceste caracteristici sugerează că modelele liniare convenționale pot fi insuficiente pentru a surprinde pe deplin complexitatea proceselor de dezvoltare regională. Prin urmare, aplicarea metodelor de învățare automată precum Random Forest și XGBoost este deosebit de potrivită, deoarece aceste tehnici pot modela relații neliniare, efecte de prag și răspunsuri eterogene fără a impune presupuneri restrictive privind forma funcțională a relațiilor de bază.

3.2. Analiza Random Forest

Figura 2 indică cât de mult crește eroarea de predicție atunci când valorile unei variabile sunt permutate aleatoriu. Cu cât creșterea este mai mare, cu atât variabila este mai importantă pentru predicția PIB-ului pe cap de locuitor. Analiza importanței variabilelor cu Random Forest arată că investiția privată în capital este cel mai influent determinant al PIB-ului regional pe cap de locuitor, urmată de ocuparea forței de muncă și rețeaua de autostrăzi.

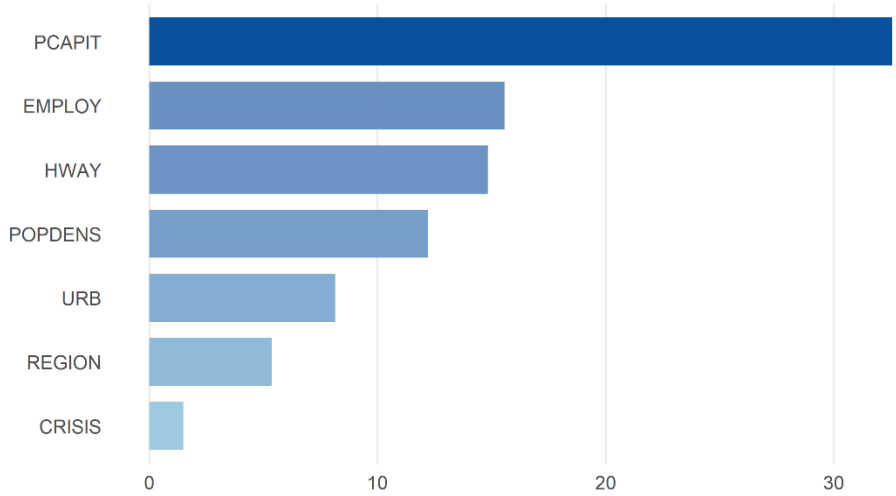


Figura 2. Importanța variabilelor – modelul Random Forest

Lungimea autostrăzilor se numără printre cei trei cei mai importanți predictori, indicând că infrastructura de transport joacă un rol moderat în dezvoltarea economică regională. Importanța autostrăzilor rămâne sub cea a investițiilor private, sugerând că infrastructura acționează ca un factor complementar de creștere și nu ca unul dominant. Densitatea populației manifestă, de asemenea, o putere explicativă medie, evidențiind relevanța factorului demografic. Urbanizarea exercită o influență modestă, în timp ce identificatorul regional și variabila criză contribuie relativ puțin la acuratețea

predicțiilor. Importanța scăzută a CRISIS sugerează că factorii structurali pe termen lung sunt mai relevanți pentru a explica performanța economică regională decât perturbările macroeconomice temporare. Rezultatele sugerează că la nivelul României creșterea economică regională este determinată, în principal, de activitatea investițională, în timp ce infrastructura rutieră constituie un factor moderat, care sporește potențialul de dezvoltare regională.

Dependența parțială de HWAY (Figura 3) arată cum se modifică PIB-ul pe cap de locuitor în funcție de lungimea autostrăzilor. Relația dintre extinderea infrastructurii de autostrăzi și creșterea economică regională este pozitivă, dar neliniară.

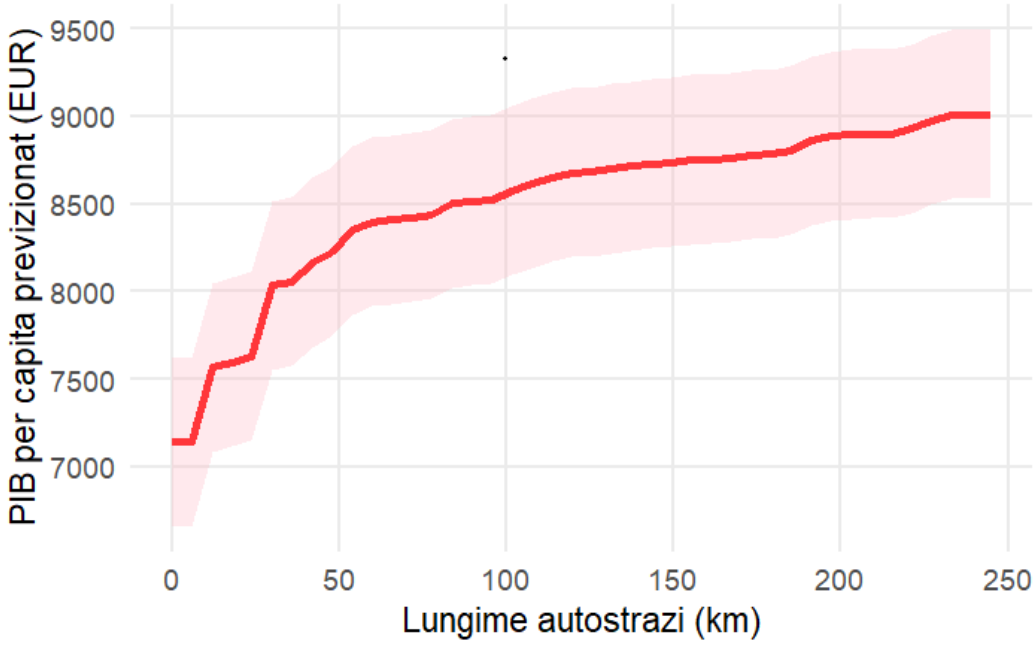


Figura 3. Efectul marginal al lungimii autostrăzilor asupra creșterii regionale – modelul Random Forest

Există un efect inițial puternic (0–40 km), ceea ce o face perioada cu cel mai mare randament marginal. Din punct de vedere economic, acest rezultat sugerează că primele investiții în autostradă generează îmbunătățiri substanțiale ale accesibilității. Regiunile cu infrastructură rutieră foarte limitată beneficiază semnificativ chiar și de extinderi modeste, deoarece devin mai bine conectate la coridoare naționale de transport, piețele muncii și oportunitățile de investiții, creând practic un semnal de dezvoltare. Între aproximativ 40 și 120 km de autostrăzi, panta rămâne pozitivă, dar mai puțin accentuată. Acest tipar sugerează că extinderea infrastructurii continuă să susțină dezvoltarea regională, deși

beneficiile economice marginale sunt mai mici decât cele observate în faza inițială. În acest moment, conectivitatea de bază este deja stabilită, și apar în continuare oportunități economice noi. Dincolo de 120 km, curba devine vizibil mai plată. Deși PIB-ul pe cap de locuitor crește, câștigurile asociate cu fiecare kilometru suplimentar de autostradă devin progresiv mai mici. Odată ce o regiune atinge un nivel relativ matur de conectivitate, extinderea suplimentară generează îmbunătățiri incrementale, nu transformaționale.

3.3. Analiza XGBoost

Figura 4 indică importanța variabilelor în modelul XGBoost.

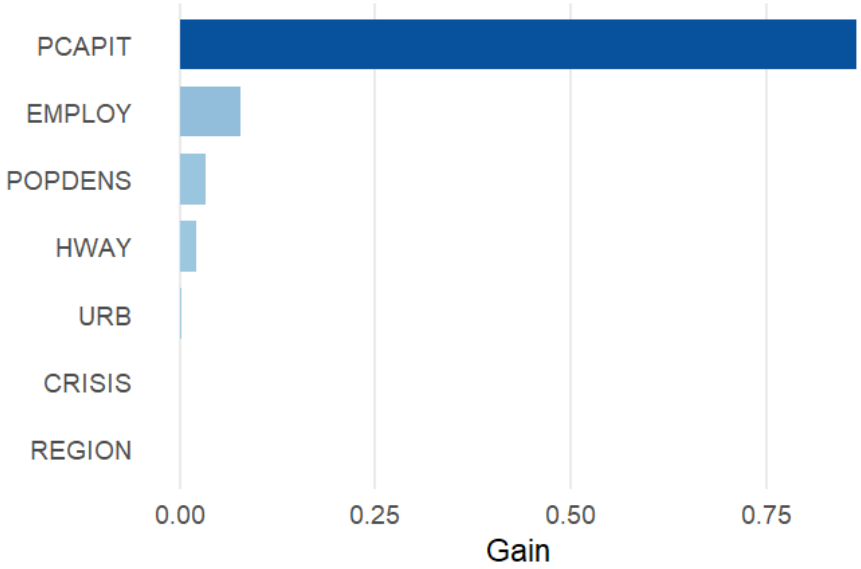


Figura 4. Importanța variabilelor – modelul XGBoost

Modelul XGBoost identifică investițiile private de capital (PCAPIT) ca fiind de departe cel mai influent determinant al PIB-ului regional pe cap de locuitor, reprezentând 86,4% din câștigul total. Diferențele de nivel al investițiilor explică cea mai mare variație a performanței economice regionale în perioada studiului. Regiunile care atrag niveluri mai mari de investiții private tind să prezinte niveluri substanțial mai mari de dezvoltare economică. A doua variabilă cea mai importantă este rata de ocupare a forței de muncă (EMPLOY), cu o valoare de câștig de 7,9%. Această constatare evidențiază importanța condițiilor pieței muncii pentru prosperitatea regională. Ocuparea forței de muncă reflectă capacitatea economiilor regionale de a absorbi forța de muncă prin dezvoltare. Al treilea determinant este densitatea populației (POPDENS), care contribuie cu

3,3% din câștigul total. Rolul pozitiv al densității populației este în concordanță cu teoria concentrării demografice, conform căreia activitățile economice beneficiază de concentrarea spațială, piețe mai mari și fluxuri de know-how. Regiunile dens populate tind să ofere condiții mai favorabile pentru interacțiuni economice și creșterea productivității.

Lungimea autostrăzilor (HWAY) ocupă locul patru, cu o valoare de câștig de 2,1%. Este important de menționat că importanța foarte modestă a autostrăzilor nu trebuie interpretată ca o dovadă că infrastructura de transport este neimportantă. Mai degrabă, sugerează că autostrăzile acționează ca un factor de facilitare ale cărui beneficii economice se materializează prin alte canale, în special atracția investițiilor, mobilitatea forței de muncă și accesibilitatea pieței. Faptul că autostrăzile rămân printre cei patru cei mai influenți predictori după investiții, ocuparea forței de muncă și densitatea populației oferă susținere empirică pentru ipoteza că dezvoltarea autostrăzilor contribuie modest, dar totuși pozitiv la performanța economică regională.

Rata de urbanizare (URB) prezintă o contribuție minoră (câștig de 0,27%). Acest rezultat sugerează că, odată ce ocuparea forței de muncă, investițiile și densitatea populației sunt incluse explicit în model, urbanizarea oferă o putere explicativă suplimentară limitată. Cu alte cuvinte, mare parte din efectul economic asociat de obicei cu urbanizarea poate fi deja captat prin aceste variabile înrudite. În mod similar, variabila CRISIS prezintă o valoare de importanță neglijabilă (câștig de 0,06%). Această constatare indică faptul că perioadele afectate de criza financiară globală și pandemia COVID-19 au generat o variație mai mică a PIB-ului regional pe cap de locuitor decât diferențele socioeconomice structurale surprinse de ceilalți predictori. În final, REGION prezintă cea mai mică valoare de câștig (0,03%). Acest rezultat este deosebit de interesant deoarece sugerează că disparitățile regionale sunt explicate în mare parte prin factori observabili precum investiția, ocuparea forței de muncă, densitatea populației și infrastructura, nu prin caracteristici regionale neobservate. Odată ce acești determinanți sunt incluși, efectul regional fix rămas devine aproape neglijabil.

Efectele marginale ale lungimii rețelei de autostrăzi asupra PIB-ului pe cap de locuitor sunt ilustrate în Figura 5. Graficul de dependență parțială confirmă relația neliniară dintre infrastructura rutieră și creșterea economică regională, identificată anterior prin modelul Random Forest. Curba prezintă o creștere foarte accentuată a PIB-ului pe cap de locuitor când lungimea autostrăzii crește de la zero la aproximativ 50 km. Această etapă reprezintă cel mai mare efect economic

marginal observat pe întreaga curbă. Rezultatul sugerează că primele investiții în autostrăzi generează îmbunătățiri substanțiale ale accesibilității și reduc constrângerile de transport care anterior limitau activitatea economică. Și aici se remarcă efectul de semnal. Între 50 și 120 km, PIB-ul pe cap de locuitor continuă să crească, deși într-un ritm mai lent. Aceasta indică faptul că infrastructura suplimentară continuă să susțină creșterea economică, dar beneficiile devin progresiv mai mici odată ce se stabilește un nivel de bază de conectivitate regională. După aproximativ 120 km, curba devine aproape plată. Deși PIB-ul pe cap de locuitor continuă să crească ușor, câștigurile suplimentare asociate cu extinderea suplimentară a autostrăzilor sunt relativ mici. Acest comportament este în concordanță cu conceptul de randamente marginale descrescătoare ale investițiilor în infrastructură. Odată ce o regiune are o rețea de autostrăzi relativ dezvoltată, creșterea economică depinde tot mai mult de factori complementari precum investițiile, performanța pieței muncii și îmbunătățirea productivității. Dincolo de valoarea de 220 km, curba fluctuează ușor în jurul unui nivel stabil. Aceste fluctuații sunt relativ mici și probabil reflectă variația locală a datelor, mai degrabă decât schimbări structurale ale relației.

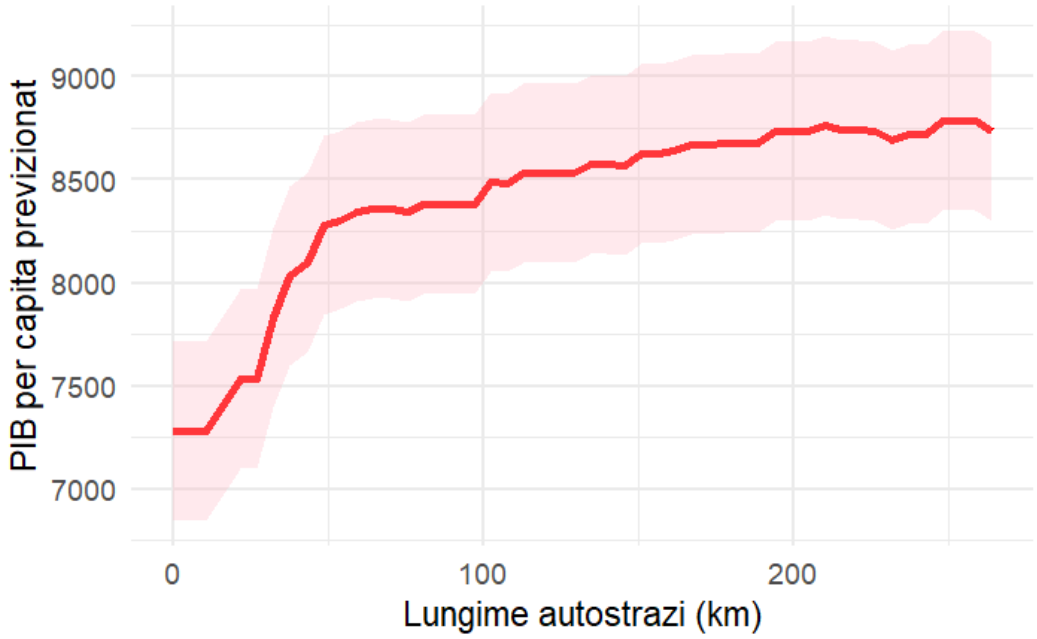


Figura 5. Efectul marginal al lungimii autostrăzilor asupra creșterii economice regionale – XGBoost

Mesajul general este că extinderea autostrăzilor continuă să genereze efecte pozitive, dar amploarea acestor efecte devine tot mai limitată odată ce rețeaua ajunge la o etapă matură.

Similaritatea dintre rezultatele Random Forest şi XGBoost oferă dovezi solide că investiţiile în autostrăzi generează beneficii economice pozitive, deşi modeste, în special în regiunile cu infrastructură limitată, în timp ce extinderea suplimentară în regiunile deja bine conectate este asociată cu randamente descrescătoare. Aceste constatări sugerează că eficienţa economică a investiţiilor în autostrăzi depinde de nivelul existent de dezvoltare a reţelei şi susţin existenţa efectelor de prag în relaţia dintre infrastructura de transport şi creşterea economică regională.

4. CONCLUZII

Acest studiu a investigat relaţia dintre dezvoltarea reţelei de autostrăzi şi creşterea economică regională în România, folosind doi algoritmi de învăţare automată, Random Forest şi Extreme Gradient Boosting (XGBoost). Analiza a fost realizată pentru cele opt regiuni de dezvoltare din România în perioada 2000–2024, folosind PIB-ul pe cap de locuitor ca indicator al performanţei economice regionale şi luând în considerare lungimea drumurilor, investiţiile private de capital, rata de ocupare a forţei de muncă, rata de urbanizare, densitatea populaţiei, efectele regionale şi perioadele de criză ca variabile explicative.

Implicaţiile pentru întrebările de cercetare sunt următoarele:

- Întrebarea 1: Infrastructura rutieră contribuie pozitiv la creşterea economică regională. Atât Random Forest, cât şi XGBoost identifică lungimea autostrăzilor ca un determinant moderat al PIB-ului regional pe cap de locuitor, dar mai puţin influent decât investiţiile private de capital şi ocuparea forţei de muncă. Rezultatele indică faptul că infrastructura rutieră exercită o influenţă pozitivă independentă asupra dezvoltării economice regionale, îmbunătăţind accesibilitatea, consolidând integrarea pieţei şi facilitând activitatea economică.

- Întrebarea 2: Influenţa infrastructurii rutiere asupra creşterii economice regionale este neliniară. Graficele de dependenţă parţială generate atât de Random Forest, cât şi de XGBoost arată o relaţie neliniară între lungimea autostrăzilor şi PIB-ul pe cap de locuitor. Rezultatele indică faptul că cele mai mari câştiguri economice apar în etapele iniţiale ale dezvoltării autostrăzilor, în timp ce beneficiile marginale ale extinderii suplimentare ale autostrăzilor scad treptat pe măsură ce reţeaua devine mai dezvoltată. Ambele modele identifică

efecte prag și randamente descrescătoare, sugerând că impactul economic al investițiilor în autostrăzi depinde de nivelul existent de dezvoltare a infrastructurii.

- Întrebarea 3: Infrastructura rutieră este mai puțin importantă decât investiția privată de capital și ocuparea forței de muncă în explicarea creșterii economice regionale.

Cercetările viitoare ar putea extinde analiza prin includerea unor indicatori suplimentari de transport, investigarea dinamicii la nivel de județ sau combinarea tehnicilor de învățare automată cu abordări de inferență cauzală. Astfel de extensii ar contribui la o înțelegere mai profundă a mecanismelor prin care infrastructura de transport influențează dezvoltarea regională și ar oferi îndrumări suplimentare pentru planificarea infrastructurii bazată pe dovezi.

BIBLIOGRAFIE

[1]. D. BANISTER, Y. BERECHMAN: „*Investiții în transport și promovarea creșterii economice*”, Journal of Transport Geography, **2001**, 9(3), 209–218. https://doi.org/10.1016/S0966-6923(01)00013-8.

[2]. A.H. MUNNELL: „*Investiții în infrastructură și creștere economică*”, Journal of Economic Perspectives, **1992**, 6(4), 189–198.

[3]. X. ZHANG: „*Infrastructura de transport, revărsarea spațială și creșterea economică: Dovezi din China*”, Frontiers of Economics in China, **2008**, 3(4), 585–597. https://doi.org/10.1007/s11459-008-0029-1.

[4]. E. KIM, G.J.D. HEWINGS, C. HONG: „*O aplicație a unei rețele integrate de transport – Modelul CGE multiregional: un cadru pentru analiza economică a proiectelor rutiere*”, Economic Systems Research, **2004**, 16(3), 235–258. https://doi.org/10.1080/0953531042000239356.

[5]. G. BADALYAN, T. HERZFELD, M. RAJCANIOVA: „*Infrastructura de transport și creșterea economică: abordarea cu date de tip panel pentru Armenia, Georgia și Turcia*”, Review of Agricultural and Applied Economics, **2014**, 17(2), 22–31. https://doi.org/10.15414/raae.2014.17.02.22-31.

[6]. S. SAIDI, M. SHAHBAZ, P. AKHTAR: „*Relațiile pe termen lung dintre consumul de energie din transport, infrastructura de transport și creșterea economică în țările MENA*”, Transportation Research Part A, **2018**, 111, 78–95. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.03.013.

[7]. Z. SHURONG, K. DUMOR, V.C. LARTEY, O.M. MUTIIRIA, E.K. AMOUZOU, K. GBONGLI: „*Evaluarea efectelor macroeconomice ale infrastructurii de transport BRI China–Africa de Est asupra țărilor din Africa de Est*”, International Journal of Finance and Economics, **2024**, 29(1), 996–1011. https://doi.org/10.1002/ijfe.2718.

[8]. S.C. GHERGHINA, M. ONOFREI, G. VINTILĂ, D.S. ARMEANU: „*Dovezi empirice din țările UE-28 privind sistemele de infrastructură de transport reziliente și creșterea economică durabilă*”, Sustainability, **2018**, 10, 2900. https://doi.org/10.3390/su10082900.

[9]. A. KEMMERLING, A. STEPHAN: „*Determinanții investițiilor regionale în transport în Europa*”, în „Economia politică a fluxurilor fiscale interregionale”, N. Bosch, M. Espasa, A. Solé Ollé, eds.; Edward Elgar Publishing: Cheltenham, Marea Britanie, **2010**, pp. 276–296.

[10]. E.C. MAMATZAKIS: „*Performanța economică și infrastructura publică: o aplicație în industria industrială greacă*”, Bulletin of Economic Research, **2008**, 60(3), 307–326. https://doi.org/10.1111/j.1467-8586.2008.00279.x.

[11]. A. CIEŚLIK, B. ROKICKI: „*Rolul rețelei de transport în dezvoltarea regiunilor poloneze: aplicarea modelului potențialului economic*”, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Ekonomia, **2013**, 44(1), 113–128.

[12]. E. ROSCA, F. RUSCA, V. CARLAN, O. STEFANOV, O. DINU, A. RUSCA: „*Evaluarea influenței fiabilității echipamentelor asupra activității din interiorul terminalelor maritime de containere prin simularea evenimentelor discrete*”, Systems, **2025**, 13, 213. https://doi.org/10.3390/systems13030213.

[13]. O. SKOROBOGATOVA, I. KUZMINA-MERLINO: „*Performanța dezvoltării infrastructurii de transport*”, Procedia Engineering, **2017**, 178, 319–329. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.056.

[14]. K. MÜLLER, C. STEINMEIER, M. KÜCHLER: „*Creșterea urbană de-a lungul autostrăzilor în Elveția*”, Landscape and Urban Planning, **2010**, 98(1), 3–12. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.004.

[15]. A. KONNO, H. KATO, W. TAKEUCHI, R. KIGUCHI: „*Dovezi globale privind efectele de productivitate ale infrastructurii rutiere care încorporează efectele de debordare spațială*”, Transport Policy, **2021**, 103, 167–182. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.02.007.

[16]. P. RIETVELD: „*Impacturile spațio-economice ale aprovizionării cu infrastructură de transport*”, Transportation Research Part A, **1994**, 28(4), 329–341. https://doi.org/10.1016/0965-8564(94)90007-8.

[17]. R. CRESCENZI, A. RODRÍGUEZ-POSE: „*Infrastructura și creșterea regională în Uniunea Europeană*”, Papers in Regional Science, **2012**, 91(3), 487–513. https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2012.00439.x.

[18]. G. KOVÁCS, K.M. SPENS: „*Infrastructura de transport în statele baltice după succesiunea UE*”, Journal of Transport Geography, **2006**, 14(6), 426–436. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.01.003.

[19]. B. ROKICKI, M. STĘPNIAK: „*Investiții majore în infrastructura de transport și dezvoltare economică regională – O abordare bazată pe accesibilitate*”, Journal of Transport Geography, **2018**, 72, 36–49. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.010.

[20]. A. RUSCA, I. COSTEA, A.-V. RADU, D. CODROIU, I. DOROBANTU, E. DEDU, E. ROSCA: „*Efectele dezvoltării infrastructurii de transport asupra creșterii economice regionale în România*”, World, **2026**, 7, 125. https://doi.org/10.3390/world7070125.

[21]. COMISIA EUROPEANĂ, Direcția Generală pentru Politici Regionale și Urbane: Performanța transportului rutier în Europa: introducerea unui nou cadru de accesibilitate. Oficiul de Publicații al Uniunii Europene: Luxemburg, Luxemburg, **2019**.

[22]. A. CHRISTODOULOU, P. CHRISTIDIS: „*Măsurarea accesibilității drumurilor transfrontaliere în Uniunea Europeană*”, Sustainability **2019**, 11, 4000. https://doi.org/10.3390/su11154000.

[23]. C. TECLEAN, G. DRAGAN: „*Cum să măsurăm accesibilitatea teritorială. Un model de evaluare a accesibilității aplicat în spațiul Uniunii Europene*”, Eastern Journal of European Studies, **2020**, 11, 26–47.

[24]. J.M. OFFNER: „*Les «effets structurants» du transport: mythe politique, mystification scientifique*”, L'Espace géographique **1993**, 22(3), 233–242. https://doi.org/10.3406/SPGEO.1993.3209.

[25]. E. ROSCA, F. RUSCA, V. CARLAN, O. STEFANOV, O. DINU, A. RUSCA: „*Evaluarea influenței fiabilității echipamentelor asupra activității din interiorul terminalelor maritime de containere prin simularea evenimentelor discrete*”, Systems, **2025**, 13, 213. https://doi.org/10.3390/systems13030213.

[26]. A.M. VARGHESE, R.P. PRADHAN: „*Infrastructura de transport și creșterea economică: Există cauzalitate și debordare? O revizuire sistematică și o agendă de cercetare*”, Transportation Research Procedia, **2025**, 82, 2618–2632. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.208.

[27]. E. ROSCA, C. OPREA, M. ROSCA, S. BURCIU, A. ROMAN, F. RUSCA: „*O abordare XGBoost pentru identificarea factorilor de dezvoltare a porturilor interioare*”, Systems, **2026**, 14, 395. https://doi.org/10.3390/systems14040395.

[28]. M. ZHU, H. WANG, W. YU, H. CUI, D. LI, Y. YANG: „*Studiu de caz privind economia orientată spre autostrăzi: clasificarea interpretabilă prin învățare automată a modelelor extinse de arie de serviciu și analiza determinanților*”, Case Studies on Transport Policy, **2026**, 24, 101790. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2026.101790.

[29]. R.R. TARIGAN, I.P.T. PANGGABEAN: „*Abordări de învățare automată pentru prezicerea creșterii regionale și a expansiunii urbane*”, Journal of Information and Visualization, **2026**, 7(1), 21–30. https://doi.org/10.35877/454RI.jinav4802.

[30]. Z. CHEN, D. KI: „*Un cadru îmbunătățit de învățare automată pentru evaluarea impacturilor economice ale investițiilor în infrastructura de transport: Dovezi din Ohio*”, Transport Economics and Management, **2026**, 4, 85–97. https://doi.org/10.1016/j.team.2026.03.001.

[31]. I. GEORGESCU, I. NICA, C. DELCEA, N. CHIRIȚĂ, S. IONESCU: „*Evaluarea performanței economice regionale în România prin modele Panel ARDL și Regresie Cuantilă pe Panel*”, Sustainability, **2024**, 16, 9287. https://doi.org/10.3390/su16219287.

[32]. A. ROTARU, C. HEGEDUS, I. POP, S. VATCA, A. VATCA, L. ANDRONIE: „*Evaluarea nivelului de dezvoltare regională în România prin analiza componentelor principale*”, Journal Centre European Agriculture, **2024**, 25 (2), 588–605. https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.2.4176.

[33]. S.R. ADRIAN, C. RĂCĂNEL: „*Sisteme de colectare a datelor de trafic: VEKPI - numărătoare*”. Jurnalul Român al Infrastructurii de Transport, **2025**, 14 (2), 1–11. https://doi.org/10.2478/rjti-2025-0014.

[34]. J.P. COHEN: „*Efectele mai largi ale infrastructurii de transport: econometrie spațială și abordări de productivitate*”, Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review, **2010**, 46 (3), 317–326. https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.11.003.

[35]. F. YIN, Y. QIAN, J. ZENG, X. WEI: „*Efectele de impact spațial ale infrastructurii de transport asupra creșterii economice regionale — Un studiu empiric la nivel provincial în China*”, Sustainability, **2024**, 16, 8689. https://doi.org/10.3390/su16198689.

[36]. Y. ZHANG, L. CHENG: „*Rolul infrastructurii de transport în creșterea economică: dovezi empirice în Marea Britanie*”, Transport Policy, **2023**, 133, 223–233. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.01.017.

[37]. A.S. CHENIC, A. BURLACU, R.C. DOBREA, L. TESCAN, A.I. CREȚU, M.R. STANEF-PUICA, T.N. GODEANU, A.M. MANOLE, D. VIRJAN, N. MOROIANU: „*Impactul digitalizării asupra indicatorilor macroeconomici în noua eră industrială*”, Electronics, **2023**, 12(7), 1612. https://doi.org/10.3390/electronics12071612

[38]. A. F. BURLACU, C. RACANEL, A. BURLACU, Influența caracteristicilor materialelor rutiere asupra siguranței rutiere, Romanian Journal of Materials, nr. 4/2016, ISBN 2457-502X (pag. 552- pag. 559)

INFLUENȚA REDUCERII TEMPERATURII DE PREPARARE ASUPRA CARACTERISTICILOR FIZICO-MECANICE ALE MIXTURILOR ASFALTICE CU BITUM SIMPLU ȘI MODIFICAT – SINTEZĂ DOCUMENTARĂ

Dermengiu Roxana-Daniela, dr.ing., S.C. Consitrans S.R.L., e-mail: roxana.dermengiu@consitrans.ro
Badea Ioana-Cristina, drd.ing., S.C. Consitrans S.R.L., e-mail: ioana.badea@consitrans.ro

Rezumat

Reducerea temperaturii de preparare a mixturilor asfaltice reprezintă o direcție importantă de dezvoltare a tehnologiilor rutiere, fiind urmărită atât pentru optimizarea procesului de fabricație, cât și pentru menținerea caracteristicilor fizico-mecanice necesare unei comportări corespunzătoare în exploatare. În cazul mixturilor asfaltice cu bitum simplu și modificat, modificarea temperaturii de preparare poate influența lucrabilitatea, compactabilitatea, caracteristicile volumetrice, sensibilitatea la acțiunea apei, rigiditatea, rezistența la deformații permanente și comportarea la fisurare.

Lucrarea prezintă o sinteză documentară a cercetărilor de specialitate privind efectele reducerii temperaturii de preparare, cu accent asupra rezultatelor experimentale obținute pentru mixturi asfaltice realizate cu diferite tipuri de lianți bituminoși. Sunt analizate principalele tehnologii utilizate pentru reducerea temperaturii, mecanismele prin care acestea influențează comportarea liantului și a mixturii, precum și diferențele constatate între utilizarea bitumului simplu și a celui modificat.

Rezultatele publicate indică faptul că reducerea temperaturii de preparare nu determină în mod obligatoriu diminuarea performanțelor mecanice. Efectele depind însă de natura liantului, compoziția mixturii, tipul și dozajul aditivilor, nivelul reducerii temperaturii și condițiile de compactare. Unele studii evidențiază menținerea sau îmbunătățirea anumitor caracteristici mecanice, în timp ce altele semnalează o sensibilitate mai ridicată la acțiunea apei ori modificări ale comportării la deformații permanente și fisurare.

Analiza evidențiază necesitatea evaluării experimentale a fiecărei combinații dintre liant, agregate și tehnologia de preparare, pentru stabilirea unui interval de temperatură care să asigure atât condiții corespunzătoare de fabricație și punere în operă, cât și caracteristicile fizico-mecanice impuse mixturii asfaltice.

Cuvinte cheie: mixturi asfaltice, bitum simplu, bitum modificat, temperatură de preparare, tehnologii WMA, caracteristici fizico-mecanice, compactabilitate, rigiditate, ornieraj, rezistență la oboseală.

Abstract

Reducing the production temperature of asphalt mixtures represents an important direction in the development of road construction technologies, aimed at both optimizing the manufacturing process and maintaining the physical and mechanical properties required for satisfactory in-service performance. In asphalt mixtures containing conventional and modified bitumen, changes in production temperature may influence workability, compactability, volumetric properties, moisture susceptibility, stiffness, resistance to permanent deformation, and cracking behavior.

This paper presents a literature review of research investigating the effects of reduced production temperatures, with particular emphasis on experimental results obtained for asphalt mixtures incorporating different types of bituminous binders. The main technologies used to reduce production temperatures are examined, together with the mechanisms through which they influence binder and mixture behavior, as well as the differences observed between conventional and modified bitumen.

Published findings indicate that reducing the production temperature does not necessarily lead to a deterioration in mechanical performance. However, the effects depend on the binder type, mixture composition, type and dosage of additives, extent of temperature reduction, and compaction conditions. Some studies report the preservation or improvement of certain mechanical properties, while others highlight increased moisture susceptibility or changes in resistance to permanent deformation and cracking behavior.

The review highlights the need for experimental evaluation of each combination of binder, aggregates, and production technology to establish a suitable temperature range that ensures appropriate manufacturing and paving conditions while meeting the required physical and mechanical properties of asphalt mixtures.

Keywords: asphalt mixtures, conventional bitumen, modified bitumen, production temperature, Warm Mix Asphalt (WMA) technologies, physical and mechanical properties, compactability, stiffness, rutting resistance, fatigue resistance.

1. INTRODUCERE

Mixturile asfaltice reprezintă materiale compozite utilizate pe scară largă la realizarea straturilor rutiere, comportarea acestora fiind influențată de caracteristicile agregatelor naturale, ale liantului bituminos, de compoziția granulometrică și de condițiile tehnologice de preparare și compactare. Temperatura constituie unul dintre parametrii importanți ai procesului tehnologic, deoarece influențează consistența liantului, acoperirea agregatelor și posibilitatea obținerii unei structuri compacte și omogene.

În tehnologia convenţională, prepararea mixturilor asfaltice presupune încălzirea materialelor componente la temperaturi care să permită omogenizarea şi distribuirea uniformă a bitumului pe suprafaţa agregatelor. Intervalele de temperatură sunt stabilite în funcţie de natura liantului, de tipul mixturii şi de caracteristicile instalaţiei de preparare.

Reducerea temperaturii de preparare trebuie analizată în raport cu modificările pe care le poate produce asupra structurii şi comportării mixturii asfaltice. O temperatură insuficientă poate îngreuna acoperirea agregatelor şi compactarea, în timp ce utilizarea unor tehnologii adecvate poate permite diminuarea temperaturii fără afectarea semnificativă a caracteristicilor mecanice.

Dezvoltarea tehnologiilor de preparare la temperaturi reduse, cunoscute sub denumirea de Warm Mix Asphalt (WMA), a permis realizarea unor mixturi asfaltice la temperaturi cu aproximativ 20–40 °C mai mici decât în cazul procedeelor convenţionale. Aceste tehnologii utilizează aditivi organici, aditivi chimici sau procedee de spumare a bitumului, care facilitează omogenizarea şi compactarea materialului [1], [4].

O importanţă deosebită o prezintă diferenţele de comportare dintre mixturile cu bitum simplu şi cele cu bitum modificat. În cazul bitumului simplu, reducerea temperaturii trebuie corelată cu variaţia consistenţei şi a capacităţii de acoperire a agregatelor. Pentru bitumul modificat, analiza devine mai complexă, deoarece comportarea reologică este influenţată şi de natura modificatorului, de stabilitatea sistemului bitum–polimer şi de condiţiile de preparare.

Cercetările recente confirmă că efectele reducerii temperaturii nu sunt identice pentru toate mixturile asfaltice. Performanţele depind de combinaţia dintre tipul liantului, natura agregatelor, tehnologia utilizată şi temperatura efectivă de compactare [4].

2. INFLUENŢA TEMPERATURII DE PREPARARE ASUPRA COMPORTĂRII LIANTULUI BITUMINOS

Bitumul este un material cu comportare vâscoelastică, ale cărui proprietăţi variază în funcție de temperatură și de durata solicitării. La temperaturile utilizate pentru prepararea mixturilor asfaltice, consistenţa acestuia trebuie să permită distribuirea uniformă în amestec şi realizarea unei pelicule corespunzătoare pe suprafaţa agregatelor.

La reducerea temperaturii, vâscozitatea bitumului simplu crește, ceea ce poate diminua lucrabilitatea mixturii asfaltice. Efectul poate deveni important în

cazul agregatelor cu suprafață specifică ridicată sau al mixturilor cu un conținut important de fracțiuni fine.

În cazul bitumurilor modificate cu polimeri, variația vâscozității nu descrie integral comportarea tehnologică. Prezența modificatorilor poate conduce la un răspuns reologic diferit de cel al bitumurilor simple, ceea ce impune evaluarea compatibilității dintre liant și tehnologia de reducere a temperaturii.

Studiile privind stabilirea temperaturilor de preparare și compactare arată că utilizarea exclusivă a vâscozității poate fi insuficientă, în special pentru aditivii chimici și tehnologiile bazate pe introducerea apei. Unele produse îmbunătățesc lucrabilitatea fără a produce o reducere importantă a vâscozității măsurate prin metodele convenționale [3].

Din această perspectivă, evaluarea trebuie să urmărească atât caracteristicile liantului, cât și comportarea mixturii asfaltice după preparare și compactare.

O contribuție importantă pentru stabilirea temperaturilor tehnologice este cercetarea realizată de Ržek și Miljković (2026) [8]. Autorii au comparat metoda echivâscozității, metoda bazată pe curgerea la forfecare staționară și metoda unghiului de fază pentru bitumuri modificate. Rezultatele indică dependența temperaturilor calculate de metoda de evaluare, iar răspunsul elastic pronunțat al bitumurilor modificate cu polimeri a limitat aplicabilitatea metodei unghiului de fază în intervalul investigat. Constatările arată că selectarea temperaturii exclusiv pe baza unui prag convențional de vâscozitate nu este întotdeauna adecvată pentru lianții modificați.

Studiul [8] evidențiază și faptul că metoda unghiului de fază nu a permis determinarea temperaturilor pentru bitumurile modificate cu polimeri din intervalul investigat, deoarece condiția aleasă pentru predominanța comportării vâscoase nu a fost atinsă. Pentru bitumurile rutiere convenționale, valorile estimate prin metodele comparate au fost mai apropiate, în timp ce la lianții modificați diferențele au devenit semnificative. Această observație impune prudență în aplicarea unor criterii unice de temperatură.

3. TEHNOLOGII UTILIZATE PENTRU REDUCEREA TEMPERATURII DE PREPARARE

Principalele soluții tehnologice utilizate pentru prepararea mixturilor asfaltice la temperaturi reduse sunt bazate pe aditivi organici, aditivi chimici și spumarea bitumului.

Aditivii organici, în special cei pe bază de ceară, pot reduce rezistența la curgere a liantului la temperaturile de preparare. La răcire, unele produse favorizează creșterea rigidității, efect care poate contribui la rezistența împotriva deformațiilor permanente, dar care trebuie corelat cu susceptibilitatea la fisurare.

Aditivii chimici influențează în principal interacțiunea dintre bitum și agregate. Prin modificarea condițiilor de la interfața dintre componente, aceștia pot îmbunătăți acoperirea agregatelor și lucrabilitatea mixturii la temperaturi reduse. Eficiența lor nu trebuie apreciată exclusiv prin variația vâscozității bitumului.

Tehnologiile de spumare utilizează introducerea controlată a apei în bitumul încălzit sau eliberarea acesteia din materiale specifice. Creșterea temporară a volumului liantului facilitează distribuirea acestuia în amestec. Eficiența depinde de condițiile de preparare, de caracteristicile bitumului și de parametrii instalației.

O analiză recentă a mecanismelor WMA evidențiază faptul că tehnologiile organice, chimice și de spumare acționează diferit asupra liantului și a interfeței bitum–agregat. În consecință, nu este justificată considerarea lor ca soluții echivalente din punctul de vedere al comportării mecanice [1].

4. INFLUENȚA ASUPRA CARACTERISTICILOR FIZICO-MECANICE

4.1. Lucrabilitatea, compactabilitatea și caracteristicile volumetrice

Compactabilitatea reprezintă unul dintre primele aspecte influențate de reducerea temperaturii de preparare. Creșterea consistenței liantului la temperaturi mai scăzute poate îngreuna rearanjarea granulelor în timpul compactării și poate conduce la un volum de goluri mai mare.

Utilizarea unor aditivi adecvați poate compensa acest efect, permițând atingerea unor densități comparabile cu cele ale mixturilor asfaltice convenționale.

Cercetările realizate asupra mixturilor BA 16 cu bitum 50/70 și diferite tehnologii WMA au evidențiat obținerea unor densități aparente apropiate de cele ale mixturii etalon, în condițiile utilizării aditivilor pentru reducerea temperaturii. În schimb, reducerea temperaturii fără utilizarea unor soluții tehnologice corespunzătoare a influențat nefavorabil compactabilitatea. Aceste constatări sunt prezentate în cercetările realizate de Belc (Rotundu, 2022) [7].

Pentru interpretarea corectă a rezultatelor este necesară diferențierea temperaturii de preparare de temperatura de compactare. Modificarea simultană a celor două valori poate face dificilă identificarea influenței fiecărui parametru.

În ceea ce privește influența modificării compoziției mixturii, Scaramucci și colaboratorii (2026) [9] au analizat mixturi asfaltice preparate la temperaturi reduse, cu adaos de deșeuri plastice introdus prin procedeul uscat, în proporții de 0,5%, 1% și 2%. Evaluarea a inclus indicele energiei de compactare, rezistența la tracțiune indirectă și modulul de rigiditate la tracțiune indirectă. Comparativ cu varianta de referință fără adaos plastic, autorii au raportat îmbunătățirea lucrabilității, rezistenței și rigidității. Acest studiu trebuie însă interpretat separat de cercetările asupra bitumurilor modificate, întrucât materialul plastic este introdus direct în mixtură.

În cercetarea [9], cele patru mixturi pentru stratul de legătură au fost realizate cu același conținut total de bitum, de 4,8% raportat la masa agregatelor, și cu 20% material asfaltic recuperat. Adaosul plastic a fost introdus în procedeul uscat, iar rezultatele au fost raportate în raport cu varianta fără plastic. Aceste condiții experimentale trebuie menționate când sunt comparate concluziile cu rezultate obținute pe mixturi realizate exclusiv din agregate noi ori cu bitum modificat anterior preparării.

4.2. Sensibilitatea la acțiunea apei

Sensibilitatea la apă este influențată de calitatea legăturii bitum–agregat, de gradul de acoperire a granulelor și de structura volumetrică a mixturii.

La temperaturi reduse, prezența umidității reziduale în agregate și acoperirea insuficientă cu liant pot favoriza pierderea adeziunii. Totuși, efectul nu este general valabil pentru toate tehnologiile.

Rezultatele prezentate de Almassy și Vattai [5] evidențiază un aspect critic: în cazul celor nouă variante AC 16, mixturile de referință preparate la 180 °C au avut, în general, cele mai favorabile rezultate la încercarea de sensibilitate la apă (ITSR). Reducerea temperaturii de preparare a determinat scăderea performanței la această încercare chiar și atunci când s-au utilizat aditivi tensioactivi. Această constatare justifică includerea verificării ITSR ca o condiție esențială în validarea unei rețete cu temperatură redusă.

Rezultatele obținute pentru diferite sisteme WMA demonstrează că natura aditivului, tipul agregatului și caracteristicile bitumului pot conduce la diferențe importante ale sensibilității la apă [4], [6].

Prin urmare, rezistența la apă trebuie verificată direct pe mixtura asfaltică, prin încercări specifice, precum cele prevăzute de SR EN 12697-12, fără a considera că utilizarea unui aditiv de lucrabilitate garantează automat o comportare corespunzătoare.

4.3. Modulul de rigiditate

În programul experimental descris de Almassy şi Vattai [5], rigiditatea a fost determinată prin metoda IT-CY, la 20 °C, pe epruvete cilindrice compactate Marshall cu 2 × 50 lovituri. Mixturile de referință preparate la 180 °C cu B 50/70 au prezentat, în general, valori mai mari ale rigidității decât cele cu bitum modificat. Reducerea temperaturii şi utilizarea aditivilor tensioactivi au condus, pentru variantele analizate, la diminuarea rigidității, confirmând necesitatea verificării distincte a acestei proprietăți.

Rigiditatea mixturilor asfaltice depinde de natura liantului, structura granulară, caracteristicile volumetrice și temperatura la care este efectuată încercarea.

Reducerea temperaturii de preparare poate produce efecte diferite asupra modulului de rigiditate, în funcție de tehnologia utilizată. Unele tipuri de aditivi organici pot conduce la creșterea rigidității, în timp ce alte tehnologii pot asigura valori apropiate de cele ale mixturilor convenționale.

În cercetările efectuate asupra mixturilor cu bitum simplu şi aditivi organici au fost evidențiate creșteri ale modulului de rigiditate pentru anumite dozaje de ceară, în timp ce mixturile cu zeolit au prezentat valori apropiate de cele ale variantei etalon [7].

Creșterea rigidității nu trebuie interpretată singular ca o îmbunătățire a comportării mixturii. Deşi poate limita deformațiile sub încărcare, aceasta poate modifica răspunsul materialului la solicitările repetate şi la temperaturi scăzute.

4.4. Rezistența la deformații permanente

Rezistența la formarea făgașelor reprezintă o caracteristică importantă pentru evaluarea comportării mixturilor asfaltice la temperaturi ridicate şi sub acțiunea repetată a traficului.

Influența reducerii temperaturii de preparare asupra ornierajului este determinată de mai mulți factori. O compactare insuficientă poate favoriza

acumularea de deformații, iar modificarea rigidității liantului poate influența rezistența la curgere a mixturii.

Studiile recente indică posibilitatea menținerii unei rezistențe corespunzătoare la deformații permanente pentru mixturile preparate la temperaturi reduse, cu condiția selectării adecvate a tehnologiei și a asigurării caracteristicilor volumetrice. Totuși, rezultatele diferă între sistemele investigate [4], [6].

În cazul bitumurilor modificate, aportul modificatorului la răspunsul elastic trebuie analizat împreună cu efectul tehnologiei WMA.

4.5. Comportarea la oboseală și la temperaturi scăzute

Comportarea la oboseală este influențată de capacitatea mixturii asfaltice de a suporta solicitări repetate fără dezvoltarea progresivă a fisurilor.

Utilizarea tehnologiilor de preparare la temperaturi reduse poate modifica această comportare atât prin influența asupra liantului, cât și prin modificarea structurii volumetrice.

Sukhija, Saboo și Pani au investigat comportarea la oboseală a lianților și mixturilor asfaltice realizate cu bitum simplu și modificat, utilizând mai multe tehnologii WMA. Cercetarea evidențiază importanța evaluării corelate a liantului și a mixturii finite, deoarece caracteristicile determinate exclusiv asupra bitumului nu descriu integral comportarea materialului compozit [2].

În privința comportării la temperaturi scăzute, trebuie avut în vedere că anumite tipuri de ceară pot crește rigiditatea liantului și pot afecta capacitatea acestuia de relaxare a tensiunilor termice. Prin urmare, selecția aditivului necesită verificarea unui posibil compromis între rezistența la deformații permanente și rezistența la fisurare.

5. PARTICULARITĂȚI ALE MIXTURILOR ASFALTICE CU BITUM SIMPLU ȘI MODIFICAT

Comparația dintre cele două categorii de mixturi trebuie realizată în condiții experimentale similare, astfel încât diferențele rezultate să poată fi asociate în mod justificat naturii liantului.

În cazul mixturilor cu bitum simplu, reducerea temperaturii poate influența direct lucrabilitatea, omogenizarea și gradul de compactare. Aditivii destinați

reducerii temperaturii pot îmbunătăți aceste caracteristici, însă efectele lor asupra rigidității și comportării la fisurare depind de mecanismul de acțiune.

Pentru mixturile cu bitum modificat, evaluarea trebuie să includă particularitățile reologice ale liantului. Modificarea cu polimeri sau cauciuc poate contribui la obținerea unor proprietăți elastice și a unei rezistențe superioare la anumite solicitări, dar aceste avantaje trebuie confirmate pentru temperatura efectivă de preparare și tehnologia utilizată.

Un studiu asupra mixturilor AC 16 realizate cu bitum convențional B 50/70 și liant modificat cu cauciuc RMB 45/80-55 a investigat temperaturi de preparare cuprinse între 130 și 180 °C. Rezultatele raportate indică posibilitatea menținerii caracteristicilor mecanice la temperaturi reduse, prin selectarea corespunzătoare a aditivilor, inclusiv pentru variantele cu liant modificat [5].

Aceste rezultate nu justifică însă aplicarea unui interval unic de temperatură pentru toate tipurile de bitum modificat. Stabilirea condițiilor tehnologice trebuie raportată la proprietățile concrete ale liantului și ale mixturii asfaltice analizate.

Almassy și Vattai (2026) [5] au comparat mixturi asfaltice AC 16 pentru strat de legătură, realizate cu bitum convențional B 50/70 și bitum modificat cu cauciuc RMB 45/80-55. Programul experimental a urmărit un interval de temperaturi de preparare de 130–180 °C și a inclus evaluarea compactabilității, rigidității, sensibilității la apă și rezistenței la ornieraj. Rezultatele raportate indică faptul că anumite tehnologii cu aditivi pentru reducerea temperaturii au permis menținerea caracteristicilor mecanice la 130 °C, iar variantele cu bitum modificat cu cauciuc au prezentat în unele situații performanțe comparabile sau superioare mixturilor de referință preparate la temperaturi convenționale. Rezultatele susțin fezabilitatea tehnică pentru materialele studiate, fără a permite generalizarea temperaturii de 130 °C la orice mixtură cu liant modificat.

Analiza detaliată a rezultatelor [5] arată însă diferențe între caracteristicile urmărite. În cazul încercării de ornieraj la 60 °C, mixturile cu bitum modificat cu polimeri sau cauciuc au prezentat, în general, adâncimi relative ale făgașelor mai mici decât cele cu B 50/70. Și la evaluarea compactabilității s-au obținut rezultate mai favorabile pentru mixturile cu lianți modificați. În schimb, reducerea temperaturii de preparare a condus la rezultate nefavorabile privind sensibilitatea la apă, inclusiv în prezența aditivilor. Prin urmare, comportarea favorabilă la ornieraj nu poate fi extrapolată la rezistența la acțiunea apei.

6. ANALIZA COMPARATIVĂ A REZULTATELOR DIN LITERATURA DE SPECIALITATE

Compararea cercetărilor analizate evidenţiază faptul că temperatura de preparare nu poate fi considerată un parametru independent de compoziţia mixturii asfaltice şi de caracteristicile materialelor componente.

Deşi studiile raportează frecvent performanţe comparabile între mixturile preparate la temperaturi convenţionale şi cele realizate la temperaturi reduse, această constatare este condiţionată de utilizarea unor tehnologii adecvate şi de verificarea caracteristicilor mecanice.

Tabelul 1. Principalele caracteristici analizate şi efectele evidenţiate în literatura de specialitate

Caracteristică analizată	Efecte evidenţiate în literatura de specialitate
Compactabilitate	Poate fi menţinută sau îmbunătăţită prin utilizarea aditivilor corespunzători
Volum de goluri	Poate creşte în cazul reducerii temperaturii fără asigurarea lucrabilităţii
Sensibilitate la apă	Depinde de adeziunea bitum–agregat, umiditate şi tipul aditivului
Modul de rigiditate	Poate creşte în cazul unor aditivi organici sau se poate menţine la valori apropiate de referinţă
Rezistenţă la ornieraj	Poate fi menţinută, dar rezultatele depind de tipul liantului şi de compactare
Rezistenţă la oboseală	Necesită evaluare experimentală, efectele fiind diferite în funcţie de sistemul analizat
Fisurare la temperaturi scăzute	Poate fi influenţată negativ de aditivii care cresc rigiditatea liantului

O problemă importantă în interpretarea rezultatelor o constituie diferenţele dintre programele experimentale. Studiile utilizează tipuri diferite de mixturi asfaltice, lianţi, tehnologii de preparare şi metode de compactare. În aceste condiţii, compararea directă a valorilor măsurate trebuie realizată cu precauţie.

O altă limitare o constituie faptul că numeroase cercetări sunt bazate pe încercări de laborator. Rezultatele acestora oferă informaţii relevante privind comportarea materialelor, dar nu descriu integral condiţiile întâlnite în timpul fabricaţiei industriale, transportului, aşternerii şi compactării.

Din acest motiv, confirmarea rezultatelor de laborator prin sectoare experimentale şi monitorizarea comportării în exploatare reprezintă etape

importante pentru evaluarea aplicabilității tehnologiilor de preparare la temperaturi reduse.

7. CONCLUZII

Analiza literaturii de specialitate evidențiază că reducerea temperaturii de preparare a mixturilor asfaltice cu bitum simplu și modificat constituie o soluție tehnologică aplicabilă, cu condiția adaptării procesului de fabricație la caracteristicile materialelor componente.

Reducerea temperaturii de preparare nu determină obligatoriu diminuarea caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice. Efectele sunt influențate de natura liantului, tehnologia utilizată și condițiile de compactare.

Utilizarea aditivilor pentru tehnologii WMA poate asigura lucrabilitatea și compactabilitatea necesare obținerii unor caracteristici volumetrice comparabile cu cele ale mixturilor asfaltice convenționale.

Sensibilitatea la apă trebuie evaluată pentru fiecare combinație de agregate, bitum și aditiv, deoarece reducerea temperaturii poate modifica condițiile de acoperire a agregatelor și adeziunea dintre componente.

Modulul de rigiditate și rezistența la deformații permanente pot fi influențate favorabil de anumite tehnologii, însă o creștere a rigidității trebuie analizată împreună cu rezistența la oboseală și comportarea la temperaturi scăzute.

Mixturile asfaltice cu bitum modificat prezintă particularităţi reologice care impun stabilirea unor condiţii specifice de preparare. Rezultatele cercetărilor confirmă posibilitatea reducerii temperaturii pentru anumite sisteme cu lianţi modificaţi, fără ca această constatare să poată fi generalizată pentru toate tipurile de modificatori.

Evaluarea comparativă trebuie să urmărească separat influența temperaturii de preparare, a temperaturii de compactare și a tipului de aditiv, pentru identificarea corectă a factorilor care determină modificările caracteristicilor fizico-mecanice.

În ansamblu, literatura analizată indică faptul că stabilirea temperaturii optime de preparare trebuie fundamentată pe comportarea efectivă a mixturii asfaltice, nu exclusiv pe caracteristicile liantului sau pe posibilitatea tehnologică de reducere a temperaturii.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ZHANG, X., LU, Y., LIU, X., *Multiscale Mechanisms and a Mechanism-Oriented Evaluation Framework for Warm-Mix Asphalt.* Materials, 19(18), 3839. https://doi.org/10.3390/ma19183839, **2026**.

[2]. SUKHIJA, M., SABOO, N., PANI, A., *Correlating the Fatigue Response of Asphalt Binders and Mixtures Prepared Using Warm-Mix Asphalt Technologies*. Journal of Materials in Civil Engineering, 37(3). https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-18653, **2025**.

[3]. DARSHAN, N., KATAWARE, A. V., *Exploring Different Approaches to Understand Effect of WMA Modification on Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders: A Laboratory Study*. Construction and Building Materials, 458, 139562. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139562, **2025**.

[4]. NITHINCHARY, J., DHANDAPANI, B. P., MULLAPUDI, R. S., *Application of Warm Mix Technology – Design and Performance Characteristics: Review and Way Forward*. Construction and Building Materials, 414, 134915. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134915, **2024**.

[5]. ALMASSY, K., VATTAI, A., *Mechanical characterization of moderately warm asphalt binder course mixes using rubber-modified and conventional bitumens*. În: Road and Rail Infrastructure IX, pp. 1209–1215. https://doi.org/10.5592/CO/CETRA.2026.1876, **2026**.

[6]. ALI, A., ALI, A., MEHTA, Y., NAZZAL, M., *Evaluation of the Impact of Warm Mix Additives and Binder Grade on Properties and Performance of Asphalt Binder and Mixtures*, Road Materials and Pavement Design. https://doi.org/10.1080/14680629.2026.2685202 , **2026**.

[7]. BELC (ROTUNDU), A. L., *Metode sustenabile de îmbunătățire a caracteristicilor reologice ale mixturilor asfaltice*. Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara. https://www.upt.ro/img/files/2021-2022/doctorat/teze/rezumat_teza/Rezumat-Romana_Belc.pdf, **2022**.

[8]. RŽEK, L., MILJKOVIĆ, M., *Evaluation of the methods for determining mixing and compaction temperatures of modified bitumen*. În: Road and Rail Infrastructure IX, pp. 1247–1254, https://cetra.grad.hr/archive/cetra2026papers/1968.pdf, **2026**.

[9]. SCARAMUCCI, V., FERROTTI, G., GRAZIANI, A., GRILLI, A., CARDONE, F. *Laboratory and environmental assessment of warm asphalt mixtures modified with plastic waste*. În: Road and Rail Infrastructure IX, pp. 1297–1304. https://doi.org/10.5592/CO/CETRA.2026.1865, **2026**.

ÎMBUNĂTĂȚIREA TERENULUI DE FUNDARE CU LIANȚI HIDRAULICI

Diaconu Marylenne-Andreea, ing., absolventă a programului de masterat Ingineria Infrastructurii Transporturilor, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri.
Olteanu Andrei Constantin, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: andrei.olteanu@utcb.ro

Rezumat

Lucrarea analizează îmbunătățirea terenului de fundare cu lianți hidraulici, printr-un studiu de caz asupra rambleului de autostradă de la km 71+280, subsecțiunea Nușfalău–Suplacu de Barcău. Sunt sintetizate alegerea liantului, tehnologia de execuție și verificările de stabilitate, tasare și consolidare. Soluția studiată combină tratarea terenului pe 1.50m cu două rânduri de geogrile. Factorii de stabilitate cresc de la 0.85 la 1.13 în calculul static și de la 0.71 la 1.01 în calculul seismic. Tasarea totală estimată este de 17.11cm. Rezultatele susțin soluția în ipotezele modelului, cu necesitatea confirmării parametrilor prin încercări și a prognozelor prin monitorizare geotehnică.

Cuvinte cheie: lianți hidraulici, teren de fundare, rambleu, geogrile, consolidare, monitorizare geotehnică.

Abstract

This paper examines ground improvement using hydraulic binders through a motorway embankment case study at km 71+280 on the Nușfalău–Suplacu de Barcău subsection. Binder selection, construction procedures and stability, settlement and consolidation analyses are outlined. The proposed solution combines a 1.50m treated soil layer with two geogrid layers. Stability factors increase from 0.85 to 1.13 under static loading and from 0.71 to 1.01 under seismic loading. The estimated total settlement is 17.11cm. The results support the solution within the adopted modelling assumptions, subject to testing of the treated soil parameters and validation of the predictions through geotechnical monitoring.

Keywords: hydraulic binders, foundation soil, embankment, geogrids, consolidation, geotechnical monitoring.

1. INTRODUCERE ŞI OBIECTIVE

Tratarea pământurilor cu lianți hidraulici permite valorificarea materialelor locale în lucrările de terasamente şi îmbunătățirea comportării terenului de fundare. Aplicarea procedeului în terenuri coezive dificile necesită corelarea caracteristicilor pământului cu tipul de liant, dozajul, condițiile de compactare şi evoluția proprietăților mecanice în timp.

Lucrarea de disertație [1] urmărește verificarea estimărilor parametrilor geotehnici şi a metodei de calcul, evaluarea compatibilității tratamentului cu pământul şi condițiile de execuție, precum şi analiza comparativă a unui rambleu în condiții statice şi seismice. Studiul de caz privește secțiunea de la km 71+280, pentru care sunt comparate situația fără îmbunătățire şi soluția cu teren tratat şi armare cu geogrile.

Analiza reunește selecția materialelor, tehnologia de amestecare in situ, verificările la stările limită şi monitorizarea geotehnică. Rezultatele prezentate reprezintă prognoze de calcul pentru secțiunea analizată, care urmează să fie corelate cu comportarea măsurată a terenului şi a rambleului.

2. LIANȚI ŞI MATERIALE DE ARMARE

2.1. Caracteristici şi mecanisme de reacție

Lianții hidraulici rutieri sunt materiale pulverulente anorganice care, în amestec cu apa, formează o pastă ce se întărește şi rămâne rezistentă în mediu umed [2]. Lucrarea examinează varul, cimentul Portland, adaosurile minerale şi amestecurile predozate destinate tratării pământurilor [3, 4].

Modificarea imediată a comportării pământurilor argiloase este asociată schimbului cationic, floculării şi aglomerării particulelor. Pe termen mediu şi lung, reacțiile puzzolanice şi hidratarea compuşilor cimentului produc legături cimentante. Efectele urmărite sunt îmbunătățirea lucrabilității, reducerea plasticității şi a sensibilității la apă, creşterea rezistenței şi limitarea deformabilității. Amploarea lor depinde de compatibilitatea pământ–liant şi de condițiile de preparare şi întărire.

2.2. Alegerea liantului şi determinarea dozajului

Alegerea liantului se corelează cu granulometria, plasticitatea, umiditatea naturală şi comportarea pământului la apă. Dozajul insuficient poate conduce la rezistenţe necorespunzătoare, iar un dozaj excesiv poate creşte costurile şi riscul fisurării din contracţie. Reţeta se stabileşte prin încercări pe amestecuri cu procente diferite de liant.

Programul de laborator prezentat în lucrare include încercarea Proctor pentru umiditatea optimă şi densitatea uscată maximă, indicele portant California CBR şi rezistenţa la compresiune simplă la 7 şi 28 de zile [5]. Evaluarea se completează, după caz, cu încercări de durabilitate la îngheţ–dezgheţ. Rezultatele servesc la alegerea reţetei şi la definirea condiţiilor de punere în operă.

2.3. Rolul geogrilelor

Geogrilele contribuie la preluarea eforturilor de întindere, la distribuţia încărcărilor şi la stabilitatea ansamblului teren–rambleu. După orientarea rezistenţei, se disting geogrile monoaxiale, biaxiale şi triaxiale (Figura 1). În studiul de caz, armarea este asociată stratului tratat cu liant, iar efectul soluţiei este evaluat prin calculul întregului sistem.

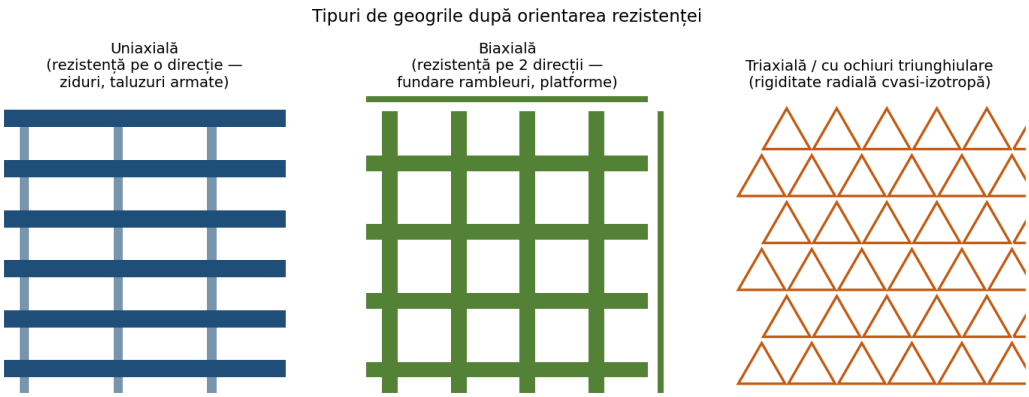


Figura 1. Tipuri de geogrile după orientarea rezistenței

Pentru secţiunea analizată sunt prevăzute două rânduri de geogrile monoaxiale, cu rezistenţă de calcul la tracţiune de minimum 120kN/m şi alungire la rupere de maximum 10%, conform specificaţiilor descrise în lucrare [11].

3. TEHNOLOGIA DE AMESTECARE IN SITU

Tratarea in situ permite utilizarea pământului din amplasament şi reduce necesarul de excavare, înlocuire şi transport. Succesiunea tehnologică descrisă în lucrare cuprinde pregătirea terenului, răspândirea liantului, amestecarea, reglarea umidităţii, compactarea, profilarea şi protecţia stratului în perioada de întărire [6].

Pregătirea include decaparea stratului vegetal, nivelarea, drenajul temporar şi determinarea umidităţii. Liantul este distribuit cu răspânditoare specializate, în dozajul stabilit prin studiu. Amestecarea se realizează cu freze de stabilizare, urmărindu-se omogenitatea pe întreaga grosime a stratului. Compactarea şi finisarea trebuie corelate cu timpul de lucru al amestecului şi cu condiţiile meteorologice.

Controlul execuţiei urmăreşte umiditatea înainte şi după tratare, cantitatea de liant aplicată, uniformitatea amestecului, grosimea stratului, densitatea în lucrare şi rezistenţa mecanică. Încercările de compresiune simplă la 7 şi 28 de zile sunt utilizate pentru urmărirea dezvoltării rezistenţei. Sectorul experimental permite corelarea reţetei de laborator cu utilajele şi condiţiile reale de şantier.

Exemplul tehnologic din disertaţie priveşte o argilă cu indice de plasticitate de aproximativ 25% şi umiditate naturală de 26%, tratată cu 4% liant, într-un strat de 0.30m. Pentru un tronson de 1.0km şi lăţime de 12.0m sunt prevăzute răspânditor, freză, cisternă, compactor, autogreder şi buldozer. Acest exemplu de organizare nu înlocuieşte stabilirea reţetei pentru secţiunea studiului de caz.

Riscurile principale sunt dozajul sau omogenizarea necorespunzătoare, compactarea insuficientă şi protecţia deficitară în perioada de întărire. Pământurile cu materii organice sau sulfaţi necesită evaluarea compatibilităţii, iar temperaturile scăzute, precipitaţiile şi uscarea excesivă pot afecta rezultatul tratării.

Măsurile de securitate şi protecţie a mediului includ protejarea personalului faţă de pulberile alcaline, delimitarea zonelor de lucru ale utilajelor, depozitarea controlată a lianţilor, prevenirea scurgerilor, protejarea drenajelor şi gestionarea deşeurilor. Calitatea stratului tratat rezultă din respectarea întregii succesiuni tehnologice.

4. METODOLOGIA DE CALCUL

Verificările urmăresc stabilitatea generală la starea limită ultimă şi tasarea, respectiv consolidarea, la starea limită de serviciu. Lucrarea utilizează cadrul

Eurocodului 7 și referințele naționale menționate în bibliografie [7–10]. Analizele de stabilitate sunt efectuate în Geofine, prin metode de echilibru limită.

Încărcarea caracteristică din trafic este q_k = 23.4kPa. Pentru calculul pseudo-static sunt adoptați K_h = 0.075 și K_v = 0.0375. În verificările cu valori de calcul ale parametrilor, criteriul utilizat în lucrare este $F_s \geq 1$. Tasarea totală însumează componenta instantanee, consolidarea primară și consolidarea secundară (Figura 2).

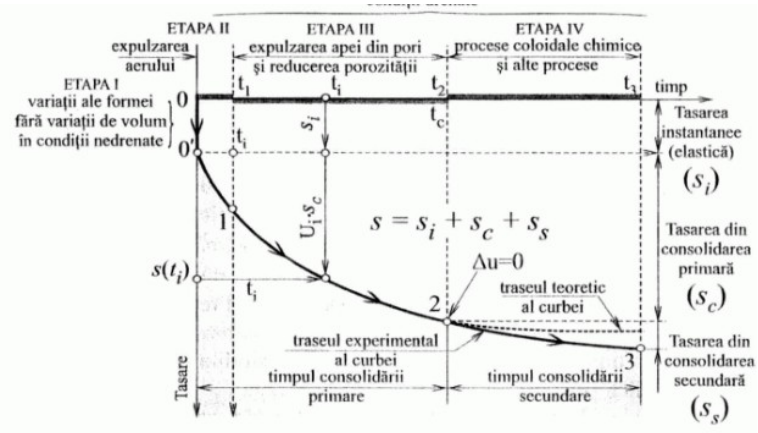


Figura 2. Componentele curbei tasare–timp

Tasarea este estimată prin însumarea contribuțiilor straturilor elementare, iar evoluția în timp prin teoria consolidării unidimensionale. Schema de calcul este prezentată în Figura 3.

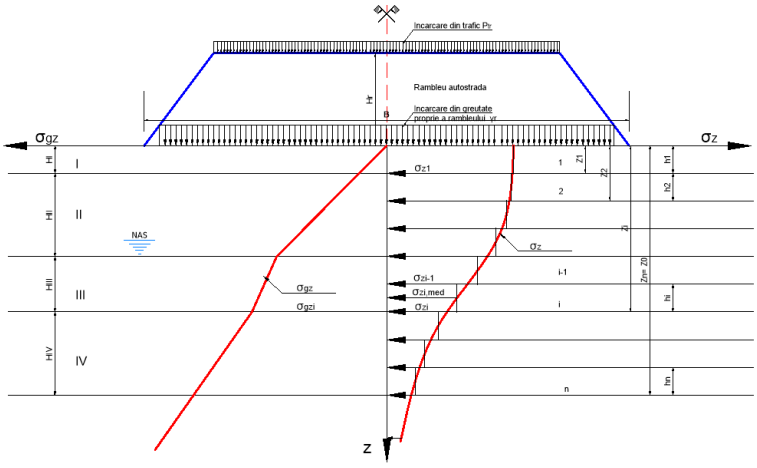


Figura 3. Schema de calcul a tasării absolute a rambleului

5. STUDIU DE CAZ LA KM 71+280

5.1. Amplasament şi soluţie constructivă

Secţiunea aparţine Autostrăzii Braşov–Târgu Mureş–Cluj–Oradea, subsecţiunea 3B5 Nuşfalău–Suplacu de Barcău, km 66+500–80+054. Amplasamentul este situat în vestul județului Sălaj, în depresiunea Șimleului, pe zona de luncă şi terasă joasă a râului Barcău (Figura 4).

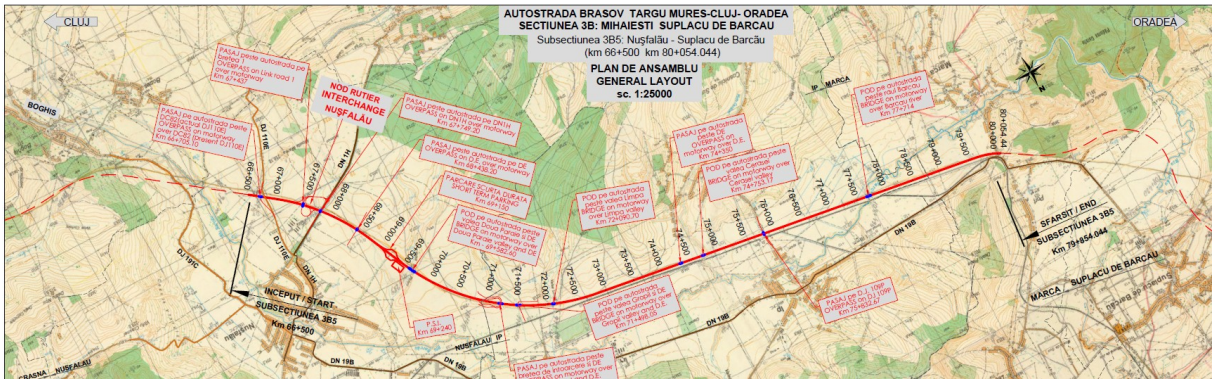


Figura 4. Planul de ansamblu al subsecţiunii 3B5

Investigaţiile geotehnice au fost executate în etapele 2015 şi 2020. Sunt descrise pământuri sensibile la umezire, pământuri fine cu consistenţă redusă şi zone cu materii organice, apa subterană fiind prezentă pe traseu. În documentaţia utilizată, încadrarea geotehnică este raportată la NP 074/2014 [12].

Soluţia 4 prevede îmbunătăţirea terenului de fundare pe grosimea de 1.50m şi armarea cu două rânduri de geogrile. Platforma autostrăzii are lăţimea de 26.0m. Dozajul liantului urmează să fie stabilit prin încercări şi sector experimental. Secţiunea transversală este prezentată în Figura 5.

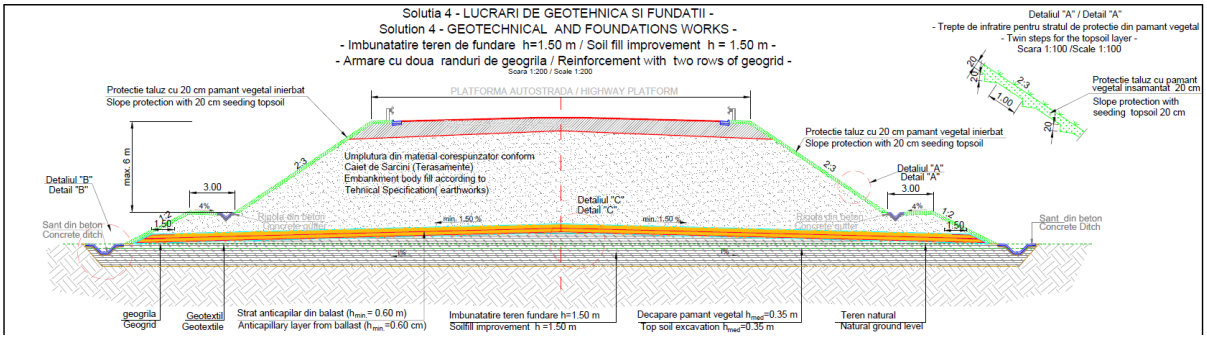


Figura 5. Secţiunea transversală la km 71+280

5.2. Modelul geotehnic şi parametrii de calcul

Modelul stratigrafic cuprinde un complex coeziv superior, între 0.00–5.50m, un complex necoeziv, între 5.50–8.50m, şi un complex coeziv inferior, între 8.50–35.00m. Profilul longitudinal şi subcomplexele utilizate în calcul sunt ilustrate în Figura 6.

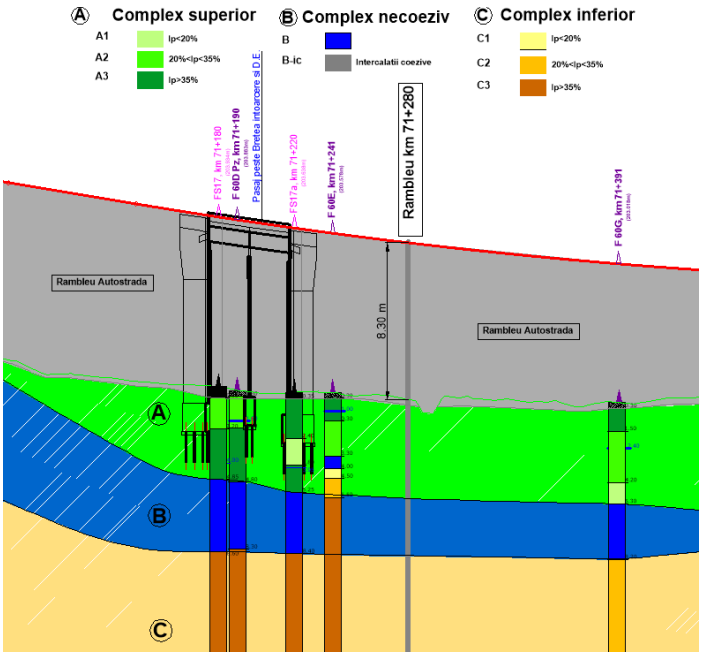


Figura 6. Principalele complexe geotehnice la km 71+280

Valorile caracteristice au fost obținute prin prelucrare statistică, potrivit metodologiei NP 122:2010 [9]. Complexul superior prezintă indici de consistență I_c = 0.45–0.62 pentru A1, indici de plasticitate de la 17% la peste 40%, module edometrice de 7–14MPa şi parametri de forfecare φ = 3–16°, c = 10–57kPa.

Complexul necoeziv B este caracterizat prin φ′ = 30–33° şi E ≈ 24–30MPa. Complexul inferior are consistență mai ridicată, I_c = 0.73–0.98, şi coeficienți de consolidare de ordinul 10^{-4}–10^{-3}cm²/s. Nivelul apei subterane este considerat conform profilului litologic.

Pentru stratul tratat sunt adoptați parametri echivalenți φ = 15°, c = 35kPa şi E = 35MPa. Aceste valori reprezintă ipoteze de proiectare care urmează să fie confirmate prin încercări şi sectorul experimental, înaintea utilizării rețetei în execuție.

5.3. Calculul de stabilitate generală

Fără îmbunătățirea terenului, Abordarea 1, gruparea 2, conduce la $F_s = 0.85$ în calculul static (Figura 7) și $F_s = 0.71$ în calculul seismic. Valorile subunitare indică necesitatea unei soluții de îmbunătățire în ipotezele analizate.

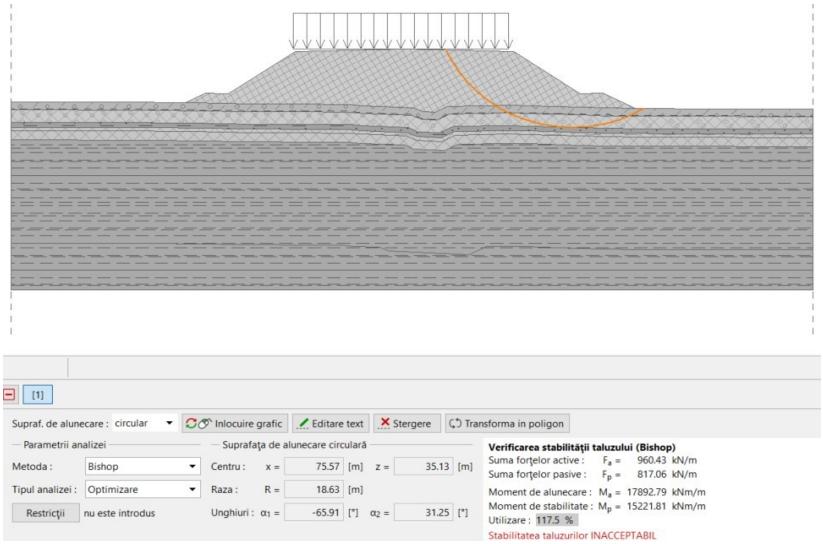


Figura 7. Stabilitate fără îmbunătățire, $F_s = 0.85$

Cu strat tratat de 1.50m și două rânduri de geogrile, rezultă $F_s = 1.13$ în gruparea statică 2 (Figura 8), $F_s = 1.21$ în gruparea statică 1 și $F_s = 1.01$ în gruparea cu seism.

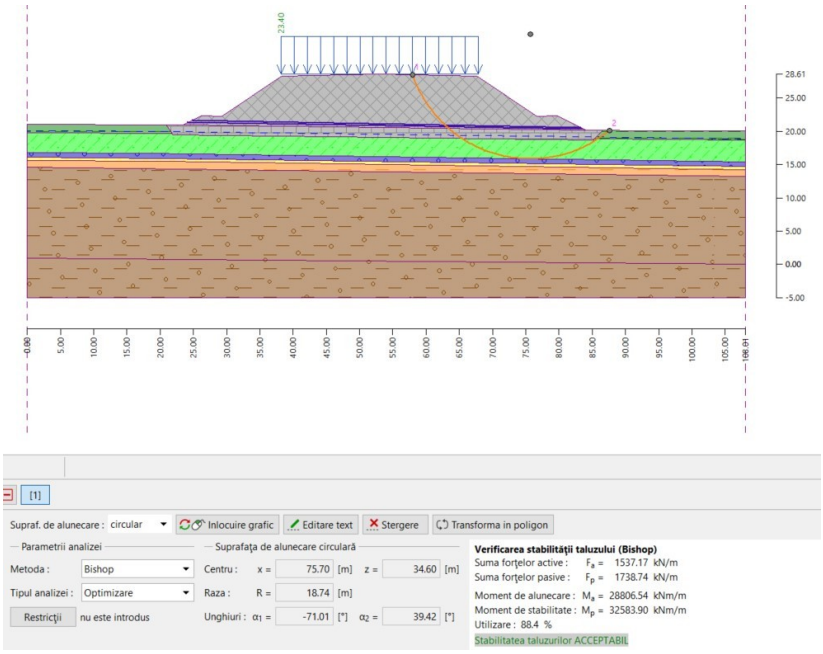


Figura 8. Stabilitate cu îmbunătățire și geogrile, $F_s = 1.13$

5.4. Tasarea și evoluția consolidării

Analiza pe etape cuprinde execuția rambleului până la 180 de zile, traficul de șantier până la 270 de zile și evaluările la 60 de luni, 120 de luni și 100 de ani. Tasările celor opt straturi ale modelului sunt cumulate la momentele reprezentative. Graficul consolidării este prezentat în Figura 9.

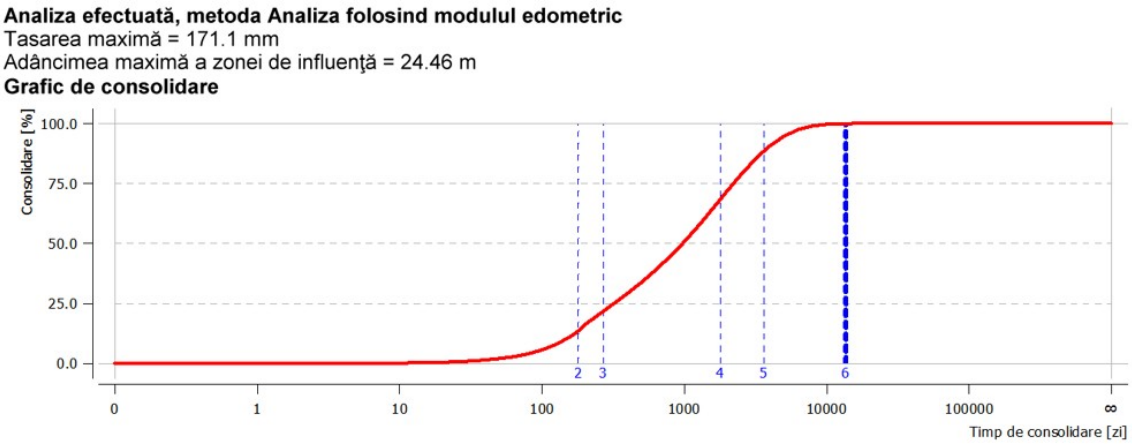


Figura 9. Graficul consolidării rambleului

Tasarea totală estimată este de 17.11cm, iar adâncimea zonei de influență este de 24.46m. Calculul urmărește atât valoarea finală, cât și tasările care se consumă după realizarea structurii rutiere. Figura 10 ilustrează evoluția tasării cumulate și un interval de evaluare din calcul.

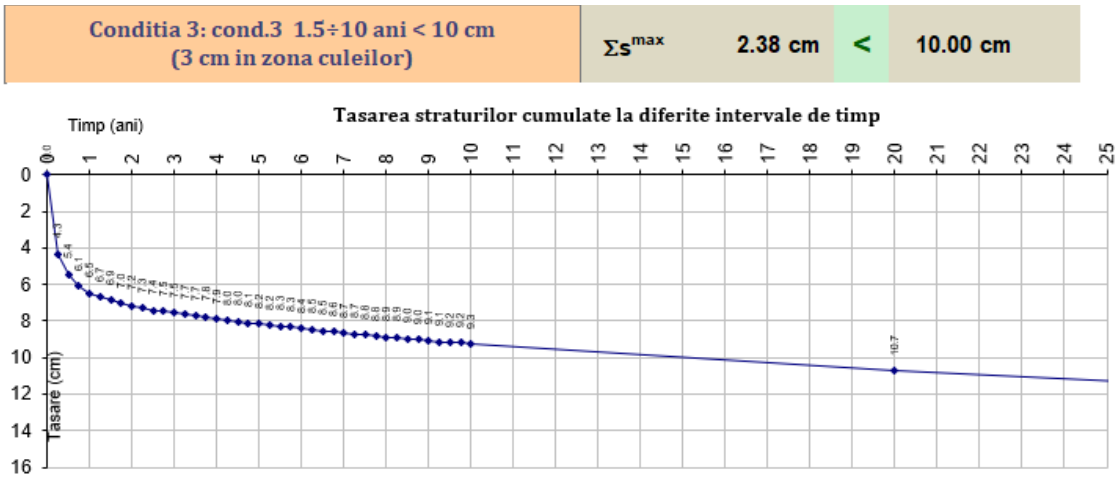


Figura 10. Tasarea cumulată a straturilor în timp

Condiția 1 privește intervalul dintre așternerea straturilor asfaltice și 5 ani de exploatare, iar condiția 2, intervalul 5–10 ani. Tasările raportate sunt 7.04cm

și, respectiv, 3.0cm, față de limita de 10.0cm în câmp. Pentru zonele culeelor este prevăzută limita distinctă de 3.0cm.

5.5. Sinteza rezultatelor și presiunea apei din pori

Tabelul 1 reunește rezultatele raportate pentru Soluția 4 la km 71+280. Factorul seismic de 1.01 este apropiat de pragul utilizat în calcul, ceea ce evidențiază importanța confirmării parametrilor adoptați și a controlului execuției.

Tabelul 1. Rezultatele calculului pentru Soluția 4

Mărime verificată	Rezultat
F_s static, Abordarea 1, gruparea 1	1.21
F_s static, Abordarea 1, gruparea 2	1.13
F_s seismic, Abordarea 1, gruparea 2	1.01
Tasare totală estimată	17.11cm
Adâncimea zonei de influență	24.46m
Tasare aferentă condiției 1	7.04cm
Tasare aferentă condiției 2	3.0cm

Presiunea apei din pori este analizată înaintea execuției și la cele cinci momente de evaluare. Distribuția la 120 de luni este prezentată în Figura 11. Pentru etapa de 100 de ani, modelul consideră disiparea suprapresiunilor interstițiale și revenirea nivelului apei subterane la situația inițială.

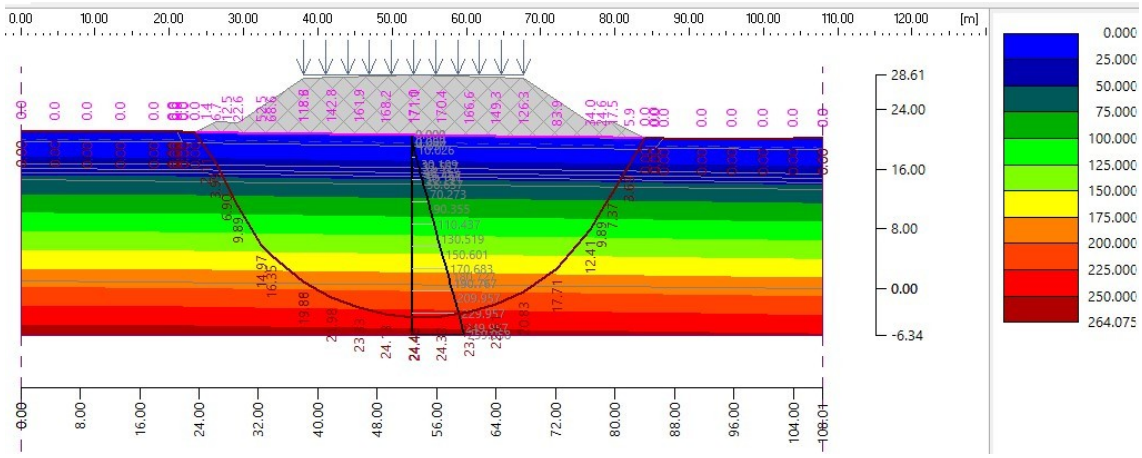


Figura 11. Presiunea apei din pori la 120 de luni

Etapizarea propusă cuprinde 6 luni de execuţie şi trafic de şantier între lunile 6 şi 9. Lucrarea condiționează începerea structurii rutiere după această perioadă de urmărirea geotehnică a comportării rambleului.

5.6. Programul de monitorizare geotehnică

Monitorizarea urmărește comportarea terenului şi a rambleului în timpul execuţiei şi exploatării, pentru verificarea prognozelor şi adaptarea măsurilor la condițiile întâlnite. Programul propus include monitorizare topografică prin mărci de tasare raportate la cel puţin trei repere de referinţă şi înclinometre orizontale dispuse transversal în corpul rambleului.

Măsurătorile topografice sunt prevăzute după finalizarea terasamentelor, înaintea fundaţiei rutiere, după stratul de uzură, la darea în exploatare şi după 1, 5 şi 10 ani. Pentru înclinometrele orizontale sunt menţionate citiri după primii 2.0m de terasament, la finalizarea acestuia, la punerea în exploatare şi la aceleaşi repere temporale de urmărire.

Interpretarea datelor trebuie corelată cu etapele de încărcare şi cu evoluţia calculată a consolidării. Raportul de monitorizare geotehnică reprezintă instrumentul de verificare a prognozelor, inclusiv a tasărilor rămase după realizarea structurii rutiere.

6. CONCLUZII

Pentru secţiunea studiată, terenul natural conduce la factori de stabilitate subunitari: 0.85 static şi 0.71 seismic. Soluţia combinată, cu tratare pe 1.50m şi două rânduri de geogrile, creşte factorii la 1.13 şi 1.01 pentru grupările comparate. Rezultatul evidenţiază contribuţia ansamblului strat tratat–armare la stabilitatea rambleului.

Tasarea totală estimată de 17.11cm impune examinarea evoluţiei în timp şi a tasărilor post-execuţie. Etapizarea construcţiei şi monitorizarea sunt, astfel, componente ale soluţiei geotehnice, alături de verificările la stările limită. Concluziile rămân legate de ipotezele de calcul şi de confirmarea parametrilor stratului tratat.

Contribuţiile lucrării constau în sistematizarea materialelor şi procedeelor de tratare, integrarea tehnologiei cu modelul geotehnic şi compararea situaţiilor fără şi cu îmbunătăţire. Studiul oferă un parcurs metodologic de la alegerea liantului şi stabilirea reţetei până la calcul şi urmărirea comportării în exploatare.

6.1. Limite şi direcţii de continuare

Analiza privește o singură secțiune, utilizează parametri echivalenți pentru stratul tratat şi metode de echilibru limită şi consolidare unidimensională. Prognozele nu sunt confruntate integral cu măsurători din exploatare. Continuarea cercetării vizează încercări pe amestecurile pământ–liant, calibrarea parametrilor prin monitorizare şi extinderea modelării la alte secțiuni, inclusiv prin metoda elementului finit.

BIBLIOGRAFIE

[1]. MARYLENNE-ANDREEA DIACONU. *Îmbunătățire teren de fundare cu lianți hidraulici.* Rezumatul lucrării de disertație, UTCB, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri.

[2]. SR EN 13282-1:2013. *Lianți hidraulici rutieri.* Referință de produs utilizată în lucrare. **2013**.

[3]. SR EN 14227. *Seria de standarde pentru amestecuri tratate cu lianți hidraulici.* Părțile 10, 11 şi 13 menționate în lucrare.

[4]. SR EN 197-1; SR EN 459-1. *Standarde pentru ciment şi var.* Referințe pentru componentele amestecurilor.

[5]. SR EN 13286-2; SR EN 13286-41; SR EN 13286-47. *Metode de încercare.* Proctor, rezistență la compresiune şi indice portant California CBR.

[6]. EN 16907-4:2018. *Lucrări de terasamente. Tratarea pământurilor cu var şi/sau lianți hidraulici.* **2018**.

[7]. SR EN 1997-1 şi Anexa Națională. *Eurocod 7. Proiectarea geotehnică.*

[8]. NP 112:2014. *Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață.* Anexele H şi J, utilizate în metodologia calculului tasărilor. **2014**.

[9]. NP 122:2010. *Determinarea valorilor caracteristice şi de calcul ale parametrilor geotehnici.* **2010**.

[10]. SR EN 1998-5; P100-1/2013. *Referințe pentru proiectarea geotehnică în condiții seismice.* **2013**.

[11]. NP 075-2002. *Referință privind utilizarea materialelor geosintetice la lucrările de construcții*. **2002**.

[12]. NP 074/2014. *Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții.* Ediția menționată în documentația studiului de caz. **2014**.

ANALIZA COMPARATIVĂ A UNOR METODE DE DIMENSIONARE FOLOSITE LA NIVEL MONDIAL PENTRU STRUCTURILE AEROPORTUARE FLEXIBILE

Diconescu Andreea Violeta, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: andreeadiconescu@gmail.com
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Strategia de lucru adoptată în cadrul acestui articol constă într-o abordare comparativă între metodele teoretice și cele aplicate în practică.

Lucrarea prezintă o comparație a trei metode de dimensionare pentru structurile aeroportuare flexibile: metoda franceză LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)/CBR (cu abacă HSR- grosimea totală echivalentă necesară), metoda americană FAA (FAARFIELD, mecanic-empirică) și metoda canadiană (mecanic-empirică). Studiul de caz folosește ca aeronavă critică Boeing 777-300ER și un teren de fundare CBR≈6%, cu trafic de 100.000 mișcări în 20 de ani. Sunt prezentate ipotezele de intrare, criteriile de verificare și rezultatele obținute, inclusiv optimizarea unei soluții pe bază de fundație stabilizată (CTB).

Concluziile arată convergența metodelor mecanic-empirice precum și faptul că varianta cu CTB≈255–260 mm satisface simultan criteriile de deformație permanentă în terenul de fundare și oboseală în stratul de HMA.

Cuvinte cheie: structură aeroportuară flexibilă; metode de dimensionare; FAARFIELD, Boeing 777-300ER.

Abstract

This study presents a comparative evaluation of three design methodologies for flexible airport pavements, focusing on the relationship between theoretical design principles and their practical implementation. The methodologies investigated include the French LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)/CBR method, employing the HSR design chart to determine the required total equivalent pavement thickness; the American Federal Aviation Administration (FAA) method, implemented through the FAARFIELD software and based on mechanistic–empirical principles; and the Canadian mechanistic–empirical design approach.

A case study is conducted considering the Boeing 777-300ER as the critical design aircraft, a subgrade California Bearing Ratio (CBR) of approximately 6%, and a cumulative traffic demand of 100,000 aircraft movements over a 20-year design life. The analysis

examines the input parameters, structural performance criteria, and resulting pavement thickness requirements, with particular emphasis on optimizing a pavement configuration incorporating a cement-treated base (CTB) layer.

The results indicate a convergence between the mechanistic–empirical approaches in terms of structural design requirements. Furthermore, the optimized pavement configuration, incorporating a CTB layer approximately 255–260 mm thick, satisfies both the subgrade permanent deformation criterion and the fatigue cracking criterion for the hot-mix asphalt (HMA) layer.

These findings highlight the applicability of mechanistic–empirical design methodologies to flexible airport pavement engineering and demonstrate the potential of cement-treated base layers to achieve structurally adequate pavement configurations under demanding aircraft loading conditions.

Keywords: pavement for airport; pavement design methods; FAARFIELD, Boeing 777-300ER.

1. INTRODUCERE

O structură aeroportuară flexibilă este, în mod obișnuit, compusă din următoarele straturi:

- stratul de uzură – realizat din mixtură asfaltică de înaltă performanță care trebuie să asigure aderență, rezistență la alunecare și protecție împotriva infiltrațiilor de apă;

- stratul de bază – realizat din mixtură asfaltică tip anrobat care este destinat preluării și distribuirii sarcinilor către straturile inferioare;

- stratul de fundație – realizat din material granular nelegat sau stabilizat care contribuie la distribuția sarcinilor și oferă o bază stabilă pentru straturile superioare;

- terenul de fundație – stratul suport sau patul suprafeței de mișcare care poate fi ameliorat; performanța acestuia are un impact decisiv asupra grosimii totale a structurii aeroportuare.

În cadrul procesului de proiectare, fiecare strat este analizat în funcție de rolul său structural, durabilitatea la oboseală, comportamentul sub trafic repetitiv și sensibilitatea la factorii de mediu [1], [7].

Fiecare strat are rolul de a prelua și dispersa treptat încărcările de la nivelul roților aeronavei către stratul inferior, astfel încât tensiunile transmise terenului de fundare să nu depășească capacitatea portantă a acestuia.

Un aterizor este format din ansamblul de roți montate pe aceeași jambă – componentă structurală care reprezintă fiecare dintre cele două „picioare” ale trenului de aterizare, pe care sunt fixate roțile avionului. Trenul de aterizare este alcătuit din mai multe aterizoare, dispuse astfel încât se poate analiza separat acțiunea fiecărui element în parte. La avioanele comerciale de transport, configurația tipică a trenului de aterizare include două aterizoare principale și un aterizor secundar, amplasat în partea frontală a avionului.

Există și excepții de la această structură, cum ar fi:

- Boeing 747, care dispune de patru aterizoare principale,
- DC-10-30, echipat cu trei aterizoare principale, dintre care unul este central.

Trenul de aterizare este situat în partea din față a aeronavei și constă dintr-un tren principal și un tren secundar. Figura 1 prezintă configurațiile diferite ale trenurilor de aterizare.



a) simplu b) dual c) tandem d) boghiu

Figura 1. Trenuri de aterizare

Structurile aeroportuare sunt supuse unor solicitări verticale repetate, de mare intensitate, provenite din trenurile de aterizare ale aeronavelor comerciale grele. Spre deosebire de drumuri, încărcarea este concentrată pe amprente relativ mici, cu presiuni în pneu ridicate (≈1–1,6 MPa) și cu geometrii de boghiu multiple (roți apropiate), ceea ce generează stări de efort semnificative în straturile inferioare [2], [9].

Dimensionarea corectă a structurii aeroportuare trebuie să asigure evitarea fisurării prin oboseală a îmbrăcămintei asfaltice precum și limitarea deformațiilor permanente în terenul de fundare pe întreaga durată de viață.

În practică sunt utilizate două tipuri de metodologii:

- abordări empirice calibrate pe CBR (LCPC), care oferă grosimea structurală echivalentă necesară (HSR) în funcție de capacitatea portantă a terenului de fundare (CBR- California Bearing Ratio) și de sarcina normală P′;
- abordări mecanic-empirice (M-E), care combină analiza multistrat elastică (LEA) pentru a calcula deformațiile critice (ε_t la baza stratului de HMA și

ε_v la suprafața teren de fundare) cu funcţii de transfer calibrate (Asphalt Institute/Shell) pentru a estima viața admisibilă (Nf, Nd), în conformitate cu regula lui Miner în CDF (Cumulative Damage Factor).

Obiectivul lucrării este compararea critică a celor trei metode (LCPC/CBR, FAA, canadiană) pe același set de date de intrare, rezultarea unei configurații optime și formularea unor recomandări pentru proiectare.

2. FACTORI ESENȚIALI ÎN PROCESUL DE DIMENSIONARE

Tipul și configurația aeronavei critice. Proiectarea se bazează, în general, pe aeronava care produce cele mai severe efecte asupra structurii rutiere (aeronava critică). Aceasta nu este întotdeauna cea mai grea aeronavă, ci aceea care generează solicitările maxime în condițiile reale de trafic (în funcție de masa pe osie, tipul trenului de aterizare, distanțele dintre roți, presiunea în pneuri etc.).

Volumul și frecvența traficului aerian. Solicitările repetate conduc la acumularea de daune în materialele structurii, în special în straturile asfaltice. Metodele moderne de dimensionare utilizează noțiunea de număr echivalent de treceri (Equivalent Annual Departures) pentru a cuantifica efectul oboselii în timp.

Calitatea și capacitatea portantă a terenului de fundare. Solurile cu valori scăzute ale indicelui CBR sau ale modulului de elasticitate conduc la solicitări crescute în straturile superioare, necesitând structuri mai groase și tratamente de stabilizare. [2]

Climatul local și acțiunea apei. Variațiile mari de temperatură pot genera fisuri termice în stratul de uzură, iar apa infiltrată poate reduce capacitatea portantă a solului sau poate produce umflături și pierderi de aderență la interfețe.

3. METODE DE DIMENSIONARE

Există mai multe metode utilizate la nivel internațional pentru dimensionarea structurilor flexibile aeroportuare. [1] În țara noastră nu există norme de dimensionare a structurilor flexibile pentru aeroporturi, însă una din metodele de care se ține seama este metoda franceză [10].

3.1. Metoda Franceză

Metoda franceză de dimensionare a structurilor aeroportuare flexibile [10], dezvoltată de Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), are la bază corelarea empirică dintre capacitatea portantă a terenului de fundare și sarcina transmisă de aeronava critică. Această metodă este cunoscută și sub denumirea de metoda CBR/HSR deoarece se bazează pe metoda indicelui de portanță California Bearing Ratio, fiind inspirată din metoda americană dezvoltată de Corpul de Ingineri al Armatei Statelor Unite.

Principiul fundamental constă în definirea unor încărcări de proiectare – încărcare reală ponderată P′ (ce ține cont de tipul de suprafață aeroportuară), care reprezintă un procent (0,475) din masa maximă la decolare (MTOW) a aeronavei critice, încărcarea normală de calcul P” (încărcarea luată în calcul în formule sau abace pentru dimensionarea structurilor rutiere), încărcarea admisibilă P_0 (încărcarea pe un aterizor real sau fictiv). Încărcarea P′ se raportează la valoarea CBR a terenului de fundare, determinat experimental prin încercări penetrometrice.

Pe baza acestor doi parametri (CBR și P′) se consultă abacele de dimensionare LCPC, care indică HSR (Hauteur de Structure Requise) – adică grosimea totală echivalentă necesară a structurii, exprimată în materiale granulare de referință.

Structura reală propusă se transformă într-o grosime echivalentă He, utilizând coeficienți de echivalență specifici fiecărui material:

- asfalt → coeficient > 1 (reflectă rigiditatea superioară comparativ cu materialul granular);
- materiale granulare → coeficient = 1;
- fundații stabilizate cu liant → coeficient intermediar (≈1,5).

Astfel, metoda franceză are un caracter empiric-simplificat, bazat pe experiența acumulată și pe calibrarea abacelor LCPC. Avantajul principal este rapiditatea evaluării și obținerea unei valori de ordinul întâi pentru grosimea totală a structurii. Totuși, metoda nu face deosebire între modurile de cedare (oboseala asfaltului sau deformația permanentă a terenului de fundare) și nu surprinde influența detaliată a geometriei trenurilor de aterizare, motiv pentru care este adesea folosită doar ca verificare preliminară sau în completarea metodelor mecanic-empirice.

3.2. Metoda Americană

Metoda americană de dimensionare a structurilor aeroportuare flexibile [10] este reglementată de Federal Aviation Administration (FAA) şi implementată în programul FAARFIELD (*FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*) [11]. Aceasta este o metodă mecanic-empirică (M-E), care îmbină analiza mecanică a solicitărilor cu corelaţii empirice derivate din experienţă şi cercetări experimentale.

Metoda consideră structura aeroportuară ca un sistem stratificat (îmbrăcăminte, bază şi fundaţie) solicitat de sarcini concentrate provenite de la trenurile de aterizare. Distribuţia tensiunilor şi deformaţiilor se determină prin analiza multistrat elastic (LEA), care furnizează două mărimi critice:

- ε_t – deformaţia de întindere la baza stratului asfaltic, asociată cu fenomenul de oboseală;

- ε_v – deformaţia de compresiune la partea superioară a terenului de fundare, asociată cu apariţia deformaţiilor permanente.

Pentru a transforma aceste deformaţii în durate de viaţă, metoda utilizează relaţii empirice dezvoltate de Asphalt Institute, care stabilesc:

- Nf – numărul de repetări admisibile ale încărcării până la apariţia fisurării prin oboseală a asfaltului, în funcţie de ε_t;

- Nd – numărul de repetări admisibile ale încărcării până la apariţia deformaţiilor permanente în terenul de fundare, în funcţie de ε_v.

Durata de viaţă a structurii se evaluează prin factorul de degradare cumulat (CDF – Cumulative Damage Factor), calculat conform legii lui Miner:

$$CDF = \frac{(nr.\ miscari\ anuale)\cdot durata\ de\ viata}{\frac{treceri}{raportul\ numărului\ de\ aplicări}\cdot aplicări\ până\ la\ rupere} \quad (1)$$

$$CDF = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (2)$$

unde: ni = numărul de aplicări ale încărcării date de aeronavă pentru o structură aeroportuară;

Ni = numărul de aplicări ale încărcării până la rupere date de aeronavă.

Condiţiile de proiectare structurale sunt îndeplinite atunci când factorul de degradare cumulat (CDF) însumat este egal cu 1,0 (pentru un trafic alcătuit din mai multe tipuri de aeronave). Pentru un trafic dat de un singur tip de avion, cu

mișcări anuale constante, valoarea factorului CDF se poate calcula cu relațiile (1) și (2).

Programul FAARFIELD oferă două moduri de lucru principale:

- „Life mode” – estimează durata de viaţă a unei structuri date, pe baza CDF;

- „Thickness Design mode” – variază grosimile stratului selectat până când criteriul CDF ≤ 1 este satisfăcut.

Dimensionarea structurilor aeroportuare cu FAARFIELD este un proces iterativ atât pentru structurile flexibile.

Metoda FAA/FAARFIELD are avantajul de a face diferența între oboseala asfaltului și deformația permanentă în terenul de fundare, furnizând informații detaliate despre mecanismul critic de cedare. Totodată, aceasta cuantifică direct durata de viață a structurii, oferind un instrument puternic de optimizare.

3.3. Metoda Canadiană

Metoda canadiană de dimensionare a structurilor aeroportuare flexibile [10] se înscrie în aceeaşi categorie a metodelor mecanic-empirice (M-E), fiind dezvoltată pentru a răspunde particularităților climatice și geotehnice din Canada, caracterizate prin variații mari de temperatură și cicluri repetate de îngheț–dezgheţ. Dimensionarea structurilor aeroportuare se face în funcţie de capacitatea portantă a terenului de fundare (rezistența) S.

Precum metoda americană, abordarea canadiană tratează structura aeroportuară ca un sistem stratificat solicitat de sarcinile trenurilor de aterizare. Prin analiza multistrat elastic (LEA) se determină stările de efort și deformațiile critice:

- ε_t – deformația de întindere la baza stratului asfaltic, asociată cu oboseala asfaltului;

- ε_v – deformația verticală de compresiune la partea superioară a terenului de fundare, asociată cu apariția deformațiilor permanente.

Metoda definește valori limită pentru aceste deformații, notate $\varepsilon_{t,adm}$ și $\varepsilon_{v,adm}$, considerate praguri de siguranță structurală. Valorile tipice utilizate în literatura de specialitate sunt după cum urmează:

- $\varepsilon_{t,adm} \approx 200$ με (micro-deformații);

- $\varepsilon_{v,adm} \approx 460$ με.

Aceste praguri stabilesc dacă structura poate rezista traficului impus fără a dezvolta degradări premature.

Pe baza rezultatelor LEA, se estimează durata de viață a structurii prin funcții de transfer calibrate (în parte, similare cu cele ale Asphalt Institute). Evaluarea globală se face prin criteriul legii lui Miner, exprimat prin factorul de degradare cumulat (CDF), cu condiția: CDF ≤ 1 pe întreaga perioadă de proiectare.

Un element distinct al metodei canadiene îl reprezintă integrarea efectelor climatice. Deoarece structurile sunt supuse unor variații sezoniere semnificative, metoda permite adaptarea la variațiile sezoniere a modulului de elasticitate al terenului de fundare și al straturilor granulare, ceea ce duce la o evaluare mai realistă a performanței în condițiile locale. În special, perioada de dezgheț este considerată critică, când modulul terenului scade și riscul de deformații permanente crește.

4. STUDIU DE CAZ

4.1. Ipoteze de calcul

Analiza din cadrul prezentului articol se desfășoară pe baza unor ipoteze identice aplicate fiecărei metode analizate: metoda franceză (ALIZE-LCPC), metoda americană (FAARFIELD) și metoda canadiană (TP312/CBR) [5]:

- aceeași aeronavă critică;
- același tip de pământ în fundație (valoare CBR constantă);
- durata de viață de 20 de ani;
- număr fix de operațiuni anuale (aterizări/decolări).

În acest sens, vom presupune următorii parametri de intrare:

- Aeronava critică considerată în studiu a fost Boeing 777-300ER datorită frecvenței ridicate de utilizare în aeroporturile internaționale și a impactului semnificativ asupra solicitărilor structurale.

Caracteristici tehnice relevante ale aeronavei Boeing 777-300ER sunt următoarele:

- Masa maximă la decolare (MTOW): 351,5 tone;
- Configurația trenului de aterizare principal: 2 jambe × 6 roți/jambe = 12 roți principale;
- Sarcină pe roată estimată: aproximativ 25–26 t/roată;
- Presiune în pneuri: ≈ 1,5 MPa.

Această configurație asigură o solicitare intensă, dar realistă, asupra structurii, fiind adecvată pentru testarea capacității portante a structurii proiectate.

Se presupune un trafic de proiectare constant pe întreaga durată de viață a suprafeței de mișcare (pistă), compus exclusiv din aeronava critică. Numărul anual de mișcări considerat în studiu a fost de 5000 (2500 aterizări și 2500 decolări). Totalul mișcărilor pe durata de viață a fost de 100.000. Această valoare este aleasă pentru a reflecta un nivel moderat de utilizare, caracteristic aeroporturilor regionale mari sau celor internaționale de dimensiuni medii.

Pentru acest studiu s-a ales structura aeroportuară prezentată în tabelul 1.

Pentru uniformitate, capacitatea portantă a terenului natural este exprimată prin indicele CBR = 6%, considerat constant în toate metodele. Această valoare corespunde unui teren de fundare de calitate medie (ex. nisipo-argilos compactat sau pietriș slab gradat).

Tabelul 1. Structura aeroportuară proiectată

Strat	Material	Grosime (mm)	Modul E (MPa)	Coeficientul lui Poisson, ν
Uzură	BA (BBSG/BBM)	60	5.000	0.35
Binder	BA	80	4.500	0.35
Bază din mixtură asfaltică	BA	80	4.000	0.35
Bază din material granular	piatră spartă	250	300	0.30
Fundație granulară	balast (stabilizat ușor)	300	200	0.30
Teren de fundare	CBR 6%	—	50	0.40

4.2. Dimensionare prin Metoda Franceză

În continuare se prezintă datele considerate, calculul efectuat precum și rezultatele obținute considerând metoda franceză de dimensionare [5]:

- Grosime totală a structurii proiectate (conform tabelului 1): 770 mm;
- Grosimea totală a straturilor: 220 mm;
- Încărcarea pe roată:

Greutatea totală =MTOWxg=351,5t×9,80665≈3447kN

Pondere pe trenul principal (ipoteză uzuală ~90%)

Wprincipal ≈0,90×3447≈3102kN

Împărțit la 12 roți principale:

$$Proata \approx 3102/12 \approx 259\,kN/roata \quad (3)$$

- Sarcina normală de proiectare P’:

Procentul de repartiție pe aterizorul principal este de 47,5%.

$$P = 0{,}475 \times MTOW \tag{4}$$

$$P = 0{,}475 \times 351.5 = 166{,}96\,tf \tag{5}$$

Trafic standard => c=1

$$P' = \frac{P}{c} = ¿\, P' \approx 167\,tf \tag{6}$$

Pentru CBR=6% și P’=167tf=> HSR≈1,0-1,2m

- Echivalarea structurală He:

În metoda franceză pe CBR, structura reală (multistrat) se reduce la o grosime echivalentă față de un material granular de referință. Formula este:

$$He = \sum c_i h_i \tag{7}$$

unde: hi= grosimea stratului i;

ci = coeficient de echivalare a stratului.

Asfalt total: 220 mm cu c_{asfalt}=2,0; => 440 mm echivalent granular.

Baza granulară: 250 mm cu $c_{granular}$=1,0=> 250 mm.

Fundație granulară: 300 mm:

- dacă fundația este netratată c=1,0 => 300 mm =>He= 440+250+300=990 mm;

- dacă fundația este stabilizată ușor (liant hidraulic): c=1,5=>450mm=> He=440+250+450=1140mm.

Coeficienții au fost aleși conform STAC „Dimensionnement des chaussées”, coeficientul unui strat inferior nu poate depăși coeficientul stratului imediat superior.

În concluzie prin metoda franceză CBR, pentru B777-300ER (MTOW 351,5 t) s-a adoptat sarcina normală P′=0,475xMTOW≈167 tf (trafic standard). Din abaca LCPC (CBR în funcție de P′) rezultă HSR≈1,0–1,2 pentru CBR=6%. Structura aeroportuară propusă (HMA 220 mm + bază granulară 250 mm + fundație 300 mm) are grosime echivalentă He≈0,99 dacă fundația este netratată cu liant, respectiv He≈1,14 dacă fundația este ușor stabilizată. Rezultă că varianta cu fundație stabilizată satisface cerința impusă (în interiorul intervalului HSR), iar varianta integral granulară este la limita inferioară a cerinței impuse; se recomandă o rezervă de grosime de 20–40 mm (fie pentru straturile asfaltice fie pentru stratul de bază granular).

4.3. Dimensionare prin Metoda Americană

În continuare se prezintă datele considerate, calculul efectuat precum şi rezultatele obţinute considerând metoda americană de dimensionare [5]:

- Trafic: 5.000 mişcări/an × 20 ani = 100.000 mişcări (≈ $1{,}2\times10^6$ rep./roată)
- Teren de fundare: CBR ≈ 6% → Mr ~ 50–62 MPa, ν ≈ 0,40
- Climă: continentală moderată (fără o considerare a anotimpurilor)

Structurile analizate au fost (tabelul 1):

- Varianta V0 – integral granulară (inițială): HMA 220 mm (60+80+80), bază granulară 250 mm (E≈300 MPa, ν≈0,30), fundație granulară 300 mm (E≈200 MPa, ν≈0,30), teren de fundare Mr≈50–62 MPa.
- Varianta V1 – fundație stabilizată cu ciment robustă: ca şi V0, dar cu CTB ≈ 300 mm (E ≈ 1.200 MPa, ν ≈ 0,25) în locul fundației granulare.
- Varianta V2 – fundație stabilizată cu ciment optimizată: ca şi V0, dar cu CTB ≈ 260 mm (E ≈ 1.200 MPa, ν ≈ 0,25).

Configurarea în programul de calcul FAARFIELD:

- Modul Life (evaluare durată) pentru fiecare variantă; criteriu: CDF = $\Sigma(n/N) \leq 1$.
- Raport separat pentru: Sub CDF (deformație permanentă în terenul de fundare, controlată de ε_v) şi Asphalt CDF (oboseala HMA, ε_t la baza HMA).

Rezultatele obținute cu programul de calcul sunt prezentate în continuare (figura 3):

- V0 (integral granulară):

Sub CDF ≈ 27,38, Life ≈ 0,7 ani (conform Fig.4.) → neconformă (mecanism critic: deformație permanentă în terenul de fundare, ε_v ridicat).Asphalt CDF: neglijabil.

- V1 (CTB 300 mm):

Sub CDF ≈ 0,23, Life ≈ 87,8 ani → rezervă mare; controlul ε_v se îmbunătățește semnificativ.Asphalt CDF: mic/neglijabil.

- V2 (CTB ≈ 260 mm):

Sub CDF ≈ 0,86, Life ≈ 23,3 ani → conformă pentru 20 ani, cu marjă rezonabilă.Asphalt CDF: mic/neglijabil (HMA=220 mm suficient la oboseală).

Interpretarea rezultatelor este următoarea:

- Mecanism critic: deformația permanentă în terenul de fundare (ε_v).
- Varianta V0 → insuficientă (Life < 1 an).
- Varianta V1 → rezervă foarte mare, dar supradimensionare.

- Varianta V2 → optimă: Sub CDF < 1, Life ≈ 23 ani → respectă cerințele cu eficiență economică.

- HMA 220 mm rămâne suficient pentru criteriul de oboseală (ε_t).

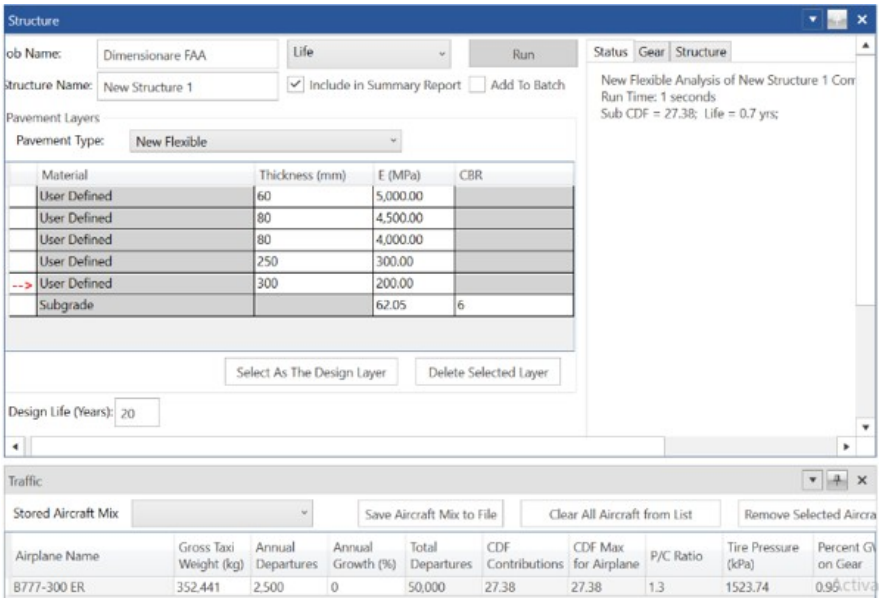


Figura 3. Rezultatul în urma analizei în programul FAARFIELD 2.1.1 a variantei V0

Metoda FAA/FAARFIELD demonstrează că o structură integral granulară nu este viabilă pe teren de fundare CBR ≈ 6% pentru B777-300ER. Introducerea unei fundații stabilizate (CTB ≈ 260 mm) asigură conformitatea pe durata de proiect (≈20 ani), menținând o rezervă rezonabilă şi optimizând grosimile.

4.4. Dimensionare prin Metoda Canadiană

În continuare se prezintă datele considerate, calculul efectuat precum şi rezultatele obținute considerând metoda canadiană de dimensionare [5]:

- Teren de fundare: CBR ≈ 6% (Mr ~ 50–62 MPa, ν=0,40).

- Structură analizată: HMA 60 + 80 + 80 mm, bază granulară 250 mm, fundație granulară 300 mm; total 770 mm.

- Moduli impuși: E_HMA = 5.000/4.500/4.000 MPa, E_bază = 300 MPa, E_fundație = 200 MPa; ν: HMA 0,35; granular 0,30; teren de fundare 0,40.

Formule utilizate (uzuale în practica M-E) sunt prezentate în continuare:

- Oboseală HMA (formă Asphalt Institute, E în psi):

$$N_{f=0.0796\,\varepsilon_t^{-3.291}} \times E^{-0.854} \quad (8)$$

- Deformația permanentă controlată de terenul de fundare

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} \times \varepsilon_v^{-4.477} \quad (9)$$

Praguri țintă (inversarea funcțiilor de transfer):

- Trafic per roată N = 1,2×10⁶; E_HMA ≈ 4,5 GPa ≈ 653.000 psi ⇒ εt,adm ≈ 2,0×10⁻⁴ (≈200 με), εv, adm≈4,6×10⁻⁴ (≈ 460 με).

Interpretarea este următoarea: dacă analiza LEA conduce la $\varepsilon_t \leq$ ~200 με și $\varepsilon_v \leq$ ~460 με, secțiunea satisface criteriile M-E.

Aplicarea metodei pe cele două variante de fundație:

(a) Fundație granulară 300 mm (E = 200 MPa).

Rularea anterioară (echivalentă LEA/FAA) a indicat Sub CDF ⩾ 1 și Life ≈ 0,7 ani. Acest lucru corespunde unui ε_v prea mare (adică depășește pragul ≈ 460 με). În concluzie, varianta NU satisface metoda canadiană fără a interveni cu creșteri substanțiale a grosimii straturilor granulare.

(b) Fundație stabilizată (CTB) 260 mm, E ≈ 1.200 MPa – varianta optimizată.

Rigidizarea stratului inferior reduce semnificativ valoarea ε_v pe terenul de fundare. În rulările echivalente (LEA/FAA, modul Life) s-a obținut pentru această configurație Sub CDF = 0,86 și durată ≈ 23,3 ani, ceea ce, transpus în criteriile canadiene, înseamnă $\varepsilon_v \leq \varepsilon_{v,adm}$ și o valoare a ε_t mult sub prag (HMA 220 mm). În concluzie, varianta satisface metoda canadiană și are o rezervă moderată peste 20 ani; o ajustare fină la CTB ≈ 255 mm ar plasa durata chiar la ~20 ani (CDF ~ 1), dar păstrarea grosimii de 260 mm conduce la o marjă de siguranță confortabilă.

5. CONCLUZII

Lucrarea de față a avut ca obiectiv principal realizarea unui studiu comparativ al metodelor de dimensionare pentru structurile aeroportuare flexibile, aplicat pe cazul unei aeronave de categorie grea, Boeing 777-300ER, pe un teren de fundare caracterizat prin CBR ≈ 6% și pentru un trafic de 100.000 mișcări distribuite pe o perioadă de 20 de ani. Prin analizarea succesivă a celor trei metode – franceză (LCPC/CBR), americană (FAA/FAARFIELD) și canadiană (M-E) – s-au obținut informații esențiale cu privire la performanța structurii propuse, la mecanismele critice de cedare și la soluțiile constructive optime.

- Observații asupra metodei franceze (LCPC/CBR):

Metoda franceză, de natură empirică, se bazează pe abacele LCPC, care corelează capacitatea portantă a terenului de fundare (CBR) cu sarcina normală de proiectare P′. Rezultatul principal este HSR (Hauteur de Structure Requise) – grosimea totală echivalentă necesară exprimată în material granular de referință.

În prezentul studiu de caz, pentru P′ ≈ 167 tf și CBR = 6%, abaca a furnizat un interval de HSR ≈ 1,0–1,2 m. Structura propusă, echivalată prin coeficienți de echivalență, a rezultat la H_e ≈ 0,99 m în varianta integral granulară și H_e ≈ 1,14 m în varianta cu fundație stabilizată (CTB). Prin urmare:

- structura cu fundație granulară se situează la limita inferioară a cerinței, necesitând o mică rezervă suplimentară;

- structura cu fundație stabilizată respectă criteriul HSR, confirmând necesitatea introducerii acestei soluții.

Această metodă este utilă pentru a oferi o verificare rapidă și un ordin de mărime al grosimii totale, dar nu diferențiază între mecanismele de cedare și nu surprinde efectele detaliate ale geometriei trenurilor de aterizare.

- Observații asupra metodei americane (FAA/FAARFIELD):

Metoda americană, implementată în FAARFIELD, este de tip mecanic-empiric (M-E). Aceasta utilizează analiza elastică stratificată (LEA) pentru a calcula deformațiile critice și funcții de transfer calibrate de Asphalt Institute pentru a estima numărul de repetiții admisibile. Performanța este exprimată prin CDF (Cumulative Damage Factor), cu criteriul CDF ≤ 1 pe durata de viață.

Aplicarea metodei a condus la următoarele rezultate:

- varianta integral granulară: Sub CDF ≈ 27,38, Life ≈ 0,7 ani → structură neconformă, mecanism critic = deformația permanentă în terenul de fundare.

- varianta cu CTB 300 mm: Sub CDF ≈ 0,23, Life ≈ 87,8 ani → structură supradimensionată, rezervă foarte mare.

- varianta optimizată cu CTB ≈ 260 mm: Sub CDF ≈ 0,86, Life ≈ 23,3 ani → structură conformă, durată de viață adecvată pentru cerința de 20 de ani.

Astfel, metoda americană confirmă că structurile granulare simple nu sunt adecvate pentru traficul și terenul analizat și că introducerea unui strat stabilizat este esențială pentru controlul deformațiilor permanente.

- Observații asupra metodei canadiene (M-E):

Metoda canadiană urmează același concept M-E ca și cel american dar introduce praguri de admisibilitate explicite pentru deformații: $\varepsilon_{t,adm} \approx 200$ με și $\varepsilon_{v,adm} \approx 460$ με și poate lua în calcul variațiile modulului de elasticitate al materialelor în funcție de anotimpuri, în special în perioada de dezgheț).

În studiul de caz, fără considerarea anotimpurilor (pentru a compara direct cu FAA), rezultatele au fost:

- structura granulară → neconformă, ε_v depășește pragul admisibil;
- structura cu CTB 300 mm → conformă, dar cu rezervă mare;
- structura optimizată cu CTB ≈ 260 mm → verifică simultan pragurile pentru ε_t şi ε_v, oferind o durată de viață ≈ 23 ani.

Astfel, metoda canadiană confirmă concluziile FAARFIELD, diferențele devenind relevante doar atunci când se iau în considerare efectele climatice (unde durata ar putea scădea).

În concluzie, analizând rezultatele, se poate spune că:

- toate cele trei metode converg spre aceeași idee: structura integral granulară nu asigură durabilitatea necesară pentru un trafic greu pe un teren cu CBR ≈ 6%;
- soluția optimă constă în introducerea unui strat stabilizat cu liant hidraulic (CTB), cu o grosime optimizată de ≈ 260 mm, care asigură conformitatea și durabilitatea dorită (≈ 20–23 ani);
- metoda franceză rămâne utilă pentru o estimare preliminară, în timp ce metodele mecanic-empirice (FAA și Canada) permit o cuantificare exactă a performanței și o optimizare economică a grosimilor.
- pentru pista analizată, destinată aeronavei Boeing 777-300ER, soluția optimă este următoarea:
- strat asfaltic HMA 220 mm (60 + 80 + 80),
- bază granulară 250 mm,
- fundație stabilizată cu liant hidraulic (CTB ≈ 260 mm, E ≈ 1200 MPa).

Această configurație îndeplinește simultan criteriile tuturor celor trei metode, oferă o durată de exploatare estimată de 20–23 ani și reprezintă un compromis echilibrat între siguranța structurală și eficiența economică.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Airport Pavement Design and Evaluation* AC No: 150/5320-6G- 07/06/**2021**.

[2]. *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength* – PCR AC No: 150/5335-5D-29/04/**2022**.

[3]. DAMIEN MOUNIER, SANDRINE FAUCHET AND MICHAEL BROUTIN *A New French Rational Design Method for Airfield Pavements,* Airport Infrastructure Department, French Civil Aviation Technical Center, Bonneuil-sur-Marne 94385, France- dec **2014**.

[4]. IONELA SCÂNTEIANU (BOTEZATU), RADU ANDREI, VASILE BOBOC, DIANA-NICOLETA DIMA (DRAGOSLAV), *Actual trends in the conception and design of pavements for airport runway,* Buletinul Institutului Politehnic din Iași, publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Volumul 63 (67), Numărul 2, 2017, Secția Construcții. Arhitectură, 23.06.**2017**

[5]. DICONESCU ANDREEA VIOLETA *Studiu comparativ al metodelor de dimensionare pentru structurile aeroportuare flexibile,* Lucrare de disertație, UTCB, septembrie **2026**.

[6]. CÉCILE CARON, *Comparison of us and french rational procedures for the design of flexible airfield pavements* - French civil aviation technical center- aprilie **2010**.

[7]. Aerodrome Design Manual, ICAO, **2005**.

[8]. HORIA GH. ZAROJANU, GABRIEL D. BULGARU. *Aeroporturi*. Editura Societății Academice „Matei – Teiu Botez”. **2010**.

[9]. IONELA SCÂNTEIANU (CĂS.BOTEZATU). *Cercetări privind sistemele flexibile pentru piste aeroportuare.* Teză de doctorat. Iași **2017**.

[10]. DICU MIHAI, RĂCĂNEL CARMEN, PETCU CLAUDIA, *Elemente conceptuale privind infrastructura de manevră a avioanelor din AEROPORTURI*, editura Conspress, **2024**.

[11]. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA) AC 150/5320-6F, *Airport Pavement Design & Evaluation,* **2016**.

METODOLOGIE DE EVALUARE INTEGRATĂ A PERFORMANȚEI MIXTURILOR ASFALTICE PRIN ÎNCERCĂRI COMPLEXE DE LABORATOR

Dicu Mihai, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mihai.dicu@utcb.ro
Dermengiu Roxana-Daniela, dr.ing., S.C. Consitrans S.R.L., e-mail: roxana.dermengiu@consitrans.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă o metodologie de interpretare integrată a rezultatelor încercărilor de laborator utilizate pentru evaluarea mixturilor asfaltice pe criterii de performanță. Sunt analizate patru categorii de caracteristici: proprietățile materialelor componente, comportarea la oboseală sub solicitări repetate, susceptibilitatea la fisurare la temperaturi scăzute și rezistența la deformații permanente la temperaturi ridicate. Rezultatele determinărilor efectuate asupra lianților bituminoși și mixturilor asfaltice sunt transformate în indici parțiali de performanță, exprimați procentual, pentru a permite compararea parametrilor cu unități de măsură diferite. Prin aplicarea unor coeficienți de ponderare de 15%, 35%, 25% și 25%, indicii parțiali sunt integrați într-un indice de performanță multicriterial (IpM). Metodologia oferă un instrument de ierarhizare comparativă a variantelor investigate și de fundamentare a selecției rețetei, fără a substitui verificările individuale de conformitate. Sunt evidențiate posibilitățile de aplicare, dar și necesitatea validării criteriilor de ponderare și a corelării cu comportarea în exploatare.

Cuvinte cheie: mixturi asfaltice; criterii de performanță; oboseală; fisurare termică; ornieraj; evaluare multicriterială.

Abstract

This paper presents an integrated method for interpreting laboratory test results used to evaluate asphalt mixtures according to performance-related criteria. Four groups of properties are considered: constituent material characteristics, fatigue response under repeated loading, low-temperature cracking susceptibility, and resistance to permanent deformation at elevated temperatures. Experimental results obtained for bituminous binders and asphalt mixtures are converted into dimensionless partial performance indices expressed as percentages, enabling the comparison of measurements reported in different units. The partial indices are combined into a multicriteria performance index (IpM) using the proposed weights of 15%, 35%, 25%, and 25%, respectively. The resulting indicator supports comparative ranking and mixture-

design decisions without replacing individual specification compliance checks. Further validation of the weighting approach and correlation with in-service pavement performance remain necessary.

Keywords: asphalt mixtures; performance criteria; fatigue; thermal cracking; rutting; multicriteria assessment.

1. INTRODUCERE

În alegerea unei rețete de mixtură asfaltică se urmărește un compromis între cerințe care nu evoluează întotdeauna în același sens. O modificare a tipului de liant poate influența simultan rigiditatea, capacitatea de relaxare a tensiunilor termice și rezistența la acumularea deformațiilor permanente. Prin urmare, ordonarea variantelor numai pe baza unui parametru poate conduce la o apreciere incompletă a comportării anticipate în exploatare.

Programul de evaluare prezentat pornește de la rezultatele unor încercări de laborator efectuate asupra lianților și asupra mixturilor asfaltice de tip MAS 16. Variantele sunt diferențiate prin tipul de bitum și prin materialele granulare utilizate, iar rezultatele sunt organizate astfel încât aceeași variantă să poată fi urmărită în toate categoriile de încercări. Acesta este motivul pentru care interpretarea integrată devine esențială: fiecare grup de determinări surprinde un aspect distinct al răspunsului materialului.

Obiectivul lucrării este prezentarea unei proceduri de centralizare, normalizare și corelare a rezultatelor, cu evidențierea condițiilor necesare pentru utilizarea indicilor rezultați. Lucrarea urmărește interpretarea comparativă a datelor disponibile, fără a substitui cerințele obligatorii stabilite prin standardele de produs, metodele de încercare și proiect.

Proiectarea mixturilor asfaltice presupune nu numai satisfacerea unor cerințe volumetrice și fizico-mecanice, ci și aprecierea comportării materialului în condiții reprezentative pentru exploatarea structurii rutiere. Solicitările ciclice generate de trafic și variațiile sezoniere de temperatură pot conduce la oboseală, fisurare termică sau acumularea de deformații permanente. Evaluarea separată a acestor fenomene oferă informații utile, dar face dificilă ierarhizarea variantelor de rețetă atunci când unele caracteristici indică avantaje, iar altele evidențiază vulnerabilități.

În acest context, lucrarea propune centralizarea rezultatelor unor încercări complexe de laborator într-un sistem de indicatori parțiali și într-un indice de

performanţă multicriterial. Abordarea se aplică comparativ variantelor de mixturi asfaltice analizate în cadrul aceluiaşi program experimental, în raport cu materialele componente şi cu mecanismele relevante de degradare.

2. PRINCIPIUL ŞI STRUCTURA METODOLOGIEI

Metodologia de evaluare presupune, într-o etapă preliminară, definirea variantelor investigate şi stabilirea matricei de încercări, cu precizarea metodelor de determinare, a unităţilor de măsură şi a condiţiilor de testare specifice fiecărei caracteristici. Pentru asigurarea comparabilităţii rezultatelor, analiza se realizează exclusiv între determinări efectuate în condiţii echivalente, având în vedere influenţa parametrilor de încercare asupra comportării mixturilor asfaltice, în special dependenţa modulului de rigiditate de temperatură şi de frecvenţa solicitării.

Programul experimental este structurat în patru secţiuni, corespunzătoare principalelor caracteristici şi mecanisme de comportare ale mixturilor asfaltice:

- A1 – evaluarea proprietăţilor materialelor componente şi a caracteristicilor fizico-volumetrice ale mixturilor asfaltice;
- A2 – evaluarea comportării la solicitări repetate, prin analiza rigidităţii şi a rezistenţei la oboseală;
- A3 – evaluarea comportării la temperaturi scăzute, cu accent pe susceptibilitatea la fisurare;
- A4 – evaluarea rezistenţei la deformaţii permanente şi a susceptibilităţii la ornieraj la temperaturi ridicate.

Această structurare permite analiza sistematică a rezultatelor experimentale şi evidenţierea contribuţiei fiecărei caracteristici la evaluarea comportării de ansamblu a mixturilor asfaltice.

Pentru cuantificarea diferenţelor dintre variantele investigate se utilizează un indice parţial procentual, determinat prin relaţia de normalizare:

$$I_{pp} = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_{max}} \times 100 \quad (1)$$

unde X_{max} şi X_{min} reprezintă valorile extreme ale caracteristicii analizate. Indicele astfel obţinut exprimă diferenţa relativă dintre valorile extreme, fără a indica în mod direct superioritatea unei variante. Interpretarea acestuia necesită stabilirea sensului favorabil al fiecărui parametru, în funcţie de semnificaţia tehnică şi de mecanismul de comportare analizat. De exemplu, o rigiditate ridicată

poate reprezenta un avantaj sau un dezavantaj, în funcţie de condiţiile de solicitare şi de fenomenul evaluat.

Prin urmare, interpretarea integrată a rezultatelor se realizează pe baza unor criterii de optimizare clar definite, cu aplicarea consecventă a metodei de normalizare şi luarea în considerare a variabilităţii experimentale. Indicii parţiali constituie astfel instrumente de analiză comparativă a variantelor investigate, fără a reprezenta praguri universale de acceptare sau criterii independente de conformitate.

3. CARACTERIZAREA MATERIALELOR COMPONENTE ŞI A MIXTURILOR – A1

Prima secţiune a metodologiei urmăreşte caracterizarea lianţilor bituminoşi şi evaluarea proprietăţilor fizico-volumetrice şi mecanice ale mixturilor asfaltice. Programul experimental include determinări convenţionale asupra lianţilor, precum penetraţia, punctul de înmuiere şi punctul de rupere Fraass, completate cu încercări reologice specifice metodologiei SHRP. Aceste determinări permit caracterizarea comportării lianţilor într-un domeniu extins de temperaturi, în raport cu proprietăţile şi condiţiile de utilizare preconizate. Caracteristicile lianţilor bituminoşi investigaţi sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Caracteristicile lianţilor bituminoşi analizaţi

Nr. Crt.	Denumirea caracteristicii	Metodă determinare	U.M.	Bitumuri simple 50/70		Condiţii SR EN 12591/ AND 605	Bitumuri modificate cu polimeri 45/80-65		Condiţii SR EN 14023/ AND 605	Bitum simplu 70/100	Condiţii SR EN 12591/ AND 605
				I-A	II-A	50/70	I-B	II-B	Clasa 4	I-C	70/100
1	Penetraţie	SR EN 1426	1/10 mm	60	60	50-70	59	52	45-80	84	70-100
2	Punct înmuiere	SR EN 1427	^{0}C	47,0	48,1	46-54	74,3	73,5	≥70	44,8	43-51
3	Ductilitate la 25^{0}C	SR 61	cm	>150	>150	>100	-	-	-	>150	>100
4	Punct de rupere Fraass	SR EN 12593	^{0}C	-12	-13	≤-8	-20	-16	≤-7	-14	≤-10

Caracterizarea mixturilor asfaltice cuprinde determinarea densităţii aparente, a densităţii maxime, a volumului de goluri şi a modulului de rigiditate prin metoda IT-CY. Analiza comparativă a variantelor de mixtură asfaltică de tip MAS 16, diferenţiate prin natura liantului bituminos şi/sau proveniența agregatelor, evidenţiază variaţii ale caracteristicilor investigate. Rezultatele experimentale sunt sintetizate în Tabelul 2.

Tabelul 2. Caracteristici selectate ale variantelor MAS 16 – rezultate experimentale

Caracteristica - Performanța	Metoda de încercare	[U.M]	*Mixtură asfatică MAS 16*									
			MAS16-I-A-X		MAS16-II-A-X		MAS16-I-B-X		MAS16-II-B-X		MAS16-I-C-X	
			Valoare	IP, %	Valoare	IP, %	Valoare	IP, %	Valoare	IP, %	Valoare	IP, %
Densitatea aparentă	SR EN 12697-6	Mg/m^3	2,426	1,1	2,400	0	2,420	0,8	2,412	0,5	2,411	0,5
Densitatea maximă	SR EN 12697-5	Mg/m^3	2,481	0,9	2,485	1,1	2,484	1,0	2,459	0	2,466	0,3
Volum de goluri	SR EN 12697-8	%	2.22	14,0	3.42	44,2	2.58	26,0	1.91	0	2.23	14,4
Penetrație bitum	SR EN 1426	1/10 mm	60	13,3	60	13,3	59	11,9	52	0	84	38,1
Modul de rigiditate IT-CY, T=20°C	SR EN 12697-26	MPa	5072	14,9	6222	30,6	5580	22,7	6702	35,6	4315	0

Din punct de vedere volumetric, densitatea aparentă și densitatea maximă permit determinarea volumului de goluri, parametru relevant pentru caracterizarea structurii interne a mixturii compactate. Valorile obținute variază între 1,91% pentru varianta MAS16-II-B-X și 3,42% pentru MAS16-II-A-X, evidențiind diferențe între compozițiile analizate.

În ceea ce privește caracteristicile mecanice, modulul de rigiditate determinat prin metoda IT-CY, la temperatura de 20 °C, prezintă valori cuprinse între 4315 MPa și 6702 MPa. Variațiile înregistrate pot fi asociate influenței caracteristicilor liantului bituminos, naturii agregatelor și structurii volumetrice a mixturilor asfaltice, fără a permite însă identificarea contribuției individuale a fiecărui factor în absența unor investigații experimentale suplimentare.

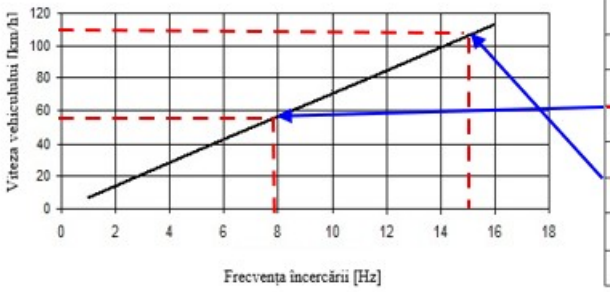
Rezultatele evidențiază necesitatea interpretării corelate a caracteristicilor fizico-volumetrice și mecanice, având în vedere că niciun parametru analizat individual nu poate caracteriza integral comportarea mixturii asfaltice. În acest context, indicele A1 permite sintetizarea informațiilor experimentale și compararea variantelor investigate din perspectiva proprietăților de bază. Interpretarea acestuia trebuie realizată în raport cu semnificația tehnică a fiecărei caracteristici și cu cerințele de conformitate aplicabile, fără a considera poziția relativă a unei variante în cadrul analizei drept o confirmare implicită a performanței sau a conformității acesteia.

4. EVALUAREA REZISTENȚEI LA OBOSEALĂ – A2

Sub acțiunea repetată a sarcinilor din trafic, mixturile asfaltice acumulează progresiv deteriorări, care pot conduce la inițierea și propagarea fisurilor.

Evaluarea rezistenței la oboseală presupune utilizarea unor încercări de laborator capabile să surprindă răspunsul materialului la încărcări ciclice, în condiții de testare riguros definite.

În cadrul programului experimental, comportarea mixturilor asfaltice este analizată prin determinarea modulului de rigiditate prin metoda IT-CY și prin încercări de încovoiere repetată în patru puncte, 4PB-PR. Încercarea IT-CY permite caracterizarea rigidității în configurație de solicitare indirectă, în timp ce încercarea 4PB-PR furnizează informații relevante privind comportarea la oboseală în regim de încovoiere repetată. Rezultatele determinate prin aceste metode sunt prezentate în Tabelul 2 și în Figura 1.



Frecvența	Modul de rigiditate 4PB-PR, T=20°C			
	MAS16-II-A-X		MAS16-II-A-Y	
	Valoare, MPa	I_{pp}, %	Valoare, MPa	I_{pp}, %
0,3 Hz	2165	0	2291	5,5
1 Hz	2935	0	3260	9,97
8 Hz	4605	0	5503	16,32
10 Hz	4955	0	5727	13,48
15 Hz	5147	0	6157	16,40
20 Hz	5462	0	6386	14,47
25 Hz	5833	0	6567	11,18
30 Hz	6161	0	6822	9,69

Figura 1. Corelarea frecvenței încercării 4PB-PR cu viteza echivalentă de circulație și evaluarea indicelui de performanță la oboseală

Interpretarea rezultatelor impune raportarea explicită la condițiile de încercare, în special la temperatură, frecvență, amplitudinea solicitării și nivelul de deformare. Modificarea acestor parametri influențează direct răspunsul mixturilor asfaltice, astfel încât rezultatele obținute în condiții diferite nu pot fi comparate în mod direct.

În cadrul analizei, frecvența utilizată în încercarea 4PB-PR este corelată cu o viteză echivalentă de circulație, pentru a facilita interpretarea rezultatelor în raport cu solicitările induse de trafic. Această corespondență are însă un caracter orientativ, fiind dependentă de ipotezele adoptate în cadrul modelului de echivalare, motiv pentru care nu trebuie interpretată ca o identitate între comportarea în laborator și cea în exploatare.

Analiza comparativă a variantelor investigate permite evidențierea influenței compoziției, inclusiv a tipului de liant și a caracteristicilor agregatelor, asupra nivelului de rigiditate și asupra comportării la solicitări repetate. Pentru a

asigura relevanța comparației, indicele parțial de performanță la oboseală trebuie calculat exclusiv pe baza unor mărimi definite unitar și determinate în aceleași condiții de încercare. În acest mod, variațiile generate de parametrii de testare nu sunt confundate cu efectele reale ale compoziției.

Parametrii rezultați din încercările specifice sunt transformați în indici parțiali și integrați ulterior în criteriul A2, destinat evaluării comparative a comportării la oboseală a mixturilor asfaltice analizate.

5. COMPORTAREA LA TEMPERATURI SCĂZUTE – A3

La temperaturi scăzute, creșterea rigidității liantului bituminos și reducerea capacității de deformare a mixturii asfaltice favorizează acumularea tensiunilor generate de contracția termică. Atunci când acestea depășesc rezistența la întindere a materialului, se poate produce inițierea și propagarea fisurilor. Evaluarea acestui fenomen presupune caracterizarea atât a proprietăților reologice ale liantului, cât și a comportării mixturii asfaltice în ansamblu.

Programul experimental include determinarea caracteristicilor lianților bituminoși prin încercarea de încovoiere a grinzii de bitum (BBR), care permite evaluarea rigidității la fluaj (S) și a parametrului m, indicatori relevanți pentru comportarea la temperaturi scăzute. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 3, interpretarea acestora realizându-se prin corelarea parametrilor determinați și raportarea la criteriile specifice metodei de încercare.

Tabelul 3. Rezultatele încercării BBR

Încercarea BBR Temperatura	Metoda de încercare	Bitumul									
		I-A		II-A		I-B		II-B		I-C	
		S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]
-6^{0}C	SR EN 14771	-	-	103,132	0,297	-	-	-	-	46,355	0,393
-12^{0}C		163,992	0,316	209,179	0,243	88,862	0,352	144,296	0,313	131,197	0,339
-18^{0}C		357,957	0,254	308,739	0,241	180,291	0,287	233,264	0,294	259,394	0,265
-24^{0}C		569,923	0,210	-	-	323,429	0,249	318,368	0,274	-	-

Pentru completarea caracterizării lianților au fost analizați indicatorii referitori la intervalul de plasticitate, determinat pe baza punctului de înmuiere și a punctului de rupere Fraass, precum și intervalul de temperatură evaluat conform

metodologiei SHRP. Valorile experimentale şi indicii parţiali de performanţă corespunzători sunt sintetizaţi în Tabelul 4.

Tabelul 4. Indicii de performanţă ai lianţilor la temperaturi scăzute

Caracteristica – Performanţa	U.M.	Bitum				
		I-A	II-A	I-B	II-B	I-C
Interval de Plasticitate Ip (IB-Fraass)	ºC	59	61,1	94,3	89,5	58,8
Indice de performanță I_{pp} (IB-Fraass)	%	0,3	3,8	37,6	34,3	0
Interval de Plasticitate Ip (SHRP)	ºC	86	80	98	107	86
Indice de performanță I_{pp} (SHRP)	%	7	0	18	25	7

Analiza rezultatelor evidenţiază diferenţe între caracteristicile lianţilor investigaţi, reflectate atât în valorile intervalelor de plasticitate, cât şi în indicii parţiali calculaţi. Aceste variaţii indică particularităţi ale comportării termice şi reologice, a căror interpretare necesită considerarea simultană a parametrilor determinaţi şi a domeniului de utilizare preconizat.

La nivelul mixturilor asfaltice, evaluarea rezistenţei la fisurare termică se realizează prin încercările TSRST (Tensile Stress Restrained Specimen Test) şi UTST (Uniaxial Tension Stress Test). Metoda TSRST permite determinarea temperaturii de rupere şi a tensiunii dezvoltate în condiţiile împiedicării contracţiei termice, în timp ce încercarea UTST caracterizează rezistenţa la întindere şi variaţia acesteia în funcţie de temperatură. Rezultatele comparative pentru variantele MAS 16 investigate sunt prezentate în Tabelul 5.

Tabelul 5. Evaluarea performanţei mixturilor asfaltice la temperaturi scăzute prin încercările TSRST şi UTST

Caracteristica	MAS16-I-A-X		MAS16-II-A-X		MAS16-I-B-X		MAS16-II-B-X		MAS16-I-C-X	
	Valoare/ Categorie SR EN 13108-5	IP, %	Valoare Categorie SR EN 13108-5	IP, %	Valoare Categorie SR EN 13108-5	IP, %	Valoare Categorie SR EN 13108-5	IP, %	Valoare Categorie SR EN 13108-5	IP, %
TSRST Temperatura la rupere, °C	-26 / TSRST max-25.0	4	-25 / TSRST max-25.0	0	-35 / TSRST max -30	29	-37 / TSRST max -30	32	-33 / TSRST max -30	24
TSRST $\sigma_{ceri,\ rupere}$, MPa	1,928	9	1,754	0	2,877	39%	3,016	42	2,564	32
UTST Rezistența la tracțiune β_t, MPa										
la:										
T=-25°C			3,510	13			3,856	21	3,060	0
T=-10°C			3,592	6			4,055	17	3,375	0
T=+5°C			2,899	10			3,189	18	2,621	0
T=+20°C			0,562	22			0,645	32	0,437	0

Diferențele înregistrate între temperaturile de rupere ale variantelor analizate evidențiază influența compoziției asupra susceptibilității la fisurare termică. Comportarea mixturilor asfaltice este determinată nu doar de caracteristicile liantului bituminos, ci și de structura granulară, volumul de goluri și interacțiunea dintre componente. Prin urmare, evaluarea experimentală a mixturii completează informațiile obținute asupra liantului și permite o apreciere mai cuprinzătoare a rezistenței la solicitările specifice temperaturilor scăzute.

În cadrul metodologiei propuse, rezultatele încercărilor sunt integrate în criteriul A3, destinat evaluării comparative a comportării la temperaturi scăzute. Acesta permite evidențierea diferențelor dintre variantele investigate și contribuie la identificarea soluțiilor adecvate condițiilor climatice caracterizate prin temperaturi negative și variații termice pronunțate, fără a substitui interpretarea individuală a parametrilor experimentali.

6. REZISTENȚA LA DEFORMAȚII PERMANENTE – A4

La temperaturi ridicate, comportarea viscoelastică a materialelor bituminoase poate favoriza acumularea deformațiilor ireversibile sub acțiunea traficului repetat, fenomen care conduce, în timp, la apariția făgașelor. Răspunsul mixturii asfaltice este influențat de proprietățile liantului, de interblocarea agregatelor, de volumul de goluri, de gradul de compactare și de condițiile de solicitare. Din acest motiv, evaluarea rezistenței la deformare permanentă trebuie realizată atât prin caracterizarea liantului, cât și prin încercări aplicate direct asupra mixturii asfaltice.

În metodologia analizată, comportarea la temperaturi ridicate este apreciată prin determinarea vâscozității liantului la 135 °C, prin analiza variației modulului de rigiditate IT-CY în funcție de temperatură și prin încercări de ornieraj efectuate la diferite niveluri termice.

Tabelul 6. Vâscozitatea lianților la 135 °C și indicii corespunzători

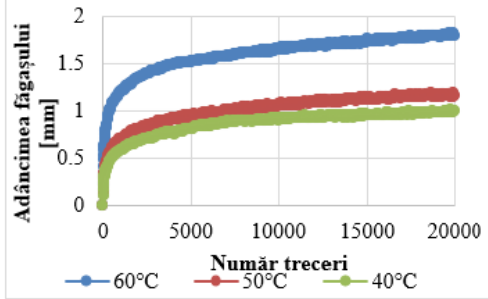
Caracteristică	I-A	II-A	I-B	II-B	I-C
Vâscozitate [Pa·s]	0,406	0,375	1,895	1,935	0,311
Indice raportat [%]	23	17	84	84	0

Valorile de vâscozitate, cuprinse între 0,311 Pa·s și 1,935 Pa·s, evidențiază diferențe ale comportării reologice a lianților la temperatura de încercare. Aceste rezultate oferă informații utile privind sensibilitatea liantului la temperatură ridicată și condițiile de procesare, însă nu pot constitui, în mod izolat, un criteriu suficient pentru aprecierea rezistenței la ornieraj a mixturilor asfaltice finite.

Rezistența mixturilor asfaltice la deformare permanentă este analizată și prin determinarea modulului de rigiditate IT-CY la temperaturi de 0 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C și 40 °C, precum și prin încercarea la ornieraj, efectuată la 40 °C, 50 °C și 60 °C. Variația rigidității cu temperatura evidențiază sensibilitatea termică a mixturilor, în timp ce încercarea la ornieraj permite evaluarea directă a susceptibilității la acumularea de deformații permanente.

Valorile modulului de rigiditate IT-CY și indicii de performanță la temperaturi ridicate

Temp.	Tip mixtură					
	Mixtura1		Mixtura2		Mixtura3	
	Modul rigiditate IT-CY					
	MPa	Ipp %	MPa	Ipp %	MPa	Ipp %
40°C	686	0	937	0	536	0
30°C	1895	64	2675	65	1297	59
20°C	5072	86	6222	85	5580	90
10°C	9652	93	15696	94	8724	94
0°C	17768	96	23095	96	14815	96



Influența temperaturii asupra evoluției adâncimii făgașului în încercarea la ornieraj

Figura 2. Rezistența mixturilor asfaltice la deformații permanente

Reprezentarea grafică a rezultatelor încercării la ornieraj evidențiază evoluția adâncimii făgașului odată cu creșterea numărului de treceri, pentru temperaturile de 40 °C, 50 °C și 60 °C. Curbele obținute indică o amplificare a deformării la temperaturi mai ridicate, confirmând influența regimului termic

asupra comportării mixturilor asfaltice. În acest mod, fenomenul este caracterizat nu doar printr-o valoare finală, ci și prin evoluția sa pe parcursul solicitării.

În cadrul secțiunii A4, centralizarea rezultatelor urmărește exprimarea comparabilă a informațiilor provenite din încercări diferite. Interpretarea tehnică impune însă diferențierea între parametrii care descriu comportarea liantului, indicatorii de rigiditate și parametrii direct asociați acumulării de deformații permanente. Prin urmare, calculul rezultatului sintetic trebuie fundamentat pe semnificația fiecărei caracteristici, astfel încât indicele A4 să reflecte în mod relevant comportarea mixturilor asfaltice la temperaturi ridicate și sub trafic repetat.

7. DETERMINAREA INDICELUI DE PERFORMANȚĂ MULTICRITERIAL

Evaluarea performanței mixturilor asfaltice presupune analiza simultană a principalelor mecanisme de degradare, fiecare caracterizat prin parametri experimentali specifici și metode distincte de încercare. În practica curentă, interpretarea individuală a rezultatelor îngreunează compararea obiectivă a variantelor de rețete și selectarea soluției optime pentru condițiile reale de exploatare.

În prezentul articol, este propusă o metodologie de evaluare integrată, bazată pe utilizarea Indicelui de Performanță Multicriterial (IpM), prin care indicii parțiali de performanță, determinați conform metodologiei prezentate anterior, sunt integrați într-un indicator unic de evaluare. Această abordare permite compararea obiectivă a performanțelor diferitelor variante de mixturi asfaltice încă din etapa de proiectare și facilitează fundamentarea alegerii rețetei optime.

Caracterul adimensional și exprimarea procentuală a indicilor parțiali permit integrarea acestora într-o analiză multicriterială, independent de unitățile de măsură ale parametrilor experimentali utilizați. În vederea obținerii unei evaluări globale, indicii parțiali au fost ponderați în funcție de influența fiecărui mecanism de degradare asupra comportării în exploatare a mixturilor asfaltice.

În cadrul metodologiei propuse, Indicele de Performanță Multicriterial este determinat utilizând relația:

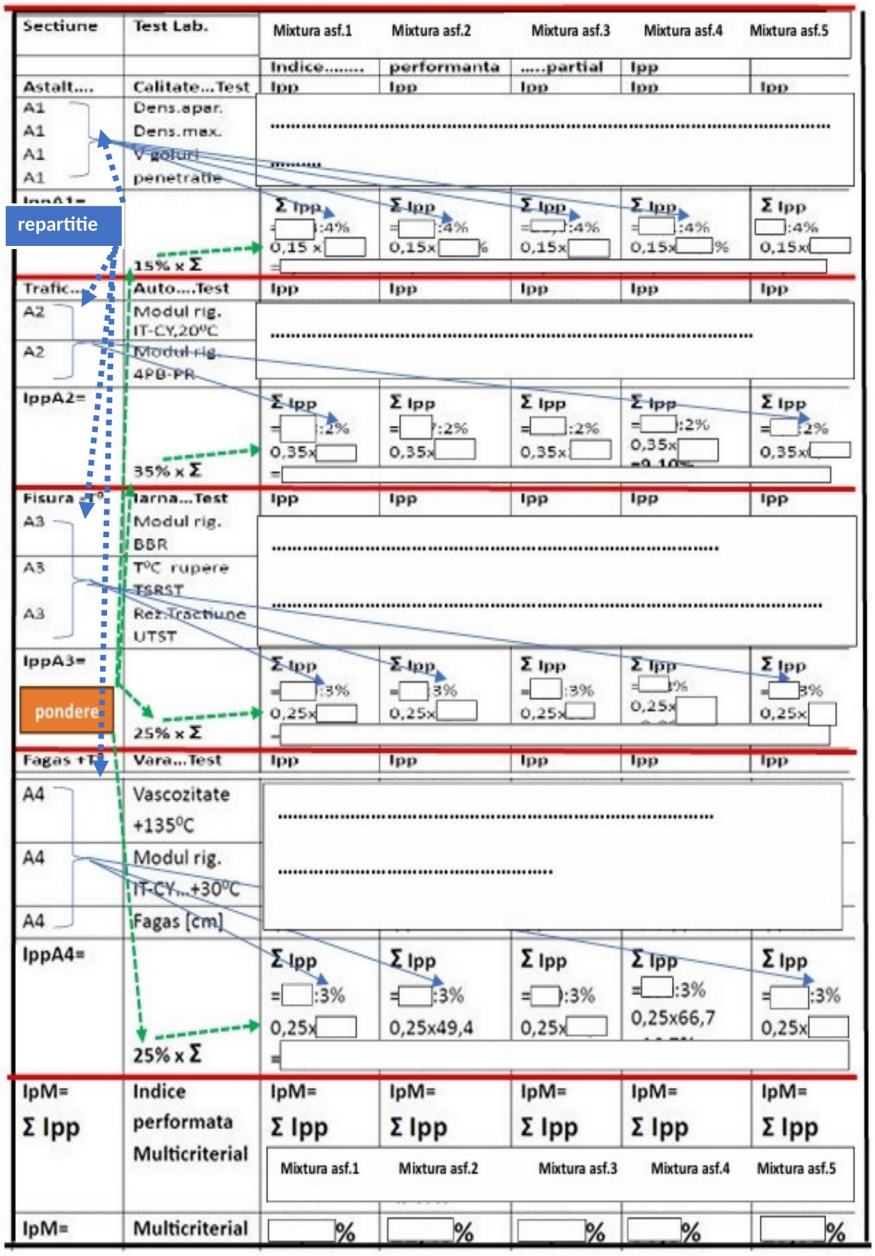
$$I_{pM} = 0,15 \cdot I_{ppA1} + 0,35 \cdot I_{ppA2} + 0,25 \cdot I_{ppA3} + 0,25 \cdot I_{ppA4} \quad (2)$$

unde:

- 15 % reprezintă contribuția calității materialelor componente;
- 35 % reprezintă influența comportării la oboseală;
- 25 % reprezintă influența comportării la temperaturi scăzute;
- 25 % reprezintă influența comportării la temperaturi ridicate și a rezistenței la ornieraj.

Ponderile au fost stabilite pe baza importanței relative a mecanismelor de degradare asupra duratei de exploatare a structurilor rutiere, în conformitate cu obiectivele cercetării și cu literatura de specialitate privind proiectarea mixturilor asfaltice pe criterii de performanță. În cazul drumurilor cu trafic intens, fenomenul de oboseală are influența cea mai importantă asupra duratei de exploatare, motiv pentru care acest criteriu primește ponderea cea mai ridicată. Ponderile pot fi adaptate în funcție de categoria de trafic, condițiile climatice și mecanismele dominante de degradare.

În tabloul care urmează, se prezintă algoritmul de calcul aferent Indicelui Multicriterial de Performanță de evaluare statistică a calității unei mixturi asfaltice, în etapa de proiectare a rețetei optime în laborator.



În cazul drumurilor cu trafic intens, degradările generate de oboseala structurală au o influență majoră asupra duratei de exploatare, motiv pentru care acest criteriu primește cea mai mare pondere în evaluarea globală. Comportarea la temperaturi extreme, atât negative cât și pozitive, contribuie în mod echilibrat la aprecierea durabilității mixturii, în timp ce calitatea materialelor componente reprezintă fundamentul performanțelor mecanice determinate ulterior prin încercările experimentale.

Ponderile pot fi adaptate, justificat, în funcție de categoria de trafic, zona climatică și mecanismele dominante de degradare.

8. DISCUTAREA APLICABILITĂȚII METODOLOGIEI

Spre deosebire de analiza individuală a parametrilor experimentali, utilizarea Indicelui de Performanță Multicriterial permite compararea directă a tuturor variantelor de mixturi asfaltice analizate în cadrul programului experimental.

În acest mod, fiecare rețetă este caracterizată printr-o singură valoare sintetică, care reflectă simultan comportarea la solicitările mecanice și climatice investigate.

Pe baza valorii IpM, mixturile asfaltice pot fi încadrate în clase de performanță, facilitând procesul decizional în etapa de proiectare. În cadrul metodologiei propuse au fost definite nivelurile de apreciere prezentate în Tabelul 7:

Tabelul 7. Clasele de interpretare ale Indicelui de Performanță Multicriterial (IpM)

Interval I_{pM} (%)	Nivel de performanță
$I_{pM} \geq 40$	Performanță bună
$30 \leq I_{pM} < 40$	Performanță acceptabilă
$20 \leq I_{pM} < 30$	Performanță redusă
$I_{pM} < 20$	Performanță inacceptabilă

Această clasificare permite identificarea rapidă a rețetelor care îndeplinesc cerințele de performanță pentru categoria de trafic și condițiile climatice analizate, oferind proiectantului un instrument suplimentar pentru alegerea soluției optime.

Pentru condițiile de ponderare adoptate în studiul de caz, nicio variantă nu a depășit pragul de 40 %, ceea ce arată că selecția rețetei trebuie interpretată comparativ, prin raportare la variantele investigate și la condițiile de utilizare.

Aplicarea Indicelui de Performanță Multicriterial prezintă o serie de avantaje comparativ cu evaluarea convențională bazată pe analiza individuală a încercărilor de laborator:

- integrează într-un singur indicator rezultatele obținute prin metode experimentale diferite;
- permite compararea obiectivă a variantelor de rețete proiectate în laborator;
- reduce influența interpretării subiective a rezultatelor experimentale;

- facilitează optimizarea compoziției mixturilor asfaltice în funcție de condițiile specifice de trafic și climă;

- constituie un instrument de sprijin pentru fundamentarea deciziilor în etapa de proiectare și validare a rețetelor.

Metodologia propusă completează evaluarea convențională a mixturilor asfaltice prin integrarea rezultatelor experimentale într-un indicator sintetic de performanță, facilitând compararea obiectivă a variantelor de rețete și fundamentarea deciziilor de proiectare.

9. CONCLUZII

Un rezultat important al analizei este constatarea că parametrii măsurați în condiții distincte de temperatură și încărcare nu pot fi comparați direct fără o transformare și o interpretare prealabilă. Normalizarea procentuală facilitează prelucrarea comună, însă semnificația valorilor depinde de sensul favorabil al caracteristicii și de referința folosită.

În perspectiva utilizării practice, rezultatele sunt mai utile atunci când sunt prezentate simultan sub forma valorilor experimentale, a indicilor pe secțiuni și a indicelui global.

O asemenea structură asigură transparența alegerii și face posibilă reconsiderarea ponderilor sau a criteriilor atunci când condițiile de aplicare se modifică.

Cercetarea prezintă un cadru de interpretare integrată a caracteristicilor de performanță ale mixturilor asfaltice, organizat în patru direcții principale: materiale componente, oboseală, fisurare la temperaturi scăzute și deformații permanente la temperaturi ridicate. Utilizarea indicilor parțiali permite aducerea într-o formă comparabilă a rezultatelor unor încercări experimentale diferite.

Indicele multicriterial rezultat din ponderarea celor patru categorii poate sprijini ierarhizarea variantelor de mixturi asfaltice în etapa de proiectare.

Datele exemplificate indică influența tipului de liant și a compoziției asupra parametrilor măsurați, dar nu justifică, în absența unor criterii suplimentare, stabilirea unei performanțe absolute doar pe baza valorii IpM.

Dezvoltarea ulterioară a metodei presupune definirea riguroasă a sensului indicilor normalizați, justificarea și calibrarea ponderilor, precum și validarea prin rezultate obținute pe sectoare de drum în exploatare.

Astfel, metodologia poate constitui un instrument complementar pentru proiectarea mixturilor asfaltice bazată pe criterii de performanță.

BIBLIOGRAFIE

[1]. HUNTER, R. N. și colab., *The Shell Bitumen Handbook*, ediția a VI-a, ICE Publishing, Londra, **2015**.

[2]. LI, N. și colab., *The implementation of balanced mix design in asphalt materials: A review*, Construction and Building Materials, vol. 402, art. 132919, **2023**.

[3]. UNGUREANU, R.-D., *Contribuții la cercetarea mixturilor asfaltice pe criterii de performanță*, teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, **2025**.

POSIBILITATEA DIMENSIONĂRII PLATFORMELOR PIETRUITE, DESTINATE ÎNTREȚINERII EOLIENELOR

Dicu Mihai, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: mihai.dicu@utcb.ro

Rezumat

Prezentul articol pune în evidență o situație de dimensionare la o structură rutieră, unde nu există practic un trafic rutier care să permită folosirea metodelor de calcul consacrate pentru dimensionarea structurii rutiere. Deci, nu există un trafic rutier format de un număr de autovehicule preconizat și deci nu există în cazul de față solicitări dinamice și ciclice pe secțiunea de calcul a unui sistem rutier, dat de o intensitate și un volum de trafic rutier, ci de solicitarea unei structuri rutiere la o suprasarcină statică dată de o macara cu sarcina de 600to.

În acest caz, se cercetează ca temă, analiza consolidării pietruirii la platformele Turnurilor Eolienelor, astfel încât să asigure baza de lucru pentru macarale turn, cu sarcina de 600 to, ca fiind utilizate la această activitate de intervenție la Eoliene.

Ca și procedură de dimensionare a unei astfel de platforme solicitate de o suprasarcină statică, se poate folosi Metoda Deformației Critice. Aceasta este o metodă de calcul analitică, în care toți parametrii de calcul sunt manevrați de către inginerul de specialitate, care nu dispune de un soft specializat de dimensionare structurală la drumuri. Astfel, inginerul realizează analize, funcție de caracteristicile existente de portanță măsurate pe teren și caracteristicile de solicitare date de geometria de încărcare a autovehiculului de calcul.

Cuvinte cheie: macara de 600 de tone, supraîncărcare, dimensionare, platformă pavată

Abstract

This article highlights a situation of dimensioning a road structure, where there is practically no road traffic that would allow the use of established calculation methods for dimensioning the road structure. So, there is no road traffic formed by a predicted number of vehicles and therefore there are no dynamic and cyclic loads on the calculation section of a road system, given by an intensity and volume of road traffic, but by the load on a road structure at a static overload given by a crane with a load of 600t.

In this case, the topic being researched is the analysis of the consolidation of the paving at the platforms of the Wind Turbine Towers, so as to provide the working base for tower cranes, with a load of 600 tons, as used in this intervention activity at the Wind Turbines.

Keywords: 600-ton crane, overload, dimensioning, paved platform

1. INTRODUCERE

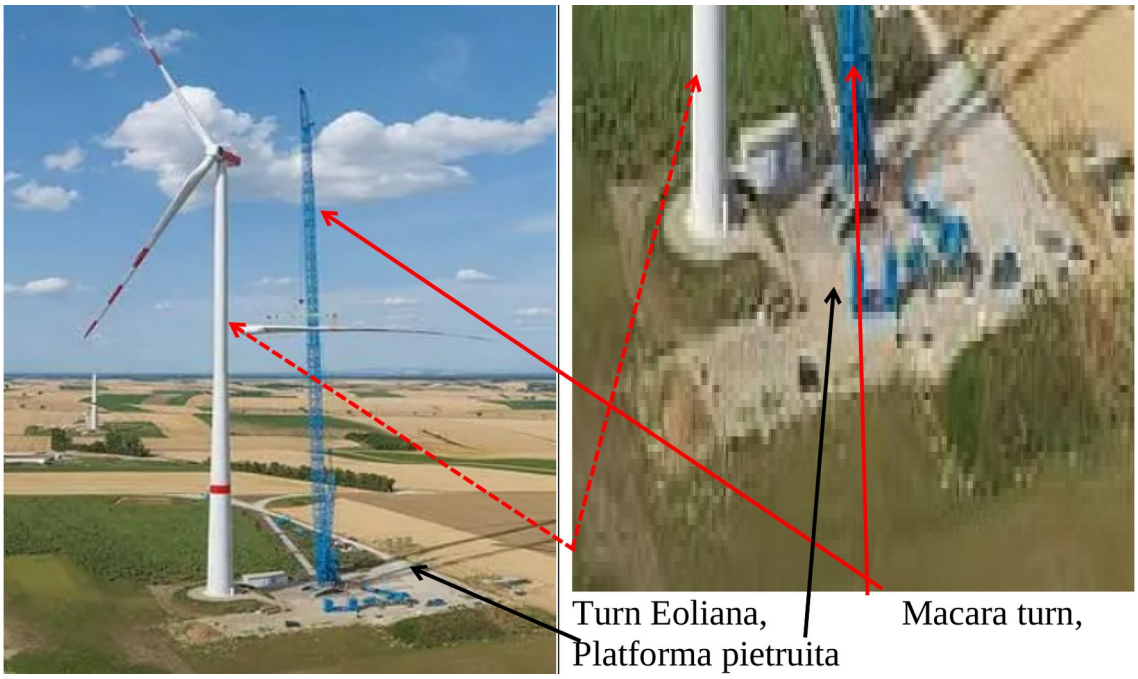


Figura 1. Turn eolian, macara turn și platforma pietruită

Pentru dimensionarea soluţiei de consolidare a platformei pietruite, se efectuează teste în teren, în vederea identificării caracteristicilor de portanţă reziduală la platformele pietruite existente la baza turnului de eoliană, peste care se va realiza soluţia proiectată de ranforsare la caracteristicile de încărcare ale macaralei turn, folosită în acest caz la lucrări de întreţinere ale eolienei.

Tema de specialitatea drumuri, precizează: *„Ca şi mod de lucru pe aceste platforme se folosesc macarale de mare tonaj, 550 tone sau 600 tone, cu sarcina maximă pe care au în cârlig la 120m (configuraţia braţului) în jur de 70 tone. Furnizorii macaralei cer de obicei o încărcare de 250kN/m2 şi un raport EV2/EV1< 2.2, cu un EV1 > 80MN/m2 (recomandarea ca ar trebui să fie minim 75MN/m2). Macaralele pot fi pe roţi cu cale hidraulice sau pe senile. La cele pe senile platforma trebuie să fie cu planeitate controlată.”*

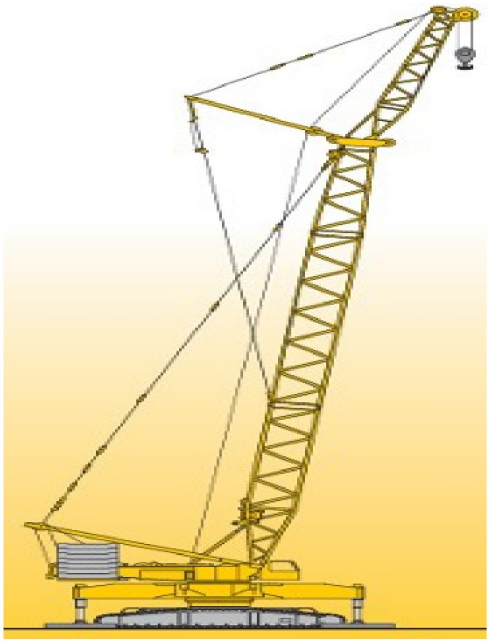


Figura 2. Macaraua turn de 600 t

Pentru a răspunde acestei solicitări se va utiliza următorul principiu de calcul, pentru o macara.

2. ÎNCĂRCAREA PLATFORMEI PIETRUITE CU MACARAUA TURN DE 600TO

Caracteristici geometrice constructive G=600to

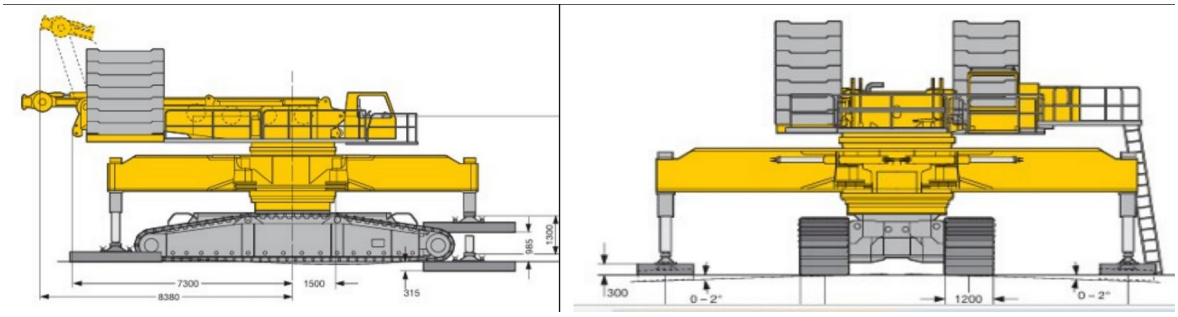


Figura 3. Macaraua turn – vederi laterale

Lungimea necesară de calare L=14200cm; Lăţimea necesară de calare l=11500

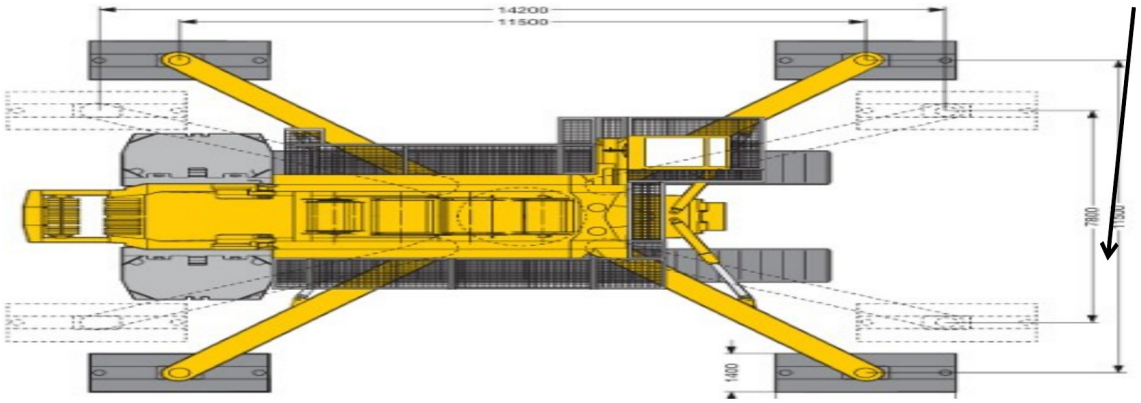


Figura 4. Lungimea și lățimea necesare de calare (vedere în plan)

De aici rezultă necesarul de lungime de lucru a platformei pietruite, spre exemplu Lp= 2x14,2m=min.30m, și necesarul de lățime de lucru a platformei (exemplu) lp=2x11,5m=min.23m.

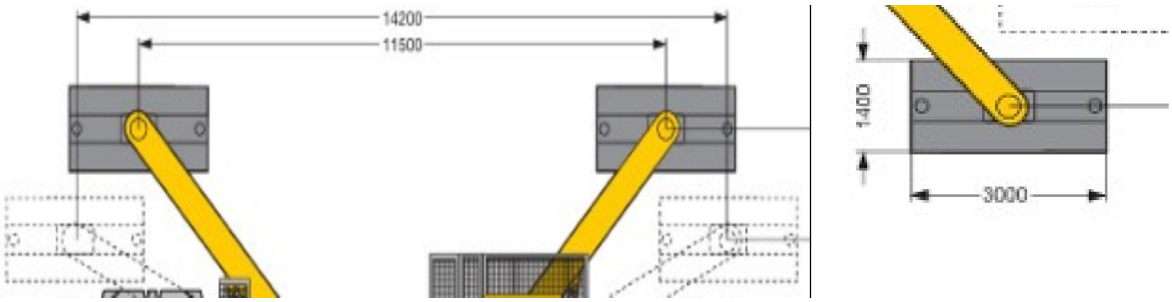


Figura 5. Dimensiunile calelor de sprijin

Suprafața de rezemare (exemplu pentru calibrarea metodei de calcul a ranforsării platformelor pietruite ale eolienelor) pe cele 4 cale=4x3x1,4mp=16,8mp, din care încărcarea uniform distribuită, ca presiune pe o cală de 1,4x3=4,2mp, este de la (exemplu) Ptotal=600to:4cale=150to/cală (exemplu) p=150to:4,2mp=35,7to/mp=0,36daN/cmp/cală

3. UTILIZAREA MĂSURĂTORILOR DE CAPACITATE PORTANTĂ EXISTENTĂ LA PLATFORMA PIETRUITĂ

Din măsurătorile din teren, se vor obține date de capacitate portantă existentă, respectiv:

- Modul dinamic cu placa ZORN (LUKAS) la pietruirea existentă;
- Grosimea pietruirii existente în sondaj deschis.

4. VERIFICAREA SOLUȚIEI DE RANFORSARE

Dimensionarea ranforsării pietruirii existente, pentru a suporta greutatea macaralei turn de intervenție la EOLIENE, se calculează prin Metoda Deformației Critice sau prin Metoda Deformației Elastice, ținând cont că nu avem trafic auto, ci suprasarcină statică din încărcarea cu macaraua turn.

Principiul de calcul este următorul:

- pentru Metoda Deformațiilor Critice: Eech.nec= [πp(0,5+0,565 lgγN)μ]/2λ

sau Eech.nec= πpKμ/2λ, unde:

- Eech.nec= modul echivalent necesar la suprafața platformei ranforsate;
- p= presiune uniform distribuită pe cala macaralei;
- K= factor de trafic auto, respectiv solicitarea macaralei;
- μ=coef. de siguranță pentru neuniformitatea condițiilor de lucru, μ=1, pentru îmbrăcăminte rutieră provizorie din pietruire;
- λ=l/D, unde λ=deformația critică sau lungimea deformației sub roata jumelată a osiei de calcul la A13, aferentă metodei clasice de calcul, este l=λD, unde D este diametrul echivalent al roților jumelate ale osiei de calcul A13, cu D=34 cm.

La macara, Dx=diametrul cercului echivalent de încărcare pe cala aferentă metodei de calcul. În reglementări tehnice λ=0,06 pentru pietruire aferentă A13, iar K ține seama de acumularea deformațiilor din solicitarea macaralei.

Pentru a identifica deformația critică lx din solicitarea macaralei, se poate aprecia, folosind date existente din specificații tehnice aferente vehiculului de calcul A13, cu încărcarea pe osia de calcul de 9,1to, și se poate stabili o valoare a parametrului K=60 în cazul suprasarcinii macaralei de 600to, astfel:

Dacă la l=0,6x34cm.....9 to :2 (pe roțile jumelate ale camionului de calcul A13) =4,5to

La cala macaralei lx.....150to, avem Kechiv=60, deci se poate lua pentru lx=(150tox0,6x34cm)/4,5to=680cm; λx =lx/Dx

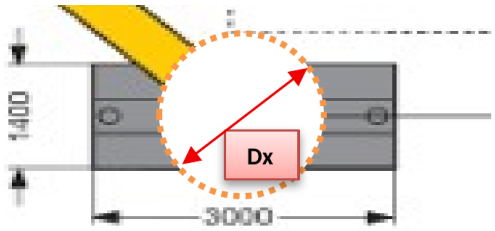


Figura 6. Diametrul cercului echivalent de încărcare Dx sub cală

Suprafața S(cala)=140cm x 300cm =42000cmp, Presiunea de contact p=P/S =150000daN/42000cmp = 3,6 daN/cmp $\pi Dx^2/4=S$; $Dx=\sqrt{4S/\pi}$ $=\sqrt{4X42000/3,14}=231,3$cm Atunci la macara: $\lambda x=lx/Dx$ =680cm/231.3cm=2,94 (sub talpa calei)

Reținând că λ=0,06 pentru pietruire.....la diametrul echivalent A13, D=34cm

La λ=? pentru pietruire.....la macara Dx=231,3cm rezultă

λ=(231,3 x 0,06)/34=0,4

Eech.nec.x=πpKμ/2λ =(3,14x3,6x60x1)/(2x0,4)=850daN/cmp, sau 85MN/mp (tema)



Figura 7. Macara turn la intervenția pe o eoliană

Acest parametru Eech.nec reprezintă efectul suprasarcinii unei macarale de 600to asupra structurii rutiere provizorii, reprezentată de o pietruire a Platformei de întreținere a echipamentelor aferente unui turn de EOLIANĂ. Pentru a lua în considerație necesarul de consolidare a vechii pietruiri a fiecăreia din cele 16 Platforme de Eoliană aflate în serviciu, trebuie investigată capacitatea portantă reziduală a structurii rutiere existente, precum și a terenului de fundație.

După ce se calculează efectul suprasarcinii prin parametrul calculat, modulul echivalent necesar Eech.nec., se trece la dimensionarea unei structuri rutiere de aceeaşi natură pietroasă, pentru soluția analizată prin ranforsarea/înlocuirea pietruirii existente, pe următorul model de calcul bistrat în stadiul deformației critice.

Cu abaca aferentă Metodei Deformației Critice Bistrat, se calculează grosimea stratului de ranforsare Hx, după următorul exemplu:

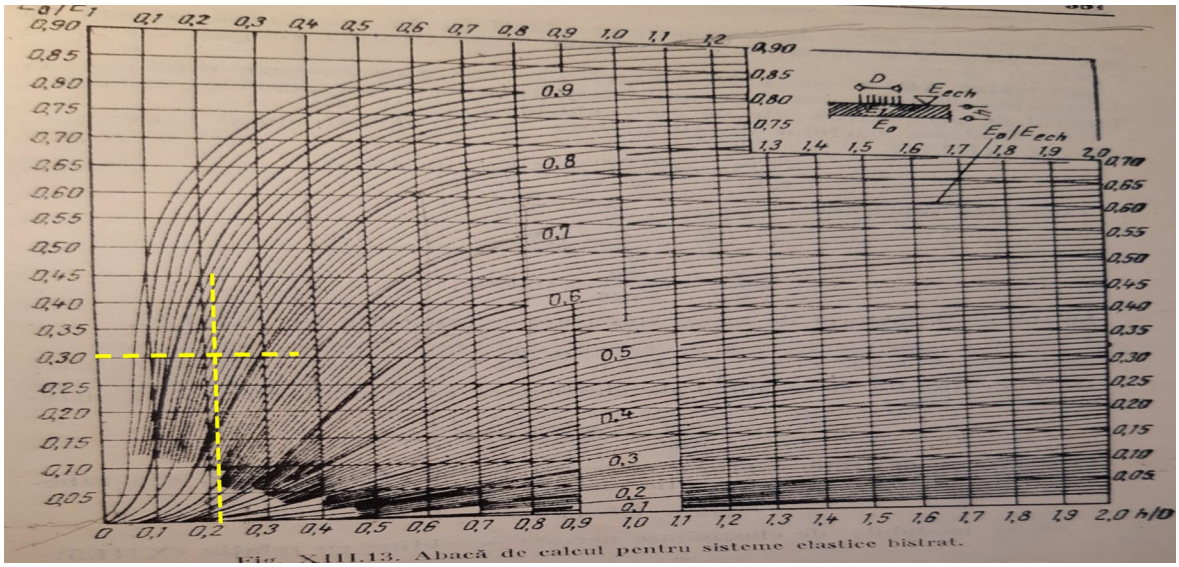


Figura 8. Abaca de calcul pentru sisteme elastice bistrat

Eech.nec/Eps=850/1000=0,85...şi...Ez/Eps=300/1000=0.3. Din abaca de mai sus, aferentă metodei de calcul analitice, rezultă Hx/Dx= 0,21....Hx=0,21x231,3=48,6 cm= 0,5m

Cu o armare cu Geogrile la piatra spartă sortată, 20cm sort 40/60 și 20cm 25/40 pentru împănare, se poate ajunge la reducerea necesarului de piatră de ranforsare la 50cm.

Pentru o macara pe pneuri, se ia în considerație dimensiunile plăcilor metalice pentru asigurarea repartiției efortului necesar la fiecare cală de sprijin.



Figura 9. Plăci de repartiție sub calele macaralei (exemple din teren)

Practic, macaraua pe senile analizată la procedura de calcul a structurii din piatră a Platformei de EOLIANĂ este similară cu cea pe pneuri.

Pentru calculul cu metoda propusă, contează foarte mult sistemul de rezemare al calelor, care dimensional, prin observații foto, sunt asemănătoare. Mai trebuie revenit și cu datele tehnice transmise inițial ca temă de cercetare, respectiv:

Tema specialitatea drumuri lansată:

„Ca și mod de lucru pe aceste platforme se folosesc macarale de mare tonaj, 550 tone sau 600 tone, sarcina maximă pe care au în cârlig la 120m (configurația brațului) este în jur de 70 tone. Furnizorii de O&M cer de obicei o încărcare de 250kN/m2 și un raport EV2/EV1< 2.2, cu un EV1 > 80MN/m2 (aici nu prea avem o indicație clară, dar am văzut recomandarea că ar trebui să fie minim 75MN/m2). Macaralele pot fi pe roți cu cale hidraulice sau pe senile. La cele pe senile platforma trebuie să fie și foarte dreaptă.”

Ținând cont și de faptul că la manevra macaralei încărcătura utilă din EOLIANĂ este de 70to, la care se adaugă și greutatea proprie a macaralei, sarcina devine mobilă pe cale, fiind repartizată excentric, deci cu valori mai ridicate pe cel puțin două cale.

Pentru a avea un calcul acoperitor la manevra de lucru a macaralei, se va lua în considerație sarcina de 70(util)+170(macara)to=240to, care, repartizate pe calele solicitate excentric, pot ajunge la încărcări de 240:4=60to/cală, iar cu

excentricitate se ia în considerație 80to/cală. Se evaluează presiunea uniform distribuită la contactul plăcii de repartiție de la fiecare cală cu suprafața pietruirii, care se va calcula ca și structură rutieră de rezistență a Platformei EOLIENEI, adică situația din metoda de calcul propusă:

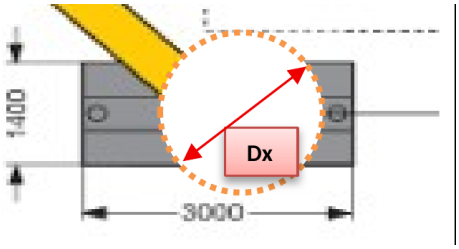


Figura 10. Diametrul cercului echivalent de încărcare Dx – macara pe senile

S(cala)=140cm x 300cm =42000cmp, (senile) p=P/S =80000daN/42000cmp = 1,9 daN/cmp. În tema se cere 250kN/mp, adică 2,5daN/cmp. Am avea 42000cmpx2,5daN/cmp=105to/cală. $\pi Dx^2/4=S$; $Dx=\sqrt{4S/\pi}$ $=\sqrt{4X42000/3,14}=231,3$cm. Atunci la macara: $\lambda x=lx/Dx$ =lxcm/231.3cm=0,4;lx lungimea elastică=

Se are în vedere o informație dintr-un studiu efectuat la Platforme Eoliene din zonă, cu recomandarea unei structuri pietruite și cu ordin de mărime la caracteristicile straturilor din piatră sortată, după cum urmează:

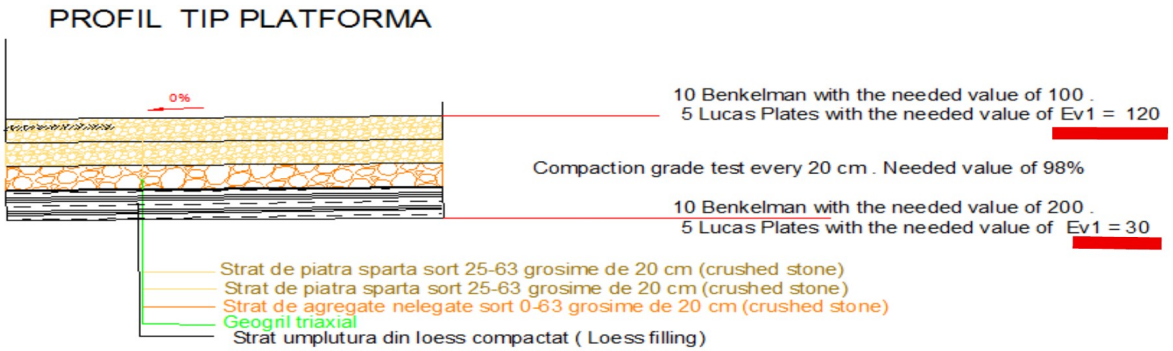
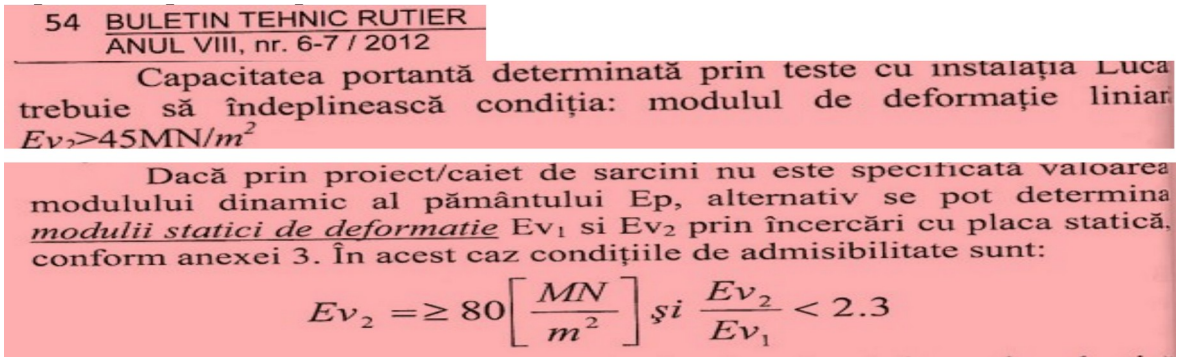


Figura 11. Profil tip platformă (studiu efectuat în zonă)

Această informație se poate utiliza la calibrarea verificării platformelor ranforsate în urma acestei analize tehnice specialitatea drumuri. De asemenea, se ia în considerație și prevederea din reglementarea tehnică aferentă măsurătorii de capacitate portantă pe teren:


54 BULETIN TEHNIC RUTIER
ANUL VIII, nr. 6-7 / 2012

Capacitatea portantă determinată prin teste cu instalația Luca trebuie să îndeplinească condiția: modulul de deformație liniar Ev_2>45MN/m^2

Dacă prin proiect/caiet de sarcini nu este specificată valoarea modulului dinamic al pământului Ep, alternativ se pot determina *modulii statici de deformatie* Ev_1 si Ev_2 prin încercări cu placa statică, conform anexei 3. În acest caz condițiile de admisibilitate sunt:

$$Ev_2 = \geq 80\left[\frac{MN}{m^2}\right] \text{ şi } \frac{Ev_2}{Ev_1} < 2.3$$

Figura 12. Prevederi din reglementarea tehnică privind capacitatea portantă pe teren

5. VERIFICAREA SOLUȚIEI DE RANFORSARE UTILIZÂND REZULTATELE MĂSURĂTORILOR DIN TEREN, EFECTUATE DE PRESTATORI DE SPECIALITATE

Dimensionarea ranforsării pietruirii existente, pentru a suporta greutatea macaralei turn de intervenţie la EOLIENE, se calculează prin Metoda Deformaţiei Critice sau prin Metoda Deformaţiei Elastice, ţinând cont că nu avem trafic auto, ci suprasarcină statică din încărcarea cu macaraua turn, iar aceste metode analitice, folosite la baza teoretică de calcul, se potrivesc în acest caz unei pietruiri încărcate la suprasarcina unei macarale de 600to.

După ce se calculează efectul suprasarcinii prin parametrul calculat, modulul echivalent necesar Eech.nec., se trece la dimensionarea unei structuri rutiere de aceeaşi natură pietroasă, prin propunerea de ranforsare a pietruirii existente, pe următorul model de calcul bistrat în stadiul deformaţiei critice.

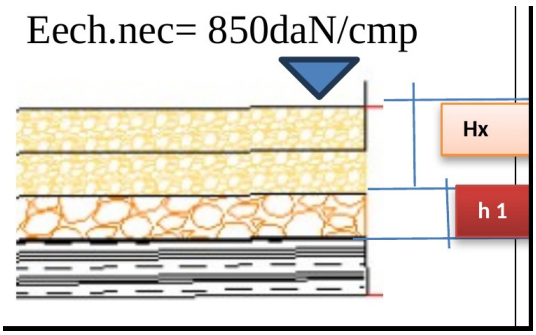


Figura 13. Model de calcul bistrat pentru ranforsare

Ex..pietruire de ranforsare; E1..pietruire existentă, Eech.exist. =E(ZORN); Eo..pământ fundaţie, Epam.

Eech.exist. pentru pietruirea existentă se determină prin măsurători de capacitate portantă reziduală cu Echipamentul cu placă dinamică ZORN şi verificată cu Placa LUKAS.

Prin Metoda Deformaţiilor Critice, se va determina grosimea stratului din piatră spartă sortată Hx=?, pentru ranforsarea platformei pietruite existente sau refăcute, după cum urmează:

Pas 1. Determinarea caracteristicilor pietruirii existente la fiecare platformă solicitată la expertizare

Eech1= Ez(ZORN sau LUKAS)

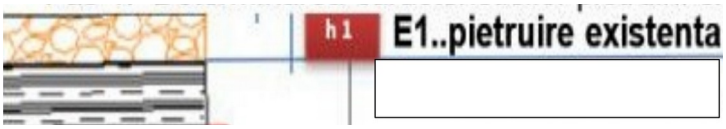


Figura 14. Pasul 1 – pietruirea existentă

Pas 2. Se calculează necesarul de piatră spartă sortată pentru ranforsarea platformei existente pentru solicitarea cu macaraua de 600to

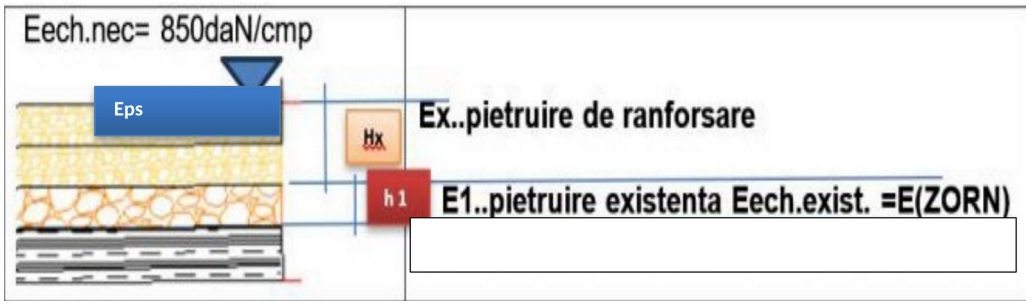


Figura 15. Pasul 2 – stratul de ranforsare peste pietruirea existentă

Pentru stratul de ranforsare din piatră spartă sortată şi Geogrila de armare, se va lua în calcul Eps=1000daN/cmp.

Cu Metoda Deformaţiei Critice Bistrat, se calculează grosimea stratului de ranforsare Hx, aşa cum s-a arătat anterior.

6. CONCLUZII

Subiectul propus vine din necesitatea abordării unei proceduri de calcul potrivite tipului de solicitare la o structură rutieră dată, în cazul în care metodele de calcul reglementate la dimensionarea structurilor rutiere din ţara noastră nu conţin şi cazul proiectării la platforme industriale şi comerciale. Se are în vedere

că nu este potrivită aplicarea unei proceduri de calcul cu încărcări dinamice şi ciclice a unui trafic rutier preconizat la drumuri, utilizate în mod curent la dimensionarea structurilor rutiere, diferența fiind evidentă așa cum s-a arătat în prezenta lucrare.

Procedura de calcul este preluată din metodele de calcul analitice utilizate în trecut de către inginerii specializați în dimensionarea structurilor rutiere, întrucât aceasta dă posibilitatea de analiză la nivel de suprasarcini izolate și în cazuri particulare.

Totuşi, se simte necesitatea abordării unei astfel de proceduri, folosind metode de calcul modernizate, care să stea la baza unui soft specializat de proiectare, care să poată dimensiona şi structuri rutiere pentru platforme industriale şi comerciale circulabile auto. În aceste cazuri, așa cum s-a arătat, principiul de solicitare din vehicule este diferit față de principiul de calcul folosit la drumuri cu trafic rutier, unde apar solicitări dinamice şi ciclice.

BIBLIOGRAFIE

Analize de caz studiate de autor.

ACTIVITATEA DE RECEPȚIE A LUCRĂRILOR DE INFRASTRUCTURĂ RUTIERĂ DE INTERES NAȚIONAL DERULATE DE CNAIR S.A.

Dicu Sorin, ing., Director Direcția Calitate (DC) – CNAIR
Peticilă Marian, dr.ing., Șef Serviciu Laboratoare Rutiere și Reglementări Tehnice
Calagiu Elena, chim., Serviciul Laboratoare Rutiere și Reglementări Tehnice
Ciobanu Florentina, ing., Serviciul Laboratoare Rutiere și Reglementări Tehnice, e-mail: secretariat.calitate@andnet.ro

Rezumat

Recepția lucrărilor de infrastructură rutieră de interes național este o componentă esențială a sistemului calității în construcții și reprezintă procesul prin care se certifică, în condițiile legii, finalizarea lucrărilor și conformitatea lor cu proiectul, cu contractul și cu cerințele fundamentale aplicabile. Articolul prezintă activitatea de recepție a lucrărilor la obiectivele de lucrări ale Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere (CNAIR), integrată în sistemul de management al calității, pe baza atribuțiilor funcționale și prin procedura internă, ce pune în aplicare cadrul legislativ dat de Hotărârea Guvernului nr. 845 din 2018. Procedura stabilește etapele, pornind de la solicitarea recepției, constituirea și componența comisiei, desfășurarea recepției și finalizarea cu asigurarea trasabilității pentru toate documentele elaborate. Activitatea de recepție este coordonată de Direcția Calitate, care participă inclusiv la verificările la obiectiv, analizează toate documentele aferente recepției și pe cele ce se includ în cartea tehnică a construcției. Astfel, implicarea fermă a Direcției Calitate prin procedură internă integrată în sistemul de management al calității, poate conduce la reducerea costurilor de întreținere, diminuarea posibilității de apariție a unor litigii cu antreprenorii și asigurarea cerințelor de siguranță în exploatare pentru utilizatorii drumului.

Cuvinte cheie: recepția lucrărilor, infrastructură rutieră, calitatea lucrărilor, recepție la terminarea lucrărilor, recepție finală.

Abstract

The acceptance of national-interest road infrastructure works is an essential component of the construction quality system. It is the process by which the completion of the works and their conformity with the design, the contract and the applicable fundamental requirements are certified under the law. The paper presents the acceptance activity for works of the National Company for Road Infrastructure Administration (CNAIR), integrated into its quality management system. The activity relies on the functional duties of the Quality Directorate and on an internal procedure that implements the legal framework set by Government Decision no.

845/2018. The procedure sets out the stages, from the acceptance request through the setting up and composition of the commission and the conduct of the acceptance, to the traceability of all documents produced. The activity is coordinated by the Quality Directorate, which takes part in on-site checks and analyses all acceptance documents, including those included in the construction technical book. The firm involvement of the Quality Directorate through an internal procedure integrated into the quality management system can reduce maintenance costs, lower the likelihood of disputes with contractors, and ensure the safety requirements for road users.

Keywords: works acceptance, road infrastructure, quality of works, acceptance upon completion of works, final acceptance

1. ASPECTE GENERALE

1.1. Definirea recepției lucrărilor și cadrul legal

Recepția lucrărilor de infrastructură rutieră reprezintă o componentă esențială a sistemului calității în construcții. Aceasta constituie procesul prin care se certifică, în condițiile legii, finalizarea lucrărilor pentru realizarea unor construcții noi sau a unor intervenții la construcții existente din domeniul infrastructurii rutiere de interes național, cu respectarea proiectului tehnic aprobat, a cerințelor fundamentale aplicabile și în conformitate cu prevederile contractuale și ale autorizației de construire.

Recepția lucrărilor se realizează în conformitate cu prevederile Regulamentului privind recepția construcțiilor aferente infrastructurii de interes național din domeniile rutier, feroviar, aerian, naval, precum și a infrastructurii de metrou gestionate de Societatea de Transport cu Metroul București „Metrorex” – S.A., aprobat prin Hotărârea Guvernului nr. 845/2018 [1].

1.2. Etapele recepției lucrărilor de infrastructură rutieră națională

În cadrul CNAIR, organizatoric și funcțional, derularea contractelor de execuție și supervizare a obiectivelor majore de lucrări se face în cadrul Unităților de Implementare a Proiectelor (UIP). În structura companiei, Direcția Calitate are rol de direcție de suport direct în derularea contractelor, având atribuții privind verificarea îndeplinirii cadrului legal pentru controlul de calitate a tuturor lucrărilor de infrastructură rutieră, dar și de exercitare a controlului în teren al

beneficiarului cu specialişti şi cu laboratoare proprii, respectiv prin coordonarea Laboratorului Centrului de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică – CESTRIN şi a laboratoarelor Direcţiilor Regionale de Drumuri şi Poduri (DRDP 1 – 8).

Recepţia lucrărilor de infrastructură rutieră se efectuează de către CNAIR în calitate de administrator şi investitor sau reprezentant al investitorului, atât pentru construcţii noi, cât şi în cazul intervenţiilor la construcţii existente, pentru care se emit autorizaţii de construire, în două etape, potrivit prevederilor legale în vigoare, după cum urmează:

- recepţia la terminarea lucrărilor (RTL),
- recepţia finală, la expirarea perioadei de garanţie (RF).

Pe lângă aceste etape obligatorii impuse de legislația în vigoare, se adaugă etape intermediare de inspecţii premergătoare recepţiilor, prin care se evaluează direct în teren stadiul final al lucrărilor executate sau comportarea în perioada de garanţie, şi se întocmeşte o notă tehnică de inspecţie. Astfel, se aduce la cunoştinţa conducerii CNAIR exact situaţia din teren referitoare la finalizarea contractului, se efectuează determinări prin sondaj sau pentru verificarea închiderii unor neconformităţi majore şi stabilirea priorităţilor impuse pentru recepţia lucrărilor la termenele asumate contractual sau de comun acord cu antreprenorul şi autorităţile.

La finalizarea lucrărilor sau la expirarea perioadei de garanţie, UIP declanşează procesul de recepţie prin Direcţia Calitate. Direcţia Calitate solicită laboratoarelor din subordine să efectueze teste în teren specifice, să asigure inspectarea prealabilă a lucrărilor executate sau a modului de comportare în cazul finalizării perioadei de garanţie. Această etapă se numeşte inspecţie tehnică premergătoare recepţiei. La această activitate participă specialiştii din cadrul CNAIR, conform atribuţiilor funcţionale şi procedurii interne.

Activitatea de recepţie este coordonată de Direcţia Calitate care a elaborat şi implementat în sistemul de management al calităţii al CNAIR pentru recepţii de lucrări, pe baza atribuţiilor funcţionale de control şi de suport la derularea contractelor la obiectivele de lucrări. De subliniat că recepţia lucrărilor se admite doar dacă toate cerinţele fundamentale aplicabile sunt îndeplinite, aşa cum sunt definite de cadrul legislativ al calităţii în construcţii.

2. ROLUL DIRECŢIEI CALITATE ÎN PROCESUL DE RECEPŢIE

Direcţia Calitate este subordonată Directorului General al CNAIR, astfel încât se asigură transmiterea imediată a analizelor, observaţiilor sau a concluziilor

verificărilor din teren, astfel se pot lua deciziile la nivelul managementului cu celeritate şi bine documentate.

Procesul de recepţie reprezintă cel mai important filtru de siguranţă în derularea contractelor de lucrări şi supervizări în etapele cele mai importante. În această etapă, reprezentanţii Direcţiei Calitate au un rol central în evaluarea întregii investiţii.

În acest scop, Direcţia Calitate a elaborat Procedura de proces PP-SMI.CM.25, Ediţia IV – Recepţia lucrărilor de infrastructură rutieră [2]. Procedura stabileşte etapele şi modul de desfăşurare a procesului de recepţie a lucrărilor în cadrul CNAIR şi al subunităţilor sale. Astfel se asigură clar derularea procesului de recepţie, responsabilităţile şi trasabilitatea documentelor elaborate. În anexa procedurii este dat şi formatul documentelor ce se elaborează, asigurând astfel un cadru unitar pentru analiza şi arhivarea corespunzătoare a documentelor de recepţie.

Pentru recepţiile de lucrări, inspectorii şi inginerii din cadrul Direcţiei Calitate participă la verificările în teren alături de membrii comisiei de inspecţii preliminare şi de recepţie, scopul fiind confirmarea că lucrarea executată de constructor este conformă cu proiectul tehnic aprobat şi cu clauzele contractuale. Pe lângă analiza documentelor, Direcţia Calitate dispune şi efectuarea de teste suplimentare în teren prin Laboratorul CESTRIN sau Laboratoarele direcţiilor regionale pentru controlul prin sondaj sau prin consultarea cu supervizorul sau proiectantul respectivului obiectiv de lucrări.

Prin urmare, misiunea Direcţiei Calitate nu este doar de „a bifa” o procedură administrativă, ci de a se asigura că fiecare strat de asfalt, fiecare structură sau lucrare de artă şi fiecare element de siguranţă respectă standardele de calitate impuse. Un drum recepţionat trebuie să ofere siguranţă maximă participanţilor la trafic şi rezistenţă structurală şi durabilitate corespunzătoare duratelor de serviciu proiectate.

3. RECEPȚIA LA TERMINAREA LUCRĂRILOR

Etapele efectuării recepţiei la terminarea lucrărilor sunt prezentate în continuare.

3.1. Solicitarea recepţiei la terminarea lucrărilor

- Notificarea executantului/antreprenorului/constructorului. Atunci când lucrarea (sau un lot/sector independent al acesteia) este finalizată, constructorul transmite beneficiarului o notificare scrisă prin care anunţă terminarea lucrărilor şi solicită convocarea comisiei de recepţie.

- Pregătirea documentelor. Dirigintele de șantier/operatorul economic de consultanță specializat/supervizorul, împreună cu constructorul, definitivează documentele pentru Cartea tehnică a construcției, inclusiv documentele de control în faze determinate și procesele-verbale pentru lucrări ascunse, certificatele de calitate ale materialelor, testele și măsurătorile parametrilor funcționali și structurali (planeitatea stratului de uzură, rugozitatea stratului de uzură, capacitatea portantă a sistemului rutier și caracteristicile fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice), precum și ale parametrilor elementelor de siguranță rutieră (semnalizare verticală și orizontală), efectuate de CESTRIN și/sau de laboratoarele rutiere ale Direcțiilor Regionale de Drumuri și Poduri (DRDP 1–8).

3.2. Constituirea şi componenţa comisiei de recepţie

CNAIR, în calitate de beneficiar, numește, prin decizie dată de directorul general al companiei, membrii comisiei de recepție. Aceasta este formată din reprezentanți ai beneficiarului, specialiști în domeniu, reprezentanți ai Inspectoratului de Stat în Construcții (ISC) și, după caz, ai altor autorități publice (Ministerul Transporturilor și Infrastructurii – MTI, Inspectoratul pentru Situații de Urgență – ISU, autoritatea de mediu etc.).

Secretariatul este asigurat de Supervizor/diriginte de specialitate. La începerea recepției, comisiei de recepție îi sunt prezentate referatele proiectantului și ale supervizorului/referate pe specialități ale diriginților de șantier. Reprezentanții constructorului participă la recepție ca invitați. Aceștia nu au drept de vot.

3.3. Desfăşurarea recepţiei la terminarea lucrărilor

Comisia se întrunește la data și la locul stabilite și parcurge următoarele etape:

- Examinarea vizuală şi tehnică. Se verifică starea lucrărilor pe teren pe tipuri de lucrări (lucrări de drum, lucrări de artă, semnalizare rutieră, lucrări de mediu, ITS, etc.);

- Verificarea documentelor. Se analizează amănunţit cartea tehnică (capitolele A şi B), documentele de calitate însoţitoare pentru materialele de construcţii puse în operă, precum şi conformitatea lucrărilor cu autorizaţia de construire, proiectul tehnic şi detaliile de execuţie.

- Inspectarea elementelor de siguranţă. Se verifică semnalizarea rutieră orizontală şi verticală, montajul corect al parapetelor de siguranţă rutieră, iluminatul în zonele de intersecţie sau în nodurile rutiere şi sistemele VMS.

- Analiza Raportului auditorului de siguranţă rutieră emis pentru stadiul corespunzător recepţiei la terminarea lucrărilor.

3.4. Finalizarea recepţiei la terminarea lucrărilor

La terminarea examinării vizuale a lucrărilor executate şi a documentelor puse la dispoziţie de factorii implicaţi în execuţia lucrărilor, comisia de recepţie întocmeşte un proces-verbal, în care consemnează: decizia de admitere sau de respingere a recepţiei sau, după caz, decizia de suspendare a procesului de recepţie; constatările rezultate în urma examinării vizuale a lucrărilor şi a analizei documentelor menţionate anterior; valoarea lucrărilor executate.

Odată cu admiterea recepţiei la terminarea lucrărilor, se declanşează oficial începutul perioadei de garanţie (prevăzută în contract); pe parcursul acesteia, constructorul este obligat să remedieze pe cheltuiala sa orice defect apărut din culpa sa.

4. RECEPŢIA FINALĂ

Recepţia finală este organizată de companie în calitate de beneficiar şi administrator, în maximum 10 zile de la expirarea perioadei de garanţie. Perioada de garanţie este cea prevăzută de lege sau cea ofertată de executant în cadrul procedurii de achiziţie a execuţiei lucrărilor şi menţionată în contractul de execuţie/de lucrări, care nu poate fi mai mică decât cea prevăzută de lege.

Etapele efectuării recepţiei finale a lucrărilor sunt prezentate în continuare.

4.1. Solicitarea recepţiei finale

Beneficiarul lucrării nominalizează, în perioada imediat anterioară termenului de finalizare a perioadei de garanţie, specialişti din cadrul direcţiilor funcţionale ale CNAIR, precum şi din partea direcţiei regionale în administrarea căreia se află lucrarea (reprezentanţi pe domenii de activitate, conform specificului lucrărilor executate: calitate, întreținere, siguranța circulației, sisteme de transport inteligente – ITS, etc.), pentru inspectarea preliminară a lucrărilor în vederea efectuării recepției finale.

4.2. Constituirea şi componenţa comisiei de recepţie finală

După efectuarea inspecției preliminare, beneficiarul inițiază recepția finală în maximum 10 zile de la expirarea perioadei de garanţie. CNAIR numeşte membrii comisiei şi stabileşte data începerii activității. Comisia este formată din: preşedintele comisiei (reprezentant desemnat de investitor – CNAIR); membri specialişti, reprezentanţi ai investitorului. Reprezentanții proiectantului şi ai executantului sunt invitaţi obligatoriu, dar fără drept de vot. Prin procedură se precizează nivelul minimal din cadrul conducerii de unde se selectează preşedintele comisiei (director de implementare, Șef UIP, directori adjuncţi ai CNAIR sau directori ai DRDP-ului pe raza căruia este obiectivul de lucrări), precum şi membrii specialişti din cadrul serviciilor de specialitate corespunzătoare tipului de lucrări ce vor fi recepționate: specialişti în calitatea lucrărilor de drum şi de artă, personal cu competenţe în analiza testelor de laborator şi a documentelor de calitate pentru produse, specialişti pentru siguranța circulației, ITS, ecologi pentru evaluarea pe mediu, şi personalul de întreținere ce va fi implicat în administrarea lucrărilor executate, precum şi personalul implicat direct în derularea contractului.

4.3. Desfăşurarea recepţiei finale

Comisia se întrunește la data și la locul stabilite și parcurge următoarele etape:

- Examinarea nemijlocită a construcției;
- Analiza şi verificarea următoarelor documente: procesul-verbal de recepție la terminarea lucrărilor; referatul supervizorului privind urmărirea comportării în exploatare a construcției pe perioada de garanție, în conformitate

cu obligațiile ce îi revin potrivit legii; referatul proiectantului privind urmărirea comportării în exploatare a construcției pe perioada de garanție, în conformitate cu obligațiile ce îi revin potrivit clauzelor contractuale;

- Verificarea remedierilor efectuate ca urmare a neconformităților apărute și/sau a viciilor ascunse constatate în perioada de garanție a lucrărilor de construcții;

- Analiza testelor efectuate la sfârșitul perioadei de garanție (teste și măsurători ale parametrilor funcționali și structurali: planeitatea stratului de uzură, rugozitatea stratului de uzură, capacitatea portantă a sistemului rutier, starea de viabilitate a lucrărilor de artă);

- Analiza completării conforme a cărții tehnice a construcției (capitolele C și D);

- Analiza raportului auditorului de siguranță rutieră emis pentru stadiul corespunzător recepției finale.

4.4. Finalizarea recepției

La terminarea recepției finale, comisia întocmește un proces-verbal în care consemnează decizia de admitere sau de respingere a recepției sau, după caz, decizia de suspendare a procesului de recepție.

Direcția Calitate, după analizarea documentelor privind respectarea HG nr. 845/2018, respectiv a procedurii PP-SMI.CM.25, întocmește o notă de prezentare în care prezintă sintetic activitatea comisiei de recepție și înaintează Directorului General al CNAIR procesul-verbal de recepție, împreună cu documentele suport, în vederea aprobării acestuia sau a luării la cunoștință dacă avem un proces-verbal de suspendare a recepției, în conformitate cu decizia comisiei de recepție.

5. IMPORTANȚA UNEI PROCEDURI PENTRU ACTIVITATEA DE RECEPȚIE A LUCRĂRILOR

Atunci când Direcția Calitate își exercită rolul cu fermitate în baza unei proceduri interne implementate în sistemul de management al calității, beneficiile se reflectă direct în durabilitatea proiectului:

- Reducerea costurilor de mentenanță. O lucrare recepționată fără defecte ascunse necesită mult mai puține reparații pe perioada de exploatare;

- Siguranța utilizatorilor. În infrastructură, calitatea înseamnă vieți salvate. Fie că este vorba despre rezistența unui viaduct, fie despre aderența stratului de rulare, standardele stricte previn accidentele catastrofale;

- Protecția juridică și financiară. O recepție semnată în deplină conformitate protejează beneficiarul de litigii costisitoare cu antreprenorii și garantează activarea corectă a perioadelor de garanție.

6. CONCLUZII

Pentru a înțelege importanța și amploarea activităților de recepție la obiectivele de lucrări ale CNAIR, precizăm că în perioada 2021–2025, inspectorii și inginerii din cadrul Direcției Calitate au participat la un număr de 90 recepții la terminarea lucrărilor și recepții finale pentru contractele majore de construcții autostrăzi, variante de ocolire sau reabilitări de drumuri naționale. Astfel, în România au fost recepționați și deschiși circulației aproximativ 550 km de drumuri de mare viteză (autostrăzi și drumuri expres). Dacă se iau în calcul și inaugurările din anul 2026, lungimea totală a rețelei de autostrăzi și drumuri de mare viteză a depășit deja pragul de 1.477 km, impact major având deschiderea unor noi loturi importante, cum ar fi cele de pe Autostrada Moldovei (A7).

Desfășurarea corectă și riguroasă a recepției lucrărilor de infrastructură reprezintă garanția siguranței tuturor participanților la trafic dar și încadrarea în termenele asumate, ceea ce este un factor cheie în dezvoltarea economică națională și regională. Dat fiind etapa actuală de dezvoltare a infrastructurii rutiere în țara noastră, putem demonstra cu statistici evidente că recepționarea sectoarelor de autostradă decongestionează drumurile adiacente, scăzând drastic numărul accidentelor rutiere, și reduce semnificativ poluarea dată de congestiile de trafic care se produceau de regulă la limita marilor orașe.

În plus, recepția marilor obiective de autostrăzi reprezintă și un moment în cadrul căruia specialiștii din domeniul rutier discută probleme de înalt nivel tehnic cu proiectele tehnice „pe masa”, se face schimb de idei privind specificul activității tuturor factorilor implicați și se analizează retrospectiv dificultățile întâmpinate și soluționate, toate acestea într-un cadru protocolar și uneori chiar festiv.

BIBLIOGRAFIE

[1]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *Hotărârea Guvernului nr. 845/2018 privind aprobarea Regulamentului privind recepția construcțiilor aferente infrastructurii de interes național din domeniile rutier, feroviar, aerian, naval, precum și infrastructurii de metrou gestionate de Societatea de Transport cu Metroul București «Metrorex» – S.A.* Publicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 934 din 06.11.**2018**, modificată în 03.03.2024.

[2]. COMPANIA NAȚIONALĂ DE ADMINISTRARE A INFRASTRUCTURII RUTIERE – DIRECȚIA CALITATE: *Procedura PP-SMI.CM.25, Ediția IV, Rev. 0 – Recepția lucrărilor de infrastructură rutieră*, CNAIR, București, aprobată în **2023**.

PRINCIPIILE CONSTITUIRII UNUI GLOSAR TEHNIC TRILINGV ÎN DOMENIUL INFRASTRUCTURII RUTIERE DE TRANSPORT

Dinu Antonia, asist.univ.drd., Universitatea Tehnică de Construcții București, B-dul Lacul Tei nr. 122-124, București, România, e-mail: antonia.dinu@utcb.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro
Burlacu Florentina-Alina, asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții & Specialist Senior în Transporturi, Banca Mondială, Washington DC, e-mail: fburlacu@worldbank.org

Rezumat

Lucrarea argumentează necesitatea elaborării unui glosar explicativ de termeni tehnici din domeniul infrastructurii rutiere de transport, cu termeni echivalenți în limbile engleză și franceză, și identifică principiile care stau la baza unui asemenea demers. Terminologia rutieră românească este expusă astăzi unor influențe lingvistice semnificative, determinate de transpunerea standardelor europene, de documentațiile contractuale bilingve, de literatura tehnică de import și de interfața programelor de proiectare. În acest context apar inconsistențe terminologice sistematice: împrumuturi folosite cu sens diferit, calcuri semantice, prieteni falși, lipsa de echivalențe parțiale nemarcate și termeni preluați incorect din limbajul aplicațiilor informatice. Lucrarea propune o tipologie a acestor inconsistențe, inventariază resursele terminologice existente și limitele lor și expune principiile de elaborare a glosarului – stabilirea publicului-țintă, selecția termenilor, formularea definițiilor – în raport cu practica lexicografică și cu standardele ISO 704 și ISO 1087. Prin prezenta lucrare, susținem că un asemenea instrument nu poate fi realizat decât prin colaborarea dintre inginerii de specialitate și filologi, și că el depășește statutul de anexă, devenind o resursă de sine stătătoare pentru practica profesională, pentru traducerea tehnică și pentru formarea inginerească.

Cuvinte cheie: terminologie rutieră, glosar multilingv, traducere tehnică, echivalență conceptuală, definiție intensională, colaborare interdisciplinară

Abstract

The paper argues for the need to compile an explanatory glossary of road infrastructure technical terms, with English and French equivalent terms, and identifies the principles underlying such an undertaking. Romanian road terminology is greatly exposed today to

significant linguistic influences, driven by the transposition of European standards, bilingual contractual documentation, imported technical literature and the interface of design software. Systematic terminological malfunctions result: borrowings used with shifted meaning, semantic calques, false friends, unmarked partial equivalence and terms incorrectly adopted from software language. The paper proposes a typology of these malfunctions, reviews the existing terminological resources and their limitations, and sets out the principles of glossary compilation – defining the target audience, selecting terms, formulating definitions – in relation to lexicographic practice and to the ISO 704 and ISO 1087 standards. We argue that such a tool can only be produced through collaboration between specialist engineers and philologists, and that it exceeds the status of an annex, becoming a resource in its own right for professional practice, technical translation and engineering education.

Keywords: road terminology, multilingual glossary, technical translation, conceptual equivalence, intensional definition, interdisciplinary collaboration

1. INTRODUCERE

Glosarele tehnice sunt percepute adeseori ca documente auxiliare, anexate unor proiecte sau unor lucrări mai ample. O astfel de interpretare tinde să diminueze rolul esențial al acestora. Terminologia tehnică nu este un accesoriu al activității inginerești, ci una dintre condițiile ei de funcționare: un caiet de sarcini, un proces-verbal de recepție sau o expertiză tehnică produc efecte juridice și financiare prin cuvintele pe care le conțin, iar ambiguitatea terminologică nu rămâne o chestiune de stil, ci devine o chestiune de responsabilitate.

În domeniul infrastructurii rutiere din România, această condiție este astăzi supusă unei presiuni crescute. Pe de o parte, corpusul normativ național a fost în mare parte aliniat la standardele europene, printr-un proces de preluare și traducere care a introdus în uz termeni noi și a modificat sensul unora existente. Pe de altă parte, o mare parte a lucrărilor de infrastructură se desfășoară în cadre contractuale internaționale, cu documentații redactate sau traduse în engleză și franceză. Rezultatul este un mediu supus unor influențe lingvistice constante, în cadrul căruia terminologia românească împrumută, calchiază și se adaptează fără ca acest proces să fie consemnat sau reglementat sistematic. Un calc este un fenomen lingvistic prin care un cuvânt sau o expresie este împrumutat dintr-o altă limbă prin traducerea ad-literam a elementelor sale componente sau prin preluarea unui sens nou pe un cuvânt deja existent.

Cu toate acestea, terminologia din domeniul infrastructurii rutiere, al transporturilor, al căilor ferate sau al podurilor nu beneficiază de un glosar tehnic

extins, care să sprijine inginerii, traducătorii și studenții facultăților cu profil ingineresc în utilizarea corectă a termenilor domeniului.

Lucrarea de față își propune un dublu obiectiv: să argumenteze necesitatea unui asemenea instrument, pornind de la inconsistențele terminologice observabile în practica actuală, și să identifice principiile care trebuie să stea la baza elaborării lui.

2. CONTEXTUL: TERMINOLOGIA RUTIERĂ ÎNTR-UN MEDIU LINGVISTIC BOGAT

Vocabularul rutier românesc s-a format prin împrumuturi, mai ales din limba franceză. Termeni esențiali precum „acostament”, „dever”, „taluz”, „rambleu”, „debleu”, „viaduct” sau „lucrare de artă” sunt împrumuturi ori calcuri după modele franceze, integrate complet și funcționale. Această sedimentare istorică explică o particularitate importantă: în cazul a numeroase concepte, echivalența română–franceză este perfectă, tocmai pentru că termenul românesc a fost format pe modelul celui francez.

Situația s-a modificat în ultimele decenii prin trei procese distincte: transpunerea standardelor europene, care a introdus terminologie tradusă, nu întotdeauna armonizată cu uzul anterior; influența directă a englezei tehnice, prin literatura de specialitate și prin documentațiile contractuale de tip FIDIC; și, mai recent, limbajul programelor de proiectare asistată de calculator.

Fenomenul nu este specific domeniului rutier. Literatura lingvistică românească a documentat amplu pătrunderea anglicismelor și a calcurilor în limba română după 1990, precum și rolul activității de traducere ca vector principal al acestui proces [1], [2]. Ceea ce lipsește însă este analiza la nivelul terminologiilor tehnice specializate. Pentru arhitectura navală există o asemenea investigație [3]; pentru infrastructura rutieră, nu a fost identificat un studiu echivalent.

Această absență poate avea numeroase consecințe. Fără o consemnare sistematică, împrumuturile și calcurile intră în uz, fără a fi verificate: ceea ce la un moment dat a fost o eroare de traducere devine, prin repetare, termen curent, iar reversibilitatea se pierde.

3. TIPOLOGIA INCONSISTENȚELOR TERMINOLOGICE

Inconsistențele observabile în terminologia rutieră românească pot fi grupate în șase categorii, prezentate în ordinea gravității consecințelor. În continuare, vom prezenta câteva exemple ce constituie observații de domeniu; validarea lor pe un corpus de documentații reale rămâne o etapă necesară a cercetării.

3.1. Împrumutul cu sens diferit

Este categoria cea mai periculoasă, pentru că termenul împrumutat circulă în mod obișnuit în română, dar cu un sens diferit de cel din limba-sursă. Un exemplu potrivit este termenul *binder*. În uzul profesional românesc, cuvântul desemnează stratul de legătură al structurii rutiere bituminoase. În engleză, *binder* desemnează liantul – bitumul însuși; stratul se numește *binder course*. Eroarea apare la traducerea din română în engleză: inginerul care utilizează termenul „binder” crezând că desemnează stratul transmite cititorului străin o informație despre material, nu despre structură. Mecanismul este înșelător tocmai pentru că termenul nu pare străin: el circulă în română de mai mult timp și nu declanșează suspiciunea traducătorului.

3.2. Prietenii falși

A doua categorie cuprinde termenii al căror echivalent aparent este asemănător din punct de vedere formal, dar este diferit din punct de vedere semantic (Tabelul 1).

Tabelul 1. Prieteni falși frecvenți în terminologia rutieră română–engleză

Termen (RO)	Traducere eronată (EN)	Echivalent corect (EN)
ranforsare	reinforcement	strengthening / overlay
lucrare de artă	work of art	structures / engineering structures
platforma drumului	platform	formation / roadbed
beton de ciment	cement concrete	concrete
sens giratoriu	giratory	roundabout

Se cuvine analizarea cu atenție a termenului *ranforsare*: ambele traduceri sună plauzibil pentru un vorbitor neavizat, dar „reinforcement” orientează cititorul spre armarea cu oțel, nu spre adăugarea de straturi bituminoase. Eroarea modifică semnificativ înțelegerea unei soluții tehnice.

3.3. Lipsa de echivalență parțială nemarcată

A treia categorie este cea mai răspândită și, paradoxal, cea mai puțin percepută ca problemă. Doi termeni se traduc reciproc în mod curent, dar extensiunile conceptelor nu coincid.

Exemplul tipic este perechea *dever – crossfall / superelevation*. În limba engleză, există distincția între înclinarea transversală destinată drenajului în aliniament (*crossfall*) și înclinarea în curbă, destinată compensării forței centrifuge (*superelevation*). În limba franceză, există aceeași distincție, prin *pente transversale* și *dévers*. În limba română, se folosește frecvent „dever” pentru ambele situații. Traducătorul care nu cunoaște această distincție alege, astfel, un termen la întâmplare, iar în unele cazuri, rezultatul traducerii va fi eronat.

Un al doilea exemplu este *acostament – shoulder*. Termenul englezesc acoperă și acostamentul consolidat, pe care româna îl distinge terminologic, iar în context autostradal banda de staționare de urgență are desemnare proprie (*hard shoulder*, fr. *bande d’arrêt d’urgence*). Traducerea mecanică prin calchiere produce texte corecte din punct de vedere gramatical și eronate din punct de vedere tehnic.

3.4. Zonele de instabilitate terminologică

A patra categorie nu cuprinde erori propriu-zise, ci zone în care terminologia este instabilă chiar în limbile-sursă. Exemplul cel mai cunoscut este perechea *asphalt – bitumen*: termenii se suprapun fără să fie identici, iar uzul britanic și cel american diferă, *asphalt* putând desemna fie liantul, fie mixtura finită. O a doua zonă instabilă este ierarhia straturilor structurii rutiere: succesiunea românească fundație – bază – legătură – uzură nu se suprapune exact peste nomenclatura britanică sau americană, iar stabilirea echivalenței necesită raportarea la funcția stratului, nu la denumirea lui.

În asemenea cazuri, un glosar nu poate oferi o echivalență simplă. Poate însă – și aceasta este contribuția lui esențială – să semnaleze instabilitatea și să indice criteriul de dezambiguizare.

3.5. Transferul de registru

Ultima categorie nu ține de traducere, ci de nivelul de limbă. Termeni din uzul oral pe șantier – „covor asfaltic” pentru stratul de uzură, „uzura” prin metonimie pentru strat, „binder” pentru stratul de legătură – migrează în documentele scrise, inclusiv în caietele de sarcini. De acolo ajung în traduceri, unde produc efecte imprevizibile, pentru că traducătorul caută echivalentul unui termen care, în registrul normativ, nu ar trebui să existe.

3.6. Terminologia importată din programele de proiectare și din aplicațiile de birou

O categorie distinctă, cu pondere din ce în ce mai mare, o constituie termenii pătrunși în limbajul profesional prin intermediul programelor de calculator. Mecanismul de pătrundere este diferit de cel descris anterior: aici sursa nu este literatura tehnică sau documentația contractuală, ci interfața aplicației. Inginerul lucrează zilnic cu meniuri și comenzi în engleză sau, mai problematic, cu interfețe localizate prin traducere automată ori insuficient verificată, iar vocabularul astfel asimilat migrează în memoriile tehnice și în caietele de sarcini. Studiile privind erorile traducerii automate a textelor tehnice arată că traducerea literală predomină, iar erorile terminologice au ponderea cea mai însemnată [4]. Particularitatea acestei categorii este că termenul nu intră prin decizia unui traducător, ci prin utilizare repetată.

Cazul cel mai grav în domeniul rutier este termenul englezesc *alignment*, ce reprezintă denumirea obiectului care descrie, în programele de proiectare, traseul drumului în plan. Traducerea lui prin calchiere mecanică prin „aliniament” este eronată: în terminologia rutieră românească, *aliniamentul* desemnează porțiunea rectilinie a traseului, cuprinsă între două racordări, iar nu traseul în ansamblu. Echivalentul corect este „traseu în plan” sau „axul drumului”. Eroarea este cu atât mai periculoasă cu cât termenul rezultat există în română, este corect format și aparține aceluiași domeniu. Tabelul 2 sintetizează principalele cazuri observate.

Tabelul 2. Termeni preluaţi din programele de calculator şi adaptarea lor

Termen-sursă (EN)	Adaptare curentă, neadecvată	Echivalent recomandat
alignment	aliniament	traseu în plan, axul drumului
layer	strat (confuzie cu stratul rutier)	plan de desen, nivel grafic
corridor	coridor	model tridimensional al drumului
surface	suprafață	model digital al terenului
grading	gradare	modelarea terenului, amenajare
to set / setting	a seta, setare	a stabili, a regla; reglaj, parametru
template	templat, template	șablon
to update	a updata	a actualiza
draft	draft	ciornă, schiță, variantă de lucru

Astfel, se cuvine o distincţie. Termenii proveniţi din programele specializate de proiectare produc erori *tehnice*: denumesc greşit obiecte ale proiectului şi pot induce în eroare un verificator sau un executant. Cei proveniţi din aplicațiile de birou produc în primul rând erori de *registru*: nu modifică sensul tehnic, dar diminuează nivelul de limbă al unui document oficial. Spre deosebire de împrumuturile sedimentate în timp, acești termeni sunt recenţi şi încă instabili: este intervalul în care un instrument terminologic poate încă orienta alegerea, înainte ca varianta neadecvată să devină normă de fapt.

4. RESURSELE TERMINOLOGICE EXISTENTE

Referința internațională principală este dicționarul terminologic al Asociației Mondiale a Drumurilor (PIARC Road Dictionary), care acoperă aspectele tehnice ale drumurilor şi structurilor pe întreg ciclul lor de viață, cu aproximativ 16.300 de concepte în limbile de referință engleză și franceză și cu extinderi în alte limbi [5]. Limba română figurează între limbile de extindere, dar completarea echivalentelor este încă parțială. Limita lui structurală, din perspectiva utilizatorului român, este că funcționează ca dicționar de termeni echivalenți în mai multe limbi: nu oferă un corp explicativ în limba română şi nu semnalează capcanele specifice traducerii din și în română.

La nivel național există glosare bilingve elaborate în cadrul administrației drumurilor, ce pot fi folosite ca liste de termeni echivalenți, dar fără a fi definiți, precum și dicționare poliglote mai vechi, între care volumele de terminologie din domeniul transporturilor elaborate sub egida Academiei Române [6], valoroase

ca efort lexicografic, dar parțial depășite din punctul de vedere al corpusului normativ actual. Definițiile propriu-zise sunt dispersate în corpusul normativ – în ordonanța privind regimul drumurilor [7], în standardele române și europene preluate, în normativele tehnice specifice. Ele sunt riguroase, dar fragmentate, formulate în scop juridic sau prescriptiv, nu lexicografic, și inaccesibile ca ansamblu.

Nu a fost identificat un dicționar explicativ monolingv românesc dedicat infrastructurii rutiere, construit pe un sistem de concepte coerent și cu termeni echivalenți în engleză și franceză. Acesta este obiectivul pe care lucrarea propusă urmărește să îl îndeplinească.

5. PRINCIPIILE CONSTITUIRII GLOSARULUI

Un glosar a fost definit drept un „mic dicționar care se află la începutul sau la sfârșitul unui document tehnic” [8] sau, mai larg, drept „o sursă de informație care răspunde la tot felul de întrebări din partea utilizatorilor privind cuvintele” [9]. Glosarele „definesc lucrurile așa cum le vede un anumit tip de public” și „oferă oportunitatea de a ajuta un utilizator să înțeleagă ce înseamnă un cuvânt” [10]. Ele nu oferă, așadar, o simplă traducere, ci contextualizează termenii într-un cadru tehnic specific și stabilesc conexiunea dintre concept și utilizarea lui practică.

Un glosar nu ar trebui să fie un element abstract, existent doar la nivel teoretic, ci ar trebui să „decurgă natural din aplicații și din muncă colaborativă” [11]. Astfel, pot fi identificate trei principii care structurează acest demers.

5.1. Scopul și publicul-țintă

Înainte de începerea unui glosar tehnic trebuie stabilit cine este principalul lui beneficiar. Putem să ne adresăm, astfel, următoarea întrebare: „Aș înțelege eu (cititorul) acest cuvânt sau această expresie?” [12]. Putem însă identifica un risc: se folosesc frecvent termeni tehnici și științifici „fără a lua în considerare dacă publicul nostru țintă îi va folosi în același fel” [13].

Adaptarea glosarului la nevoile publicului este, prin urmare, esențială și trebuie să țină cont de nivelul de expertiză al utilizatorului și de scopul utilizării. Pentru utilizatorii începători – studenții la inginerie – glosarul trebuie să includă explicații ample, definiții clare și, unde este cazul, imagini explicative, precum și termeni a căror traducere pare evidentă pentru persoanele experimentate. Pentru

utilizatorii cu nivel mediu de experienţă pot fi incluşi termeni cu grad mai ridicat de dificultate, însoţiţi de definiţii riguroase. În cazul experţilor – ingineri cu vechime şi cadre didactice – glosarul ar trebui axat pe termeni de nişă, întrucât termenii de bază ai domeniului sunt deja cunoscuţi.

Glosarul se poate adresa şi studenţilor de la specializări umaniste, îndeosebi traducerii, precum şi traducătorilor tehnici; în acest caz explicaţiile trebuie să fie cât mai detaliate, pentru a permite înţelegerea conceptului dincolo de simpla lui traducere. Pentru domeniul rutier această categorie de public este deosebit de relevantă: inconsistenţele descrise în capitolul 3 afectează în primul rând traducătorul, care nu dispune de reperul tehnic necesar pentru a verifica echivalența propusă.

5.2. Selecţia termenilor

Nu orice termen dintr-un text trebuie explicat într-un glosar. Pentru identificarea termenilor care se cuvin incluşi au fost propuse trei criterii [14]: definirea tuturor termenilor cu care cititorul obişnuit nu este familiarizat; definirea termenilor care au un sens restrâns, specific în textul respectiv; şi definirea doar a termenilor care au cu adevărat nevoie de explicaţii.

Aceşti paşi reprezintă însă doar baza. O clasificare mai amănunţită grupează termenii şi conceptele în patru categorii [15]: cuvinte familiare pentru concepte familiare; cuvinte familiare pentru concepte nefamiliare; cuvinte nefamiliare pentru concepte familiare; cuvinte nefamiliare pentru concepte nefamiliare. Regula care decurge de aici este simplă: cu excepția primei categorii, termenii din celelalte trei ar trebui definiţi în glosar.

Aplicată domeniului rutier, această regulă capătă o relevanţă particulară. Cea de a doua categorie – cuvinte familiare pentru concepte nefamiliare – descrie exact mecanismul falşilor prieteni şi al calcurilor din programele de proiectare: „aliniament” este un cuvânt familiar, dar conceptul pe care îl desemnează în interfața aplicației este altul. Tocmai aceşti termeni, care nu par să pună probleme, trebuie să fie neapărat incluşi.

5.3. Formularea definiţiilor

Manualele de redactare a glosarelor converg, bazându-se pe perspectiva aristotelică, asupra structurii definiției formale, care cuprinde trei elemente: *specia* (*definiendum*) – termenul care urmează să fie definit; *genul* (*genus*) –

categoria generală din care face parte termenul; și *diferența specifică* (*differentiae*) – caracteristicile care disting termenul de orice alt termen aparținând aceleiași categorii. Formula sintetică a definiției corecte este, prin urmare [10]:

Termen (specia) = gen + diferență specifică

Pentru ca definiția să fie eficientă, se recomandă încadrarea termenului într-o categorie cât mai specifică – cu cât genul ales este mai restrâns, cu atât definirea este mai ușoară –, evitarea termenului însuși în interiorul definiției, asigurarea că atât genul, cât și diferența specifică sunt ușor de înțeles de către utilizator, și includerea de exemple concrete [15].

Pe lângă definițiile formale clasice, două subcategorii pot fi integrate în glosare [16]. *Definiția contextuală*, descrisă drept o „definiție formală trunchiată”, depinde de contextul specific în care este utilizat termenul; rolul ei este de a elimina asocierile anterioare pe care utilizatorul le-ar putea face, adaptând termenul la un nou context. Putem lua exemplul termenului englezesc *bond*, care desemnează o legătură în psihologie, un adeziv în inginerie și un tip de investiție în domeniul financiar. *Definiția stipulativă* stabilește sensul unui termen exclusiv pentru utilizarea lui într-un singur document și apare, de regulă, la începutul textelor, pentru a institui un limbaj comun; din această perspectivă, glosarul a fost definit ca o „listă alfabetică de definiții stipulative” [16].

Pentru domeniul rutier, definiția contextuală este extrem de importantă. Ea este instrumentul prin care se tratează zonele de instabilitate terminologică descrise în subcapitolul 3.4 și suprapunerile dintre registrul tehnic și cel informatic: „strat” primește o definiție în contextul structurii rutiere și alta în contextul desenului asistat de calculator, iar distincția devine explicită, în loc să rămână implicită și generatoare de ambiguitate.

5.4. Cadrul normativ internațional

Principiile lexicografice expuse mai sus se regăsesc, într-o formulare normativă, în standardele internaționale de terminologie. Standardul **ISO 704** stabilește principiile și metodele activității terminologice: analiza conceptului prin caracteristici esențiale și delimitative, relațiile dintre concepte – generice, partitive și asociative –, construirea sistemelor de concepte și redactarea definițiilor. Standardul impune definiția intensională, formată din conceptul superordonat și caracteristicile care îl delimitează – ceea ce corespunde exact formulei gen + diferență specifică – și exclude explicit definițiile circulare,

tautologice, prea largi sau prea înguste. Standardul **ISO 1087** furnizează metalimbajul: vocabularul cu care se descriu conceptele, desemnările şi relaţiile dintre ele, inclusiv ierarhizarea sinonimelor în termeni preferaţi, admişi şi respinşi.

Consecința metodologică fundamentală a acestui cadru este inversarea perspectivei: unitatea de lucru nu este cuvântul, ci conceptul. Termenii din limba română, engleză și franceză sunt desemnări ale aceluiași concept, iar echivalența se stabilește între concepte, nu între cuvinte. Această inversare este exact ceea ce permite tratarea riguroasă a lipsei echivalențelor parțiale descrise în subcapitolul 3.3: dacă extensiunile conceptuale nu coincid, faptul devine vizibil și consemnabil, în loc să rămână ascuns sub o echivalență aparentă.

6. COLABORAREA INTERDISCIPLINARĂ

Un glosar tehnic trilingv nu poate fi elaborat de un singur tip de specialist. Expertiza inginerilor din domeniu trebuie să stea la baza alcătuirii lui, pentru analizarea diferitelor utilizări ale termenilor, pentru asigurarea corectitudinii terminologice și pentru explicarea conceptelor. De cealaltă parte, expertiza filologilor este indispensabilă pentru stabilirea corectă a echivalentelor și pentru standardizarea definițiilor.

Tipologia din capitolul 3 arată de ce această colaborare nu este o chestiune de oportunitate, ci o condiție de validitate. Un filolog care nu cunoaște domeniul nu are cum să detecteze că „aliniament” desemnează altceva în terminologia rutieră decât în interfața programului de proiectare: ambele sunt cuvinte românești corecte, din același domeniu. Un inginer fără formație lingvistică nu are, în schimb, instrumentele pentru a distinge între un împrumut necesar și unul redundant, pentru a ierarhiza sinonimele sau pentru a formula o definiție care respectă structura gen + diferență specifică fără să devină circulară.

Repartizarea rolurilor este, prin urmare, relativ limpede: inginerul validează acuratețea tehnică a definiției și pertinența conceptului, filologul asigură coerența formulării, ierarhizarea desemnărilor și corectitudinea echivalențelor, iar marcarea gradului de echivalență și a avertismentelor de traducere rezultă din confruntarea celor două competențe.

7. STRUCTURA PROPUSĂ A ARTICOLULUI TERMINOLOGIC

Din principiile expuse decurge structura unui articol terminologic care să răspundă simultan nevoilor inginerului şi ale traducătorului. Un articol ar cuprinde următoarele elemente:

- termenul românesc, cu categoria gramaticală şi poziţia în sistemul de concepte;
- definiţia în limba română, însoţită de statutul ei declarat – preluată dintr-un act normativ sau redacţională;
- definiţia contextuală, acolo unde termenul are sensuri distincte în contexte diferite;
- sinonimele, ierarhizate ca preferate, admise sau respinse, cu precizarea registrului;
- termenii echivalenţi în engleză şi franceză, fiecare însoţit de gradul de echivalenţă: totală, parţială sau lacună terminologică;
- colocaţii în cele trei limbi, în pereche, întrucât unitatea reală de traducere este sintagma, nu termenul izolat;
- un exemplu de utilizare în context, preluat din documentaţii autentice;
- o notă de avertizare privind riscurile de traducere, câmp obligatoriu;
- trimiteri la conceptele conexe.

Două decizii de structură merită argumentate. Prima: rubrica de avertizare trebuie să fie *obligatorie*, completată chiar şi acolo unde nu există risc. Un câmp lăsat gol ar fi interpretat ca omisiune de redactare, nu ca absenţă a problemei; menţinerea lui sistematică transformă absenţa avertismentului într-o informaţie pozitivă. A doua: indexurile inverse – englez–român şi francez–român – nu sunt anexe, ci căi de acces principale, întrucât traducătorul intră în lucrare prin ele în majoritatea situaţiilor de lucru.

8. CONCLUZII

Elaborarea unui glosar tehnic reprezintă mai mult decât simpla traducere a unor termeni de specialitate: este un instrument care transformă noțiuni teoretice în resurse practice pentru utilizatori. În domeniul infrastructurii rutiere, necesitatea lui este susținută de disfuncții terminologice observabile și clasificabile – împrumuturi folosite cu sens diferit, prieteni falşi consacraţi prin repetare, lipsa de echivalențe parțiale care produc traduceri corecte din punct de

vedere formal şi eronate din punct de vedere tehnic, termeni pătrunşi în uz pe calea interfeţelor programelor de calculator.

Resursele existente nu acoperă acest deficit. Dicţionarul PIARC oferă termeni echivalenţi în mai multe limbi fără a-i explica în limba română; glosarele naţionale oferă liste fără definiţii; corpusul normativ oferă definiţii riguroase, dar dispersate şi formulate în alt scop.

Succesul unui asemenea demers este condiţionat de respectarea câtorva principii: stabilirea prealabilă a publicului-ţintă, care determină nivelul de complexitate al definiţiilor şi al termenilor; selecţia riguroasă a termenilor, cu prioritate pentru cuvintele familiare care desemnează concepte nefamiliare; formularea definiţiilor într-o structură standard, care să nu lase loc de ambiguitate şi care să cuprindă, acolo unde este cazul, utilizările contextuale distincte ale termenului.

Deopotrivă, succesul este condiţionat de colaborarea interdisciplinară dintre specialiştii din domeniul ingineriei, care validează acurateţea tehnică, şi filologi, responsabili de claritatea şi standardizarea definiţiilor. O lucrare care respectă aceste principii îşi depăşeşte statutul de simplă anexă şi devine o resursă de sine stătătoare, care susţine deopotrivă practica profesională, traducerea tehnică şi formarea inginerească.

Direcţiile imediate de continuare a cercetării sunt trei: validarea tipologiei disfuncţiilor pe un corpus de documentaţii bilingve reale, provenite din proiecte cu finanţare internaţională; stabilirea unui nucleu terminologic de referinţă, constituit din conceptele definite explicit în corpusul normativ în vigoare; şi inventarierea terminologiei vehiculate de programele de proiectare utilizate curent în România, cât timp uzul este încă neconsolidat şi orientarea lui rămâne posibilă.

BIBLIOGRAFIE

[1]. C. PAȘCALĂU: „*Calcuri şi barbarisme în limba română actuală: target, ospitalitate, hostess*”, Dacoromania, serie nouă, XXVII, nr. 2, Cluj-Napoca, p. 168–179, **2022**.

[2]. C. MANEA, M.-C. MANEA, D.-M. PRUNEANU: „*Distorsiuni ale comunicării în limba română legate de activitatea de traducere*”, Editura Alfa, **2009**.

[3]. A. TRIȘCĂ IONESCU: „*Anglicisms in the Romanian naval architecture texts*”, The Proceedings of the International Conference “Communication, Context, Interdisciplinarity”, Section: Language and Discourse, vol. 3, “Petru Maior” University Press, p. 338–344.

[4]. C. RĂILEANU: „*Analiza erorilor de traducere automată în baza textului tehnic*”, Facultatea Litere, p. 83–85.

[5]. ASOCIAȚIA MONDIALĂ A DRUMURILOR (PIARC): „*Road Dictionary / Dictionnaire de la route*”, resursă terminologică online, piarc.org.

[6]. ACADEMIA ROMÂNĂ, Comisia de Terminologie pentru Științele Exacte: „*Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie, român / englez / francez / german. Transporturi. Autovehicule rutiere*”, Editura AGIR, București.

[7]. *** „*Ordonanța Guvernului nr. 43/1997 privind regimul drumurilor*”, republicată, cu modificările și completările ulterioare.

[8]. R. B. CARUSO: „*Technical communication*”, Wadsworth, Belmont, CA, **1986**.

[9]. P. VAN STERKENBURG: „*A practical guide to lexicography*”, John Benjamins Publishing Company, Philadelphia, PA, **2003**.

[10]. M. KIDD TACKABERRY: „*Defining glossaries*”, Technical Communication, vol. 52, nr. 4, p. 427–433, **2005**.

[11]. P. VELARDI, R. POLER, J. V. TOMÁS: „*Methodology for the definition of a glossary in a collaborative research project and its application to a European network of excellence*”, în Interoperability of Enterprise Software and Applications, Springer, p. 311–322, **2006**.

[12]. H. THIRLWAY: „*Technical writing*”, **1994**.

[13]. D. E. ZIMMERMAN, D. G. CLARK: „*The Random House guide to technical and scientific communication*”, Random House, New York, NY, **1987**.

[14]. J. M. LANNON: „*Technical writing*”, ediția a 7-a, Longman, New York, NY, **1997**.

[15]. M. STURGEON: „*Terminology made simple*”, IBM Corporation, Research Triangle Park, NC, **2004**.

[16]. C. H. SIDES: „*How to write & present technical information*”, Oryx Press, Phoenix, AZ, **1999**.

ANALIZA FIABILITĂȚII ȘI DISPONIBILITĂȚII OPERAȚIONALE A PARCULUI DE LOCOMOTIVE UNICOM TRANZIT UTILIZATE ÎN TRANSPORTUL FEROVIAR DE MARFĂ – STUDIU DE CAZ PENTRU ANUL 2025

Dobre Ariana, ing. drd., Școala Doctorală de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „POLITEHNICA” București, e-mail: dobreariana4@gmail.com
Mazilu Traian, prof.univ.dr.ing., Departamentul Material Rulant de Cale Ferată, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „POLITEHNICA” București, e-mail: traian.mazilu@upb.ro

Rezumat

Transportul feroviar de marfă reprezintă un sector de importanţă ridicată în ceea ce privește mobilitatea sustenabilă și funcționarea economiei în ansamblu. Distribuirea mărfurilor pe calea ferată poate reduce aglomerația cauzată de camioane, reducând emisiile de dioxid de carbon și sporind siguranța circulației. În cazul exploatării la tonaje ridicate, operatorii de transport feroviar trebuie să îndeplinească cerințe stricte de disponibilitate a parcului de tracțiune. Oprirea neprogramată a unui tren de marfă pe rețeaua feroviară produce o reducere semnificativă a capacității secțiilor de circulație și generează o serie de întârzieri. Prezenta lucrare analizează fiabilitatea operațională a unui parc comercial compus din 53 de locomotive (25 electrice, 17 diesel-electrice și 11 diesel-hidraulice) monitorizate continuu pe parcursul unui an complet de exploatare, însumând peste 1,7 milioane de km parcurși în remorcarea trenurilor de marfă și activități de manevră. Prin aplicarea principiilor metodologice ale standardului european SR EN 50126 (RAMS), s-au determinat parcursul mediu între două defectări (MKBF) și intensitatea apariției incidentelor tehnice. Sunt analizați în paralel parcursul mediu între două defectări (MKBF), rata de defectare normată la 100.000 km și coeficienții de disponibilitate tehnică. Rezultatele evidențiază o corelație directă între sezonalitate, regimul greu de remorcare și timpii de imobilizare în atelierele autorizate de reparații, propunând măsuri de optimizare a reviziilor preventive și eliberarea capacității secțiilor feroviare.

Cuvinte cheie: transport feroviar de marfă, fiabilitate operațională, mentenanță locomotive, capacitatea infrastructurii, disponibilitate tracțiune

Abstract

Freight railway transport is a sector of major importance for sustainable mobility and the overall functioning of the economy. Moving goods by rail can reduce congestion caused by

trucks, lower carbon dioxide emissions and improve traffic safety. When operating with high-tonnage trains, railway undertakings must meet strict requirements concerning the availability of their traction fleets. An unscheduled stop of a freight train on the railway network significantly reduces the capacity of railway sections and generates delays. This paper analyses the operational reliability of a commercial fleet consisting of 53 locomotives (25 electric, 17 diesel-electric and 11 diesel-hydraulic), monitored continuously over one full year of operation, covering more than 1.7 million km in freight train haulage and shunting activities. By applying the methodological principles of the European standard SR EN 50126 (RAMS), the mean kilometres between failures (MKBF) and the frequency of technical incidents were determined. The analysis compares the mean kilometres between failures (MKBF), the failure rate normalized per 100,000 km, and the technical availability coefficients. The results highlight a direct correlation between seasonality, demanding haulage conditions and immobilization times in authorized repair workshops, and propose measures to optimize preventive maintenance and release railway section capacity.

Keywords: freight railway transport, operational reliability, locomotive maintenance, infrastructure capacity, traction availability

1. INTRODUCERE

Eficiența și siguranța transportului feroviar de marfă sunt influențate în mod definitoriu de interacțiunea dintre calitatea căii de rulare și disponibilitatea materialului rulant de tracțiune. Principala deficiență a căilor ferate române este uzura fizică avansată a infrastructurii, care duce la necesitatea verificărilor frecvente și a mentenanței suplimentare [1]. Trenurile grele de marfă, care ating tonaje brute de peste 3000 tone, exercită solicitări cvasistatice și dinamice intense asupra suprastructurii căii ferate. Indisponibilitatea tehnică accidentală a locomotivelor în linie curentă reprezintă o cauză la fel de critică de perturbare a sistemului global de transport, ca și uzura șinei și a terasamentului sub acțiunea sarcinii pe osie.

Conform studiilor de sistem elaborate de Consiliul de Supraveghere din Domeniul Feroviar (CSDF), rețeaua feroviară națională se confruntă cu constrângeri structurale majore cauzate de subfinanțarea infrastructurii feroviare. Acest fapt, cumulat cu discrepanța dintre fondurile de transport atribuite istoric domeniului feroviar față de cel rutier (5% vs 75%), a condus la o viteză comercială medie a trenurilor de marfă de numai 28,3 km/h la nivel național și între 25 – 27 de km/h pe coridoarele europene de tranzit. În acest mediu operațional sensibil, oprirea neprevăzută a unui tren din cauza unei defectări a

locomotivei determină ocuparea prelungită a blocului de linie automat (BLA), blocând secțiile cu linie simplă (ce reprezintă peste 7.800 de km la nivel național) și generând întârzieri în lanț pe magistralele duble [2].

Standardul european SR EN 50126-1:2018 fundamentează evaluarea siguranței de funcționare prin intermediul pachetului metodologic RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) [3]. Fiabilitatea (Reliability) indică probabilitatea ca vehiculul motor să funcționeze fără defecțiuni în linie, disponibilitatea (Availability) exprimă capacitatea parcului de a asigura remorcarea trenurilor programate, reflectând ponderea vehiculelor apte de exploatare raportată la totalul flotei. În acord cu cerințele Normei Tehnice Feroviare NTF 67-003-2008, disponibilitatea minimă prescrisă pentru parcul de locomotive electrice este de 90% (0,90) pentru unitățile clasice și de minim 95% (0,95) pentru cele modernizate.

Mentenabilitatea (Maintainability) se referă la ușurința și eficiența cu care o locomotivă poate fi întreținută sau reparată (inclusiv timpul mediu de repunere în funcțiune – *MTR*). Siguranța în funcționare (Safety) este capacitatea sistemului de a nu genera riscuri inacceptabile de vătămare a persoanelor, pagube materiale sau impact negativ asupra mediului.



Figura 1. Inspecția aparatului de rulare, a timoneriei de frână și a motoarelor de tracțiune în canalul de revizie al atelierului autorizat de mentenanță.

Prezenta lucrare își propune o analiză integrată a fiabilității și disponibilității parcului de tracțiune al unui operator feroviar de marfă pe durata unui an calendaristic complet (12 luni), evaluând comparativ cele trei tehnologii de tracțiune utilizate (electrică, diesel-electrică și diesel-hidraulică). Studiul decuplează parcul inactiv (vehicule conservate sau în reparații capitale) de parcul

comercial activ, calculează indicatorii MKBF, rata de defectare şi disponibilitatea lunară, demonstrând necesitatea sincronizării exploatării cu procesele de mentenanţă din atelierele specializate.

În cadrul lucrării, prin defectare sau incident tehnic s-a considerat orice neconformitate sau avarie apărută în timpul serviciului de remorcare sau manevră care a impus retragerea locomotivei din circulație, solicitarea unei locomotive de ajutor, remedierea defecțiunii pe linie curentă cu depășirea timpului normat de mers sau imobilizarea neprevăzută a vehiculului motor în vederea intrării în depou/atelier pentru reparații neprogramate.

Motivația pentru realizarea studiului este dorința de a privi parcul activ de vehicule motoare în ansamblu, realizând care este perioada cu cele mai multe defectări, ce tip de locomotive sunt mai predispuse defectării și de ce. Tema este de interes pentru prevenirea defectărilor în limita posibilităților, prin mentenanță preventivă și verificări suplimentare, ținând cont de rata defectării și de cele mai frecvente defectări apărute în parcurs.

De asemenea, pentru reducerea timpului în care trenul blochează linia de cale ferată în momentul defectării apărute în exploatare, este necesară colaborarea cu ateliere de reparație din zonele de interes, unde se realizează de regulă transportul de marfă, sau în zonele de staționare. Acest pas asigură că după intervenția echipei mobile, traseul poate fi reluat, până la destinația finală, sau la un atelier, dacă defectarea nu s-a remediat complet.

2. METODOLOGIE ŞI MODELE DE CALCUL RAMS

Implementarea paradigmei RAMS în managementul infrastructurii feroviare creează o punte directă între ingineria fiabilității și rentabilitatea economică. Prin articularea procesului în trei etape interdependente: colectarea datelor de componentă, simularea la nivel de sistem și evaluarea pe durata ciclului de viață, operatorii de transport feroviar pot înlocui intervențiile costisitoare cu strategii preventive optimizate, adaptate volumului de trafic și încărcării pe osie [4].

În acest studiu, fiabilitatea operațională este apreciată prin raportarea numărului de evenimente la kilometrii parcurși și prin indicatorul MKBF (Mean Kilometres Between Failures), utilizat aici ca distanța medie parcursă între două cazuri înregistrate de defectare.

Disponibilitatea reprezintă proporția din timpul de referință în care locomotiva este aptă și disponibilă pentru utilizare. În baza registrelor analizate,

disponibilitatea a fost aproximată prin raportul dintre numărul de zile raportate ca disponibile și numărul total de zile calendaristice aferente perioadei observate. Indicatorul calculat este unul operațional, derivat din evidențele zilnice/lunare.

Mentenabilitatea descrie ușurința și rapiditatea cu care un echipament poate fi readus în stare de funcționare după apariția unei defecțiuni. În setul de date disponibil nu este inclusă o evidență completă a duratelor de intervenție, a timpilor de așteptare pentru piese sau a timpilor de imobilizare pe cauze. Prin urmare, mentenabilitatea este discutată calitativ, fără calcularea unui MTTR (Mean Time To Repair) verificabil.

2.1. Structura parcului de locomotive analizat

Analiza utilizează o evidență a km parcurși între 2 defectări de cele 3 tipuri de locomotive în perioada 1 ianuarie – 31 decembrie 2025. Populația statistică a studiului a fost stabilită pe baza listei din centralizatorul de kilometri, prin numărarea locomotivelor care au înregistrat kilometraj pozitiv în anul analizat. Au rezultat 53 de unități, repartizate astfel:

- 25 Locomotive Electrice (L.E.): 16 unități clasice Co-Co de 5100 kW (clasa 40), 2 unități Co-Co modernizate de 6600 kW (clasa 47), 5 unități Bo-Bo asincrone de 5600 kW (seria 192 Smartron) și 2 unități Bo-Bo de 3400 kW (clasa 43);
- 17 Locomotive Diesel-Electrice (L.D.E.): 14 unități grele de linie Co-Co de 2100 CP (clasa 60/62) și 3 unități Bo-Bo de 1250 CP (clasa 69);
- 11 Locomotive Diesel-Hidraulice (LDH): 11 unități B-B de 1250 CP (clasa 81/84), dedicate manevrei grele de triaj și deservirii liniilor industriale.

Tabelul 1. Locomotivele incluse în studiu

Categorie	Număr locomotive	Pondere în parc
L.E.	25	47,17%
L.D.E	17	32,08%
L.D.H.	11	20,75%

2.2. Modele matematice pentru evaluarea fiabilității și disponibilității

Indicatorul principal de fiabilitate este parcursul mediu între două defectări (MKBF – Mean Kilometres Between Failures), calculat conform ecuației (1):

$$MKBF = \frac{\sum K_i}{\sum D_i} \text{ [km/defectare]} \quad (1)$$

unde: K_i = volumul kilometrilor parcurşi de locomotiva activă i în cele 12 luni

D_i = numărul total de defectări şi nereguli funcţionale înregistrate.

Rata medie de defectare normată la 100.000 km (λ_{100k}) este calculată prin ecuaţia (2):

$$\lambda_{100\,k} = \frac{\sum D_i}{\sum k_i} \times 10^5 \text{ [defectări / } 10^5 \text{ km]} \quad (2)$$

Disponibilitatea tehnică a flotei active este determinată prin prelucrarea bazei zilnice, clasificând starea fiecărei locomotive în: zile active (de prestaţie la drum sau aşteptarea comenzii comerciale pentru traseu) şi zile de inactivitate (imobilizare în revizii, defectare în exploatare, reparaţii, strung etc.)

Coeficientul de disponibilitate tehnică reală (A_{tehnic}), care măsoară ponderea timpului în care vehiculul este apt de tracţiune (neimobilizat în ateliere), este definit prin relaţia (3):

$$A_{tehnic} = \frac{z_{calendaristice} - z_{inactive}}{z_{calendaristice}} \times 100 \text{ [\%]} \quad (3)$$

Pentru urmărirea operativă a flotei comerciale, se calculează lunar coeficientul de disponibilitate operativă a parcului activ (A_{op}), definit prin ecuaţia (4):

$$A_{op} = \frac{N_{active_{lunar}}}{N_{parc_{activ}}} \times 100 \text{ [\%]} \quad (4)$$

unde: N_{active_lunar} = numărul de locomotive care au circulat în luna respectivă;

N_{parc_activ} = numărul total de locomotive din parcul activ, atât cele active, cât şi cele imobilizate la revizii sau reparaţii.

3. REZULTATE EXPERIMENTALE

3.1. Sinteza anuală a parcului activ

Centralizarea datelor anuale demonstrează că parcul activ de 53 de locomotive a realizat 1.768.413 km şi a atins 106 evenimente tehnice pe parcursul celor 365 de zile de operare. Sinteza generală a indicatorilor pe cele trei categorii de tracţiune este prezentată în Tabelul 2.

Tabelul 2. Sinteza anuală a indicatorilor de fiabilitate şi disponibilitate (365 zile)

Tipul locomotivei	Parc activ	Rulaj anual [km]	Total defectări	MKBF anual [km]	Rata λ_{100k}	Disp. tehnică (A_{tehnic})	Disp. medie anuală (A_{op})
Electrică (LE)	25	1.361.273	32	42.539,8	2,35	93,26%	91,83%
Diesel-Electrică (LDE)	17	345.096	59	5.849,1	17,10	91,96%	87,73%
Diesel-Hidraulică (LDH)	11	62.044	15	4.136,3	24,18	94,15%	87,55%
TOTAL PARC ACTIV	53	1.768.413	106	16.683,1	5,99	93,03%	90,05%

Pentru o viziune completă a evoluției sezoniere, Tabelul 3 prezintă datele lunare detaliate privind rulajul, incidentele tehnice și coeficienții oficiali de disponibilitate operativă separați riguros pentru fiecare clasă de tracțiune (LE, LDE și LDH).

3.2. Dinamica lunară și sezonalitatea incidentelor tehnice

Tabelul 3. Dinamica lunară a rulajului, defectărilor şi a disponibilităţii operative oficiale (LE, LDE, LDH)

Luna	LE Km	LE Def	LE Disp	LDE Km	LDE Def	LDE Disp	LDH Km	LDH Def	LDH Disp	Total Km
Ian	102.638	4	92,0%	25.560	3	81,5%	2.970	0	83,0%	131.168
Feb	115.078	7	90,0%	36.060	6	87,4%	4.501	1	89,0%	155.639
Mar	119.582	6	89,0%	30.190	3	90,8%	5.243	2	91,4%	155.015
Apr	122.106	1	88,0%	25.849	3	92,2%	4.899	1	91,6%	152.854
Mai	111.363	2	93,0%	28.216	3	89,7%	5.572	0	90,6%	145.151
Iun	114.680	3	92,0%	22.964	5	92,4%	5.045	1	91,2%	142.689
Iul	111.520	1	94,0%	28.249	3	83,8%	5.188	1	79,2%	144.957
Aug	96.633	0	96,0%	28.735	4	82,3%	4.804	1	79,0%	130.172
Sep	111.425	3	91,0%	30.291	7	87,6%	6.274	2	88,6%	147.990
Oct	121.923	2	92,0%	31.548	10	85,9%	4.811	3	86,2%	158.282
Noi	123.348	4	93,0%	34.591	6	90,6%	6.329	1	91,8%	164.268
Dec	114.816	0	92,0%	22.843	6	88,5%	6.408	2	90,0%	144.067
Medie / Total	1.361.273	32	91,83%	345.096	59	87,73%	62.044	15	87,55%	1.768.413

3.3. Compararea celor trei tehnologii de tracțiune

Analizând indicatorii statistici din cele două tabele de valori, se evidenţiază aspecte tehnice definitorii pentru exploatarea feroviară comercială:

- Tracțiunea electrică (L.E.): Asigură 77,0% din volumul total de parcurs al locomotivelor din parc (1.361.273 km), înregistrând cel mai performant nivel de fiabilitate din întreaga flotă (MKBF = 42.539,8 km și λ = 2,35 defecte/10^5 km). Disponibilitatea tehnică reală a locomotivelor electrice active atinge 93,26%, iar disponibilitatea operativă lunară consemnată are o medie de 91,83% (oscilând între 88,0% în aprilie și 96,0% în august). Această performanță confirmă respectarea strictă a pragului normativ din NTF 67-003-2008 (care impune minim 90% la locomotivele clasice). O locomotivă electrică a petrecut în medie doar 20,2 zile/an în revizii programate și 4,4 zile/an în remedierea defectelor accidentale. În luna decembrie, parcul electric a realizat 114.816 km fără nicio defectare, confirmând eficiența pregătirilor de iarnă efectuate și importanța prevenției. Concentrarea defectărilor la un număr restrâns de vehicule confirmă necesitatea unei strategii de monitorizare dedicate pentru agregatele de tracțiune intens solicitate;

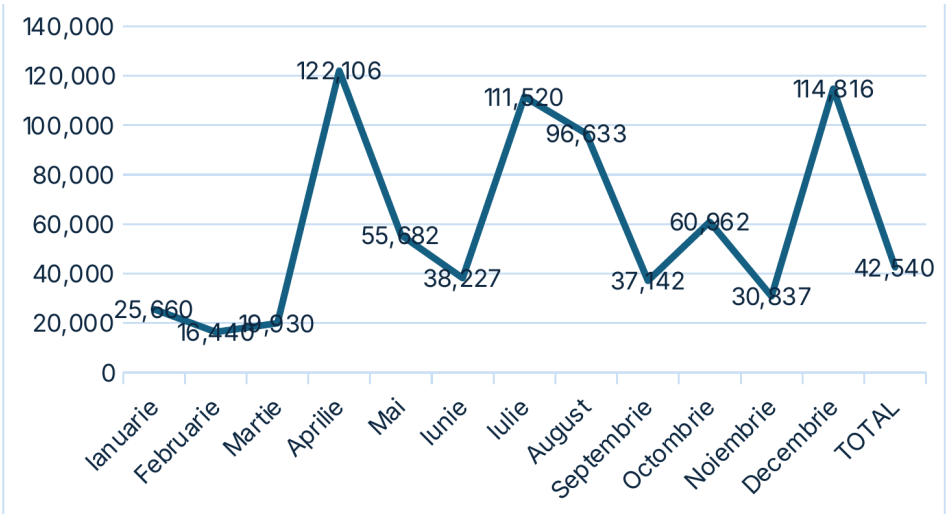


Figura 2. Evoluția numărului de km dintre 2 defectări la locomotivele electrice

- Tracțiunea diesel-electrică (LDE): Înregistrează o rată de defectare de 7,3 ori mai mare comparativ cu locomotivele electrice (λ = 17,10 față de 2,35 defecte/10^5 km), realizând un MKBF de 5.849,1 km la 345.096 km parcurși. Disponibilitatea operativă medie este de 87,73%, încadrându-se în parametrii optimi de operare ai tracțiunii autonome (pentru care NTF 67-004-2008 nu impune pragul de 90% specific parcului electric). Scăderile de disponibilitate din iulie (83,8%) și august (82,3%) sunt corelate direct cu regimurile termice extreme și supraîncălzirea apei de răcire a motorului diesel. Vârful critic al numărului de defectări a fost atins în luna octombrie (10 defectări la 31.548 km, MKBF scăzând

la doar 3.154,8 km), cauzat de pierderea aderenței pe șină umedă, care produce patinări violente, ambalări ale motoarelor de tracțiune și descărcări pe colector;

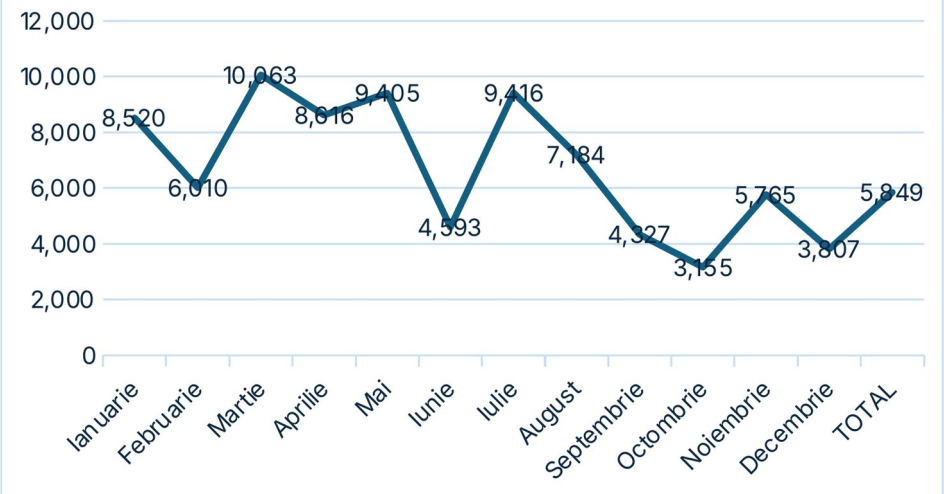


Figura 3. Evoluția numărului de km dintre 2 defectări la locomotivele diesel-electrice

- Tracțiunea diesel-hidraulică (LDH): Deși afișează cel mai redus MKBF kilometric (4.136,3 km), parcul LDH realizează o disponibilitate tehnică de 94,15% și o disponibilitate operativă medie de 87,55%. Scăderea de disponibilitate din lunile iulie-august (79,0–79,2%) reflectă programarea simultană a 2 unități în revizii mari de tip R2. Această comportare demonstrează că parcursul redus în kilometri nu este un indice de degradare, ci consecința directă a regimului greu de manevră în triaje și pe linii industriale (desfășurat la viteze sub 10–15 km/h). Turbotransmițătoarele hidraulice și reductoarele inversoare acumulează uzură masivă la porniri-opriri repetate, uzură ce trebuie contorizată în ore de serviciu, nu în kilometri parcurși.



Figura 4. Evoluția numărului de km dintre 2 defectări la locomotivele diesel-hidraulice

4. MENTENANȚA PARCULUI DE TRACȚIUNE ȘI IMPACTUL ASUPRA CIRCULAȚIEI FEROVIARE

Disponibilitatea materialului rulant de tracțiune reprezintă piesa de legătură dintre calitatea lucrărilor din atelierele de reparații și eficiența exploatării pe rețeaua publică feroviară. Durata de imobilizare a vehiculelor influențează mărimea parcului care poate prelua comenzile de transport. În funcție de necesitate și de solicitările primite de la clienți, operatorul de transport feroviar poate recurge la închirierea unui vehicul de la colaboratori, sau la refuzarea comenzii, soluții care au impact negativ asupra bugetului.

Datele obținute din analiza pe parcursul anului 2025 contribuie la identificarea unor măsuri tehnice de colaborare cu atelierele de reparații.

Datele din Tabelul 3 arată că lunile februarie și martie au cumulat 13 defectări la locomotivele electrice (40% din totalul anual), cauzate de condens și îngheț în ventilele electropneumatice și circuitele disjunctoarelor. Se impune finalizarea reviziilor pregătitoare de toamnă-iarnă până la data de 1 noiembrie, protocolul de atelier trebuind să prevadă obligatoriu: înlocuirea agentului deshidratant (silicagel) în instalațiile de uscare a aerului, verificarea rezistențelor de încălzire a compresoarelor și testarea rigidității dielectrice a transformatoarelor principale și motoarelor electrice.

Analiza fișelor anuale demonstrează că un număr restrâns de vehicule generează o proporție semnificativă din totalul incidentelor flotei. Se recomandă

ca la intrarea în ateliere pentru reviziile R1/R2, aceste vehicule să fie supuse unor audituri extinse.

Deşi disponibilitatea tehnică a locomotivelor LDH este cea mai ridicată din parc (94,15%), parcursul mediu între defectări raportat la kilometri este aparent redus (4.136,3 km). Această discrepanță impune modificarea sistemului de raportare prin introducerea orelor de funcționare sub sarcină a motorului diesel. Planificarea reviziilor periodice (RTP, R1, R2) pe baza orelor de funcționare (MTBF orar) va permite atelierelor partenere să calibreze intervențiile conform uzurii mecanice reale a turbotransmițătorului hidraulic, prevenind blocarea manevrelor în triaje și terminale logistice.

5. CONCLUZII

Analiza indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate pentru parcul de 53 de locomotive monitorizat pe durata anului 2025 evidențiază particularități tehnice și de exploatare esențiale pentru eficiența transportului feroviar de marfă:

Tracțiunea electrică (LE) reprezintă baza flotei, asigurând 77,0% din rulajul total (1.361.273 km) și cel mai ridicat nivel de fiabilitate, cu un parcurs mediu între două defectări (MKBF) de 42.539,8 km și o rată redusă de defectare ($\lambda = 2,35$ defecte/10^5 km). Disponibilitatea tehnică reală obținută (93,26%) respectă cerințele normei NTF 67-003-2008. Vârfurile de incidente din lunile de iarnă impun însă finalizarea strictă a programelor preventive de toamnă-iarnă înainte de 1 noiembrie.

Tracțiunea diesel-electrică (LDE) a înregistrat o rată de defectare de peste 7 ori mai mare decât cea electrică ($\lambda = 17,10$ defecte/10^5 km, MKBF de 5.849,1 km). Disponibilitatea a fost puternic afectată de temperaturile ridicate din timpul verii (sub 84% în iulie-august) și de degradarea condițiilor de aderență șină-roată în luna octombrie. Aceste aspecte impun verificarea riguroasă a instalațiilor de răcire și a sistemelor de antipatinaj/nisipare la intrarea în toamnă.

Tracțiunea diesel-hidraulică (LDH), deși a consemnat cel mai scăzut MKBF kilometric (4.136,3 km), a realizat o disponibilitate tehnică de 94,15%. Această aparentă discrepanță confirmă că raportarea fiabilității la kilometri parcurși nu este reprezentativă pentru regimul de manevră grea din triaje.

Din perspectivă operațională, concentrarea defectărilor la un număr restrâns de locomotive și timpii de imobilizare în linie curentă justifică amplasarea echipelor mobile de intervenție în nodurile critice de transport și realizarea de audituri tehnice aprofundate la reviziile mari (R1/R2). Prin aceste

măsuri se previne blocarea secțiilor feroviare cu linie simplă și se fluidizează traficul de marfă pe magistrale.

BIBLIOGRAFIE

[1]. BADEA, C.: *Cât de sigure sunt trenurile din România? Pericolele sistemului feroviar și deficitul masiv de infrastructură*, TRUmedia, **2026**, disponibil online la: https://trumedia.ro.

[2]. CONSILIUL DE SUPRAVEGHERE DIN DOMENIUL FEROVIAR (CSDF): *Transportul feroviar de marfă în România. Studiu de piață*, Consiliul Concurenței, București, **2020**, pp. 21–45.

[3]. ASOCIAȚIA DE STANDARDIZARE DIN ROMÂNIA (ASRO): *SR EN 50126-1:2018. Aplicații feroviare. Specificarea și demonstrarea fiabilității, disponibilității, mentenabilității și siguranței (FDMS). Partea 1: Proces FDMS generic*, ASRO, București, **2018**.

[4]. SIMÕES, G. M. P.: *RAMS Analysis of Railway Track Infrastructure*, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisabona, **2018**, pp. 19–25.

[5]. AUTORITATEA DE SIGURANȚĂ FEROVIARĂ ROMÂNĂ (ASFR): *Norma Tehnică Feroviară NTF 67-003-2008. Cerințe privind disponibilitatea și mentenanța parcului de locomotive electrice*, București, **2008**.

INTEGRAREA INFRASTRUCTURII PENTRU BICICLETE ŞI TROTINETE ELECTRICE ÎN REȚELELE URBANE – STUDIU COMPARATIV ÎNTRE ORAŞE EUROPENE ŞI ANALIZA FEZABILITĂȚII IMPLEMENTĂRII ÎN MUNICIPIUL CRAIOVA

Drăgănescu Alexandru-Mihail, drd., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, B-dul Lacul Tei nr. 122-124, Bucureşti, România, e-mail: alexandru-mihail.draganescu@phd.utcb.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro
Dicu Mihai, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: mihaidicu05@gmail.com

Rezumat

Mobilitatea urbană sustenabilă a devenit o preocupare majoră pentru oraşele europene în contextul accelerării urbanizării, al poluării crescute şi al crizei climatice. În contrast cu aceste tendinţe pozitive din Europa Occidentală, oraşele româneşti se confruntă încă cu provocări majore privind integrarea formelor alternative de transport în planificarea urbană. Lucrarea de faţă se concentrează asupra problematicii infrastructurii deficitare pentru biciclete şi trotinete electrice în România, cu accent pe municipiul Craiova, şi urmăreşte identificarea unor modele de succes din oraşe europene precum Copenhaga, Amsterdam, Viena şi Paris, în scopul adaptării acestora la specificul urban local.

Cercetarea a fost structurată în jurul a trei obiective principale: (1) analiza infrastructurii existente pentru micromobilitate în Craiova, (2) studierea şi compararea modelelor de integrare velo şi a trotinetelor în marile oraşe europene şi (3) formularea unor propuneri concrete şi fezabile pentru îmbunătăţirea mobilităţii alternative în municipiul Craiova. Metodologia a inclus analiza documentelor de politici urbane, colectarea datelor privind infrastructura existentă (GIS), un chestionar aplicat unui eşantion de 100 de locuitori şi compararea unor indicatori-cheie precum lungimea pistelor, numărul parcărilor, prezenţa sistemelor de bike-sharing şi gradul de utilizare zilnică.

Lucrarea propune o serie de intervenţii strategice: extinderea reţelei de piste pe arterele principale, introducerea unor zone velo prioritare, dezvoltarea de parcări inteligente, pilotarea unui sistem de bike-sharing integrat digital cu transportul public, precum şi măsuri legislative şi educaţionale pentru creşterea gradului de conformare şi utilizare. De asemenea, sunt propuse

tipurile de amenajări pe categorii de străzi, o etapizare a implementării, un set de indicatori de monitorizare şi surse de finanțare (Programul Regional Sud-Vest Oltenia 2021–2027, PNRR).

În concluzie, integrarea infrastructurii pentru biciclete și trotinete electrice în rețeaua urbană a Craiovei nu este doar fezabilă, ci necesară pentru un viitor sustenabil, iar lecţiile învățate din exemplele europene oferă un cadru solid pentru dezvoltare strategică.

Cuvinte cheie: micromobilitate, velo, biciclete, trotinete, mobilitate urbană durabilă, PMUD, Craiova.

Abstract

Sustainable urban mobility has become a major concern for European cities in the context of accelerating urbanisation, increased pollution and the climate crisis. In contrast to these positive trends in Western Europe, Romanian cities still face major challenges in integrating alternative modes of transport into urban planning. This paper addresses the inadequate infrastructure for bicycles and e-scooters in Romania, with emphasis on the municipality of Craiova, and seeks to identify successful models from European cities such as Copenhagen, Amsterdam, Vienna and Paris to adapt them to the local urban context.

The research was structured around three main objectives: (1) analysis of the existing micromobility infrastructure in Craiova, (2) study and comparison of cycling and e-scooter integration models in major European cities and (3) formulation of concrete and feasible proposals for improving alternative mobility in the municipality of Craiova. The methodology included the analysis of urban policy documents, the collection of data on existing infrastructure (GIS), a questionnaire applied to a sample of 100 residents and the comparison of key indicators such as the length of cycle tracks, the number of parking places, the presence of bike-sharing systems and the level of daily use.

The paper proposes a series of strategic interventions: extending the cycle track network along the main arteries, introducing priority cycling zones, developing smart parking facilities, piloting a bike-sharing system digitally integrated with public transport, as well as legislative and educational measures to increase compliance and use. Street-type facility layouts, a phased implementation, a set of monitoring indicators and funding sources (South-West Oltenia Regional Programme 2021–2027, NRRP) are also proposed.

In conclusion, integrating infrastructure for bicycles and e-scooters into Craiova’s urban network is not only feasible but necessary for a sustainable future, and the lessons learned from European examples provide a solid framework for strategic development.

Keywords: micromobility, cycling, bicycles, e-scooters, sustainable urban mobility, SUMP, Craiova.

1. INTRODUCERE

1.1. Context general

Mobilitatea urbană a devenit una dintre principalele provocări ale planificării durabile în orașele europene contemporane. Accelerarea urbanizării, creșterea numărului de autovehicule și scăderea calității aerului determină autoritățile să regândească modul în care spațiul urban este organizat și utilizat. În acest context, dezvoltarea și integrarea infrastructurii dedicate pentru mijloace de transport alternative (în special biciclete și trotinete electrice) capătă o importanță strategică.

Orașele occidentale au investit constant în soluții de micromobilitate, promovând forme de transport nepoluante și eficiente pentru distanțe scurte. Programe precum „Plan Vélo” (Paris) [1], infrastructura velo din Amsterdam sau „Green Wave” (Copenhaga) demonstrează că, prin politici coerente și planificare inteligentă, mobilitatea urbană poate deveni sustenabilă, eficientă și inclusivă [2]. În contrast, în orașele românești — și în special în municipiul Craiova — lipsa unei infrastructuri coerente pentru micromobilitate împiedică tranziția către un sistem de transport modern și adaptat nevoilor actuale.

Lucrarea de față pornește de la această discrepanță și își propune o analiză comparativă între modelele europene și situația actuală din Craiova, cu scopul de a formula propuneri fezabile pentru integrarea infrastructurii velo în rețelele rutiere urbane. Abordarea aleasă îmbină metode cantitative și calitative, cartografiere GIS, cercetare documentară și analiză de politici publice, cu accent pe aplicabilitatea locală a bunelor practici internaționale.

Prin această cercetare, se urmărește generarea de instrumente concrete și utile pentru administrația publică locală și comunitate. Integrarea transportului alternativ într-o viziune strategică pentru dezvoltarea urbană a Craiovei devine astfel nu doar o soluție de mediu, ci și una economică și socială.

În ultimele decenii, transformările rapide ale mediului urban au generat o nevoie tot mai acută de regândire a sistemelor de mobilitate. Aglomerarea traficului, degradarea calității aerului și presiunea asupra infrastructurii existente impun soluții alternative pentru deplasările zilnice în marile orașe. În acest context, mobilitatea sustenabilă devine o direcție strategică nu doar pentru statele occidentale, ci și pentru țările din Europa Centrală și de Est, unde tranziția către un model urban eficient este încă în curs.

Literatura de specialitate privind ciclismul urban [3], [4] arată că formele de micromobilitate – precum bicicletele, trotinetele electrice și alte vehicule ușoare – pot prelua o proporție semnificativă din mobilitatea zilnică urbană, în special pe distanțe scurte. Acest fenomen contribuie la descongestionarea traficului, reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și scăderea nivelului de zgomot urban. Mai mult, promovarea acestor mijloace implică beneficii sociale importante, prin accesibilitate sporită și stimularea activității fizice în rândul cetățenilor. O sinteză a literaturii arată că majoritatea studiilor identifică o relație pozitivă între rețelele de piste și nivelul utilizării bicicletei [5].

În România, deși există inițiative punctuale de promovare a mobilității alternative, implementarea concretă rămâne fragmentară. Orașele mari, inclusiv Craiova, se confruntă cu o lipsă acută de infrastructură coerentă și funcțională pentru biciclete și trotinete. Pistele existente sunt, de regulă, scurte, nesigure și deseori întrerupte de obstacole fizice sau intersecții periculoase. De asemenea, lipsa parcărilor dedicate, a regulamentelor clare și a integrării în rețeaua de transport public face ca aceste mijloace de deplasare să fie utilizate marginal. O vizită de studiu a Federației Europene a Bicicliștilor din 2025 a constatat că centrul Craiovei dispune de un traseu ciclabil de circa 8 km, care combină piste separate, benzi pe carosabil și spații partajate, segmentele separate fiind foarte înguste și în competiție cu trotuare înguste [6].

Motivația acestei lucrări pornește tocmai de la această discrepanță între potențialul dovedit al micromobilității și realitatea infrastructurală din orașele românești. Studiind modele consacrate la nivel european și analizând în detaliu contextul local din Craiova, se poate formula un set de măsuri adaptate care să contribuie la dezvoltarea unui oraș mai verde, mai sigur și mai conectat. În plus, rezultatele pot servi drept ghid practic pentru autorități, urbaniști și actori locali interesați de implementarea unei politici coerente de mobilitate sustenabilă.

1.2. Scopul cercetării

Lucrarea de față își propune să răspundă unei nevoi concrete de modernizare a mobilității urbane în orașele din România, în special în municipiul Craiova. În ciuda unor progrese în planificarea urbană și a existenței unor documente strategice precum Planurile de Mobilitate Urbană Durabilă (PMUD) [7], aplicarea în teren a soluțiilor pentru micromobilitate rămâne limitată. Acest decalaj între strategie și implementare generează o presiune crescută asupra

rețelelor de transport auto și contribuie la poluare, aglomerație și scăderea calității vieții urbane.

Scopul principal al acestei cercetări este de a identifica, analiza și adapta modele de succes aplicate în orașe europene consacrate – Copenhaga, Amsterdam, Paris și Viena – pentru a oferi un cadru coerent de integrare a infrastructurii pentru biciclete și trotinete electrice în rețeaua rutieră urbană a Craiovei. Studiul comparativ are rolul de a evidenția bune practici care au funcționat în contexte diferite, dar comparabile ca provocări de mobilitate.

Se urmărește formularea unor propuneri fundamentate științific și fezabile administrativ, care pot fi integrate în politicile locale. Aceste propuneri vizează nu doar extinderea fizică a rețelei de piste și parcări velo, ci și integrarea digitală și logistică a acestor mijloace de transport în sistemul general de mobilitate al orașului, inclusiv prin interconectare cu transportul public.

Prin această cercetare, se intenționează nu doar furnizarea unei analize teoretice, ci și contribuirea directă la procesul decizional local prin generarea unui cadru aplicabil, participativ și sustenabil pentru dezvoltarea mobilității urbane în Craiova.

La nivel european, noul cadru pentru mobilitatea urbană adoptat de Comisia Europeană în decembrie 2021 [8] acordă prioritate transportului public, mersului pe jos și ciclismului, iar orașele-nod ale rețelei TEN-T trebuie să adopte PMUD-uri care să prevadă creșterea ponderii modurilor active [9]. Declarația europeană privind ciclismul (2024) angajează instituțiile UE la sprijinirea rețelelor ciclabile sigure și coerente, a parcărilor securizate și a conectării cu transportul public [10].

1.3. Obiectivele cercetării

Pentru atingerea scopului general enunțat anterior, cercetarea a fost structurată în jurul a trei obiective fundamentale, ce urmează un fir logic de analiză: de la realitatea existentă în municipiul Craiova, la învățarea din exemple europene de succes și formularea de propuneri concrete pentru contextul local.

Obiectivul 1 – Evaluarea infrastructurii actuale din Craiova.

Primul pas în cadrul cercetării constă în realizarea unei radiografii detaliate a infrastructurii existente pentru biciclete și trotinete electrice în Craiova. Această etapă presupune identificarea traseelor actuale, a discontinuităților și a zonelor de risc rutier pentru utilizatorii de micromobilitate. Se va recurge la cartografiere

GIS, corelare cu date statistice privind utilizarea, dar şi la analiza percepţiei publice prin sondaje sau interviuri.

Obiectivul 2 – Studierea modelelor europene consacrate.

Pentru a putea propune o strategie eficientă la nivel local, este esenţială înţelegerea modului în care oraşe precum Copenhaga, Amsterdam, Viena şi Paris au reuşit să creeze reţele integrate şi eficiente de mobilitate alternativă. Se vor analiza aspecte precum lungimea şi calitatea pistelor, politica de siguranţă rutieră, integrarea cu transportul public şi măsurile educaţionale sau sociale care au încurajat utilizarea bicicletelor şi trotinetelor.

Obiectivul 3 – Formularea de soluţii adaptate pentru Craiova.

Pe baza concluziilor din cele două obiective anterioare, se vor propune soluţii concrete pentru Craiova, care pot fi implementate gradual. Acestea includ: crearea de coridoare velo continue, zone prioritare pentru bicicliști, parcări acoperite și securizate, integrarea unui sistem digital de bike-sharing și trotinete, dar și măsuri de reglementare și educare a populației. Toate propunerile vor fi adaptate la specificul urbanistic, socio-economic și administrativ al orașului.

Obiectivele astfel formulate permit o abordare coerentă și aplicabilă, cu potențial real de impact asupra mobilității urbane din municipiul Craiova, sprijinind tranziția către un oraș sustenabil și orientat spre viitor.

2. CADRUL TEORETIC ŞI STUDII DE CAZ EUROPENE

2.1. Conceptul de mobilitate urbană durabilă şi micromobilitate

Mobilitatea urbană durabilă desemnează o abordare integrată a transportului urban care vizează satisfacerea nevoilor actuale de deplasare ale populației fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface aceleași nevoi. Ea presupune un echilibru între eficiența deplasării, impactul asupra mediului și accesibilitatea pentru toți cetățenii.

Micromobilitatea, ca parte a acestui concept, face referire la utilizarea vehiculelor de mici dimensiuni pentru deplasări urbane pe distanțe scurte, cum sunt bicicletele, trotinetele electrice sau alte mijloace electrice ușoare. Forumul Internațional al Transporturilor clasifică vehiculele de micromobilitate după masă și viteză, categoria cea mai ușoară (tipul A) cuprinzând vehicule de cel mult 35 kg, limitate la 25 km/h [11]. În legislația română, trotineta electrică este definită ca vehicul cu două sau trei roți și ghidon, pentru o singură persoană, cu viteza maximă constructivă mai mare de 6 km/h, dar care nu depășește 25 km/h [12].

Aceste soluţii pot contribui semnificativ la reducerea emisiilor de CO_2, descongestionarea traficului rutier şi creşterea calităţii aerului.

Un sistem urban modern de mobilitate durabilă presupune integrarea acestor mijloace alternative într-o reţea coerentă, sprijinită prin infrastructură dedicată: piste sigure, parcări special amenajate, sisteme de bike-sharing şi platforme digitale pentru planificarea traseelor intermodale [13]. Deşi aceste principii sunt larg acceptate în majoritatea oraşelor europene, implementarea lor este inegală, iar România se află încă într-o fază incipientă.

2.2. Studii de caz – oraşe europene cu infrastructură performantă

2.2.1. Copenhaga

Copenhaga este deseori considerată etalonul mondial al infrastructurii pentru biciclete. Orașul danez dispune de o rețea de peste 397 km de piste dedicate, din care circa 350 km sunt protejate fizic faţă de traficul auto. O inovaţie remarcabilă este „green wave” – semaforizarea adaptată bicicliștilor pe principalele artere în orele de vârf, care le permite acestora o deplasare fluentă la o viteză constantă.

Mai mult, 62% dintre locuitorii oraşului merg cu bicicleta la locul de muncă sau de studiu, conform datelor municipalității. Orașul investește constant în extinderea și întreținerea infrastructurii velo, considerând bicicleta un pilon al mobilității urbane.

2.2.2. Amsterdam

Amsterdam şi-a reorientat politicile de mobilitate către bicicletă începând din anii ’70, ca răspuns la un val alarmant de accidente rutiere și la poluare [2]. În prezent, deține peste 767 km de infrastructură velo, dintre care aproximativ 500 km sunt separați complet de traficul motorizat. O caracteristică importantă o reprezintă parcările de mare capacitate de la nodurile de transport, precum parcarea subterană de la Gara Centrală (Stationsplein), deschisă în 2023, cu circa 7 000 de locuri [14].

Politicile locale promovează limite de viteză reduse în zonele rezidențiale, iar benzile auto sunt frecvent transformate în coridoare velo. Bicicletele sunt integrate în sistemul de transport public prin parcări la stații și gări, iar în trenuri pot fi transportate în anumite intervale orare.

2.2.3. Paris

„Plan Vélo”, lansat de Primăria Parisului în 2015 și continuat prin planul 2021–2026, vizează transformarea capitalei franceze într-un oraș 100% ciclabil până în 2026. În 2021, Parisul dispunea de peste 1 000 km de amenajări ciclabile, din care peste 300 km de piste; noul plan prevede 180 km de noi piste securizate (dintre care 52 km de piste temporare transformate în permanente), peste 130 000 de noi locuri de parcare, pe lângă circa 60 000 existente, și investiții de peste 250 de milioane de euro [1].

Parcările sigure pentru biciclete sunt dezvoltate pentru a combate teama de furt, unul dintre obstacolele importante în utilizarea zilnică a bicicletei. Sistemul public de bike-sharing Vélib’ are peste 360 000 de abonați [1]. De asemenea, programul educațional „Savoir Rouler à Vélo” este implementat în școli pentru a încuraja adoptarea acestui mijloc de transport încă din copilărie.

2.2.4. Viena

În Viena, accentul este pus pe integrarea bicicletelor și a trotinetelor electrice în sistemul general de transport. Rețeaua de amenajări pentru biciclete are o lungime totală de aproape 1 380 km [15]. Platforma digitală WienMobil permite planificarea traseelor intermodale, incluzând transportul în comun, bicicletele și trotinetele electrice [16].

Reglementările locale prevăd zone stricte de parcare, limite de viteză în funcție de zonă, precum și interdicții privind circulația trotinetelor pe trotuare. Municipalitatea cooperează cu operatorii privați pentru colectarea datelor privind mobilitatea, ceea ce permite o optimizare constantă a infrastructurii urbane.

2.2.5. Lecţii transferabile pentru Craiova

Măsurile din oraşele analizate nu pot fi preluate integral, dar o parte dintre ele sunt direct aplicabile în Craiova. Tabelul 1 sintetizează măsurile-cheie şi o evaluare calitativă a transferabilităţii lor.

Tabelul 1. Măsuri-cheie din oraşele analizate şi transferabilitatea lor în Craiova

Măsură	Exemplu	Transferabilitate în Craiova	Sursa
Rețea continuă, separată fizic de traficul auto	Copenhaga, Amsterdam	Ridicată pe bulevardele cu 2×2 benzi; necesită realocarea spațiului stradal	[2], [5]
Piste temporare transformate în piste permanente	Paris	Ridicată: cost redus, implementare rapidă, efect măsurabil	[1], [17]
Parcări de mare capacitate la nodurile de transport	Amsterdam	Medie: gară, autogară, Universitatea din Craiova	[14]
Platformă digitală intermodală	Viena (WienMobil)	Medie: integrare cu RAT Craiova	[16]
Reglementarea trotinetelor și a serviciilor de închiriere	Viena, Paris	Ridicată, prin hotărâre a consiliului local, în limitele Codului rutier	[12], [11]

3. METODOLOGIA CERCETĂRII

3.1. Obiective metodologice

Metodologia acestei cercetări a fost concepută pentru a evalua în mod obiectiv şi comparativ nivelul actual al infrastructurii de micromobilitate din municipiul Craiova şi pentru a identifica modele de succes din Europa care pot fi adaptate la contextul local. Strategia metodologică a combinat analiza cantitativă a datelor existente cu cercetarea calitativă a percepţiei utilizatorilor.

3.2. Colectarea datelor

Colectarea datelor s-a realizat pe mai multe niveluri:

- extrase din surse oficiale precum Planul de Mobilitate Urbană Durabilă al Polului de Creștere Craiova 2016–2030 (versiunea 2017) [7], rapoartele Inspectoratului General al Poliției Române privind accidentele rutiere, date furnizate de Institutul Național de Statistică și de agențiile europene de mediu și mobilitate urbană.

- cartografierea infrastructurii existente: a fost realizată prin utilizarea instrumentelor GIS (Geographic Information Systems), identificând segmentele de piste existente, discontinuitățile, conectivitatea între cartiere și zonele de risc. S-au mapat principalele bulevarde cu potențial de extindere velo (ex: Calea București, Bulevardul 1 Mai, Bulevardul Carol I, Calea Severinului, Parcul Nicolae Romanescu).

- chestionare și sondaje online: În cadrul cercetării a fost aplicat un chestionar unui eșantion neprobabilistic de 100 de locuitori ai municipiului Craiova, cu vârste cuprinse între 18 și 70 de ani. Chestionarul a urmărit identificarea frecvenței utilizării bicicletelor și trotinetelor electrice, evaluarea percepției asupra siguranței deplasărilor și determinarea disponibilității populației de a utiliza mijloace alternative de transport în condițiile dezvoltării unei infrastructuri corespunzătoare.

Conform centralizării rezultatelor, 62% dintre respondenți au declarat că ar utiliza bicicleta sau trotineta electrică dacă ar beneficia de o infrastructură sigură, continuă și corespunzător conectată cu principalele zone de interes urban. Acest rezultat evidențiază existența unui potențial de creștere a utilizării micromobilității, condiționat de îmbunătățirea infrastructurii.

Având în vedere caracterul neprobabilistic al eșantionului, rezultatele au fost interpretate descriptiv, fără extrapolarea lor la nivelul întregii populații a municipiului Craiova. Indisponibilitatea răspunsurilor individuale constituie o limitare metodologică, nepermițând verificarea distribuțiilor și efectuarea unor analize statistice suplimentare.

- analiza accidentelor: Evaluarea siguranței utilizatorilor de biciclete și trotinete electrice a fost abordată prin analiza informațiilor statistice privind accidentele rutiere, având ca surse documentele publicate de Poliția Română, Inspectoratul de Poliție Județean Dolj și alte autorități competente în domeniul siguranței circulației.

Analiza a vizat perioada ultimilor cinci ani, urmărind identificarea principalelor categorii de accidente în care au fost implicați bicicliști și utilizatori de trotinete electrice, gravitatea consecințelor, circumstanțele producerii acestora și particularitățile infrastructurii rutiere asociate.

Din perspectiva infrastructurii, au fost avute în vedere în special accidentele produse în intersecții, pe sectoare de drum fără amenajări ciclabile dedicate și în zonele în care deplasările nemotorizate intersectează fluxurile de trafic auto. Aceste situații prezintă relevanță pentru evaluarea necesității separării fizice a circulației, îmbunătățirii vizibilității și asigurării continuității traseelor pentru micromobilitate.

În cadrul cercetării, analiza accidentelor constituie un instrument complementar evaluării infrastructurii existente, contribuind la definirea criteriilor de siguranță rutieră utilizate pentru formularea propunerilor de dezvoltare a rețelei ciclabile din municipiul Craiova.

3.3. Indicatori de comparaţie

Pentru realizarea unei comparaţii obiective între oraşele analizate (Craiova, Copenhaga, Amsterdam, Paris, Viena), au fost utilizaţi următorii indicatori:

- Lungimea totală a infrastructurii velo (km)
- Proporţia pistelor protejate faţă de cele neprotejate
- Numărul locurilor de parcare pentru biciclete
- Existenţa şi gradul de utilizare a sistemelor de bike-sharing
- Numărul estimativ de utilizatori de biciclete/trotinete

Aceşti indicatori au fost sintetizaţi într-un tabel comparativ (prezentat în secţiunea de analiză) care permite o evaluare a decalajelor şi oportunităţilor pentru Craiova. Valorile publicate de oraşe nu sunt însă direct comparabile, deoarece definiţiile diferă (de exemplu, „amenajări ciclabile” la Paris [1] faţă de „Radverkehrsanlagen” la Viena [15]); pentru monitorizarea ulterioară se recomandă alinierea la setul european de indicatori SUMI [18].

Pe lângă indicatorii cantitativi utilizaţi în analiza comparativă, evaluarea infrastructurii de micromobilitate trebuie să ţină seama şi de caracteristicile funcţionale ale reţelei. Lungimea totală a amenajărilor ciclabile nu reflectă în mod direct accesibilitatea, siguranţa şi eficienţa deplasărilor, în special în situaţiile în care infrastructura este fragmentată sau prezintă discontinuităţi la nivelul intersecţiilor.

În acest sens, se propune completarea cadrului de evaluare cu indicatori privind continuitatea traseelor, gradul de conectivitate între principalele zone generatoare de deplasări, proporția infrastructurii separate fizic de traficul motorizat și numărul punctelor de conflict cu circulația rutieră și pietonală.

Această abordare permite diferențierea între dezvoltarea cantitativă a infrastructurii și funcționalitatea efectivă a rețelei, oferind o bază mai relevantă pentru stabilirea priorităților investiționale în municipiul Craiova.

4. ANALIZA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR

4.1. Situația actuală din Craiova

Evaluarea infrastructurii dedicate pentru biciclete și trotinete electrice în municipiul Craiova scoate la iveală un stadiu incipient al dezvoltării mobilității alternative. Conform datelor utilizate în lucrare, orașul dispune de aproximativ 20 km de piste de biciclete, majoritatea discontinue, amplasate fie pe trotuare, fie pe benzi comune cu traficul auto; analiza ECF din 2026 descrie un traseu de circa 8 km în centrul orașului [6], diferență care trebuie clarificată prin inventarul GIS. Această configurație limitează semnificativ siguranța utilizatorilor și descurajează utilizarea frecventă a acestor mijloace de transport.

Zonele centrale, precum Calea București, Calea Severinului, Bulevardul Carol I, Bulevardul 1 Mai și Strada Caracal, prezintă oportunități clare pentru extinderea rețelei velo, însă în prezent nu există un plan coerent de legare a acestor artere între ele sau de conectare cu instituții de interes public (universități, spitale, centre comerciale). PMUD semnala deja deficiențe majore pe traseele pistelor de biciclete de pe strada Caracal [7]. În plus, parcările pentru biciclete sunt extrem de puține, în general improvizate, nesupravegheate și neacoperite.

În privința trotinetelor electrice, acestea sunt utilizate mai ales de tineri, în mod individual, fără a exista un serviciu reglementat de închiriere sau o zonă dedicată parcării. Conform Codului rutier, trotinetele electrice circulă numai pe pista pentru biciclete, acolo unde aceasta există, iar în lipsa ei doar pe sectoarele de drum cu viteza maximă admisă de 50 km/h; vârsta minimă a conducătorului este de 14 ani, iar casca este obligatorie sub 16 ani pe partea carosabilă [12]. Reglementările locale sunt insuficiente pentru a preveni parcarea necontrolată a trotinetelor sau circulația acestora pe trotuare, în detrimentul pietonilor.

4.2. Comparația cu orașele europene

Pentru a înțelege mai bine decalajele, s-a realizat o comparație între Craiova și patru orașe europene de referință: **Copenhaga, Amsterdam, Paris și Viena**. Această analiză se bazează pe indicatori precum lungimea pistelor, lungimea pistelor protejate, numărul locurilor de parcare, existența sistemelor de bike-sharing și numărul estimativ de utilizatori, comparație prezentată în tabelul următor:

Tabelul 2. Comparație a principalilor indicatori de infrastructură velo și micromobilitate

Indicator	Amsterdam	Copenhaga	Paris	Viena	Craiova
Lungimea totală a infrastructurii velo (km)	767km	397km	peste 1 000 (2021)	circa 1 380	20 (estimat); ECF: circa 8 în centru
Piste protejate (km)	500	350	peste 300 (piste)	n.v.	segmente scurte, înguste
Parcări dedicate bicicletelor (număr locuri)	peste 500.000	250000	circa 60 000 + 130 000 planificate	120000	400 majoritatea neamenajate
Sistem de bike-sharing	DA	DA	DA (Vélib’)	DA	NU (închiriere doar în Parcul Romanescu)
Număr estimativ de utilizatori	450.000	300.000	Vélib’: peste 360 000 abonați	n.v.	sub 10.000

Sursa datelor: Paris [1], Viena [15], Craiova [6], [7]; celelalte valori trebuie verificate în sursele oficiale ale municipalităților (n.v. – neverificat)

5. PROPUNERI DE SOLUȚII

În contextul identificării deficienţelor infrastructurii existente din Craiova şi al modelelor de succes analizate în oraşe europene precum Amsterdam, Copenhaga, Paris sau Viena, acest capitol propune o serie de măsuri structurale, funcţionale şi strategice care pot contribui la dezvoltarea unei reţele urbane moderne şi sustenabile de micromobilitate.

5.1. Principii de proiectare şi cadrul tehnic

Reţeaua propusă trebuie să respecte cele cinci cerinţe de bază din manualul olandez CROW: coeziune, caracter direct, siguranţă, confort şi atractivitate [19]. Studiile de preferinţe arată că atât bicicliştii, cât şi persoanele care nu folosesc bicicleta preferă pistele separate faţă de circulaţia în trafic mixt, mai ales acolo unde traficul auto este intens şi rapid, iar intersecţiile sunt punctele slabe ale reţelei [5]. Un studiu de tip case-crossover realizat în Toronto şi Vancouver a constatat că pistele separate fizic au avut cel mai redus risc de accidentare dintre cele 14 tipuri de trasee analizate, cu un raport al şanselor de 0,11 faţă de străzile principale cu parcare şi fără amenajări pentru biciclete [20].

În România, proiectarea pistelor de ciclişti are la bază STAS 10144/2-91 [21], iar regimul juridic al trotinetelor electrice este stabilit prin OUG nr. 13/2020 [12]. Deoarece trotinetele pot circula pe carosabil numai pe sectoarele cu limita de 50 km/h, reţeaua pentru micromobilitate trebuie proiectată comun pentru biciclete şi trotinete, cu prioritate pe arterele unde viteza nu poate fi redusă. Tabelul 3 propune, orientativ, tipul de amenajare în funcţie de contextul stradal.

Tabelul 3. Tipuri de amenajări propuse în funcţie de contextul stradal (orientativ)

Context stradal	Amenajare propusă	Justificare
Bulevarde cu 2×2 benzi şi limita de 50 km/h (Calea Bucureşti, Bd. Carol I, Bd. 1 Mai, Calea Severinului)	Pistă unidirecţională pe fiecare sens, separată fizic de carosabil	Preferinţa utilizatorilor şi riscul cel mai redus pe piste separate [5], [20]
Străzi colectoare cu trafic moderat	Bandă ciclabilă marcată, cu separatori uşori	Implementare rapidă, cost redus, cu posibilitate de consolidare ulterioară [17]
Străzi locale şi zone rezidenţiale	Trafic mixt în zone cu limita de 30 km/h	Reducerea numărului de victime în zonele cu viteză redusă [22]
Parcuri şi coridoare verzi (Parcul Nicolae Romanescu)	Alei ciclabile separate de aleile pietonale	Siguranţă şi atractivitate [19]
Intersecţii majore	Traversări marcate, semaforizare cu fază pentru bicicliști, linie de oprire avansată	Intersecţiile sunt punctul slab al reţelei [5]

Selectarea soluției de amenajare a infrastructurii ciclabile trebuie realizată în funcție de caracteristicile geometrice și funcționale ale străzii, intensitatea și compoziția traficului rutier, viteza de circulație, disponibilitatea spațiului în profil transversal și particularitățile intersecțiilor.

În cazul arterelor urbane cu volume ridicate de trafic motorizat, separarea fizică a fluxurilor de micromobilitate reprezintă o soluție preferabilă din perspectiva siguranței și a confortului utilizatorilor. Pe străzile locale, caracterizate prin viteze și intensități reduse ale traficului, pot fi analizate soluții de circulație mixtă, condiționate de aplicarea unor măsuri eficiente de calmare a traficului.

O atenție deosebită trebuie acordată continuității infrastructurii în dreptul intersecțiilor, stațiilor de transport public, acceselor la proprietăți și zonelor cu fluxuri pietonale importante. În aceste puncte, soluțiile de proiectare trebuie să urmărească reducerea conflictelor dintre participanții la trafic, asigurarea vizibilității reciproce și evitarea modificărilor bruște ale traseului ciclabil.

Pentru municipiul Craiova, aplicarea acestor principii presupune analizarea individuală a principalelor coridoare propuse, în corelare cu profilurile transversale existente și cu posibilitățile de reorganizare a spațiului stradal, fără afectarea nejustificată a accesibilității pietonale și a funcționării transportului public.

5.2. Plan pentru extinderea rețelei velo în Craiova

Pentru a transforma Craiova într-un oraș prietenos cu bicicliștii și utilizatorii de trotinete electrice, este necesar un plan integrat de extindere a infrastructurii velo. Acest plan ar trebui implementat în mai multe etape, începând cu:

- Crearea de piste dedicate pe principalele bulevarde: Calea București, Bulevardul 1 Mai, Bulevardul Carol I, Strada Caracal, Calea Severinului. Aceste piste trebuie să fie protejate fizic (cu separatori de trafic) și continue, fără întreruperi la intersecții majore [5].

- Conectarea pistelor cu instituții-cheie: Universitatea din Craiova, Spitalul Județean, Parcul Nicolae Romanescu, gara și autogara.

- Crearea unei axe velo nord-sud și est-vest, pentru a facilita deplasările zilnice.

Pentru a obține rapid efecte măsurabile, prima axă poate fi realizată în regim de amenajare temporară (separatori, marcaje, stâlpișori), urmată de consolidarea definitivă. În 106 orașe europene, pistele temporare realizate în 2020 – în medie 11,5 km pe oraș, în circa patru luni – au crescut volumul de bicicliști cu 11–48% [17]. Pentru Craiova se recomandă instalarea unor contoare automate înainte de intervenție, astfel încât efectul să poată fi măsurat.

5.3. Parcări inteligente și infrastructură de sprijin

O componentă esențială este oferirea de facilități moderne de parcare pentru biciclete și trotinete:

- Parcări securizate, acoperite și supravegheate video lângă stațiile de autobuz și tramvai, gară, autogară, instituții publice și centre comerciale, după modelul parcărilor de mare capacitate de la nodurile de transport [14].

- Stații de încărcare pentru trotinete electrice alimentate prin panouri fotovoltaice, integrate în sistemul de mobilier urban (ex. lângă biblioteci, universitate, centre culturale).

- Parcări modulare mobile, amplasabile temporar în zone aglomerate sau în timpul evenimentelor publice.

5.4. Sistem public de bike-sharing

Inspirat de sistemele din Paris şi Viena, Craiova poate implementa un serviciu municipal de bike-sharing, care să ofere:

- Biciclete şi trotinete electrice inteligente, dotate cu GPS şi trackere pentru prevenirea furturilor.
- Aplicație mobilă unică, cu funcţii de planificare a traseului, localizare a vehiculelor, plată şi integrare cu transportul RAT Craiova.
- Posibilitatea abonamentelor integrate cu sistemul de transport public, oferind reduceri pentru utilizatorii frecvenţi sau studenţi.

Literatura arată că deplasările cu bike-sharing înlocuiesc mai ales deplasări cu transportul public şi mersul pe jos, şi mai puţin deplasări cu autoturismul, iar comoditatea este principala motivație a utilizatorilor; riscul de accidentare raportat este mai redus decât în cazul ciclismului privat [23]. De aceea, staţiile trebuie amplasate dens, la nodurile RAT Craiova, la universitate şi la gară, iar sistemul trebuie evaluat prin indicatori de utilizare (călătorii pe zi și pe vehicul), nu doar prin numărul de vehicule.

5.5. Măsuri pentru siguranţa rutieră

Fără o siguranţă reală percepută, micromobilitatea urbană nu poate deveni o alternativă viabilă. Propunerile includ:

- Marcaje speciale şi semnalizare clară pentru toate pistele de biciclete şi intersecţiile acestora cu traficul rutier.
- Zone cu viteză limitată (20–30 km/h) în proximitatea şcolilor, parcurilor şi centrelor culturale [22].
- Campanii de educație rutieră și programe de formare pentru utilizatorii vulnerabili, inspirate din „Savoir Rouler à Vélo” din Franța.
- Semaforizare adaptată pentru bicicliști, similar cu sistemele din Amsterdam și Viena.

Pentru micromobilitate, Forumul Internațional al Transporturilor recomandă alocarea de spațiu protejat, reglementarea trotinetelor cu viteză redusă similar bicicletelor, concentrarea măsurilor de siguranță asupra vehiculelor motorizate și colectarea sistematică a datelor privind deplasările și accidentele [11].

5.6. Politici publice şi cadre de reglementare

Pentru ca infrastructura fizică să fie eficientă, este nevoie de o strategie locală coerentă:

- Elaborarea unei Strategii de Micromobilitate Urbană 2027–2035, cu obiective clare, indicatori de performanţă şi termene de implementare.
- Reglementarea utilizării trotinetelor electrice, în limitele stabilite de OUG nr. 13/2020 [12], prin delimitarea zonelor de circulaţie, parcări obligatorii şi interzicerea utilizării pe trotuare aglomerate.
- Colectarea de date (prin aplicaţii mobile şi senzori rutieri) privind fluxurile de micromobilitate, pentru a fundamenta deciziile investiţionale şi urbanistice.

5.7. Participare publică şi parteneriate locale

Succesul implementării depinde de implicarea tuturor actorilor locali:

- Consultări publice, prin platforme online şi ateliere urbane cu cetăţenii, ONG-urile şi mediul academic.
- Parteneriate cu Universitatea din Craiova şi firme de IT locale pentru dezvoltarea de soluţii digitale (aplicaţii, hărţi interactive, sisteme de raportare).
- Pilotarea unei zone de mobilitate alternativă, în zone frecventate de tineret, pentru testarea în condiţii reale a noii infrastructuri.

5.8. Etapizare, finanţare şi indicatori de monitorizare

Implementarea este propusă în patru etape (Tabelul 4), astfel încât fiecare investiţie să fie precedată de o situaţie de referinţă măsurată şi urmată de evaluarea efectelor.

Tabelul 4. Etapizarea propusă a implementării

Etapă	Orizont	Acțiuni	Rezultat măsurabil
1. Pregătire	0–6 luni	Inventar GIS al rețelei existente; contoare automate; actualizarea datelor din PMUD; consultare publică	Situația de referință (anul 0)
2. Pilot	6–18 luni	O axă amenajată temporar (de exemplu, Calea București – centru – Universitate); parcări la gară, autogară și universitate; regulament local pentru trotinete	Variația volumului de bicicliști pe axa-pilot
3. Consolidare	2–4 ani	Transformarea pilotului în pistă permanentă; axele nord–sud și est–vest; zone cu limita de 30 km/h	Lungimea rețelei continue și separate
4. Integrare	3–5 ani	Bike-sharing integrat cu RAT Craiova; aplicație intermodală; abonamente comune	Utilizări pe zi; abonamente integrate

Pentru finanțare, Programul Regional Sud-Vest Oltenia 2021–2027 include Prioritatea 4 – Mobilitate urbană durabilă, cu o alocare de 115,9 milioane de euro, din care pot fi finanțate trasee pentru pietoni și bicicliști, sisteme park & ride și digitalizarea transportului urban; pentru municipiile reședință de județ, granturile se situează între 0,5 și 25 de milioane de euro [24]. Prin PNRR, Componenta C10 – Fondul local, investiția I.1.4 a finanțat infrastructură pentru biciclete în municipiile din România [25]. Cadrul european favorizează finanțarea orașelor care dispun de PMUD [9], ceea ce face necesară actualizarea PMUD din 2017 cu rețeaua propusă.

Pentru monitorizare se propun indicatorii din Tabelul 5, compatibili cu setul european SUMI [18]. Valorile-țintă trebuie stabilite în strategia locală de micromobilitate, pornind de la situația de referință măsurată în etapa 1.

Tabelul 5. Indicatori propuşi pentru monitorizare

Indicator	Mod de măsurare	Frecvență
Lungimea rețelei continue, pe tipuri (separată, marcată, trafic mixt în zone 30)	Inventar GIS	Anual
Ponderea bicicletei și a trotinetei în deplasări	Anchetă de mobilitate, aliniată la SUMI	La 2–3 ani
Volumul de bicicliști pe axele principale	Contoare automate	Continuu
Locuri de parcare pentru biciclete, din care securizate	Inventar	Anual
Accidente cu bicicliști și utilizatori de trotinete	Date ale Poliției Române	Anual
Utilizarea bike-sharing	Date ale operatorului (călătorii pe zi și pe vehicul)	Lunar
Percepția siguranței	Chestionar pe eșantion reprezentativ	Anual

6. CONCLUZII ŞI RECOMANDĂRI

6.1. Sumarizarea rezultatelor: soluţiile cele mai potrivite pentru Craiova

Lucrarea de față a evidențiat decalajul major existent între orașele europene cu infrastructură dezvoltată de micromobilitate și situația actuală din municipiul Craiova. Prin analiza comparativă a strategiilor de mobilitate din Amsterdam, Copenhaga, Paris și Viena, s-au identificat modele funcționale care pot fi adaptate local, ținând cont de specificul urbanistic, cultural și socio-economic al Craiovei.

Printre cele mai relevante soluții identificate pentru Craiova se regăsesc:

- dezvoltarea unei rețele coerente de piste pentru biciclete și trotinete, cu separare fizică și semnalizare rutieră corespunzătoare;
- implementarea unui sistem municipal de bike-sharing, integrat cu transportul public;
- crearea de stații de parcare securizate și de puncte de încărcare pentru trotinete electrice;
- adoptarea unor reguli locale de circulație și viteză adaptate pentru utilizatorii vulnerabili;
- promovarea educației rutiere și a conștientizării privind avantajele mobilității active.

6.2. Impactul aşteptat asupra municipiului Craiova

Implementarea graduală a acestor soluţii ar genera transformări importante asupra calităţii vieţii urbane:

- Reducerea traficului rutier: o reţea funcţională de micromobilitate poate reduce traficul auto în zonele centrale;

- Îmbunătățirea calității aerului: prin înlocuirea parţială a deplasărilor auto se reduc emisiile locale; efectul asupra concentraţiilor de NO_2 şi PM10 trebuie estimat prin modelare.

- Creșterea siguranței în trafic: delimitarea clară a pistelor şi scăderea vitezelor în zonele urbane reduc riscul pentru utilizatorii de biciclete şi trotinete – în Londra, zonele cu limita de 20 mph (circa 30 km/h) au fost asociate cu o reducere de 41,9% a numărului de victime [22], iar pistele separate fizic au prezentat cel mai redus risc de accidentare dintre tipurile de trasee analizate [20].

- Promovarea activităţii fizice şi a unui stil de viaţă sănătos, cu efecte asupra reducerii obezităţii, problemelor respiratorii şi a stresului cotidian.

- Creșterea atractivității orașului pentru turişti şi investitori, prin îmbunătățirea mobilităţii şi aspectului urban.

6.3. Direcţii viitoare: paşi concreţi de implementare

Pentru ca tranziția către un sistem de mobilitate sustenabilă să devină realitate, este necesară o abordare multidimensională, pe termen mediu şi lung. Direcţiile recomandate sunt:

- Elaborarea unei Strategii de Micromobilitate Urbană 2025–2035, cu obiective clare şi indicatori de performanţă;

- Accesarea fondurilor europene disponibile, precum Programul Regional Sud-Vest Oltenia 2021–2027, Prioritatea 4 – Mobilitate urbană durabilă [24], PNRR (Componenta C10 – Fondul local) [25] şi Horizon Europe;

- Crearea unui parteneriat activ între Primărie, Universitatea din Craiova, ONG-uri de profil şi sectorul privat, în special în zona IT şi transport;

- Pilotarea unor zone Smart Mobility – în special în jurul campusului universitar şi al Parcului Nicolae Romanescu;

- Monitorizarea continuă a impactului prin platforme digitale şi sisteme de colectare a datelor, care pot sprijini decizii rapide şi eficiente în managementul traficului alternativ.

BIBLIOGRAFIE

[1]. VILLE DE PARIS: *“Un nouveau plan vélo pour une ville 100 % cyclable (Plan Vélo 2021–2026)”*, https://www.paris.fr, consultat **2026**.

[2]. J. PUCHER, R. BUEHLER: *“Making cycling irresistible: lessons from the Netherlands, Denmark and Germany”*, Transport Reviews, vol. **28**, nr. 4, pp. **495–528**, **2008**.

[3]. J. PUCHER, R. BUEHLER (ed.): *“City Cycling”*, MIT Press, Cambridge (MA), **2012**.

[4]. R. BUEHLER, J. PUCHER (ed.): *“Cycling for Sustainable Cities”*, MIT Press, Cambridge (MA), **2021**.

[5]. R. BUEHLER, J. DILL: *“Bikeway networks: a review of effects on cycling”*, Transport Reviews, vol. **36**, nr. 1, pp. **9–27**, **2016**. DOI: 10.1080/01441647.2015.1069908.

[6]. EUROPEAN CYCLISTS’ FEDERATION: *“Building cycle-friendly cities: A look into Craiova and Slatina’s efforts to improve active mobility”*, ECF, Bruxelles, 26.03.2026.

[7]. ADI ZONA METROPOLITANĂ CRAIOVA: *“Planul de Mobilitate Urbană Durabilă al Polului de Creștere Craiova 2016–2030 – Raport final”*, versiunea 2, august **2017**.

[8]. COMISIA EUROPEANĂ: *“Noul cadru al UE pentru mobilitatea urbană”*, COM(2021) 811 final, Bruxelles, 14.12.2021.

[9]. EUROPEAN CYCLISTS’ FEDERATION: *“ECF analysis: New European Urban Mobility Framework is a major win for cycling”*, ECF, Bruxelles, 22.12.2021.

[10]. *“Declarația europeană privind ciclismul (C/2024/2377)”*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, seria C, **2024**.

[11]. INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM: *“Safe Micromobility”*, ITF/OECD, Paris, **2020**.

[12]. *“Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 13/2020 pentru modificarea și completarea OUG nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 102 din 11.02.2020.

[13]. M. GIVONI, D. BANISTER (ed.): *“Integrated Transport: From Policy to Practice”*, Routledge, Londra, **2010**.

[14]. BICYCLE NETWORK: *“Amsterdam’s underwater bike garage opens with 7,000 spaces”*, 31.01.2023.

[15]. STADT WIEN: *“Straßen – Statistik (Radverkehrsanlagen)”*, https://www.wien.gv.at/statistik/verkehr-wohnen/strassen/, consultat **2026**.

[16]. WIENER LINIEN: *“WienMobil – Integrated Urban Mobility”*, Viena, **2023**.

[17]. S. KRAUS, N. KOCH: *“Provisional COVID-19 infrastructure induces large, rapid increases in cycling”*, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. **118**, nr. 15, e2024399118, **2021**. DOI: 10.1073/pnas.2024399118.

[18]. EUROPEAN COMMISSION: *“Sustainable Urban Mobility Indicators (SUMI)”*, Bruxelles, **2020**.

[19]. DUTCH CYCLING EMBASSY: *“Cycling infrastructure – five basic design principles (CROW Design Manual for Bicycle Traffic)”*, https://dutchcycling.nl, consultat **2026**.

[20]. K. TESCHKE, M.A. HARRIS, C.C.O. REYNOLDS, M. WINTERS, S. BABUL, M. CHIPMAN, M.D. CUSIMANO, J.R. BRUBACHER, G. HUNTE, S.M. FRIEDMAN, M. MONRO, H. SHEN, L. VERNICH, P.A. CRIPTON: *“Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: a case-crossover study”*, American Journal of Public Health, vol. **102**, nr. 12, pp. **2336–2343**, **2012**. DOI: 10.2105/AJPH.2012.300762.

[21]. STAS 10144/2-91: *“Străzi. Trotuare, alei de pietoni și piste de cicliști. Prescripții de proiectare”*, **1991**.

[22]. C. GRUNDY, R. STEINBACH, P. EDWARDS, J. GREEN, B. ARMSTRONG, P. WILKINSON: *“Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986–2006: controlled interrupted time series analysis”*, BMJ, vol. **339**, b4469, **2009**. DOI: 10.1136/bmj.b4469.

[23]. E. FISHMAN: *“Bikeshare: A review of recent literature”*, Transport Reviews, vol. **36**, nr. 1, pp. **92–113**, **2016**. DOI: 10.1080/01441647.2015.1033036.

[24]. ADR SUD-VEST OLTENIA: *“Programul Regional Sud-Vest Oltenia 2021–2027 – prezentarea programului”*, Craiova, **2023**.

[25]. PRIMĂRIA MUNICIPIULUI CLUJ-NAPOCA: *“Comunicat de presă – piste de biciclete finanțate prin PNRR”*, Componenta C10 – Fondul local, investiția I.1.4, octombrie **2023**.

NOI METODE SOFTWARE ÎN DIMENSIONAREA STRUCTURILOR RUTIERE RIGIDE

Dragomir Mihai Liviu, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: mihai.dragomir@cfdp.utcluj.ro
Nicoară Dragoş Traian, ing., SC NICOL ROM SRL Cluj-Napoca, e-mail: dragosnicoara1@gmail.com
Danciu Alexandra Denisa, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: alexandra.danciu@cfdp.utcluj.ro
Ciotlăuş Mădălina Adriana, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: madalina.ciotlaus@cfdp.utcluj.ro
Marusceac Vladimir, şef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: vladimir.marusceac@cfdp.utcluj.ro

Rezumat

Dimensionarea structurilor rutiere rigide, utilizând metode software, conduce la timpi mai scurți de proiectare, lipsa erorilor umane precum și o evaluare mai bună a stării de eforturi și deformații din structura rutieră în raport cu normativele în vigoare din țara noastră. Rezultă în final o grosime de dală rapid, eficient și corect dimensionată. Lucrarea de față, prezintă un soft de calcul original, conceput și validat în cadrul elaborării unei lucrări de disertație. Ipotezele de dimensionare au fost verificate și validate prin softul @DimSrr dezvoltat de ing. Nicoară Dragoș – Traian, iar valorile modulului de reacție K respectiv grosimea dalei din beton de ciment rutier (obținute utilizând soft-ul menționat) au valori apropiate cu cele calculate manual și prin rotunjire se obține în final aceeași grosime a dalei de beton. Calculul manual însă, implică un timp mai îndelungat de rezolvare precum și probabilitatea unor erori de calcul. În cazul utilizării softului erorile de calcul sunt zero. Softul a fost conceput atât pentru sistem operare Windows și Mac iar limbajul de programare utilizat a fost Java.

Cuvinte cheie: Structuri rutiere rigide, Soft original de dimensionare, Ipoteze de calcul, Dală beton de ciment rutier, Java.

Abstract

The dimensioning of rigid road structures, using automatic calculation methods, leads to shorter design times, the absence of human errors as well as a better assessment of the state of stresses and deformations in the road structure in relation to the regulations in force in our country. In the end, the result is a quickly, efficient and correctly sized slab thickness. The present paper presents an original calculation software, designed and validated during the

elaboration of a dissertation paper by studying the 3 hypotheses for the calculation of rigid road structures. The sizing hypotheses were verified and validated by @DimSrr software and the values of the reaction module K and the thickness of the road cement concrete slab (obtained using @DimSrr) have values close to those calculated manually. The manual calculation, however, implies a longer time to solve as well as the probability of calculation errors. In the case of using the @DimSrr software, the calculation errors are zero. The software was designed for both Windows and Mac operating systems and the programming language used was Java.

Keywords: Rigid Road Structures, Original Sizing Software, Calculation Assumptions, Road Cement Concrete Slab, Java.

1. INTRODUCERE

În dimensionarea structurilor rutiere rigide, stabilirea grosimii dalei din beton de ciment reprezintă o etapă esențială pentru asigurarea capacității portante și a comportării în exploatare. În practica din România, procedura de calcul este reglementată prin NP 081-2002, care corelează traficul, caracteristicile betonului, condițiile climatice și capacitatea portantă a terenului de fundare, pe baza unor ipoteze și diagrame de dimensionare [1]. Structurile rutiere rigide sunt utilizate atât pentru drumuri, cât și pentru platforme industriale, suprafețe logistice și alte zone supuse traficului greu, pentru care alegerea adecvată a grosimii dalei are consecințe tehnice și economice importante [2].

Fundamentele mecanice ale dimensionării dalelor de beton pe suport elastic sunt asociate studiilor clasice ale lui Westergaard privind tensiunile produse de încărcările din trafic și de variațiile de temperatură [3,4]. Ulterior, procedurile de proiectare au integrat relații și criterii practice de dimensionare, aplicate și la suprafețe destinate parcării, pentru care există recomandări de proiectare specifice [5]. Sintezele consacrate analizei și proiectării structurilor rutiere evidențiază importanța corelării stării de eforturi cu proprietățile materialelor, caracteristicile suportului și condițiile de solicitare [6].

O atenție deosebită revine condițiilor de rezemare a dalei. Modulul de reacție și uniformitatea suportului influențează răspunsul structural, iar straturile de bază și fundație contribuie, în funcție de soluția constructivă, la asigurarea unei uniformități mărite, la ruperea capilarității precum și la limitarea degradărilor asociate condițiilor de fundare. Ghidurile tehnice ale Federal Highway Administration subliniază rolul alcătuirii și execuției acestor straturi în comportarea pe termen lung a îmbrăcăminților din beton [7]. De asemenea,

recomandările privind conservarea şi reabilitarea îmbrăcăminţilor existente arată că performanţa în exploatare nu depinde exclusiv de grosimea iniţială a dalei [8].

Pe plan internaţional, proiectarea structurilor rutiere a evoluat de la metode empirice şi grafice către abordări mecanic-empirice, în care răspunsul structurii este corelat cu indicatori de performanţă. Ghidul AASHTO de dimensionare a structurilor rutiere [9] şi ediţia ulterioară a ghidului mecanic-empiric [10] ilustrează această evoluţie metodologică. Aplicaţia AASHTOWare Pavement ME Design permite utilizarea sistematică a datelor despre trafic, materiale şi climă în analiza alternativelor de proiectare [11], iar experienţa de implementare a acestor instrumente a fost sintetizată în publicaţii dedicate adoptării lor la nivelul administraţiilor rutiere [12].

Utilizarea programelor de calcul nu se limitează la determinarea grosimii stratului structural. De exemplu, HIPERPAV III este un instrument informatic destinat analizării comportării betonului la vârste timpurii şi influenţei variabilelor de material, mediu şi execuţie [13]. Sunt disponibile şi instrumente specializate de analiză a structurilor rutiere din beton armat continuu [14], în timp ce metodele de proiectare a dalelor pentru suprafeţe industriale oferă exemple suplimentare ale particularizării procedurilor de dimensionare la destinaţia şi solicitările structurii [15]. Aceste aplicaţii au domenii şi ipoteze diferite, dar evidenţiază utilitatea transpunerii procedurilor de calcul în fluxuri software reproductibile.

În acest context, lucrarea prezintă aplicaţia originală @DimSrr, dezvoltată în Java pentru automatizarea dimensionării structurilor rutiere rigide conform NP 081-2002 [1]. Aplicaţia preia datele start din partea proiectantului, determină parametrii intermediari şi utilizează baze de date construite prin transpunerea diagramelor normative pentru cele trei ipoteze de dimensionare. Contribuţia nu constă în propunerea unui nou model mecanic, ci în automatizarea unei proceduri normative existente, reducând operaţiile manuale de citire şi interpolare. Rezultatele sunt comparate cu exemplele de calcul din normativ, pentru a evalua concordanţa valorilor obţinute şi a grosimilor finale adoptate. Această verificare confirmă concordanţa pentru cazurile analizate, fără a substitui verificarea independentă a datelor de intrare şi a aplicabilităţii ipotezelor normative.

2. OBIECTIVE

Lucrarea a avut drept scop dezvoltarea unei aplicaţii care simplifică şi îmbunătăţeşte modul în care este calculată grosimea dalei de beton din alcătuirea

structurilor rutiere rigide. În momentul de față calculul este efectuat manual, pe baza graficelor și a formulelor descrise în [1]. Modul de calcul prezentat este complex, necesită atenție, timp și identificarea valorilor de calcul folosind mai multe grafice. Valorile oferite de grafice sunt aproximative și pot genera erori, datorită modalității prin care acestea sunt preluate (interpolare liniară). Inginerul face un calcul aproximativ, vizual și se raportează la valorile celei mai apropiate curbe din grafic. Acest lucru produce valori imprecise și în unele cazuri chiar valori eronate, mai ales dacă proiectantul nu este unul experimentat. Prin elaborarea acestui soft de calcul automat, dorim eliminarea erorii umane și dezvoltarea unui mod mai simplu de rezolvare a problemei. Inginerul nu va mai fi nevoit să facă calcule, sau să preia datele din grafice, doar să introducă corect datele în interfața grafică iar calculatorul va afișa foarte rapid rezultatul. *Acest criteriu depinde însă și de computerul unde este executat programul precum și de timpul de introducere a datelor în aplicație de către persoana care rulează programul.*

Cerințe non funcționale: Timp de execuție scurt, Scalabilitate și Ușurința de folosire chiar și de utilizatori începători (studenți, masteranzi, debutanți).

2.1. Principii de dimensionare și alcătuire a structurilor rutiere rigide

Dimensionarea structurilor rutiere rigide se bazează pe criteriul tensiunii la întindere din încovoiere admisibilă a betonului de ciment σ_{adm}.

Pentru dimensionarea structurilor rutiere rigide este necesar să se efectueze în prealabil studii, în vederea obținerii următoarelor date:

- compoziția, intensitatea și evoluția în perspectivă a traficului;
- caracteristicile geotehnice ale pământului de fundare;
- regimul hidrologic al complexului rutier (tipul profilului transversal, modul de asigurare al scurgerii apelor de suprafață, posibilitățile de drenare, nivelul apei freatice).

Etapele principale ale dimensionării structurilor rutiere rigide sunt:

- Stabilirea traficului de calcul;
- Stabilirea capacității portante a pământului de fundare;
- Alcătuirea structurii rutiere;
- Stabilirea capacității portante la nivelul stratului de fundație;
- Calculul grosimii dalei din beton de ciment.

În funcție de clasa tehnică a drumului, structurile rutiere rigide sunt alcătuite în următoarele variante:

a. Pentru drumurile de clasă tehnică I-II, *Ipoteza 1*- Îmbrăcăminte din dale de beton de ciment rutier realizată dintr-unul sau două straturi, strat de fundație superior, strat de fundație inferior și eventual strat de formă.

b. Pentru drumuri de clasă tehnică III-IV *Ipoteza 2*, iar pentru **clasa tehnică V** *Ipoteza 3* - Îmbrăcăminte din dale de beton de ciment rutier realizată dintr-unul sau două straturi, strat de fundație și eventual strat de formă [1].

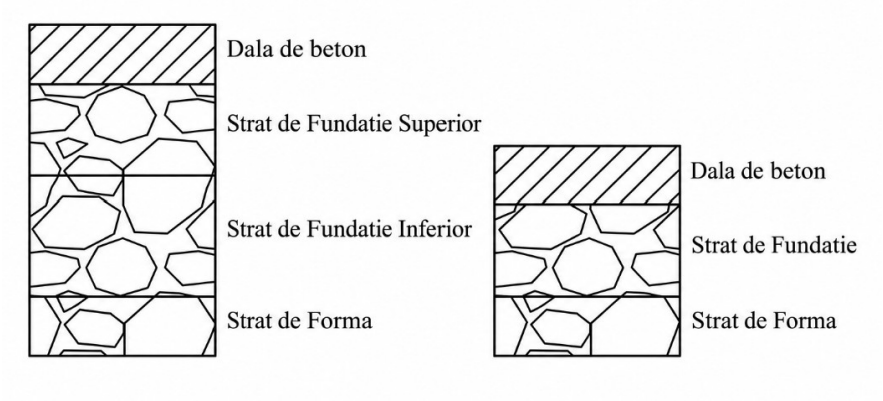


Figura 1. Structură rutieră rigidă [1]

2.2. Modul de implementare și structura de calcul

Sistemul de calcul este implementat să realizeze 5 funcții.

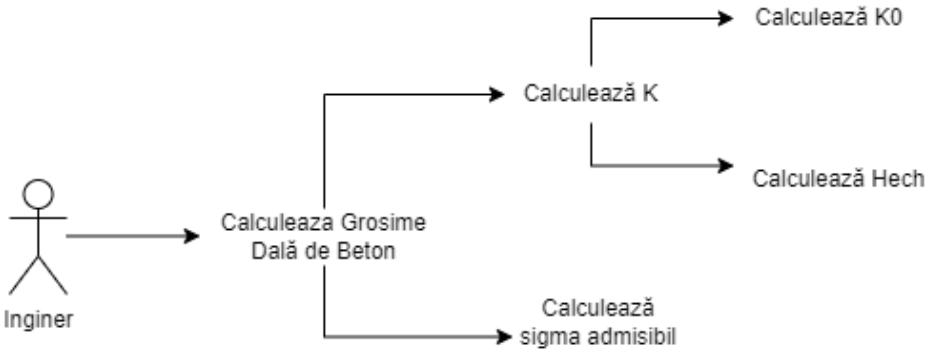


Figura 2. Diagrama de Calcul

Softul este conceput pentru realizarea a 5 funcții, în vederea stabilirii grosimii dalei de beton, în urma introducerii datelor de către inginer.

- valoarea modulului de reacție al straturilor de fundare K
- valoarea tensiunii de întindere prin încovoiere σ_{adm}
- valoarea modulului de reacție la suprafața pământului de fundare K_0
- grosimea echivalentă H_{ech}

Pe baza valorilor obținute în funcție de clasa tehnică a drumului, se parcurge fișierul de date corespunzător ipotezei de dimensionare și se ia valoarea din dreptul lui σ_{adm} și din dreptul valorilor lui K a celor mai apropiate curbe din diagramă.

Valorile citite se interpolează pe orizontală și pe verticală, iar rezultatul se aproximează prin adaos. Rezultatul este afișat utilizatorului în interfața grafică.

2.3. Stabilirea modulului de reacție K la suprafața stratului de fundare

Pentru a cunoaște capacitatea portantă la nivelul stratului de fundație este necesară determinarea modulului de reacție K la suprafața stratului de fundație.

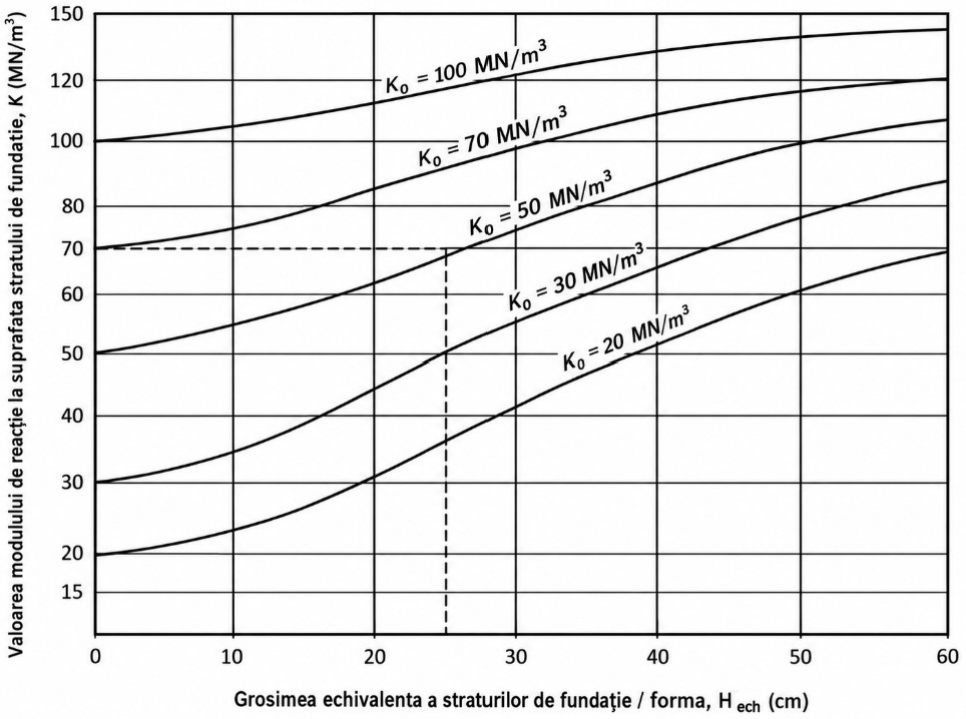


Figura 3. Modulul de reacție la suprafața straturilor de fundație [1]

În diagramă se pot deosebi 5 curbe specifice valorilor modulului de reacție al pământului de fundare. Prin interpolare cu valoarea grosimii echivalente, în dreptul curbei se obține valoarea modulului de reacție la suprafața straturilor de fundare K.

Pentru prelucrarea datelor de către sistemul de calcul este necesară crearea de date cu valorile modulului de reacție al pământului de fundare K_0 alături de valoarea grosimii echivalente.

Valorile s-au stabilit manual, prin parcurgerea fiecărei curbe din grafic la intersecția cu liniile corespunzătoare grosimii echivalente. Fișierul de date a fost validat pe baza rezultatelor obținute prin calcul automat pe baza exemplelor din normativ NP 081/2002 – *Dimensionarea structurilor rutiere rigide Anexa 5.*

	K0 = 20 MN/m3	K0 = 30 MN/m3	K0=50MN/m3	K0=70MN/m3	K0=100MN/m3
Hechiv	K	K	K	K	K
0	20	30	50	70	100
1	20.2	30.1	50.1	70.1	100.1
2	20.5	30.3	50.4	70.3	100.2
3	20.8	30.4	50.6	70.5	100.5
4	21.3	30.5	51	70.7	100.7
5	21.5	30.7	51.3	70.8	100.9
6	21.7	30.9	51.5	70.9	101.2
7	22	31.1	52	71.1	101.8
8	22.4	31.8	52.5	71.5	102.3
9	22.7	32.2	53	72	102.9
10	23.3	32.9	53.4	72.6	103.4
11	23.7	33.3	53.9	73.3	104.1
12	24.2	34	54.6	73.9	104.9
13	24.6	34.6	55.2	75	105.8
14	25	35.3	55.8	76.6	106.6
15	25.5	36.1	56.5	78.1	107.3
16	26.2	37	57.1	79.6	108.1
17	27	37.8	57.7	81.1	109
18	27.9	38.5	58.3	82.2	109.7
19	28.6	39.3	59	83.6	110.5
20	29.6	40.8	59.8	85.1	111.5
21	30.5	42	60.9	86.3	112.4
22	31.5	43.7	62	87.6	113.1
23	32.7	45	63.2	88.8	114
24	33.7	46.8	64.4	90	114.9
25	34.5	48.2	65.6	91	115.8
26	35.6	50	66.7	92.2	116.5

Figura 4. Fișierul de Date cu valorile modulului de reacție la suprafața straturilor de fundare

2.4. Diagrame de Dimensionare

Diagramele de dimensionare stau la baza dimensionării structurilor rutiere rigide. Acestea se aleg în funcție de clasa tehnică a drumului și a condițiilor climatice, pe baza încărcării combinate (încărcarea de calcul din trafic și încărcarea din gradientul de temperatură zilnică) sau doar pe baza încărcării din trafic.

Drumuri de clasă tehnică I și II

Ipoteza 1 $\sigma_i=\sigma_t+0,8 * \sigma_t \Delta t \leq \sigma adm$

Drumuri de clasă tehnică III și IV

Ipoteza 2 $\sigma_i=\sigma_t+0,8 * 0,65 * \sigma_t \Delta t \leq \sigma adm$

Drumuri de clasă tehnică V

Ipoteza 3 $\sigma_i=\sigma_t \leq \sigma_{adm}$

Unde,

σ – tensiunea la întindere din încovoiere datorată încărcării de calcul din trafic

σt Δt – tensiunea la întindere din încovoiere datorată gradientului de temperatură zilnică

Diagramele sunt formate din 6 curbe specifice valorilor modulului de reacţie al straturilor de fundare K, rezultate în urma interpolării valorii corespunzătoare curbei modulului de reacţie al pământului de fundare şi a grosimii echivalente.

Curbele au următoarele valori K=15, 30, 50, 70, 100, 150 MN/m^3.

Pe axa Y se află valori ale tensiunii de întindere din încovoiere σ (MPa) şi pe axa X se află grosimea rezultată a dalei de beton în cm. În funcţie de ipoteza de dimensionare valorile corespunzătoare axei Y diferă. În ipoteza 1 şi 2, valorile tensiunii de întindere din încovoiere sunt cuprinse între 20 şi 60 MPa, iar în cazul ipotezei 3 valorile sunt cuprinse între 10 şi 50 MPa. Valorile corespunzătoare dalei de beton rămân în toate cele 3 ipoteze între 18 şi 30 cm.

Pentru stabilirea grosimii dalei de beton se aproximează valoarea obţinută pentru K la cea mai apropiată curbă. Pe urmă în funcţie de valoarea tensiunii de întindere din încovoiere σ (MPa), se realizează interpolare liniară cu valoarea de pe curbă şi rezultată conform axei X, grosimea dalei de beton.

Pe baza diagramei de la Ipoteza 1 de dimensionare din normativul NP 081-2002, Anexa 1, s-a creat un fişier de date cu valorile grosimii dalei de beton din dreptul coloanei cu modulul de reacţie al straturilor de fundare K corespunzător, alături de valoarea tensiunii de întindere din încovoiere.

Valorile s-au stabilit manual, prin parcurgerea fiecărei curbe din grafic la intersecţia cu liniile corespunzătoare grosimii echivalente. Fişierul de date a fost validat pe baza rezultatelor obţinute prin calcul automat pe baza exemplelor din normativ NP 081/2002 – *Dimensionarea structurilor rutiere rigide Anexa 5. În mod similar au fost tratate şi celelalte două ipoteze de dimensionare pe care nu le mai prezentăm aici.*

sigmaAdm	k = 15 MN/m3	k = 30 MN/m3	K = 50 MN/m3	K = 70 MN/m3	K = 100 MN/m3	K = 150 MN/m3
20	30	30	30	30	30	30
21	30	30	30	30	30	30
22	30	30	30	30	30	30
23	30	30	30	30	30	30
24	30	30	30	30	30	30
25	30	30	30	30	30	30
26	30	30	30	30	30	30
27	30	30	30	30	30	30
28	30	30	30	30	30	29.4
29	29.6	29.4	29	29	28.6	27.8
30	28.5	28.2	28	27.8	27.5	26.4
31	27.5	27.4	27.1	26.9	26.4	25.2
32	26.6	26.6	26.3	26	25.4	24.2
33	25.9	25.9	25.6	25.3	24.5	23.2
34	25.5	25.4	25	24.5	23.7	22.2
35	25.1	24.7	24.3	23.7	22.8	21.6
36	24.6	24.3	23.6	23	22.1	20.9
37	24.2	23.7	23.1	22.3	21.5	20.2
38	23.7	23.3	22.5	21.7	20.9	19.7
39	23.3	22.7	21.9	21.3	20.4	19
40	22.8	22.3	21.4	20.8	19.8	18.5
41	22.4	21.6	21	20.3	19.3	18
42	21.9	21.4	20.5	19.8	18.7	18
43	21.6	21	20.1	19.4	18.3	18
44	21.4	20.6	19.6	18.8	18	18
45	21	20.3	19.3	18.4	18	18
46	20.7	19.8	18.8	18	18	18
47	20.4	19.4	18.5	18	18	18
48	20.1	19.1	18.1	18	18	18
49	19.8	18.7	18	18	18	18
50	19.5	18.5	18	18	18	18

Figura 5. Fișierul de date conform Ipotezei 1 de Dimensionare

2.5. Proiectare şi Implementare

Aplicația a fost proiectată în vederea parcurgerii etapelor de calcul descrise în normativ automat, prin folosirea sistemelor de calcul. Pentru aceasta s-a apelat la proiectarea şi implementarea unei interfețe grafice care să ajute utilizatorul la introducerea datelor în aplicație, dar și a părții logice care realizează calculul și parcurgerea pașilor pentru dimensionarea structurilor rutiere rigide.

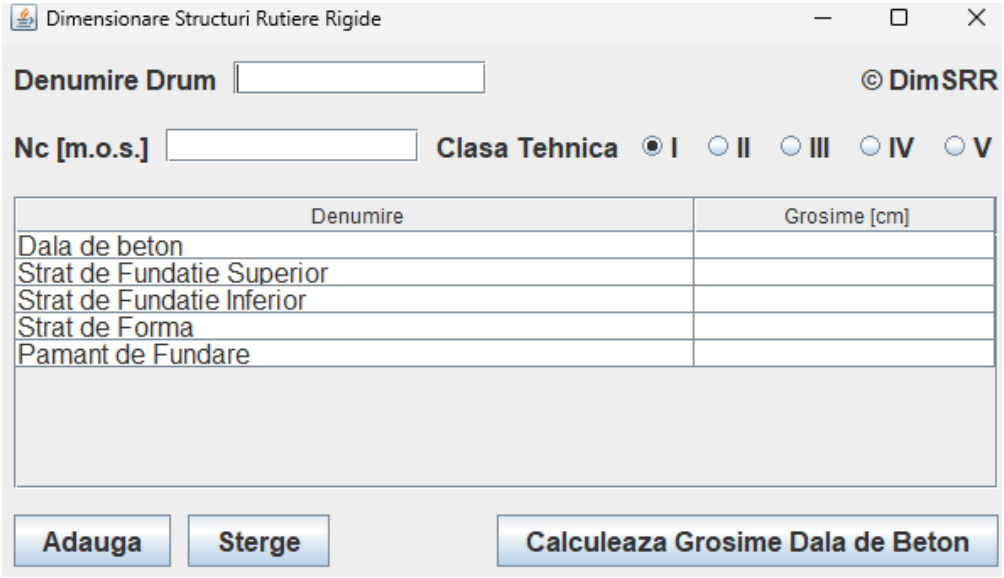


Figura 6. Interfața Grafică Soft @DimSrr

Primul pas constă în introducerea datelor în interfața grafică. După introducerea acestora, inginerul prin apăsarea butonului Calculează grosime dală de beton, declanșează funcția de calculare. Această funcție trimite către sistem comanda de execuție a 2 funcții.

- calculează valoarea modulului de reacție al straturilor de fundare K
- calculează valoarea tensiunii de întindere prin încovoiere σ_{adm}

Din acest moment aplicația se ramifică și va rula funcțiile pe rând. Prima comandă, Calculează K, iar apoi Calculează Sigma Admisibil. Pentru a realiza calculul funcția apelează alte 2 funcții, Calculează valoarea modulului de reacție la suprafața pământului de fundare și Calculează grosimea echivalentă, în ordinea în care sunt trecute.

- Calculează valoarea modulului de reacție la suprafața pământului de fundare K_0
- Calculează grosimea echivalentă H_{ech}

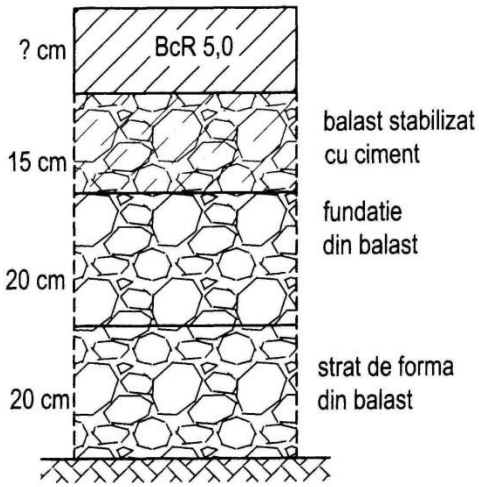
După finalizarea acestor calcule, calculatorul trimite valorile obținute la funcția care a făcut apel în vederea finalizării calculului. Aici conform datelor obținute se parcurge fișierul de date. Funcția ia valoarea din dreptul grosimii echivalente cu valoarea corespunzătoare lui K_0 de pe cele mai apropiate curbe. Pe baza valorilor obținute realizează interpolarea liniară. În cazurile în care grosimea echivalentă nu are valoare întreagă, funcția realizează și interpolarea pe verticală. Valoarea obținută se trimite înapoi la funcția care a făcut prima dată apel și se face trecerea la funcția de calcul a tensiunii de întindere din încovoiere σ_{adm}.

Pe baza valorilor obţinute în funcţie clasa tehnică a drumului, se parcurge fişierul de date corespunzător ipotezei de dimensionare şi se ia valoarea din dreptul lui σ_{adm} şi din dreptul valorilor lui K a celor mai apropiate curbe din diagramă. Valorile citite se interpolează pe orizontală şi pe verticală, iar rezultatul se aproximează prin adaos. Rezultatul este afişat utilizatorului în interfaţa grafică.

3. TESTARE SOFT, CALCUL GROSIME DALĂ ÎN IPOTEZA 1

S-a rulat prin program aceeaşi dimensionare indicată ca exemplu de calcul în NP 081/2002, Anexa 5, astfel încât eventualele erori să fie mai uşor de identificat.

Traficul de calcul N_c = 53,5 m.o.s.



T.C. II, R.H. 2a, P5

Pământ de fundare tip P5, Regim Hidrologic 2a, Tip climateric II
Structura Rutieră
- strat de fundaţie superior din balast stabilizat cu ciment
- strat de fundaţie inferior din balast
- strat de formă din balast

Clasa beton de ciment rutier BcR 5.0
Pe baza calculelor efectuate s-au obţinut următoarele rezultate
- K_0 = 46 MN/m3
- H_{ech} = 52,50 cm
- K = 96 MN/m3

- σ_{adm} = 3,37MPa
- **H_{dala} = 24,3 cm ≈ 25 cm**

Datele de mai sus au fost introduse în program, conform figurii de mai jos. Tipul climateric şi regimul hidrologic au fost selectate la adăugarea pământului de fundare.

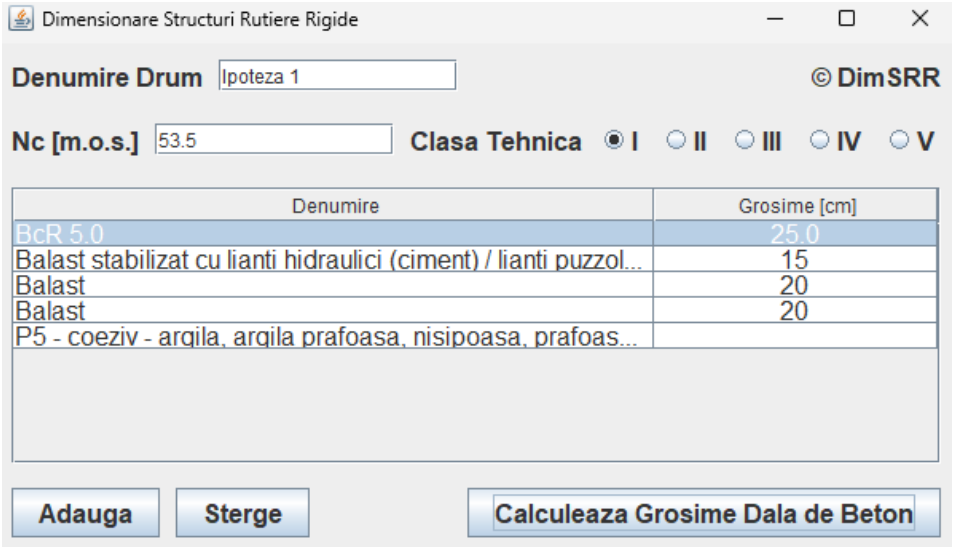


Figura 7. Test Ipoteza1 Soft @DimSrr

În fișierul Rezultat avem rezultatele obținute prin metoda software. Pentru a putea compara cele 2 rezultate, în partea stângă a figurii de mai jos au fost trecute rezultatele din normativ.

K_0 = 46 MN/m^3
H_{ech} = 52,50 cm
K = 96 MN/m^3
σ_{adm} = 3,37MPa

Hdala = 24,3 cm ≈ 25 cm

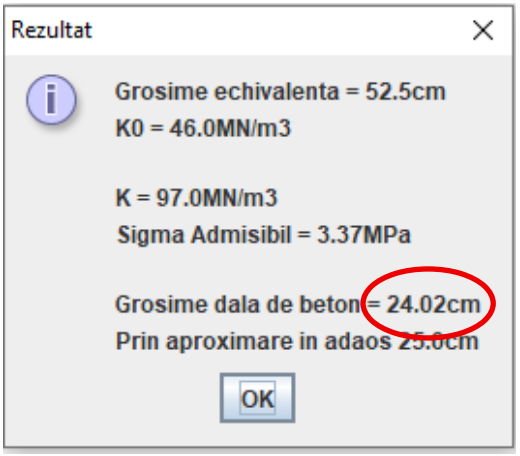


Figura 8. Rezultate obținute prin calcul software Ipoteza 1

Rezultatele obținute prin prelucrarea informațiilor de către calculator prezintă diferențe neglijabile comparativ cu cele menționate în normativ. În cazul valorii modulului de reacție al straturilor de fundare diferența este de un singur

MN/m^3, iar în cazul grosimii dalei de beton diferența este de 2.8 mm. Luând în considerare că rezultatul final este aproximat la valoarea întreagă prin adaos, rezultatul obținut prin calcul software este la fel cu cel obținut din normativ.

4. CONCLUZII

S-a dorit dezvoltarea unui program pentru automatizarea și îmbunătățirea procesului de dimensionare a structurilor rutiere rigide. În acest sens tot aparatul de calcul și etapele în vederea determinării grosimii dalelor tip BcR a fost executat în întregime de calculator, prin intermediul limbajului de programare Java. Principalul obiectiv a fost dezvoltarea unui soft care să ajute inginerul proiectant în determinarea cât mai rapidă și corectă a grosimii dalei din BcR. În consecință a fost necesară transformarea diagramelor/abacelor de dimensionare din normativ în fișiere de date. Aceste fișiere stau la baza dimensionării de către program a structurii rutiere rigide deoarece preluarea datelor din fișiere se face automat în baza unei scheme logice proprii. Prin transformarea diagramelor în date, s-a înlocuit interpolarea liniară (abordarea mecanică de calcul) cu metoda software, mult mai rapidă și fără erori pentru că datele introduse în program sunt prelucrate automat, sistemul de calcul executând toți pașii în vederea dimensionării rapide și corecte a noii structuri rutiere.

Considerăm atinse următoarele obiective:

- Calcul automat grosime dală de beton;
- Reducere timp de calcul în dimensionarea structurilor rutiere rigide;
- Eliminarea erorilor sau interpolărilor grafice care sunt aproximative;
- Prelucrarea graficelor din normative și generarea fișierelor de date;
- Crearea unei interfețe grafice ușor de utilizat chiar și de începători;
- Atenționarea inginerului proiectant în cazul omiterii introducerii unor date;

În urma analizei comparative dintre utilizarea programului și calculul clasic descris în [1], în privința rezultatelor obținute putem desprinde următoarele concluzii:

1. Se observă diferențe nesemnificative în calculul valorii modulului de reacție la suprafața stratului de fundație (K).

În cazul aplicării Ipotezei 2 de dimensionare, diferența dintre soft și calculul manual a fost de 3 MN/m^3. În cazul Ipotezei 1 diferența este de 2 MN/m^3 iar în cazul aplicării Ipotezei 3 diferența este de 1 MN/m^3.

2. Se observă mici diferenţe în ceea ce priveşte grosimea dalei de beton:

Diferențele se situează între 0.1mm şi 4 mm în funcție de ipoteza aplicată. Numeric, diferențele obținute: 2.8 mm în Ipoteza 1, 0.1mm în Ipoteza 2 şi 3.8 mm în cazul Ipotezei 3.

Pentru toate cele 3 cazuri studiate comparativ şi rulate prin soft, s-a ajuns la aceeaşi grosime finală de dală de beton.

Considerăm că softul prezentat în lucrarea de față poate constitui un instrument simplu şi rapid de dimensionare a structurilor rutiere rigide fiind validată acuratețea datelor livrate prin comparație cu normativele în vigoare, cu care desigur se află într-o strânsă legătură.

Ipoteza 1	normativ	program	Diferenta
K [MN/m3]	97	96	1
Hdala [cm]	24.3	24.02	0.28
Ipoteza 2	normativ	program	Diferenta
K [MN/m3]	72	69	3
Hdala [cm]	23.84	23.85	-0.01
Ipoteza 3	normativ	program	Diferenta
K [MN/m3]	54	52	2
Hdala [cm]	22.44	22.82	-0.38

BIBLIOGRAFIE

[1]. NP 081-**2002**. Normativ de dimensionare a structurilor rutiere rigide.

[2]. Packard, R. G. (**1984**). Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association.

[3]. Westergaard, H. M. (**1926**). Computation of Stresses in Concrete Roads. Proceedings of the Highway Research Board, 5(1), 90–118.

[4]. Westergaard, H. M. (**1927**). Analysis of Stresses in Concrete Roads Caused by Variations of Temperature. Public Roads, 8(3).

[5]. American Concrete Institute (**2008**). ACI 330R-08: Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots. ACI.

[6]. Huang, Y. H. (**2004**). Pavement Analysis and Design, 2nd ed. Pearson Prentice Hall.

[7]. Federal Highway Administration (**2016**; revizuit **2017**). Bases and Subbases for Concrete Pavements. FHWA-HIF-16-005. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif16005.pdf

[8]. Federal Highway Administration (**2014**). Concrete Pavement Preservation Guide, Second Edition. FHWA-HIF-14-004. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=1014

[9]. AASHTO (**1993**). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. ISBN 1-56051-055-2.

[10]. AASHTO (**2020**). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, 3rd ed. American Association of State Highway and Transportation Officials.

[11]. AASHTOWare. Pavement ME Design, prezentarea aplicației. https://www.aashtoware.org/products/pavement/pavement-me-design/ (accesat la 25.10.**2026**).

[12]. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (**2014**). Implementation of the AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide and Software. NCHRP Synthesis 457. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/22406

[13]. Xu, Q., Ruiz, J. M., Chang, G., Dick, J., Garber, S., Rasmussen, R. O. (**2009**). Computer-Based Guidelines for Concrete Pavements: HIPERPAV III User Manual. FHWA-HRT-09-048. https://highways.dot.gov/infrastructure/publications/pavements/FHWA-HRT-09-048

[14]. Federal Highway Administration (**2013**). Continuously Reinforced Concrete Pavement: Design Using the AASHTO Pavement ME Design Program. FHWA-HIF-13-027.

[15]. Packard, R. G. Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade. Portland Cement Association.

INFLUENȚA TEMPERATURII ȘI A CONDIȚIONĂRII ASUPRA MODULULUI DE RIGIDITATE AL MIXTURII ASFALTICE MAS 16: COMPARAȚIE ÎNTRE METODELE DE ÎNCERCARE IT-CY ȘI 4PB-PR

Drîmbă Ana-Maria, Afiliere academică: Universitatea Tehnică de Construcții București, master „Ingineria Infrastructurii Transporturilor”, Poziție curentă: ing., Laborator drumuri, CNAIR - CESTRIN (Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică), e-mail: ana.drimba@cestrin.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Articolul analizează modulul de rigiditate al unei mixturi asfaltice stabilizate de tip MAS 16, în trei stadii de condiționare: neîmbătrânită, îmbătrânită pe termen scurt (STOA) și îmbătrânită pe termen lung (LTOA). Determinările au fost realizate conform SR EN 12697-26, prin metoda IT-CY pe epruvete cilindrice și metoda 4PB-PR pe epruvete prismatice. Încercările au fost efectuate la cinci temperaturi: 0, 10, 20, 30 și 40°C, iar pentru încercarea 4PB-PR au fost analizate frecvențe între 0,3 și 30 Hz. Verificarea densității aparente a indicat variații ale probelor față de mediile seturilor în limita ±1%. Pentru ambele metode, modulul a scăzut odată cu creșterea temperaturii. Prin IT-CY, stadiul LTOA a prezentat cele mai mari valori, mai ales la 20–40°C. În schimb, la 10 Hz prin 4PB-PR, mixtura neîmbătrânită a avut în general valorile cele mai ridicate, iar stadiile condiționate au prezentat valori mai mici. Curbele izoterme și curbele directoare, raportate la temperatura de referință de 20°C, au evidențiat influența frecvenței și au permis compararea comportării celor trei stadii. Rezultatele arată că efectul condiționării depinde de metoda de încercare și trebuie interpretat în contextul geometriei epruvetei și al solicitării aplicate.

Cuvinte cheie: mixtură asfaltică; modul de rigiditate; IT-CY; 4PB-PR; îmbătrânire; curbe directoare

Abstract

This paper examines the stiffness modulus of a MAS 16 stabilized asphalt mixture in three conditioning states: unaged, short-term oven aged (STOA), and long-term oven aged (LTOA). Stiffness was determined in accordance with SR EN 12697-26 using IT-CY on

cylindrical specimens and 4PB-PR on prismatic specimens. Tests were performed at five temperatures: 0, 10, 20, 30, and 40°C; 4PB-PR measurements covered loading frequencies from 0,3 to 30 Hz. Apparent-density checks showed deviations within ±1% of the mean for each specimen set. For both methods, the stiffness modulus decreased as temperature increased. IT-CY results showed the highest values for LTOA, particularly at 20–40°C. In contrast, at 10 Hz in 4PB-PR, the unaged mixture generally exhibited the highest stiffness, while the conditioned mixtures showed lower values. Isothermal curves and master curves at a reference temperature of 20°C highlighted the influence of loading frequency and enabled comparison of the three conditioning states. The results indicate that the effect of conditioning depends on the test method and should be interpreted in the context of specimen geometry and loading mode.

Keywords: asphalt mixture; stiffness modulus; IT-CY; 4PB-PR; aging; master curves

1. INTRODUCERE

Mixturile asfaltice sunt materiale vâscoelastice utilizate în straturile rutiere, iar comportarea lor mecanică depinde de compoziție, de proprietățile liantului și de condițiile de solicitare. Modulul de rigiditate exprimă răspunsul materialului la încărcare, dar nu reprezintă o constantă independentă de condițiile de încercare: temperatura și frecvența modifică raportul dintre componentele elastice și vâscoase ale răspunsului [1, 2]. În consecință, valorile modulului trebuie interpretate împreună cu temperatura, durata solicitării, starea mixturii și metoda utilizată pentru determinare.

Studiile publicate confirmă importanța acestor factori. Briliak și Remišová au analizat mixturi asfaltice tip AC11 cu bitum 50/70 și cu bitum modificat PMB 45/80-75 și au observat creșterea rigidității după îmbătrânire, cu efecte diferite în funcție de liant [3]. Remišová și Briliak au extins analiza la îmbătrânirea termo-oxidativă, radiația ultravioletă și apă, evidențiind contribuția factorilor climatici la modificarea rigidității [4]. Chomicz-Kowalska și colab. au utilizat metoda IT-CY pentru a analiza sensibilitatea la temperatură a unui beton asfaltic cu bitum spumat [5].

În paralel, cercetările privind curbele directoare urmăresc atât modul de reunire a rezultatelor obținute la temperaturi și frecvențe diferite, cât și precizia modelelor de ajustare. Vestena și colab. au comparat modele matematice și relații de deplasare timp–temperatură pentru curbele modulului dinamic [6], iar Belhaj și colab. au evaluat modele predictive pentru mixturi cu asfalt recuperat [7].

Aceste studii susţin necesitatea interpretării rezultatelor experimentale în contextul materialului analizat şi al metodei utilizate.

În acest context, articolul urmăreşte evaluarea modulului de rigiditate al unei mixturi asfaltice MAS 16 în trei stadii de condiționare, prin metodele IT-CY şi 4PB-PR. Analiza vizează influența temperaturii, a frecvenței în cazul încercării 4PB-PR şi a stadiului de condiționare, precum şi diferențele de tendință observate între cele două metode. Rezultatele obținute din încercarea 4PB-PR sunt utilizate, de asemenea, pentru construirea curbelor izoterme şi a curbelor directoare la temperatura de referință de 20°C.

2. MATERIALE ŞI METODOLOGIE

2.1. Materialul analizat şi stadiile de condiționare

Materialul analizat este o mixtură asfaltică stabilizată de tip MAS 16, provenită dintr-un sector de autostradă din România. Mixtura a fost recepționată în laborator deja preparată conform rețetei-cadru; programul experimental nu a urmărit proiectarea unei rețete noi, ci evaluarea comportării mecanice în stadii diferite de condiționare. Componentele prevăzute în documentația tehnică sunt agregate naturale din sursa Suşeni, filer produs de Romcim / CRH SA – Hoghiz, bitum rutier 50/70 MOL, fibră Viatop Premium şi aditiv SUPERPLAST, conform rețetei-cadru şi documentației aferente [8, 9].

Au fost analizate trei stadii, păstrând aceeaşi compoziție a mixturii. Stadiul I a reprezentat mixtura asfaltică neîmbătrânită, utilizată ca referință. Pentru stadiul II, mixtura necompactată a fost menținută la 135°C timp de 4 ore (STOA), condiționare asociată efectelor producerii şi punerii în operă. Pentru stadiul III, mixtura asfaltică a fost menținută la 85°C timp de 120 de ore (LTOA), procedură utilizată pentru simularea accelerată a modificărilor asociate exploatării. După condiționare, mixtura a fost adusă la temperatura de compactare de 160°C (tabelul 1).

Tabelul 1. Stadiile de condiționare analizate

Stadiu	Condiționare aplicată	Rol în programul experimental
I – neîmbătrânită	Fără condiționare suplimentară de îmbătrânire	Stadiu de referință
II – STOA	135°C, 4 h	Simularea efectelor producerii și punerii în operă
III – LTOA	85°C, 120 h	Simularea accelerată a efectelor exploatării

2.2. Pregătirea probelor și programul experimental

Pentru fiecare stadiu și fiecare tip de probă au fost confecționate câte cinci epruvete. Valorile medii utilizate în analiză au fost calculate pe baza a minimum patru rezultate valide, conform cerințelor standardelor aplicate. Probele cilindrice Marshall au fost utilizate pentru determinarea densității aparente și pentru stabilirea masei de mixtură necesare realizării plăcilor compactate cu rulou. Epruvetele cilindrice pentru încercarea IT-CY au fost obținute prin compactare giratorie, iar epruvetele prismatice pentru încercarea 4PB-PR au fost debitate din plăci compactate cu rulou.

Epruvetele prismatice au avut dimensiunile nominale de 50 × 50 × 400 mm. După compactare, plăcile au fost debitate în cel mult opt zile, iar epruvetele rezultate au fost păstrate la 20°C timp de minimum 14 zile înainte de încercare. Probele cilindrice compactate la girocompactor au fost, de asemenea, depozitate la 20°C pentru minimum 14 zile. Confecționarea probelor a urmat standardele corespunzătoare compactării Marshall, giratorii și cu rulou [10, 11, 12].

Programul experimental a inclus determinarea densității aparente, verificarea uniformității probelor și determinarea modulului de rigiditate. Încercările IT-CY au fost realizate pe epruvete cilindrice la cinci temperaturi: 0°C, 10°C, 20°C, 30°C și 40°C. Pentru încercarea 4PB-PR, aceleași temperaturi au fost combinate cu frecvențele de 0,3 Hz, 1 Hz, 8 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz și 30 Hz. Succesiunea celor două metode și tipurile de epruvete utilizate sunt sintetizate în Figura 1.

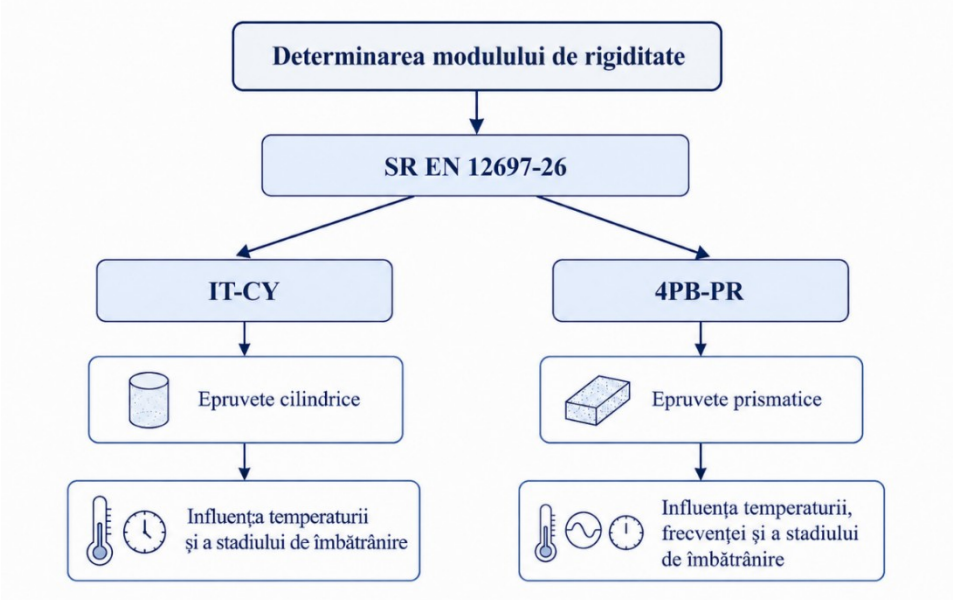


Figura 1. Metodele de încercare utilizate pentru determinarea modulului de rigiditate: IT-CY și 4PB-PR

2.3. Metode de determinare a modulului de rigiditate

Determinarea modulului de rigiditate a fost realizată conform SR EN 12697-26+A1:2022 [13]. Metoda IT-CY, prevăzută în Anexa C, presupune aplicarea unei încărcări repetate pe direcţia diametrală a epruvetei cilindrice şi măsurarea deformaţiei orizontale. Metoda 4PB-PR, prevăzută în Anexa B, constă în solicitarea repetată la încovoiere a unei epruvete prismatice în patru puncte. Prin urmare, cele două metode diferă atât prin geometria epruvetei, cât și prin modul de aplicare a solicitării.

Densitatea aparentă a fost determinată conform SR EN 12697-6 [14]. Aceasta a fost utilizată pentru caracterizarea probelor, verificarea uniformităţii seturilor şi stabilirea masei de mixtură necesare confecţionării plăcilor pentru 4PB-PR. În analiza rezultatelor, valorile IT-CY au fost comparate la aceeaşi temperatură, iar pentru comparaţia numerică între metode s-au utilizat valorile la 20°C şi frecvenţa de 8 Hz pentru încercarea 4PB-PR. Această comparaţie are rol imperativ; valorile obținute prin cele două metode nu sunt considerate direct echivalente.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.1. Verificarea uniformității probelor

Determinarea densității aparente a arătat că variațiile față de media fiecărui set s-au încadrat în limita ±1% atât pentru epruvetele cilindrice compactate giratoriu, cât și pentru epruvetele prismatice. Acest rezultat susține uniformitatea corespunzătoare a probelor înaintea încercărilor mecanice. În consecință, variațiile observate ulterior ale modulului pot fi analizate în principal în raport cu temperatura, frecvența, stadiul de condiționare și metoda de încercare, fără ca neuniformitatea densității să apară ca factor dominant.

3.2. Rezultatele obținute prin metoda IT-CY

Figura 2 prezintă variația modulului de rigiditate determinat prin IT-CY în funcție de temperatura de încercare. Pentru toate cele trei stadii, modulul scade pronunțat odată cu creșterea temperaturii. Între 0°C și 40°C, reducerea este de aproximativ 92,6% pentru mixtura neîmbătrânită, 89,7% pentru stadiul STOA și 89,4% pentru stadiul LTOA. La 0°C, valorile sunt cuprinse între 19.882 și 22.250 MPa, în timp ce la 40°C acestea scad la 1.479–2.355 MPa.

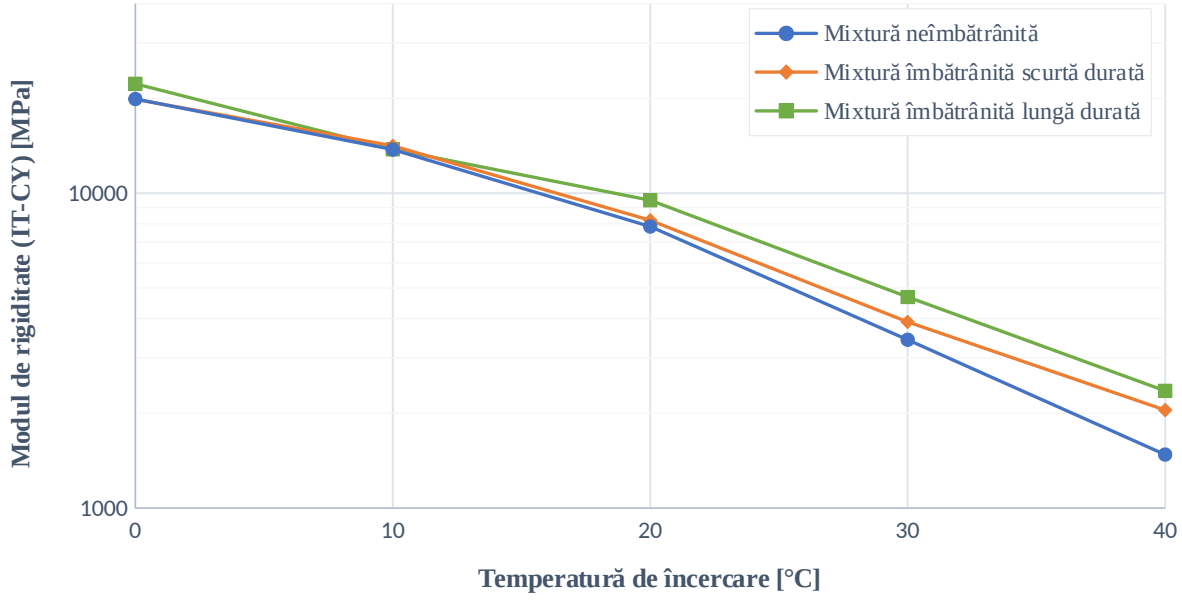


Figura 2. Variația modulului de rigiditate IT-CY în funcție de temperatură și stadiul de condiționare

Influența condiționării este mai clară la temperaturi medii și ridicate. Stadiul LTOA prezintă cele mai mari valori la 0°C și la 20–40°C, atingând 9500 MPa la 20°C, 4681 MPa la 30°C și 2355 MPa la 40°C. La 10°C, valoarea cea mai mare este asociată stadiului STOA (14139 MPa), însă diferențele dintre cele trei stadii sunt mici. Valorile mai ridicate obținute pentru LTOA la temperaturi de 20–40°C pot fi asociate rigidizării liantului bituminos în urma condiționării pe termen lung. Această interpretare rămâne una prudentă, deoarece în program nu a fost realizată o caracterizare separată a liantului recuperat.

3.3. Rezultatele obținute prin metoda 4PB-PR

Pentru compararea stadiilor în aceleași condiții de solicitare, Figura 3 prezintă valorile modulului de rigiditate 4PB-PR la 10 Hz. Se observă o scădere a modulului odată cu creșterea temperaturii pentru toate cele trei stadii. Între 0°C și 40°C, reducerea este de aproximativ 63,8% pentru mixtura neîmbătrânită, 75,6% pentru STOA și 78,3% pentru LTOA. Efectul temperaturii este, așadar, prezent în toate cazurile, dar amplitudinea reducerii diferă între stadii.

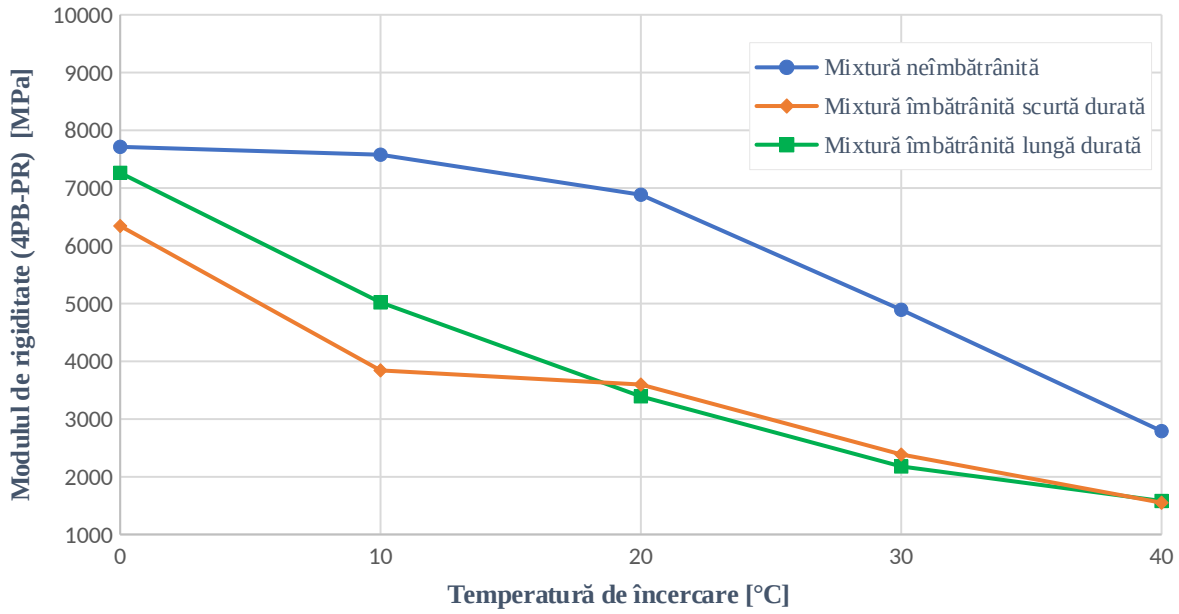


Figura 3. Variația modulului de rigiditate 4PB-PR la 10 Hz, în funcție de temperatură și stadiul de condiționare

La 10 Hz, mixtura neîmbătrânită prezintă cele mai mari valori pe întreg intervalul analizat, de la 7714 MPa la 0°C la 2790 MPa la 40°C. Stadiile

condiționate au valori mai reduse. Ordinea dintre STOA și LTOA nu este însă constantă: LTOA prezintă valori mai mari la 0°C și 10°C, STOA este ușor mai mare la 20°C și 30°C, iar la 40°C valorile sunt apropiate (1551 MPa pentru STOA și 1580 MPa pentru LTOA). Acest rezultat arată că efectul condiționării asupra epruvetelor prismatice nu poate fi redus la o creștere automată a rigidității odată cu îmbătrânirea.

3.4. Comparația rezultatelor IT-CY și 4PB-PR

Pentru o comparație la aceeași temperatură, Tabelul 2 reunește valorile IT-CY la 20°C și valorile 4PB-PR la 20°C și 8 Hz. În cazul IT-CY, modulul crește de la 7839 MPa pentru mixtura neîmbătrânită la 9500 MPa pentru LTOA. În schimb, prin 4PB-PR, cea mai mare valoare se obține pentru mixtura neîmbătrânită (6665 MPa), iar valorile stadiilor STOA și LTOA sunt de 3541 MPa, respectiv 3277 MPa.

Aceste evoluții diferite nu trebuie interpretate ca o contradicție între metode. Încercarea IT-CY solicită epruveta cilindrică prin întindere indirectă, în timp ce încercarea 4PB-PR solicită epruveta prismatică la încovoiere repetată. Geometria, modul de solicitare și structura internă a epruvetelor pot influența răspunsul măsurat. Din acest motiv, valorile celor două metode nu sunt direct echivalente, iar rezultatele trebuie analizate complementar. În cazul studiului de față, IT-CY evidențiază creșterea rigidității spre LTOA, în timp ce 4PB-PR indică un răspuns mai rigid al mixturii neîmbătrânite în condițiile de frecvență analizate.

Tabelul 2. Comparația valorilor modulului de rigiditate la 20°C

Stadiu	IT-CY [MPa]	4PB-PR la 8 Hz [MPa]
I – neîmbătrânită	7839	6665
II – STOA	8208	3541
III – LTOA	9500	3277

3.5. Curbe izoterme şi curbe directoare

Curbele izoterme obținute prin 4PB-PR descriu variația modulului în funcție de frecvență, la temperatură constantă. Figurile 4–6 prezintă curbele pentru cele trei stadii. În general, modulul crește odată cu frecvența și scade odată cu temperatura. Influența frecvenței este mai pronunțată la temperaturi ridicate: pentru mixtura neîmbătrânită, la 40°C, modulul crește de la 1215 MPa la 0,3 Hz la 3194 MPa la 30 Hz; pentru STOA, crește de la 558 la 1852 MPa; iar pentru LTOA, de la 499 la 2330 MPa. Aceste diferențe evidențiază dependența răspunsului mecanic atât de temperatură, cât și de viteza de aplicare a solicitării.

Pentru integrarea rezultatelor obținute la temperaturi diferite, curbele izoterme au fost deplasate pe axa frecvenței prin aplicarea principiului superpoziției timp–temperatură, la temperatura de referință Tref = 20°C. Curbele directoare au fost ajustate cu un model sigmoidal, iar calitatea ajustării a fost evaluată prin coeficientul de determinare R^2. Valorile obținute au fost 0,998 pentru mixtura neîmbătrânită, 0,976 pentru STOA și 0,967 pentru LTOA, indicând o concordanță bună între datele experimentale și curbele ajustate.

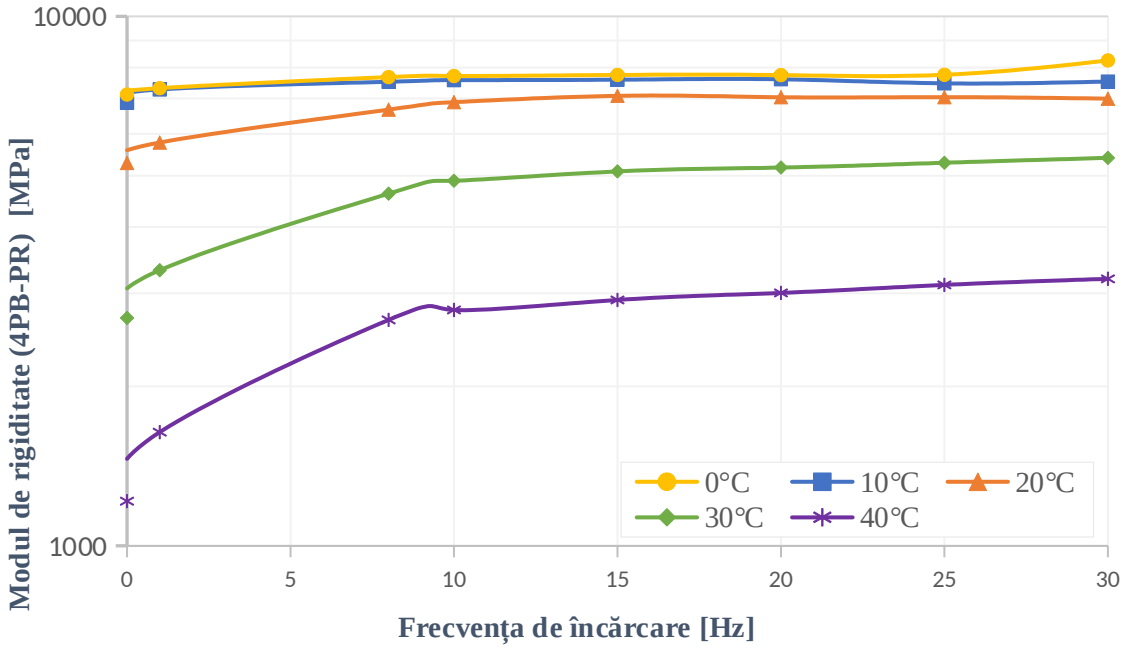


Figura 4. Curbele izoterme ale modulului de rigiditate 4PB-PR pentru mixtura neîmbătrânită

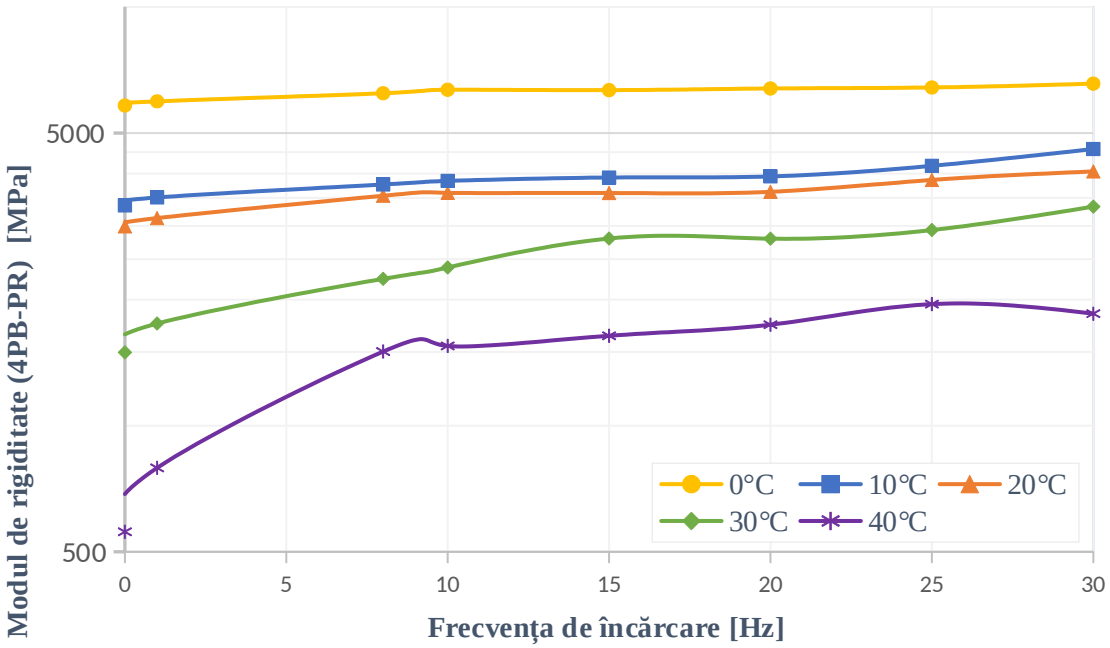


Figura 5. Curbele izoterme ale modulului de rigiditate 4PB-PR pentru stadiul STOA

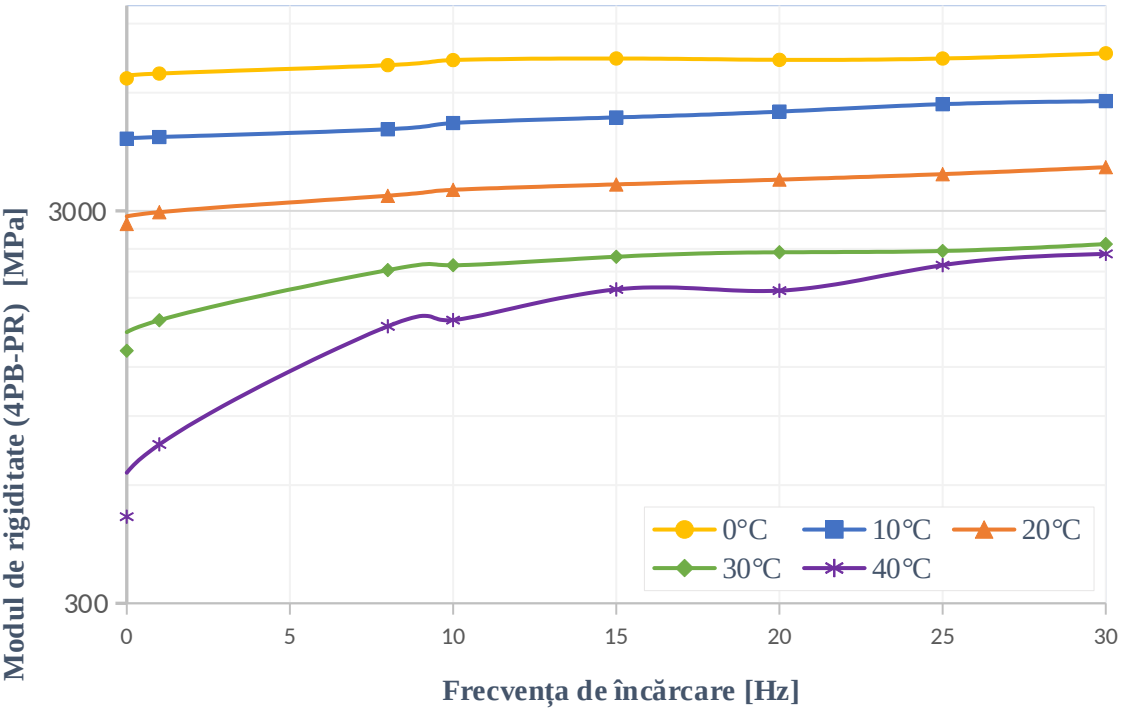


Figura 6. Curbele izoterme ale modulului de rigiditate 4PB-PR pentru stadiul LTOA

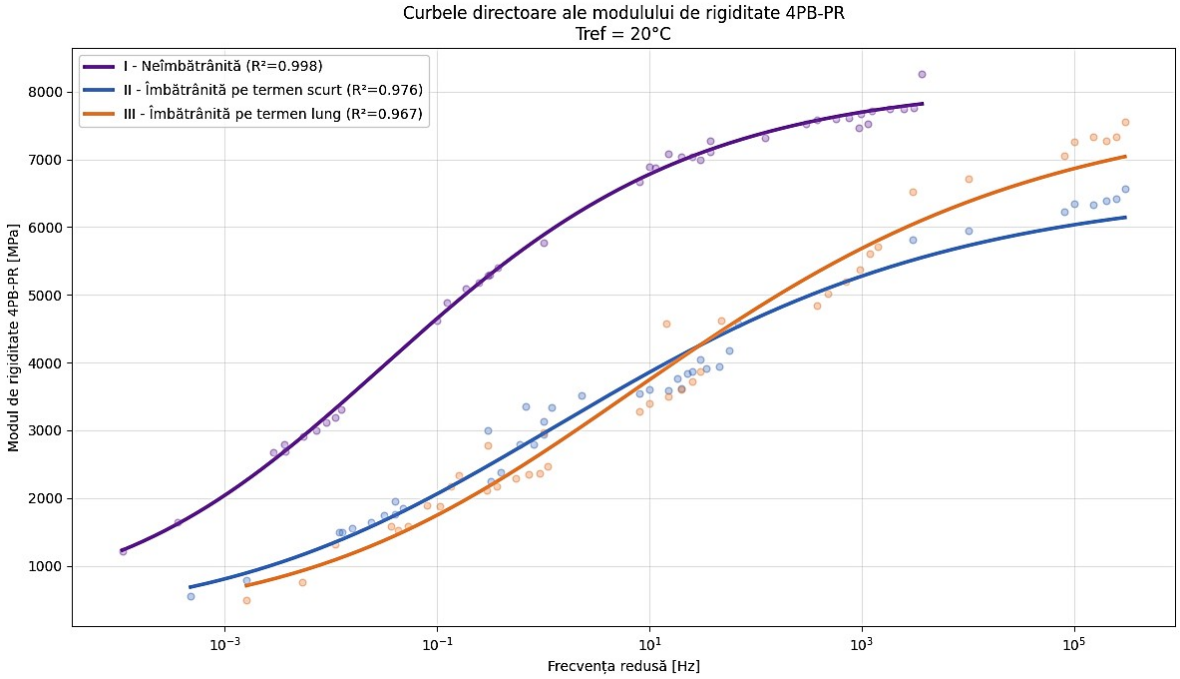


Figura 7. Curbele directoare comparative ale modulului de rigiditate pentru cele trei stadii, Tref = 20°C

Curba directoare a mixturii asfaltice neîmbătrânite se situează la valori mai ridicate pe cea mai mare parte a domeniului de frecvențe reduse. Curbele STOA şi LTOA se apropie şi se intersectează în anumite zone, însă LTOA prezintă, în general, valori mai mari decât STOA în domeniul frecvențelor reduse medii şi ridicate. În cazul stadiilor STOA şi LTOA, factorul de deplasare aferent temperaturii de 0°C a atins limita superioară admisă în procedura de ajustare. Prin urmare, deşi valorile R^2 sunt ridicate, extrapolarea curbelor în zona asociată acestei deplasări trebuie interpretată cu prudență. Această limitare este importantă pentru utilizarea curbelor directoare în afara domeniului acoperit de datele experimentale.

4. CONCLUZII

Analiza experimentală a mixturii asfaltice MAS 16 în trei stadii de condiționare a evidențiat următoarele concluzii:

- temperatura a avut o influență majoră asupra modulului de rigiditate. Prin IT-CY, creşterea temperaturii de la 0°C la 40°C a condus la reduceri de aproximativ 89–93%, iar prin 4PB-PR, la 10 Hz, reducerile au fost de aproximativ 64–78%, în funcție de stadiul analizat;

- efectul condiționării a depins de metoda de încercare. Prin IT-CY, stadiul LTOA a prezentat cele mai mari valori la 20–40°C. Prin 4PB-PR, mixtura neîmbătrânită a avut cele mai mari valori la 10 Hz, iar ordinea dintre STOA și LTOA s-a modificat în funcție de temperatură;

- curbele izoterme au arătat că modulul crește, în general, odată cu frecvența, iar această influență este mai evidentă la temperaturi ridicate. Curbele directoare, raportate la 20°C, au sintetizat răspunsul pe un domeniu extins de frecvențe reduse; ajustarea sigmoidală a prezentat valori R^2 între 0,967 și 0,998;

- rezultatele IT-CY și 4PB-PR trebuie considerate complementare, nu direct echivalente. Diferențele observate arată că rigiditatea măsurată reflectă atât starea mixturii, cât și geometria epruvetei și modul de solicitare. Interpretarea nu trebuie să presupună că îmbătrânirea conduce automat la creșterea modulului în toate condițiile de încercare;

- studiul a fost limitat la o singură mixtură MAS 16 și la domeniul de temperaturi și frecvențe analizat. Pentru clarificarea diferențelor dintre metode, cercetările viitoare ar putea include determinarea volumului de goluri, caracterizarea liantului recuperat și examinarea integrității epruvetelor prismatice pentru identificarea eventualelor microfisuri sau defecte rezultate în urma debitării, precum și extinderea analizei la alte rețete de mixturi asfaltice.

BIBLIOGRAFIE

[1]. C. RĂCĂNEL și C. ROMANESCU, *„Reologia lianților bituminoși și a mixturilor asfaltice”*, București: Matrix Rom, **2003**.

[2]. R. N. HUNTER, A. SELF și J. READ, *„The Shell Bitumen Handbook”*, Sixth edition, London, UK: ICE Publishing, **2015**.

[3]. D. BRILIAK și E. REMIŠOVÁ, *„Research into effect of asphalt mixture aging on stiffness”*, Transportation Research Procedia, vol. 55, p. 1251–1257, **2021**.

[4]. E. REMIŠOVÁ și D. BRILIAK, *„Evaluation of the Effect of Thermo-Oxidative Aging and UV Radiation on Asphalt Stiffness*”, Materials, vol. 16, nr. 10, art. 3716, **2023**.

[5]. A. CHOMICZ-KOWALSKA, W. GARDZIEJCZYK şi M. M. IWAŃSKI, *„Analysis of IT-CY stiffness modulus of foamed bitumen asphalt concrete compacted at 95°C”*, Procedia Engineering, vol. 172, p. 550–559, **2017**.

[6]. P. M. VESTENA, S. L. SCHUSTER, P. O. B. DE ALMEIDA, L. P. SPECHT, D. S. PEREIRA şi C. FACCIN, *„Dynamic modulus master curve construction of asphalt mixtures: Error analysis in different models and field scenarios”*, Construction and Building Materials, vol. 301, art. 124343, **2021**.

[7]. M. BELHAJ, J. VALENTIN şi N. BALDO, *„Accuracy of Dynamic Modulus Models of Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt (RA)”*, Applied Sciences, vol. 14, nr. 22, art. 10505, **2024**.

[8]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII, *AND 605-2016 – Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald. Condiții tehnice de proiectare, preparare și punere în operă a mixturilor asfaltice, cu modificările ulterioare*, București.

[9]. Documentație tehnică aferentă mixturii asfaltice MAS 16, „Raport de încercare privind rețeta-cadru de preparare a mixturii asfaltice MAS 16 și rapoarte de încercare privind determinările fizico-mecanice aferente”, Documente nepublicate.

[10]. *„SR EN 12697-30:2019 – Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 30: Confecționarea epruvetelor cu compactorul cu impact*”, ASRO, București, **2019**.

[11]. *„SR EN 12697-31:2019 – Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 31: Confecționarea epruvetelor cu presa cu compactare giratorie*”, ASRO, București, **2019**.

[12]. *„SR EN 12697-33+A1:2023 – Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 33: Confecționarea epruvetelor cu compactorul cu placă*”, ASRO, București, **2023**.

[13]. *„SR EN 12697-26+A1:2022 – Mixturi asfaltice - Metode de încercare - Partea 26: Rigiditate*”, ASRO, București, **2022**.

[14]. *„SR EN 12697-6:2020 – Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 6: Determinarea densității aparente a epruvetelor bituminoase*”, ASRO, București, **2020**.

DIMENSIONAREA ȘI EFICIENȚA TRECERILOR DE PIETONI ÎNĂLȚATE: SINTEZĂ CRITICĂ, METODOLOGIE BAZATĂ PE RĂSPUNSUL DINAMIC AL VEHICULULUI ȘI STUDIU DE CAZ

Duma Diana, ing., Creative Road Design S.R.L., e-mail: duma.diana@sigurantadrumuri.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro

Rezumat

Trecerile de pietoni înălțate se extind rapid în orașele românești, dar geometria lor este stabilită empiric, fără legătură cu viteza urmărită. Sinteza a 13 studii, ghiduri și standarde, inclusiv Urban Street Design Guide al National Association of City Transportation Officials (NACTO), Global Street Design Guide al Global Designing Cities Initiative (GDCI) și SR 1848-7:2015, confirmă reducerea robustă a vitezei și un factor de modificare a accidentelor cu pietoni de circa 0,55, dar arată și lipsa unei metode de dimensionare: ghidurile recomandă pante ale rampelor de 4–10%, iar standardul român reglementează numai marcajul. Lucrarea propune o metodologie bazată pe ipoteza că un conducător auto alege viteza de trecere astfel încât doza de vibrații verticale (VDV, ISO 2631-1) să nu depășească un prag constant. Răspunsul vehiculului este calculat cu modelul de un sfert de vehicul „Golden Car”, iar pragul, calibrat pe cinci dispozitive din literatură, reproduce vitezele de proiectare din ghidurile danez, olandez și al Institute of Transportation Engineers (ITE) cu o eroare de 2,0 km/h. Viteza este controlată în primul rând de panta rampei: pentru V_{85} = 30 km/h rezultă pante de 7–8% (10–11% pentru o populație de conducători mai tolerantă). Studiul de caz de pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești din București, unde opt treceri au fost supraînălțate în decembrie 2024, confirmă metodologia: configurația inițială, cu rampe de 3,3%, nu a redus suficient viteza, iar cea finală, cu rampe de 5%, corespunde unei V_{85} de circa 40 km/h. În primele 19 luni, accidentele cu victime de pe tronsonul tratat au scăzut cu 45%, iar accidentele grave nu s-au mai produs, dar lovirile de pietoni nu s-au redus.

Cuvinte cheie: treceri de pietoni înălțate, dimensionare, model de un sfert de vehicul, doza de vibrații, studiu înainte–după, siguranță rutieră

Abstract

Raised pedestrian crossings are spreading rapidly in Romanian cities, but their geometry is set empirically, with no link to the target speed. A synthesis of 13 studies, guidelines and standards, including the Urban Street Design Guide of the National Association of City Transportation Officials (NACTO), the Global Street Design Guide of the Global Designing Cities Initiative (GDCI) and SR 1848-7:2015, confirms a robust speed reduction and a pedestrian crash modification factor of about 0.55, but also the absence of a design method: the guides recommend ramp slopes of 4–10%, and the Romanian standard covers road markings only. The paper proposes a methodology based on the hypothesis that drivers choose their crossing speed so that the vertical vibration dose value (VDV, ISO 2631-1) does not exceed a constant threshold. Vehicle response is computed with the Golden Car quarter-car model, and the threshold, calibrated on five devices from the literature, reproduces the design speeds of the Danish, Dutch and Institute of Transportation Engineers (ITE) guidelines with an error of 2.0 km/h. Speed is governed primarily by ramp slope: an 85th percentile speed of 30 km/h requires slopes of 7–8% (10–11% for a more tolerant driver population). The case study of Gheorghe Ionescu Sisești Road in Bucharest, where eight crossings were raised in December 2024, supports the methodology: the initial configuration, with 3.3% ramps, did not reduce speed enough, and the final one, with 5% ramps, corresponds to an 85th percentile speed of about 40 km/h. In the first 19 months, injury crashes on the treated section fell by 45% and no severe crashes occurred, but pedestrian crashes did not decrease.

Keywords: raised pedestrian crossings, design, quarter-car model, vibration dose value, before–after study, road safety

1. INTRODUCERE

Accidentele rutiere provoacă anual aproximativ 1,19 milioane de decese, pietonii reprezentând 23% dintre acestea [1]. În 2024, România a avut cea mai ridicată rată a mortalității rutiere din Uniunea Europeană, de 78 de decese la un milion de locuitori, iar pietonii au reprezentat 32,6% din decese, față de 17,8% la nivelul UE [2]. Riscul de deces al pietonului crește abrupt cu viteza de impact [3], iar expertizele tehnice au consemnat decese chiar la 13 km/h [4]. Ghidul Global Street Design Guide al Global Designing Cities Initiative (GDCI) asociază o creștere a vitezei medii cu 1 km/h cu o creștere de circa 3% a riscului de accident și de 4–5% a numărului de decese [5], iar acesta și ghidul Urban Street Design Guide al National Association of City Transportation Officials (NACTO) cer ca străzile urbane să fie proiectate pentru o viteză țintă, nu pentru viteza percentilă 85 practicată de conducători (V_{85}) [5, 6].

Dintre măsurile de calmare a traficului, denivelările verticale ale căii sunt cele mai răspândite [7]. Literatura distinge limitatoarele scurte și lungi, platformele, care devin treceri de pietoni înălțate atunci când coincid cu o traversare, limitatoarele cu decupaje pentru vehiculele grele și intersecțiile înălțate [6, 8, 9]. Pentru dispozitivele din Figura 1, ghidul NACTO recomandă pante ale rampelor de 4–10%, pante laterale de cel mult 1:6 și o treaptă la intrare de cel mult 6 mm [6].

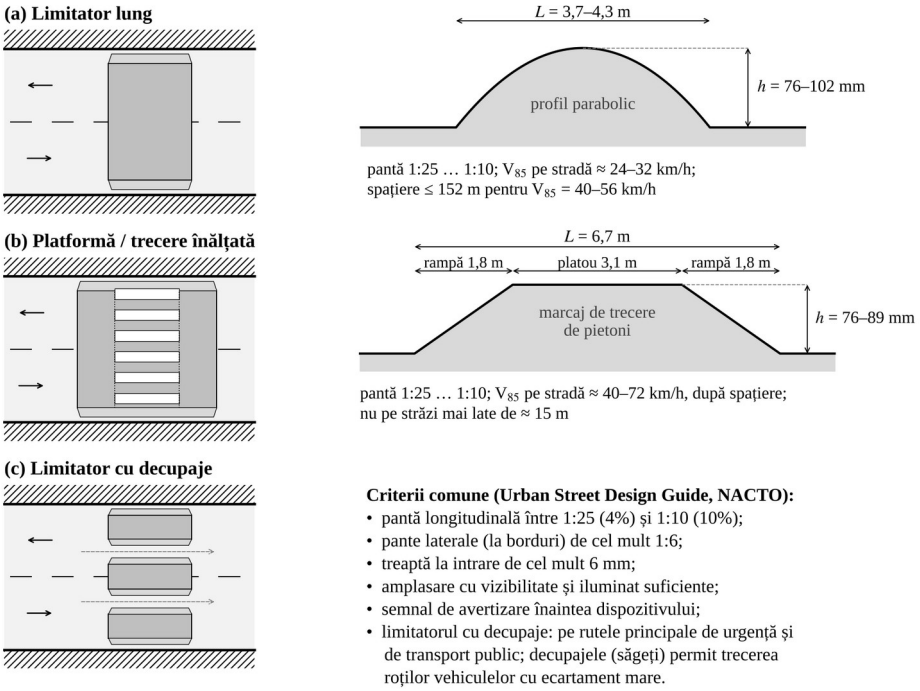


Figura 1. Dispozitive de deflexiune verticală: (a) limitator lung; (b) platformă / trecere de pietoni înălțată; (c) limitator cu decupaje (schemă realizată de autori, cu valorile recomandate în Urban Street Design Guide – NACTO [6])

În România, obligația de a ilumina trecerile nesemaforizate din intravilan, introdusă prin Legea nr. 278/2022 [10], a fost urmată de programe extinse de supraînălțare a trecerilor, inclusiv pe artere cu viteze ridicate din București [11, 12]. Singura referire din reglementările românești se află în standardul de marcaje SR 1848-7:2015, care admite trecerile supraînălțate „în locurile cu trafic intens și risc mare de accidente” și prezintă numai configurația marcajelor, fără înălțime, pantă a rampelor sau condiții de aplicare [13]. Franța a elaborat în 2026 un proiect de reglementare cu înălțime de 10 cm și rampe de 7–10% [14].

Lucrarea urmărește trei obiective: (i) sinteza critică a stadiului cunoașterii, pe baza a 13 documente, completate cu surse verificate; (ii) o metodologie de dimensionare a trecerilor înălțate pornind de la viteza țintă; (iii) verificarea

metodologiei şi evaluarea efectelor asupra accidentelor pe o arteră din Bucureşti, evaluare semnalată ca necesară într-o lucrare anterioară [15].

2. SINTEZA LITERATURII

2.1. Teme comune

Reducerea vitezei este efectul cel mai robust documentat (Tabelul 1). Limitatoarele de 3, 5 şi 7 cm au redus viteza medie cu circa 15%, 31% şi 32–37%, reducerea păstrându-se la 30 de zile [4], iar zona de influenţă se limitează la circa 40 m în amonte şi 40–60 m în aval [7]. Trecerile înălţate produc cele mai mari reduceri ale vitezei dintre dispozitivele de la traversări [16], rezultat confirmat în Italia [17] şi pe artere urbane [18]. *Spaţierea* condiţionează efectul: între limitatoare, V_{85} creşte cu intervalul până la circa 200 m şi se stabilizează la circa 60 km/h [19], iar ghidurile Institute of Transportation Engineers (ITE) şi NACTO recomandă intervale de cel mult 152 m şi implementarea coordonată, pe zone, nu pe străzi izolate [6, 8].

Efectul asupra siguranţei pietonilor este favorabil: trecerilor înălţate li se atribuie un factor de modificare a accidentelor (CMF) de 0,55 pentru accidentele cu pietoni răniţi [20], coliziunile vehicul–pieton au scăzut cu 22% după instalarea limitatoarelor în Toronto [21], iar Transport Research Laboratory (TRL) din Marea Britanie estimează o reducere de circa 60% a accidentelor cu victime pentru limitatoarele de 75–100 mm [9]. Rata de acordare a priorităţii creşte, mai ales când trecerea este asociată cu lumini intermitente [22], efect atribuit îmbunătăţirii vizibilităţii reciproce [5, 6]. *Condiţiile de aplicare* sunt şi ele comune: străzi locale şi colectoare cu limita de cel mult 50 km/h, semnalizare, vizibilitate şi iluminat suficiente, limitatoare cu decupaje pe rutele de urgenţă şi de transport public [5, 6, 8]. Aplicarea necorespunzătoare produce întârzieri ale ambulanţelor de 5–10 s la fiecare dispozitiv [23], reducerea capacităţii [24] şi degradări ale îmbrăcăminţii [25].

Tabelul 1. Sinteza principalelor rezultate cantitative din literatură

Sursa	Context / eșantion	Dispozitiv	Rezultat principal
[4]	Serbia, 3 amplasamente	limitatoare de 3/5/7 cm	viteza medie −15% / −31% / −32…37%; reducere păstrată la 30 de zile
[19]	Danemarca, 570 de dispozitive	limitatoare lungi 0,10 × 9,5 m	V_{85} crește cu intervalul până la ≈ 200 m (plafon ≈ 60 km/h)
[16]	Polonia, 105 amplasamente	treceri înălțate, platforme, insule	ΔV_{85} până la 25 km/h la trecerile înălțate; ≈ 1 km/h la insule
[20]	meta-analiză	treceri înălțate	CMF = 0,55 (accidente cu pietoni răniți)
[21]	Canada, Toronto	limitatoare	raportul ratelor de incidență IRR = 0,78 pentru coliziunile cu pietoni; copii −43…44%
[26]	Italia, 24 de treceri	treceri înălțate	< 10% asigură confortul; > 90% respectă criteriile platformelor

2.2. Divergențe și goluri în cercetare

Parametrul geometric determinant este disputat: pentru limitatoarele scurte, înălțimea apare ca factor principal [4], în timp ce pentru trecerile înălțate accelerația verticală este corelată cu panta rampei ($R^2 \geq 0{,}83$), nu cu înălțimea [26]. Valorile recomandate diferă: 75 mm în Marea Britanie [9], 76–90 mm în America de Nord [6, 8], 10–15 cm în ghidul GDCI, care admite adaptarea la viteza țintă fără a preciza o metodă [5], 10 cm cu rampe de 7–10% în proiectul francez [14], iar standardul român nu precizează nicio valoare [13]. Singurul parametru fixat uniform de ghidul NACTO este panta rampei (4–10%) [6].

Domeniul de aplicare este, de asemenea, divergent. Ghidul GDCI rezervă trecerea înălțată străzilor cu viteze de cel mult 30 km/h, iar peste acest prag recomandă dispozitive verticale în amonte sau semaforizarea [5]; ambele ghiduri internaționale aplică trecerile înălțate pe străzile principale numai la intersecțiile cu străzi locale [5, 6]. Standardul român le prevede, dimpotrivă, în locurile cu trafic intens [13], iar supraînălțarea trecerilor de pe arterele bucureștene [11, 12] se situează în afara domeniului recomandat internațional. *Efectul asupra accidentelor* este mai puțin consistent decât cel asupra vitezei: o parte din reduceri nu sunt semnificative [21, 27], intersecțiile înălțate au un CMF de 1,13 pentru accidentele cu pagube materiale [20], iar pe un drum național din Ghana dispozitivele au fost asociate cu pierderi ale controlului și coliziuni din spate [25].

Golurile de cercetare principale sunt vechimea valorii CMF și lipsa unor estimări recente dedicate trecerilor înălțate [20, 28], lipsa datelor de expunere și a grupurilor de control [21, 27] și, pentru tema acestei lucrări, **lipsa unei metode de dimensionare care să lege geometria de viteza țintă**, pe care nu o oferă nici ghidurile internaționale, nici standardul român [5, 13], precum și **absența evaluărilor de teren în România**.

3. METODOLOGIE DE DIMENSIONARE

3.1. Principiu, model și indicator de disconfort

Metodologia pornește de la ipoteza că, la dispozitivele lungi, conducătorii aleg viteza de trecere astfel încât doza de vibrații verticale transmisă caroseriei să nu depășească un prag aproximativ constant, independent de forma dispozitivului. Pragul se calibrează pe vitezele măsurate la dispozitive cu geometrie cunoscută, iar geometria unei treceri noi se dimensionează invers, pornind de la V_{85} dorită. Răspunsul vertical se calculează cu modelul de un sfert de vehicul, cu parametrii autoturismului de referință *Golden Car* [29]:

$$\ddot{z}_s = k_2\left(z_u - z_s\right) + c\left(\dot{z}_u - \dot{z}_s\right) \tag{1}$$

$$\mu\,\ddot{z}_u = -k_2\left(z_u - z_s\right) - c\left(\dot{z}_u - \dot{z}_s\right) + k_1\left(u(t) - z_u\right) \tag{2}$$

unde: z_s, z_u = deplasările verticale ale masei suspendate și nesuspendate, m; $u(t)$ = cota profilului sub roată, m; $k_1 = 653$ s^{-2}, $k_2 = 63{,}3$ s^{-2} = rigiditatea pneului și a suspensiei; $c = 6{,}0$ s^{-1} = amortizarea; $\mu = 0{,}15$ = raportul maselor (toate raportate la masa suspendată).

Profilul trecerii este descris prin înălțimea h, lungimea rampei L_r (panta $i = h/L_r$) și lungimea platoului L_p; înfășurarea profilului de către pneu este reprodusă printr-o medie mobilă pe 250 mm [29]. Accelerația caroseriei este ponderată cu filtrul W_k din ISO 2631-1, iar disconfortul este exprimat prin valoarea dozei de vibrații (VDV), recomandată pentru șocuri [30, 31]:

$$VDV = \left(\int_0^T a_w^{\,4}(t)\,dt \right)^{1/4} \tag{3}$$

unde: $a_w(t)$ = accelerația verticală ponderată, m/s^2; T = durata evenimentului, s.

Dintre indicatorii testați (accelerația de vârf neponderată și ponderată, valoarea maximă a vibrației tranzitorii MTVV și VDV), VDV a avut cea mai mică dispersie la calibrare și cea mai mică eroare de predicție.

3.2. Calibrare şi validare

Calibrarea a utilizat dispozitivele lungi din literatură pentru care sunt publicate atât geometria, cât şi vitezele măsurate pe dispozitiv (Tabelul 2) [7, 9]. Limitatoarele scurte ($L \leq 0{,}75$ m) au fost excluse, deoarece VDV calculat pentru ele este de peste două ori mai mare, ceea ce indică un alt mecanism de alegere a vitezei; domeniul metodei este, ca urmare, cel al dispozitivelor de cel puțin 2 m, căruia îi aparțin trecerile înălțate.

Tabelul 2. Datele de calibrare şi doza de vibraţii calculată la viteza observată

Dispozitiv	Profil	*h* (cm)	*L* (m)	Viteză măsurată (km/h)	VDV (m/s^{1,75})
Kırbaş H1 [7]	circular	5	2,10	30,8 (medie)	2,04
Kırbaş H2 [7]	circular	10	4,00	18,2 (medie)	1,67
TRL Edinburgh [9]	sinusoidal	10	3,70	24,9 (medie) / 32,2 (V_{85})	2,09 / 2,68
TRL Enschede [9]	sinusoidal	12	4,80	20,0 (medie) / 26,0 (V_{85})	1,68 / 2,13
TRL Norfolk [9]	trapezoidal, rampe 1:14	7,5	≈ 5,0	27,4 (medie)	2,11

Valorile VDV corespunzătoare vitezelor medii sunt apropiate (1,67–2,11 m/s^{1,75}), deşi profilele, înălţimile şi vitezele diferă mult: pragul mediu este $VDV_m^* = 1{,}92$ m/s^{1,75} (coeficient de variaţie 11,6%), iar pragul pentru percentila 85 este $VDV_{85}^* = 2{,}40$ m/s^{1,75}. Validarea încrucişată, prin excluderea pe rând a câte unui amplasament, a condus la o eroare medie pătratică (RMSE) de 3,0 km/h a vitezei medii. Aplicat dispozitivelor din ghidurile danez, olandez [9] şi ITE [8], modelul a reprodus vitezele de proiectare de 20–44 km/h cu RMSE = 2,0 km/h ($r = 0{,}98$; $n = 7$); pentru dispozitivele de 9,5–12 m, destinate vitezei de 50 km/h, viteza este supraestimată, astfel încât domeniul metodei este $V_{85} \leq 45$ km/h. Variaţia cu ±20% a parametrilor modelului modifică viteza prezisă cu cel mult 2,1 km/h.

Validarea externă a folosit 16 treceri înălţate realizate în Italia cu limita de 30 km/h, pentru care sunt publicate panta rampei şi vitezele măsurate [26], valorile fiind extrase din grafic, cu $h = 9$ cm presupus. Sub panta de circa 4%,

disconfortul nu mai limitează viteza, care este controlată de limita legală și de ambianța străzii. La pante de cel puțin 5%, viteza medie este reprodusă cu RMSE = 5,6 km/h, însă V_{85} este subestimată în medie cu 10,7 km/h, din cauza dispersiei mai mari a vitezelor (raportul V_{85}/V_m de 1,45, față de 1,29 la amplasamentele TRL). Pragul care reproduce V_{85} pe aceste treceri, VDV_{85}^{*} = 3,22 m/s^{1,75}, este denumit în continuare prag „tolerant”.

3.3. Relația și procedura de dimensionare

Calculul pentru L_p = 4 m arată că viteza este controlată în primul rând de panta rampei: la h = 10 cm, creșterea pantei de la 5% la 10% reduce V_{85} de la 40,6 la 23,7 km/h, în timp ce, la panta de 7%, creșterea înălțimii de la 6 la 15 cm o reduce doar de la 35,2 la 29,8 km/h, în acord cu observația lui Loprencipe et al. [26]. Rezultatele au fost aproximate, cu o abatere de cel mult 4,4%, prin relația:

$$i = 7{,}46 \cdot \left(\frac{V_{85}}{30}\right)^{-1{,}23} \cdot \left(\frac{h}{0{,}10}\right)^{-0{,}22} \quad (4)$$

unde: i = panta rampei, %; V_{85} = viteza țintă, km/h (20–40); h = înălțimea trecerii, m (0,08–0,15).

Tabelul 3. Panta rampei necesară (%) pentru viteza țintă V85 (Lp = 4 m)

Prag / înălțimea *h*	25 km/h	30 km/h	35 km/h	40 km/h
Prag nominal (2,40 m/s^{1,75}): *h* = 8 cm	10,1	7,9	6,5	5,4
h = 10 cm	9,4	7,4	6,0	5,1
h = 12 cm	9,1	7,2	5,9	4,9
h = 15 cm	8,6	7,0	5,7	4,9
Prag „tolerant” (3,22 m/s^{1,75}): *h* = 8 cm	14,1	11,3	9,4	8,1
h = 10 cm	13,8	10,9	9,0	7,6
h = 12 cm	13,0	10,2	8,3	7,0
h = 15 cm	12,3	9,8	8,0	6,7

Pentru pragul nominal și vitezele țintă de 30–40 km/h, pantele rezultate (4,9–7,9%) se încadrează în intervalul de 4–10% recomandat de ghidul NACTO [6], iar geometria din proiectul francez (h = 10 cm, i = 7%) conduce la V_{85} = 29–31 km/h, în concordanță cu obiectivul său de 30 km/h [14]. Cu pragul tolerant, V_{85} = 30 km/h ar cere pante de 10–11%, la limita sau peste limita de 10% admisă [14,

26], ceea ce arată că o trecere izolată nu poate garanta singură această viteză. Lungimea platoului modifică V_{85} cu doar 1,5–3,6 km/h pentru L_p = 2,5–6 m.

Procedura de dimensionare are cinci pași: (1) se stabilește V_{85} țintă (de exemplu, 30 km/h în zonele școlare și rezidențiale, 35–40 km/h pe colectoarele cu transport public; ghidul GDCI recomandă cel mult 30 km/h pe străzile cu activitate pietonală intensă [5]); (2) se alege h egală cu cota bordurii și L_p cel puțin egală cu lățimea trecerii, iar marcajele se execută conform SR 1848-7:2015 [13]; (3) se determină i din relația (4) sau din Tabelul 3, cu pragul nominal pentru treceri în serie pe străzi locale și cu cel tolerant pentru treceri izolate pe artere, și $L_r = h/i$; (4) se verifică $i \leq 10\%$, pantele laterale de cel mult 1:6 și treapta de cel mult 6 mm [6]; dacă panta necesară depășește 10%, viteza țintă se asigură prin măsuri complementare (treceri în serie, îngustarea benzii, controlul vitezei, semaforizare [5]); (5) după execuție se măsoară V_{85} pe trecere.

4. STUDIU DE CAZ: ȘOSEAUA GHEORGHE IONESCU SISEȘTI, BUCUREȘTI

4.1. Amplasamentul și verificarea geometriei

Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești este o arteră din nordul Bucureștiului, cu două benzi pe sens și o lățime a părții carosabile de circa 7,00 m pe sens. În decembrie 2024 au fost puse în funcțiune opt treceri de pietoni nesemaforizate, supraînălțate până la cota bordurii (Figura 2). Tronsonul tratat, între trecerile 1 și 8, are circa 2,3 km, iar distanțele dintre treceri consecutive sunt de 220–415 m. Prin numărul de benzi, artera se situează în afara domeniului recomandat pentru dispozitivele verticale [8], iar intervalele depășesc distanța maximă de 152 m recomandată [6, 8] și pragul de circa 200 m de la care V_{85} dintre dispozitive se stabilizează [19]; trecerile controlează, așadar, viteza local, nu pe întregul tronson.



Figura 2. Amplasarea celor opt treceri de pietoni supraînălțate pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești (imagine de fundal: Google Earth)

Proiectul inițial prevedea rampe de 3,00 m și un platou de 6,00 m (configurația 3–6–3), la înălțimea bordurii de 10 cm, adică o pantă de circa 3,3%. După executarea primelor două treceri, folosite ca treceri de probă, s-a constatat că viteza nu se reduce suficient, iar configurația a fost modificată la 2–6–2, cu rampe de 2,00 m (i = 5%) (Figura 3a). Speța confirmă metodologia: panta de 3,3% se află sub pragul de circa 4% de la care disconfortul controlează viteza și sub minimul de 4% recomandat de ghidul NACTO [6]. Pentru panta finală de 5%, metodologia conduce la V_{85} ≈ 40–42 km/h cu pragul nominal și la peste 45 km/h cu pragul tolerant (Figura 3b), astfel încât configurația executată corespunde unei viteze de circa 40 km/h, nu de 30 km/h. Pentru 30 km/h ar fi fost necesare rampe de circa 1,35 m (i ≈ 7,4%) cu pragul nominal, respectiv de circa 0,90 m (i ≈ 10,9%) cu pragul tolerant.

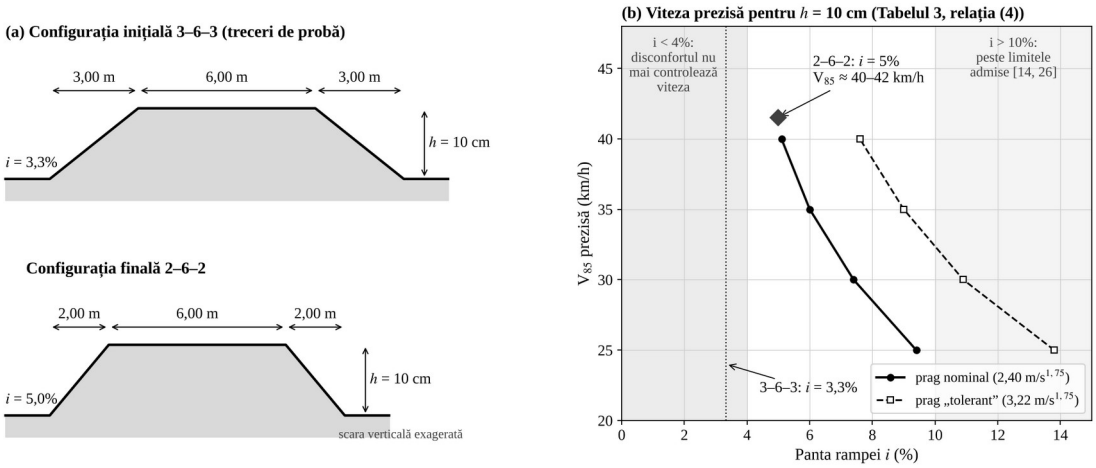


Figura 3. Trecerile de pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești: (a) configurația inițială și cea finală; (b) V85 prezisă de metodologie pentru h = 10 cm

4.2. Datele de accidente și rezultatele

Datele provin din situația accidentelor cu victime de pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești transmisă de Brigada Rutieră București [32]: 89 de accidente produse între martie 2020 și iulie 2026, soldate cu 3 decese, 9 răniri grave și 97 de răniri ușoare (Figura 4). Perioada „înainte” este 01.01.2021–30.11.2024 (47 de luni), anul 2020, incomplet și afectat de restricțiile pandemice, fiind exclus; perioada „după” este 01.01.2025–31.07.2026 (19 luni), iar luna implementării a fost exclusă. Comparația se face pe media anuală. Pe baza coordonatelor GPS, 68 de accidente au fost localizate pe tronsonul dintre trecerile 1 și 8 și 21 pe restul arterei, fără treceri înălțate, folosit ca termen de comparație.

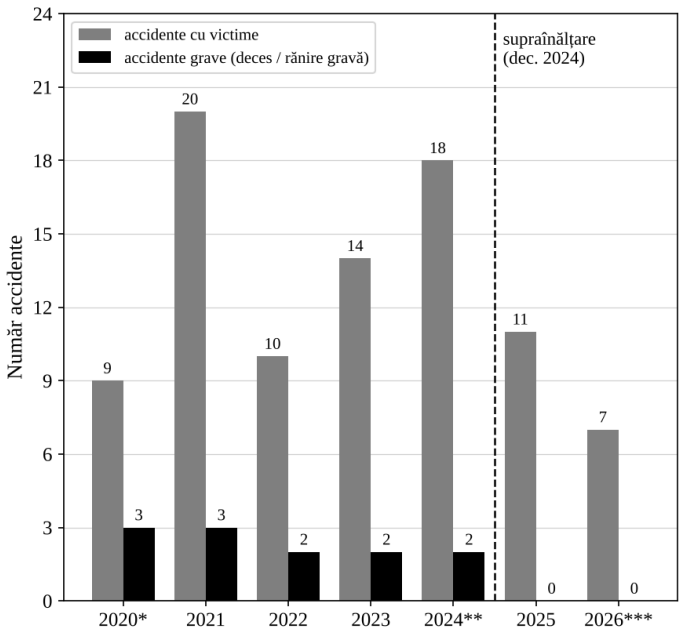


Figura 4. Accidentele cu victime de pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești, pe ani (2020: de la 07.03; 2024: inclusiv 2 accidente din decembrie; 2026: până la 18.07)

Tabelul 4. Accidente cu victime înainte (01.2021–11.2024) şi după (01.2025–07.2026) supraînălţare

Categorie	Înainte (nr. / pe an)	După (nr. / pe an)	Variația mediei anuale
Întreaga arteră – toate accidentele	60 / 15,3	18 / 11,4	−26%
Tronson cu treceri înălțate – toate	50 / 12,8	11 / 7,0	−45%
Restul arterei – toate	10 / 2,6	7 / 4,4	+73%
La cel mult 100 m de o trecere – toate	34 / 8,7	7 / 4,4	−49%
Accidente grave (întreaga arteră)	9 / 2,3	0 / 0	−100%
Cauza: viteză neadaptată (întreaga arteră)	11 / 2,8	0 / 0	−100%
Loviri de pietoni – tronson cu treceri înălțate	5 / 1,3	5 / 3,2	+148%
Loviri de pietoni – restul arterei	5 / 1,3	0 / 0	−100%

Pe întreaga arteră, media anuală a accidentelor cu victime a scăzut de la 15,3 la 11,4 (−26%), scăderea fiind concentrată pe tronsonul tratat (de la 12,8 la 7,0 pe an, −45%), în timp ce pe restul arterei a crescut de la 2,6 la 4,4 pe an (Tabelul 4). Cea mai importantă schimbare privește gravitatea: în cele 19 luni de după supraînălțare nu s-a mai produs niciun accident soldat cu decese sau răniri grave, față de 9 în cele 47 de luni anterioare, iar media răniților ușor a scăzut de la 16,3 la 12,6 pe an. Nu s-a mai produs nici vreun accident cauzat de viteza neadaptată, anterior a doua cauză ca frecvență (Figura 5); acestea au lipsit însă și pe restul arterei, unde erau puține și înainte, astfel încât scăderea nu poate fi atribuită în întregime trecerilor.

Lovirile de pietoni nu s-au redus: pe tronsonul tratat s-au produs 5 înainte și 5 după, toate cele de după pe treceri de pietoni, patru din cauza neacordării priorității; toate s-au soldat însă cu răniri ușoare, în timp ce înainte trei loviri de pietoni produseseră răniri grave. Neacordarea priorității pietonilor a devenit cauza principală cea mai frecventă (Figura 5), iar reducerea de circa 45% din literatură [20] nu se regăsește deocamdată. Concluziile rămân aceleași dacă în perioada „înainte” se include și anul 2020.

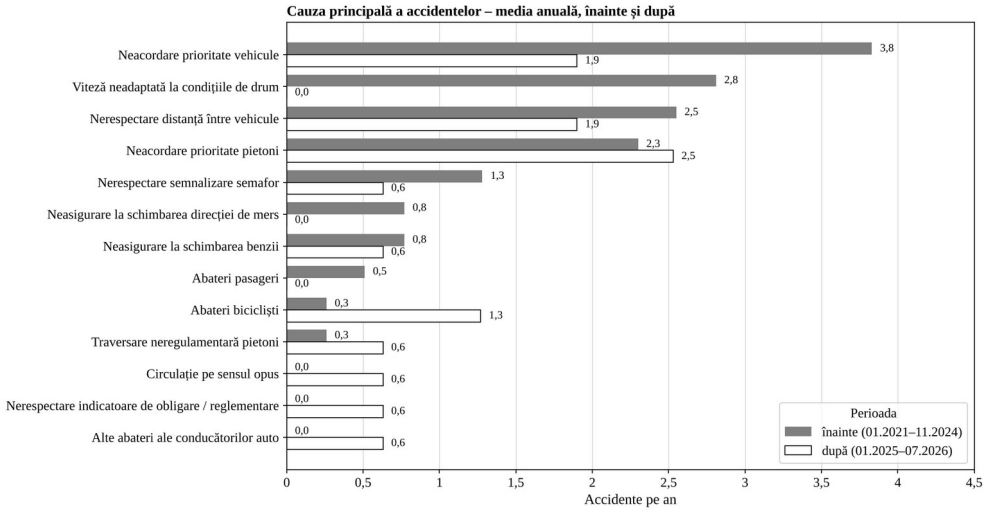


Figura 5. Cauza principală a accidentelor de pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești – media anuală, înainte și după supraînălțare

4.3. Discuție și limite

Rezultatele sunt coerente cu geometria executată: rampele de 5% corespund unei V_{85} de circa 40 km/h, iar intervalele de 220–415 m permit reaccelerarea între treceri. O asemenea configurație reduce vitezele mari și gravitatea coliziunilor, în acord cu creșterea abruptă a riscului de deces cu viteza de impact [3], dar nu este suficientă pentru a determina acordarea priorității pe o arteră cu două benzi pe sens, unde pietonul poate fi mascat de vehiculul care oprește pe banda alăturată. Este posibil și ca numărul traversărilor la noile treceri să fi crescut, ceea ce nu poate fi verificat în lipsa numărătorilor de pietoni. Pentru 30 km/h ar fi necesare rampe mai abrupte și treceri mai apropiate sau, conform ghidurilor internaționale, semaforizarea traversărilor de pe artere [5].

Rezultatele sunt preliminare: perioada „după” este scurtă, numărul accidentelor este mic, iar o parte din variație poate fi întâmplătoare sau poate reflecta revenirea spre valori obișnuite a unui tronson ales tocmai din cauza problemelor de siguranță [33]. Termenul de comparație este scurt (circa 0,9 km) și învecinat cu tronsonul tratat, iar măsurătorile de viteză și volumele de trafic nu au fost disponibile.

5. CONCLUZII

Literatura confirmă reducerea robustă a vitezei la trecerile înălțate și un efect favorabil asupra accidentelor cu pietoni (CMF ≈ 0,55). Ghidurile NACTO și GDCI converg asupra domeniului de aplicare (viteze de cel mult 30 km/h, străzi locale) și asupra pantelor de 4–10%, dar nu oferă o metodă de dimensionare, iar SR 1848-7:2015 reglementează numai marcajul.

Metodologia propusă leagă geometria trecerii de viteza țintă prin doza de vibrații verticale. Pragul calibrat (VDV_{85}^{*} = 2,40 m/s^{1,75}) reproduce vitezele de proiectare din ghiduri cu o eroare de circa 2 km/h; pentru populațiile de conducători cu dispersie mare a vitezelor a fost determinat un prag „tolerant” (3,22 m/s^{1,75}).

Viteza de trecere este controlată în primul rând de panta rampei: pentru V_{85} = 30 km/h sunt necesare pante de 7–8% cu pragul nominal și de 10–11% cu cel tolerant. Recepția lucrărilor trebuie să verifice panta rampelor, nu numai înălțimea.

Pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești, configurația inițială (i ≈ 3,3%) nu a redus suficient viteza, iar cea finală (i = 5%) corespunde unei V_{85} de circa 40 km/h. În primele 19 luni, accidentele cu victime de pe tronsonul tratat au scăzut cu 45%, iar accidentele grave și cele cauzate de viteza neadaptată nu s-au mai produs, dar lovirile de pietoni nu s-au redus. Rezultatele sunt preliminare.

Direcțiile următoare sunt măsurarea V_{85} pe trecerile de pe Șoseaua Sisești, pentru calibrarea pragului pe conducătorii din România, numărătorile de pietoni, extinderea seriei de accidente, extinderea metodei la autobuze și vehicule de urgență și includerea relației (4) într-o reglementare tehnică națională, care să completeze SR 1848-7:2015.

BIBLIOGRAFIE

[1]. WORLD HEALTH ORGANIZATION: *“Global status report on road safety 2023”*, World Health Organization, Geneva, **2023**.

[2]. ROMANIA INSIDER: *“Romania tops ranking of road accident deaths, EU witnesses overall decrease”*, date Eurostat pentru anul 2024, publicate la 27 aprilie **2026**.

[3]. E. ROSÉN, H. STIGSON, U. SANDER: *“Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed”*, Accident Analysis and Prevention, vol. **43**, nr. 1, pp. **25–33**, **2011**.

[4]. B. ANTIĆ, D. PEŠIĆ, M. VUJANIĆ, K. LIPOVAC: *“The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience”*, Safety Science, vol. **57**, pp. **303–312**, **2013**.

[5]. GLOBAL DESIGNING CITIES INITIATIVE (GDCI), NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS: *“Global street design guide”*, Island Press, Washington D.C., **2016**.

[6]. NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS (NACTO): *“Urban street design guide”*, Island Press, Washington D.C., **2013**.

[7]. U. KIRBAŞ: *“Comparative performance analysis of bumps and humps in terms of ride speed calming”*, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, vol. **9**, nr. 3, pp. **1013–1027**, **2022**.

[8]. M. PARKHILL, R. SOOKLALL, G. BAHAR: *“Updated guidelines for the design and application of speed humps”*, CITE 2007 Conference, Canadian Institute of Transportation Engineers, **2007**.

[9]. D.C. WEBSTER, R.E. LAYFIELD: *“Traffic calming – Sinusoidal, ‘H’ and ‘S’ humps”*, TRL Report 377, Transport Research Laboratory, Crowthorne, **1998**.

[10]. PARLAMENTUL ROMÂNIEI: *“Legea nr. 278/2022 pentru completarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, **2022**.

[11]. DIGI24: *“Primăria Capitalei anunță supraînălțarea trecerilor de pietoni din zonele unde șoferii circulă cu viteză”*, București, 13 aprilie **2026**.

[12]. O. DESPA: *“Cum pot fi opriți șoferii vitezomani din marile orașe? Trei soluții ignorate de autorități”*, Europa Liberă România, 14 octombrie **2025**.

[13]. ASOCIAȚIA DE STANDARDIZARE DIN ROMÂNIA: *“SR 1848-7:2015 – Semnalizare rutieră. Marcaje rutiere”*, ASRO, București, **2015**.

[14]. COMISIA EUROPEANĂ – TRIS: *“Proiect de decret privind caracteristicile și condițiile de amplasare pe drumuri a dispozitivelor supraînălțate de reducere a vitezei”*, notificarea nr. 2026/0277/FR, Franța, **2026**.

[15]. M. CHIRCU, A. BURLACU: *“Soluții inovative pentru protecția participanților vulnerabili la traficul urban”*, manuscris, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, UTCB, București, **2024**.

[16]. M. KRUSZYNA, M. MATCZUK-PISAREK: *“The effectiveness of selected devices to reduce the speed of vehicles on pedestrian crossings”*, Sustainability, vol. **13**, nr. 17, art. 9678, **2021**.

[17]. A. PRATELLI, R. PRATALI, M. ROSSI: *“Raised crosswalks efficacy on the lowering of vehicle speeds”*, WIT Transactions on the Built Environment, vol. **116**, pp. **541–552**, **2011**.

[18]. V. GITELMAN, R. CARMEL, F. PESAHOV, S. CHEN: *“Changes in road-user behaviors following the installation of raised pedestrian crosswalks combined with preceding speed humps, on urban arterials”*, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. **46**, Part B, pp. **356–372**, **2017**.

[19]. N. AGERHOLM, L.H. SØRENSEN, P.R. GØEG, H. LAHRMANN, A.V. OLESEN: *“A large-scale study on the speed-calming effect of speed humps”*, Transactions on Transport Sciences, vol. **11**, nr. 2, pp. **28–38**, **2020**.

[20]. R. ELVIK, T. VAA: *“The handbook of road safety measures”*, Elsevier, Oxford, **2004**.

[21]. L. ROTHMAN, A. MACPHERSON, R. BULIUNG, C. MACARTHUR, T. TO, K. LARSEN, A. HOWARD: *“Installation of speed humps and pedestrian-motor vehicle collisions in Toronto, Canada: a quasi-experimental study”*, BMC Public Health, vol. **15**, art. 774, **2015**.

[22]. H.F. HUANG, M.J. CYNECKI: *“The effects of traffic calming measures on pedestrian and motorist behavior”*, Report FHWA-RD-00-104, Federal Highway Administration, McLean, **2001**.

[23]. E. ÖZ, O. KÜÇÜKKELEPÇE, O. KURT, A.C. ÇAVUŞ: *“Effect of speed humps on ambulance delay”*, Cureus, vol. **15**, nr. 1, e33722, **2023**.

[24]. A. GARCÍA, A.J. TORRES, M.A. ROMERO, A.T. MORENO: *“Traffic microsimulation study to evaluate the effect of type and spacing of traffic calming devices on capacity”*, Procedia – Social and Behavioral Sciences, vol. **16**, pp. **270–281**, **2011**.

[25]. J. DAMSERE-DERRY, R. LUMOR, S. BAWA, D. TIKOLI: *“Effects of traffic calming measures on mobility, road safety and pavement conditions on Abuakwa–Bibiani highway”*, Frontiers in Sustainable Cities, vol. **2**, art. 26, **2020**.

[26]. G. LOPRENCIPE, L. MORETTI, A. PANTUSO, E. BANFI: *“Raised pedestrian crossings: analysis of their characteristics on a road network and geometric sizing proposal”*, Applied Sciences, vol. **9**, nr. 14, art. 2844, **2019**.

[27]. L. MONYATSI: *“The effectiveness of speed humps as traffic calming for accident reduction”*, Southern African Transport Conference (SATC 2021), conferință virtuală, 5–7 iulie **2021**.

[28]. C. MONSERE, M. FIGLIOZZI, S. KOTHURI, A. RAZMPA, D. HAZEL: *“Safety effectiveness of pedestrian crossing enhancements”*, Final Report SPR 778, Oregon Department of Transportation, Salem, **2017**.

[29]. M.W. SAYERS: *“On the calculation of International Roughness Index from longitudinal road profile”*, Transportation Research Record, nr. **1501**, pp. **1–12**, **1995**.

[30]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *“ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements”*, ISO, Geneva, **1997**.

[31]. M.J. GRIFFIN: *“Handbook of human vibration”*, Academic Press, London, **1990**.

[32]. BRIGADA RUTIERĂ BUCUREȘTI: *“Situația accidentelor rutiere cu victime produse pe Șoseaua Gheorghe Ionescu Sisești, București, 2020–2026”*, răspuns la petiția nr. 1921068, **2026**.

[33]. E. HAUER: *“Observational before–after studies in road safety”*, Pergamon, Oxford, **1997**.

ANALIZA DE RISC PENTRU SIGURANȚA ȘI SECURITATEA CIRCULAȚIEI ÎN TUNELURILE RUTIERE DIN ROMÂNIA, CONFORM AND 621/2025 (RVS 09.03.11)

Dumitrăşcuţă Dragoş, ing., Consitrans, București, România, dragos.dumitrascuta@consitrans.ro;
Ioanidi Anton, dr. ing., Consitrans, București, România, anton.ioanidi@consitrans.ro;
Dărăban Silviu, ing., Consitrans, București, România, silviu.daraban@consitrans.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă principiile și metodologia analizei cantitative la risc pentru asigurarea siguranței și securității circulației în tunelurile rutiere, în conformitate cu prevederile ghidului AND 621/2025 realizat pe baza standardului austriac RVS 09.03.11. Analiza are ca obiectiv evaluarea probabilității de apariție și a consecințelor unor evenimente, precum incendiile, accidentele rutiere sau defecțiunile sistemelor tehnice, pe întreaga durată de viață a tunelului. Conform ghidului, procedura de analiză include descrierea caracteristicilor tunelului, identificarea scenariilor de risc relevante, cuantificarea frecvențelor de apariție și a efectelor acestora, precum și evaluarea riscului pentru utilizatorii tunelurilor rutiere. Rezultatele analizei sunt exprimate prin numărul anticipat de fatalități pe an și prin încadrarea tunelului într-o clasă de risc corespunzătoare. În plus, metodologia prevede identificarea, evaluarea și implementarea măsurilor de reducere a riscurilor, incluzând măsuri tehnice, organizaționale și operaționale, precum și verificarea eficacității acestora. Analiza la risc devine astfel un instrument decizional esențial pentru compararea soluțiilor de proiectare și exploatare și pentru asigurarea unui nivel acceptabil de siguranță pentru utilizatorii tunelurilor rutiere din România.

Cuvinte cheie: tuneluri rutiere, siguranța circulației, analiza la risc

Abstract

The paper presents the principles and methodology of quantitative risk analysis for ensuring traffic safety and security in road tunnels, in accordance with guideline AND 621/2025, which is based on the Austrian standard RVS 09.03.11. The analysis aims to assess the probability and consequences of events such as fires, road accidents or failures of technical systems over the whole life of the tunnel. According to the guideline, the procedure includes describing the tunnel characteristics, identifying relevant risk scenarios, quantifying their frequencies and effects, and assessing the risk to tunnel users. The results are expressed as the expected number of fatalities per year and by placing the tunnel in a corresponding risk class. In addition, the methodology provides for identifying, assessing and implementing risk reduction measures, including technical, organisational and operational ones, and for checking their

effectiveness. Risk analysis thus becomes an essential decision-making tool for comparing design and operating solutions and for ensuring an acceptable level of safety for road tunnel users in Romania.

Keywords: road tunnels, traffic safety, risk analysis

1. INTRODUCERE

Tunelurile rutiere sunt medii de trafic închise în care incidentele rutiere, precum coliziunile, avariile sau incendiile vehiculelor, pot escalada rapid din cauza capacității limitate a căilor de evacuare, a ventilației și a condițiilor complexe de acces pentru serviciile de urgență. Deși rare din punct de vedere statistic, astfel de evenimente pot avea consecințe grave, astfel încât este esențială realizarea unei evaluări cantitative a siguranței în exploatarea tunelului.

În conformitate cu Directiva 2004/54/CE, analiza de risc este necesară, pentru a demonstra că un tunel rutier atinge un nivel de siguranță adecvat, dincolo de măsurile minime prescriptive. Această analiză de risc trebuie realizată în etapele preliminare de proiectare, astfel încât măsurile de creștere a siguranței și securității în exploatarea tunelului să fie încorporate în soluțiile proiectate.

Pentru înțelegerea necesității unei analize adecvate a riscurilor, autorii propun două studii de caz recunoscute la nivel internațional.

2. STUDII DE CAZ – NECESITATEA ANALIZEI DE RISC

2.1. Incendiul din tunelul rutier Mont Blanc (Franța-Italia, 1999)

Incendiul a fost declanșat de un autotren care transporta făină, sursa probabilă fiind o defecțiune electrică sau un rest de țigară aspirat în priza de aer. Evoluția incendiului a fost agravată de lipsa coordonării între centrele de control francez și italian, sistemul de ventilație alimentând incendiul cu aer proaspăt în loc să evacueze fumul.



Figura 1. Incendiul din tunelul rutier Mont Blanc (1999)

Accidentul a produs 39 de decese, majoritatea prin asfixiere, iar incendiul a durat 53 de ore, cu temperaturi estimate de peste 1000°C. Expunerea prelungită a provocat spalling extins al betonului, expunerea armăturii și a rocii de bază, precum și afectarea majoră a structurii. Tunelul a fost închis pentru reparații timp de 3 ani.

Incidentul a contribuit decisiv la apariția Directivei 2004/54/CE și a impus măsuri precum: management unic al tunelului, cameră de control unificată, pasaje de evacuare presurizate la 300 m, galerie independentă de evacuare, senzori termici, cabluri termosensibile, modernizarea ventilației transversale și restricționarea transportului de materiale foarte periculoase.

2.2. Incendiul din tunelul rutier Gotthard (Elveția, 2001)

Incendiul a fost provocat de coliziunea frontală dintre două autotrenuri, după ce un șofer aflat sub influența alcoolului a pătruns pe sensul opus. Impactul a rupt rezervoarele de combustibil și a produs un scurtcircuit, aprinzând încărcătura unuia dintre camioane, formată din anvelope.



Figura 2. Incendiul din tunelul rutier Gotthard (2001)

Accidentul a produs 11 decese, în principal prin inhalarea gazelor toxice rezultate din arderea anvelopelor. Sarcina termică ridicată a dus la prăbușirea plafonului intermediar al sistemului de ventilație pe o lungime de aproximativ 250 m, iar reparațiile structurale au durat circa două luni.

Măsurile ulterioare au inclus refacerea și consolidarea plafonului, limitarea traficului greu la 150 camioane/oră/sens, impunerea unei distanțe de siguranță de 150 m între camioane, îmbunătățirea iluminatului și a semnalizării de evacuare la nivelul carosabilului, precum și modernizarea ventilației pentru evacuarea unor volume mai mari de fum toxic.

3. PRINCIPIILE ANALIZEI DE RISC PENTRU SIGURANȚA ÎN TUNELURI RUTIERE

În cadrul procesului de reducere a riscurilor aferente tunelurilor rutiere, se realizează două tipuri de analize la risc: 1) analiza calitativă de risc și 2) analiza cantitativă de risc.

Analiza calitativă constă în identificarea riscurilor și mitigarea acestora folosind principiul „ALARP” (as low as reasonably practicable / atât de scăzut pe cât este în mod rezonabil practicabil), care împarte riscurile în trei categorii: riscuri intolerabile, riscuri tolerabile (ALARP), riscuri acceptabile. Limitarea analizei calitative constă în faptul că aceasta nu rezultă într-o valoare cuantificabilă a riscului care poate fi asumat de către Beneficiar.

Analiza cantitativă constă în simularea unor scenarii diferite de risc pe baza unor date statistice cu valori cuantificabile (geometrie tunel, volum de trafic, viteză, categorii de vehicule etc.), care rezultă într-un număr estimat de fatalități

pe an. Acest număr este ulterior încadrat într-o clasă de risc, pe baza căreia se stabilesc echipamentele necesare pentru mitigarea scenariului de risc.

Deoarece România nu deține o bază statistică a accidentelor în tuneluri rutiere, analiza de risc va utiliza prevederile normativului austriac RVS 09.03.11, implementat în România prin intermediul AND 621/2025.

4. METODOLOGIE

4.1. Procedură

Procedura analizei cantitative de risc compară conformația actuală a tunelului analizat cu un tunel de referință idealizat, în conformitate cu prevederile RVS 09.03.11 (AND 621/2025). Tunelul de referință trebuie să îndeplinească integral cerințele minime de siguranță conform legislației privind siguranța tunelurilor rutiere și să prezinte un nivel de risc tolerabil.

Pentru evaluarea acestei comparații, se calculează o valoare a riscului preconizat pentru fiecare tunel în parte (analizat și de referință), pe baza modelului de risc. Dacă tunelul analizat prezintă o valoare a riscului mai ridicată decât cea a tunelului de referință, se impun măsuri specifice de mitigare, iar calculul este reluat, până când nivelul de risc al tunelului analizat este sub nivelul de risc al tunelului de referință.

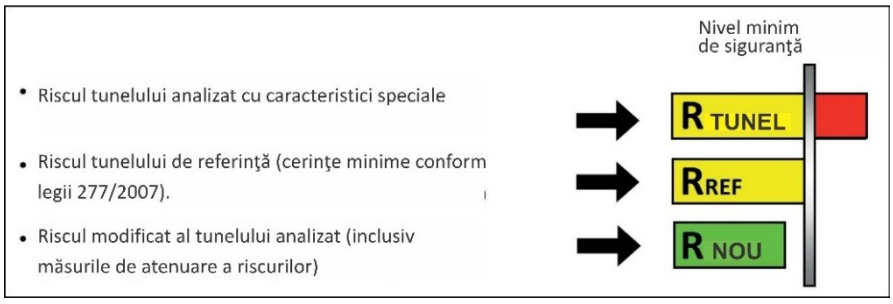


Figura 3. Evaluarea rezultatelor analizei de risc pentru tuneluri

4.2. Aplicabilitatea modelului de analiză

Modelul de analiză se fundamentează pe reglementările RVS 09.03.11, normativ austriac dezvoltat pe baza evaluărilor detaliate ale accidentelor dintr-o varietate de tuneluri rutiere din Europa Centrală. Această bază de date include doar accidentele care implică vătămări corporale, fără să înregistreze accidente sau defecțiuni cu consecințe minore. Modelul permite introducerea datelor pentru

tunelul care trebuie analizat, cuantificarea factorilor relevanţi care influenţează siguranța rutieră, cu condiția existenței datelor de intrare necesare pentru analiză.

Tunelul analizat trebuie să aibă următoarele caracteristici minime, pentru a se putea încadra în modelul reglementat de analiză de risc:

- Secțiune transversală cu 2 benzi de circulație;
- Se consideră că tunelul este continuu, fără elemente structurale discontinue (nișe, ferestre, zone de refugiu etc.);
- Sistem de ventilație unic (natural, longitudinal sau transversal);
- Timp de detecție a incendiului ≤ 150 secunde.

Modelul examinează în mod direct riscul societal al utilizatorilor tunelului, determinând o valoare exprimată în număr de decese estimate statistic pe an pentru fiecare tunel rutier analizat. În cazul tunelurilor gemene, riscul se calculează individual, pentru fiecare tunel în parte.

Valorile de risc sunt prezentate separat în 3 categorii, în funcție de natura lor: efecte cauzate de avarii mecanice, incendii și transporturi cu mărfuri periculoase.

Metodologia este alcătuită din două elemente de bază: 1) analiza cantitativă a frecvenței evenimentelor, realizată prin analiza arborelui de evenimente, și 2) analiza cantitativă a consecințelor evenimentelor, bazată pe analiza amplorii pagubelor.

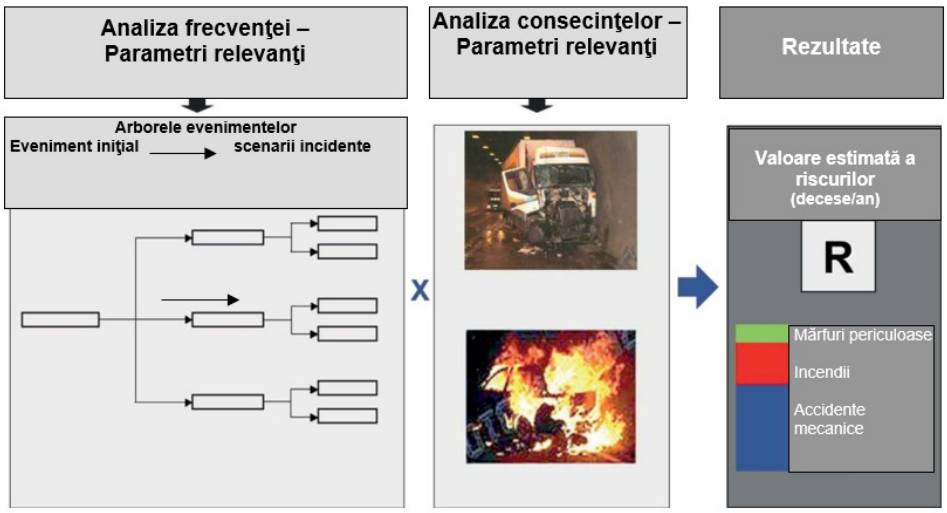


Figura 4. Structura analizei de risc conform RVS 09.03.11

4.3. Analiza cantitativă a frecvenţei evenimentelor

Analiza frecvenţei determină probabilitatea anuală de apariţie a scenariilor de risc într-un tunel rutier. Metodologia utilizează un arbore standardizat de evenimente care porneşte de la o rată de bază a incidentelor şi avansează prin probabilităţi condiţionate, modelate în funcţie de geometria, sistemele de siguranță și traficul specific proiectului.

Structura logică a arborelui este organizată pe următoarele coloane de calcul:

- Coloanele A şi B (Evenimentul iniţial şi starea traficului): Stabilesc frecvența anuală a avariilor și accidentelor pe baza lungimii tunelului și a MZA-ului, diferenţiind traficul standard de cel congestionat.

- Coloana C (Tipul de coliziune): Clasifică impactul mecanic în funcţie de dinamică (vehicul unic, coliziune în trafic unidirecţional sau bidirecţional).

- Coloana D (Vehicule implicate): Repartizează evenimentele în funcţie de categoriile implicate (autoturisme, vehicule grele, autobuze) şi de ponderea lor reală în trafic.

- Coloana E (Probabilitatea de incendiu): Estimează riscul statistic ca defecţiunea tehnică sau coliziunea mecanică să declanşeze un incendiu ulterior.

- Coloana F (Mărfuri periculoase): Cuantifică probabilitatea ca vehiculele grele implicate să transporte substanţe inflamabile sau toxice capabile să provoace explozii sau emisii chimice.

- Coloana G (Riscuri pentru persoane): Analizează dacă dinamica fumului periclitează utilizatorii, element strâns legat de succesul procesului de autoevacuare.

- Coloana H (Dezvoltarea incendiului): Diferenţiază un incendiu localizat de unul extins la întreaga încărcătură a vehiculului, în funcţie de rapiditatea serviciilor de intervenţie.

- Coloana I (Scenariul final): Încadrează terminal evenimentul într-o categorie de pagubă definită (accident mecanic pur sau incendiu standardizat de 5 MW, 30 MW ori 100 MW).

Prin înmulţirea probabilităţilor de pe fiecare ramură, analiza livrează frecvența anuală exactă a fiecărui scenariu final. Aceste date sunt integrate direct cu analiza consecinţelor pentru a determina riscul social total (exprimat în decese statistice pe an).

4.4. Analiza cantitativă a consecințelor evenimentelor

Analiza cantitativă a consecințelor conform ghidului AND 621/2025 determină amploarea preconizată a vătămărilor (exprimată în număr mediu de decese per eveniment) pentru fiecare scenariu final rezultat din arborele de evenimente. Metodologia evaluează independent efectele fizice ale coliziunilor, incendiilor și incidentelor cu mărfuri periculoase, integrând date statistice și simulări avansate ale propagării fumului și ale procesului de autoevacuare a utilizatorilor.

Structura tehnică a analizei consecințelor se bazează pe următoarele componente majore:

- Evaluarea coliziunilor mecanice: Utilizează o abordare strict statistică extrasă din istoricul accidentelor reale, determinând numărul mediu de victime în funcție de tipul de trafic (unidirecțional ori bidirecțional) și de categoriile de vehicule implicate (autoturisme, vehicule grele sau autobuze).

- Abordarea detaliată pentru incendii: Cuantifică efectele incendiilor prin modelare numerică complexă, combinând un model de flux de aer unidimensional (1D) pentru parametrii globali ai tunelului cu modele tridimensionale de dinamică a fluidelor (3D CFD) pentru simularea propagării locale a fumului, opacității și temperaturii.

- Modelarea matematică a autoevacuării: Simulează deplasarea persoanelor către ieșirile de urgență, luând în calcul timpi standardizați de întârziere a reacției (150 de secunde), rate de comportament greșit (persoane care rămân în vehicule) și reducerea vitezei de mers cauzată de opacitatea fumului și inhalarea gazelor toxice (CO, HCN).

- Abordarea standardizată pentru incendii: Pune la dispoziție o metodă simplificată destinată tunelurilor cu geometrii și sisteme de ventilație uzuale, permițând extragerea directă a consecințelor din tabele și diagrame cu valori precalculate matematic, fără a mai fi necesare simulări numerice specifice proiectului.

- Evaluarea mărfurilor periculoase: Estimează impactul letal extins determinat de eliberarea substanțelor speciale (inflamabile sau toxice), corelând scenariul de dispersie sau explozie cu densitatea traficului și capacitatea de adăpostire a infrastructurii.

4.5. Evaluarea rezultatelor analizei de risc pentru tuneluri

În etapa finală, valorile consecinţelor calculate (decese/eveniment) sunt multiplicate cu frecvenţele anuale (evenimente/an) obţinute din analiza de frecvenţă pentru fiecare ramură a arborelui. Suma tuturor acestor produse determină valoarea preconizată a riscului social total (decese estimate statistic pe an), indicatorul principal pe baza căruia se validează siguranţa proiectului prin compararea directă cu Tunelul de Referinţă.

Nivelul minim de siguranţă este considerat îndeplinit dacă riscul tunelului analizat este mai mic sau egal cu cel al tunelului de referinţă. Dacă cerinţele nu sunt îndeplinite, devine obligatorie implementarea unor măsuri suplimentare de reducere a riscului.

În continuare, tunelul analizat este încadrat într-o clasă de risc, pe baza rezultatului analizei de risc (decese estimate statistic pe an), conform tabelului de mai jos.

Tabelul 1. Clase de risc

Valoare preconizată a riscului		Clase de risc
Limita inferioară	Limita superioară	
	0,02	*I*
0,02	0,1	*II*
0,1	0,5	*III*
0,5		*IV*

Această clasă de risc dictează în mod direct nivelul de echipare ce trebuie ales conform reglementărilor RVS în vigoare.

5. CONCLUZII

România construieşte primele tuneluri de autostradă şi este esenţial ca aceste tuneluri să îndeplinească criteriile de siguranţă şi securitate a circulaţiei. Pentru asigurarea acestor criterii, este necesară realizarea unei analize de risc utilizând un standard consacrat precum cel austriac, RVS 09.03.11. Prezenta lucrare a detaliat procedura de implementare a acestui standard, pus la dispoziţie la nivel naţional prin ghidul AND 621/2025.

BIBLIOGRAFIE

[1]. AND 621/**2025**: *Ghid tehnic privind modelul de analiză a riscurilor pentru tunelele rutiere. Anexă. Indicativ AND 621/**2025***, 72 pag., **2025**.

[2]. ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE – SCHIENE – VERKEHR (FSV): *RVS 09.03.11 Tunnel Risk Analysis Model. Tunnel Safety*, Ediție emisă la 1 aprilie **2015**, revizuită la 1 octombrie **2019**. Viena: FSV, 65 pag., **2019**.

[3]. F. DIERNHOFER, B. KOHL, R. HÖRHAN: *New Austrian Guideline for the Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels*, *5th International Conference „Tunnel Safety and Ventilation”*, Graz, pag. 44-51, **2010**.

[4]. B. KOHL, K. BOTSCHEK, R. HÖRHAN: *Austrian Risk Analysis for Road Tunnels. Development of a new Method for the Risk Assessment of Road Tunnels, 3rd International Conference „Tunnel Safety and Ventilation”*, Graz, pag. 204-211, **2006**.

[5]. ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE – SCHIENE – VERKEHR (FSV): *RVS 09.02.22 Tunnel Equipment. Operation and Safety Facilities*, Ediție emisă la 1 iunie **2014**, revizuită la 1 octombrie **2019**. Viena: FSV, 86 pag., **2019**.

STUDIU COMPARATIV PRIVIND DIMENSIONAREA STRUCTURILOR RUTIERE FLEXIBILE PRIN UTILIZAREA PROGRAMELOR ALIZE ŞI CALDEROM

Egbakou Kossivi Antoine, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: antoine.egbakou@student.utcb.ro
Petcu Claudia, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: claudia.petcu@utcb.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă un studiu comparativ privind dimensionarea structurilor rutiere flexibile prin utilizarea programelor de calcul CALDEROM și ALIZE-LCPC, în scopul evaluării diferențelor dintre rezultatele obținute și al influenței acestora asupra verificării criteriilor de dimensionare. Analiza a fost realizată pentru trei cazuri de studiu, caracterizate prin condiții diferite ale terenului de fundare, considerând o structură rutieră de referință alcătuită din straturi bituminoase și granulare.

Au fost analizate deformațiile specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase și deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul patului drumului, prin raportare la valorile admisibile determinate conform metodologiilor de dimensionare utilizate. Rezultatele evidențiază diferențe între valorile calculate cu cele două programe, asociate particularităților modelelor de calcul și configurațiilor de încărcare considerate.

Pentru structurile analizate, programele CALDEROM și ALIZE-LCPC, în configurația cu roată simplă, conduc, în general, la valori mai ridicate ale deformațiilor specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase comparativ cu ALIZE-LCPC în configurația cu roți jumelate. În schimb, diferențele dintre deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul patului drumului variază în funcție de caracteristicile terenului de fundare și de configurația încărcării aplicate.

Analiza comparativă evidențiază importanța interpretării rezultatelor în raport cu ipotezele de calcul și criteriile de dimensionare specifice fiecărei metodologii, contribuind la o evaluare mai riguroasă a comportării structurilor rutiere flexibile și la fundamentarea deciziilor de proiectare.

Cuvinte cheie: structuri rutiere flexibile, CALDEROM, ALIZE-LCPC, dimensionare, deformații specifice, criterii de dimensionare

Abstract

This paper presents a comparative study on the design of flexible pavement structures using the CALDEROM and ALIZE-LCPC software programs, aiming to evaluate differences between the results obtained and their influence on the verification of pavement design criteria. The analysis was conducted for three case studies characterized by different subgrade conditions, considering a reference pavement structure consisting of bituminous and granular layers.

Horizontal tensile strains at the bottom of the bituminous layers and vertical compressive strains at the roadbed level were analyzed in relation to the allowable values determined according to the pavement design methodologies applied. The results reveal differences between the values calculated using the two programs, associated with the specific characteristics of the calculation models and the loading configurations considered.

For the pavement structures analyzed, CALDEROM and ALIZE-LCPC using a single-wheel loading configuration generally yield higher horizontal tensile strains at the bottom of the bituminous layers compared with ALIZE-LCPC using a dual-wheel loading configuration. In contrast, differences in vertical compressive strains at the roadbed level vary depending on the subgrade characteristics and the applied loading configuration.

The comparative analysis highlights the importance of interpreting the results in relation to the calculation assumptions and design criteria specific to each methodology, contributing to a more rigorous assessment of the structural behavior of flexible pavement structures and providing a sound basis for pavement design decisions.

Keywords: flexible pavement structures, CALDEROM, ALIZE-LCPC, pavement design, strains, pavement design criteria

1. INTRODUCERE

Dimensionarea structurilor rutiere flexibile reprezintă o etapă esențială în proiectarea infrastructurii rutiere, având ca obiectiv stabilirea unei alcătuiri structurale capabile să preia solicitările generate de trafic pe durata de exploatare proiectată. Alegerea și dimensionarea straturilor componente trebuie realizată în corelare cu caracteristicile mecanice ale materialelor, capacitatea portantă a terenului de fundare și nivelul traficului de calcul [1], [2].

Metodele analitice de dimensionare se bazează pe evaluarea stării de tensiuni și deformații specifice dezvoltate în structura rutieră sub acțiunea încărcărilor transmise de vehicule. Fundamentele teoretice ale acestor metode sunt reprezentate de teoria elasticității și de analiza sistemelor multistrat, care

permit determinarea răspunsului mecanic al structurii rutiere în funcţie de caracteristicile straturilor componente [3], [4], [5].

În cazul structurilor rutiere flexibile, verificarea comportării structurale urmăreşte, în principal, limitarea deformaţiilor specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase şi a deformaţiilor specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare. Aceste mărimi sunt utilizate în evaluarea comportării la oboseală a straturilor bituminoase şi a riscului de acumulare a deformaţiilor permanente [6], [7].

În România, dimensionarea analitică a structurilor rutiere suple şi semirigide se realizează potrivit prevederilor normativului PD 177-2001, care stabileşte principiile de calcul şi criteriile de verificare a structurilor rutiere [8]. Programul CALDEROM permite determinarea răspunsului mecanic al sistemului rutier multistrat şi evaluarea criteriilor de dimensionare în cadrul metodologiei româneşti.

În Franţa, dimensionarea structurilor rutiere se bazează pe o metodologie analitică fundamentată pe caracteristicile mecanice ale materialelor, condiţiile de încărcare şi comportarea structurii în exploatare. Principiile acestei abordări sunt prezentate în documentaţiile tehnice franceze şi în norma NF P98-086 [9], [10]. Programul ALIZE-LCPC permite modelarea structurilor rutiere multistrat şi determinarea tensiunilor şi deformaţiilor specifice generate de încărcările din trafic [11]. Principiile analizei mecanice a structurilor rutiere flexibile şi ale modelării sistemelor multistrat sunt prezentate pe larg în literatura de specialitate [12].

Deşi cele două programe utilizează modele mecanice bazate pe comportarea sistemelor multistrat, diferenţele dintre ipotezele de calcul, condiţiile de încărcare şi criteriile de verificare pot influenţa rezultatele dimensionării. În consecinţă, compararea valorilor calculate necesită utilizarea unor condiţii de analiză echivalente şi interpretarea rezultatelor în raport cu particularităţile fiecărei metodologii.

În acest context, lucrarea îşi propune realizarea unui studiu comparativ privind dimensionarea structurilor rutiere flexibile prin utilizarea programelor CALDEROM şi ALIZE-LCPC. Analiza urmăreşte evaluarea influenţei caracteristicilor terenului de fundare şi a nivelului traficului de calcul asupra deformaţiilor specifice şi a verificării criteriilor de dimensionare.

Studiul este realizat pentru o structură rutieră flexibilă cu alcătuire constantă, analizată în trei situaţii caracterizate prin module de elasticitate ale terenului de fundare de 70, 80 şi 90 MPa şi pentru trei niveluri ale traficului de

calcul: 0,2, 0,7 şi 2,0 milioane de osii standard. Pentru compararea rezultatelor obţinute cu cele două programe este utilizată încărcarea de 115 kN, fiind analizată suplimentar influenţa încărcării de 130 kN în cadrul programului ALIZE-LCPC.

Prin analiza comparativă se urmăreşte evidenţierea diferenţelor dintre deformaţiile specifice calculate, identificarea situaţiilor în care structura rutieră nu satisface criteriile de dimensionare şi evaluarea posibilităţilor de îmbunătăţire a alcătuirii structurale. Rezultatele studiului pot contribui la o mai bună înțelegere a influenţei metodologiei de calcul asupra evaluării comportării structurilor rutiere flexibile.

2. STUDIUL COMPARATIV

Studiul comparativ urmărește evaluarea răspunsului mecanic al unei structuri rutiere flexibile prin utilizarea programelor CALDEROM şi ALIZE-LCPC, în condiţii diferite privind caracteristicile terenului de fundare şi nivelul traficului de calcul.

Analiza are la bază modelarea structurii rutiere ca sistem multistrat, caracterizat prin grosimea, modulul de elasticitate şi coeficientul lui Poisson aferente fiecărui strat. Acest tip de modelare permite determinarea tensiunilor şi deformaţiilor specifice produse de încărcările din trafic, constituind fundamentul metodelor analitice de dimensionare [3], [4], [5].

Pentru asigurarea comparabilităţii rezultatelor, au fost menţinute aceleaşi caracteristici geometrice şi mecanice ale straturilor rutiere, fiind modificat modulul de elasticitate al terenului de fundare. Au fost analizate trei cazuri de studiu, corespunzătoare modulelor de elasticitate de 80 MPa, 90 MPa şi 70 MPa, pentru fiecare dintre acestea fiind considerate trei niveluri ale traficului de calcul: 0,2, 0,7 şi 2,0 milioane de osii standard.

În cadrul analizei au fost urmărite deformaţiile specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase şi deformaţiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, precum şi îndeplinirea criteriilor de dimensionare corespunzătoare fiecărei metodologii. Pentru compararea directă a deformaţiilor specifice calculate a fost utilizată încărcarea de 115 kN, iar în programul ALIZE-LCPC a fost analizată suplimentar încărcarea de 130 kN.

Evaluarea rezultatelor a fost realizată prin compararea valorilor calculate în condiţii de încărcare echivalente şi prin verificarea acestora în raport cu limitele admisibile specifice metodologiilor utilizate [8], [10].

2.1. Alcătuirea structurii rutiere

Pentru realizarea studiului comparativ a fost considerată o structură rutieră flexibilă alcătuită din straturi bituminoase şi straturi granulare de fundaţie, dispuse pe terenul de fundare. Alcătuirea structurii şi caracteristicile mecanice ale materialelor au fost definite în vederea realizării calculelor cu programele CALDEROM şi ALIZE-LCPC.

Stabilirea caracteristicilor mecanice ale straturilor reprezintă o etapă importantă a modelării, întrucât valorile modulilor de elasticitate şi ale coeficienţilor lui Poisson influenţează distribuţia tensiunilor şi deformaţiilor specifice în sistemul rutier multistrat [5].

Structura rutieră analizată cuprinde un strat de uzură din beton asfaltic BA16, cu grosimea de 4 cm, un strat de legătură din BAD22.4, cu grosimea de 6 cm, şi un strat de bază din anrobat bituminos AB31.5, cu grosimea de 8 cm. Fundaţia este alcătuită dintr-un strat de piatră spartă de 20 cm şi un strat de balast de 25 cm.

Grosimea totală a structurii rutiere este de 63 cm, dintre care 18 cm reprezintă straturile bituminoase şi 45 cm straturile granulare de fundaţie.

Caracteristicile geometrice şi mecanice adoptate pentru straturile componente sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Alcătuirea structurii rutiere de referinţă

Material strat	Grosime (cm)	E (MPa)
BA 16 – strat de uzură	4	3.600
BAD 22.4 – strat de legătură	6	3.000
AB 31.5 – strat de bază	8	5.000
Piatră spartă	20	500
Balast	25	variabil

Conform datelor prezentate în Tabelul 1, modulele de elasticitate adoptate pentru straturile bituminoase sunt de 3.600 MPa pentru stratul de uzură, 3.000 MPa pentru stratul de legătură şi 5.000 MPa pentru stratul de bază. Pentru stratul de piatră spartă a fost considerat un modul de elasticitate de 500 MPa, iar caracteristicile celorlalte straturi au fost introduse potrivit ipotezelor de calcul ale studiului.

Pentru evaluarea influenței terenului de fundare asupra comportării structurale au fost considerate trei situații distincte: teren de fundare de tip P4, cu modulul de elasticitate de 80 MPa; teren de fundare de tip P2, cu modulul de elasticitate de 90 MPa; și teren de fundare de tip P3, cu modulul de elasticitate de 70 MPa. Pentru toate cazurile analizate au fost menținute tipul climateric 1 și regimul hidrologic 1.

Menținerea aceleiași alcătuiri structurale permite compararea rezultatelor obținute pentru cele trei cazuri de studiu și evidențierea variațiilor răspunsului mecanic asociate caracteristicilor terenului de fundare.

Datele astfel definite au constituit baza calculelor efectuate cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC, rezultatele fiind analizate în secțiunile următoare.

2.2. Rezultatele comparative ale deformațiilor și verificarea criteriilor de dimensionare

Evaluarea comportării mecanice a structurii rutiere a fost realizată prin determinarea deformațiilor specifice în punctele critice, pentru cele trei cazuri de studiu și pentru nivelurile de trafic considerate. Analiza urmărește atât compararea rezultatelor obținute cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC, cât și verificarea respectării criteriilor de dimensionare specifice metodologiilor utilizate.

În cadrul metodei analitice, evaluarea comportării structurale presupune corelarea deformațiilor specifice calculate cu limitele admisibile, stabilite în funcție de caracteristicile materialelor și de solicitările repetate produse de trafic. Studiile privind dimensionarea structurilor rutiere flexibile evidențiază importanța acestor verificări pentru aprecierea comportării în exploatare [13], [14].

Pentru programul CALDEROM, verificările au fost efectuate prin raportarea ratei de degradare prin oboseală și a deformației specifice verticale de compresiune la valorile limită corespunzătoare traficului de calcul, potrivit metodologiei românești [8].

În cazul programului ALIZE-LCPC, analiza a urmărit deformațiile specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase și deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare. Interpretarea acestora a fost realizată în raport cu metodologia franceză de dimensionare, care

utilizează caracteristicile materialelor şi criteriile mecanice specifice diferitelor categorii de structuri rutiere [10], [15].

În literatura de specialitate, analiza comparativă a metodelor de dimensionare este utilizată pentru evidenţierea influenţei ipotezelor de calcul şi a parametrilor mecanici asupra rezultatelor obţinute. Lucrările dedicate evaluării structurilor rutiere şi optimizării metodelor de calcul oferă un cadru de referinţă pentru interpretarea diferenţelor dintre soluţiile analizate [16, 17]. În acest context, metodele analitice de dimensionare a structurilor rutiere flexibile au în vedere caracteristicile mecanice ale straturilor componente, solicitările generate de trafic şi criteriile de performanţă utilizate pentru evaluarea comportării structurale [18].

Pentru fiecare caz de studiu au fost determinate deformaţiile specifice corespunzătoare încărcării de 115 kN, utilizată pentru compararea directă a rezultatelor celor două programe. În cadrul programului ALIZE-LCPC a fost analizată suplimentar încărcarea de 130 kN, pentru evidenţierea influenţei acesteia asupra răspunsului mecanic al structurii rutiere. Rezultatele sunt prezentate separat pentru cele trei cazuri de studiu, urmate de o analiză comparativă a valorilor calculate şi a îndeplinirii criteriilor de dimensionare.

Pentru compararea rezultatelor obţinute cu programele CALDEROM şi ALIZE-LCPC, în cadrul programului ALIZE-LCPC au fost analizate două configuraţii de aplicare a încărcării: roţi jumelate şi roată simplă. Configuraţiile de încărcare sunt prezentate în Figura 1.



a) Roți jumelate b) Roată simplă

Figura 1. Configuraţiile de aplicare a încărcării în ALIZE-LCPC: a) roţi jumelate; b) roată simplă

Deformaţiile specifice obţinute cu programele CALDEROM şi ALIZE-LCPC au fost comparate cu valorile admisibile determinate conform normativului românesc PD 177-2001 [8], pentru CALDEROM şi ALIZE-LCPC în configuraţia

cu roată simplă, respectiv conform metodologiei franceze NF P98-086 [10], pentru ALIZE-LCPC în configurația cu roți jumelate.

2.2.1. Caz de studiu 1

Primul caz de studiu analizează comportarea structurii rutiere flexibile pentru un teren de fundare de tip P4, caracterizat printr-un modul de elasticitate de 80 MPa, în condițiile tipului climateric 1 și ale regimului hidrologic 1. Alcătuirea structurii rutiere și caracteristicile mecanice ale straturilor sunt cele prezentate în Tabelul 1.

Pentru evaluarea comportării structurale au fost efectuate calcule cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC, considerând niveluri ale traficului de calcul de 0,2, 0,7 și 2,0 milioane de osii standard. Analiza urmărește verificarea criteriilor de dimensionare și compararea deformațiilor specifice calculate în punctele critice ale structurii rutiere.

Rezultatele obținute cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă)

Verificarea criteriului de rezistență la oboseală a straturilor bituminoase a fost realizată prin determinarea ratei de degradare prin oboseală (RDO), pentru cele trei niveluri ale traficului de calcul. Rezultatele sunt prezentate în Figura 2.

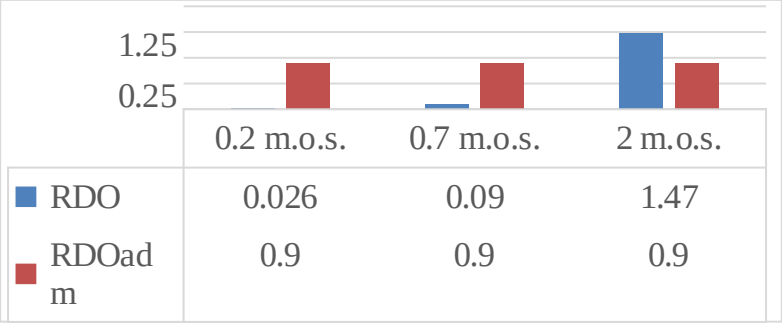


Figura 2. Verificare Rata de degradare la oboseală

Valorile RDO obținute sunt de 0,026 pentru un trafic de 0,2 milioane de osii standard, 0,090 pentru 0,7 milioane de osii standard și 1,470 pentru 2,0 milioane de osii standard. Prin raportare la valoarea limită de 0,90, se constată îndeplinirea criteriului de rezistență la oboseală pentru primele două niveluri de trafic și neîndeplinirea acestuia pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard.

Verificarea criteriului privind deformația specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare este ilustrată în Figura 3.

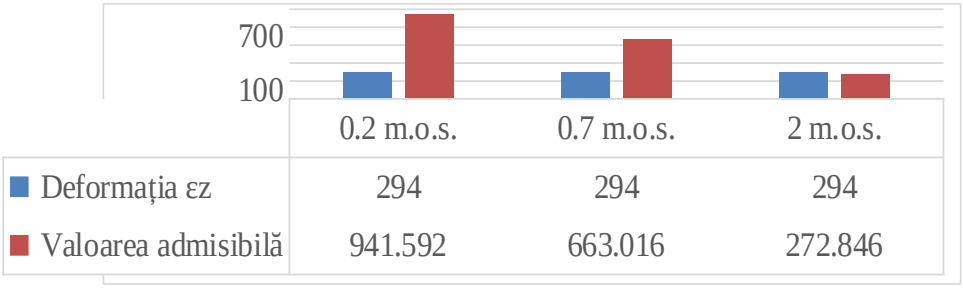


Figura 3. Verificare εz la nivelul pământului de fundare

Deformația specifică verticală calculată este de aproximativ 294 μm/m, în timp ce valorile admisibile corespunzătoare celor trei niveluri de trafic sunt de aproximativ 942 μm/m, 663 μm/m și 273 μm/m. Rezultă că acest criteriu este îndeplinit pentru traficul de 0,2 și 0,7 milioane de osii standard, dar nu este îndeplinit pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard.

Prin urmare, pentru structura rutieră analizată, verificările efectuate cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) indică necesitatea îmbunătățirii alcătuirii structurale în cazul traficului de 2,0 milioane de osii standard, întrucât sunt depășite atât limita admisibilă a ratei de degradare prin oboseală, cât și deformația specifică verticală admisibilă la nivelul terenului de fundare.

Rezultatele obținute cu programul ALIZE-LCPC (roți jumelate)

Pentru aceeași structură rutieră au fost efectuate calcule cu programul ALIZE-LCPC (roți jumelate), urmărindu-se determinarea deformațiilor specifice și verificarea acestora în raport cu valorile admisibile corespunzătoare nivelurilor de trafic analizate. Rezultatele obținute pentru încărcarea de 115 kN sunt prezentate în Figura 4, Figura 5 și Figura 6.

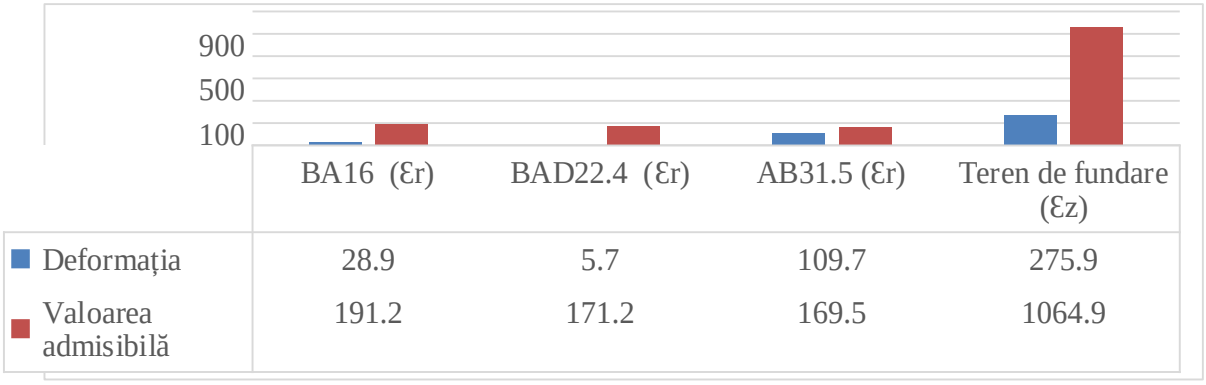


Figura 4. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 0,2 m.o.s.

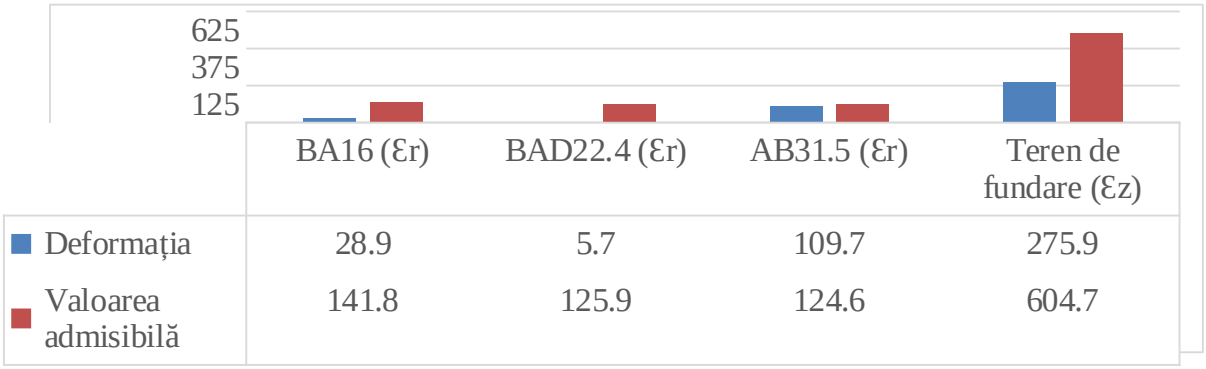


Figura 5. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 0,7 m.o.s.

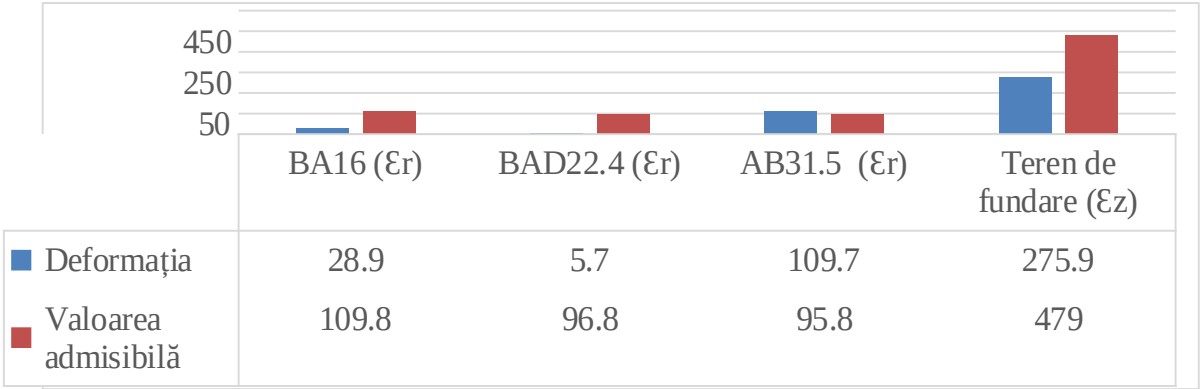


Figura 6. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 2,0 m.o.s.

În condițiile menținerii aceleiași structuri rutiere și a aceleiași încărcări, valorile deformațiilor specifice calculate rămân constante, în timp ce valorile admisibile se reduc odată cu creșterea traficului de calcul. Această evoluție evidențiază influența solicitărilor repetate asupra verificării criteriilor de dimensionare și explică posibilitatea ca o structură rutieră să satisfacă cerințele pentru un nivel redus de trafic, dar să nu le mai îndeplinească pentru un trafic mai ridicat.

Analiza comparativă CALDEROM – ALIZE-LCPC

Pentru evidențierea diferențelor dintre rezultatele furnizate de cele două programe, Figura 7 prezintă comparativ deformațiile specifice calculate la baza straturilor bituminoase şi la nivelul terenului de fundare, pentru CALDEROM la 115 kN şi ALIZE-LCPC la 115 kN şi 130 kN.

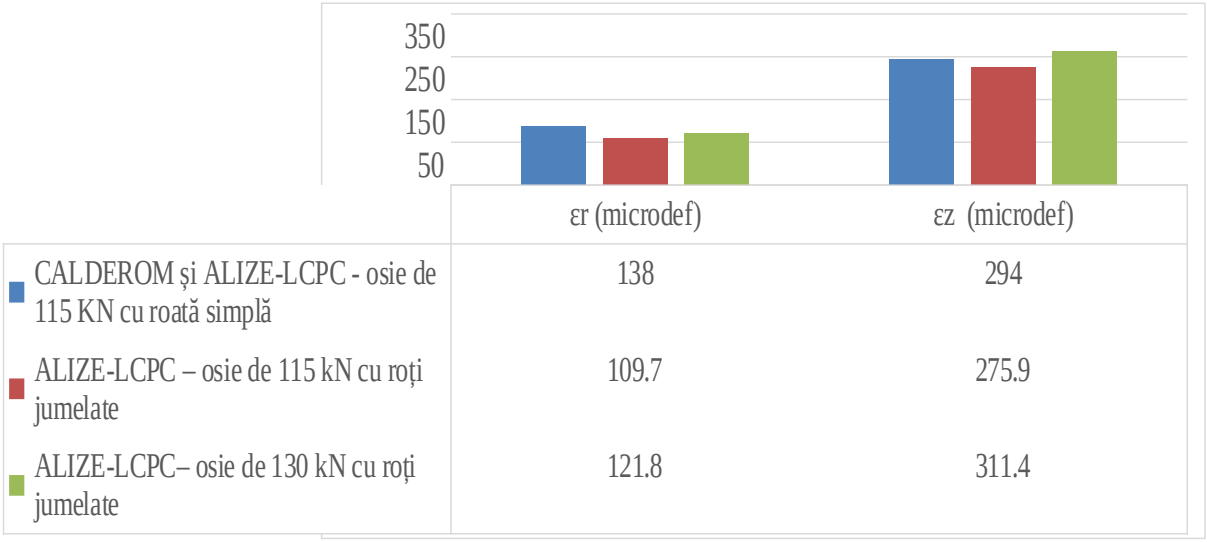


Figura 7. Comparația deformațiilor specifice calculate cu programele CALDEROM şi ALIZE-LCPC

În cazul deformațiilor specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase, CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) furnizează o valoare de aproximativ 138 μm/m, comparativ cu 109,7 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 115 kN şi 121,8 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 130 kN. Astfel, valoarea obținută cu CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) este cu aproximativ 25,8% mai mare decât cea calculată cu ALIZE-LCPC (roți jumelate) pentru aceeași încărcare de 115 kN. În ceea ce privește deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, valorile obținute sunt de aproximativ 294 μm/m pentru CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) la 115 kN, 275,9 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 115 kN şi 311,4 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 130 kN. Pentru aceeași încărcare de 115 kN, CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) conduce la o valoare cu aproximativ 6,6% mai mare decât ALIZE-LCPC (roți jumelate).

Rezultatele evidențiază diferențe între răspunsurile mecanice calculate cu cele două programe, inclusiv în condițiile aplicării aceleiași încărcări. Totodată, creșterea încărcării de la 115 kN la 130 kN în calculele ALIZE-LCPC (roți

jumelate) determină majorarea deformațiilor specifice, confirmând importanța utilizării unor condiții de încărcare comparabile în interpretarea rezultatelor.

Pentru primul caz de studiu, analiza evidențiază atât influența metodologiei de calcul asupra valorilor deformațiilor specifice, cât și necesitatea verificării structurii rutiere în raport cu nivelul traficului de calcul și cu valorile admisibile specifice fiecărei metode.

2.2.2. Caz de studiu 2

Cel de-al doilea caz de studiu analizează comportarea aceleiași structuri rutiere flexibile pentru un teren de fundare de tip P2, caracterizat printr-un modul de elasticitate de 90 MPa, în condițiile tipului climateric 1 și ale regimului hidrologic 1. Comparativ cu primul caz de studiu, creșterea modulului de elasticitate al terenului de fundare permite evaluarea influenței unei rigidități mai ridicate asupra răspunsului mecanic al structurii rutiere.

Rezultatele obținute cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă)

Verificarea criteriului de rezistență la oboseală a straturilor bituminoase a fost realizată pentru cele trei niveluri ale traficului de calcul, rezultatele fiind prezentate în Figura 8.



Figura 8. Verificare Rata de degradare la oboseală

Valorile RDO sunt de 0,023 pentru un trafic de 0,2 milioane de osii standard, 0,082 pentru 0,7 milioane de osii standard și 1,342 pentru 2,0 milioane de osii standard. Prin raportare la valoarea limită de 0,90, se constată îndeplinirea criteriului de rezistență la oboseală pentru primele două niveluri de trafic și neîndeplinirea acestuia pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard.

Verificarea criteriului privind deformația specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare a fost realizată prin compararea

valorii calculate cu valorile admisibile corespunzătoare celor trei niveluri de trafic. Rezultatele sunt prezentate în Figura 9.

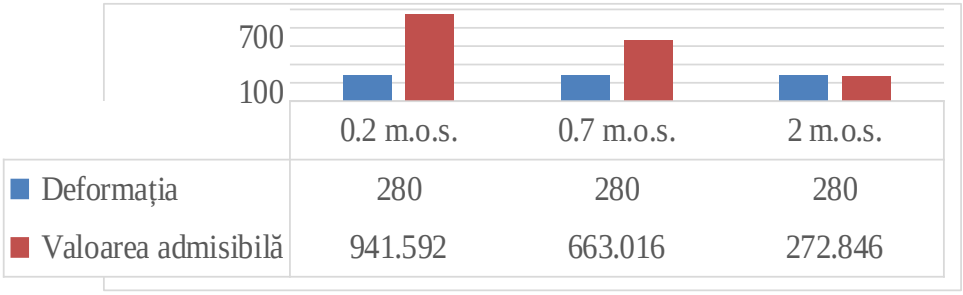


Figura 9. Verificare εz la nivelul terenului de fundare

Deformația specifică verticală de compresiune calculată este de aproximativ 280 μm/m, fiind inferioară valorilor admisibile de aproximativ 942 μm/m și 663 μm/m, corespunzătoare traficului de 0,2 și 0,7 milioane de osii standard. Pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard, valoarea calculată depășește valoarea admisibilă de aproximativ 273 μm/m.

Se remarcă faptul că, pentru acest nivel de trafic, deformația specifică verticală de compresiune calculată depășește cu aproximativ 2,6% valoarea admisibilă, indicând o abatere relativ redusă față de limita de verificare. În schimb, rata de degradare prin oboseală, RDO = 1,342, depășește cu aproximativ 49,1% valoarea limită de 0,90, evidențiind o neîndeplinire mai pronunțată a criteriului de rezistență la oboseală.

Rezultatele verificărilor efectuate cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) indică faptul că structura rutieră analizată îndeplinește criteriile de dimensionare pentru traficul de 0,2 și 0,7 milioane de osii standard, dar nu satisface cerințele pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard. Comparativ cu primul caz de studiu, se observă reducerea valorilor RDO și a deformației specifice verticale calculate, asociată creșterii modulului de elasticitate al terenului de fundare.

Rezultatele obținute cu programul ALIZE-LCPC (roți jumelate)

Pentru aceeași structură rutieră au fost efectuate calcule cu programul ALIZE-LCPC, urmărindu-se determinarea deformațiilor specifice în punctele critice și verificarea acestora în raport cu valorile admisibile corespunzătoare nivelurilor de trafic analizate.

Rezultatele verificărilor efectuate pentru încărcarea de 115 kN și traficul de 0,2 milioane de osii standard sunt prezentate în Figura 10.

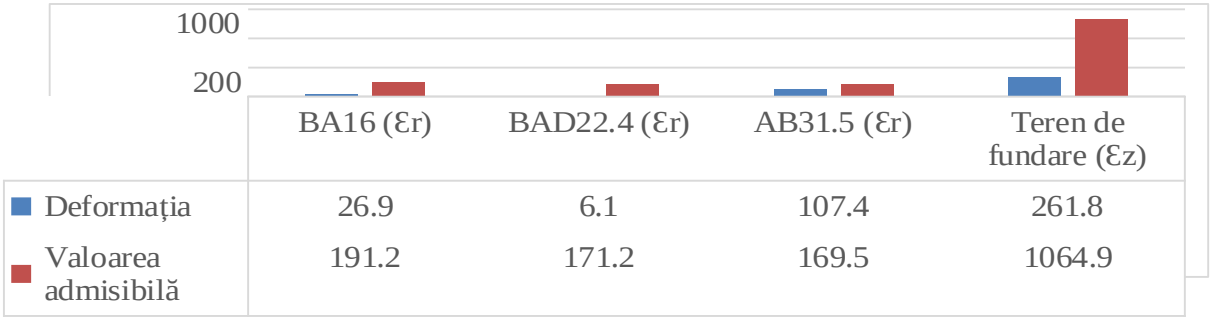


Figura 10. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 0,2 m.o.s.

Pentru evaluarea influenței creșterii traficului asupra verificării criteriilor de dimensionare, analiza a fost continuată pentru un trafic de 0,7 milioane de osii standard, rezultatele fiind prezentate în Figura 11.

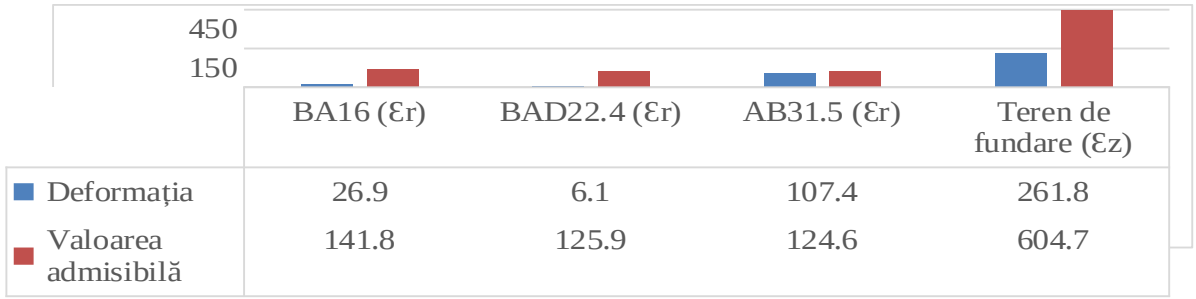


Figura 11. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 0,7 m.o.s.

În continuare, a fost analizat nivelul de trafic de 2,0 milioane de osii standard, pentru care rezultatele verificării criteriilor de dimensionare sunt ilustrate în Figura 12.

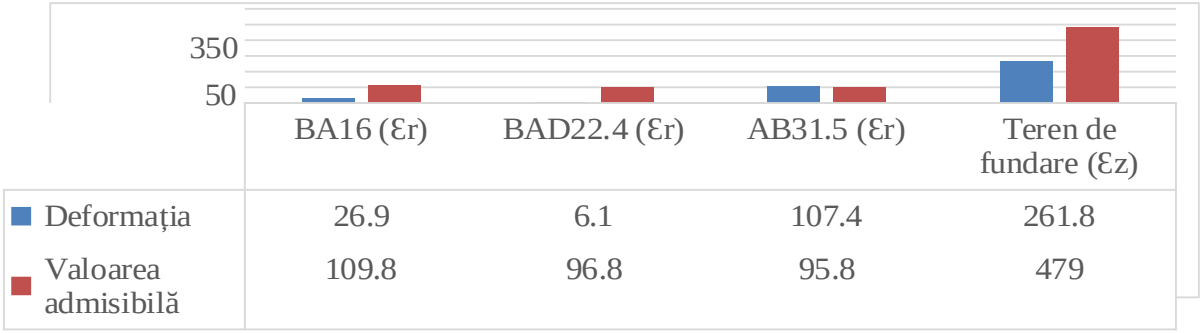


Figura 12. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 2,0 m.o.s.

Pentru încărcarea de 115 kN, programul ALIZE-LCPC furnizează o deformație specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase de aproximativ 107,1 μm/m și o deformație specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare de aproximativ 261,8 μm/m.

În condițiile menținerii aceleiași alcătuiri structurale și a aceleiași încărcări, deformațiile specifice calculate rămân constante pentru cele trei niveluri de trafic. În schimb, valorile admisibile se reduc odată cu creșterea traficului de calcul, ceea ce conduce la condiții de verificare mai restrictive. Prin urmare, evaluarea îndeplinirii criteriilor de dimensionare trebuie realizată pentru fiecare nivel de trafic, prin raportarea valorilor calculate la limitele admisibile corespunzătoare.

Analiza comparativă CALDEROM – ALIZE-LCPC

Pentru evidențierea diferențelor dintre rezultatele obținute cu cele două programe, în Figura 13 sunt prezentate comparativ deformațiile specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase și deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, pentru încărcările considerate în analiză.

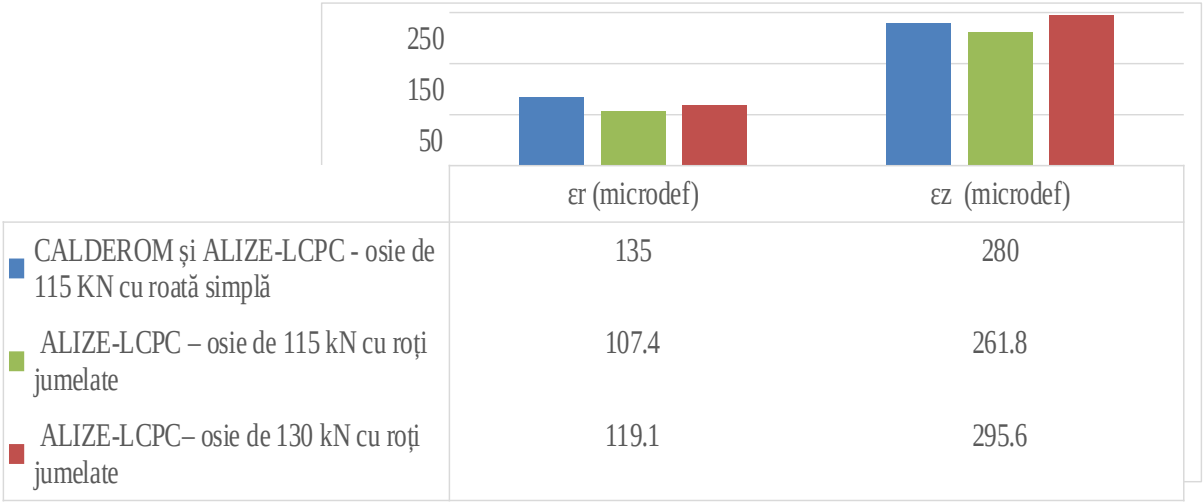


Figura 13. Comparația deformațiilor specifice calculate cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC

În cazul deformațiilor specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase, valorile obținute sunt de aproximativ 135 μm/m pentru CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) la 115 kN, 107,4 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 115 kN și 119,1 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 130 kN. Pentru aceeași încărcare de 115 kN, valoarea calculată cu CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) este cu aproximativ 25,7% mai mare decât cea obținută cu ALIZE-LCPC (roți jumelate). Totodată, în cadrul calculelor ALIZE-LCPC (roți jumelate), creșterea încărcării de la 115 kN la 130

kN determină majorarea deformației specifice orizontale de întindere cu aproximativ 10,9%.

În ceea ce privește deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, valorile calculate sunt de aproximativ 280 μm/m pentru CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) la 115 kN, 261,8 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 115 kN și 295,6 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 130 kN. Pentru aceeași încărcare de 115 kN, valoarea obținută cu CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) este cu aproximativ 7,0% mai mare decât cea calculată cu ALIZE-LCPC (roți jumelate). În cadrul programului ALIZE-LCPC (roți jumelate), majorarea încărcării la 130 kN conduce la creșterea deformației specifice verticale cu aproximativ 12,9%.

Comparativ cu primul caz de studiu, creșterea modulului de elasticitate al terenului de fundare de la 80 MPa la 90 MPa este însoțită de reducerea deformațiilor specifice verticale calculate cu ambele programe, evidențiind influența rigidității terenului de fundare asupra răspunsului mecanic al structurii rutiere.

Rezultatele celui de-al doilea caz de studiu evidențiază diferențe/asemănări între deformațiile specifice calculate cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC, inclusiv în condițiile utilizării aceleiași încărcări de 115 kN. Aceste diferențe trebuie interpretate în raport cu particularitățile modelelor de calcul și cu parametrii adoptați în fiecare program. Totodată, verificările efectuate cu CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) arată că îmbunătățirea caracteristicilor terenului de fundare nu este suficientă pentru îndeplinirea criteriilor de dimensionare în cazul traficului de 2,0 milioane de osii standard.

2.2.3. Caz de studiu 3

Cel de-al treilea caz de studiu analizează comportarea structurii rutiere flexibile pentru un teren de fundare de tip P3, caracterizat printr-un modul de elasticitate de 70 MPa, în condițiile tipului climacteric 1 și ale regimului hidrologic 1. Alcătuirea structurii rutiere și caracteristicile mecanice ale straturilor sunt identice cu cele considerate în cazurile precedente. Reducerea modulului de elasticitate al terenului de fundare permite evaluarea influenței unei rigidități mai scăzute asupra deformațiilor specifice și a îndeplinirii criteriilor de dimensionare.

Rezultatele obținute cu programul CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă)

Verificarea criteriului de rezistență la oboseală a straturilor bituminoase a fost realizată prin determinarea ratei de degradare prin oboseală (RDO), pentru cele trei niveluri ale traficului de calcul. Rezultatele sunt prezentate în Figura 14.

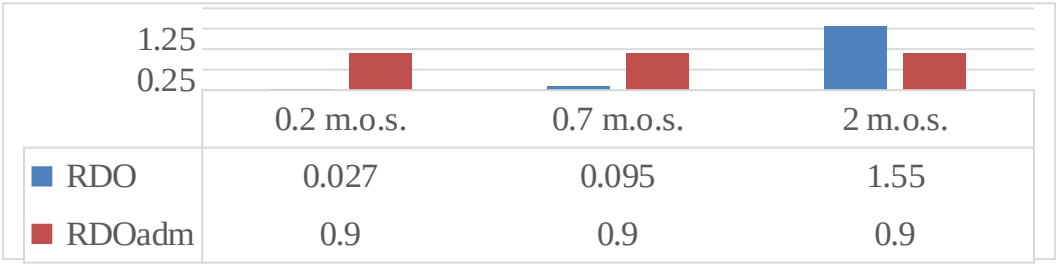


Figura 14. Verificare Rata de degradare la oboseală

Valorile RDO obținute sunt de 0,027 pentru un trafic de 0,2 milioane de osii standard, 0,095 pentru 0,7 milioane de osii standard și 1,550 pentru 2,0 milioane de osii standard. Prin raportare la valoarea limită de 0,90, se constată îndeplinirea criteriului de rezistență la oboseală pentru primele două niveluri de trafic și depășirea limitei admisibile pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard.

Pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard, valoarea RDO depășește cu aproximativ 72,2% limita admisibilă, evidențiind necesitatea modificării alcătuirii structurale pentru asigurarea rezistenței la oboseală.

Verificarea criteriului privind deformația specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare a fost realizată prin compararea valorii calculate cu valorile admisibile corespunzătoare nivelurilor de trafic analizate. Rezultatele sunt prezentate în Figura 15.

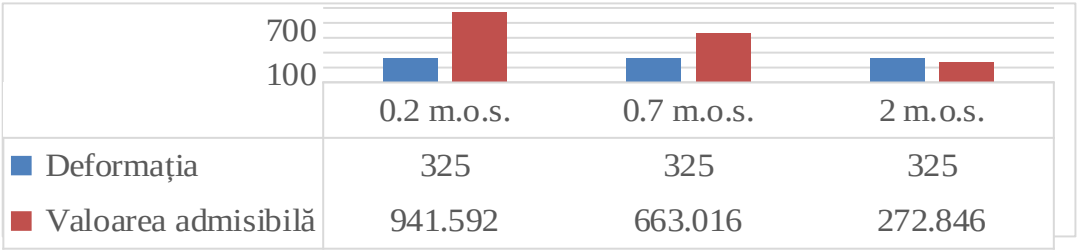


Figura 15. Verificare εz la nivelul terenului de fundare

Deformația specifică verticală calculată este de aproximativ 325 μm/m, fiind inferioară valorilor admisibile de aproximativ 942 μm/m și 663 μm/m, corespunzătoare traficului de 0,2 și 0,7 milioane de osii standard. Pentru traficul

de 2,0 milioane de osii standard, valoarea calculată depășește valoarea admisibilă de aproximativ 273 μm/m, cu aproximativ 19,0%.

Prin urmare, verificările efectuate cu programul CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) indică îndeplinirea criteriilor de dimensionare pentru primele două niveluri de trafic și neîndeplinirea acestora pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard. Comparativ cu primele două cazuri de studiu, reducerea modulului de elasticitate al terenului de fundare la 70 MPa este însoțită de creșterea deformației specifice verticale calculate și a ratei de degradare prin oboseală.

Rezultatele obținute cu programul ALIZE-LCPC (roți jumelate)

Pentru aceeași structură rutieră au fost efectuate calcule cu programul ALIZE-LCPC (roți jumelate), urmărindu-se determinarea deformațiilor specifice în punctele critice și verificarea acestora în raport cu valorile admisibile corespunzătoare celor trei niveluri de trafic.

Rezultatele verificărilor pentru încărcarea de 115 kN și traficul de 0,2 milioane de osii standard sunt prezentate în Figura 16.

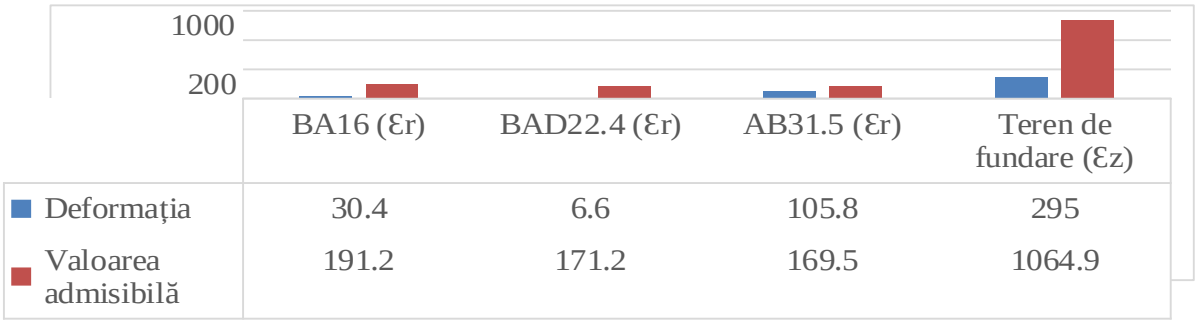


Figura 16. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 0,2 m.o.s.

Pentru traficul de 0,7 milioane de osii standard, rezultatele verificării criteriilor de dimensionare sunt prezentate în Figura 17.

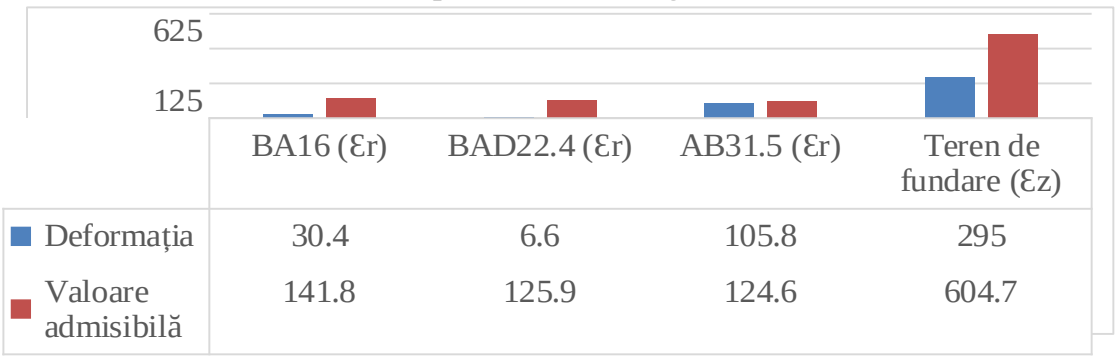


Figura 17. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 0,7 m.o.s.

În continuare, a fost analizat traficul de 2,0 milioane de osii standard, rezultatele corespunzătoare fiind ilustrate în Figura 18.

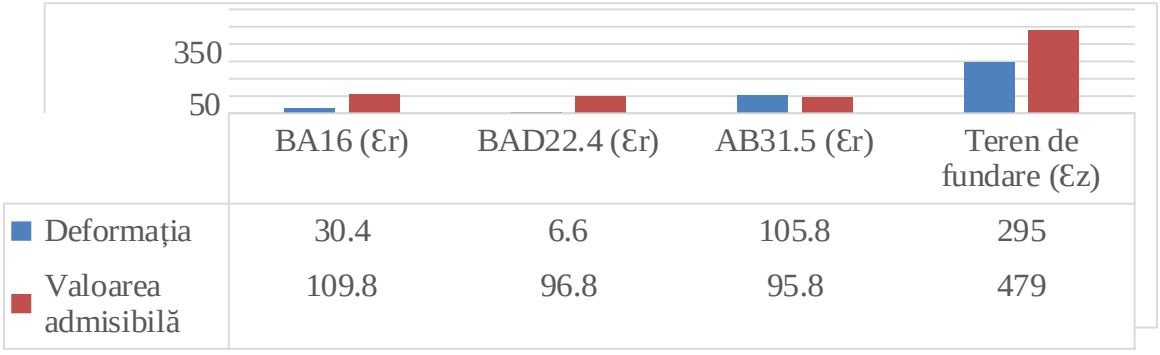


Figura 18. Verificarea criteriilor de dimensionare pentru Nc = 2,0 m.o.s.

Pentru încărcarea de 115 kN, programul ALIZE-LCPC (roți jumelate) furnizează o deformație specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase de aproximativ 105,8 μm/m și o deformație specifică verticală de compresiune la nivelul terenului de fundare de aproximativ 295,5 μm/m.

În condițiile menținerii aceleiași structuri rutiere și a aceleiași încărcări, valorile deformațiilor specifice calculate rămân constante pentru cele trei niveluri de trafic, în timp ce valorile admisibile se reduc odată cu creșterea traficului de calcul. În consecință, verificarea criteriilor de dimensionare devine mai restrictivă pentru nivelurile ridicate de trafic.

Analiza comparativă CALDEROM – ALIZE-LCPC

Pentru evidențierea diferențelor dintre rezultatele obținute cu cele două programe, Figura 19 prezintă comparativ deformațiile specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase și deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, pentru încărcările considerate în analiză.

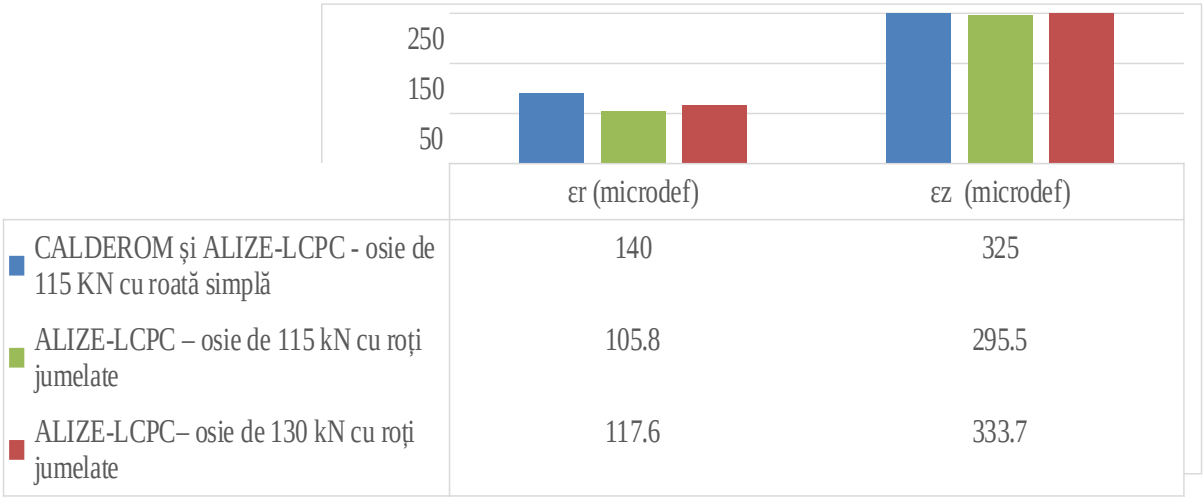


Figura 19. Comparația deformațiilor specifice calculate cu programele CALDEROM și ALIZE-LCPC

În cazul deformațiilor specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase, valorile obținute sunt de aproximativ 140 μm/m pentru CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) la 115 kN, 105,8 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 115 kN și 117,6 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 130 kN.

Pentru aceeași încărcare de 115 kN, valoarea calculată cu CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) este cu aproximativ 32,3% mai mare decât cea obținută cu ALIZE-LCPC (roți jumelate). În cadrul calculelor ALIZE-LCPC (roți jumelate), creșterea încărcării de la 115 kN la 130 kN determină majorarea deformației specifice orizontale de întindere cu aproximativ 11,2%.

În ceea ce privește deformațiile specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, valorile calculate sunt de aproximativ 325 μm/m pentru CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) la 115 kN, 295,5 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 115 kN și 333,7 μm/m pentru ALIZE-LCPC (roți jumelate) la 130 kN. Pentru aceeași încărcare de 115 kN, valoarea obținută cu CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) este cu aproximativ 10,0% mai mare decât cea calculată cu ALIZE-LCPC (roți jumelate). În cadrul programului ALIZE-LCPC (roți jumelate), majorarea încărcării la 130 kN conduce la creșterea deformației specifice verticale cu aproximativ 12,9%.

Comparativ cu celelalte două cazuri de studiu, terenul de fundare caracterizat prin modulul de elasticitate de 70 MPa conduce, în calculele CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă), la cele mai ridicate valori ale ratei de degradare prin oboseală și ale deformației specifice verticale. Rezultatele

confirmă influenţa caracteristicilor mecanice ale terenului de fundare asupra răspunsului structural şi asupra verificării criteriilor de dimensionare.

Analiza celui de-al treilea caz de studiu evidenţiază faptul că reducerea rigidităţii terenului de fundare conduce la condiţii mai defavorabile de solicitare a structurii rutiere, în special în ceea ce priveşte deformaţiile specifice verticale. Totodată, diferenţele/asemănările dintre rezultatele obţinute cu CALDEROM şi ALIZE-LCPC confirmă necesitatea interpretării acestora în raport cu ipotezele de calcul şi cu încărcările considerate. Pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard, verificările efectuate cu CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) indică necesitatea adoptării unei soluţii structurale îmbunătăţite.

Analiza comparativă a celor trei cazuri de studiu evidenţiază faptul că deformaţiile specifice calculate cu programul CALDEROM prezintă valori aproape identice cu cele obţinute prin ALIZE-LCPC în configuraţia cu roată simplă. În schimb, utilizarea configuraţiei cu roţi jumelate conduce la diferenţe mai pronunţate între rezultatele celor două programe. Această constatare evidenţiază influenţa modului de aplicare şi distribuţie a încărcării asupra răspunsului structural calculat şi subliniază necesitatea utilizării unor configuraţii de încărcare echivalente pentru realizarea unor comparaţii relevante între metodele de dimensionare.

2.3. Verificarea criteriilor de dimensionare

Analiza rezultatelor obţinute pentru cele trei cazuri de studiu evidenţiază influenţa caracteristicilor terenului de fundare şi a nivelului traficului de calcul asupra verificării criteriilor de dimensionare a structurilor rutiere flexibile. Deşi alcătuirea structurii rutiere a fost menţinută constantă, modificarea modulului de elasticitate al terenului de fundare a determinat variaţii ale deformaţiilor specifice calculate şi ale ratei de degradare prin oboseală.

Pentru evidenţierea influenţei terenului de fundare asupra comportării structurale, în Figura 20 sunt sintetizate rezultatele obţinute cu programul CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) pentru cele trei cazuri de studiu.

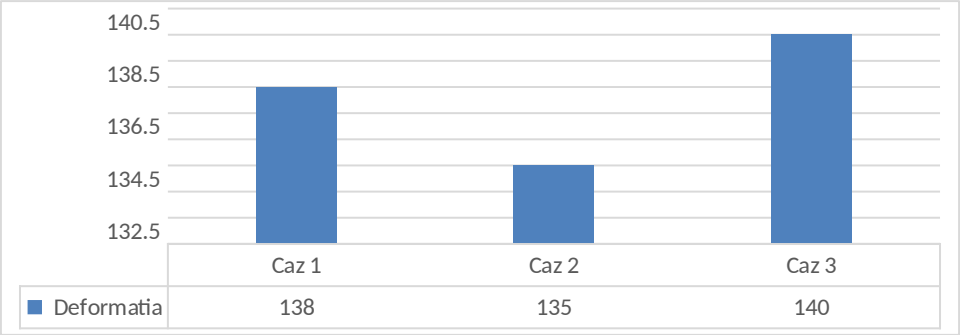


Figura 20. Sinteza rezultatelor CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) pentru cele trei cazuri de studiu

Compararea rezultatelor evidențiază diferențe între cele trei cazuri, asociate variației modulului de elasticitate al terenului de fundare. Pentru structura analizată, cele mai favorabile rezultate sunt obținute în cazul terenului de fundare caracterizat prin modulul de elasticitate de 90 MPa, în timp ce valorile cele mai ridicate ale ratei de degradare prin oboseală şi ale deformațiilor specifice verticale corespund terenului cu modulul de elasticitate de 70 MPa.

Verificările efectuate cu programul CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) indică îndeplinirea criteriilor de dimensionare pentru nivelurile traficului de 0,2 şi 0,7 milioane de osii standard, în toate cele trei cazuri analizate. Pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard, structura rutieră inițială nu mai satisface criteriile de dimensionare, fiind necesară adoptarea unei soluții structurale care să asigure reducerea solicitărilor în punctele critice.

Comportarea mecanică a straturilor bituminoase este influențată de caracteristicile materialelor şi de condițiile de solicitare, aspecte fundamentale pentru evaluarea răspunsului structural şi a rezistenței la oboseală [19]. Totodată, specificaţiile tehnice privind mixturile asfaltice constituie un cadru de referinţă pentru caracterizarea materialelor utilizate în alcătuirea structurilor rutiere [20].

În acest scop, pentru cel de-al treilea caz de studiu, caracterizat prin modulul de elasticitate al terenului de fundare de 70 MPa, a fost analizată o variantă de îmbunătăţire a structurii rutiere prin introducerea unui strat de balast stabilizat cu lianți hidraulici, având modulul de elasticitate de 1.000 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,25.

În calculele efectuate cu programul CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) a fost considerată o grosime de 22 cm pentru stratul stabilizat, în timp ce în analiza realizată cu programul ALIZE-LCPC (roți jumelate) a fost adoptată o grosime de 20 cm. Stratul stabilizat a fost introdus în alcătuirea structurală analizată, deasupra stratului de piatră spartă, în scopul creşterii rigidității

ansamblului şi al reducerii deformaţiilor specifice produse sub acţiunea încărcărilor din trafic.

Diferența dintre grosimile adoptate în cele două programe trebuie interpretată în raport cu particularităţile modelelor de calcul, cu ipotezele privind caracteristicile materialelor şi cu criteriile de dimensionare utilizate. Aceasta nu reprezintă, în sine, o măsură a preciziei sau a eficienţei unuia dintre programe.

Introducerea stratului stabilizat urmărește îmbunătățirea distribuției solicitărilor în structura rutieră şi limitarea deformaţiilor specifice în punctele critice. Evaluarea eficienței soluției se realizează prin verificarea respectării criteriilor de dimensionare corespunzătoare fiecărei metodologii de calcul.

Rezultatele analizei evidențiază importanța corelării alcătuirii structurale cu nivelul traficului de calcul şi cu caracteristicile terenului de fundare. Totodată, comparația dintre CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă), respectiv ALIZE-LCPC (roţi jumelate) arată că interpretarea rezultatelor trebuie realizată prin raportare atât la deformaţiile specifice calculate, cât şi la valorile admisibile şi la ipotezele adoptate în fiecare metodologie.

Prin urmare, dimensionarea structurilor rutiere flexibile nu poate fi fundamentată exclusiv pe compararea valorilor deformaţiilor specifice furnizate de programele de calcul, ci necesită verificarea integrală a criteriilor de dimensionare şi analiza condiţiilor în care au fost obţinute rezultatele.

3. CONCLUZII

Studiul comparativ realizat cu programele CALDEROM şi ALIZE-LCPC a evidenţiat particularităţile evaluării comportării mecanice a structurilor rutiere flexibile prin două metodologii de dimensionare diferite. Analiza a fost efectuată pentru trei cazuri de studiu, caracterizate prin module de elasticitate ale terenului de fundare de 70, 80 şi 90 MPa, şi pentru trei niveluri ale traficului de calcul: 0,2, 0,7 şi 2,0 milioane de osii standard.

Rezultatele obţinute au evidenţiat diferenţe între valorile deformaţiilor specifice calculate cu cele două programe, inclusiv în condiţiile utilizării aceleiaşi încărcări de 115 kN. Pentru deformaţiile specifice orizontale de întindere la baza straturilor bituminoase, valorile furnizate de CALDEROM şi ALIZE-LCPC (roată simplă) au fost cu aproximativ 25,7–32,3% mai mari decât cele obţinute cu ALIZE-LCPC (roţi jumelate). În cazul deformaţiilor specifice verticale de compresiune la nivelul terenului de fundare, diferenţele au fost mai reduse, situându-se între aproximativ 6,6% şi 10,0%. Aceste rezultate evidenţiază faptul

că diferențele dintre programe nu sunt uniforme pentru cele două categorii de deformații specifice analizate.

Analiza efectuată cu ALIZE-LCPC (roți jumelate) a evidențiat, de asemenea, influența încărcării pe osie asupra răspunsului mecanic al structurii rutiere. Creșterea încărcării de la 115 kN la 130 kN a determinat majorarea deformațiilor specifice calculate, confirmând importanța utilizării unor condiții de încărcare echivalente în realizarea comparațiilor dintre programele de dimensionare.

Caracteristicile mecanice ale terenului de fundare au influențat rezultatele verificărilor, cele mai ridicate valori ale deformațiilor specifice verticale fiind obținute pentru modulul de elasticitate de 70 MPa. Totodată, creșterea rigidității terenului de fundare a fost asociată reducerii ratei de degradare prin oboseală, evidențiind contribuția capacității portante a terenului de fundare la comportarea structurii rutiere.

Verificarea criteriilor de dimensionare cu programul CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă) a arătat că structura rutieră inițială satisface cerințele pentru nivelurile de trafic de 0,2 și 0,7 milioane de osii standard, în toate cele trei cazuri analizate. Pentru traficul de 2,0 milioane de osii standard, atât criteriul de rezistență la oboseală a straturilor bituminoase, cât și criteriul privind deformația specifică verticală la nivelul terenului de fundare nu au fost îndeplinite. Acest rezultat evidențiază necesitatea adaptării alcătuirii structurale la solicitările corespunzătoare traficului de calcul.

Pentru cazul caracterizat prin modulul de elasticitate al terenului de fundare de 70 MPa, a fost analizată îmbunătățirea structurii rutiere prin introducerea unui strat de balast stabilizat cu lianți hidraulici. Grosimile considerate în cele două programe, de 22 cm în CALDEROM și ALIZE-LCPC (roată simplă), respectiv 20 cm în ALIZE-LCPC (roți jumelate), evidențiază existența unor diferențe între soluțiile structurale analizate, care trebuie interpretate în raport cu ipotezele și criteriile specifice fiecărei metodologii.

În ansamblu, studiul evidențiază necesitatea unei interpretări corelate a deformațiilor specifice calculate, a valorilor admisibile și a criteriilor de dimensionare. Diferențele/asemănările constatate între CALDEROM și ALIZE-LCPC nu permit stabilirea superiorității unuia dintre programe, ci subliniază importanța cunoașterii ipotezelor de calcul și a domeniului de aplicabilitate al fiecărei metodologii.

Rezultatele obținute pot constitui un punct de plecare pentru extinderea analizei comparative la alte alcătuiri structurale, categorii de materiale și condiții

de încărcare, în vederea unei evaluări mai ample a influenței metodologiei de calcul asupra dimensionării structurilor rutiere flexibile.

BIBLIOGRAFIE

[1]. R. Andrei, „Evoluția metodelor de dimensionare a sistemelor rutiere în România de la abordarea empirică la cea mecanicistă”, Revista Transporturi și Infrastructură, București, **2016.**

[2]. Georgescu FODOR, „Sisteme rutiere suple și semirigide: dimensionare și alcătuire”, București, **2009**.

[3]. D. Burmister, *„The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems”*, Journal of Applied Physics, vol. 16, pp. 194–195, 89–96.

[4]. Odemark, N., „Investigations as to the Elastic Properties of Soils and Design of Pavements According to the Theory of Elasticity”, Statens Väginstitut, Stockholm, **1949**.

[5]. P. Ullidtz, „Pavement Analysis”, Elsevier, Amsterdam, **1987**.

[6]. LCPC, „Dimensionnement des structures de chaussées”, Paris, **1998**.

[7]. E. Y. Mayno, „Modélisation avancée du contact pneu-chaussée pour l’étude des dégradations des chaussées en surface”, teză de doctorat, Université de Limoges, **2019**.

[8]. Ministerul Transporturilor, „Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică)”, indicativ PD 177-2001, CNAIR, București, **2005**.

[9]. CEREMA, „Guide technique – Conception et dimensionnement des structures de chaussée”, Paris, **2016**.

[10]. AFNOR, „NF P98-086 – Dimensionnement structurel des chaussées routières”, mai **2019**.

[11]. IFSTTAR – Université Gustave Eiffel, „Manuel d’utilisation ALIZE-LCPC”, **2015**.

[12]. Huang, Y. H., „Pavement Analysis and Design”, ediția a II-a, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, **2004**.

[13]. D. Abderraouf, „Dimensionnement d’une chaussée souple : Étude comparative”, studiu comparativ, Algeria, **2025**.

[14]. Dr. PKLA Abao, „Cours de dimensionnement de structure de chaussée”, École Polytechnique de Lomé, Togo.

[15]. SETRA/LCPC, „Catalogue des structures de chaussées”, Franța, decembrie **2003**.

[16]. Paul Teodor Marc, „Conceperea și realizarea unor structuri rutiere cu performanțe ridicate”, teză de doctorat, Universitatea Politehnica din Timișoara, **2011**.

[17]. Lazăr Ștefan HORON, „Studii privind optimizarea calculului automat la lucrările de drumuri”, teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, **2015**.

[18]. Shell International Petroleum Company, „Shell Pavement Design Manual: Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic”, London, **1978**.

[19]. Di Benedetto, H., și Corté, J.-F., „Matériaux routiers bitumineux – Comportement, description et modélisation des bitumes”, Hermès-Lavoisier, Paris, **2005**.

[20]. AFNOR, „NF EN 13108-1 – Mélanges bitumineux – Spécifications pour le matériau – Partie 1 : Enrobés bitumineux”, mai **2017**.

AUDITUL ȘI INSPECȚIA DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ ÎN ROMÂNIA: EVOLUȚIE, PROVOCĂRI ȘI PERSPECTIVE DE DIGITALIZARE

Ferariu Bogdan, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii; Coordonator Compartiment Audit de Siguranță Rutieră, Autoritatea Rutieră Română – A.R.R.; e-mail: bogdan.ferariu@phd.utcb.ro, bogdan.ferariu@arr.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă evoluția mecanismelor de gestionare a siguranței infrastructurii rutiere în România, cu accent pe auditul de siguranță rutieră și pe inspecția de siguranță rutieră periodică. Analiza valorifică informații tehnice și instituționale privind cadrul normativ, responsabilitățile instituționale, etapele operaționale și neconformitățile observate în documentarea și redactarea rapoartelor. Sunt sistematizate dificultățile recurente: identificarea și localizarea deficiențelor, corelarea constatărilor cu dispozițiile admisibile, calitatea probelor foto-video și respectarea cerințelor de raportare. Este prezentat rolul modulului digital disponibil prin portalul auditorilor, accesibil prin sistemul SIR, în standardizarea raportării și trasabilitatea informațiilor. Lucrarea propune un set de direcții de îmbunătățire a calității datelor și a fluxurilor de verificare, fără a atribui sistemului funcționalități sau rezultate care nu sunt demonstrate de materialele analizate. Este integrată și evaluarea siguranței la nivelul rețelei, prin combinarea analizelor proactive și reactive și stabilirea a cinci niveluri de prioritate pentru tronsoanele rutiere. Este abordat, de asemenea, rolul instituțional al A.R.R. în contractarea activităților și în formarea auditorilor.

Cuvinte cheie: audit de siguranță rutieră; inspecție periodică; evaluarea rețelei rutiere; analiză proactivă; analiză reactivă; digitalizare.

Abstract

This paper presents the evolution of road infrastructure safety management mechanisms in Romania, with a focus on road safety audits and periodic road safety inspections. The analysis draws upon technical and institutional information concerning the regulatory framework, institutional responsibilities, operational stages, and non-conformities observed in the documentation and drafting of reports. Recurring challenges are systematized, including the identification and localization of deficiencies, the alignment of findings with applicable provisions, the quality of photo/video evidence, and compliance with reporting requirements. The paper highlights the role of the digital module—available via the auditors' portal and accessible through the SIR system—in standardizing reporting and ensuring the traceability of information. It proposes several avenues for improving data quality and verification workflows, while carefully avoiding the attribution of functionalities or outcomes to the system that are not substantiated by the analyzed materials. Furthermore, the paper incorporates network-level safety assessment, which combines proactive and reactive analyses to establish five priority levels for road sections. Finally, it addresses the institutional

role of the A.R.R. (Romanian Road Authority) in the contracting of these activities and the training of auditors.

Keywords: road safety audit; periodic road safety inspection; network-wide assessment; auditor training; contracting; digitalization.

1. INTRODUCERE

Siguranța rutieră nu depinde numai de comportamentul participanților la trafic. Felul în care este proiectat, semnalizat și întreținut un drum poate preveni un accident sau, dimpotrivă, îi poate agrava consecințele. De aceea, analiza infrastructurii trebuie să urmărească atât respectarea cerințelor tehnice, cât și modul în care drumul este utilizat zi de zi.

Primele practici sistematice de audit au apărut în Regatul Unit la sfârșitul anilor 1980, fiind ulterior preluate și adaptate în alte state. În România, consolidarea cadrului instituțional a fost asociată adoptării Legii nr. 265/2008 și transpunerii normelor europene privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere [1-3].

Articolul urmărește să pună în legătură regulile care guvernează auditul și inspecția cu dificultățile întâlnite la întocmirea rapoartelor. O atenție specială este acordată instrumentelor digitale, care pot face constatările mai clare, mai ușor de verificat și mai utile administratorilor de drumuri.

Sunt analizate trei activități care se completează reciproc: auditul proiectelor, inspecția drumurilor aflate în exploatare și evaluarea siguranței la nivelul rețelei. Privite împreună, acestea oferă o imagine mai completă asupra riscurilor și asupra intervențiilor care ar trebui prioritizate.

2. EVOLUȚIA CADRULUI NORMATIV ȘI INSTITUȚIONAL

Directiva 2008/96/CE a introdus un cadru comun european pentru gestionarea siguranței infrastructurii rutiere. Directiva (UE) 2019/1936 a extins și actualizat această abordare, iar în România modificările au fost reflectate în legislația națională, inclusiv prin Ordonanța nr. 3/2022 [2-4]. Legea nr. 265/2008, republicată și modificată, constituie reperul principal pentru organizarea activităților de evaluare, audit și inspecție [1].

Autoritatea Rutieră Română – A.R.R. are, în cadrul legal aplicabil, atribuții de gestionare a proceselor de evaluare a impactului asupra siguranței rutiere, audit și inspecție periodică, de desemnare a auditorilor, de organizare a formării și atestării profesionale, precum și de administrare a evidențelor și rapoartelor. Separarea responsabilităților între instituție, auditor și administratorul drumului susține independența evaluării și claritatea răspunderilor [1, 5, 6].

În domeniul inspecţiilor periodice, Ordinul nr. 606/2017 şi Ordinul nr. 1679/2017, cu modificările ulterioare, detaliază mecanismele de contractare, desfășurare şi raportare. Reglementările prevăd periodicitatea de trei ani pentru drumurile din sfera legală aplicabilă, precum și obligația auditorilor de a întocmi un raport structurat [1, 5, 6].

Privită în ansamblu, evoluția legislației arată că siguranța rutieră nu mai poate fi tratată doar prin verificări izolate. Auditul intervine în etapele proiectului, inspecția surprinde problemele existente pe drum, iar evaluarea rețelei ajută la stabilirea sectoarelor unde intervențiile sunt mai urgente.

Pentru ca rezultatele să inspire încredere, auditorul trebuie să își păstreze independența profesională, iar desemnarea și raportarea să poată fi urmărite și verificate. Procedurile administrative sunt necesare, dar ele trebuie să ajute activitatea tehnică, nu să o transforme într-un exercițiu formal.

2.1. Contractarea şi gestionarea activităţilor de siguranţă rutieră

Pe lângă atribuțiile tehnice, Autoritatea Rutieră Română – A.R.R. asigură cadrul administrativ necesar desfășurării evaluărilor rețelei rutiere, auditurilor și inspecțiilor periodice. Instituția gestionează relația contractuală cu investitorii sau administratorii drumurilor și cu auditorii desemnați, potrivit metodologiilor aplicabile. În acest fel, verificarea din teren este susținută de un circuit documentar care stabilește responsabilitățile, termenele și obligațiile fiecărei părți.

Contractarea nu este doar o formalitate. Ea delimitează obiectul lucrării, tronsonul ori proiectul analizat și documentele care trebuie predate. În cazul inspecției periodice, cadrul contractual stabilește obligația auditorului de a restitui contractul semnat în maximum 3 zile de la primire și termenul de 45 de zile pentru predarea raportului, calculat de la comunicarea contractului către A.R.R. Raportul este însoțit de dovada depunerii la administrator și de materialele foto-video aferente inspecției. Respectarea acestor cerințe contribuie la trasabilitatea activității și la posibilitatea verificării ulterioare a constatărilor.

Un reper al dezvoltării instituționale este anul 2016, când au fost încheiate 146 de contracte cu autorități și administratori de drumuri pentru asigurarea auditului sau evaluării de impact și 116 contracte cu auditori. Aceste cifre ilustrează dimensiunea organizatorică a activității la momentul respectiv; ele nu trebuie interpretate ca indicatori ai volumului actual de contractare.

Activitatea desfășurată de Autoritatea Rutieră Română – A.R.R. în domeniul gestionării siguranței infrastructurii rutiere s-a extins considerabil în ultimii ani, atât în ceea ce privește auditul și inspecția de siguranță rutieră, cât și evaluarea siguranței la nivel de rețea. Până la data elaborării prezentului articol, instituția a gestionat aproximativ 1.400 de proiecte de audit de siguranță rutieră, aferente diferitelor stadii de dezvoltare a proiectelor de infrastructură.

În ceea ce privește inspecțiile de siguranță rutieră periodice, acestea au fost realizate pe aproximativ 1.300 de tronsoane de drum, reprezentând o lungime cumulată de circa 28.000 km. Aceste activități au contribuit la identificarea deficiențelor existente la nivelul infrastructurii rutiere și la stabilirea măsurilor necesare pentru îmbunătățirea condițiilor de siguranță a circulației.

Un progres important îl reprezintă și realizarea evaluării siguranței infrastructurii rutiere la nivel de rețea, care a cuprins 17.960 km de drumuri naționale și 35.766,85 km de drumuri județene, însumând 53.726,85 km de infrastructură rutieră evaluată. Această activitate permite identificarea și clasificarea sectoarelor de drum în funcție de nivelul de risc, oferind o bază pentru stabilirea priorităților de intervenție.

În completarea evaluării la nivel de rețea, au fost realizate inspecții de siguranță rutieră specifice pe tronsoane cu risc ridicat, cu o lungime cumulată de 4.289,782 km. Aceste inspecții permit analizarea detaliată a condițiilor existente în teren, identificarea factorilor de risc și stabilirea măsurilor necesare pentru îmbunătățirea siguranței circulației.

Datele prezentate evidențiază amploarea activităților gestionate de A.R.R. și importanța corelării rezultatelor obținute prin audit, inspecție și evaluarea siguranței la nivel de rețea. Totodată, volumul informațiilor rezultate justifică necesitatea utilizării unor instrumente informatice integrate, capabile să asigure gestionarea unitară a datelor, urmărirea măsurilor de remediere și sprijinirea procesului decizional în domeniul siguranței infrastructurii rutiere.

2.2. Formarea, atestarea și perfecționarea auditorilor

Calitatea auditului și a inspecției depinde în mod direct de pregătirea profesională a auditorului. A.R.R. are atribuții în organizarea cursurilor de formare și perfecționare și în administrarea procesului de atestare, în condițiile legii. Prima serie de cursuri a început în octombrie 2016, iar în 2017 au fost atestați 86 de auditori, dintre care 50 erau angajați ai A.R.R. Această etapă a reprezentat un pas important în consolidarea capacității profesionale la nivel național. Potrivit situației centralizate la această dată, numărul total al auditorilor de siguranță rutieră atestați a ajuns la 266, dintre care 194 de auditori independenți și 72 de auditori angajați ai A.R.R.

Programul de formare are o durată de 120 de ore, iar perfecționarea profesională, organizată periodic, are o durată de 8 ore. Examenul de atestare cuprinde o probă scrisă și un interviu pentru susținerea proiectului realizat la curs. Dincolo de cerințele formale, pregătirea continuă este necesară deoarece auditorii trebuie să interpreteze unitar reglementările, să recunoască riscurile din teren și să formuleze măsuri clare, realizabile. În această perspectivă, experiența acumulată din analiza rapoartelor poate alimenta temele cursurilor viitoare, mai

ales în privința localizării deficiențelor, a corelării acestora cu dispozițiile de remediere și a utilizării instrumentelor digitale.

3. AUDITUL ȘI INSPECȚIA: OBIECTIVE ȘI DIFERENȚE METODOLOGICE

Auditul de siguranță rutieră reprezintă o verificare tehnică, sistematică și independentă a caracteristicilor unui proiect de infrastructură rutieră din perspectiva siguranței. Conform materialelor analizate, acesta intervine în patru stadii: studiul de fezabilitate/documentația de avizare, proiectul tehnic și detaliile de execuție, etapa anterioară recepției la terminarea lucrărilor și etapa imediat ulterioară deschiderii circulației. Valoarea sa principală constă în identificarea problemelor înainte ca acestea să devină deficiențe permanente ale infrastructurii [1].

Inspecția de siguranță rutieră periodică privește infrastructura aflată în exploatare și urmărește identificarea deficiențelor remediabile prin lucrări de întreținere. Inspecția specifică, distinctă de cea periodică, este orientată spre identificarea condițiilor periculoase și a problemelor care cresc riscul de accidente grave pe un drum sau tronson existent [1]. Diferența de obiect, etapă și tip de măsuri recomandate impune metodologii și rapoarte adecvate fiecărei activități.

În practică, inspecția periodică presupune analiza informațiilor furnizate de administrator și/sau A.R.R., verificarea documentației, examinarea tronsonului pe ambele sensuri de circulație, atât ziua, cât și noaptea, identificarea deficiențelor și întocmirea raportului. Materialele indică obligația transmiterii de dovezi foto și înregistrări video, cu cerințe tehnice minime pentru rezoluție și unghiul de filmare [6]. Aceste elemente sunt importante pentru reproducibilitatea constatărilor și verificarea ulterioară a lucrărilor.

Instrument	Obiect și rezultat principal
Audit de siguranță rutieră	Analiza independentă a unui proiect în etape succesive; raport cu probleme și măsuri propuse.
Inspecție periodică	Verificarea repetată a drumurilor în exploatare; raport cu deficiențe și dispoziții de întreținere.
Inspecție specifică	Analiză la fața locului a condițiilor periculoase de pe un drum existent.

Diferența se vede cel mai bine în modul de formulare a observațiilor. În audit se examinează o soluție proiectată și riscurile pe care aceasta le-ar putea

genera. În inspecţie se descrie o situaţie deja existentă, observată în trafic, şi se indică măsurile de întreţinere care pot înlătura deficienţa constatată.

Parcurgerea drumului în ambele sensuri, atât ziua, cât şi noaptea, nu este o simplă cerinţă procedurală. Un indicator poate fi vizibil dintr-un sens şi greu de observat din celălalt, iar o trecere de pietoni poate avea condiţii diferite de percepţie după lăsarea întunericului. Fotografiile şi înregistrările video sunt utile numai dacă surprind corect locul şi momentul inspecţiei.

4. TIPOLOGIA DEFICIENȚELOR ŞI PROBLEME DIN CONȚINUTUL RAPOARTELOR

Analiza neconformităţilor identificate a evidenţiat o serie de deficienţe frecvente ale infrastructurii rutiere, cele mai importante fiind cele referitoare la semnalizarea verticală (35%), parapetele de protecţie (20%), acostamentele deteriorate (20%), semnalizarea orizontală (15%), vizibilitatea (15%) şi starea suprafeţei de rulare (10%). Procentele prezentate nu reprezintă o distribuţie dintr-un total de 100%, deoarece pe acelaşi sector de drum pot fi identificate mai multe categorii de deficienţe. Aceste valori au caracter orientativ şi evidenţiază principalele probleme întâlnite în cadrul activităţilor de audit şi inspecţie de siguranţă rutieră, fără a constitui o evaluare statistică reprezentativă.

Categorie	Pondere raportată în prezentare
Semnalizare verticală	35%
Semnalizare orizontală	15%
Parapete de protecție	20%
Acostamente deteriorate	20%
Suprafața căii de rulare	10%

Pe lângă deficienţele identificate la nivelul infrastructurii rutiere, verificarea rapoartelor de inspecţie evidenţiază şi o serie de probleme legate de modul de întocmire şi documentare a acestora. Printre cele mai frecvente se numără neconcordanţele dintre poziţiile kilometrice menţionate în rapoarte şi cele indicate în fotografii, lipsa coordonatelor geografice sau utilizarea unor imagini care nu reflectă situaţia existentă la momentul efectuării inspecţiei. Aceste neconcordanţe pot îngreuna identificarea exactă a deficienţelor şi, implicit, adoptarea măsurilor necesare de către administratorul drumului.

Un alt aspect important îl reprezintă corelarea deficienţelor constatate cu măsurile de remediere propuse. Descrierea neclară a unei deficienţe sau stabilirea unei măsuri care nu corespunde situaţiei identificate poate afecta utilitatea raportului şi poate genera dificultăţi în etapa de implementare. Din

acest motiv, constatările trebuie formulate clar şi precis, iar măsurile recomandate trebuie să fie adaptate fiecărei situaţii în parte.

În practică, au fost identificate şi probleme de natură administrativă, precum transmiterea cu întârziere a contractelor sau rapoartelor, lipsa semnăturilor ori includerea unor informaţii care nu au legătură directă cu obiectul inspecției. Deşi nu influenţează în mod direct evaluarea tehnică a infrastructurii, aceste aspecte pot întârzia verificarea documentelor şi valorificarea rezultatelor inspecției.

Pentru îmbunătățirea calității şi uniformizarea rapoartelor, este necesară utilizarea unei structuri standardizate de prezentare a constatărilor. Aceasta ar trebui să cuprindă identificarea tronsonului şi a sensului de circulaţie, poziția kilometrică, coordonatele geografice, categoria şi descrierea deficienței, consecinţele posibile asupra siguranței circulației, documentarea fotografică şi măsurile de remediere corespunzătoare. Totodată, atribuirea unui identificator unic fiecărei constatări ar facilita urmărirea acesteia, atât pe parcursul întocmirii raportului, cât şi în etapa de monitorizare a măsurilor adoptate.

În ceea ce priveşte ponderile prezentate anterior, trebuie precizat că acestea reflectă categorii de deficienţe care pot apărea simultan pe acelaşi sector de drum. Prin urmare, valorile au caracter orientativ şi oferă o imagine asupra problemelor întâlnite în activitatea de audit şi inspecţie, fără a putea fi considerate reprezentative statistic pentru întreaga rețea rutieră națională.

5. EVALUAREA SIGURANȚEI REȚELEI RUTIERE PRIN METODOLOGIA INTEGRATĂ

Evaluarea siguranței rețelei rutiere (Network-Wide Assessment – NWA) extinde analiza de la o deficienţă punctuală sau un proiect individual la o clasificare comparabilă a tronsoanelor dintr-o rețea. Metodologia integrată de evaluare urmăreşte combinarea informaţiilor privind caracteristicile infrastructurii cu istoricul accidentelor, în concordanţă cu abordarea europeană privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere [3, 9].

5.1. Componenta proactivă

Modul în care este împărțită rețeaua în sectoare influenţează direct rezultatul evaluării. Dacă un tronson este prea lung, diferenţele importante dintre porţiunile sale pot trece neobservate. Dacă este împărțit excesiv, comparaţiile devin mai dificile. Soluția este delimitarea unor sectoare cât mai omogene, folosind criteriile prevăzute de metodologie.

Un avantaj al analizei proactive este că poate semnala probleme chiar şi pe drumurile unde au fost înregistrate puține accidente. Lățimea benzilor,

configuraţia curbelor, vizibilitatea sau protecţia participanţilor vulnerabili pot indica riscuri care merită analizate înainte de producerea unor evenimente grave.

Componentă	Elemente de evaluare
Proactivă	Caracteristici geometrice, trafic, intersecţii, semnalizare, participanţi vulnerabili şi iluminat
Reactivă	Accidente din minimum trei ani consecutivi, densitate şi rată a accidentelor
Integrată	Combinarea claselor de risc în cinci niveluri de prioritate

5.2. Componenta reactivă

Analiza reactivă utilizează accidentele înregistrate pe cel puţin trei ani consecutivi, alocate unor secţiuni relativ omogene. Indicatorii menţionaţi sunt densitatea accidentelor şi rata accidentelor, comparaţi cu praguri inferioare şi superioare. Rezultatul este o încadrare în risc ridicat, risc scăzut sau neconcludent, ultima categorie indicând faptul că informaţiile disponibile nu permit o diferenţiere statistică suficient de robustă.

Pentru ca rezultatele analizei accidentelor să fie comparabile, trebuie cunoscute perioada de referinţă, lungimea sectoarelor, sursa datelor şi valorile de trafic. Contează şi modul de alegere a pragurilor. Aceste aspecte trebuie clarificate înaintea aplicării metodologiei la scară largă.

5.3. Integrarea şi prioritizarea intervenţiilor

În componenta proactivă, parametrii sunt codificaţi prin factori de reducere şi integraţi într-un punctaj final pentru fiecare secţiune. În componenta reactivă, densitatea şi rata accidentelor sunt comparate cu praguri definite pentru clasificarea riscului.

Densitatea accidentelor exprimă numărul de evenimente raportat la lungimea sectorului şi perioada de observaţie; rata accidentelor introduce suplimentar expunerea la trafic. Alegerea indicatorului trebuie justificată în funcţie de disponibilitatea datelor şi de scopul comparaţiei. Pentru tronsoanele cu puţine evenimente, interpretarea statistică trebuie să evite transformarea automată a absenţei accidentelor într-o concluzie de siguranţă ridicată.

Cele cinci clase de prioritate ajută la ordonarea sectoarelor care necesită atenţie, însă nu trebuie confundate cu probabilitatea exactă de producere a unui accident. Clasificarea este utilă mai ales atunci când aceleaşi reguli şi aceleaşi surse de date sunt aplicate consecvent întregii reţele.

6. DIGITALIZAREA PROCESULUI DE INSPECȚIE DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ

Evaluarea rețelei și inspecția periodică răspund, în esență, la două întrebări diferite: unde ar trebui intervenit cu prioritate și ce anume trebuie remediat în teren? Folosite împreună, ele pot susține decizii mai bine argumentate și o utilizare mai eficientă a resurselor disponibile.

Sistemul informatic destinat inspecției periodice include un modul pentru întocmirea raportului prin portalul auditorului de siguranță rutieră, accesibil prin aplicația SIR.ARR.RO. Sunt ilustrate selectarea categoriei de dispoziții și alegerea unei dispoziții concrete pentru eliminarea neconformității; printre categoriile exemplificate se află acostamentele, șanțurile și rigolele, suprafața carosabilă și zona mediană [6]. Aceste funcționalități documentate arată posibilitatea trecerii de la redactarea integral liberă la utilizarea unor câmpuri și opțiuni standardizate.

Pentru a fi cu adevărat util, raportul digital trebuie să păstreze o legătură clară între tronsonul inspectat, locul constatării, imaginile din teren și dispoziția de remediere. Astfel, informația nu rămâne doar într-un document, ci poate fi regăsită și verificată mai ușor.

Un flux digital recomandat poate fi structurat astfel: deschiderea misiunii și verificarea limitelor contractuale; înregistrarea constatărilor pe teren; asocierea probelor foto-video; selectarea dispozițiilor dintr-un nomenclator controlat; validarea câmpurilor; generarea raportului; transmiterea și arhivarea. Fiecare operațiune ar trebui să păstreze data, autorul și versiunea înregistrării.

Verificările automate pot semnala, de exemplu, lipsa unei fotografii sau introducerea unei poziții kilometrice în afara tronsonului contractat. Totuși, aplicația nu poate înlocui judecata profesională a auditorului: identificarea riscului și alegerea măsurii potrivite rămân responsabilități tehnice.

7. DISCUȚII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE

O perspectivă suplimentară este reprezentarea georeferențiată a deficiențelor pe o hartă interactivă, utilă pentru prioritizarea și monitorizarea lucrărilor. Totuși, datele analizate nu includ rezultate de testare, indicatori de performanță sau o evaluare înainte–după digitalizare. În consecință, eficiența acestor soluții rămâne o ipoteză de validat prin studii de caz și măsurători explicite.

Calitatea unui raport depinde de două lucruri la fel de importante: identificarea corectă a problemei din teren și prezentarea ei într-o formă clară, completă și verificabilă. Chiar și o observație tehnică pertinentă își poate pierde

valoarea dacă nu este localizată precis sau dacă măsura propusă nu este explicată suficient.

O posibilă etapă de cercetare aplicată constă în compararea unui eșantion de rapoarte redactate prin proceduri convenționale cu rapoarte realizate în sistem digital. Indicatorii de comparație pot include timpul de întocmire, numărul de câmpuri incomplete, frecvența neconcordanțelor de localizare și procentul dispozițiilor încadrate corect. Pentru relevanță, eșantioanele trebuie să fie comparabile ca lungime a drumului, complexitate și tip de infrastructură.

La nivel de rețea, conectarea rezultatelor evaluării integrate cu inventarul georeferențiat al deficiențelor ar putea sprijini planificarea intervențiilor. Prioritatea rezultată din evaluare ar orienta selecția sectoarelor, iar inspecția ar preciza natura lucrărilor necesare. O asemenea corelare necesită standarde comune de localizare, codificare și actualizare a datelor.

8. PROPUNERE DE CADRU OPERAȚIONAL INTEGRAT

Pornind de la cele trei instrumente de gestionare a siguranței infrastructurii rutiere, se poate contura o abordare integrată, organizată pe trei niveluri. La nivel strategic, evaluarea siguranței la nivel de rețea permite identificarea sectoarelor de drum care necesită intervenții prioritare. La nivel tactic, inspecțiile de siguranță rutieră contribuie la identificarea și documentarea deficiențelor existente, iar la nivel operațional, utilizarea unui sistem informatic integrat poate facilita evidența măsurilor dispuse și urmărirea modului în care acestea sunt implementate.

Pentru asigurarea unei legături între aceste activități, informațiile pot fi organizate pornind de la identificarea fiecărui sector de drum. Astfel, pentru același sector pot fi înregistrate clasa de prioritate rezultată în urma evaluării, data efectuării acesteia, deficiențele constatate, documentarea fotografică și măsurile de remediere propuse. În completare, pot fi introduse informații privind responsabilul pentru implementarea măsurilor, termenul de realizare, stadiul acestora și documentele care confirmă remedierea deficiențelor. O asemenea organizare ar permite consultarea unitară a informațiilor privind nivelul de siguranță al infrastructurii și intervențiile realizate asupra acesteia.

Un avantaj important al acestei abordări îl reprezintă posibilitatea de a urmări, în timp, eficiența măsurilor implementate. Prin corelarea deficiențelor identificate cu lucrările executate și cu evoluția accidentelor rutiere, s-ar putea obține informații utile pentru îmbunătățirea procesului de gestionare a siguranței infrastructurii. Totuși, o astfel de analiză trebuie să țină cont și de alți factori care influențează siguranța circulației, precum variațiile volumului de trafic, modificările condițiilor de circulație sau perioada analizată, pentru a evita formularea unor concluzii care nu sunt susținute de datele disponibile.

Implementarea acestei abordări poate fi realizată gradual, prin uniformizarea modului de clasificare a deficienţelor, utilizarea unor reguli comune de localizare a constatărilor şi introducerea unor verificări automate privind completarea corectă a rapoartelor. Ulterior, integrarea informațiilor privind lucrările de remediere ar permite urmărirea întregului proces, de la identificarea unei deficienţe până la confirmarea remedierii acesteia. Pentru funcţionarea eficientă a unui asemenea sistem, rămân esenţiale calitatea datelor introduse, compatibilitatea dintre sistemele informatice utilizate şi pregătirea corespunzătoare a personalului implicat.

9. CONCLUZII

În concluzie, auditul, inspecţia şi evaluarea siguranţei infrastructurii rutiere la nivel de rețea reprezintă instrumente complementare, a căror eficienţă poate fi îmbunătăţită prin corelarea rezultatelor obţinute. Identificarea deficienţelor constituie doar o etapă a procesului de gestionare a siguranţei rutiere, fiind necesare şi localizarea precisă a acestora, stabilirea măsurilor de remediere, identificarea responsabilităților şi urmărirea modului de implementare. În acest context, digitalizarea poate contribui la o gestionare mai eficientă şi mai transparentă a întregului proces, facilitând accesul la informații, monitorizarea măsurilor şi verificarea remedierilor, fără a înlocui analiza tehnică şi experienţa profesională a specialiştilor în siguranţa rutieră.

BIBLIOGRAFIE

[1] Legea nr. 265/**2008** privind gestionarea siguranţei circulației pe infrastructura rutieră, republicată, cu modificările şi completările ulterioare.

[2] Directiva **2008**/96/CE a Parlamentului European şi a Consiliului privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere.

[3] Directiva (UE) 2019/1936 de modificare a Directivei **2008**/96/CE.

[4] Ordonanța nr. 3/2022 pentru modificarea şi completarea Legii nr. 265/**2008**.

[5] Ordinul ministrului transporturilor nr. 606/**2017** pentru aprobarea unor măsuri privind inspecția de siguranță rutieră, cu modificările și completările ulterioare.

[6] Ordinul ministrului transporturilor nr. 1679/**2017** privind metodologia de contractare și de lucru a auditorilor de siguranță rutieră, cu modificările și completările ulterioare.

METODOLOGIE INTEGRATĂ DE ANALIZĂ ŞI EVALUARE A SIGURANȚEI INFRASTRUCTURII RUTIERE

Ferariu Bogdan, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: bogdan.ferariu@phd.utcb.ro
Pop Horaţiu, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: horatiu.pop@phd.utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Siguranța infrastructurii rutiere reprezintă unul dintre elementele fundamentale ale politicilor europene de transport și mobilitate durabilă. În vederea atingerii obiectivelor privind reducerea numărului de persoane decedate și rănite grav în accidente rutiere, Uniunea Europeană promovează implementarea unor instrumente moderne de management al siguranței infrastructurii rutiere. Unul dintre aceste instrumente este evaluarea siguranței la nivel de rețea, cunoscută la nivel european sub denumirea de Network-Wide Assessment (NWA). Directiva (UE) 2019/1936 introduce obligația realizării unor evaluări sistematice ale infrastructurii rutiere, în vederea identificării sectoarelor cu risc ridicat și a prioritizării măsurilor de intervenție.

Lucrarea prezintă o metodologie integrată pentru evaluarea siguranței infrastructurii rutiere la nivel de rețea, bazată pe combinarea unei abordări proactive, care analizează caracteristicile infrastructurii, cu o abordare reactivă, fundamentată pe analiza accidentelor rutiere. Sunt prezentate principiile de segmentare a rețelei, parametrii utilizați pentru evaluare, criteriile de clasificare a riscului și procesul de integrare a rezultatelor. Metodologia permite identificarea sectoarelor cu potențial ridicat de risc și oferă administratorilor infrastructurii un instrument obiectiv pentru prioritizarea investițiilor în domeniul siguranței rutiere.

Cuvinte cheie: siguranță rutieră; evaluare la nivel de rețea; infrastructură rutieră; managementul siguranței rutiere; Directiva (UE) 2019/1936.

Abstract

Road infrastructure safety is a fundamental element of European transport and sustainable mobility policies. To achieve the objectives of reducing the number of fatalities and serious injuries in road accidents, the European Union promotes the implementation of modern tools for managing road infrastructure safety. One such tool is network-level safety assessment, known at the European level as "Network-Wide Assessment" (NWA). Directive (EU) 2019/1936 mandates systematic assessments of road infrastructure to identify high-risk sections and prioritize intervention measures.

This paper presents an integrated methodology for assessing road infrastructure safety at the network level, combining a proactive approach—which analyzes infrastructure characteristics—with a reactive approach based on the analysis of road accidents. The principles for network segmentation, the parameters used for assessment, the risk classification criteria, and the process for integrating the results are described. The methodology enables the identification of sections with high risk potential and provides infrastructure managers with an objective tool for prioritizing investments in road safety.

Keywords: road safety; network-wide assessment; road infrastructure; road safety management; Directive (EU) 2019/1936.

1. INTRODUCERE

Reducerea numărului de accidente rutiere și a consecințelor acestora reprezintă una dintre principalele priorităţi ale politicilor europene în domeniul transporturilor. Deşi în ultimele decenii s-au înregistrat progrese importante în ceea ce privește siguranța rutieră, infrastructura rutieră continuă să joace un rol determinant în producerea și în gravitatea accidentelor. Elementele geometrice ale drumului, calitatea semnalizării, existența acostamentelor, protecția participanților vulnerabili și modul de organizare a intersecțiilor influențează direct nivelul de risc la care sunt expuși utilizatorii drumului.

Abordările tradiționale privind managementul siguranței infrastructurii rutiere s-au bazat în principal pe analiza accidentelor produse, ceea ce a condus la implementarea unor măsuri reactive. Deși această abordare este utilă pentru identificarea unor puncte negre sau sectoare cu istoric negativ, ea prezintă o limitare majoră: intervenția are loc după producerea evenimentelor rutiere. Dezvoltarea conceptului de sistem rutier sigur a determinat orientarea către metode proactive, care permit identificarea și eliminarea riscurilor înainte de materializarea acestora.

În acest context, Directiva (UE) 2019/1936 de modificare a Directivei 2008/96/CE privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere introduce conceptul de evaluare a siguranței infrastructurii rutiere la nivel de rețea. Evaluarea la nivel de rețea urmărește identificarea sectoarelor cu risc ridicat și stabilirea priorităților de intervenție pentru îmbunătățirea performanței de siguranță a rețelei rutiere [1], [2].

Implementarea evaluării siguranței infrastructurii rutiere la nivel de rețea a fost testată și aplicată în mai multe state europene înainte de introducerea obligațiilor prevăzute de Directiva (UE) 2019/1936. Rezultatele obținute au demonstrat că utilizarea unei abordări sistematice permite identificarea sectoarelor cu risc ridicat și orientarea eficientă a investițiilor către zonele cu cel mai mare potențial de reducere a accidentelor [3], [8].

În Suedia, principiile care stau la baza conceptului „Vision Zero” au condus la dezvoltarea unor metode avansate de evaluare a infrastructurii rutiere și la implementarea unor programe de modernizare a sectoarelor identificate ca prezentând risc ridicat. Ca urmare a acestor măsuri, Suedia înregistrează în prezent una dintre cele mai reduse rate ale mortalității rutiere din Uniunea Europeană.

Țările de Jos au utilizat evaluări sistematice ale infrastructurii în cadrul conceptului „Sustainable Safety”, bazat pe identificarea neconcordanțelor dintre funcția drumului, caracteristicile geometrice și comportamentul participanților la trafic. Aplicarea acestui concept a contribuit la reducerea semnificativă a numărului accidentelor grave și la creșterea nivelului de siguranță al rețelei rutiere.

În Germania, evaluările la nivel de rețea sunt utilizate pentru prioritizarea investițiilor și pentru identificarea sectoarelor unde sunt necesare măsuri de îmbunătățire a infrastructurii. Rezultatele au demonstrat că utilizarea combinată a datelor privind infrastructura și a informațiilor referitoare la accidente conduce la o alocare mai eficientă a resurselor disponibile.

Proiectele europene de cercetare și dezvoltare, precum EuroRAP și ulterior NetSafety, au evidențiat faptul că evaluările proactive permit identificarea unor sectoare cu risc ridicat chiar și în situațiile în care istoricul accidentelor este limitat sau nu indică încă probleme de siguranță semnificative. Studiile realizate în cadrul acestor programe au arătat că implementarea măsurilor recomandate în urma evaluărilor poate conduce la reduceri semnificative ale numărului de accidente și ale gravității consecințelor acestora.

Experiența statelor europene demonstrează că evaluarea siguranței infrastructurii rutiere la nivel de rețea reprezintă un instrument eficient pentru fundamentarea deciziilor privind investițiile în infrastructură și pentru atingerea obiectivelor strategice privind reducerea victimelor accidentelor rutiere.

Lucrarea are ca obiectiv prezentarea unei metodologii integrate de evaluare a siguranței infrastructurii rutiere, bazată pe combinarea evaluării proactive a infrastructurii cu analiza reactivă a accidentelor rutiere. Prin corelarea celor două perspective, metodologia propusă oferă o imagine mai completă asupra riscului rutier și facilitează fundamentarea deciziilor de investiții.

2. CONTEXTUL EVALUĂRII SIGURANȚEI INFRASTRUCTURII LA NIVEL DE REȚEA

Evaluarea siguranței infrastructurii la nivel de rețea reprezintă un proces sistematic de analiză a performanței de siguranță a infrastructurii rutiere pe ansamblul unei rețele de drumuri. Spre deosebire de inspecțiile punctuale sau de auditul de siguranță rutieră aplicat proiectelor de infrastructură, evaluarea la

nivel de rețea are caracter strategic și permite compararea sectoarelor de drum în vederea stabilirii unor priorități de intervenție [1], [8].

Metodologia este relevantă pentru autostrăzi urbane și rurale, drumuri primare divizate sau nedivizate, precum și pentru anumite drumuri rurale aflate sub categoria drumurilor primare care au beneficiat de finanțare europeană. În România, cadrul legislativ privind gestionarea siguranței circulației pe infrastructura rutieră este reglementat prin Legea nr. 265/2008, cu modificările și completările ulterioare [7]. În cazul rețelei rutiere naționale, aplicarea unei astfel de metodologii permite trecerea de la intervenții izolate la o programare coerentă a măsurilor de siguranță rutieră [1], [8].

Procesul de evaluare este fundamentat pe două componente complementare: evaluarea proactivă a infrastructurii și evaluarea reactivă bazată pe analiza accidentelor. Evaluarea proactivă urmărește identificarea riscurilor inerente infrastructurii, în timp ce evaluarea reactivă utilizează date istorice privind accidentele pentru identificarea sectoarelor cu performanță redusă de siguranță [8].

3. STRUCTURA METODOLOGIEI INTEGRATE

Etapele metodologiei integrate sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Etapele metodologiei integrate de evaluare a siguranței infrastructurii rutiere

Etapă	Descriere sintetică	Rezultat urmărit
Definirea rețelei	Stabilirea limitelor geografice și a categoriilor de drum incluse în analiză.	Rețea eligibilă pentru evaluare
Segmentarea	Împărțirea rețelei în secțiuni aproximativ omogene.	Unități de analiză comparabile
Evaluarea proactivă	Analiza caracteristicilor infrastructurii și acordarea punctajelor pentru parametrii relevanți.	Clasificare în risc ridicat, intermediar sau scăzut
Evaluarea reactivă	Analiza accidentelor produse pe cel puțin trei ani consecutivi.	Clasificare în risc ridicat, scăzut sau neconcludent
Integrarea rezultatelor	Combinarea rezultatelor proactive și reactive pe baza unor reguli de prioritizare.	Încadrare în cinci clase de prioritate

După cum se observă, metodologia integrată este alcătuită din cinci etape principale: definirea rețelei analizate, segmentarea acesteia în secțiuni omogene,

evaluarea proactivă, evaluarea reactivă și integrarea rezultatelor într-un sistem unic de prioritizare. Această succesiune asigură o abordare coerentă, repetabilă și transparentă a evaluării siguranței infrastructurii rutiere.

4. METODOLOGIA PROACTIVĂ

4.1. Principii generale

Metodologia proactivă urmărește identificarea riscurilor generate de caracteristicile geometrice, funcționale și operaționale ale infrastructurii rutiere, independent de istoricul accidentelor. Această abordare este importantă deoarece există sectoare de drum care prezintă deficiențe evidente de siguranță, dar pe care numărul accidentelor raportate poate fi redus din cauza expunerii scăzute sau a perioadei limitate de analiză.

Aplicarea metodei proactive începe prin segmentarea rețelei rutiere în secțiuni aproximativ omogene. Segmentarea pe lungimi variabile se realizează prin formarea de secțiuni care prezintă caracteristici similare din punctul de vedere al volumului de trafic, configurației curbelor orizontale, limitelor de viteză și tipului de teren. Scopul segmentării este obținerea unor unități de analiză relevante, în cadrul cărora riscul poate fi evaluat în mod coerent [8].

4.2. Parametri de evaluare

Pentru drumurile primare, inclusiv pentru drumurile naționale, metodologia utilizează zece parametri de evaluare. Acești parametri acoperă principalele elemente ale infrastructurii care pot influența probabilitatea producerii accidentelor sau severitatea acestora. Parametrii utilizați sunt prezentați în Tabelul 2 [8].

Pentru autostrăzi sunt utilizați șapte parametri: lățimea benzii, marginea drumului, curbele, intersecțiile, participanții vulnerabili, sistemele de informare și monitorizare și iluminatul. Diferența față de drumurile naționale este justificată de caracteristicile funcționale distincte ale autostrăzilor, unde accesul este controlat, iar interacțiunile cu participanții vulnerabili sau accesurile laterale sunt semnificativ reduse [8].

Tabelul 2. Parametrii utilizați în evaluarea proactivă a drumurilor primare

Nr. crt.	Parametru	Rol în evaluarea siguranței
1	Lățimea benzii	Influențează spațiul disponibil pentru circulație și marja de eroare a conducătorilor auto.
2	Marginea drumului	Reflectă riscurile asociate părăsirii părții carosabile și obstacolelor laterale.
3	Curbele	Evaluează impactul geometriei traseului asupra vizibilității și stabilității vehiculului.
4	Densitatea punctelor de acces	Indică frecvența conflictelor generate de accesuri laterale.
5	Intersecțiile	Analizează zonele cu potențial ridicat de conflict între fluxurile de trafic.
6	Participanții vulnerabili	Evaluează condițiile oferite pietonilor, bicicliștilor și altor utilizatori vulnerabili.
7	Acostamentele	Analizează existența și calitatea spațiilor laterale de siguranță.
8	Benzile de depășire	Reflectă posibilitatea efectuării manevrelor de depășire în condiții controlate.
9	Semnalizarea și marcajele	Evaluează claritatea informațiilor oferite participanților la trafic.
10	Iluminatul	Analizează vizibilitatea pe timp de noapte și în zonele cu risc crescut.

4.3. Punctaj și clasificare

Fiecărui parametru îi este asociat un factor de reducere care reflectă influența sa asupra nivelului de siguranță al secțiunii analizate. Prin combinarea acestor factori se obține un scor final pentru fiecare secțiune. În funcție de scorul obținut, secțiunile sunt încadrate în trei clase: risc ridicat, risc intermediar și risc scăzut [8].

Metodologia include și un criteriu suplimentar legat de volumul de trafic. Dacă o secțiune are un volum de trafic foarte scăzut comparativ cu restul drumului, respectiv valori mai mici de 15% din volumul total de trafic al drumului, iar secțiunea a fost clasificată inițial ca având risc ridicat, aceasta

poate fi reclasificată în categoria risc intermediar. Această ajustare are rolul de a evita supraevaluarea sectoarelor cu expunere redusă [8].

5. METODOLOGIA REACTIVĂ

5.1. Principii generale

Metodologia reactivă utilizează datele privind accidentele rutiere produse pe rețeaua analizată. Spre deosebire de abordarea proactivă, care evaluează riscul potențial al infrastructurii, abordarea reactivă analizează performanța de siguranță observată în exploatare. Pentru asigurarea unei baze minime de analiză, datele privind accidentele trebuie să acopere cel puțin trei ani consecutivi [5], [8].

Această componentă este necesară deoarece istoricul accidentelor poate evidenția sectoare în care riscul se manifestă efectiv, chiar dacă infrastructura nu prezintă deficiențe evidente la nivelul tuturor parametrilor analizați. Totodată, metoda reactivă permite verificarea și calibrarea rezultatelor obținute prin analiza proactivă.

5.2. Segmentarea pentru analiza accidentelor

În cadrul metodei reactive, secțiunile sunt create astfel încât să fie aproximativ omogene în funcție de numărul de benzi, prezența intersecțiilor și caracteristicile traseului, în special existența curbelor. Pentru fiecare tip de drum pot fi stabilite lungimi recomandate ale tronsoanelor, astfel încât acestea să fie suficient de mari pentru a permite o analiză statistică relevantă [8].

5.3. Indicatori de performanță

Pentru evaluare sunt utilizați doi indicatori principali de performanță în materie de siguranță: densitatea accidentelor și rata accidentelor. Densitatea accidentelor exprimă numărul de accidente raportat la lungimea secțiunii analizate, iar rata accidentelor introduce în analiză expunerea la trafic, fiind raportată la volumul de trafic și la lungimea sectorului. Definițiile indicatorilor sunt sintetizate în Tabelul 3 [8].

Tabelul 3. Indicatorii utilizați în evaluarea reactivă

Indicator	Definiție	Utilitate
Densitatea accidentelor	Numărul de accidente raportat la lungimea secțiunii analizate.	Permite compararea sectoarelor în funcție de frecvența accidentelor pe unitatea de lungime.
Rata accidentelor	Numărul de accidente raportat la expunerea la trafic.	Permite compararea sectoarelor ținând cont de volumul de trafic și de utilizarea infrastructurii.

Pentru fiecare indicator sunt definite praguri superioare și inferioare. Pe baza acestor praguri, secțiunile sunt clasificate ca risc ridicat, risc scăzut sau neconcludent. Categoria neconcludent este utilizată atunci când rezultatele nu au semnificație statistică suficientă pentru o încadrare fermă într-o clasă de risc [8].

6. INTEGRAREA REZULTATELOR

Elementul central al metodologiei îl reprezintă combinarea rezultatelor obținute prin metodele proactivă și reactivă. Integrarea rezultatelor permite depășirea limitelor fiecărei metode utilizate separat. Abordarea proactivă poate identifica riscuri care nu s-au materializat încă în accidente, iar abordarea reactivă poate evidenția sectoare cu probleme reale de siguranță confirmate de datele istorice. Matricea orientativă de integrare este prezentată în Tabelul 4 [8].

În metodologia integrată, secțiunile evaluate proactiv sunt clasificate în risc ridicat, risc intermediar sau risc scăzut, iar secțiunile evaluate reactiv sunt clasificate în risc ridicat, risc scăzut sau neconcludent. Prin aplicarea unui set de reguli de combinare, rezultatele sunt transformate într-o clasificare finală în cinci clase de prioritate: prioritate foarte mare, prioritate mare, prioritate intermediară, prioritate scăzută și prioritate foarte scăzută [8].

Tabelul 4 prezintă o logică posibilă de integrare a rezultatelor, utilă pentru ilustrarea modului în care cele două componente ale metodologiei pot fi combinate. În practică, regulile finale trebuie adaptate la cerințele metodologice aplicabile și la particularitățile rețelei analizate.

Tabelul 4. Matricea de integrare a evaluărilor proactive şi reactive

Rezultat proactiv	Rezultat reactiv	Prioritate finală recomandată
Risc ridicat	Risc ridicat	Prioritate foarte mare
Risc ridicat	Neconcludent	Prioritate mare
Risc ridicat	Risc scăzut	Prioritate intermediară
Risc intermediar	Risc ridicat	Prioritate mare
Risc intermediar	Neconcludent	Prioritate intermediară
Risc intermediar	Risc scăzut	Prioritate scăzută
Risc scăzut	Risc ridicat	Prioritate intermediară
Risc scăzut	Neconcludent	Prioritate scăzută
Risc scăzut	Risc scăzut	Prioritate foarte scăzută

7. AVANTAJELE APLICĂRII METODOLOGIEI INTEGRATE

Aplicarea unei metodologii integrate de evaluare a siguranței infrastructurii rutiere prezintă o serie de avantaje pentru administratorii drumurilor și pentru autoritățile responsabile de politica de siguranță rutieră [4], [8].

În primul rând, metodologia permite identificarea riscurilor înainte de producerea accidentelor, prin analiza caracteristicilor infrastructurii.

În al doilea rând, rezultatele sunt validate și completate prin analiza accidentelor produse, ceea ce asigură o perspectivă echilibrată asupra riscului.

Aceste avantaje sunt următoarele:

- prioritizarea obiectivă a investițiilor în siguranța infrastructurii;
- utilizarea combinată a datelor privind infrastructura și accidentele;
- creșterea transparenței în procesul de alocare a resurselor;
- alinierea la cerințele europene privind managementul siguranței infrastructurii rutiere;
- fundamentarea programelor multianuale de intervenție;
- identificarea sectoarelor în care măsurile pot produce cel mai mare beneficiu de siguranță.

Un alt avantaj important constă în posibilitatea utilizării unor instrumente informatice pentru colectarea, codificarea și prelucrarea datelor. În cadrul metodologiei proactive poate fi utilizat un instrument de tip fișier Excel pentru codificarea informațiilor aferente fiecărui parametru și pentru estimarea scorului

final al secțiunilor analizate. Pe termen mediu, aceste instrumente pot fi dezvoltate în platforme informatice integrate, capabile să gestioneze date georeferențiate, hărți interactive și rapoarte standardizate.

8. DISCUȚII

Integrarea metodelor proactive și reactive reprezintă o evoluție firească a managementului siguranței infrastructurii rutiere. O abordare bazată exclusiv pe accidente poate conduce la intervenții tardive, în timp ce o abordare exclusiv proactivă poate supraestima sau subestima riscul în lipsa validării prin date istorice. Prin combinarea celor două perspective, metodologia integrată oferă o bază mai solidă pentru luarea deciziilor.

Totuși, aplicarea metodologiei ridică și o serie de provocări. Calitatea rezultatelor depinde de disponibilitatea și acuratețea datelor privind infrastructura, traficul și accidentele. De asemenea, segmentarea rețelei trebuie realizată cu atenție, astfel încât secțiunile rezultate să fie suficient de omogene, dar și suficient de lungi pentru a permite o analiză statistică relevantă. Stabilirea pragurilor pentru indicatorii reactivi reprezintă o altă etapă importantă, deoarece acestea influențează direct clasificarea sectoarelor [4], [8].

În cazul rețelelor rutiere naționale extinse, o direcție importantă de dezvoltare o reprezintă digitalizarea procesului de evaluare. Integrarea datelor într-un sistem informatic permite reducerea erorilor de prelucrare, creșterea trasabilității deciziilor și actualizarea periodică a clasificării riscului. De asemenea, utilizarea hărților digitale și a datelor georeferențiate poate facilita comunicarea rezultatelor către decidenți și către public.

9. APLICAREA METODOLOGIEI INTEGRATE: STUDIU DE CAZ PE ȘAPTE DRUMURI NAȚIONALE DIN ROMÂNIA

9.1. Datele utilizate și delimitarea studiului

Metodologia integrată a fost aplicată în România la nivelul rețelei de drumuri naționale și autostrăzi. Pentru ilustrarea aplicării sale, prezenta lucrare analizează un set de șapte fișiere de evaluare aferente drumurilor naționale DN1–DN7 între km 0+000 și km 30+000. Acest eșantion documentar constituie studiul de caz al articolului; rezultatele sale nu sunt extrapolate statistic la întreaga rețea națională.

Fișierele de evaluare includ parametri ai infrastructurii pentru componenta proactivă, date despre accidente și trafic pentru componenta reactivă și încadrarea integrată în clase de prioritate. Datele au fost păstrate în forma

consemnată în centralizatoare. Pentru comparaţia de mai jos au fost numărate exclusiv tronsoanele care conţin explicit o clasă integrată de la 1 la 5.

9.2. Rezultatele evaluării integrate şi distribuţia pe clase

Pentru aplicarea metodologiei, fiecare drum național a fost împărțit în tronsoane (sectoare de analiză), delimitate în funcție de caracteristicile infrastructurii și de criteriile de segmentare utilizate. Fiecărui tronson evaluat i-a fost atribuită o clasă rezultată din integrarea evaluării proactive, bazate pe caracteristicile drumului, cu evaluarea reactivă, bazată pe accidentele înregistrate. Tabelul 5 prezintă, pentru fiecare drum național, numărul de tronsoane aferente fiecărei clase integrate.

De exemplu, pentru DN1 sunt consemnate 23 de tronsoane clasificate: 6 în clasa 2, 9 în clasa 3 și 8 în clasa 4; nu apar tronsoane în clasele 1 și 5. Pentru DN2 sunt consemnate 22 de tronsoane, dintre care 2 în clasa 4 și 20 în clasa 5. Pentru DN3, cele 6 tronsoane se distribuie astfel: unul în clasa 2, patru în clasa 4 și unul în clasa 5. Aceste valori arată distribuția clasificărilor pe tronsoanele raportate, fără a echivala automat cu lungimea de drum din fiecare clasă.

Metodologia distinge cinci niveluri de prioritate a intervenției: foarte mare, mare, intermediară, scăzută și foarte scăzută. Prioritatea foarte mare indică necesitatea analizării cu precădere a măsurilor de siguranță, în timp ce prioritatea foarte scăzută indică o necesitate relativ redusă de intervenție potrivit criteriilor evaluate. Clasele reprezintă priorități relative de intervenție, nu probabilități directe de producere a accidentelor. Corespondența exactă dintre codurile numerice 1–5 din fișiere și denumirile acestor niveluri trebuie confirmată în legenda metodologiei aplicate înainte de atribuirea unor etichete valorice fiecărei coloane.

Interpretarea distribuției pe drumuri naționale. La nivelul celor șapte drumuri sunt centralizate 141 de tronsoane clasificate: 1 în clasa 1, 21 în clasa 2, 23 în clasa 3, 44 în clasa 4 și 52 în clasa 5. Această distribuție descrie frecvența tronsoanelor, nu ponderea lungimii de drum aferente fiecărei clase. Distribuția totală este ilustrată în Figura 1.

Tabelul 5. Distribuția tronsoanelor pe clase de prioritate integrată pentru DN1–DN7

Drum	Clasa 1	Clasa 2	Clasa 3	Clasa 4	Clasa 5	Total
DN1	0	6	9	8	0	23
DN2	0	0	0	2	20	22
DN3	0	1	0	4	1	6
DN4	0	0	4	6	3	13
DN5	0	0	6	9	13	28
DN6	1	10	0	4	0	15
DN7	0	4	4	11	15	34

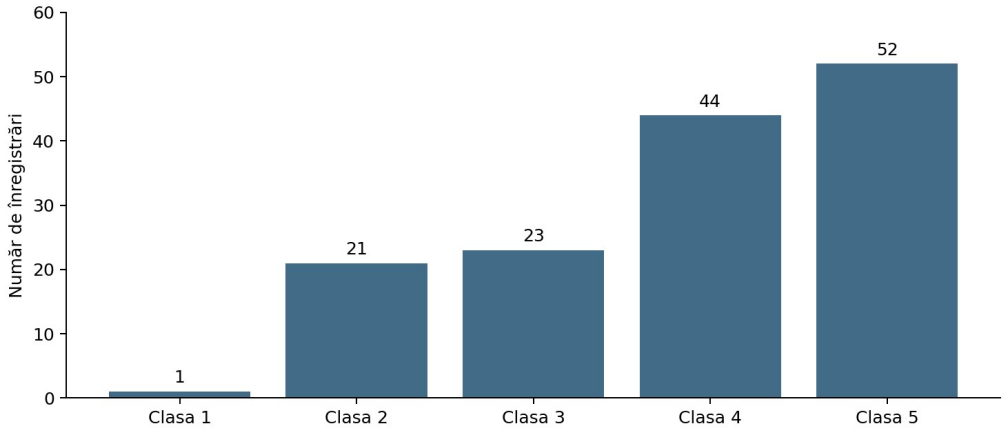


Figura 1. Distribuția tronsoanelor clasificate pe cele cinci clase, pentru DN1–DN7.

9.3. Interpretarea rezultatelor şi limitele comparabilităţii

Centralizarea evidențiază distribuții diferite ale claselor de prioritate între cele șapte drumuri. Această variație susține utilitatea prezentării rezultatelor la nivel de sector, dar nu permite singură identificarea drumului cu cel mai ridicat risc global. O asemenea comparație necesită armonizarea unităților de lungime, eliminarea suprapunerilor şi raportarea la lungimea efectiv evaluată şi la expunerea la trafic.

Pentru analiza integrată a siguranței infrastructurii rutiere, rezultatele evaluărilor proactive şi reactive au fost centralizate şi organizate în funcție de tronsoanele analizate şi de clasele de risc atribuite. Această abordare permite evidențierea distribuției nivelurilor de siguranță şi identificarea tronsoanelor care

necesită o atenție prioritară în stabilirea măsurilor de îmbunătățire a siguranței rutiere. În cadrul prezentului studiu de caz, analiza comparativă a drumurilor naționale DN1–DN7 a fost realizată pe baza numărului de tronsoane încadrate în fiecare clasă de risc. Graficul prezentat ilustrează această distribuție și permite identificarea diferențelor dintre drumurile analizate. Rezultatele trebuie interpretate în raport cu această unitate de analiză, fără a fi considerate o reprezentare procentuală a lungimii totale evaluate. O direcție de aprofundare a cercetării o reprezintă analiza distribuției claselor de risc în raport cu lungimea tronsoanelor și cu volumul traficului, precum și evaluarea concordanței dintre rezultatele componentelor proactive și reactive. Aceste analize pot contribui la o caracterizare mai detaliată a nivelului de siguranță și la fundamentarea priorităților de intervenție asupra infrastructurii rutiere.

10. DISCUȚII ASUPRA IMPLEMENTĂRII ÎN ROMÂNIA

Implementarea metodologiei integrate la nivelul rețelei de drumuri naționale din România reprezintă un pas important în dezvoltarea unui sistem unitar de evaluare a siguranței infrastructurii rutiere. Prin corelarea rezultatelor evaluării proactive, bazate pe caracteristicile infrastructurii, cu cele ale evaluării reactive, fundamentate pe analiza accidentelor rutiere, metodologia permite o apreciere mai cuprinzătoare a nivelului de siguranță.

Rezultatele obținute oferă posibilitatea identificării și ierarhizării tronsoanelor de drum în funcție de nivelul de risc, constituind un instrument de sprijin pentru stabilirea priorităților de intervenție. În acest mod, evaluarea integrată poate contribui la orientarea resurselor către sectoarele cu probleme de siguranță rutieră și la fundamentarea deciziilor privind îmbunătățirea infrastructurii.

Aplicarea metodologiei în România evidențiază potențialul acesteia de a susține o abordare sistematică și coerentă a gestionării siguranței rutiere, prin utilizarea complementară a informațiilor privind infrastructura și accidentele de circulație.

11. CONCLUZII

Principala contribuție a cercetării constă în implementarea unei metodologii integrate de evaluare a siguranței infrastructurii rutiere la nivelul rețelei de drumuri naționale din România, prin valorificarea complementară a rezultatelor evaluărilor proactive și reactive.

Studiul de caz realizat pentru drumurile naționale DN1–DN7 evidențiază aplicabilitatea metodologiei și posibilitatea analizării unitare a rezultatelor obținute. Centralizarea celor 141 de înregistrări clasificate permite evidențierea distribuției claselor de risc și a particularităților drumurilor analizate, oferind

informaţii relevante pentru identificarea sectoarelor care necesită o atenţie sporită din perspectiva siguranţei rutiere.

Rezultatele obținute confirmă utilitatea practică a abordării integrate și pot constitui un punct de plecare pentru dezvoltarea unor instrumente de analiză și prioritizare a intervențiilor asupra infrastructurii rutiere.

În ansamblu, cercetarea evidențiază posibilitatea trecerii de la evaluări individuale ale factorilor de risc la o abordare integrată, aplicabilă la nivelul unei rețele rutiere extinse, cu potențial de utilizare în procesul de gestionare a siguranței rutiere.

BIBLIOGRAFIE

[1]. EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL, *Directive (EU) 2019/1936 amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management*, Official Journal of the European Union, **2019**.

[2]. EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL, *Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management*, Official Journal of the European Union, **2008**.

[3]. EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, *New guidelines to assess safety of road infrastructure*, **2023**.

[4]. PIARC – WORLD ROAD ASSOCIATION, *Road Safety Manual*, ediția a IV-a, **2025**.

[5]. AUSTROADS, *Guide to Road Safety Part 8: Treatment of Crash Locations*, ediția a II-a, **2015**.

[6]. ELVIK, R., HØYE, A., VAA, T., AND SØRENSEN, M., *The Handbook of Road Safety Measures*, ediția a II-a, Emerald Publishing, **2009**.

[7]. *Legea nr. 265/2008 privind gestionarea siguranței circulației pe infrastructura rutieră*, republicată, cu modificările și completările ulterioare, **2008**.

[8]. EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, *Network Wide Road Safety Assessment – Methodology and Implementation Handbook*, **2023**.

UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR DE SCANARE LASER (LIDAR) ÎN PROIECTAREA DRUMURILOR, PASAJELOR, PODURILOR ȘI CĂILOR FERATE

Filipoiu Valentin, ing., administrator S.C. NEW SURVEY TECH S.R.L., e-mail: filipoiu@gmail.com

Rezumat

Proiectarea infrastructurii de transport – drumuri, pasaje, poduri și căi ferate – depinde direct de calitatea și completitudinea datelor topografice despre teren și construcțiile existente. Tehnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) furnizează rapid nori de puncte tridimensionali georeferențiați, cu densități de sute până la zeci de mii de puncte pe metru pătrat și precizii milimetrice până la centimetrice. Lucrarea prezintă principiile de măsurare, platformele de scanare (aeriană, UAV, mobilă și terestră statică), indicatorii de precizie și fluxul de lucru prin care norul de puncte devine model digital al terenului, secțiuni transversale și modele 3D/BIM ale existentului, precum și aplicațiile specifice drumurilor, podurilor și pasajelor, respectiv căilor ferate. Sunt discutate cadrul normativ și limitările tehnologiei. Studiul de caz prezintă ridicarea LiDAR de pe UAV a coridorului de circa 170 km al drumului expres TransRegio Brăila – Slobozia – Drajna – A2, recepționată de ANCPI, pentru care precizia verificată pe ținte de control a fost de circa 4 cm pe verticală și 11 cm în plan.

Cuvinte cheie: scanare laser, LiDAR, nor de puncte, scanare mobilă, model digital al terenului, BIM, drumuri, poduri, căi ferate

Abstract

The design of transport infrastructure – roads, overpasses, bridges and railways – depends directly on the quality and completeness of the survey data describing the existing terrain and structures. LiDAR (Light Detection and Ranging) rapidly delivers georeferenced three-dimensional point clouds, with densities from hundreds to tens of thousands of points per square metre and millimetre- to centimetre-level accuracy. The paper presents the measurement principles, the scanning platforms (airborne, UAV, mobile and static terrestrial), the accuracy indicators and the workflow that turns the point cloud into digital terrain models, cross-sections and 3D/as-is BIM models, as well as the applications specific to roads, bridges and overpasses, and railways. The regulatory framework and the limitations of the technology are discussed. The case study presents the UAV LiDAR survey of the approximately 170 km corridor of the TransRegio Brăila – Slobozia – Drajna – A2 expressway, accepted by the national cadastre agency, for which the accuracy checked on ground control targets was about 4 cm vertically and 11 cm horizontally.

Keywords: laser scanning, LiDAR, point cloud, mobile mapping, digital terrain model, BIM, roads, bridges, railways

1. INTRODUCERE

Orice proiect de infrastructură de transport pornește de la o descriere fidelă a situației existente: relief, construcții, rețele, elemente de siguranță și obstacole. Ridicările topografice clasice, punct cu punct, cu stația totală și GNSS, sunt precise, dar lente, presupun prezența operatorilor în trafic și o selecție subiectivă a punctelor; erorile și omisiunile se descoperă adesea abia la execuție, ca subestimări de cantități, conflicte cu existentul sau gabarite insuficiente [1].

Scanarea laser (LiDAR) a schimbat această paradigmă: în locul unor puncte alese de operator, se obține o înregistrare tridimensională continuă a întregului coridor, din care proiectantul extrage ulterior orice element necesar. Scanarea aeriană a devenit operațională în anii 1990, sistemele mobile s-au generalizat după 2005, iar scanerele ușoare pentru UAV au devenit accesibile în ultimul deceniu [2], [3]; astăzi, numeroase administrații de drumuri și de căi ferate le folosesc ca sursă primară de date pentru proiectare [4].

Contextul românesc este favorabil: numeroasele proiecte de autostrăzi, drumuri expres, poduri și modernizări feroviare impun termene scurte de proiectare, iar BIM începe să fie solicitat de beneficiari. Lucrarea sintetizează principiile, performanțele și integrarea scanării LiDAR în proiectarea drumurilor, pasajelor, podurilor și căilor ferate și le ilustrează printr-un studiu de caz.

2. PRINCIPII ȘI PLATFORME DE SCANARE LIDAR

2.1. Principiul de măsurare

Un scaner laser emite impulsuri (sau o undă modulată) și măsoară timpul în care semnalul reflectat de suprafața țintă revine la receptor. Pentru sistemele cu impulsuri (*time-of-flight*), distanța până la punctul reflectant se determină cu relația (1) [5]:

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \tag{1}$$

unde: d = distanța scaner – punct, m; c = viteza luminii în mediul de propagare, m/s; Δt = timpul dus-întors al impulsului, s.

Direcția fasciculului rezultă din unghiurile de deviație ale oglinzii de scanare, astfel încât fiecare măsurătoare produce coordonatele unui punct în sistemul scanerului. Recepția multi-ecou permite separarea vegetației de teren – avantaj major față de fotogrametrie –, iar intensitatea semnalului reflectat ajută la identificarea marcajelor, a șinelor și a elementelor metalice [6].

La platformele în mișcare (avion, UAV, vehicul), coordonatele punctelor în sistemul național rezultă prin georeferențiere directă, combinând măsurătoarea laser cu poziția antenei GNSS și cu orientarea furnizată de IMU, conform relației (2) [6], [7]:

$$X_P = X_N(t) + R(t) \cdot \left(R_L \cdot r_L(t) + l \right) \tag{2}$$

unde: X_P = vectorul coordonatelor punctului în sistemul de referință al proiectului; $X_N(t)$ = poziția centrului de navigație la momentul t; $R(t)$ = matricea de rotație determinată de IMU (ruliu, tangaj, girație); R_L = matricea unghiurilor de montaj (*boresight*) ale scanerului; $r_L(t)$ = vectorul măsurat de scaner; l = vectorul de excentricitate (*lever-arm*) dintre scaner și centrul de navigație.

Relația (2) evidențiază sursele de eroare: poziționarea GNSS (afectată de mascări în zone urbane, păduri, tuneluri sau sub poduri), deriva IMU, calibrarea unghiurilor de montaj și precizia distanțelor laser; de aceea, pentru proiectare, datele se ajustează pe puncte de control determinate independent.

2.2. Clasificarea platformelor de scanare

În funcție de suportul scanerului se disting patru categorii de platforme, sintetizate în Tabelul 1 [2], [4], [7].

Tabelul 1. Caracteristici orientative ale platformelor de scanare LiDAR

Platforma	Densitate tipică [pct/m²]	Precizie absolută	Productivitate	Utilizare în proiectare
Aeriană (ALS) – avion, elicopter	4 – 50	5 – 15 cm	sute de km² pe zi	studii de coridor, variante de traseu, hidrologie
UAV (ULS)	100 – 1 000	2 – 5 cm	1 – 10 km² pe zi	tronsoane, versanți, zone inaccesibile, poduri
Mobilă (MLS) – vehicul rutier sau feroviar	1 000 – 10 000	1 – 3 cm (cu puncte de control)	zeci de km pe zi, cu viteza traficului	drumuri și căi ferate existente, gabarite, inventar
Terestră statică (TLS)	> 10 000	2 – 10 mm	10 – 40 de stații pe zi	poduri, pasaje, tuneluri, detalii structurale

Valorile din Tabelul 1 sunt orientative, depinzând de echipament, de distanța de scanare, de condițiile GNSS și, mai ales, de punctele de control. Scanarea mobilă și cea de pe UAV acoperă majoritatea nevoilor infrastructurii liniare, iar scanarea terestră statică rămâne metoda de referință pentru structuri.

2.3. Precizia și controlul calității

Pentru utilizarea în proiectare, precizia datelor LiDAR trebuie demonstrată prin comparație cu puncte de verificare independente, măsurate cu o metodă de precizie superioară (nivelment geometric, stație totală, GNSS RTK pe puncte bine definite). Indicatorul uzual este eroarea medie pătratică pe verticală, relația (3), conform standardelor ASPRS [8]:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(z_{LiDAR,i} - z_{ref,i} \right)^2}{n}} \quad (3)$$

unde: $z_{LiDAR,i}$ = cota extrasă din norul de puncte în punctul de verificare *i*, m; $z_{ref,i}$ = cota de referință a aceluiași punct, m; *n* = numărul punctelor de verificare.

Pe lângă precizia absolută contează precizia relativă (coerența internă a norului, importantă pentru pante transversale și gabarite), densitatea și completitudinea datelor. Scanerele terestre se verifică conform SR ISO 17123-9 [9], iar datele se livrează, de regulă, în format LAS [10], cu clasele de puncte și sistemul de referință documentate în metadate – în România, sistemul de proiecție Stereografic 1970 și sistemul de cote Marea Neagră 1975.

3. FLUXUL DE LUCRU DE LA NORUL DE PUNCTE LA PROIECT

Valoarea scanării LiDAR pentru proiectare constă în produsele derivate din norul de puncte. Fluxul de lucru tipic (Figura 1) cuprinde șase etape, iar calitatea fiecăreia condiționează rezultatul final [3], [11].

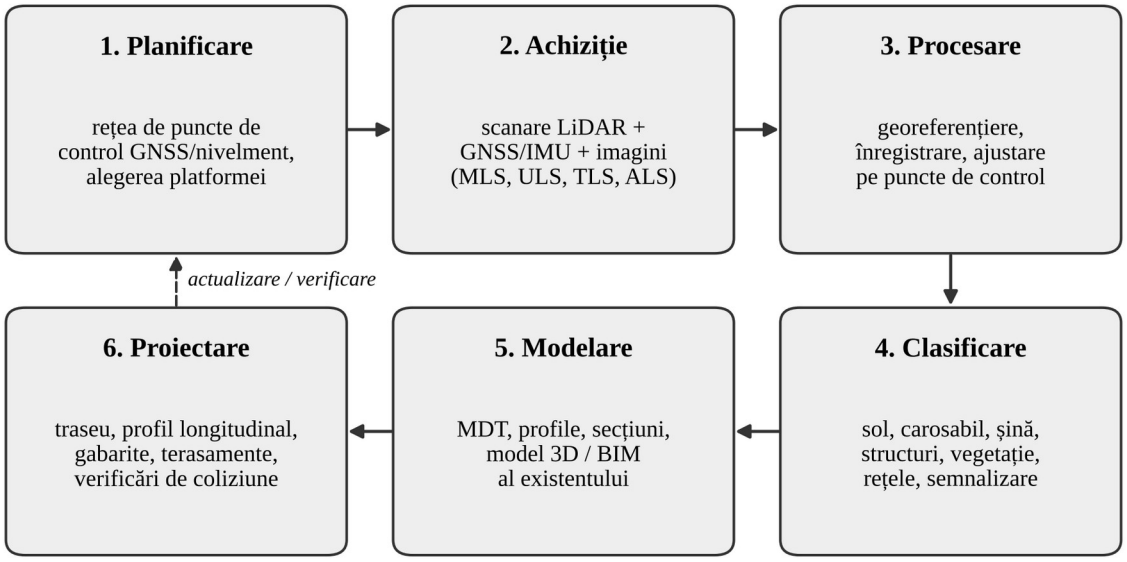


Figura 1. Fluxul de lucru pentru utilizarea scanării LiDAR în proiectarea infrastructurii de transport

Planificarea stabilește platforma, densitatea, perioada de scanare și rețeaua de puncte de control (la scanarea mobilă, la intervale de circa 100 – 300 m). **Achiziția** se face, de regulă, împreună cu preluarea de imagini, utile pentru interpretare și pentru colorarea norului. **Procesarea** cuprinde calculul traiectoriei, georeferențierea, ajustarea benzilor suprapuse și compensarea pe punctele de control.

Clasificarea separă punctele pe categorii (teren, carosabil, șine, structuri, vegetație, rețele), automat sau semiautomat, tot mai des cu metode de învățare automată [11], [12]. **Modelarea** produce MDT-ul, profilele longitudinale, secțiunile transversale, planurile vectorizate și, după caz, modelul 3D/BIM al existentului, care în etapa de **proiectare** sunt importate direct în software-ul rutier sau feroviar pentru calculul terasamentelor, verificarea gabaritelor și detectarea conflictelor.

4. APLICAȚII ÎN PROIECTAREA INFRASTRUCTURII DE TRANSPORT

4.1. Drumuri

Pentru drumurile noi, scanarea aeriană și cea de pe UAV furnizează MDT-ul coridorului pentru studiul variantelor de traseu, calculul terasamentelor și analizele hidrologice; penetrarea vegetației permite determinarea terenului și în zone împădurite, unde fotogrametria nu este fiabilă.

Pentru reabilitarea drumurilor existente, scanarea mobilă este cea mai eficientă: vehiculul circulă cu viteza traficului, fără închideri de bandă, iar din nor se extrag axa, marginile carosabilului, pantele transversale, făgașele, elementele de scurgere, parapetele și semnalizarea [3], [11], [12]. Frezările și reprofilările se dimensionează pe întreaga suprafață, nu prin interpolare între profile rare, iar geometria traseului poate fi verificată față de normele tehnice de proiectare a drumurilor [13].

4.2. Poduri şi pasaje

La poduri și pasaje, scanarea LiDAR servește atât ca releveu al structurii existente, cât și ca suport pentru lucrările noi. Scanarea terestră statică, completată de pe UAV pentru zonele greu accesibile (intrados, pile în albie, culee), oferă geometria completă a structurii – deschideri, grosimi, deformații, aparate de reazem, rosturi – și permite generarea modelelor BIM ale existentului pentru expertizare, consolidare sau lărgire [14], [15].

La pasaje, o aplicație esențială este verificarea gabaritului pe verticală: în locul câtorva puncte măsurate clasic, norul oferă o hartă continuă a distanței dintre intrados și carosabil sau planul șinelor și identifică punctul critic; scanările repetate permit și monitorizarea deformațiilor.

4.3. Căi ferate

Scanarea mobilă feroviară, de pe vagon sau drezină, permite ridicarea căii fără ocuparea îndelungată a liniei și fără expunerea personalului. Din nor se extrag

automat axa căii şi profilul şinelor, de unde rezultă ecartamentul, supraînălţarea, nivelmentul longitudinal şi alinierea [16], [17], [18].

Specifică căilor ferate este verificarea gabaritului de liberă trecere: profilul de gabarit este deplasat virtual de-a lungul axei, iar punctele norului care pătrund în interiorul lui (peroane, stâlpi, pile, vegetație) sunt identificate automat. Tot din nor se modelează linia de contact, terasamentele și instalațiile, util în proiectele de electrificare și de creștere a vitezei. Tabelul 2 sintetizează aplicațiile.

Tabelul 2. Produse LiDAR și utilizarea lor în proiectare

Domeniu	Produse derivate din norul de puncte	Utilizare în proiectare
Drumuri noi	MDT coridor, curbe de nivel, rețea hidrografică	variante de traseu, terasamente, hidrologie
Drumuri existente	axă, margini, pante transversale, făgașe, inventar	reprofilare, frezare, siguranța circulației
Poduri	geometria structurii, deformații, model BIM	expertizare, consolidare, lărgire
Pasaje	intrados, hartă a gabaritului vertical	verificarea și proiectarea gabaritelor
Căi ferate	axa căii, geometria șinelor, linia de contact	reabilitare, gabarit de liberă trecere, electrificare

5. CADRUL NORMATIV, AVANTAJE ŞI LIMITĂRI

La nivel internațional, ghiduri dedicate definesc categorii de precizie și densitate pentru scanarea mobilă în transporturi [3], standardele ASPRS [8] și formatul LAS [10] asigură comparabilitatea datelor, iar seria SR EN ISO 19650 [19] încadrează norul de puncte în informațiile despre existent din procesul BIM.

În România, ANCPI a derulat programe de scanare LiDAR aeriană la nivel regional [20], utile pentru studiile de prefezabilitate, iar recepția lucrărilor de specialitate se face conform Ordinului ANCPI nr. 600/2023, cu modificările ulterioare [21]. Nu există însă o reglementare tehnică națională privind cerințele minime de precizie, densitate și livrare a datelor LiDAR pentru proiectarea drumurilor și căilor ferate, acestea fiind stabilite de la caz la caz în caietele de sarcini.

Avantajele tehnologiei sunt viteza de achiziție, siguranța personalului, completitudinea și obiectivitatea datelor și reducerea revenirilor pe teren. Limitările țin de volumul mare de date, de costul echipamentelor și al software-ului, de nevoia de personal specializat, de dependența de GNSS și de performanțele reduse pe suprafețe umede, întunecate sau reflectorizante. LiDAR nu elimină topografia clasică, ci o completează: rețeaua de control, punctele de verificare și detaliile ascunse rămân în sarcina metodelor convenționale [1], [4].

6. STUDIU DE CAZ: CORIDORUL RUTIER TRANSREGIO BRĂILA – SLOBOZIA – CĂLĂRAȘI

6.1. Descrierea obiectivului

Studiul de caz se referă la ridicarea topografică executată de autor în 2024 pentru studiul de fezabilitate și documentația tehnică pentru autorizația de construire a obiectivului „TransRegio Brăila – Slobozia – Drajna – A2 și Chiciu – Drajna”, coridor rutier nou de tip drum expres, cu lungimea de circa 170 km, în județele Brăila, Ialomița și Călărași. Traseul străbate o zonă de câmpie predominant agricolă, intersectată de drumuri, căi ferate, canale și linii electrice aeriene. S-au cerut planuri topografice 1:1 000 și MDT-ul culoarului, în sistemele Stereografic 1970 și Marea Neagră 1975, cu recepție la Centrul Național de Cartografie (CNC) al ANCPI [21].

6.2. Echipamente și metodologie

S-a ales scanarea LiDAR de pe UAV. Traseul a fost împărțit în blocuri de câte 1 km, prelungite la capete în formă de „L”, fiecare acoperit prin trei benzi de zbor paralele cu axul, cu suprapunere laterală de 50%. S-a utilizat o dronă DJI Matrice 300 RTK cu senzorul DJI Zenmuse L1 (LiDAR cu trei ecouri și cameră RGB, precizia distanței de 3 cm la 100 m, până la 240 000 de puncte/s) [22], la 50 m deasupra terenului, cu urmărirea reliefului; cele trei ecouri au permis determinarea terenului sub vegetație. Zborurile au avut corecții RTK de la o bază GNSS proprie (Emlid Reach RS3), staționată pe un punct determinat cu ROMPOS. Pentru controlul independent au fost amplasate la sol ținte din PVC cu model concentric, determinate prin RTK ROMPOS (Emlid Reach RS2+, două sesiuni a câte 300 de epoci).

Liniile de zbor au fost generate în DJI Pilot 2 din axul proiectat, iar datele brute au fost procesate în DJI Terra (traiectorie GNSS/IMU, nori LAS în ETRS89). Transformarea în Stereo 70 s-a făcut cu scripturi Python proprii (laspy, pyproj, ezdxf), urmată de regeometrizarea norilor pe puncte identice transformate cu TransDatRO 4.08. În Trimble Business Center norii au fost evaluați pe ținte și clasificați (teren, zgomot, neclasificat), s-au vectorizat liniile caracteristice 3D și s-a generat MDT-ul; planurile 1:1 000 au fost redactate în BricsCAD/TopGraph (Figura 2a).

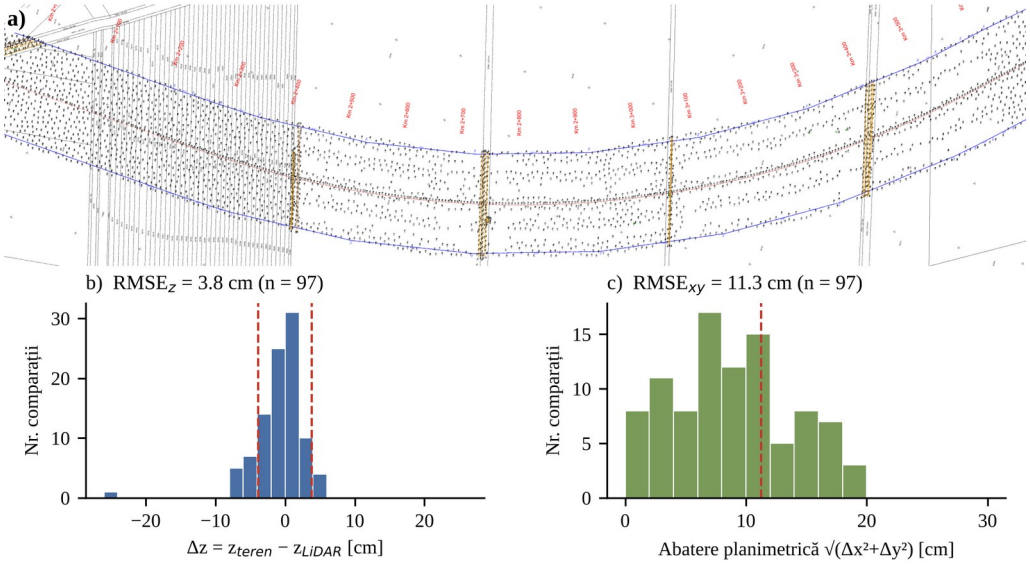


Figura 2. a) Extras din planul topografic 1:1 000 (km 2+000 – 3+700): limita culoarului, axul proiectat și punctele cotate extrase din norul LiDAR; b) distribuția abaterilor pe verticală și c) a abaterilor planimetrice pe țintele de control, fără cele trei erori grosolane

6.3. Rezultate

S-au livrat 53 de fișiere LAS clasificate, 21 de traiectorii compensate, 59 de planșe 1:1 000, MDT-ul (dwg, xml) și circa 1,13 TB de date brute; un singur nor conține circa 814 milioane de puncte, dintre care 790 de milioane pe teren. Norul colorat RGB redă și structurile din coridor – pasaje, căi ferate, linii electrice (Figura 3) –, permițând extragerea gabaritelor și a punctelor de conflict. Lucrarea a fost admisă de CNC prin procesul-verbal de recepție nr. 88/24.12.2024 [23], după verificarea transformării de coordonate (diferențe de cel mult 1,4 cm în 10 puncte), a preciziei norilor pe ținte, a MDT-ului pe 665 de puncte, a filtrării pe profile aleatorii și a 7 planșe din 59.

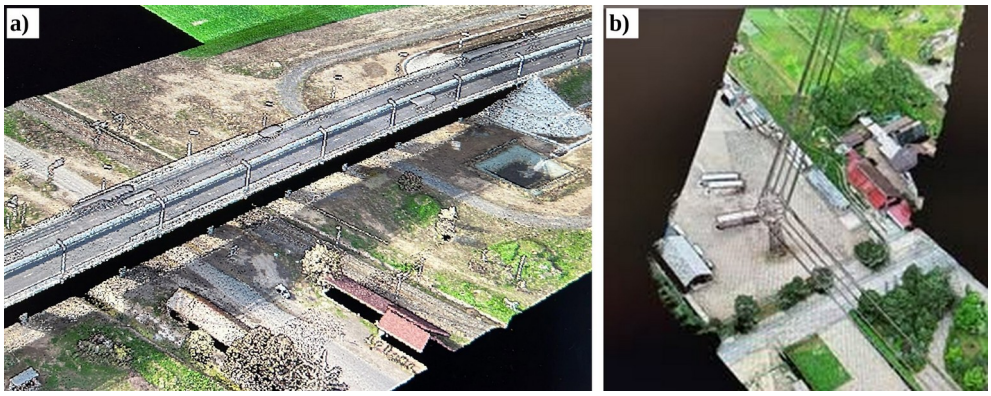


Figura 3. Nor de puncte LiDAR colorat RGB din coridorul studiat: a) pasaj rutier peste calea ferată; b) zonă cu linie electrică aeriană de înaltă tensiune

Cele 100 de comparaţii pe 71 de ţinte din procesul-verbal (multe ţinte fiind verificate în două blocuri vecine) au fost reanalizate de autor aplicând relația (3) pe fiecare componentă (Tabelul 3, Figurile 2b, c).

Tabelul 3. Precizia norilor de puncte verificată pe ținte de control

Indicator	Toate comparaţiile (n = 100)	Fără erori grosolane (n = 97)
$RMSE_X$ (nord) [cm]	4,6	2,6
$RMSE_Y$ (est) [cm]	5,0	2,3
$RMSE_Z$ [cm]	4,2	3,8
Media Δz [cm]	−0,6	−0,8
$\|\Delta z\| \leq 5$ cm / ≤ 10 cm	87% / 98%	88% / 99%

6.4. Discuţii

Precizia altimetrică de circa 4 cm pe un coridor de 170 km ar corespunde unei clase de precizie verticală de 5 cm în sensul ASPRS [8], suficientă pentru planuri 1:1 000, terasamente şi profilul longitudinal în fazele SF şi DTAC. Precizia planimetrică, de circa 4 cm, depinde de distanța dintre puncte și de identificarea detaliilor, astfel încât elementele critice (limite de proprietate, construcţii, rețele) trebuie verificate clasic.

Față de ridicarea clasică punct cu punct, metoda a asigurat acoperirea continuă a culoarului cu un volum mult redus de lucru pe teren și fără reveniri pentru profile sau cantităţi suplimentare. Dificultăţile au ținut de volumul de date, de formatele proprietare ale producătorului și de transformarea în sistemul național, rezolvată prin scripturi proprii verificate cu TransDatRO.

7. CONCLUZII

Scanarea LiDAR a devenit o tehnologie matură, care furnizează date tridimensionale complete, precise și obiective pentru proiectarea drumurilor, pasajelor, podurilor și căilor ferate. Platforma se alege după scopul proiectului: aeriană și UAV pentru coridoare și trasee noi, mobilă pentru drumuri și căi ferate existente, terestră statică pentru structuri și detalii.

Valoarea datelor depinde de controlul calității: georeferențierea pe puncte de control, verificarea pe puncte independente și documentarea în metadate sunt obligatorii pentru ca norul de puncte să devină bază de proiectare. Integrarea în fluxul BIM permite calculul exact al cantităților, verificarea gabaritelor și detectarea conflictelor încă din proiectare.

Studiul de caz – coridorul de circa 170 km al drumului expres TransRegio Brăila – Slobozia – Drajna – Călărași – a arătat că scanarea LiDAR de pe UAV furnizează rapid planuri 1:1 000 și MDT recepționate de CNC, cu RMSE de circa

4 cm pe verticală și 4 cm în plan, și că raportul de calitate trebuie să trateze separat componentele și erorile grosolane.

În opinia autorului, generalizarea acestei tehnologii în practica românească necesită elaborarea unor prescripții tehnice naționale privind cerințele minime de precizie, densitate și livrare a datelor LiDAR pentru proiectele de infrastructură de transport, precum și includerea acestor competențe în formarea inginerilor de drumuri, poduri și căi ferate.

BIBLIOGRAFIE

[1]. Q. WANG, M.-K. KIM: *"Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018", Advanced Engineering Informatics*, vol. 39, pp. 306–319, **2019**.

[2]. K. WILLIAMS, M.J. OLSEN, G.V. ROE, C. GLENNIE: *"Synthesis of transportation applications of mobile LiDAR", Remote Sensing*, vol. 5(9), pp. 4652–4692, **2013**.

[3]. M.J. OLSEN, G.V. ROE, C. GLENNIE Ș.A.: *"Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications", NCHRP Report 748, Transportation Research Board, Washington D.C., **2013**.*

[4]. M. SOILÁN, A. SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, P. DEL RÍO-BARRAL, C. PEREZ-COLLAZO, P. ARIAS, B. RIVEIRO: *"Review of laser scanning technologies and their applications for road and railway infrastructure monitoring", Infrastructures*, vol. 4(4), art. 58, **2019**.

[5]. G. VOSSELMAN, H.-G. MAAS (ED.): *"Airborne and Terrestrial Laser Scanning", Whittles Publishing, Dunbeath, **2010**.*

[6]. J. SHAN, C.K. TOTH (ED.): *"Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing", ediția a 2-a*, CRC Press, Boca Raton, **2018**.

[7]. I. PUENTE, H. GONZÁLEZ-JORGE, J. MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, P. ARIAS: *"Review of mobile mapping and surveying technologies", Measurement*, vol. 46(7), pp. 2127–2145, **2013**.

[8]. ASPRS: *"ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data", Edition 2, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, **2023**.*

[9]. SR ISO 17123-9: *"Optică și instrumente optice. Proceduri de teren pentru testarea instrumentelor geodezice și topografice. Partea 9: Scanere laser terestre", ASRO, București (adoptare ISO 17123-9:**2018**).*

[10]. ASPRS: *"LAS Specification 1.4 – R15", American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, **2019**.*

[11]. H. GUAN, J. LI, S. CAO, Y. YU: *"Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review", International Journal of Image and Data Fusion*, vol. 7(3), pp. 219–242, **2016**.

[12]. L. MA, Y. LI, J. LI, C. WANG, R. WANG, M.A. CHAPMAN: *"Mobile laser scanned point-clouds for road object detection and extraction: a review", Remote Sensing*, vol. 10(10), art. 1531, **2018**.

[13]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR: *"Norme tehnice privind proiectarea, construirea și modernizarea drumurilor", aprobate prin Ordinul nr. 1296/**2017**, Monitorul Oficial al României, București.*

[14]. B. RIVEIRO, M.J. DEJONG, B. CONDE: *"Automated processing of large point clouds for structural health monitoring of masonry arch bridges", Automation in Construction*, vol. 72, pp. 258–268, **2016**.

[15]. R. LU, I. BRILAKIS, C.R. MIDDLETON: *"Detection of structural components in point clouds of existing RC bridges", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 34(3), pp. 191–212, **2019**.

[16]. M. ARASTOUNIA: *"Automated recognition of railroad infrastructure in rural areas from LiDAR data", Remote Sensing*, vol. 7(11), pp. 14916–14938, **2015**.

[17]. S. OUDE ELBERINK, K. KHOSHELHAM: *"Automatic extraction of railroad centerlines from mobile laser scanning data", Remote Sensing*, vol. 7(5), pp. 5565–5583, **2015**.

[18]. SR EN 13848-1: *"Aplicații feroviare. Cale. Calitatea geometriei căii. Partea 1: Caracterizarea geometriei căii", ASRO, București, **2019**.*

[19]. SR EN ISO 19650-1: *"Organizarea și digitalizarea informațiilor despre clădiri și lucrări de construcții, inclusiv modelarea informațiilor despre construcții (BIM). Partea 1: Concepte și principii", ASRO, București, **2019**.*

[20]. A. PÂRVU, M. DOGARU, N. PFEIFER: *"Lidar initiatives at the National Center of Cartography Romania", LIDAR Magazine*, vol. 10(5), **2020**.

[21]. ANCPI: *"Regulamentul de avizare, recepție și înscriere în evidențele de cadastru și carte funciară", aprobat prin Ordinul directorului general al ANCPI nr. 600/**2023**, cu modificările și completările ulterioare, București.*

[22]. DJI: *"Zenmuse L1 – Specifications", SZ DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, **2020**.*

[23]. ANCPI – CENTRUL NAȚIONAL DE CARTOGRAFIE: *"Proces-verbal de recepție nr. 88/24.12.2024 privind lucrarea de specialitate Studiul de fezabilitate și documentația tehnică pentru obținerea autorizației de construire pentru obiectivul de investiții TransRegio Brăila – Slobozia – Drajna – A2 și Chiciu – Drajna", București, **2024**.*

TEHNICI IMPLEMENTATE DE ANALIZĂ A SEMNALIZĂRII RUTIERE LA NIVEL NAȚIONAL

Florea Andreea – Livia, doctor chimist, CESTRIN - Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail:office@cestrin.ro
Turburică Marius – Nicușor, economist, CESTRIN - Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail:office@cestrin.ro

Rezumat

Marcajele rutiere și semnele de circulație sunt o parte integrantă din infrastructura rutieră și reprezintă elemente de siguranță rutieră importantă a căror prezență poate influența în mod pozitiv sau negativ, utilizatorii drumurilor și să sporească sau nu siguranța rutieră generală în funcție de starea în care se regăsesc acestea mai ales în condițiile de vizibilitate redusă. Pentru ca marcajul rutier și semnele de trafic să fie percepute în astfel de condiții, acestea trebuie să fie retroreflectorizante. Retroreflecția reprezintă capacitatea unui obiect de a reflecta lumina înapoi către o sursă de lumină de-a lungul aceleiași axe de la care pornește [1]. Prin urmare, pentru a asigura în mod adecvat nivelurile de reflectivitate, atât marcajele rutiere, cât și indicatoarele de circulație ar trebui verificate periodic, cu instrumente de măsurare certificate metrologic. Această lucrare își propune să scoată în evidență metodele prin care se analizează variația parametrilor de calitate asupra foliilor retroreflectorizante aplicate pe fața indicatoarelor rutiere prin măsurarea coeficientului de retroreflexie RA. Pentru marcajele rutiere longitudinale parametrul utilizat pentru decelarea calității acestora este coeficientul de luminanță retroreflectată RL, determinat în mod continuu. În cadrul acestui studiu a fost abordată interpretarea rezultatelor obținute și în funcție de influența condițiilor meteorologice și de trafic asupra semnalizării rutiere.

Cuvinte cheie: siguranța circulației, marcaje rutiere, indicatoarele fixe pentru semnalizare verticală, retroreflexie, degradare

Abstract

Road markings and traffic signs constitute an integral part of road infrastructure and represent essential road safety elements. Their condition can significantly influence road users, either enhancing or compromising overall road safety. Consequently, maintaining their performance and visibility is of paramount importance. The role of road markings and traffic signs becomes particularly critical under conditions of reduced visibility. To ensure their effective perception by drivers in such circumstances, these devices must exhibit retroreflective properties. Retroreflection is defined as the ability of a surface or material to return incident

light toward its source along substantially the same optical path [1]. In order to ensure adequate reflectivity levels throughout their service life, both road markings and traffic signs should be periodically inspected using metrologically certified measurement instruments. This study aims to highlight the methods employed for assessing variations in the quality parameters of retroreflective sheeting applied to traffic sign faces through the measurement of the coefficient of retroreflection (RA). For longitudinal road markings, the quality parameter commonly used is the coefficient of retroreflected luminance (RL), which is determined through continuous measurements. Furthermore, this research examines and interprets the obtained results with respect to the influence of meteorological conditions and traffic-related factors on the performance of road traffic signage and markings.

Keywords: road safety, road markings, fixed vertical traffic signs, retroreflection, degradation.

1. INTRODUCERE

Pentru asigurarea vizibilității și a siguranței rutiere, marcajele și indicatoarele rutiere trebuie verificate periodic prin inspecții vizuale și măsurători specifice, conform standardelor SR EN 1436 și SR EN 12899-1. Dintre acestea, cele mai importante sunt testele privind retroreflexia, deoarece vizibilitatea redusă a marcajelor și indicatoarelor reprezintă un factor semnificativ în producerea accidentelor rutiere. Studiul se bazează pe măsurători realizate în perioada 2021 - 2023, în șase etape, pe 26 de tronsoane din cadrul a șapte drumuri naționale (1.448 km) și pe monitorizarea a peste 12.000 de indicatoare rutiere la fiecare etapă. Rezultatele obținute oferă informații relevante pentru evaluarea performanței semnalizării rutiere și pentru fundamentarea deciziilor privind îmbunătățirea siguranței rutiere.

2. METODOLOGIE

Evaluarea periodică a calității semnalizării rutiere se realizează conform cerințelor normative în vigoare, prin determinarea coeficientului de retroreflexie RA pentru indicatoarele rutiere și a coeficientului de luminanță retroreflectată RL pentru marcajele rutiere.

2.1. Procedeul de măsurare a indicatoarelor rutiere

Evaluarea retroreflexiei indicatoarelor rutiere, conform SR EN 12899-1, s-a realizat cu retroreflectometrul mobil ZRS 6060, la un unghi de iluminare de +5° şi unghiuri de observare de 0,2°, 0,33° şi 2°. Echipamentul permite identificarea automată a culorilor și georeferențierea bazată pe GPS, valorile coeficientului de retroreflexie (RA) fiind prelucrate cu ajutorul software-ului dedicat.

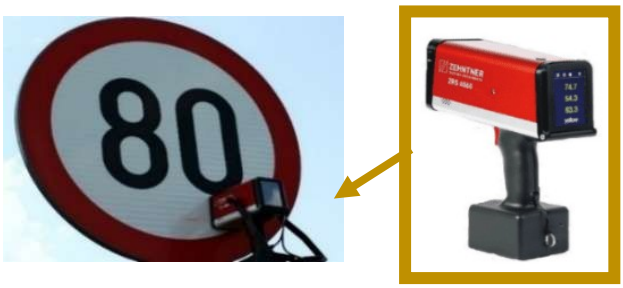


Figura 1. Retroreflectometru ZRS 6060

2.2. Procedeul de măsurare a marcajelor rutiere

Evaluarea calității marcajelor rutiere se realizează prin determinarea coeficientului de luminanță retroreflectată RL, exprimat în $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$, ce caracterizează vizibilitatea nocturnă. Măsurătorile se efectuează continuu, pe marcaje curate și uscate, utilizând retroreflectometrul mobil ECODYN 3, montat pe autovehicul permițând determinarea continuă a retroreflexiei pe distanțe mari, fără restricționarea traficului. Determinările respectă prevederile SR EN 1436, rezultatele permițând evaluarea și monitorizarea performanței marcajelor în timp, fundamentând planificarea intervențiilor de întreținere și înlocuire, în vederea optimizării costurilor și creșterii siguranței rutiere.



Figura 2. Echipament ECODYN 3

2.3. Parametrii climatici şi factori luaţi în considerare în analiza semnalizării rutiere

Performanța și durabilitatea marcajelor rutiere sunt influențate de condițiile de aplicare și de factorii climatici din zonele de exploatare care la nivelul României prezintă particularități luate în considerare pe tot procesul de interpretare a rezultatelor. Aceste particularități sunt considerate de referință după cum urmează:

- temperaturi medii anuale de aproximativ 10 - 11°C în sud și 8,5 - 9°C în nord, cu o scădere de circa 6°C la fiecare 1.000 m altitudine;

- precipitațiile medii anuale de aproximativ 637 mm, variind între 400–600 mm în zonele de câmpie și peste 1.000 - 1.200 mm în regiunile montane. Numărul anual al zilelor cu precipitații variază de la sub 100 în zonele estice de câmpie la peste 190 în regiunile montane, evidențiind diferențe semnificative ale condițiilor de exploatare [2];

- radiația solară orizontală anuală [Kwh/m^2] cuprinsă între 970 și 1461 valori corelate geografic cu valorile înregistrate pentru temperatura medie anuală.

Distribuția spațială a temperaturilor, precipitațiilor și a radiației solare orizontale, corelată cu amplasarea tronsoanelor investigate, este prezentată în figurile 3 - 8, pe baza datelor Administrației Naționale de Meteorologie [3], oferind suport pentru analiza influenței factorilor climatici asupra degradării și performanței semnalizării rutiere.

Expunerea la radiația solară reprezintă un alt factor care influențează durabilitatea marcajelor rutiere, distribuția spațială a acesteia la nivelul României fiind ilustrată în figura 9.

Intensitatea traficului rutier reprezintă un factor semnificativ în accelerarea degradării marcajelor, fiind evaluată pe baza volumului mediu zilnic de vehicule aferent drumurilor naționale investigate. Analiza utilizează datele corespunzătoare anului 2022, considerat reprezentativ pentru perioada 2021–2023. Sinteza factorilor analizați este prezentată în Tabelul 1. [4]

Tabelul 1. Prezentarea factorilor implicați

Simbolizare	Temperatura medie anuală [°C]	Cantitatea anuala de precipitații [mm] [l/m^2]	Traficul mediu zilnic de autovehicule	Iradierea solară orizontală anuală [Kwh/m^2]
	T	***P***	***TR***	***S***
5	**>14**	**>2000**	**>20000**	**1388 - 1461**
4	**10,1-14**	**1201-2000**	**15001- 20000**	**1315 1387**
3	**6,1-10**	**801-1200**	**10001- 15000**	**1242 1314**
2	**0,1-6**	**401-800**	**5001- 10000**	**1169 1241**
1	**<= 0**	**<=400**	**<5000**	**970 – 1168**



Figura 3. Temperatura medie anuală - 2021

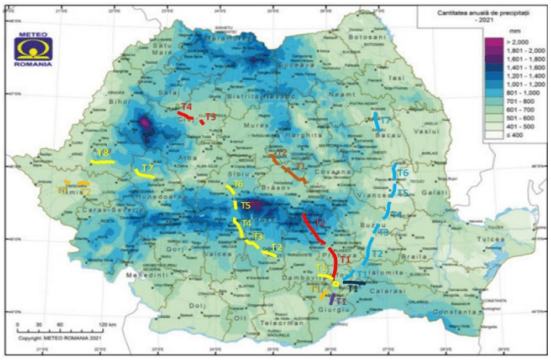


Figura 4. Cantitatea anuală de precipitații - 2021

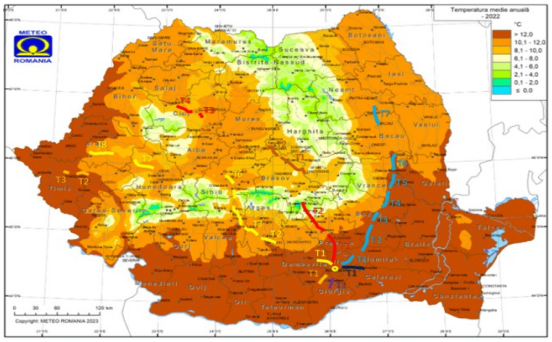


Figura 5. Temperatura medie anuală - 2022

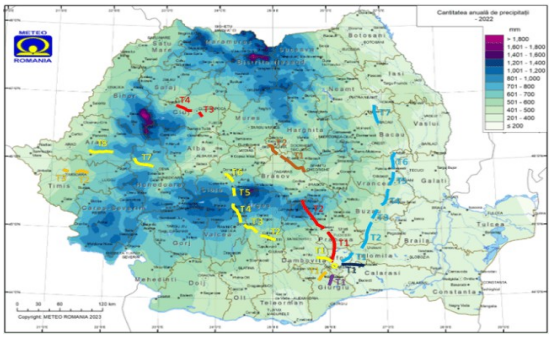


Figura 6. Cantitatea anuală de precipitații - 2022

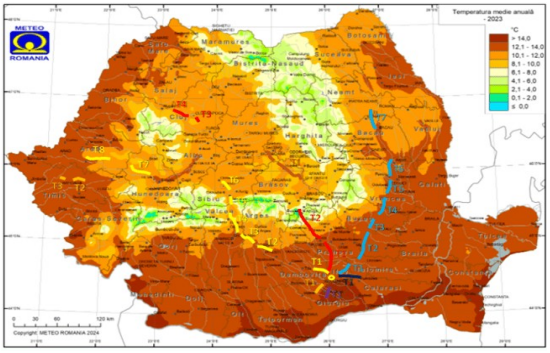


Figura 7. Temperatura medie anuală - 2023

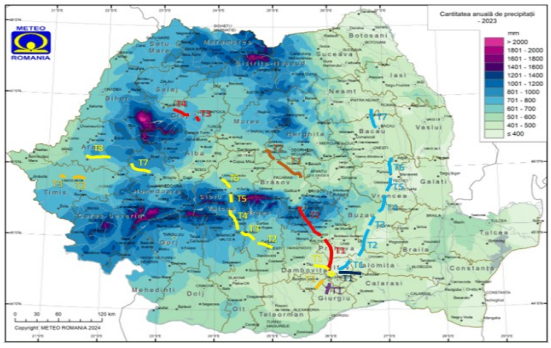


Figura 8. Cantitatea anuală de precipitații - 2023

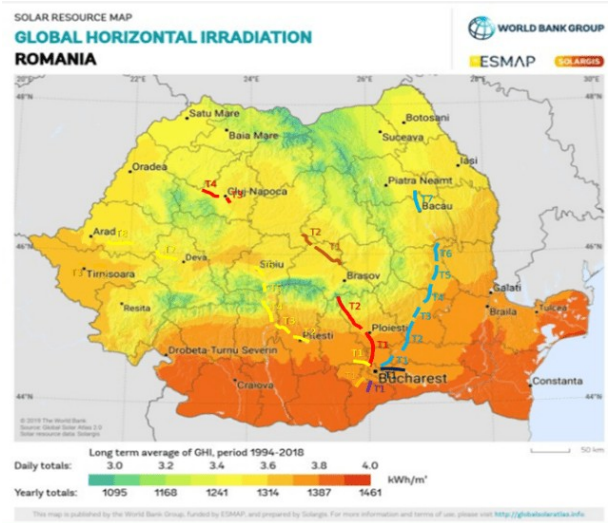


Figura 9. Media expunerii multianuale la iradierea solară - 1994-2018 [5]

3. REZULTATE OBȚINUTE

3.1. Semnalizare rutieră verticală

În urma măsurătorilor, s-a obținut o distribuție a numărului mediu de indicatoare rutiere pe kilometru, variind între 4 și 12 conform figurii 10. Media generală pentru toate drumurile naționale investigate, pe parcursul celor 6 etape, este de 9 indicatoare/km.

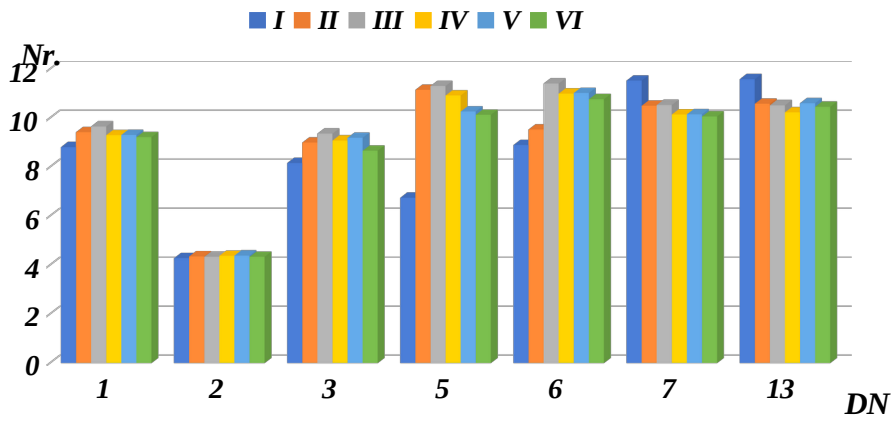


Figura 10. Indicatoare/km în fiecare etapă

Încadrarea procentuală a indicatoarelor pe categorii, pentru toate drumurile naționale măsurate, este prezentată în figura 11.

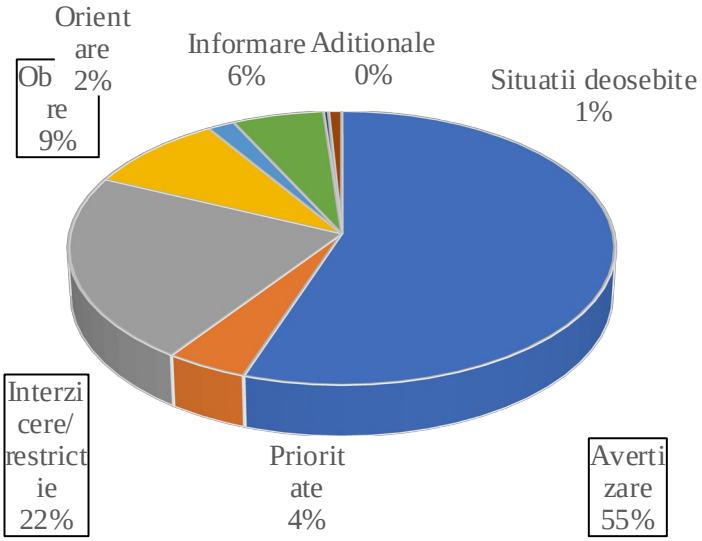


Figura 11. Repartizarea procentuală medie a indicatoarelor pe categorii reunite pe toate DN-urile măsurate

Distribuția acestora diferă semnificativ de la un drum la altul, în funcție de factori precum volumul de trafic, limitele de viteză, riscurile potențiale şi nevoile specifice ale comunității. De asemenea, studiile tehnice şi evaluările de trafic au un rol esențial în stabilirea semnalizării rutiere adecvate fiecărei zone.

Din punct de vedere al stării fizice, indicatoarele au fost încadrate în zece categorii de defecte: îndoit, zgâriat, vandalizat, decolorat, ruginit, crăpat, murdar, aflat în zonă fără vizibilitate, exfoliat şi fixare instabilă. Procentele medii corespunzătoare fiecărei categorii, pentru toate drumurile analizate, sunt prezentate în figura 12 şi au fost calculate ca medie aritmetică a tronsoanelor investigate, fără ponderare în funcție de lungimea acestora. Datele provin din evaluarea a 74.393 de indicatoare rutiere, în cele şase etape de măsurare.

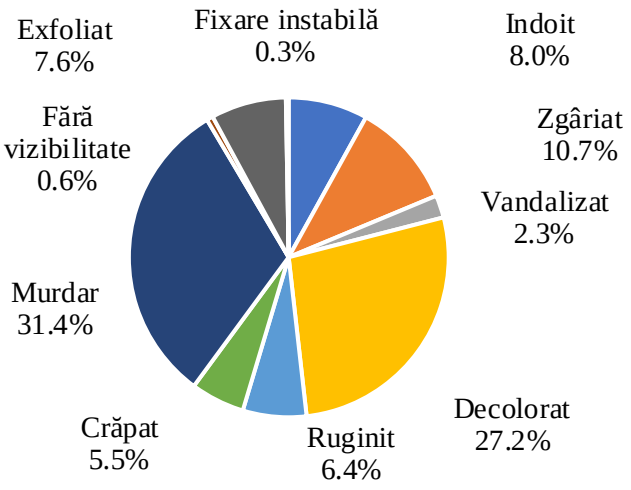


Figura 12. % încadrare pe tipuri de defecte toate DN vizualizate

Numeroşi factori pot genera sau accelera apariția defectelor la indicatoarele rutiere, precum intemperiile, îmbătrânirea materialelor, vandalismul, accidentele, vegetația, acțiunea traficului, agenții poluanți din aer, precum şi condițiile de amplasare (altitudinea drumului şi înălțimea semnului față de carosabil).

Un aspect important al calității indicatoarelor îl reprezintă evoluția în timp a coeficientului de retroreflexie RA. Comparând valorile măsurate în etapa 1 şi etapa 6, la un interval de trei ani, se observă că acesta se menține, în majoritatea cazurilor, în aceeaşi clasă, conform figurii 13.

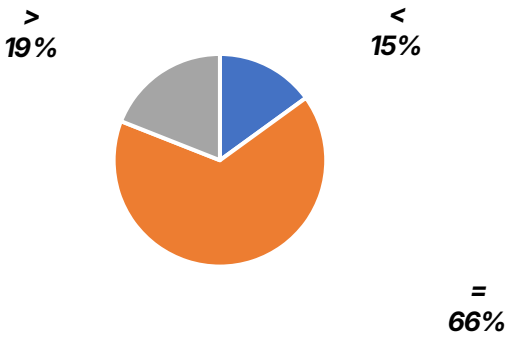


Figura 13. Variația coeficientului "RA", cumulat pe toate tronsoanele măsurate etapa 6 față de etapa 1

O altă analiză a rezultatelor măsurătorilor asupra indicatoarelor rutiere verticale vizează influența factorilor climatici. Pe hărțile prezentate anterior este evidențiată dispunerea tronsoanelor în funcție de orientarea geografică și de categoriile climatice.

Fenomenele meteorologice precum ploaia, burnița, ceața, roua și bruma pot reduce vizibilitatea temporară a semnelor rutiere prin modificarea refracției și împrăștierea luminii. De asemenea, se presupune existența unei corelații între valorile scăzute ale coeficientului RA și intensitatea iradierii solare.

Analiza pe tronsoane nu permite formularea unor concluzii ferme, întrucât rezultatele nu sunt întotdeauna concludente. Din acest motiv, o abordare mai relevantă constă în analiza mediilor aritmetice pe grupe de iradiere, la nivelul tronsoanelor din aceeași categorie geografică. Rezultatele, prezentate în figura 14, indică o posibilă legătură între intensitatea radiației solare și scăderea coeficientului de retroreflexie RA.

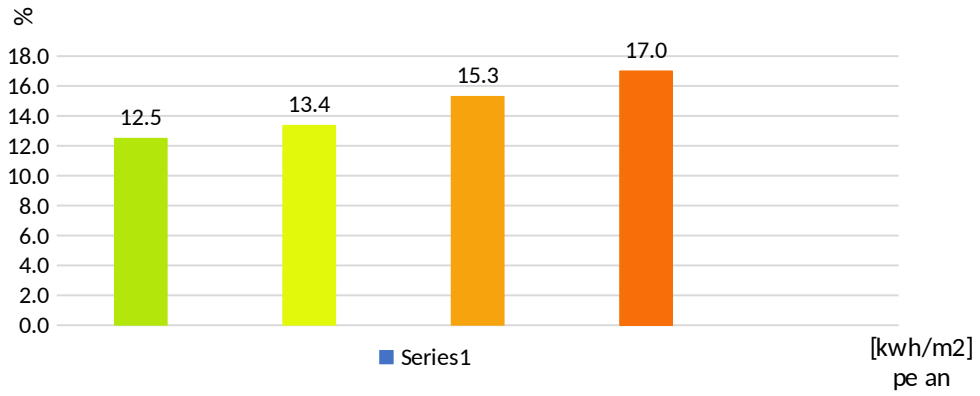


Figura 14. % de scădere a valorilor RA, în funcție de iradierea solară orizontală

3.2. Marcaje rutiere orizontale

Măsurarea coeficientului de luminanţă retroreflectată RL al marcajelor rutiere orizontale s-a desfăşurat pe o perioadă a trei ani, cu o frecvență de două campanii pe an. Au fost măsurate mai multe tipuri de marcaje respectiv MDPC (delimitare parte carosabilă), MDBAS (delimitare benzi același sens) și AX (delimitare sensuri de mers).

În continuare este prezentată sinteza globală a datelor obținute, reprezentând media coeficientului RL pentru cele șase etape de măsurare la nivelul drumurilor naționale investigate.

Din figura 15 se observă predominanţa culorii roşii, ceea ce indică faptul că media valorilor RL pentru cei 1.448 km analizați se încadrează preponderent în cea mai joasă clasă (0 - 100 mcd/m²·lx), cu o pondere medie de 64% la nivelul tuturor drumurilor naționale.

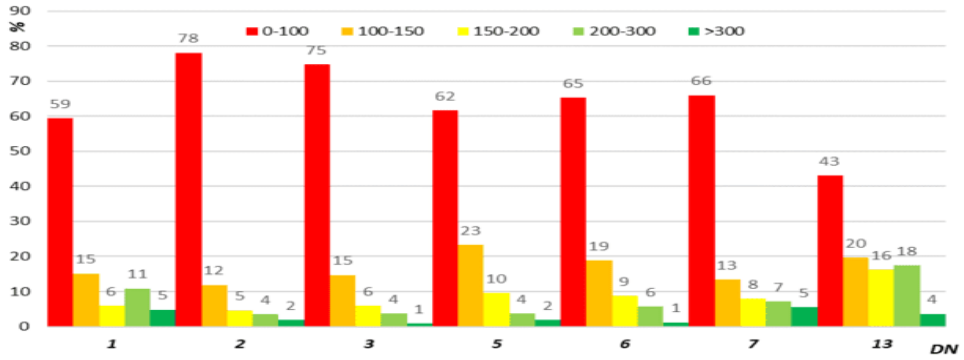


Figura 15. Dispunerea procentuală RL, în fiecare din cele cinci grupe, pe fiecare DN, ca medie pe toate cele VI etape

În continuare este analizată, pe baza datelor din teren, posibila corelaţie dintre rata de degradare a marcajelor rutiere şi anumiţi factori de mediu, de trafic şi de timp.

3.2.1. Distribuţia RL şi a % cu care s-a modificat acesta luând în considerare numai influenţa timpului trecut de la prima măsurare şi până la ultima

După cum se observă în figura 16, rata de degradare pe zi variază semnificativ între tronsoane şi drumuri, ceea ce indică influenţa mai multor factori asupra acesteia. Printre aceştia se numără tipul şi calitatea materialului aplicat, condiţiile de execuţie, volumul de trafic, condiţiile meteorologice şi acţiunea utilajelor de deszăpezire.

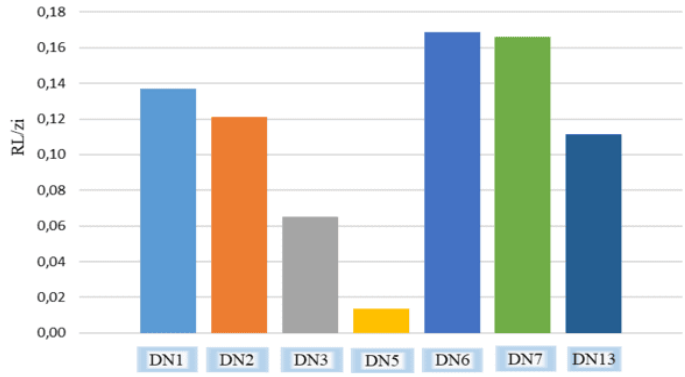


Figura 16. Media degradării zilnice a RL, pe fiecare DN

3.2.2. Distribuţia degradării coeficientului RL, luând în considerare numai influenţa precipitaţiilor

Se poate realiza o analiză privind influenţa cantităţii anuale de precipitaţii asupra degradării în timp a coeficientului RL.

Încadrarea în grupele de precipitaţii a tronsoanelor măsurate se poate urmări în tabelul 2.

Tabelul 2. Încadrarea tronsoanelor măsurate în grupele de precipitaţii

DN	Tronson	Nr. zile	% variatie	Valoare RL scadere	Medie scadere RL/zi	Grupa precipitatii [l/m^2/an]	Medie RL/zi Grupa 1
1	1	760	10	13	0,02	<=400	0,07
2	1	910	14	12	0,01		
	2	777	25	24	0,03		
3	1	364	23	20	0,05		

7	4	423	25	61	0,14		
	7	510	49	68	0,13		
DN	Tronson	Nr. zile	% variatie	Valoare RL scadere	Medie scadere RL/zi	Grupa precipitatii [l/m^2/an]	Medie RL/zi Grupa 2
1	3	350	47	60	0,17	401 - 800	0,15
	4	235	73	45	0,19		
2	3	910	28	21	0,02		
	4	583	19	14	0,02		
	5	775	89	69	0,09		
	6	243	86	54	0,22		
	7	243	165	108	0,44		
5	1	349	2	2	0,01		
6	1	927	11	9	0,01		
	2	473	20	109	0,23		
	3	927	57	90	0,10		
7	1	933	0	0	0,00		
	2	755	83	270	0,36		
	3	933	70	190	0,20		
	5	423	118	124	0,29		
	6	778	190	153	0,20		
	7	933	0	0	0,00		
13	1	332	66	53	0,16		
	2	332	25	21	0,06		
DN	Tronson	Nr. zile	% variatie	Valoare RL scadere	Medie scadere RL/zi	Grupa precipitatii [l/m^2/an]	Medie RL/zi Grupa 3
1	2	235	54	57	0,24	801 - 1200	0,24

După cum se observă, diferențele minim - maxim ale scăderii zilnice a coeficientului RL nu sunt uniforme între grupele de precipitații, fiind de 0,14 pentru grupa 1 și 0,36 pentru grupa 2. Din acest motiv, s-a reprezentat media fiecărei grupe, conform figurii 17.

Rezultatele sugerează că precipitațiile pot influența degradarea marcajelor, însă acest efect este probabil asociat și cu acțiunea indirectă a proceselor de îndepărtare a zăpezii și gheții în zonele cu precipitații mai ridicate.

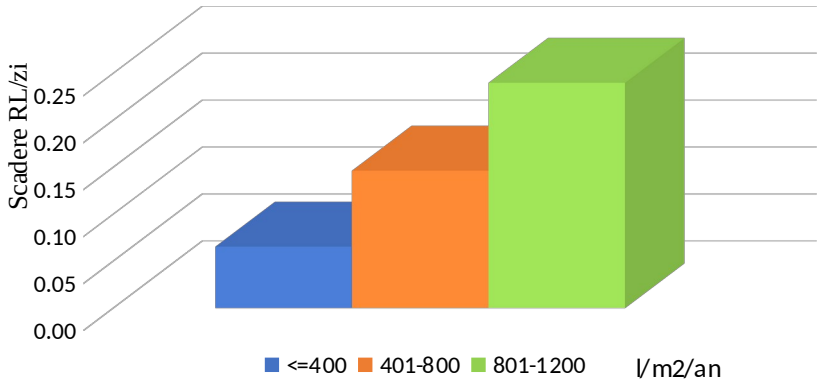


Figura 17. Media degradării zilnice a RL, în funcție de încadrarea în grupa de precipitații

3.2.3. Distribuția degradării coeficientului RL, luând în considerare numai media zilnică anuală a traficului de autovehicule

Din analizele anterioare s-a observat că valoarea coeficientului RL scade în timp, fiind influențată de mai mulți factori cumulativi. În continuare s-a urmărit influența traficului asupra marcajelor longitudinale, luându-se în considerare doar marcajele MDBAS (delimitare benzi același sens) și AX (delimitare sensuri de circulație), considerate cele mai expuse la uzură prin călcarea repetată de către roți. Distribuția rezultatelor este eterogenă, similar analizelor privind timpul și precipitațiile, ceea ce confirmă acțiunea simultană a mai multor factori asupra durabilității marcajelor. Diferențele minim - maxim ale scăderii RL în funcție de trafic sunt de 0,22 pentru 5.001 - 10.000 vehicule/zi, 0,25 pentru 10.001 - 15.000 vehicule/zi și 0,56 pentru 15.001 - 20.000 vehicule/zi. Pentru o interpretare mai clară, a fost calculată media pe fiecare grupă, rezultatele fiind prezentate în figura 18.

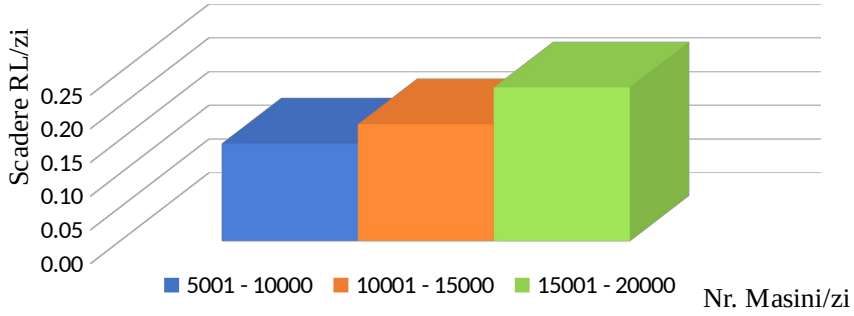


Figura 18. Modificarea RL/zi pentru MDBAS și AX în funcție de trafic

3.2.4. Distribuţia degradării coeficientului RL, luând în considerare numai iradierea solară anuală orizontală

Metodologia aplicată este similară cu cea folosită şi pentru ceilalţi factori de influenţă.

Degradarea marcajelor rutiere poate fi corelată cu gradul de expunere şi intensitatea radiaţiei solare, încadrarea tronsoanelor investigate pe categorii de iradiere fiind prezentată în Tabelul 3.

Tabelul 3. Simbolizarea grupelor de iradiere solară

Grupa	Iradierea solară anuală orizontală [Kwh/m^2/an]
5	1388 - 1461
4	1315 1387
3	1242 1314
2	1169 1241
1	970 – 1168

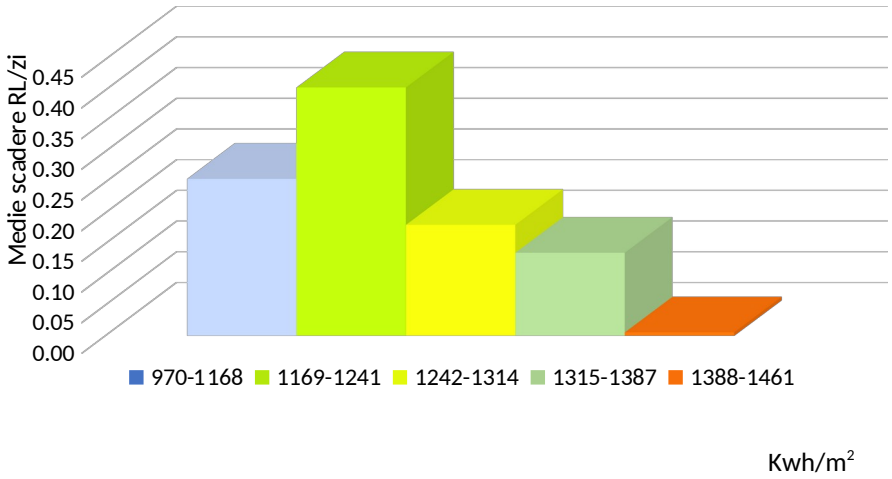


Figura 19. Media variaţiei RL, pe fiecare zi, în funcţie de grupa de iradiere solară

Analiza nu confirmă ipoteza iniţială, evidenţiind o tendinţă inversă între intensitatea radiaţiei solare şi degradarea coeficientului RL (Figura 19), posibil determinată de influenţa unor factori locali neinvestigaţi.

4. CONCLUZII

În ceea ce privește coeficientul de retroreflexie RA al indicatoarelor rutiere verticale, pot fi formulate următoarele concluzii:

- în aproximativ 66% din cazuri, valorile RA s-au menținut în aceeași clasă pe parcursul celor trei ani de monitorizare;
- cele mai ridicate procente de defecte au fost înregistrate pentru indicatoarele murdare (72%), decolorate (61%), ruginite (43%), crăpate (40%) și zgâriate (39%);
- scăderea valorilor RA între etapa 1 și etapa 6 a fost distribuită pe culori astfel: alb - 47%, roșu - 32%, galben - 13% și albastru - 8%;
- degradarea coeficientului RA este influențată de intensitatea radiației solare și de orientarea indicatorului față de punctele cardinale.

În ceea ce privește coeficientul de luminanță retroreflectată RL al marcajelor rutiere, pot fi formulate următoarele concluzii:

- pe tronsoanele analizate, ponderea valorilor RL cuprinse între 0 și 100 mcd/m²·lx variază între 25% și 97% din lungimea fiecărui tronson;
- media acestei ponderi pentru cele șapte drumuri naționale este cuprinsă între 43% și 78%, iar media generală este de 64%.

Analiza influenței factorilor externi asupra valorilor RL evidențiază că:

- evoluția în timp indică o degradare a marcajelor, însă nu a putut fi stabilită o relație matematică clară între durata de exploatare și scăderea coeficientului RL;
- degradarea marcajelor este mai accentuată în zonele cu un volum mai mare de precipitații;
- intensitatea traficului contribuie la reducerea valorilor RL, în special în cazul marcajelor longitudinale expuse contactului repetat cu pneurile vehiculelor;
- rezultatele obținute nu confirmă o relație directă între radiația solară și degradarea coeficientului RL. Este posibil ca valorile măsurate să fie influențate și de condițiile de expunere existente la momentul efectuării măsurătorilor, ipoteză care necesită investigații suplimentare.

Pentru viitor ca să putem interpreta cu mai multă acuratețe datele culese pe teren trebuie adăugate și indicații cu privire la covorul asfaltic, tipul de material utilizat pentru marcare, condițiile meteo din momentul aplicării, data marcării, etc.

BIBLIOGRAFIE

[1]. C. DEBAILLON and P. CARLSON (TTI) Y. HE, T. SCHNELL and F. AKTAN (OPL), *“Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs”*, Operator Performance Laboratory Center for Computer Aided Design the University of Iowa, september **2007**

[2]. C. DRAGOTĂ, et al. Clima României. București: Editura Academiei Române; **2008**

[3]. https://www.meteoromania.ro/despre-noi/raport-anual

[4]. www.wall-street.ro/articol/Social/297304/infografice-interactive-drumurile-nationale-in-**2022**-care-au-fost-cele-mai-circulate-si-ce-vehicule-au-mers-pe-ele.html#gref

[5]. www.globalsolaratlas.info/download/romania

CONSIDERAȚII PRIVIND VIBRAȚIILE CUPLATE LONGITUDINALE ȘI TORSIONALE ALE UNEI OSII MOTOARE DE LOCOMOTIVĂ ELECTRICĂ ÎN REGIM NOMINAL DE TRACȚIUNE

Gheți Marius-Alin, Șef lucr.dr.ing., Departamentul Material Rulant de Cale Ferată, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, e-mail: marius_alin.gheti@upb.ro
Mazilu Traian, Prof.univ.dr.ing., Departamentul Material Rulant de Cale Ferată, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, e-mail: traian.mazilu@upb.ro

Rezumat

Această lucrare investighează vibrațiile auto-excitate longitudinale și torsionale care apar într-o osie motoare ce operează în apropierea limitei de aderență, sub condițiile regimului nominal de tracțiune al unei locomotive electrice. Se dezvoltă un model electromecanic al sistemului motor-osie care integrează caracteristica mecanică neliniară a motorului de tracțiune asincron, legea de frecare roată-șină Polach, mișcarea de translație longitudinală (recul) a osiei motoare și primele două moduri elastice de torsiune ale acesteia. Modelul analizează regimul nominal de tracțiune, definit pe caracteristica de tracțiune la intersecția ramurii limitate de aderență cu cea de putere constantă. Rezultatele demonstrează că prin cuplajul electromecanic dintre alunecarea electrică și pseudoalunecarea roată-șină, motorul este împiedicat să livreze cuplul nominal la viteza nominală, performanța depinzând critic de starea șinei (uscată/udă). Analiza de stabilitate neliniară evidențiază o structură de stabilitate multiplă indusă de o bifurcație Hopf, unde un ciclu limită instabil separă două cicluri limită stabile – unul dominat de mișcarea de recul și celălalt de vibrația de torsiune. Aceste regimuri periodice produc amplitudini mari de oscilație și reduc forța medie de tracțiune și cuplul motor mediu, afectând performanța globală a locomotivei.

Cuvinte cheie: osie motoare, regim nominal de tracțiune, reculul osiei, vibrația de torsiune, limita de aderență, ciclu limită

Abstract

This paper investigates the self-excited longitudinal and torsional vibrations that arise in a driven wheelset operating near the adhesion limit under the nominal traction conditions of an electric locomotive. An electromechanical model of the motor–axle system is developed, integrating the nonlinear mechanical characteristic of the asynchronous traction motor, the Polach wheel–rail friction law, the longitudinal translation (rebound) motion of the driven

wheelset, and its first two elastic torsional modes. The model analyses the nominal traction regime, defined on the tractive effort characteristic by the intersection of the adhesion-limited branch and the constant-power curve. The results demonstrate that due to the electromechanical coupling between electrical slip and wheel–rail creepage, the motor is prevented from delivering its rated torque at the nominal speed, with performance depending critically on the rail condition (dry or wet). The nonlinear stability analysis highlights a multi-stability structure induced by a Hopf bifurcation, where an intermediate unstable limit cycle separates two stable limit cycles—one dominated by the rebound motion and the other by the torsional vibration. These periodic regimes produce large oscillation amplitudes and reduce both the mean traction force and the mean motor torque, thereby affecting the overall tractive performance of the locomotive.

Keywords: driven wheelset, nominal traction regime, wheelset rebound, axle torsion, adhesion limit, limit cycle

1. INTRODUCERE

Creşterea continuă a vitezelor de circulaţie şi a capacităţilor de remorcare în transportul feroviar modern impune utilizarea unor locomotive capabile să dezvolte forţe de tracţiune extrem de mari. Transmiterea şi utilizarea eficientă a forţei de tracţiune sunt tributare fenomenelor fizice complexe care au loc în pata de contact dintre roţi şi şine, în condiţiile în care forţa de tracţiune are o limită fizică maximă cunoscută sub numele de limita de aderenţă. Circulaţia osiei în apropierea punctului de saturaţie al curbei de forţă de tracţiune-viteză de alunecare este esenţială pentru maximizarea performanţelor, însă această regiune este în mod inevitabil instabilă. Când forţa solicitată depăşeşte limitae aderenţă d, apare fenomenul de patinare, care se soldează cu reducerea forţei utile şi declanşarea unor vibraţii auto-excitate de tip stick-slip.

Din punct de vedere istoric, cercetările s-au concentrat fie numai pe vibraţiile de torsiune ale transmisiei, fie numai pe cele longitudinale [1–6]. Totuşi, dinamica reală implică un cuplaj strâns: forţa tangenţială de aderenţă acţionează ca mecanismul principal de cuplare între dinamica motorului asincron şi oscilaţiile mecanice ale osiei. O zonă mai puţin investigată o reprezintă vibraţiile care se pot produce când locomotiva operează în regim nominal la limita de aderenţă.

Prezenta lucrare dezvoltă un model discret-continuu electromecanic ce simulează cuplajul dintre mişcarea de recul şi primele două moduri de torsiune asimetrice ale osiei motoare, oferind o imagine a regimului de vibraţii care se

produc când locomotiva operează în regim nominal de tracțiune la limita de aderență [7].

2. MODELUL MECANIC ȘI ECUAȚIILE DE MIȘCARE

Modelul mecanic al sistemului de transmisie unilaterală al locomotivei LEMA, rulând la viteză constantă *V*, este prezentat în Figura 1. Sistemul cuprinde: rotorul motorului de tracțiune (1), arborele elastic (2), pinionul (3), roata dințată mare (4), osia (5), roțile osiei (6) și cutiile de osie (7) ghidate prin elementele de tip Kelvin-Voigt ale sistemului de ghidare a osiei (9) atașate de cadrul boghiului (8) văzut ca o bază rigidă mobilă.

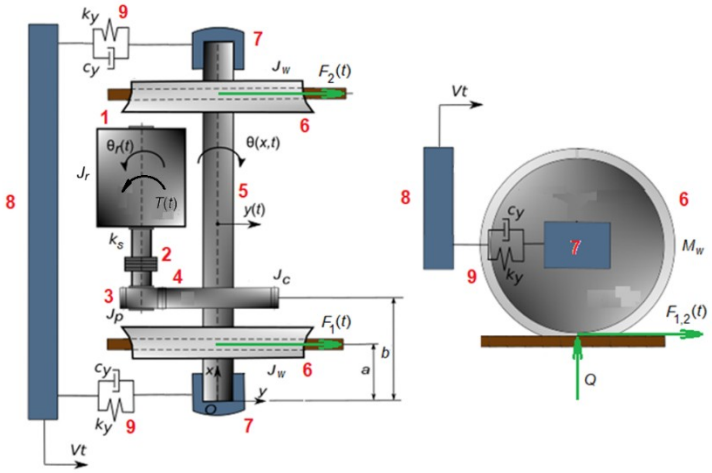


Figura 1. Modelul mecanic al sistemului de acționare al osiei: 1. rotor; 2. arbore elastic; 3. pinion; 4. coroană; 5. osie; 6. roată; 7. cutie de osie; 8. bază rigidă mobilă (cadrul de boghiu); 9. sistem de conducere a osiei.

Motorul de tracțiune este trifazat alimentat la tensiunea nominală U_1 la frecvența *f*. Acesta dezvoltă cuplul motor $T(t)$ care acționează asupra rotorului. De la rotor, cuplul motor este transmis la roți, unde alunecarea dintre roți și șine generează forțele de frecare $F_{1,2}(t)$.

Parametrii modelului sunt următorii: M_w este masa osiei montate; $m = S$ este masa liniară a osiei (masa pe unitatea de lungime), unde este densitatea materialului, iar *S* este aria secțiunii transversale; GI_p este rigiditatea la torsiune, unde *G* este modulul de forfecare (modulul de elasticitate transversal), iar I_p este momentul de inerție polar al secțiunii osiei; J_w, J_c, J_p, J_r sunt momentele de inerție masice ale roții, coroanei, pinionului și rotorului; k_s este rigiditatea arborelui elastic, inclusiv a cuplajului elastic; $2k_y$ și $2c_y$ sunt rigiditatea și amortizarea

vâscoasă ale sistemului de ghidare al osiei montate; R este raza roții; iar i_t este raportul de transmitere.

Pentru a izola strict mecanismele neliniare ale instabilității și a menține claritatea analitică, modelul operează sub următoarele ipoteze restrictive, adăugate pentru definirea riguroasă a limitelor fizice:

1. Calea de rulare este perfect dreaptă și rigidă fără defecte de nivelment.
2. Sarcina verticală statică Q pe fiecare roată este constantă.
3. Ambele roți sunt considerate geometric identice.
4. Suprafețele de rulare sunt netede, fără defecte aleatoare sau locale.
5. Se neglijează mișcarea de șerpuire.

Osia este modelată ca o bară circulară uniformă, liberă la capete, cu masă și elasticitate distribuite, având unghiul de rotație descris de primele două moduri elastice obținute prin metoda modală:

$$\theta(x,t) = \theta_0(t) + \left[\theta_{1o} + \Delta\theta_1(t)\right]\cos\left(\frac{\pi x}{l}\right) + \left[\theta_{2o} + \Delta\theta_2(t)\right]\cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right), \quad (1)$$

unde $_o(t)$ este rotația de corp rigid a osiei, iar [$_{1o}$ + $_1(t)$] și [$_{2o}$ + $_2(t)$] sunt coordonatele modale, constând din componentele constante $_{1o}$ și $_{2o}$ și coordonatele dependente de timp $_1(t)$ și $_2$(t). Funcțiile proprii ale celor două moduri de torsiune ale osiei sunt cos(x/l) și cos(2 x/l).

Rotația de corp rigid a osiei are trei componente

$$\theta_0(t) = (\Omega + \Omega_o)t + \theta_{0o} + \Delta\theta_0(t), \quad (2)$$

și anume, (+ $_o$)t, rotația uniformă pentru transmiterea cuplului motor staționar T_o; unghiul constant $_{0o}$ dintre rotor și osie; și componenta dependentă de timp $_0(t)$. Aici, = V/R este viteza de rostogolire pură, iar $_o$ este viteza unghiulară de alunecare staționară necesară pentru a genera forțele staționare de frecare.

Unghiurile de rotație ale roților $_{1,2}(t)$ și coroanei dințate $_c(t)$ sunt

$$\theta_1(t) = \theta(a,t),\ \theta_2(t) = \theta(l - a,t),$$
$$\theta_c(t) = \theta(b,t). \quad (3)$$

Luând unghiul rotorului ca referință și neglijând elasticitatea dintre pinion și coroană, relațiile pentru rotor și pinion sunt

$$\theta_r(t) = i_t(\Omega + \Omega_o)t + \Delta\theta_r(t),$$
$$\theta_p(t) = i_t\theta_c(t), \tag{4}$$

unde $i_t + {}_o)t$ corespunde poziției de echilibru, iar ${}_r(t)$ este componenta dependentă de timp.

Mișcarea longitudinală de recul a osiei are următoarele componente

$$y(t) = Vt + y_o + \Delta y(t), \tag{5}$$

unde Vt este mișcarea de translație corespunzătoare vitezei constante V; y_o este deformarea sistemului de conducere datorită forței de tracțiune staționare; și $y(t)$ este componenta dependentă de timp a deplasării de recul.

Prin aplicarea ecuațiilor lui Euler și a legii a doua a lui Newton, se obțin ecuațiile diferențiale ale mișcării pentru componentele sistemului

- Ecuația pentru mișcarea rotorului

$$J_r\Delta\ddot{\theta}_r(t) + k_s\Delta\theta_r(t) - k_s i_t\theta_{0o} + \left[\Delta\theta_0(t) + (\theta_{01} + \Delta\theta_1(t))\cos\frac{\pi b}{l} + (\theta_{2o} + \Delta\theta_2(t))\cos\frac{2\pi b}{l}\right] = T(t). \tag{6}$$

- Ecuația pentru modul rigid de rotație a osiei

$$(\rho I_p l + 2J_w + J_c + i_t^2 J_p)\ddot{\theta}_0(t) + (J_c + i_t^2 J_p)\Delta\theta_1(t)\cos\frac{\pi b}{l} + \left[2J_w\cos\frac{2\pi a}{l} + (J_c + i_t^2 J_p)\cos\frac{2\pi b}{l}\right]\Delta\ddot{\theta}_2(t) + k_s i_t^2\left[\theta_{0o} + \Delta\theta_0(t) + (\theta_{1o} + \Delta\theta_1(t))\cos\frac{\pi b}{l}\right] + k_s i_t^2(\theta_{2o} + \Delta\theta_2(t))\cos\frac{2\pi b}{l} - k_s i_t\Delta\theta_r(t) = -R(F_1(t) + F_2(t)), \tag{7}$$

- Ecuația pentru primul mod elastic al osiei

$$(J_c + i_t^2 J_p)\ddot{\theta}_0(t)\cos\frac{\pi b}{l} + \left[\frac{\rho I_p l}{2} + 2J_w\cos^2\frac{\pi a}{l} + (J_c + i_t^2 J_p)\cos^2\frac{\pi b}{l}\right]\Delta\theta_1(t)$$
$$+(J_c + i_t^2 J_p)\Delta\ddot{\theta}_2(t)\cos\frac{\pi b}{l}\cos\frac{2\pi b}{l} + k_s i_t^2(\theta_{0o} + \Delta\theta_0(t))\cos\frac{\pi b}{l}$$
$$+\left(\frac{\pi^2}{2l}GI_p + k_s i_t^2\cos^2\frac{\pi b}{l}\right)(\theta_{1o} + \Delta\theta_1(t)) + k_s i_t^2(\theta_{2o} + \Delta\theta_2(t))\cos\frac{\pi b}{l}\cos\frac{2\pi b}{l}$$
$$- k_s i_t\Delta\theta_r(t)\cos\frac{\pi b}{l} = -R(F_1(t) - F_2(t))\cos\frac{\pi a}{l}, \quad (8)$$

- Ecuația pentru al doilea mod elastic al osiei

$$\left[2J_w\cos\frac{2\pi a}{l} + (J_c + i_t^2 J_p)\cos\frac{2\pi b}{l}\right]\ddot{\theta}_0(t) + (J_c + i_t^2 J_p)\Delta\theta_1(t)\cos\frac{\pi b}{l}\cos\frac{2\pi b}{l}$$
$$+\left[\frac{\rho I_p l}{2} + 2J_w\cos^2\frac{2\pi a}{l} + (J_c + i_t^2 J_p)\cos^2\frac{2\pi b}{l}\right]\Delta\ddot{\theta}_2(t)$$
$$+k_s i_t^2\left[\theta_{0o} + \Delta\theta_0(t) + (\theta_{1o} + \Delta\theta_1(t))\cos\frac{\pi b}{l}\right]\cos\frac{2\pi b}{l} - k_s i_t\Delta\theta_r(t)\cos\frac{2\pi b}{l}$$
$$+\left(\frac{2\pi^2}{l}GI_p + k_s i_t^2\cos^2\frac{2\pi b}{l}\right)(\theta_{2o} + \Delta\theta_2(t)) = -R(F_1(t) + F_2(t))\cos\frac{2\pi a}{l}, \quad (9)$$

- Ecuația mișcării de recul a osiei

$$M_w\Delta\ddot{y}(t) + 2c_y\Delta y(t) + 2k_y(y_o + \Delta y(t)) = F_1(t) + F_2(t). \quad (10)$$

Ecuațiile de mișcare sunt completate de ecuația cuplului motor

$$T(t) = \frac{n_p p_1}{2\pi f}\frac{R_{21}U_1^2 s(t)}{(s(t)R_1 + R_{21})^2 + (s(t)X)^2}\eta_m, \quad (11)$$

unde n_p este numărul de faze, p_1 este numărul de perechi de poli, R_1 este rezistența statorului, R_{21} este rezistența rotorului raportată la stator, X este reactanța statorului, $s(t)$ este alunecarea și η_m este randamentul motorului, și de ecuația forțelor de frecare care acționează asupra roților (modelul Polach)

$$F_i(t) = -\frac{2Q\mu_i(t)}{\pi}\left(\frac{k_A\varepsilon_i(t)}{1+k_A^2\varepsilon_i^2(t)} + \operatorname{atan}\left(k_B\varepsilon_i(t)\right)\right), \quad i = 1, 2 \qquad (12)$$

unde $_i$(t) este coeficientul de frecare de alunecare al roții i, k_A și k_B sunt factori de reducere în zona de aderență a petei de contact, respectiv în cea de alunecare, ținând seama de starea suprafețelor de rulare (umede sau uscate), iar $_i$ este parametrul echivalent de pseudoalunecare a lui Polach.

Pentru a evalua stabilitatea sistemului, din ecuațiile de mișcare sunt extrase ecuațiile regimului staționar de echilibru și cele care descriu regimul dinamic în jurul punctului de echilibru. Ecuațiile regimului staționar se pot reduce la o singură ecuație neliniară care exprimă echilibrul între cuplul motor redus la roată și cuplul forțelor de frecare. Această ecuație se rezolvă aplicând algoritmul Newton-Raphson. Pentru ecuațiile regimului dinamic, se aplică metoda Runge-Kutta de ordinul 4.

3. APLICAȚIE NUMERICĂ

Aplicația numerică este calibrată utilizând parametrii tehnici reali ai locomotivei electrice cu șase osii LEMA (Softronic, Craiova), echipată cu motoare asincrone MTA-ES-108 de 1000 kW (Tabelul 1).

Tabelul 1. Parametrii modelului

Parametrii	Simbolul	Valoarea
Masa osiei	M_w	2565 kg
Momentul axial de inerţie al roții	J_w	116.3 kgm2
Momentul axial de inerţie al coroanei	J_c	34.8 kgm2
Momentul axial de inerţie al pinionului	J_p	0.25 kgm2
Momentul axial de inerţie al rotorului	J_r	55 kgm2
Momentul polar de inerţie al osiei	I_p	1.5708·10-4 m4
Coeficientul de forfecare	G	81 GPa
Raportul de transmisie	i_t	80/23
Distanța dintre capătul osiei și roată	a	0.305 m
Distanța dintre capătul osiei și coroană	b	0.520 m
Densitatea materialului osiei		7850 kg/m3
Lungimea osiei	l	2.11 m
Raza medie a roții	R	0.605 m
Sarcina statică	Q	100 kN
Rigiditatea arborelui elastic	k_s	340 kNm/rad
Rigiditatea sistemului de conducere	k_y	20 MN/m
Gradul de amortizare al sistemului de conducere	$_y$	0 – 0.10

Parametrii	Simbolul	Valoarea
Gradul de amortizare al arborelui elastic		0 – 0.10
Factorul de reducere în aria de aderență (uscat/umed)	k_A	1.00/0.30
Factorul de reducere în aria de alunecare (uscat/umed)	k_S	0.40/0.10
Factorul vitezei de alunecare (uscat/umed)	B	0.60/0.20 s/m
Semiaxele elipsei de contact	a_e, b_e	8.17 mm, 5.14 mm
Coeficientul longitudinal al lui Kalker	C_{11}	4.883
Coeficientul static de frecare (uscat/umed)	$_s$	0.55/0.30
Raportul $_\infty/_s$ (uscat/umed)	A	0.40/0.40
Parametrii motorului electric		
Numărul de faze	n_p	3
Numărul de perechi de poli	p_1	3
Tensiunea de alimentare	U_1	1200 V
Frecvența tensiunii de alimentare	f	55 Hz
Rezistența statorică	R_1	0.0394
Rezistența rotorului raportată la stator	R_{21}	0.0551
Reactanța statorică	X	0.668
Randamentul motorului	$_m$	0.94
Viteza unghiulară de sincronism	$_s$	115.19 rad/s
Viteza de sincronism	V_s	72.1356 km/h
Alunecarea nominală	s_{on}	0.01

Figura 2 prezintă caracteristica limită de tracțiune a locomotivei, care constă din două regiuni: un segment drept indicând faptul că locomotiva dezvoltă o forță de tracțiune constantă limitată de limita de aderență, și un arc de curbă corespunzător regimului de putere constantă.

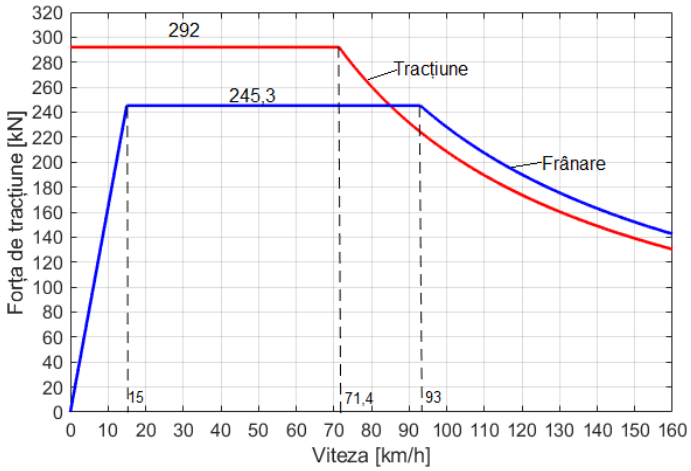


Figura 2. Caracteristicile limită de tracțiune și frânare ale locomotivei LEMA [7].

Punctul N este la intersecţia dintre cele două segmente şi defineşte parametrii nominali de tracţiune ai locomotivei: forţa de tracţiune de 292 kN şi viteza nominală de 71,4 km/h. Aceste valori corespund diametrului mediu al roţilor de 1170 mm.

Figura 3 ilustrează efectul pseudoalunecării roţii asupra punctului de echilibru la viteza nominală de 71,4 km/h atât pentru suprafețe de rulare uscate, cât şi umede.

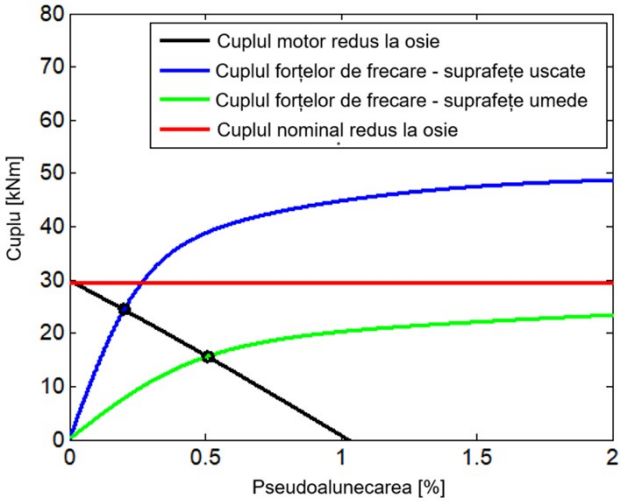


Figura 3. Efectul pseudoalunecării asupra punctului de echilibru la 71,4 km/h.

Pentru suprafețe uscate, cuplul motor redus este 24,465 kNm la o pseudoalunecare de 0,2023 %. Pentru suprafețe umede, cuplul redus scade considerabil la 15,640 kNm, în timp ce pseudoalunecarea crește la 0,5113 %. Ambele cupluri au valori sub cea nominală de 29,442 kNm obţinută din caracteristica de tracţiune. Aceasta se întâmplă pentru că trasarea caracteristicii de tracţiune se realizează pentru condițiile ideale, neglijându-se influența pseudoalunecării roţilor asupra alunecării motorului. Întrucât pseudoalunecarea roții reduce alunecarea motorului, cuplul transmis la osie devine mai mic decât valoarea ideală din caracteristica de tracţiune.

Figura 4 prezintă punctul de echilibru şi vibraţia de recul a osiei când este depăşită limita de aderență. În această situație, cuplul motor la osie este mai mic decât cel nominal, respectiv T_o = 24,361 kNm. Diagrama b arată reculul osiei când poziția inițială a acesteia are o deviație de 1 % din valoarea staționară y_o = 1,00665 mm. Răspunsul sistemului la această deplasare inițială este o vibrație care crește treptat până când amplitudinea acesteia se stabilizează. Aceasta indică că punctul de echilibru este instabil, iar ecuațiile omogene neliniare care descriu mișcarea în jurul punctului de echilibru instabil au o soluție periodică – ciclul limită.

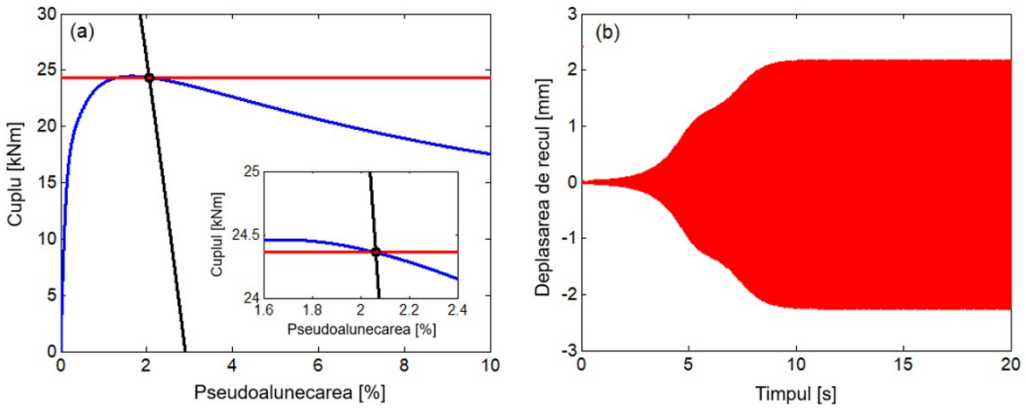


Figura 4. Punctul de echilibru la depășirea limitei de aderență și ciclul limită la V = 70,10097 km/h și $_s$ = 0,25 (suprafețe uscate): (a) punctul de echilibru: ——, cuplul motor la osie; ——, cuplul forțelor de frecare; ——, valoarea staționară a cuplului; (b) ciclul limită (recul inițial de 1 % × y_o).

Este interesant de observat că frecvența acestui ciclu limită este practic egală cu frecvența proprie a osiei la mișcarea de recul, respectiv 19,8 Hz – ciclu limită de recul. Acesta este caracterizat de variații mari ale cuplului motor redus la osie și ale forței de tracțiune așa cum se arată în Figura 5.

În plus, are loc o derivă a valorii medii atât în cazul cuplului motor, cât și în cazul forței de tracțiune în raport cu valoarea staționară.

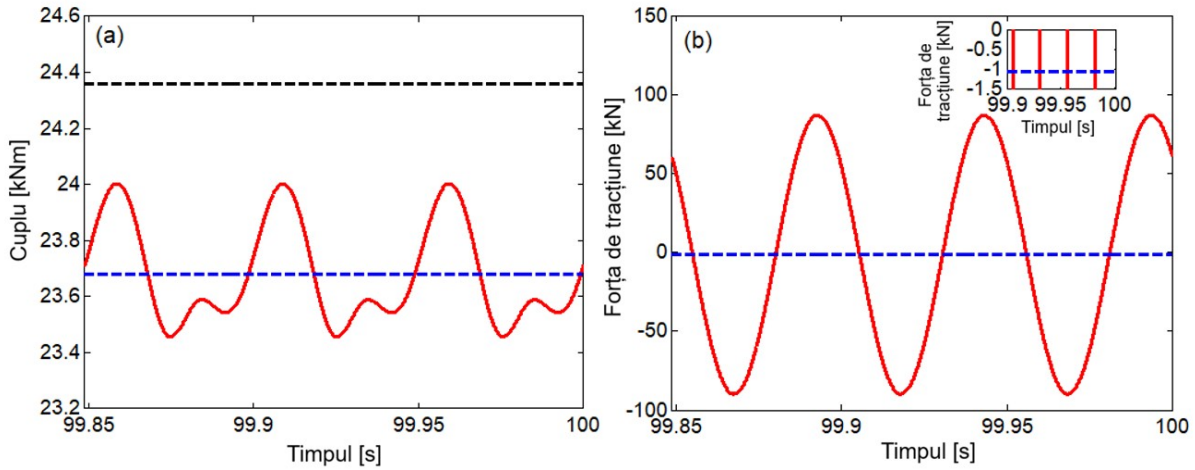


Figura 5. Cuplul motor redus la osie și forța de tracțiune în timpul ciclului limită de recul: (a) cuplul motor; (b) forța de tracțiune; : — — —, valoarea staționară; ——, valoarea medie; ——, valoarea instantanee.

Ciclul limită de recul nu este singura soluție periodică a ecuațiilor de mișcare. Investigând ceea ce se întâmplă pentru diferite valori inițiale ale reculului osiei, s-a pus în evidență un nou ciclu limită atunci când valorile inițiale ale reculului osiei sunt mai mici, așa cum se arată în Figura 6. Au fost considerate aceleași condiții ca cele de mai sus cu excepția reculului inițial, 1‰×y_o.

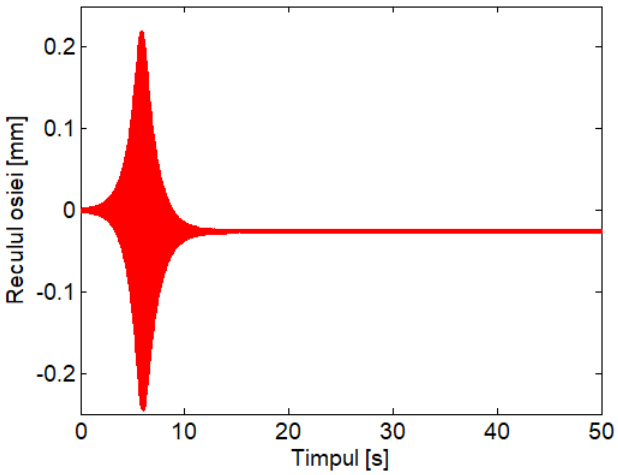


Figura 6. Mișcarea de recul la depășirea limitei de aderență la V = 70,10097 km/h și μ_s = 0,25 (suprafețe uscate și recul inițial 1‰×y_o).

În mod evident, ciclul limită de torsiune are o amplitudine mult mai mică decât cel de recul. Analiza în frecvență a acestuia pune în evidență faptul că se dezvoltă la o frecvență apropiată de frecvența primului mod de torsiune al osiei – ciclul limită de torsiune.

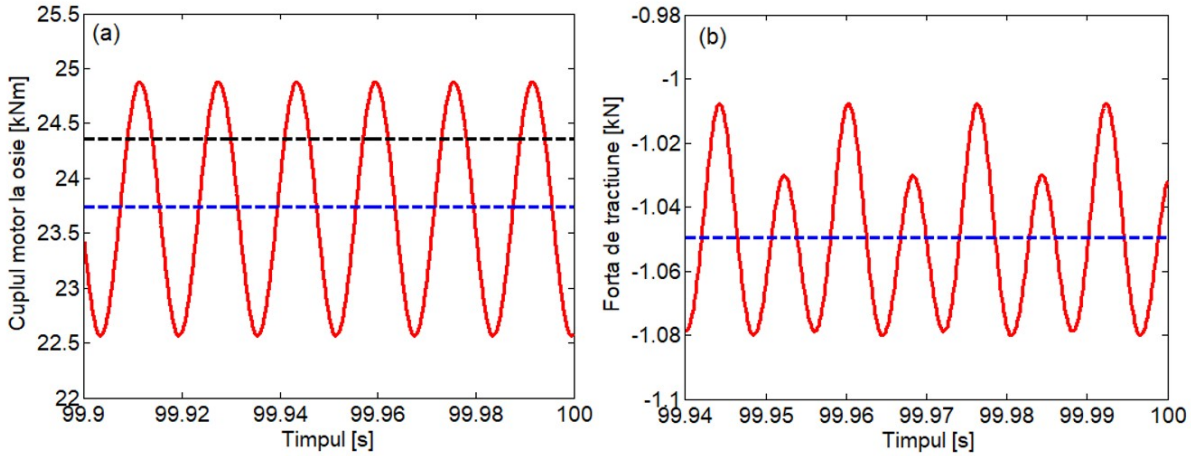


Figura 7. Cuplul motor redus la osie și forța de tracțiune în timpul ciclului limită de torsiune: (a) cuplul motor; (b) forța de tracțiune; : — — —, valoarea staționară; ———, valoarea medie; ———, valoarea instantanee.

Și în cazul acestui ciclu limită, atât cuplul motor redus la osie cât și forța de tracțiune au variații importante, susceptibile să afecteze performanțele locomotivei.

4. CONCLUZII

În această lucrare a fost elaborat un model complex al sistemului de antrenare a unei osii motoare de la o locomotivă electrică care ia în considerare cuplajul dintre mișcările de recul și vibrațiile de torsiune, considerând regimul nominal al locomotivei la limita de aderență.

Au fost puse în evidență două cicluri limită stabile, unul denumit ciclul limită de recul, iar celălalt, denumit ciclul limită de torsiune. Ciclul limită de recul se dezvoltă la frecvența proprie a sistemului de ghidare al osiei, iar ciclul limită de torsiune, la frecvența proprie a primului mod de torsiune al osiei.

Ambele cicluri limită determină oscilații importante ale cuplului motor și ale forței de tracțiune care reduc performanțele de tracțiune și consumul de energie ale locomotivei.

BIBLIOGRAFIE

[1]. K. XU, J. Zeng, L. Wei, *An analysis of the self-excited torsional vibration of high-speed train drive system*, Journal of Mechanical Science and Technology **2019**, 33(3), 1149–1158.

[2]. R. KONOWROCKI, T. SZOLC, *An analysis of the self-excited torsional vibrations of the electromechanical drive system*, Vibrations in Physical Systems **2016**, 27, 187–194.

[3]. A. F. ABOUZEID, J.M. GUERRERO, I. VICENTE-MAKAZAGA, I. MUNIATEGUI-ASPIAZU, A. ENDEMAÑO-ISASI, F. BRIZ, *Torsional vibration suppression in railway traction drives*, IEEE Access **2022**, 10, 32855–32869.

[4]. R. FRÖHLING, U. SPANGENBERG, E. REITMANN, *Root cause analysis of locomotive wheel tread polygonization*, Wear **2019**, 432–433, 102911.

[5]. Z. CHEN, W. ZHAI, K. WANG, *Dynamic investigation of a locomotive with effect of gear transmissions under tractive conditions*, Journal of Sound and Vibration **2017**, 408, 220–233.

[6]. T. ZHANG, Z.G. CHEN, W. M. ZHAI, K. Y. WANG, H. WANG, *Effect of the drive system on locomotive dynamic characteristics using different dynamics models*, SCIENCE CHINA Technological Sciences **2019**, 62(2), 308–320.

[7]. M. A. GHEȚI, T. MAZILU, *On the Longitudinal Vibration of a Driven Wheelset Running on Adhesion Limit*, International Conference on Wave Mechanics and Vibrations, Springer International Publishing **2022**, 523–531.

INFLUENȚA PROPRIETĂȚILOR FIZICO-MECANICE ALE TERENULUI ASUPRA COMPORTĂRII ANCORELOR TUNELURILOR

Petre-Constantin Grigore, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri şi Tuneluri, e-mail: petre-constantin.grigore@phd.utcb.ro
Zdrenghea Doru, şef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri şi Tuneluri, e-mail: zdrenghea.doru@utcb.ro
Răcănel Ionuţ Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri şi Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro

Rezumat

Realizarea tunelurilor în terenuri caracterizate prin proprietăţi geotehnice diferite necesită o evaluare riguroasă a interacţiunii dintre masivul de teren şi sistemul de susţinere primară. Prezenta lucrare are ca obiectiv analizarea comportării ancorelor utilizate în cadrul sistemelor de sprijinire a tunelurilor executate prin Noua Metodă Austriacă (NATM), urmărind modul în care acestea contribuie la preluarea şi redistribuirea eforturilor generate pe parcursul etapelor succesive de excavare. Studiul pune în evidență importanța ancorelor în controlul deplasărilor masivului, asigurarea stabilității excavației și îmbunătățirea comportării ansamblului teren–structură de sprijinire.

În vederea evaluării influenței proprietăţilor fizico-mecanice ale terenului asupra comportării ancorelor, a fost realizată o analiză numerică tridimensională utilizând programul MIDAS GTS NX. Modelarea a urmărit reproducerea etapelor succesive de excavare şi a procesului de activare a elementelor de susţinere primară, fiind analizate trei situaţii corespunzătoare unor terenuri cu caracteristici geotehnice distincte. Evaluarea comportării sistemului teren–sprijinire s-a realizat prin determinarea deplasărilor masivului, a momentelor încovoietoare dezvoltate în căptuşeala tunelului şi a eforturilor axiale mobilizate în ancore. Rezultatele analizelor numerice evidențiază influența parametrilor geotehnici asupra distribuției și intensității solicitărilor din elementele de ancoraj, valorile maxime ale eforturilor fiind înregistrate în etapele intermediare ale excavării. Ulterior, odată cu avansarea lucrărilor şi completarea sistemului de susţinere primară, se observă o redistribuire progresivă a eforturilor, reflectând evoluția interacțiunii dintre masivul de teren și elementele structurale de sprijinire.

Cuvinte cheie: ancore, torcret, excavație, deplasări, cintre

Abstract

The construction of tunnels in ground conditions characterized by different geotechnical properties requires a thorough assessment of the interaction between the surrounding ground mass and the primary support system. The present paper aims to investigate the behavior of rock bolts used in the support systems of tunnels constructed using the New Austrian Tunnelling

Method (NATM), focusing on their contribution to resisting and redistributing the stresses generated during successive excavation stages. The study highlights the importance of rock bolts in controlling ground displacements, ensuring excavation stability, and improving the overall behavior of the ground–support system.

To evaluate the influence of the physical and mechanical properties of the ground on rock bolt behavior, a three-dimensional numerical analysis was performed using MIDAS GTS NX software. The numerical model simulated the successive excavation stages and the progressive activation of the primary support elements, considering three different ground conditions with distinct geotechnical characteristics. The behavior of the ground–support system was assessed by evaluating ground displacements, bending moments developed in the tunnel lining, and axial forces mobilized in the rock bolts. The numerical results highlight the influence of geotechnical parameters on the distribution and magnitude of axial forces in the anchoring elements, with maximum values occurring during intermediate excavation stages. Subsequently, as excavation progresses and the primary support system is completed, a gradual redistribution of stresses is observed, reflecting the evolving interaction between the surrounding ground mass and the structural support elements.

Keywords: rock bolts, shotcrete, excavation, displacements, steel ribs.

1. INTRODUCERE

Realizarea construcţiilor subterane reprezintă o provocare inginerească, întrucât procesul de excavare determină modificarea stării iniţiale de eforturi din masivul de teren, generând redistribuiri ale solicitărilor şi deplasări în jurul golului excavat. Amploarea acestor fenomene este influenţată de proprietăţile fizico-mecanice ale terenului, de succesiunea etapelor de execuţie şi de caracteristicile sistemului de susţinere primară.

În cazul tunelurilor executate prin Noua Metodă Austriacă (NATM), stabilitatea excavaţiei se bazează pe conlucrarea dintre masivul de teren şi elementele de sprijinire instalate progresiv. Un rol important îl au ancorele, care contribuie la consolidarea zonelor afectate de excavare, la limitarea deplasărilor şi la transferul eforturilor către zonele stabile ale masivului. Solicitările dezvoltate în acestea variază pe parcursul execuţiei, identificarea etapelor în care se înregistrează eforturile axiale maxime fiind esenţială pentru evaluarea comportării sistemului de susţinere.

În cadrul studiului, influenţa caracteristicilor geotehnice asupra comportării ancorelor a fost analizată prin modelare numerică tridimensională, utilizând programul MIDAS GTS NX. Au fost simulate etapele succesive de excavare pentru trei tipuri de teren cu proprietăţi mecanice diferite, urmărindu-se evoluţia eforturilor axiale din ancore, a deplasărilor masivului şi a momentelor încovoietoare dezvoltate în căptuşeala tunelului.

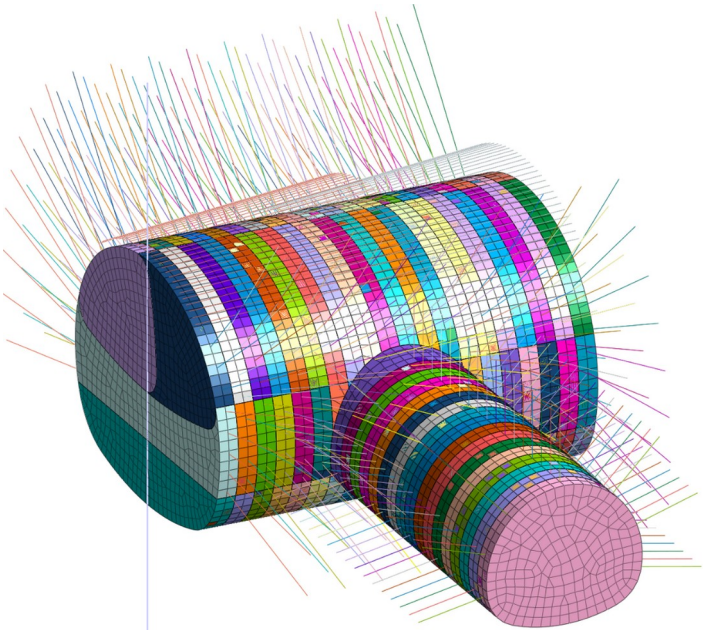


Figura 1. Intersecţia unui tunel principal cu o galerie şi dispunerea elementelor de ancoraj

2. ANALIZA STRUCTURALĂ – STUDIU DE CAZ

Pentru evaluarea comportării ancorelor din sistemul de susţinere primară a celor două tuneluri, a fost elaborat un model numeric tridimensional în programul MIDAS GTS NX, utilizând metoda elementelor finite. Analiza a urmărit simularea interacţiunii dintre masivul de teren şi elementele de sprijinire, prin reproducerea etapelor succesive de excavare şi activarea progresivă a sistemului de susținere.

În vederea evidenţierii influenţei proprietăţilor fizico-mecanice ale terenului asupra comportării ancorelor, au fost analizate trei cazuri distincte, corespunzătoare unor masive cu caracteristici geotehnice diferite. Pentru fiecare situaţie au fost definite proprietăţile mecanice ale terenului, caracteristicile materialelor de sprijinire şi geometria elementelor structurale. Analizele au permis determinarea evoluţiei deplasărilor masivului, a eforturilor axiale mobilizate în ancore şi a momentelor încovoietoare dezvoltate în căptușeala tunelului, în diferite etape de execuţie, pentru identificarea fazelor cu solicitări maxime.

Cele trei modele numerice au fost realizate în terenuri alcătuite din câte două straturi, utilizând un domeniu de calcul cu dimensiunile de 50 m lățime, 50 m înălțime şi 20 m lungime. Aceste dimensiuni au fost adoptate pentru a asigura o distanţă suficientă între zona excavaţiei şi limitele modelului, astfel încât influenţa condițiilor de contur asupra rezultatelor analizelor să fie redusă.

2.1. Cazul 1 – Analiza structurii în tipul 1 de teren

Prima analiză numerică a fost realizată într-un teren cu proprietăți geotehnice nefavorabile. Pentru asigurarea stabilității frontului de excavare și simularea etapelor succesive de execuție, s-a considerat consolidarea terenului prin intermediul unor ancore din fibră de sticlă, utilizate pentru injectarea cimentului expansiv. Efectul acestei măsuri de îmbunătățire a terenului a fost introdus în modelul numeric prin creșterea valorii coeziunii de la 37 kN/m² la 100 kN/m².

Masivul corespunzător primei analize are definiți următorii parametri:

Tabelul 2.1. Parametrii geotehnici cazul 1 de analiză

Parametrii	Strat 1	Strat 2	Teren consolidat în front
c (coeziunea)	1 kN/m^2	37 kN/m^2	100 kN/m2
Φ (unghiul de frecare internă)	12.00^o	39.15^o	_
E (modulul lui Young)	1000 kN/m^2	79930 kN/m^2	_

Sistemul de susținere primară este alcătuit dintr-o căptușeală din beton torcretat, clasa C25/30, cu grosimea de 30 cm, având rolul de a prelua solicitările rezultate din redistribuirea eforturilor în jurul excavației și de a limita deformațiile masivului de teren.

Pentru îmbunătățirea stabilității excavației, au fost prevăzute ancore autoperforante de tip IBO, dispuse în șah, care contribuie la consolidarea terenului prin mobilizarea rezistenței acestuia și transferul solicitărilor către zonele stabile ale masivului. Comportarea ancorelor a fost evaluată prin analiza evoluției eforturilor axiale mobilizate în diferitele etape de excavare.

Suplimentar, în zona bolții tunelului a fost prevăzut un sistem de presusținere de tip umbrelă de țevi, destinat creșterii stabilității frontului de excavare și limitării deplasărilor terenului înainte de instalarea sistemului de sprijinire. Acesta contribuie la reducerea relaxării masivului și la redistribuirea controlată a eforturilor în zona excavată.

Rezultate obținute pentru tipul 1 de teren:

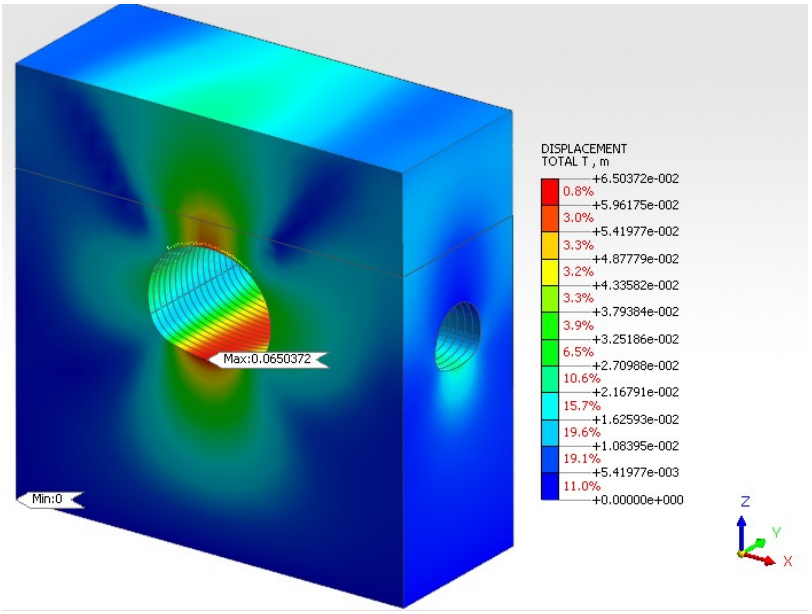


Figura 2.1. Deplasări totale – excavare și sprijinire completă

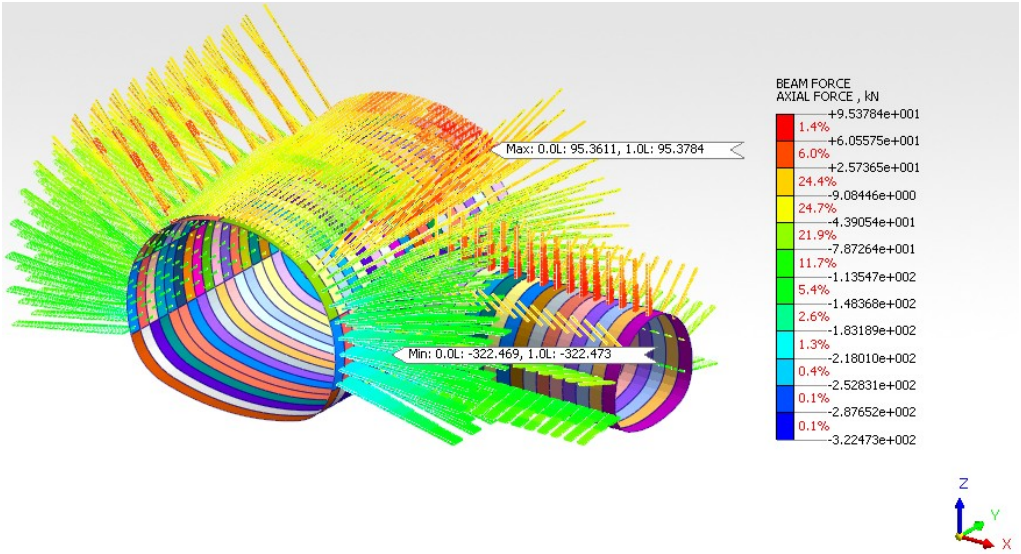


Figura 2.2. Eforturi axiale în ancore și umbrela de țevi

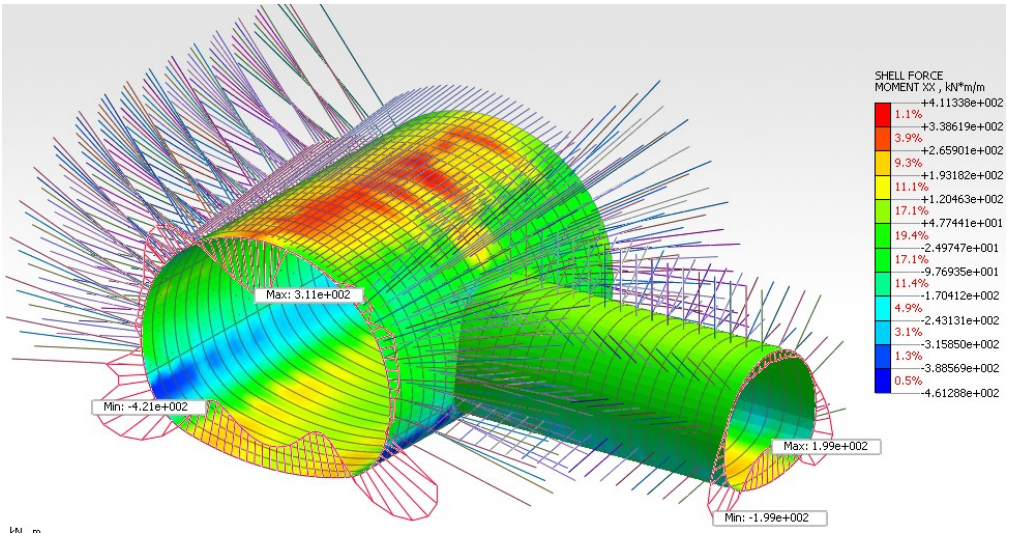


Figura 2.3. Momente încovoietoare – excavare şi sprijinire completă

În urma analizei numerice au fost determinate deplasările totale ale masivului de teren, eforturile axiale mobilizate în ancore şi momentele încovoietoare dezvoltate în căptuşeala exterioară a tunelului. Rezultatele evidenţiază interacţiunea dintre teren şi sistemul de susţinere primară, precum şi redistribuirea eforturilor pe parcursul etapelor succesive de excavare.

Deplasarea totală maximă, de 0,065 m, a fost înregistrată în zona radierului tunelului principal, indicând tendinţa de deformare a terenului către interiorul excavaţiei. Valorile reduse ale deplasărilor în apropierea limitelor modelului sugerează că dimensiunile domeniului de calcul sunt adecvate, influenţa condiţiilor de contur asupra rezultatelor fiind limitată.

Analiza eforturilor axiale din ancore evidenţiază apariţia atât a solicitărilor de întindere, cât şi a celor de compresiune, ca urmare a redistribuirii eforturilor şi a deformării masivului. Prezenţa eforturilor de compresiune nu indică în mod obligatoriu o comportare necorespunzătoare a sistemului, ancorele contribuind la creşterea rigidităţii locale, limitarea deplasărilor şi solidarizarea zonelor de teren afectate de excavare cu cele stabile.

În ceea ce priveşte momentele încovoietoare din căptuşeala exterioară, valorile maxime se concentrează în special în zona bolţii şi a radierului, unde interacţiunea teren–sprijinire generează solicitări semnificative asupra betonului torcretat.

Rezultatele primului caz de analiză evidenţiază influenţa excavării asupra stării de eforturi şi deformaţii din masiv, confirmând contribuţia sistemului de susţinere, alcătuit din căptuşeală, ancore şi umbrelă de ţevi, la limitarea deplasărilor şi asigurarea stabilităţii excavaţiei.

2.2. Cazul 2 – Analiza structurii în tipul 2 de teren

Pentru evidențierea influenței proprietăților fizico-mecanice ale terenului asupra comportării sistemului teren–sprijinire, a fost efectuată o a doua analiză numerică, considerând un masiv cu caracteristici geotehnice îmbunătățite. Geometria modelului, succesiunea etapelor de excavare și configurația sistemului de susținere au fost menținute identice cu cele din primul caz, modificările fiind aplicate exclusiv parametrilor geotehnici ai terenului.

Analiza comparativă a urmărit evoluția deplasărilor totale ale masivului, a eforturilor axiale mobilizate în ancore și a momentelor încovoietoare dezvoltate în căptușeala exterioară a tunelului, în vederea evaluării influenței proprietăților terenului asupra răspunsului structural al sistemului de susținere.

Datele de intrare pentru noul model din punct de vedere al proprietăților terenului sunt următoarele:

Tabelul 2.2. Parametrii geotehnici cazul 2 de analiză

Parametrii	Strat 1	Strat 2
c (coeziunea)	1 kN/m^2	150 kN/m^2
Φ (unghiul de frecare internă)	12.00^o	43°
E (modulul lui Young)	1000 kN/m^2	100000 kN/m^2

În cadrul celei de-a doua analize, proprietățile geotehnice ale stratului superior au fost menținute identice cu cele din primul caz, modificările fiind aplicate exclusiv stratului în care se desfășoară excavarea tunelului. Această abordare permite evidențierea influenței parametrilor fizico-mecanici ai terenului asupra redistribuirii eforturilor și a nivelului de solicitare a elementelor sistemului de susținere primară.

Rezultate obținute pentru tipul 2 de teren:

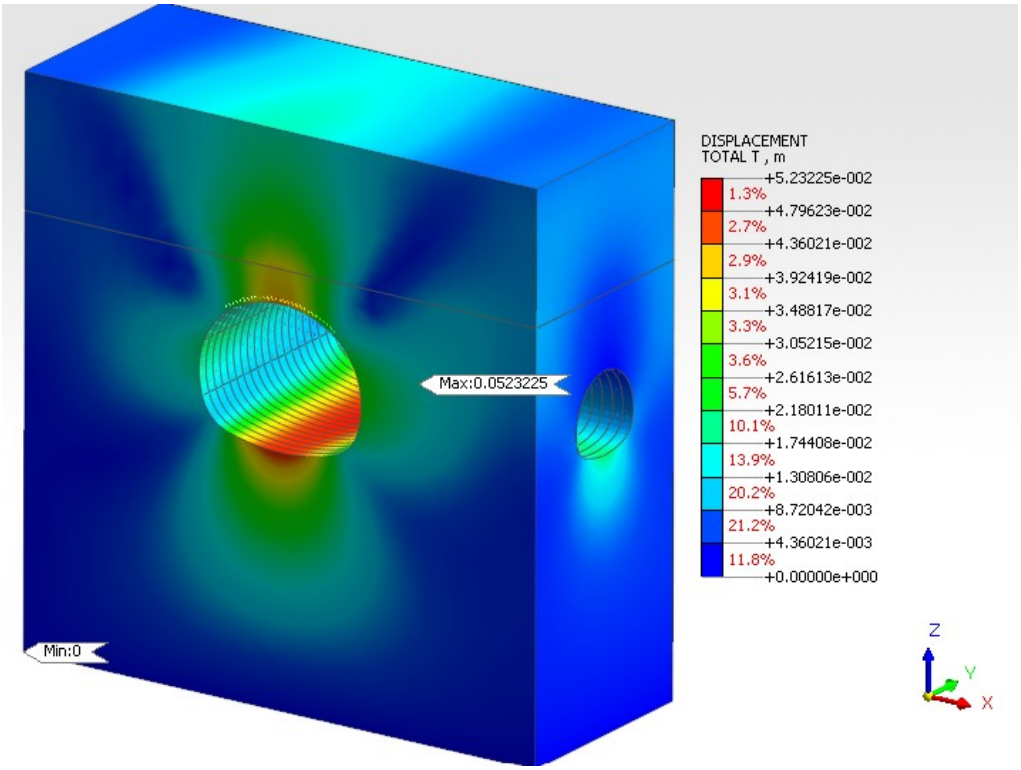


Figura 2.4. Deplasări totale – excavare și sprijinire completă

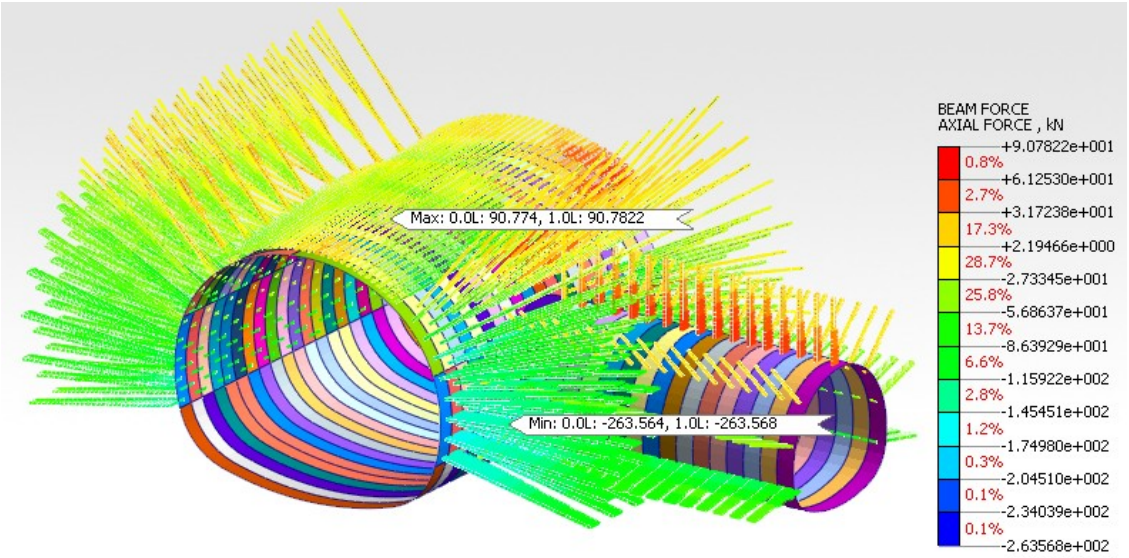


Figura 2.5. Eforturi axiale în ancore și umbrelă – excavare și sprijinire completă

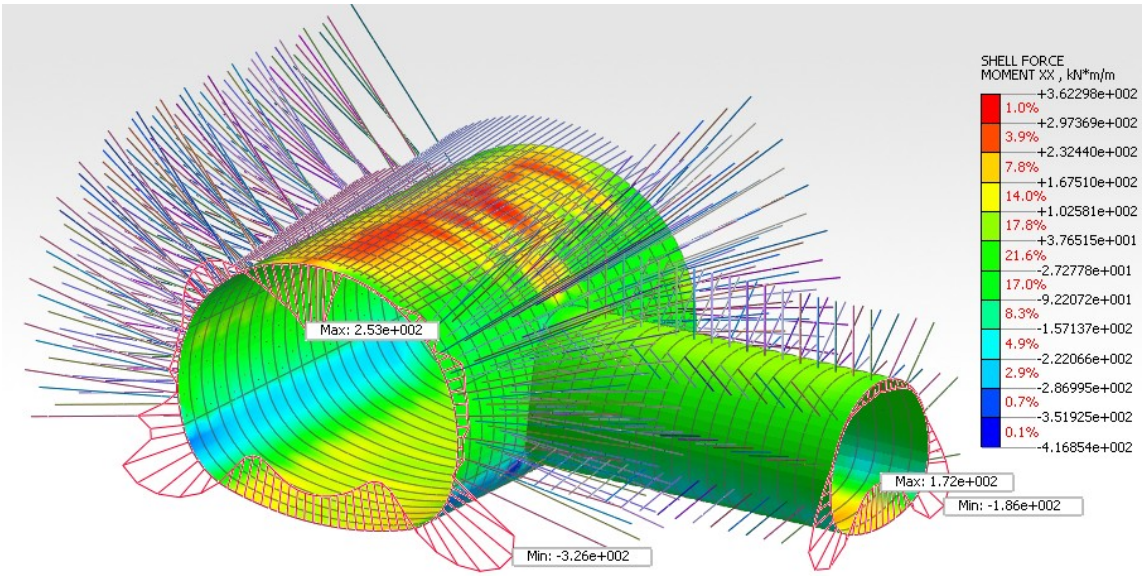


Figura 2.6. Diagrama de momente încovoietoare – excavare și sprijinire completă

Rezultatele celei de-a doua analize evidențiază o reducere a deplasărilor totale ale masivului comparativ cu primul caz, ca urmare a îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale terenului. Deplasarea maximă înregistrată este de 0,052 m, față de 0,065 m în situația inițială, reprezentând o diminuare de aproximativ 20%. Această reducere este determinată de creșterea rigidității terenului și a capacității acestuia de a prelua solicitările generate de excavare.

În ceea ce privește comportarea ancorelor, se constată o diminuare a eforturilor axiale de întindere și compresiune, datorită capacității portante sporite a masivului și reducerii deformațiilor din jurul excavației. Valorile mai mici ale eforturilor de compresiune indică o reducere a deplasărilor relative ale terenului, ceea ce conduce la solicitări mai reduse asupra elementelor de ancoraj. Cu toate acestea, ancorele își mențin rolul esențial în asigurarea stabilității sistemului de susținere primară.

Analiza momentelor încovoietoare din căptușeala exterioară evidențiază o distribuție mai favorabilă a solicitărilor, ca urmare a creșterii contribuției masivului de teren la preluarea eforturilor. Zonele de concentrare a momentelor maxime rămân similare celor identificate în primul caz, fiind influențate de geometria secțiunii excavate.

Compararea celor două analize confirmă influența proprietăților fizico-mecanice ale terenului asupra comportării ansamblului teren–sprijinire. Creșterea rezistenței și rigidității masivului determină reducerea deplasărilor, diminuarea solicitărilor din ancore și o redistribuire mai favorabilă a eforturilor în jurul excavației.

2.3. Cazul 3 – Analiza structurii în tipul 2 de teren

Rezultatele celei de-a doua analize evidențiază influența îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale terenului asupra comportării ansamblului teren–sprijinire. Deplasarea maximă a masivului s-a redus de la 0,065 m la 0,052 m, reprezentând o diminuare de aproximativ 20%, datorită creșterii rigidității și capacității terenului de a prelua solicitările generate de excavare.

În cazul ancorelor, se observă o reducere a eforturilor axiale de întindere și compresiune, ca urmare a diminuării deformațiilor masivului și a creșterii capacității sale de autoportanță. Totodată, momentele încovoietoare din căptușeala exterioară prezintă o distribuție mai favorabilă, zonele de solicitare maximă menținându-se în aceleași regiuni ale secțiunii excavate.

Analiza comparativă confirmă faptul că îmbunătățirea caracteristicilor geotehnice contribuie la limitarea deplasărilor, reducerea solicitărilor din ancore și optimizarea comportării sistemului de susținere primară.

Parametrii geotehnici atribuiți masivului în cel de-al treilea caz de analiză sunt următorii:

Tabelul 2.3. Parametrii geotehnici cazul 3 de analiză

Parametrii	Strat 1	Strat 2
c (coeziunea)	1 kN/m^2	270 kN/m^2
Φ (unghiul de frecare internă)	12.00^o	45°
E (modulul lui Young)	1000 kN/m^2	125000 kN/m^2

Rezultate obținute pentru tipul 3 de teren:

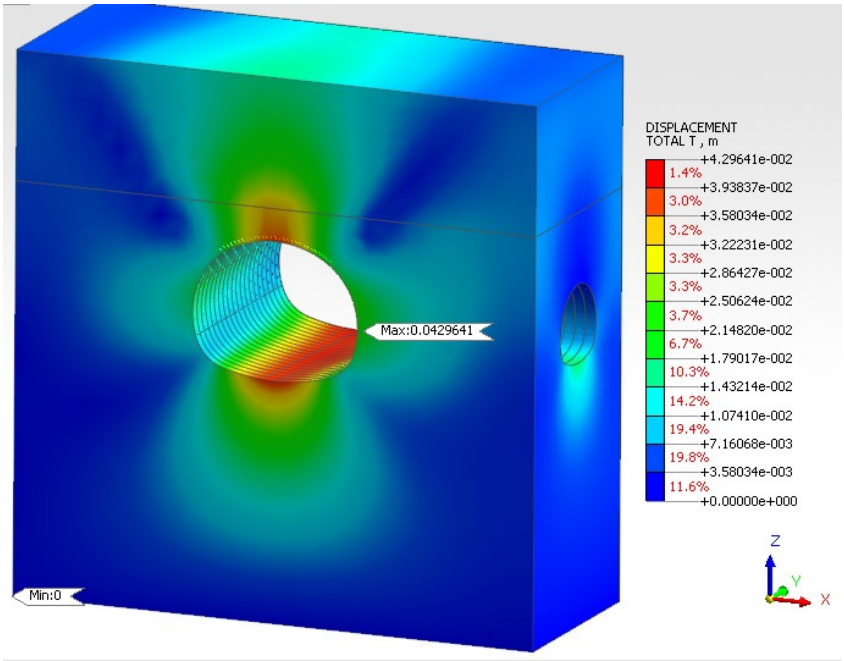


Figura 2.7. Deplasări totale – excavare și sprijinire completă

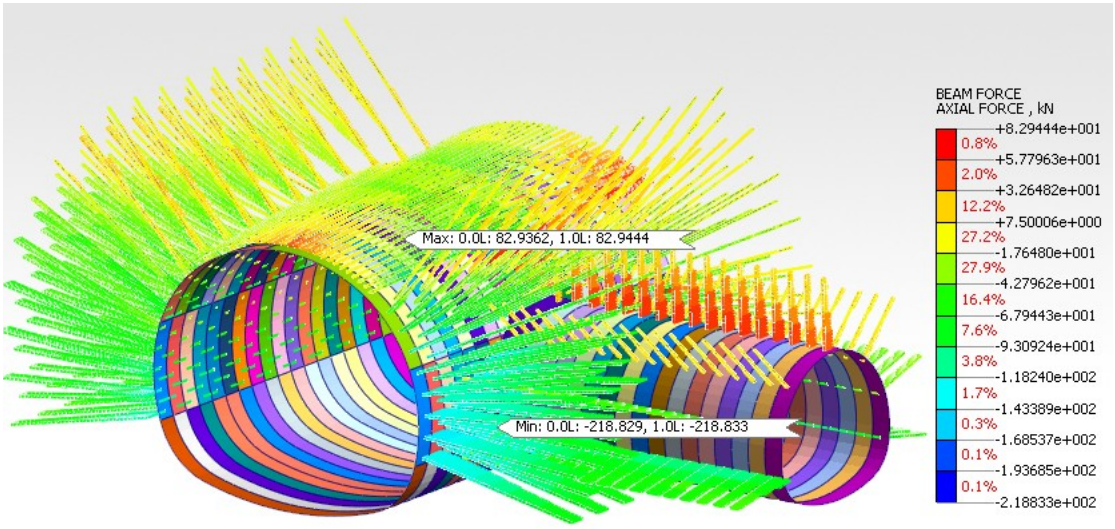


Figura 2.8. Eforturi axiale în ancore și umbrelă – excavare și sprijinire completă

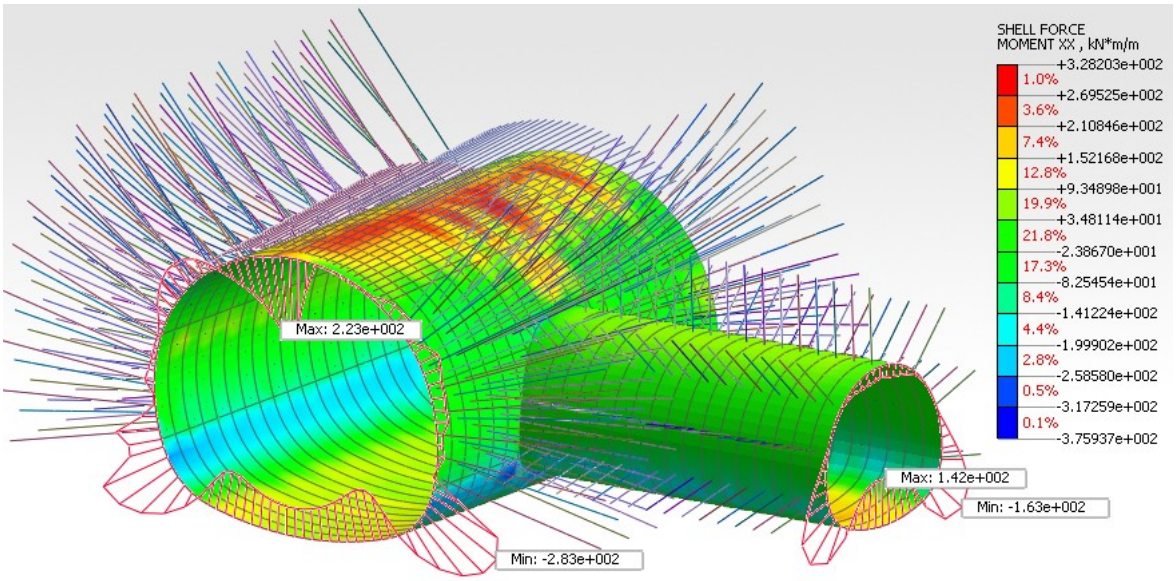


Figura 2.9. Diagrama de momente încovoietoare – excavare și sprijinire completă

Rezultatele celei de-a treia analize numerice confirmă tendința observată în cazurile precedente, evidențiind influența îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale terenului asupra comportării masivului. Creșterea rigidității și rezistenței terenului determină o reducere suplimentară a deplasărilor din jurul excavației, valoarea maximă înregistrată fiind de 4,3 cm, comparativ cu 6,5 cm și 5,2 cm în primele două cazuri. Această evoluție evidențiază contribuția caracteristicilor geotehnice îmbunătățite la limitarea deformațiilor și creșterea stabilității tunelului.

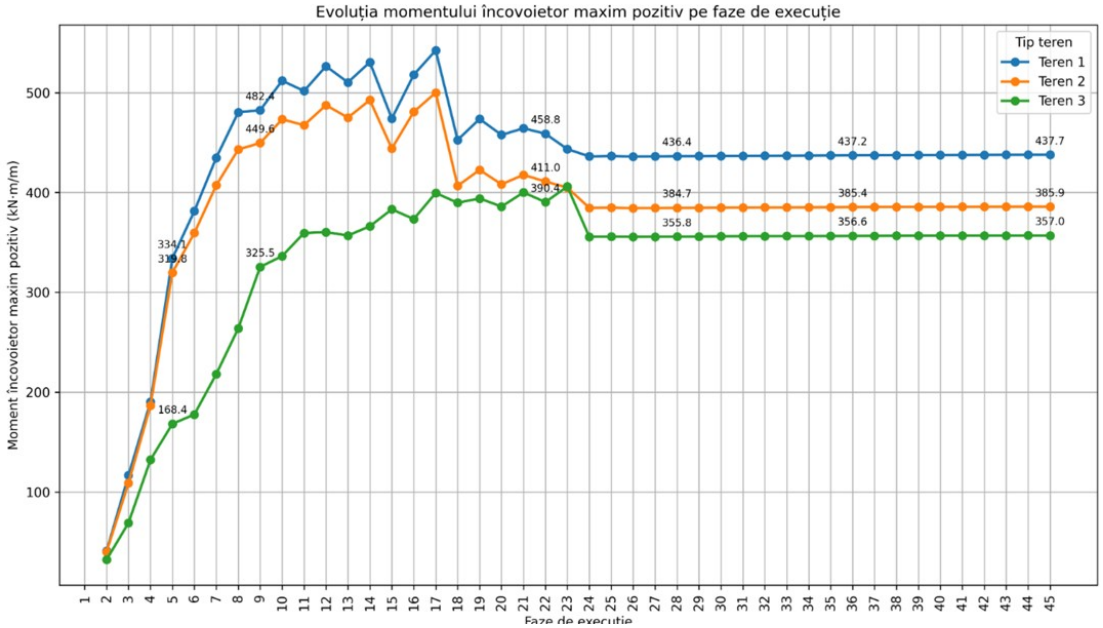


Figura 2.10. Variația momentelor încovoietoare maxime în cele trei tipuri de teren – excavare și sprijinire completă

Analiza eforturilor axiale mobilizate în ancore evidențiază o diminuare progresivă a solicitărilor odată cu îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice ale terenului. În cel de-al treilea caz, efortul axial maxim de întindere scade la 82,94 kN, comparativ cu valorile de 95,37 kN și 90,78 kN înregistrate în primele două analize. O tendință similară se observă și în cazul compresiunii, unde valoarea maximă, în modul, se reduce la 218,83 kN, față de 322,47 kN și 263,56 kN în cazurile precedente. Aceste rezultate evidențiază influența creșterii rezistenței și rigidității masivului asupra reducerii solicitărilor transmise elementelor de ancoraj.

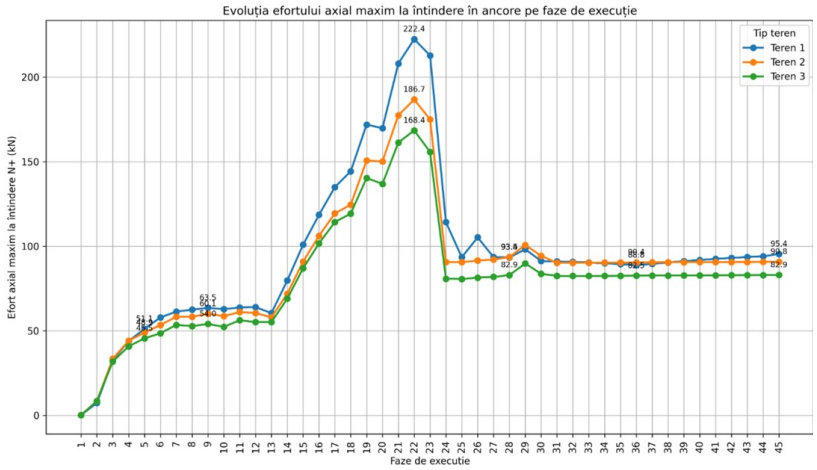


Figura 2.11. Variația eforturilor axiale în ancore în cele trei tipuri de teren – excavare și sprijinire completă

Reducerea eforturilor axiale de întindere din ancore nu implică diminuarea rolului acestora în asigurarea stabilității excavației, ci evidențiază creșterea contribuției masivului de teren la preluarea solicitărilor, ceea ce determină o mobilizare mai redusă a elementelor de sprijinire.

Totodată, analiza momentelor încovoietoare din căptușeala exterioară indică o redistribuire mai favorabilă a solicitărilor, ca urmare a îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale terenului. Zonele de concentrare a momentelor maxime rămân similare celor identificate în cazurile precedente, însă nivelul solicitărilor este influențat de rigiditatea sporită a masivului.

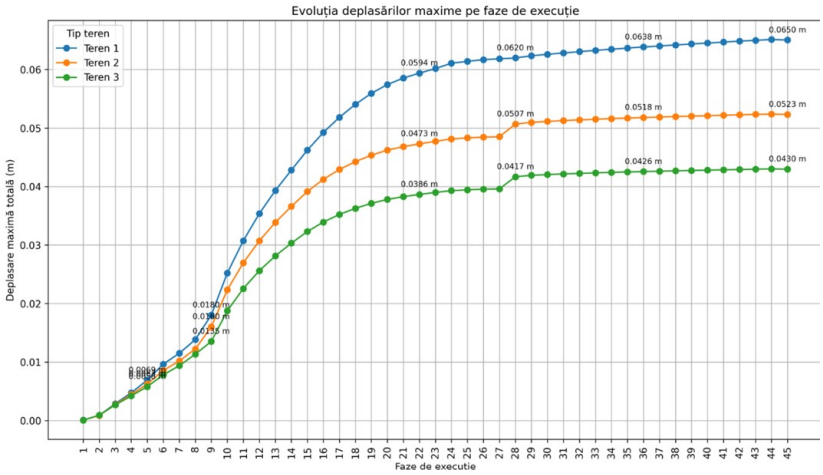


Figura 2.12. Variația deplasărilor maxime în cele trei tipuri de teren – excavare și sprijinire completă

3. CONCLUZII

Rezultatele analizelor numerice evidențiază influența semnificativă a proprietăților fizico-mecanice ale terenului asupra comportării tunelului și a sistemului de susținere primară. Creșterea rigidității și rezistenței masivului determină reducerea deplasărilor din jurul excavației și diminuarea solicitărilor mobilizate în elementele de sprijinire.

Analiza eforturilor axiale confirmă rolul ancorelor în stabilizarea excavației, prin limitarea deformațiilor și asigurarea conlucrării dintre terenul afectat de excavare și zonele stabile ale masivului. Prezența solicitărilor de întindere și compresiune evidențiază complexitatea interacțiunii teren–sprijinire și redistribuirea eforturilor pe parcursul etapelor de execuție.

Compararea celor trei cazuri analizate confirmă principiul fundamental al Noii Metode Austriece (NATM), potrivit căruia masivul de teren constituie principalul element portant. Astfel, îmbunătățirea caracteristicilor geotehnice conduce la creșterea capacității de autoportanță a terenului și la reducerea gradului de mobilizare a sistemului de susținere primară, fără a diminua importanța acestuia în asigurarea stabilității tunelului.

BIBLIOGRAFIE

[1]. TEODOR IFTIMIE, DORU ZDRENGHEA, FLAVIU NICĂ: *Construcții subterane și tuneluri. Aplicații seminar și proiect*, Editura CONSPRES, decembrie **2017**

[2]. ALFRED STARK, DAVID CHAPMAN, NICOLE METJE: *Introduction to Tunnel Construction (Applied Geotechnics)*, Editura CRC, mai **2010**

[3]. PIETRO LUNARDI: *Design and Construction of Tunnels*, Editura Springer-Verlag Berlin Heidelberg, **2008**

[4]. MIDAS INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD: *MIDAS GTS NX Analysis Reference Manual*, MIDAS IT, Seongnam, South Korea,

[5]. B. MAIDL, M. THEWES, U. MAIDL: *Handbook of Tunnel Engineering Volume 1: Structures and Methods*, Editura Ernst&Sohn, **2013**

DIGITALIZAREA ADMINISTRĂRII DRUMURILOR: MODELE 3D ȘI DATE INTEGRATE

Guzgan Ana-Maria, ing., Consultant Tehnic ALLBIM NET, e-mail: ana.guzgan@allbim.net
Călin George-Teodor, arh., Product Owner ALLPLAN Arhitectură, Scalypso & BIMPLUS, Consultant Tehnic ALLBIM NET, e-mail: george.calin@allbim.net

Rezumat

Administrarea infrastructurii rutiere moderne depinde în mod critic de capacitatea de a utiliza datele colectate pe parcursul întregului ciclu de viață al activelor pentru fundamentarea deciziilor tehnice și economice. Conform rapoartelor din industrie, peste 95% din datele produse în proiectele de infrastructură nu sunt folosite în procesele decizionale ulterioare, fiind preponderent nestructurate. Această lucrare analizează administrarea infrastructurii rutiere bazată pe modele digitale, având ca obiectiv integrarea fluxurilor de date de la proiectare până la exploatare. Utilizarea metodologiei BIM, în conformitate cu seria ISO 19650, este abordată ca mecanism central pentru trasabilitatea informațiilor. Lucrarea demonstrează cum instrumentele software specializate (ALLPLAN Civil, ALLPLAN Road, Bimplus, dTwin) facilitează trecerea de la proiectarea geometrică tradițională la o bază de date relațională, transformând modelul într-o carte digitală a construcției. Se validează eficiența standardului IFC 4.3 în transferul datelor de infrastructură liniară și integrarea acestora în platforme de tip geamăn digital.

Cuvinte cheie: trafic, BIM, geamăn digital, managementul informației, model digital de informație, ISO 19650, IFC 4.3

Abstract

The management of modern road infrastructure critically depends on the ability to use data collected throughout the asset lifecycle to support technical and economic decisions. According to industry reports, over 95% of data produced in infrastructure projects is not used in subsequent decision-making processes. This paper analyzes digital model-based road infrastructure management, aiming to integrate data workflows from design to operation. The use of BIM methodology, in compliance with the ISO 19650 series, is approached as a central mechanism for information traceability. The paper demonstrates how specialized software tools (ALLPLAN Civil, ALLPLAN Road, Bimplus, dTwin) facilitate the transition from traditional geometric design to a relational database. The efficiency of the IFC 4.3 standard in transferring linear infrastructure data and integrating it into digital twin platforms is validated.

Keywords: traffic, BIM, digital twin, information management, digital information model, ISO 19650, IFC 4.3

1. INTRODUCERE

Infrastructura de transport constituie un element esențial pentru dezvoltarea economică și socială, având un rol important în asigurarea mobilității și conectivității teritoriale. Cu toate acestea, gestionarea și întreținerea infrastructurii existente implică provocări semnificative. Proiectele de infrastructură rutieră generează un volum impresionant de date pe parcursul fazelor de proiectare, execuție și exploatare.

Tranziția către metodologia BIM (Building Information Modelling) aplicată în infrastructură permite transformarea modelului dintr-o reprezentare geometrică într-un suport informațional evolutiv, capabil să centralizeze datele dispersate într-un singur mediu de lucru.

1.1. Ipotezele de cercetare

Pentru a evalua eficiența soluțiilor digitale moderne și a fundamentării teoretice în administrarea drumurilor, cercetarea de față formulează următoarele ipoteze:

Ipoteza 1 (Standardizare): Implementarea clară a cadrului normativ EN ISO 19650-1:2019 și calibrarea datelor prin standardul ISO 7817-1:2024 (Level of Information Need) previne supraîncărcarea modelelor 3D și asigură generarea unei Cărți Digitale a Construcției strict relevante pentru etapa de mentenanță.

Ipoteza 2 (Eficiență): Automatizarea proiectării prin componente parametrice reduce erorile de modelare geometrică și optimizează procesul de actualizare a proiectului la modificări.

Ipoteza 3 (Interoperabilitate): Standardul openBIM IFC 4.3 asigură transferul fără pierderi al atributelor tehnice complexe din mediul de autorat către Mediul Comun de Date (CDE).

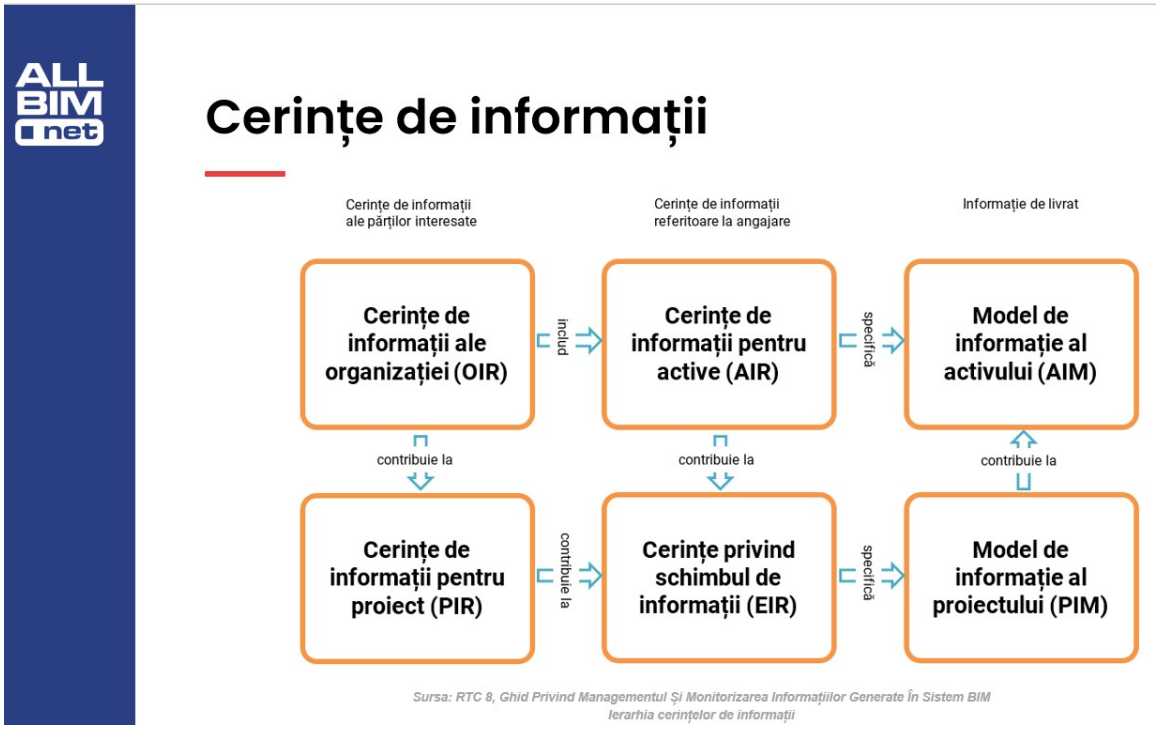
Ipoteza 4 (Exploatare): Conectarea modelului as-built la o platformă de tip geamăn digital scade timpii de intervenție și elimină necesitatea reconstituirii manuale a istoricului tehnic.

2. METODOLOGIE ȘI FLUX DE LUCRU INTEGRAT

2.1. Cadrul normativ BIM: Standardizarea ISO 19650 și Nivelul de Informații Necesar

Managementul informației pe parcursul ciclului de viață al infrastructurii rutiere se fundamentează pe cadrul normativ definit de seria EN ISO 19650. Principiile standardului EN ISO 19650-1:2019 depășesc simpla creare de geometrie 3D, stabilind concepte și mecanisme stricte de structurare a datelor sub formă de containere de informații (modele 3D parametrice, baze de date, fișiere de extrase, documentații tehnice în format PDF, rapoarte de încercări).

Fundamentul metodologiei constă în trecerea de la producția necontrolată de date la o abordare bazată exclusiv pe Cerințele de Informații ale Beneficiarului (EIR). Modelul digital trebuie să răspundă exact la întrebarea: *„De ce informații are nevoie administratorul drumului pentru a gestiona acest activ în următorii 30 de ani?”*. Pentru a asigura un nivel optim de detaliere fără supraîncărcarea modelelor, se aplică prevederile standardului ISO 7817-1:2024 privind Nivelul de Necesitate de Informații (Level of Information Need - LOIN). Acest standard definește cerințele pentru fiecare element de infrastructură pe trei direcții distincte: informații geometrice, informații alfanumerice și documentație asociată.



Sursa: RTC 8, Ghid Privind Managementul Și Monitorizarea Informațiilor Generate În Sistem BIM
Ierarhia cerințelor de informații

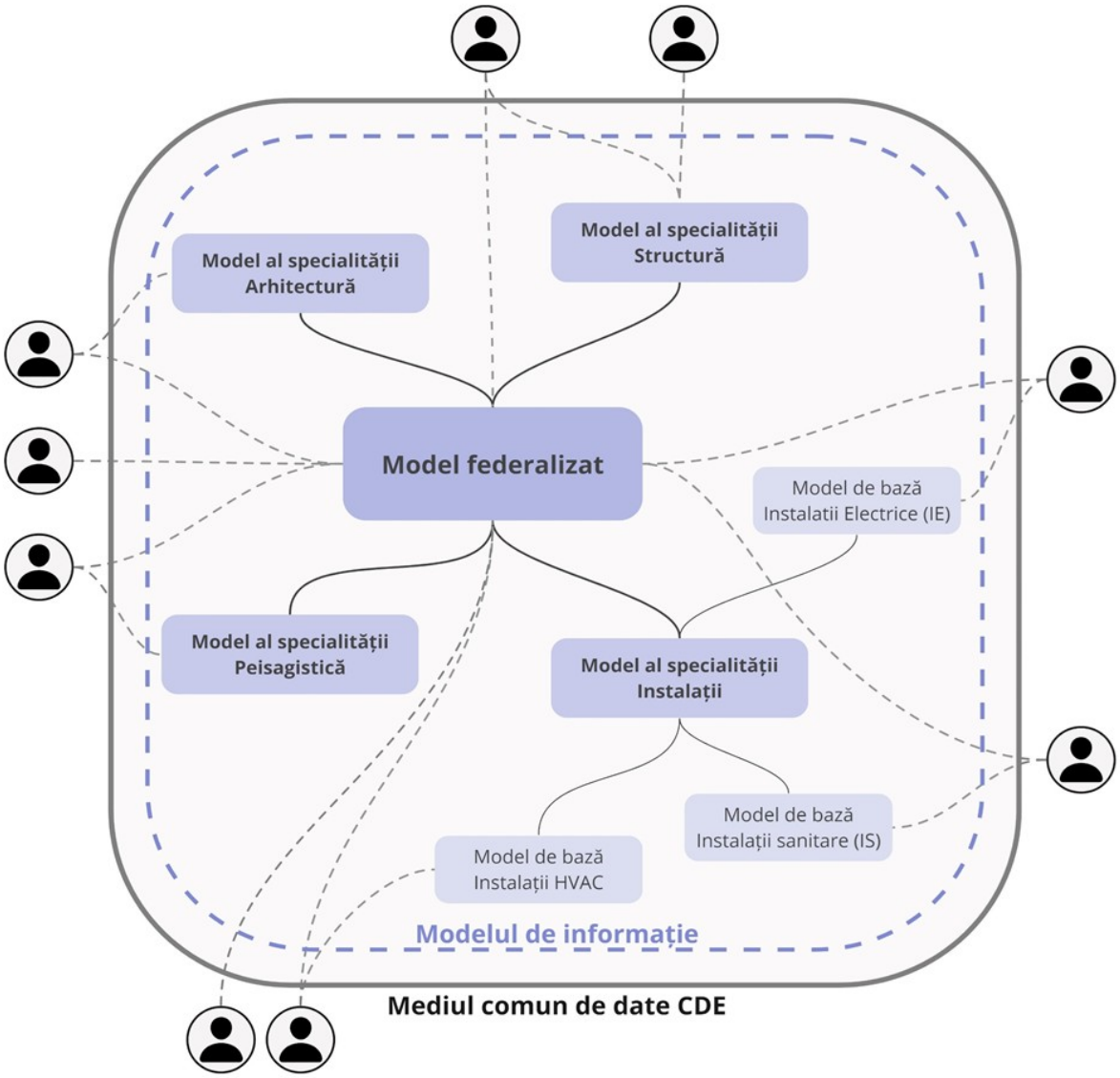
Procesul de gestionare a informațiilor parcurge trei etape logice fundamentale pentru a ajunge la o Carte Digitală a Construcției funcțională:

Definirea Cerințelor (EIR): Stabilirea obiectivelor, formatelor de livrare și atributelor tehnice necesare pentru administrarea ulterioară a activelor.

Planul de Execuție BIM (BEP): Elaborat de echipa de proiectare/execuție, definește metodologia de lucru, strategia de federalizare a modelelor, rolurile și responsabilitățile.

Evoluția Modelelor de Informații (PIM către AIM): Dezvoltarea Modelului de Informații al Proiectului (PIM) pe parcursul proiectării și execuției, urmată de transferul acestuia în Modelul de Informații al Activului (AIM) pentru etapa de operare și mentenanță**.**

Prin aplicarea unei strategii clare de federalizare descrise în BEP, modelele de specialitate (drumuri, structuri, hidrotehnică, semnalizare) sunt agregate într-un model federat unic.



Fig; ALLBIMNET- George Calin- Prezentare BIM - OAR

Rezultatul final al acestui flux este structurarea Cărții Digitale a Construcției, oferind trasabilitate completă și suport decizional eficient pe toată durata de viață a infrastructurii rutiere.

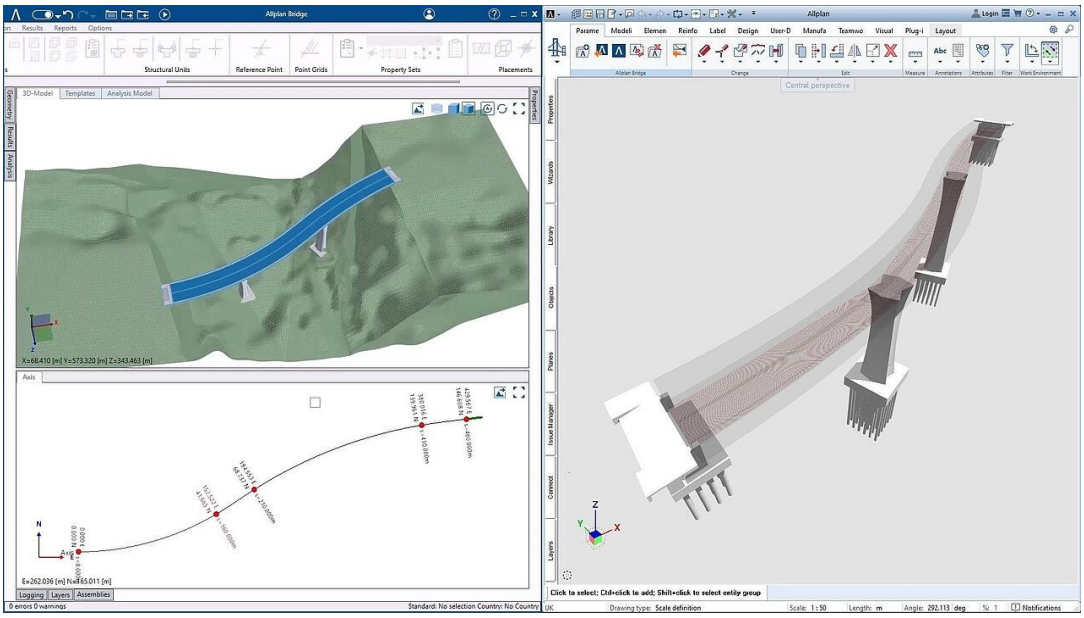
2.2. Ecosistemul tehnologic

Fluxul propus integrează soluții de modelare parametrică (ALLPLAN Road și ALLPLAN Civil), coordonare interdisciplinară prin mediul comun de date (Bimplus) și platforme dedicate managementului operațional (dTwin). Pentru a asigura generarea Cărții Digitale a Construcției, uneltele de proiectare utilizate oferă capabilități tehnice fundamentale, structurate pe trei piloni principali:

Aliniament, Teren și Axe: Axele reprezintă referința centrală pentru toate modelele de drumuri, poduri și tuneluri. Sistemul oferă funcții complete, complet parametrice, pentru alinierea orizontală și verticală. Terenul beneficiază de o reprezentare realistă și de editare precisă a punctelor și platformelor, asigurând compatibilitatea de import/export cu formate precum LandXML, XYZ, REB sau ASCII.

Proiectarea **Drumurilor (Road Engineering)**: Printr-un modul specializat cu manager de axe și secțiuni transversale, se generează modelul 3D al drumului. Interfața modernă și fluxul ghidat prin șabloane facilitează planificarea variantelor, actualizarea automată a modelului parametric și generarea rapidă de volume și rapoarte.

Proiectarea Podurilor (Bridge Engineering): Modelul geometric, analiza, proiectarea și verificarea sunt integrate într-un singur mediu de lucru. Modelele 3D parametrice permit planificarea flexibilă a variantelor și actualizarea automată.



https://www.allplan.com/blog/paving-the-way-for-advanced-infrastructure-delivery-with-allplan-2024/

2.3. Transferul datelor prin IFC 4.3

Aprobarea standardului IFC 4.3 introduce clase dedicate infrastructurii de transport (IfcRoad, IfcAlignment, IfcBridge). O comparație între transferul tradițional de date și fluxul BIM open-source este detaliată în Figura 1.

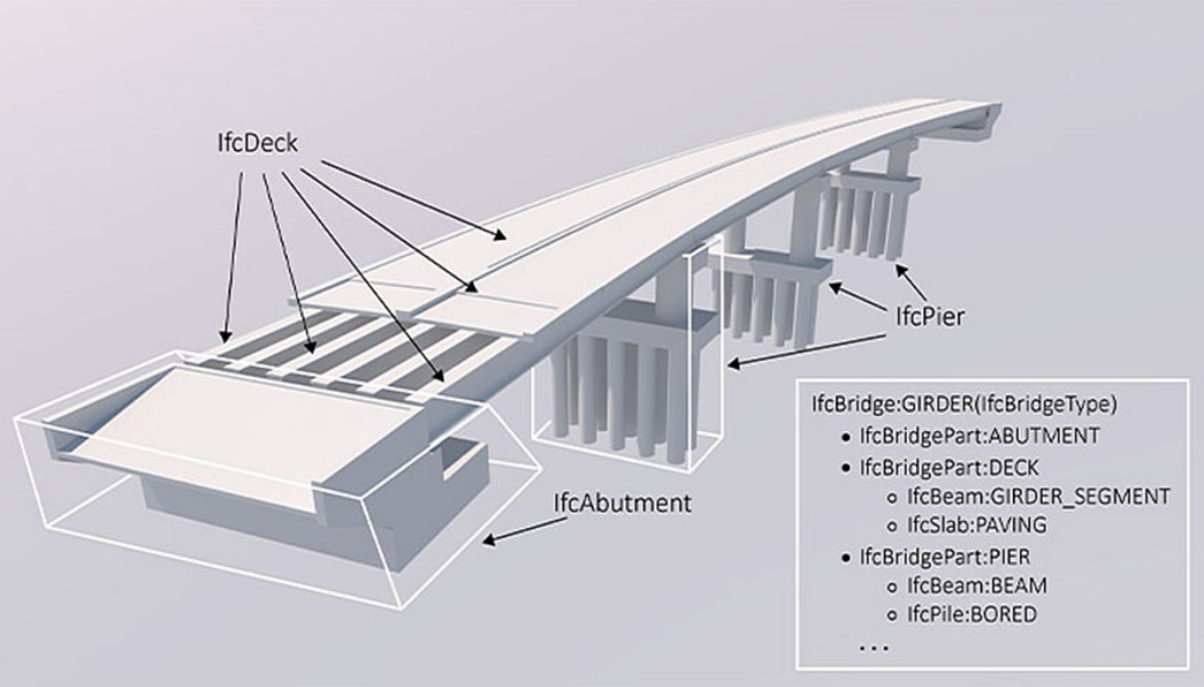


Figura : Schema fluxului informațional: ALLPLAN prin IFC 4.3

Trasabilitatea atributelor pentru diferite elemente de infrastructură, în urma procesului de export, este sintetizată în tabelul de mai jos. Datele confirmă conservarea proprietăților alfanumerice necesare etapei de mentenanță.

Tabelul 1. Atribute alfanumerice după tipul de clasă IFC 4.3

Element Infrastructură	Clasă IFC 4.3	Atribute Exportate
Ax Traseu	IfcAlignment	Geometrie 3D, Staționare, Declivități, Curbe de racordare
Structură Rutieră	IfcRoad / IfcCourse	Grosime strat, Tip îmbrăcăminte, Volum îmbrăcăminte asfaltică
Culee Pod	IfcBridge / IfcBearing	Clasă beton, Armare PSet, Tip aparat reazem, Producător
Semnalizare / Parapet	IfcElementAssembly	Tip barieră de siguranță, Nivel protecție, Cod catalog

Validarea ipotezei se realizează în Mediul Comun de Date (Bimplus). La exportul din ALLPLAN, proprietățile unui drum sau ale unui pod sunt mapate automat în seturi de proprietăți standardizate, precum Pset_RoadCommon sau Pset_BridgeCommon.

Procesul de validare în CDE confirmă că parametrii de tip *string* sau *real* aferenți obiectelor sunt asociați corect prin relații *IfcRelDefinesByProperties*, eliminând complet pierderea de date tehnice la schimbul de fișiere între discipline.

2.4. Aplicabilitatea soluțiilor în proiecte reale

Relevanța unei metodologii BIM este demonstrată prin capacitatea acesteia de a fi aplicată și adaptată în proiecte de infrastructură de diferite dimensiuni și grade de complexitate.

Soluțiile din ecosistemul ALLPLAN, în special modulele dedicate infrastructurii civile și podurilor, au fost utilizate în proiecte internaționale de referință, precum Queensferry Crossing, Tamina Bridge sau Tunelul Gotthard, evidențiind avantajele modelării parametrice și ale integrării informațiilor tehnice în procesele de proiectare.

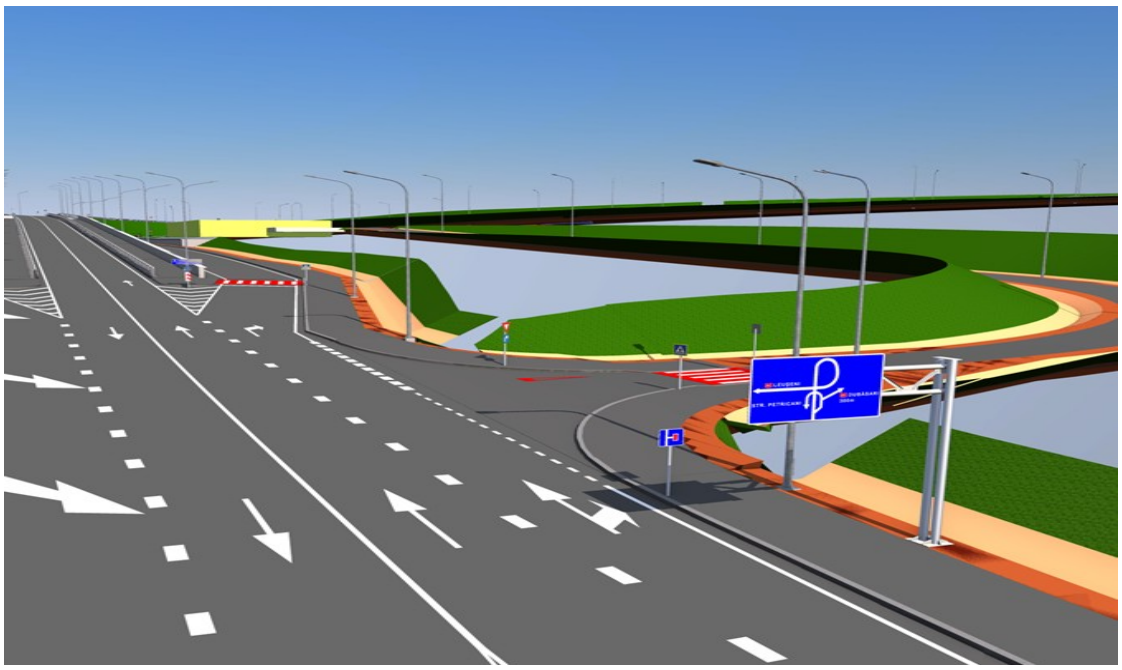


https://www.allplan.com/references/bridge-engineering/

Pentru exemplificarea aplicabilității acestei abordări în context regional, a fost selectat **un studiu de caz din Republica Moldova**, relevant prin specificul lucrărilor de infrastructură, complexitatea soluțiilor tehnice și necesitatea adaptării proceselor de proiectare la cerințele și normativele locale.

Procesul de modelare a avut la bază definirea axelor de referință și a secțiunilor transversale parametrice, permițând adaptarea geometriei la modificările de traseu și actualizarea automată a cantităților asociate. Această abordare facilitează analiza variantelor de proiectare, optimizarea soluțiilor tehnice și reducerea operațiunilor repetitive.

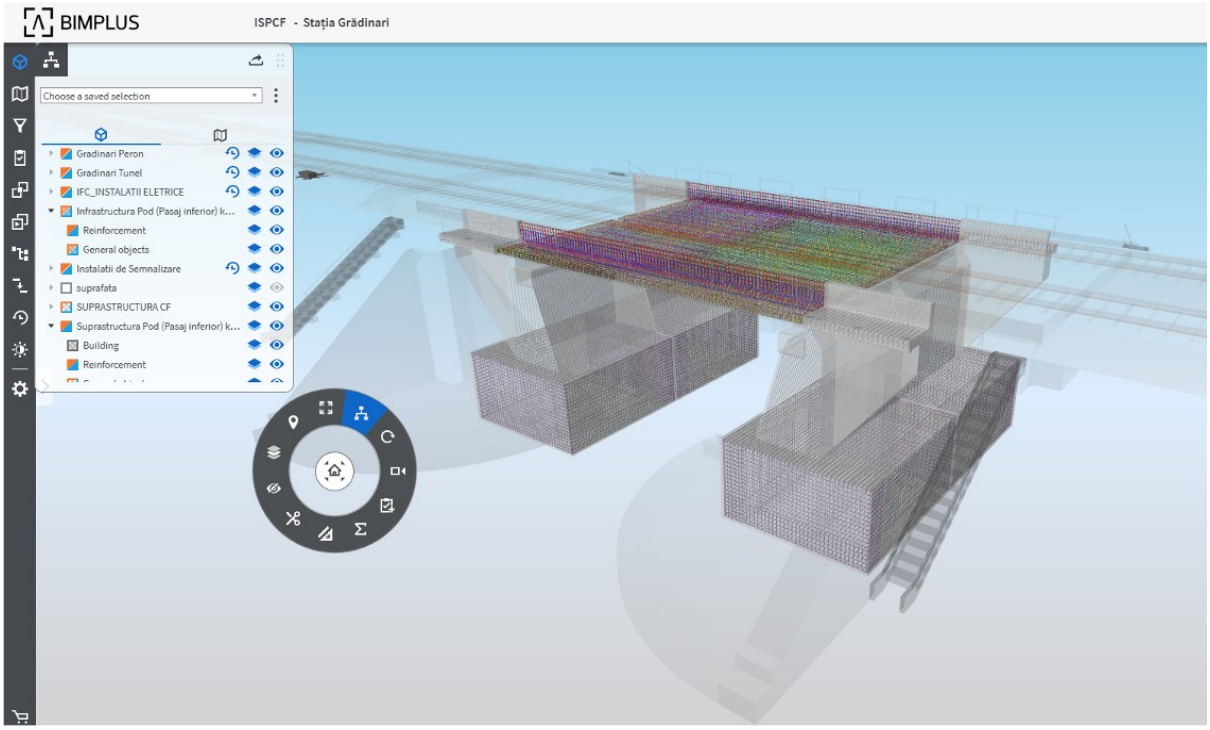
Instrumentele Allplan au simplificat definirea modelelor 3D pentru întreaga infrastructură și gestionarea lor eficientă, asigurând că proiectul respectă atât standardul EN ISO 19650, cât și formatul specific infrastructurii IFC 4.3. Allplan Civil a fost util pentru integrarea podului modelat parametric pe axa unică a drumului, menținând variabilele și atributele parametrice asociate elementelor.



În completarea studiilor de caz internaționale și a exemplului din Republica Moldova, **proiectul feroviar București Nord–Craiova, realizat de ISPCF**, reprezintă un exemplu relevant pentru demonstrarea aplicabilității metodologiei BIM în infrastructura feroviară din România.

Particularitatea acestui studiu de caz constă în replicarea digitală a unei lucrări deja executate, prin implementarea unui flux de lucru BIM în ecosistemul ALLPLAN. Obiectivul nu a fost reproiectarea soluției tehnice, ci reconstruirea acesteia într-un mediu de modelare parametrică, pentru a evidenția modul în care un proiect realizat prin metode tradiționale poate fi transpus într-un model digital inteligent, cu informații structurate și elemente parametrizate.

În același timp, modelul digital reprezintă o bază comună de informații pentru coordonarea interdisciplinară, asigurând continuitatea și valorificarea datelor tehnice pe parcursul etapelor de proiectare, execuție, exploatare și mentenanță a infrastructurii.



© ISPCF, model BIMPLUS al unei secțiuni de pod, 2025

Aceste exemple practice subliniază faptul că tranziția către BIM este deja un standard operațional capabil să gestioneze complexitatea proiectelor reale, reducând riscurile în execuție și asigurând o bază de date fidelă pentru perioada de exploatare.

2.5. De la modelul as-built la exploatare: geamănul digital

Toate etapele descrise până acum ar rămâne un exercițiu de proiectare dacă informația s-ar opri la recepția lucrării. Aici intervine dTwin, platforma ca**re permite valorificarea informațiilor din modelul BIM și în etapa de exploatare și administrare a infrastructurii.**

Prin utilizarea standardului deschis **IFC 4.3, dezvoltat pentru a răspunde inclusiv cerințelor specifice infrastructurii rutiere și feroviare, precum și lucrărilor de artă – poduri și viaducte**, informațiile din modelele BIM pot fi transferate într-o structură logică și organizată.

În cazul infrastructurii rutiere, aceasta include aliniamente, tronsoane, straturi rutiere, elemente de siguranță și semnalizare, iar în cazul podurilor, elemente precum infrastructura și suprastructura, pilele, culeele, grinzile, tablierul și aparatele de reazem, împreună cu proprietățile și atributele tehnice asociate.

Această structurare permite ca informațiile dezvoltate în proiectare și actualizate în execuție să fie valorificate ulterior în etapa de administrare și mentenanță, cu condiția validării transferului de date între aplicații.

Diferența față de o arhivă digitală este că obiectele din model devin punct de ancorare pentru informația de exploatare. Rezultatele inspecțiilor, intervențiile

executate, defectele constatate și documentele asociate se leagă de elementul concret la care se referă, nu de un număr de dosar.

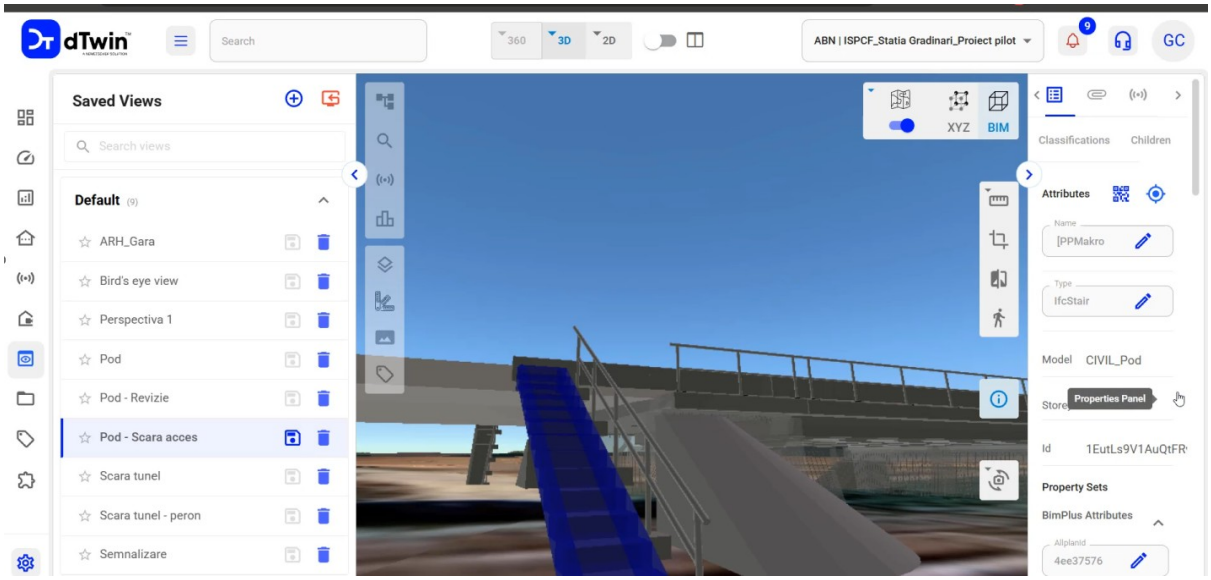


Figura 5. dTwin – Captura proiect pilot ISPCF

3. CONCLUZII

Lucrarea demonstrează că modelul digital depășește rolul de instrument static, devenind fundamentul deciziilor administrative și tehnice. Implementarea soluțiilor parametrice din suita ALLPLAN, corelată cu standardul IFC 4.3 și platforme precum Bimplus și dTwin, transformă geometria într-o veritabilă bază de date relațională.

Raportat la ipotezele formulate, se pot reține următoarele:

- **Ipoteza 1 (Standardizare): Validată metodologic.** Aplicarea cadrului EN ISO 19650-1:2019 și calibrarea nivelului de detaliere prin ISO 7817-1:2024 (LOIN) optimizează structura containerelor de date, prevenind supraîncărcarea modelelor 3D și asigurând o Carte Digitală a Construcției strict orientată către cerințele din faza de mentenanță.
- **Ipoteza 2 (Eficiență): Confirmată.** Utilizarea componentelor parametrice reduce erorile de modelare geometrică (modificările de aliniament propagându-se automat în secțiuni și liste de cantități), iar optimizarea timpului de actualizare este cuantificată prin relația T_e.
- **Ipoteza 3 (Interoperabilitate): Confirmată cu abateri minore.** Transferul prin standardul openBIM IFC 4.3 a conservat atributele tehnice alfanumerice complexe ale elementelor analizate, înregistrându-se neconcordanțe minore doar la nivelul elementelor de pod.
- **Ipoteza 4 (Exploatare): Confirmată calitativ.** Conectarea modelului *as-built* la platforma de tip geamăn digital (dTwin) elimină etapa de reconstituire manuală a informației — principalul factor de întârziere în

intervenții. Cuantificarea exactă pe baza indicatorilor măsurați rămâne un obiectiv pentru etapa următoare a cercetării.

Pentru ca aceste metodologii să devină o practică curentă, este necesară corelarea eforturilor între mediul universitar și industrie, prin evenimente de specialitate precum InfraDays, care facilitează adoptarea noilor standarde în proiectele de infrastructură din România [2].

InfraDays răspunde tocmai acestei nevoi, creând un spațiu de dialog între specialiștii din industrie, mediul academic și viitorii profesioniști din domeniul infrastructurii.

Încă de la prima ediție, organizată în **2018, în parteneriat cu Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri (CFDP) din cadrul UTCB**, conferința a pornit de la ideea de a aduce împreună educația, cercetarea și practica inginerească. Astăzi, continuăm să construim pe aceleași principii, adaptând temele de discuție la provocările și transformările actuale ale industriei.

Inteligența artificială și standardele educaționale, cele două direcții centrale ale ediției, nu sunt teme separate, ci complementare: digitalizarea și continuitatea datelor creează premisele utilizării inteligenței artificiale, în timp ce educația și dezvoltarea competențelor pregătesc generațiile de specialiști capabili să integreze aceste tehnologii în practică.

InfraDays își păstrează astfel misiunea inițială: să conecteze industria cu educația și să transforme dialogul dintre ele în soluții concrete pentru viitorul infrastructurii.

BIBLIOGRAFIE

[1]. FMI CORPORATION: *Big Data = Big Questions for the Engineering and Construction Industry, Raport tehnic privind managementul datelor, FMI Corporation, Raleigh,* ***2018****.*

[2]. G.T. CĂLIN, A.M. GUZGAN: *Digitalizarea infrastructurii rutiere prin modele parametrice și medii comune de date, Lucrările Conferinței InfraDays, Brașov,* ***2026****.*

[3]. BUILDINGSMART INTERNATIONAL: *IFC 4.3 Infrastructure Extension Deployment, Ghid de implementare openBIM, buildingSMART, Londra,* ***2024****.*

[4]. SR EN ISO 19650-1:*2019: Organizarea și digitalizarea informațiilor despre clădiri și lucrări de inginerie civilă, inclusiv modelarea informațiilor despre clădiri (BIM) - Managementul informațiilor prin utilizarea modelării informațiilor despre clădiri. Partea 1: Concepte și principii, ASRO,* ***2019****.*

[5]. ISO 7817-1:*2024: Building information modelling — Level of information need — Part 1: Concepts and principles, ISO,* ***2024****.*

MODELAREA 3D A PODURILOR, O SOLUȚIE MODERNĂ PENTRU IDENTIFICAREA DEFECTELOR ŞI ANALIZA DETALIATĂ A ACESTORA

Haralambe Florin, ing., Serviciul GIS şi Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Negoiță Mihai Marian, ing., Serviciul GIS și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Brașov Teodor Gabriel, ing., Serviciul Model de Transport, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Progresul tehnologiei permite realizarea modelelor 3D ale podurilor pe baza fotogrametriei aeriene. Aceste modele permit analizarea structurii cu ușurință, inclusiv în zonele greu accesibile. Modelele realizate la diferite intervale de timp pot fi utilizate pentru urmărirea evoluției degradărilor structurii în timp. Lucrarea prezintă utilizarea fotogrametriei aeriene cu dronă pentru realizarea unui model 3D al podului de pe DN5 peste râul Argeş (la Adunații Copăceni), în scopul evaluării detaliate a structurii și a comportării acestuia. Podul analizat are aproximativ 260 m lungime și o structură mixtă oțel–beton. Fotografierea aeriană a fost realizată cu o dronă echipată cu receptor GNSS RTK, asigurând georeferențierea centimetrică a imaginilor. Planul de zbor fotogrametric a inclus rute transversale și longitudinale, cu camera orientată nadiral (90°) și oblic (~45°), asigurând o suprapunere de peste 70% între cadre, pentru acoperirea completă a structurii din unghiuri diferite. Suplimentar, au fost captate imagini detaliate ale fațadelor laterale ale podului (printr-un zbor ascendent în zig-zag de-a lungul uneia dintre laturi) și ale părților inferioare (intradosul tablierului și al pilelor, prin zbor manual sub pod), astfel încât toate componentele structurale să fie fotografiate. În teren au fost amplasate, de asemenea, marcaje pentru punctele de control (GCP – Ground Control Points), cu coordonate determinate cu precizie prin GPS, utilizate ulterior la calibrarea modelului. Datele colectate (câteva sute de fotografii) au fost prelucrate cu ajutorul unui software specializat (Agisoft Metashape Professional). Pașii de procesare au constat în: alinierea fotografiilor (generarea unui nor de puncte inițial), densificarea norului de puncte (obținerea unui nor dens care descrie geometria detaliată a structurii), generarea modelului poligonal 3D (mesh) al podului și aplicarea texturii fotografice pe suprafața acestuia. Modelul 3D rezultat este realist, detaliat și referențiat într-un sistem de coordonate real, permițând realizarea unor analize cantitative și calitative.

Cuvinte cheie: fotogrametrie aeriană, model 3D, receptor GNSS RTK, dronă, nor de puncte.

Abstract

Advances in technology make it possible to create 3D models of bridges based on aerial photogrammetry. These models facilitate the analysis of structural elements, including those located in hard-to-access areas. Models generated at different time intervals can also be used to monitor the progression of structural deterioration over time. This paper presents the use of drone-based aerial photogrammetry to develop a 3D model of the bridge carrying National Road DN5 over the Arges River (at Adunatii Copaceni), with the objective of performing a

detailed assessment of its structure and behavior. The analyzed bridge is approximately 260 m long and has a composite steel–concrete structure. The aerial survey was conducted using a drone equipped with an RTK GNSS receiver, ensuring centimeter-level georeferencing accuracy of the images. The photogrammetric flight plan included both transverse and longitudinal flight paths, with the camera oriented in nadir (90°) and oblique (~45°) positions, providing more than 70% overlap between images and ensuring complete coverage of the structure from multiple viewing angles. In addition, detailed images of the bridge side elevations were captured through an ascending zigzag flight along one side of the bridge, while images of the underside (deck intrados and piers) were acquired through manual flights beneath the bridge. This approach ensured that all structural components were photographed. Ground Control Points (GCPs) were also established on site and surveyed using high-accuracy GPS measurements, providing reference coordinates for subsequent model calibration. The collected data, consisting of several hundred photographs, were processed using specialized software (Agisoft Metashape Professional). The processing workflow included photo alignment (generation of an initial point cloud), point cloud densification (creation of a dense point cloud representing the detailed geometry of the structure), generation of a 3D polygonal model (mesh) of the bridge, and application of photographic textures. The resulting 3D model is realistic, highly detailed, and georeferenced within a real-world coordinate system, enabling both quantitative and qualitative analyses.

Keywords: aerial photogrammetry, 3D model, GNSS RTK receiver, drone, point cloud.

1. INTRODUCERE

Infrastructura rutieră, în special podurile, necesită monitorizare structurală periodică pentru a asigura siguranța circulației și identificarea timpurie a eventualelor defecțiuni. Pe măsură ce multe poduri existente se apropie de limita duratei de serviciu proiectate, metodele tradiționale de inspecție devin adesea ineficiente, costisitoare și pot implica riscuri semnificative pentru echipele de inspectori (lucrul la înălțime, interferența cu traficul etc.). În acest context, fotogrametria aeriană cu ajutorul dronelor s-a impus ca o soluție modernă și eficientă pentru evaluarea stării podurilor, oferind posibilitatea generării de modele 3D detaliate ale structurilor. O astfel de abordare permite colectarea rapidă de date vizuale din multiple unghiuri și crearea unui „geamăn digital” al podului, care poate fi examinat în detaliu în mediul virtual. Imaginile oblice (realizate la un unghi de ~45° față de verticală) surprind nu doar partea superioară a tablierului, ci și fețele laterale ale elementelor structurale, furnizând informații bogate, ce nu pot fi obținute din fotografii aeriene strict verticale.



Figura 1. Drona DJI Phantom 4 RTK

Lucrarea de față prezintă metodologia de realizare a unui model 3D al podului de pe DN5 peste râul Argeș, la Adunații Copăceni, folosind o dronă echipată cu sistem GNSS RTK și tehnici de fotogrametrie oblică. Podul studiat are aproximativ 260 m lungime și o structură mixtă (elemente din oțel și beton armat). Scopul modelării 3D a fost obținerea unei documentații digitale detaliate asupra geometriei podului, în vederea determinării săgeții acestuia (deformația verticală sub încărcare, care nu este vizibilă cu ochiul liber) și a identificării eventualelor defecte sau degradări ale structurii.

2. METODOLOGIA DE REALIZARE A MODELULUI 3D

Captarea datelor aeriene:

Pentru colectarea datelor, s-a utilizat o dronă dotată cu receptor GNSS în modul RTK, care a înregistrat poziția fiecărei fotografii cu o precizie de ordinul centimetrilor [2]. De asemenea, în jurul podului au fost amplasate mai multe puncte de control la sol (Ground Control Points – GCP) [2], materializate prin markeri vopsiți, ale căror coordonate au fost determinate cu un receptor GPS de înaltă precizie; aceste repere au fost ulterior folosite în procesarea fotogrametrică pentru calibrarea și creșterea acurateței modelului 3D obținut.

Zborurile fotogrametrice au fost planificate astfel încât să asigure o acoperire completă a podului din toate unghiurile relevante. S-au efectuat mai multe misiuni de zbor distincte:

- Zbor transversal oblic [2] – un set de rute de zbor perpendiculare pe axul podului, cu camera dronei înclinată ~45° față de verticală, pentru a captura structura din lateral și de sus simultan. Aceste imagini suprapuse asigură acoperirea întregii lungimi a podului într-o direcție transversală.

- Zbor longitudinal oblic [2] – un set de rute de zbor de-a lungul podului (paralel cu axul acestuia), realizate tot cu camera la 45°, pentru a surprinde detalii de-a lungul direcției de mers. Împreună, zborurile transversal și longitudinal creează un grid de imagini oblice care surprind podul din perspective ortogonale diferite.
- Zbor lateral „piramidă” – o misiune de zbor automat realizată de-a lungul uneia dintre lateralele podului, în care drona a parcurs întreaga lungime a podului la o altitudine joasă, apoi a revenit în sens opus la o altitudine puțin mai mare și a repetat procesul în mai multe „straturi”. Prin acest zbor în zig-zag ascendent s-au capturat imagini detaliate ale fațadei laterale a podului, de la nivelul apei până la nivelul tablierului, cu suprapuneri suficiente între benzi pentru reconstrucția 3D fidelă.
- Fotografierea substructurii – zonele de sub pod, precum intradosul tablierului și pilele (picioarele podului), au fost fotografiate manual prin zboruri controlate sub tablier, astfel încât elementele structurale inferioare (grinzi, aparate de reazem, infrastructura) să fie și ele documentate vizual.

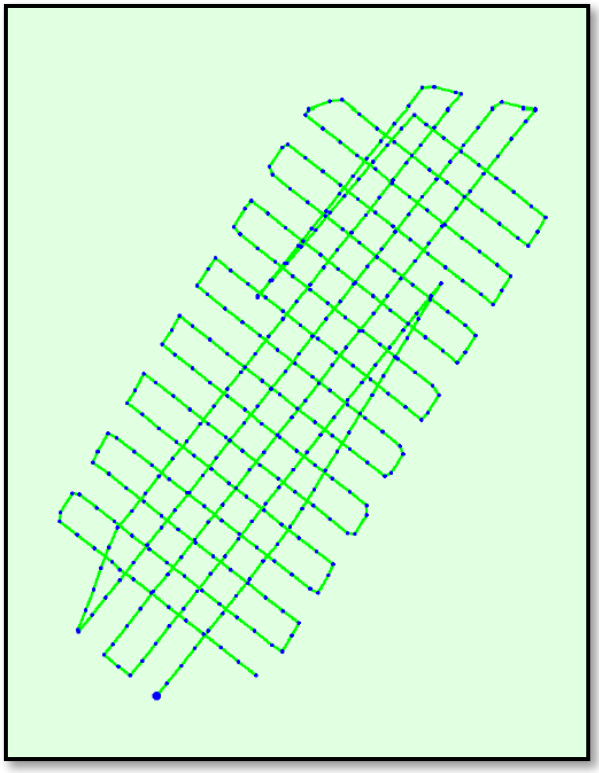


Figura 2. Vedere de sus a poziției fotografiilor realizate

Prelucrarea datelor și generarea modelului 3D:

Fotografiile obținute au fost ulterior procesate utilizând software-ul Agisoft Metashape Professional, parcurgând etapele standard ale reconstrucției fotogrametrice.

Pașii de procesare au fost:

- ✓ Alinierea fotografiilor (*Align Photos)* – software-ul detectează puncte omologe în imagini şi calculează poziţiile relative ale camerelor, generând un nor de puncte dispersat (sparse) ce schiţează structura podului.
- ✓ Construirea norului dens de puncte (*Build Dense Cloud*) – pe baza aliniamentului iniţial se generează un nor de puncte dens, mult mai detaliat, care modelează cu precizie suprafeţele podului.
- ✓ Construirea modelului poligonal (Mesh) (*Build Mesh*) – norul dens este folosit pentru a crea o plasă poligonală tridimensională (reţea de triunghiuri) ce reprezintă geometria continuă a podului (tablier, grinzi, piloni etc.).
- ✓ Aplicarea texturii (*Build Texture*) – fotografiile originale sunt proiectate pe suprafaţa modelului 3D sub forma unei texturi fotorealiste, conferind modelului detalii vizuale de înaltă rezoluţie.

În urma acestor paşi, s-a obţinut un model 3D digital complet al podului, georeferenţiat în sistem de coordonate real, cu textură realistă, care reproduce fidel geometria şi starea suprafeţelor structurii la momentul scanării, precum şi ortomozaicul şi modelul digital al terenului (DSM).

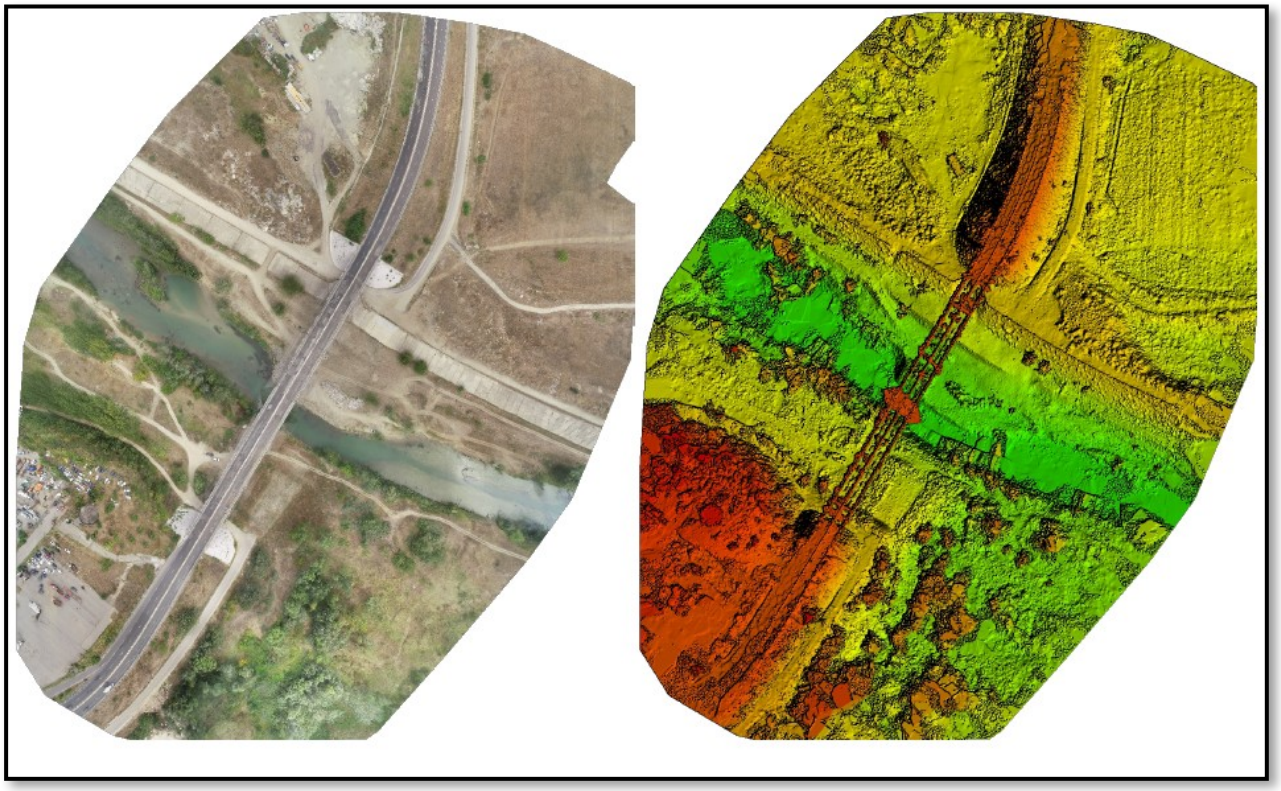


Figura 3. Ortomozaic şi modelul digital al terenului (DSM)



Figura 4. Model 3D pod – vedere din amonte



Figura 5. Model 3D pod – vedere din aval



Figura 6. Model 3D pod vedere dinspre București



Figura 7. Model 3D pod vedere dinspre Giurgiu

Modelul tridimensional al podului astfel generat oferă o bază bogată pentru analize cantitative și calitative asupra structurii.

Din model se pot deriva produse topografice și inginerești, precum:

- ✓ Curbe de nivel și modele digitale – folosind norul dens de puncte se poate extrage un model digital al suprafeței (DSM) pentru pod și zona adiacentă, din care se pot genera curbe de nivel ce evidențiază profilul longitudinal și transversal al tablierului.
- ✓ Secțiuni și măsurători dimensionale – modelul permite realizarea de secțiuni prin orice plan (longitudinal, transversal) pentru a verifica gabaritele și forma structurală. De asemenea, se pot măsura direct pe model distanțe (lungimi de elemente, deschideri, grosimi), arii (de exemplu suprafața carosabilă a podului sau a elementelor structurale) și chiar volume ale elementelor reprezentate. Aceste măsurători se realizează cu ușurință în software, având precizia asigurată de scalarea corectă a modelului.
- ✓ Analiza deformațiilor – unul dintre obiectivele cheie ale proiectului a fost determinarea săgeții podului, adică a deformației verticale a tablierului sub încărcare. Prin compararea modelului 3D al podului (ce reflectă geometria actuală, sub acțiunea încărcărilor din trafic) cu geometria teoretică (proiectată) sau cu modele similare obținute la momente diferite, se poate cuantifica deplasarea sau rotirea elementelor. Deși aceste deformații sunt în general de ordinul centimetrilor sau milimetrilor – deci invizibile ochiului liber – metoda fotogrametrică le poate detecta și măsura, așa cum indică

comparația dintre modelul 3D și măsurători tradiționale (ex. traductoare de deplasare), care arată diferențe sub 1 mm.

- ✓ Inspectarea stării suprafețelor – modelul 3D texturat oferă posibilitatea examinării vizuale de aproape a fiecărui element al podului. Defecte precum fisuri în beton, exfolieri ale stratului de protecție, zone de coroziune ale metalului sau deplasări ale elementelor pot fi identificate și localizate pe model prin inspecție virtuală. Utilizarea dronelor pentru inspecția structurilor civile s-a dovedit eficientă, în special pentru identificarea deteriorărilor structurale, iar în cazul de față modelul 3D al podului permite evidențierea acestor probleme fără a fi necesar accesul direct al inspectorilor în zone dificile.

Prin intermediul acestor aplicații, modelul 3D al podului de la Adunații Copăceni devine un instrument util pentru ingineri și administratorii infrastructurii: el poate fi folosit atât pentru evaluarea capacității portante (analizând săgeata sub sarcină și eventualele deformații permanente), cât și pentru planificarea lucrărilor de reabilitare (localizând zonele cu defecte ce necesită intervenție) sau pentru monitorizarea în timp a comportării structurii (comparând modele succesive ale podului, obținute la intervale diferite).

3. CONCLUZII

Studiul realizat demonstrează avantajele utilizării dronelor și fotogrametriei 3D în domeniul inspecției podurilor. Metoda aplicată pentru podul de peste Argeș (DN5 Adunații Copăceni) a permis obținerea rapidă a unui model digital detaliat, evidențiind caracteristici structurale care ar fi fost dificil de observat prin inspecție vizuală directă.

Comparativ cu tehnicile convenționale, inspecția aeriană cu drone reduce drastic timpul, costurile și efortul necesar inspectării unui pod, precum și riscurile pentru personalul implicat. Metoda propusă reprezintă o abordare modernă de inspecție, care oferă avantaje semnificative față de procedeele tradiționale, datorită colectării rapide de date detaliate fără a perturba traficul.

În același timp, precizia ridicată a rezultatelor (asigurată prin integrarea sistemului RTK și a punctelor de control) face ca informațiile extrase – de la măsurători geometrice până la identificarea defectelor – să poată sta la baza deciziilor inginerești.

Modelarea 3D a podurilor prin fotogrametrie UAV reprezintă, așadar, o unealtă modernă și valoroasă pentru gestionarea infrastructurii de transport. Un astfel de model poate fi arhivat și actualizat periodic, permițând monitorizarea evoluției stării structurii de la o inspecție la alta.

Pe măsură ce tehnologia dronelor și a software-ului fotogrametric evoluează, este de așteptat ca aceste metode să devină parte integrantă a

programelor de monitorizare structurală și întreținere preventivă a podurilor, completând metodele clasice de inspecție.

Pe baza modelului, se pot extrage curbe de nivel, secțiuni și se pot măsura direct distanțe, suprafețe sau volume. Modelul a permis determinarea săgeții podului – deformarea verticală a tablierului sub încărcare – un parametru invizibil ochiului liber, evidențiind astfel comportarea structurală reală. De asemenea, modelul texturat facilitează identificarea defectelor de suprafață (fisuri, coroziune, exfolieri) prin inspecția vizuală detaliată a elementelor, fără a necesita acces fizic direct la structura podului.

În concluzie, fotogrametria cu drone s-a dovedit o soluție eficientă și precisă pentru monitorizarea podurilor, oferind un „geamăn digital” al structurii ce poate fi examinat din orice unghi. Metoda reduce semnificativ timpul și riscurile față de inspecțiile tradiționale, furnizând totodată date bogate necesare analizelor structurale și deciziilor de întreținere.

BIBLIOGRAFIE

[1]. AGISOFT LLC (**2024**). *Agisoft Metashape Professional User Manual*. **2024**

[2]. DJI (**2018**). *DJI Phantom 4 RTK Technical Specifications and User Guide*. **2018**

MIXTURI ASFALTICE DRENANTE: COMPOZIȚIE ȘI PERFORMANȚE

Hoda Gavril, Conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: gavril.hoda@cfdp.utcluj.ro; **Beca Ilinca Mirela**, Șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: Ilinca.Beca@cfdp.utcluj.ro; **Clitan Andrei-Florin**, Șef lucr.dr.ing., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro.

Rezumat

Mixturile asfaltice drenante reprezintă o soluție tehnologică pentru îmbunătățirea performanțelor funcționale ale îmbrăcăminților rutiere, prin facilitarea evacuării apelor pluviale și reducerea zgomotului generat de interacțiunea pneu–cale de rulare. Lucrarea analizează particularitățile de compoziție și comportare ale acestor mixturi, evidențiind influența distribuției granulometrice, a volumului și conectivității golurilor, precum și a caracteristicilor liantului bituminos asupra permeabilității, performanței acustice și durabilității. Sunt prezentate comparativ caracteristicile mixturilor asfaltice convenționale, ale mixturilor SMA fonoabsorbante și ale mixturilor drenante, pe baza cercetărilor experimentale și a experienței internaționale privind utilizarea sistemelor monostrat și dublu strat. Lucrarea evidențiază necesitatea optimizării compoziției și a validării experimentale a soluțiilor propuse, în vederea asigurării unui echilibru între capacitatea de drenaj, performanța acustică și durabilitatea îmbrăcăminților rutiere.

Cuvinte cheie: mixturi asfaltice drenante, compoziție granulometrică, permeabilitate, performanță acustică, durabilitate.

Abstract

Porous asphalt mixtures represent a technological solution for improving the functional performance of road pavements by facilitating stormwater drainage and reducing noise generated by tire–pavement interaction. This paper examines the composition and performance characteristics of these mixtures, highlighting the influence of aggregate gradation, air void content and connectivity, as well as bituminous binder properties, on permeability, acoustic performance, and durability. The characteristics of conventional asphalt mixtures, noise-reducing Stone Mastic Asphalt (SMA) mixtures, and porous asphalt mixtures are comparatively analyzed based on experimental research and international experience with single-layer and double-layer systems. The paper emphasizes the need for mix design

optimization and experimental validation of the proposed solutions to achieve an appropriate balance between drainage capacity, acoustic performance, and pavement durability.

Keywords: porous asphalt mixtures, aggregate gradation, permeability, acoustic performance, durability.

1. INTRODUCERE

Performanțele funcționale ale straturilor de rulare sunt determinate atât de capacitatea acestora de a prelua solicitările generate de trafic, cât și de caracteristicile suprafeței de contact pneu–cale de rulare. Aderența în condiții de carosabil umed, evacuarea apelor pluviale, nivelul zgomotului generat de circulația rutieră și menținerea acestor proprietăți pe durata exploatării reprezintă criterii importante în evaluarea îmbrăcăminților rutiere. În acest context, mixturile asfaltice drenante constituie o soluție tehnologică prin care evacuarea apei se realizează prin intermediul unei rețele de goluri interconectate, care permite infiltrarea apei în stratul de rulare și dirijarea acesteia către marginile carosabilului.

Caracteristicile funcționale ale îmbrăcăminților asfaltice sunt influențate în mod direct de compoziția mixturilor și de structura internă a acestora. Betonul asfaltic convențional (BA), mixturile asfaltice de tip SMA (Stone Mastic Asphalt) și mixturile asfaltice drenante (PA – Porous Asphalt) prezintă particularități distincte în ceea ce privește distribuția granulometrică, volumul și conectivitatea golurilor, permeabilitatea și comportarea acustică.

Diferențele de compoziție și structură internă determină particularitățile comportării hidraulice, mecanice și acustice ale acestor materiale, constituind baza analizei comparative prezentate în lucrare.

2. ALCĂTUIREA ȘI PROIECTAREA MIXTURILOR DRENANTE

Proiectarea și executarea straturilor din mixturi asfaltice se realizează în conformitate cu prevederile normativului AND 605-2016 [1], cu modificările ulterioare, și ale standardelor europene din seria SR EN 13108. Pentru mixturile asfaltice drenante, standardul SR EN 13108-7 [11] stabilește cerințele referitoare la compoziția materialului și la caracteristicile care trebuie declarate, inclusiv proprietățile volumetrice.

Din punct de vedere constructiv, utilizarea mixturilor drenante presupune așternerea acestora pe un strat-suport impermeabil, care permite dirijarea apelor infiltrate către marginile carosabilului și evacuarea lor prin dispozitivele de drenaj prevăzute în structura rutieră. Performanța sistemului depinde astfel atât de caracteristicile mixturii asfaltice, cât și de alcătuirea constructivă a stratului de rulare și de asigurarea continuității traseelor de evacuare a apei.

2.1. Schelet mineral, fracțiuni fine și liant

Compoziția granulometrică reprezintă unul dintre principalii factori care determină structura internă și proprietățile funcționale ale mixturilor asfaltice. În cazul betonului asfaltic convențional, distribuția continuă a dimensiunilor granulelor permite ocuparea spațiilor dintre agregatele grosiere de către fracțiunile fine și filer, rezultând o structură relativ compactă.

Mixturile asfaltice drenante se caracterizează printr-o distribuție granulometrică deschisă, cu o proporție redusă a fracțiunilor intermediare. Agregatele grosiere formează un schelet mineral portant, în interiorul căruia se dezvoltă o rețea de goluri interconectate. Capacitatea de circulație a apei prin această structură este influențată de volumul golurilor deschise, dimensiunea și continuitatea canalelor de curgere, precum și de tortuozitatea acestora.

Calitatea agregatelor influențează comportarea mecanică și durabilitatea mixturii. Rezistența la fragmentare, rezistența la lustruire și forma granulelor contribuie la stabilitatea scheletului mineral și la menținerea contactelor dintre particule. În același timp, caracteristicile liantului bituminos determină coeziunea mixturii și rezistența la desprinderea agregatelor sub acțiunea traficului.

Utilizarea bitumurilor modificate cu polimeri reprezintă o soluție frecvent adoptată pentru îmbunătățirea adezivității și a comportării liantului în condiții de solicitare. Dozajul acestuia trebuie corelat cu distribuția granulometrică și cu volumul golurilor, astfel încât pelicula bituminoasă să asigure o legătură corespunzătoare între agregate, păstrând în același timp continuitatea porilor. Un conținut redus de liant favorizează desprinderea granulelor, în timp ce creșterea excesivă a dozajului poate conduce la scurgerea liantului în timpul preparării, transportului și așternerii, cu efect asupra structurii poroase. Fibrele stabilizatoare pot contribui la controlul acestui fenomen, dozajul lor fiind stabilit prin încercări de laborator.

Tabelul 1. Caracteristici comparative ale betonului asfaltic convenţional şi mixturilor asfaltice drenante [2], [9], [10]

Parametru	BA convențional	PA drenant
Distribuția granulelor	continuă / densă	deschisă, deficit de fracțiuni intermediare
Goluri, valori orientative	3–6%	18–25%
Circulația apei	predominant superficială	prin pori și lateral
Mecanism acustic	textură / contact pneu	textură + absorbție în pori
Risc specific	făgașe, fisuri	colmatări, ravelling, oxidare

Proiectarea compoziției urmărește asigurarea unui echilibru între capacitatea de drenaj și rezistența mecanică a mixturii. În acest scop, determinările volumetrice sunt completate cu încercări privind pierderea de material prin metoda Cantabro, scurgerea liantului, sensibilitatea la apă și rezistența la deformații permanente. Corelarea rezultatelor permite evaluarea influenței dozajului de liant și a structurii granulometrice asupra comportării materialului.

Un exemplu relevant este prezentat în studiul experimental asupra mixturilor asfaltice cu porozitate ridicată [3], în care au fost determinate volume de goluri de 4,1% pentru SMA 5, 13,8% pentru BBTM 8, 18,6% pentru BBTM 11, 23,4% pentru PA 8 și 25,8% pentru PA 11. Rezultatele evidențiază variația structurii volumetrice în funcție de tipul mixturii și de distribuția granulometrică. În cazul mixturilor cu porozitate ridicată, evaluarea capacității de drenaj trebuie corelată cu rezistența la dezagregare și cu menținerea proprietăților funcționale în exploatare.

2.2. Curbe granulometrice și exemple de compoziție

Diferențele de alcătuire dintre mixturile asfaltice convenționale și cele drenante pot fi evidențiate prin analiza curbelor granulometrice. În Figura 1 sunt prezentate comparativ distribuțiile granulometrice caracteristice celor două categorii de materiale. Curba mixturii drenante evidențiază reducerea proporției fracțiunilor intermediare, care favorizează formarea spațiilor dintre agregatele grosiere și dezvoltarea unei structuri poroase.

Caracteristicile volumetrice rezultate depind atât de distribuția granulometrică, cât și de condițiile de compactare. Pentru aceeași compoziție minerală, variația energiei de compactare poate modifica volumul golurilor și, implicit, proprietățile hidraulice ale mixturii.

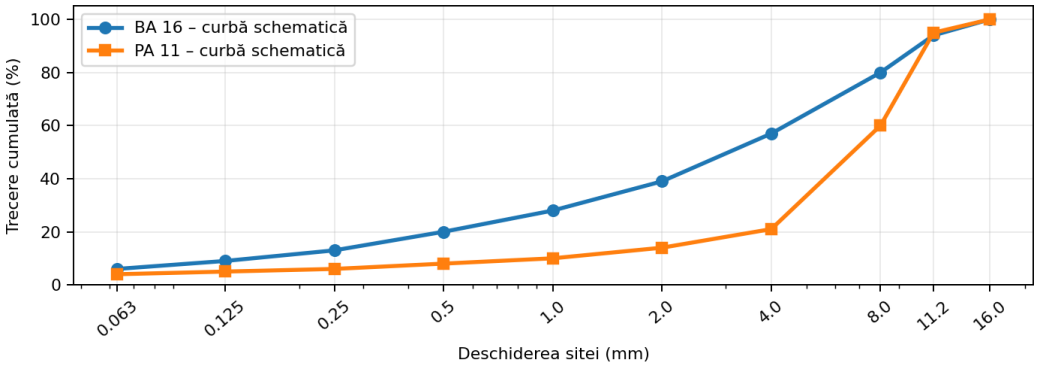


Figura 1. Comparație curbe granulometrice BA–PA [1], [9]

Pentru definirea unei compoziții, anvelopa granulometrică este completată cu proporțiile agregatelor pe sorturi, conținutul de filer, tipul și dozajul liantului bituminos, densitatea aparentă, volumul golurilor și rezultatele încercărilor de performanță.

Tabelul 2. Exemplu de anvelopă granulometrică PA 11 din studii experimentale [10]

Sită (mm)	16	11,2	8	4	2	0,5	0,063
Trecere PA 11 (%)	100	90÷100	50÷70	13÷27	10÷17	5÷12	3÷6

3. DRENAJUL APEI ȘI PERFORMANȚA ACUSTICĂ

3.1. Porozitate și permeabilitate

Capacitatea de drenaj a mixturilor asfaltice poroase este determinată de structura și continuitatea rețelei de goluri dezvoltate în interiorul stratului. Distribuția granulometrică deschisă favorizează infiltrarea apei prin suprafața de rulare și circulația acesteia prin canalele interconectate, până la evacuarea laterală pe suprafața stratului-suport impermeabil.

Permeabilitatea este influențată de volumul golurilor accesibile circulației apei, de dimensiunea și geometria canalelor de curgere, precum și de gradul de compactare a mixturii. În consecință, evaluarea comportării hidraulice presupune corelarea caracteristicilor volumetrice cu determinările experimentale ale permeabilității.

Rezultatele cercetării prezentate în [10], sintetizate în Tabelul 3, evidențiază variații ale permeabilității pentru trei compoziții PA 11. Mixturile cu volume de goluri apropiate au prezentat valori similare ale permeabilității, în timp ce compoziția cu porozitate mai ridicată a înregistrat o capacitate de drenaj superioară. Diferențele sunt asociate caracteristicilor scheletului mineral, naturii agregatelor și conținutului de liant.

Tabelul 3. Caracteristici volumetrice și hidraulice ale mixturilor PA 11 [10]

Mixtură	Goluri (%)	Permeabilitate (cm/s)	Liant (%)
PA-SSC	21,1	0,0901	5,0
PA-SLL	21,7	0,0904	5,0
PA-ELL	24,3	0,1510	4,2

Diferența dintre compoziția cu 24,3% goluri și cele cu circa 21% este vizibilă: permeabilitatea este mai mare. Totuși, seria cu trei compoziții nu demonstrează o lege generală între cele două mărimi, deoarece diferă și liantul, precum și alcătuirea scheletului mineral. Rezultatul susține necesitatea determinării permeabilității efective, nu estimarea ei numai din volumul de goluri.

Calculul volumului de goluri se bazează pe densitatea maximă și densitatea aparentă:

$$V_a = 100 \times (1 - \rho_b/\rho_m) \quad (1)$$

unde ρb este densitatea aparentă a probei compactate și ρm este densitatea maximă a mixturii.

Pentru valorile experimentale ρb = 2,00 g/cm³ și ρm = 2,54 g/cm³ rezultă V_a ≈ 21,3%, apropiat de valoarea raportată de 21,1% pentru PA-SSC [10]. Aplicarea relației pentru valorile experimentale prezentate în [10] conduce la rezultate apropiate de cele determinate în laborator, confirmând utilitatea acesteia pentru caracterizarea volumetrică a mixturilor. Evaluarea capacității efective de drenaj se realizează prin determinarea permeabilității, care reflectă și influența conectivității porilor asupra circulației apei.

3.2. Traseul apei, colmatarea și comportarea la ploaie

În timpul exploatării, capacitatea de drenaj poate fi influențată de acumularea particulelor fine în structura poroasă. Praful, materialele transportate de pe suprafețele adiacente, particulele rezultate din uzura pneurilor și materialele

antiderapante contribuie la colmatarea progresivă a canalelor de circulaţie a apei. Depunerile se concentrează în special în zona superficială a stratului, unde reduc secţiunile disponibile pentru infiltrarea apei.

Studiul realizat în cadrul proiectului polonez CiDRO [7] a analizat comportarea mixturilor cu porozitate ridicată în condiţii de colmatare simulată, urmată de operaţiuni de curăţare mecanizată şi măsurători funcţionale. Cercetarea evidenţiază importanţa evaluării periodice a permeabilităţii şi a eficienţei intervenţiilor de întreţinere pentru menţinerea proprietăţilor funcţionale ale îmbrăcăminților drenante.

Curățarea prin utilizarea jeturilor de apă și a sistemelor de aspirație poate contribui la recuperarea parțială a capacității de drenaj.

3.3. Reducerea zgomotului: soluţii şi rezultatele din studii experimentale

Performanţa acustică a îmbrăcăminților rutiere este influențată de caracteristicile suprafeței de rulare și de mecanismele de interacţiune dintre pneu și carosabil. Zgomotul generat în zona de contact rezultă din vibrațiile anvelopei și din fenomenele aerodinamice asociate comprimării și evacuării aerului.

În cazul mixturilor asfaltice drenante, structura poroasă contribuie la modificarea acestor mecanisme prin facilitarea circulației aerului și absorbția unei părți din energia acustică. Performanța rezultată depinde de distribuția granulometrică, volumul și conectivitatea golurilor, textura suprafeței și grosimea stratului.

Mixturile asfaltice de tip SMA fonoabsorbant prezintă un mecanism de reducere a zgomotului asociat în principal caracteristicilor texturale ale suprafeței. Compararea acestora cu mixturile drenante permite evidențierea influenței compoziției și structurii materialului asupra comportării acustice.

Un exemplu relevant îl constituie studiul experimental realizat pe DN 2B, centura ocolitoare Brăila [4], care a analizat performanța acustică a unei îmbrăcăminți asfaltice de tip SMA fonoabsorbant. Rezultatele măsurătorilor au evidențiat o reducere medie de aproximativ 4,2 dB(A) a indicatorului Lzsn, cu variații în funcție de intervalul de evaluare.

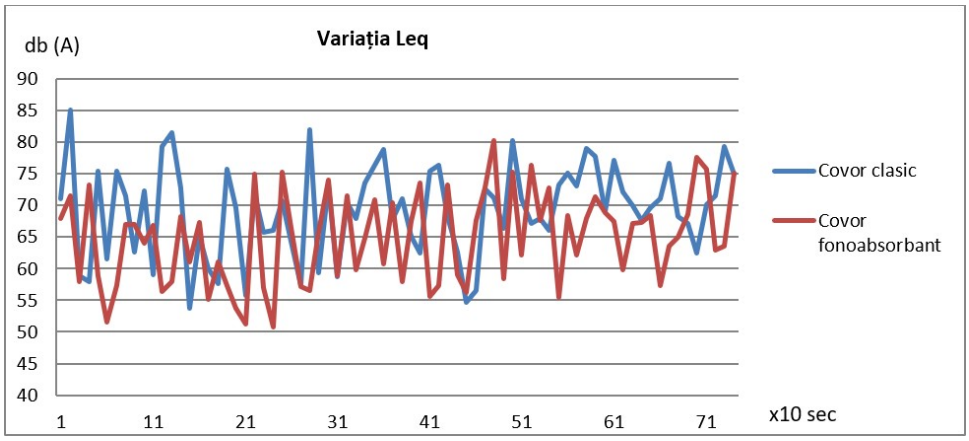


Figura 2. „Variația Leq”, cu covor clasic și covor fonoabsorbant, din studiul [4]

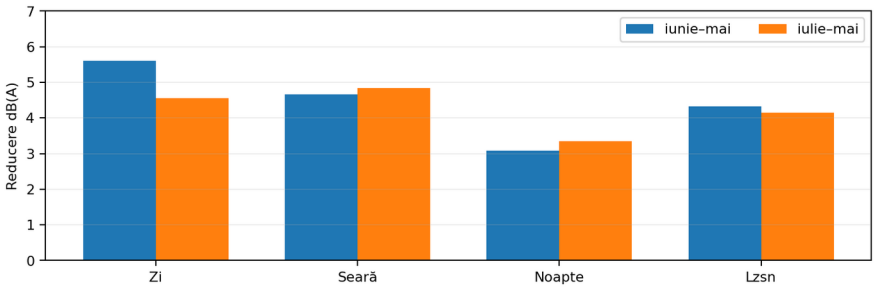


Figura 3. Comparație indicatori de zgomot din studiul [4]

Diferențele înregistrate între perioadele de zi, seară și noapte reflectă influența condițiilor de circulație, a structurii traficului și a vitezelor de deplasare asupra nivelului de zgomot. Măsurătorile zgomotului la trecerea vehiculelor caracterizează mai direct interacțiunea pneu–cale de rulare, în timp ce indicatorii de zgomot ambiental integrați pe intervale extinse reflectă și variațiile intensității și compoziției traficului.

Prin urmare, analiza rezultatelor experimentale trebuie corelată cu metodologia de măsurare și cu particularitățile fiecărui sector rutier, pentru evidențierea contribuției efective a tipului de îmbrăcăminte la reducerea zgomotului.

4. CERCETĂRI ȘI EXPERIENȚE INTERNAȚIONALE PRIVIND PERFORMANȚA MIXTURILOR ASFALTICE DRENANTE

Experiența internațională privind utilizarea mixturilor asfaltice drenante evidențiază preocuparea pentru dezvoltarea unor îmbrăcăminți rutiere care să asigure simultan reducerea zgomotului, evacuarea eficientă a apelor pluviale și

menținerea performanțelor în exploatare. Cercetările au urmărit optimizarea structurilor monostrat și dublu strat, precum și evaluarea influenței condițiilor climatice, a traficului și a proceselor de degradare asupra comportării acestora [6], [7], [8].

În Țările de Jos, cercetările realizate de Kuijpers și Van Blokland [8] evidențiază avantajele sistemelor drenante dublu strat, caracterizate prin utilizarea unui strat superior cu granulație fină, destinat reducerii zgomotului generat de interacțiunea pneu–cale de rulare, și a unui strat inferior cu granulație mai grosieră, care favorizează drenajul și absorbția acustică. Rezultatele experimentale indică reduceri ale nivelului de zgomot de aproximativ 5 dB(A) comparativ cu îmbrăcămințile asfaltice dense.

Studiul realizat de Goubert și colaboratorii [6], pe baza experiențelor internaționale privind utilizarea sistemelor dublu strat, evidențiază atât beneficiile acustice ale acestora, cât și limitările asociate durabilității și întreținerii. Colmatarea structurii poroase, modificarea texturii suprafeței și degradarea materialului pot determina diminuarea performanțelor funcționale în timp.

În Polonia, cercetările desfășurate în cadrul proiectului CiDRO [7] au urmărit identificarea unor soluții de îmbrăcăminți rutiere cu zgomot redus, adaptate condițiilor climatice locale. Programul experimental a inclus evaluarea comportării la apă și îngheț, a rezistenței la fisurare și a performanțelor acustice și hidraulice. Rezultatele evidențiază importanța monitorizării după sezonul rece și a evaluării colmatării, aspecte relevante pentru aplicarea acestor tehnologii în regiuni cu climat continental.

De asemenea, Gardziejczyk [5] a analizat influența duratei de exploatare asupra durabilității acustice a îmbrăcăminților rutiere cu zgomot redus din Polonia.

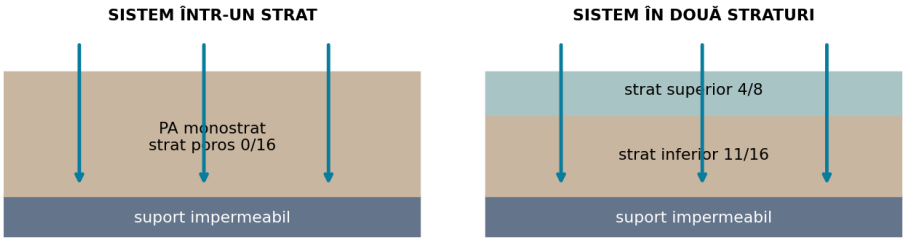


Figura 4. Principiul constructiv al sistemelor PA monostrat și dublu strat [2], [9]

Compararea experienţelor internaţionale evidenţiază faptul că sistemele dublu strat pot oferi avantaje acustice faţă de soluţiile monostrat, însă presupun cerinţe tehnologice şi de întreţinere mai ridicate. Alegerea soluţiei optime trebuie să ţină seama de condiţiile climatice, caracteristicile traficului, posibilitatea menţinerii permeabilităţii şi comportarea mecanică a mixturii [6], [7], [8].

În ansamblu, cercetările internaţionale confirmă că performanţa mixturilor asfaltice drenante trebuie evaluată prin corelarea eficienţei acustice şi hidraulice cu durabilitatea în exploatare. Pentru aplicarea acestor tehnologii în România, experienţele analizate susţin necesitatea validării experimentale pe sectoare-pilot şi a monitorizării multianuale, în vederea identificării soluţiilor adaptate condiţiilor locale de trafic şi climă.

5. DIRECŢII DE CERCETARE EXPERIMENTALĂ PENTRU APLICAREA MIXTURILOR ASFALTICE DRENANTE ÎN ROMÂNIA

Valorificarea experienţei internaţionale în condiţiile specifice României necesită dezvoltarea unor programe experimentale care să permită evaluarea comparativă a performanţelor hidraulice, acustice şi mecanice ale mixturilor asfaltice drenante. Cercetările ar trebui să urmărească influenţa compoziţiei granulometrice asupra proprietăţilor funcţionale, precum şi evoluţia acestora în condiţii reale de exploatare. În etapa de laborator, se propune analizarea a minimum trei compoziţii de mixturi asfaltice drenante, realizate cu agregate provenite din aceeaşi sursă şi cu aceeaşi clasă de liant bituminos, dar cu proporţii diferite ale fracţiunilor granulometrice. Evaluarea experimentală ar include determinarea volumului de goluri, a permeabilităţii, a pierderii de masă prin încercarea Cantabro şi a stabilităţii liantului. Menţinerea unor condiţii similare de preparare şi compactare ar permite evidenţierea influenţei compoziţiei asupra comportării mixturilor [9], [10].

Validarea rezultatelor în teren presupune realizarea unor sectoare experimentale cu caracteristici constructive şi condiţii de trafic comparabile. Se recomandă analizarea a două variante de mixturi drenante, a unei mixturi SMA fonoabsorbante şi a unui sector de referinţă executat din beton asfaltic convenţional. Monitorizarea ar trebui să includă determinări periodice ale permeabilităţii, caracteristicilor suprafeţei de rulare şi nivelului de zgomot, corelate cu intensitatea şi structura traficului, viteza de circulaţie şi condiţiile meteorologice [2], [4], [9].

O atenție deosebită trebuie acordată comportării îmbrăcăminților după sezonul rece, când acțiunea factorilor climatici și procesele de colmatare pot influența semnificativ performanțele funcționale. Experiențele internaționale evidențiază necesitatea monitorizării multianuale și a evaluării eficienței operațiunilor de întreținere pentru aprecierea durabilității acestor soluții [5], [7].

În acest context, cercetările experimentale ar permite identificarea unor compoziții adaptate condițiilor locale și fundamentarea unor recomandări privind proiectarea, execuția și întreținerea îmbrăcăminților asfaltice drenante în România.

Tabelul 4. Matrice de monitorizare [2], [4], [9]

Etapa evaluării	Indicatori principali	Obiectiv
Laborator	Granulometrie, volum de goluri, permeabilitate, Cantabro, scurgerea liantului	Optimizarea compoziției
După execuție	Permeabilitate, textură, aderență, zgomot	Stabilirea performanțelor inițiale
Monitorizare periodică	Permeabilitate, zgomot, degradări	Evaluarea evoluției funcționale
După sezonul rece	Colmatare, degradări, performanțe hidraulice și acustice	Evaluarea durabilității
După întreținere	Permeabilitate și zgomot	Evaluarea eficienței intervențiilor

6. CONCLUZII

Analiza mixturilor asfaltice drenante evidențiază influența compoziției granulometrice, a conectivității golurilor și a caracteristicilor liantului bituminos asupra performanțelor hidraulice, acustice și mecanice. Optimizarea compoziției presupune asigurarea unui echilibru între capacitatea de drenaj, rezistența la dezagregare și durabilitatea în exploatare.

Cercetările experimentale și experiența internațională confirmă potențialul îmbrăcăminților asfaltice drenante pentru reducerea zgomotului rutier și îmbunătățirea evacuării apelor pluviale. Totodată, evidențiază influența colmatării, a condițiilor climatice și a solicitărilor din trafic asupra menținerii performanțelor funcționale.

Aplicarea acestor tehnologii în România necesită validarea experimentală a compoziţiilor şi monitorizarea comportării pe sectoare-pilot, în vederea identificării unor soluții constructive adaptate condițiilor locale de trafic şi climă.

BIBLIOGRAFIE

[1]. AND 605–2016: *„Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald. Condiții tehnice privind proiectarea, prepararea și punerea în operă”*, cu modificările ulterioare**, 2016**.

[2]. I.C. BADEA, C. RĂCĂNEL: *„Posibilităţi de utilizare a mixturilor asfaltice drenante în România”*, manuscris furnizat pentru documentare.

[3]. W. BAŃKOWSKI, J.B. KRÓL, K.J. KOWALSKI, R. HORODECKA: *„Implementation of High Air Voids Asphalt Mixtures on Trial Section—Performance Evaluation Case Study”*, Applied Sciences, Vol. 15, nr. 20, Articol 11298, DOI: 10.3390/app152011298**, 2025**.

[4]. I.M. BECA, G. HODA, A. CLITAN: *„Impactul traficului rutier asupra poluării fonice: analiza performanţei unei îmbrăcăminţi asfaltice fonoabsorbante”*, manuscris furnizat, studiu experimental DN 2B Brăila.

[5]. W. GARDZIEJCZYK: *„The effect of time on acoustic durability of low noise pavements – The case studies in Poland”*, Transportation Research Part D, Vol. 44, pag. 93–104, DOI: 10.1016/j.trd.2016.02.006**, 2016**.

[6]. L. GOUBERT, J. HOOGHWERFF, P. THE, R. HOFMAN: *„Two-layer porous asphalt: an international survey in the frame of the Noise Innovation Programme”*, Rijkswaterstaat**, 2005**.

[7]. K.J. KOWALSKI, W. BAŃKOWSKI, J.B. KRÓL, M. GAJEWSKI, R. HORODECKA, P. ŚWIEŻEWSKI: *„Selection of Quiet Pavement Technology for Polish Climate Conditions on the Example of CiDRO Project”*, Transportation Research Procedia, Vol. 14, pag. 2724–2733, DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.453**, 2016**.

[8]. A. KUIJPERS, G. VAN BLOKLAND: *„Modeling and Optimization of Two-Layer Porous Asphalt Roads”*, M+P Noise & Vibration Consultants, publicaţie tehnică.

[9]. T.N. MANSOUR, B.J. PUTMAN: *„Influence of Aggregate Gradation on the Performance Properties of Porous Asphalt Mixtures”*, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 25, nr. 2, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000602**, 2013**.

[10]. M. SKAF, E. PASQUINI, V. REVILLA-CUESTA, V. ORTEGA-LÓPEZ: *„Performance and Durability of Porous Asphalt Mixtures Manufactured Exclusively with Electric Steel Slags”*, Materials, Vol. 12, nr. 20, Articol 3306**, 2019**.

[11]. SR EN 13108-7: *„Mixturi asfaltice. Specificații pentru materiale. Partea 7: Asfalt poros”*.

TEORIA MECANISMULUI APARATULUI DE CALE

Ionescu Nicolae, dr.ing., **pensionar al Societăţii Naţionale a Căilor Ferate Române**

Rezumat

Studiul tratează justificarea tehnico-ştiinţifică a produsului industrial feroviar – APARATUL DE CALE ca un veritabil (autentic) mecanism.

La nivel european acest mecanism este reglementat prin normă tehnică EN prin a cărei traducere se obține standardul național (român) în forma prescurtată SREN.

Dicționarul explicativ al limbii române (DEX) trebuie completat cu denumirea exactă astfel:

„APARATUL DE CALE se compune din macaz, șine de legătură, inimă de încrucișare – traversare, contrașine și organe de mașini pentru asamblare – rezemare.”

Cuvinte cheie: teoria aparatului de cale, rezonanţa mecanică, curba strâmbă a cadrului drept şi curb metalic, cinetostatică, tensiuni interne – tensiometrie, fixător de vârf (F_v), fixător de mijloc (F_m), dispozitiv ajutător de manevrare (D_{am}), fixător TEMPHLEX (T_H), zăvorâre – blocare – control, funcționare sincronă.

Abstract

This study addresses the technical-scientific justification of a railway industrial product —the railway turnout (or switch assembly)—as a genuine mechanical mechanism.

At the European level, this mechanism is governed by EN technical standards, which are adopted as national (Romanian) standards under the designation SREN.

The Explanatory Dictionary of the Romanian Language (DEX) should be supplemented with the precise definition:

"A railway turnout consists of a switch (point), connecting rails, a crossing (frog), check rails, and mechanical components for assembly and support."

Keywords: theory of railway turnouts, mechanical resonance, spatial (non-planar) curvature of straight and curved rail elements, kinetostatics, internal stresses (tensiometry), switch-point locking device (F_v), intermediate locking device (F_m), auxiliary operating device (D_{am}), TEMPHLEX locking device (T_H), bolting/locking/monitoring (interlocking), synchronous operation.

1. INTRODUCERE

1.1. – Aparatul de cale, parte componentă a infrastructurii feroviare, invenţie românească recunoscută la nivel mondial [1], [2], are la bază o preocupare pragmatică centrată pe adevăr ştiinţific, utilitate, eficacitate şi siguranţă.

În lucrările mai sus citate, am prezentat locul aparatului de cale în construcția de mașini și deoarece anumite persoane au ridicat problema tehnică a neîndeplinirii acestui produs industrial feroviar a condiției de „MECANISM”, îmi fac datoria să dezvolt acest răspuns la o chestiune (problemă) științifică bazată pe dovezi și coordonată (coroborată) pentru a confirma denumirea dată.

De asemenea m-am convins în activitatea mea, cum se poate produce un eveniment de circulație feroviară cu pierderi umane și materiale imprevizibile din cauza fixătorului cu cleme de la vârful acelor macazului unui aparat de cale, când asupra lui acționează persoane răufăcătoare care și-au recunoscut în final vinovăția (anul 1995 – Stația de cale ferată Dragoș-Vodă)?!

În lucrarea bibliografică [3] este următoarea explicație a cuvântului „MECANISM” la pag. 700.

„Sistem tehnic alcătuit din mai multe piese fixe și mobile, care sunt angrenate între ele, astfel încât unele elemente mobile, transmițând forțele de la elementul conducător la elementele conduse pot antrena mișcarea acestora.”

Explicațiile scrise și figurile din lucrarea bibliografică [2] pct.13, pag. 27...sunt suficiente.

1.2. – Dicționarul explicativ al limbii române [3], care se adresează tuturor cetățenilor ce folosesc în mod curent limba română, au nevoie de informații și lămuriri noi în legătură cu vocabularul românesc actual.

Intrarea (acceptarea) țării noastre în Uniunea Europeană a determinat apariția de cuvinte noi în uzul limbii române cu deosebire în ultimele două decenii, începând cu anul 2003 în domeniul infrastructurii feroviare cum sunt: 14 EURONORME – Aplicații feroviare. Cale. Aparate de cale – aprobate de COMITETUL EUROPEAN DE STANDARDE – prescurtat CEN. Fiecare normă europeană – prescurtat EN a fost tradusă în limba română și a devenit standard național cu forma prescurtată SREN fără nici o modificare.

Membrii CEN sunt organisme naționale de standardizare din Austria, Belgia, Cipru, Danemarca, Elveția, Estonia, Finlanda, Franța, Germania, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburg, Malta, Marea Britanie, Norvegia, Olanda, Polonia, Portugalia, Republica Cehă, România, Slovacia, Slovenia, Spania, Suedia și Ungaria.

Prin intervențiile făcute până în prezent de autoritățile competente din țara noastră la Academia Română – Institutul de lingvistică „IORGU IORDAN-AL. ROSETTI” constau să se introducă și următoarele completări și modificări:

- la pag. 670 – la cuvântul macaz (s.n.) până la poziția a) se înlocuiește cu următoarea definiție: macazul este o parte componentă (subansamblu) a aparatului de cale și îndeplinește funcția (servește) la deplasarea materialului rulant (tren, tramvai, metrou) pe calea ferată propriu-zisă [linia directă și deviată (abătută)] cu ajutorul aparatului de cale;
- la pag.57 – după cuvintele …fr. *appareil*) să se introducă cu litere mici îngroșate (boșate) următoarele: aparat de cale – substantiv neutru (s.n.) –

mecanism care îndeplineşte funcţia (serveşte) la deplasarea materialului rulant (tren, tramvai, metrou) de pe o cale ferată pe una sau mai multe căi ferate, în ambele sensuri de circulaţie, pe o direcţie stabilită (comandată manual sau electric) pentru realizarea în deplină siguranţă a parcursului materialului rulant. Se compune din macaz, şine legate la capetele lor prin joante care realizează (asigurarea) continuităţii căii de circulaţie, sistem de manevrare – blocare (zăvorâre) – dispozitiv de control, inimi de încrucişare – traversare cu vârfuri fixe sau părţi (repere de rulare) mobile, sau şine de legătură cu sau fără joante izolante electric, contrașine cu șine de rulare și organe de asamblare;

- la pag.147 – la cuvântul CALE (s.f.) – poziția ◊ să se modifice şi să se completeze astfel: cale ferată – infrastructura modului de transport feroviar destinată circulaţiei materialului rulant prin rulare sau pe cabluri şi se compune din calea ferată propriu-zisă, aparate de cale, podețe, poduri, viaducte, tuneluri, triaje, instalaţii de semnalizare, bariere automate, instalaţii pentru electrificarea tracţiunii trenurilor, staţii de cale ferată, punct de oprire şi mişcare.

Observaţie: - numerotarea paginilor se referă la lucrarea [3].

Consider că acceptarea acestor propuneri în vederea introducerii lor în lucrarea [3] este şi un exemplu de preţuire (apreciere) a inventatorului ION POP – român ardelean, fost lucrător la minele de aur din Brad, a macazului din lemn şi a unui modest cărucior cu tăvălugi cilindrici în loc de roți pentru rularea ghidată pe șine realizate din prăjini de lemn, care au fost întrebuințate în Transilvania încă din prima jumătate a secolului al XVI-lea, cu 100 de ani mai înainte decât în Anglia.

Un astfel de macaz original se află expus la Muzeul Tehnic din Berlin, iar la Muzeul Tehnic din București o replică surogat!

1.3. – Cu privire la dinamica rulării şi a siguranţei circulaţiei materialului rulant este necesară exigenţă la nivel mondial, deoarece se constată dezvoltări rapide şi declinuri neașteptate.

Este posibil ca printr-o reproiectare globală europeană, corporaţiile transnaţionale să devină „CUSTOZII” în toate domeniile, dar ... siguranţa, regularitatea şi confortul în modul de transport feroviar sunt caracteristici obligatorii pentru toate țările privind producătorii specifici industriei feroviare şi operatorii de exploatare.

Despre interdependența (legătura și condiționarea reciprocă) între vehicul (materialul rulant) și calea ferată, personalități de înaltă ținută profesională din țara noastră au studiat, experimentat și stabilit norme tehnice de proiectare, fabricație, exploatare și întreținere (mentenanță) [4],[5],[6],[7],[8], cu siguranța ghidării, calitatea mersului, rolul suspensiei, interacțiunea roată - șină, frânarea inegală a vagoanelor, tamponări – șocuri și oscilații în lungul trenului, oscilațiile maselor nesuspendate, modelul matematic al mișcării verticale a osiilor montate, fenomenele dinamice produse la circulația în curbe, indicii de evaluare a calității

mersului W_z și timpul de oboseală a călătorilor precum și a personalului de conducere a locomotivei, ramei electrice, etc.

1.4. – Nu pot să nu remarc faptul că fără cunoștințele oferite de matematică, nici unul din domeniile tehnice nu ar fi reușit să capete o dezvoltare corespunzătoare, fără legătura între inginerie și matematică, așa cum am primit de la cadrele didactice învățătura formativ-educativă a promoției 1960 – Facultatea Mecanică – Institutul de Căi Ferate București [9],[10],[11].

Prin aceasta justific titlul acestei lucrări științifice: TEORIA MECANISMULUI APARATULUI DE CALE

2. CURBA STRÂMBĂ ȘI REZONANȚA MECANICĂ A APARATULUI DE CALE

2.1. – Aparatul de cale este un mecanism în contact permanent cu materialul rulant și mediul ambiant, iar acestea, prin solicitările repetate cu amplitudini variabile, produc prin degradare cumulativă oboseala pieselor componente realizate din materiale metalice și nemetalice. Amplitudinea oscilațiilor induse este maximă în cazul egalității acestor frecvențe și poate tinde către infinit dacă nu ar exista factori externi de genul frecării între roțile osiilor montate și reperele de rulare ale aparatului de cale.

După natura mărimii lor (a factorilor care oscilează), acest fenomen este rezonanța care apare în mai multe domenii cum sunt: electrotehnica, acustica, fizica corpului solid, electronica, magnetica-nucleară, feroși antiferomagnetici și nucleara gama ca metode fizice de cercetare a materiei.

Importanța fenomenului de rezonanță constă în aceea că el apare în mai multe domenii și în cazul aparatului de cale cu REZONANȚA MECANICĂ, problemă tratată separat în lucrarea [12].

2.1.1. – Linia deviată (abătută) a aparatului de cale este o curbă plană care se prezintă analitic. Planul teoretic de reprezentare grafică a unui aparat de cale este orizontal, în care se face tot calculul geometric al tuturor reperelor componente într-un sistem cartezian x0y pentru o curbă (c), folosind următoarele ecuații:

(c) → $Y = f(x)$ – ecuația explicită a curbei

(c) → $F(x,y) = 0$ – ecuație implicită a curbei

(c) → $\begin{cases} X = x(t) \\ Y = y(t) \end{cases}$ ecuațiile parametrice ale curbei

Observație: O curbă se poate reprezenta și vectorial prin punerea în evidență a vectorului de poziție al punctului curent, iar în acest caz curba (c) este imaginea geometrică a funcției vectoriale.

În realitate, planul unui aparat de cale format din cadrul metalic drept și reazeme ale liniei directe racordată cu un cadru metalic curb și reazeme ale liniei deviate (abătută) nu este perfect orizontal, deoarece imperfecțiunile de fabricație

ale reperelor de rulare, ale reazemelor, deformaţiile prismei de piatră spartă, precum şi lucrările de întreţinere (mentenanţă) necorespunzătoare (chiar şi în cazul longrinelor de beton armat) produc abateri mai mari decât cele admise pentru profilul longitudinal şi transversal al acestuia (al aparatului de cale).

Datorită acestor cauze, în timpul trecerii materialului rulant se formează unde de propagare a unor oscilaţii caracterizate printr-o variaţie spaţială, care se deplasează din aproape în aproape cu viteză finită.

Această undă mecanică este o vibraţie care se propagă aproximativ identic ca într-un mediu solid datorită interacţiunilor elastice cu domeniile învecinate (piatră, traverse din lemn, beton, mase plastice reciclate, metal, umiditate şi temperatura variabilă a mediului ambiant, etc.). Această perturbare care se propagă în cadrul aparatului de cale pe linia directă şi pe linia deviată (abătută) este o funcţie variabilă de timp şi de poziţia la momentul dat (în punctul respectiv) a materialului rulant.

De reţinut că din măsurătorile efectuate, diferenţa dintre valoarea acelei mărimi şi valoarea ei în acelaşi punct înainte de producerea undei este elongaţia, iar valoarea maximă a elongaţiei este amplitudinea.

În cazul aparatului de cale, după natura perturbării, undele elastice măsurate sistematic au determinat amplitudini şi elongaţii variabile în aceleaşi secţiuni transversale caracteristice, cum sunt: planul vertical la vârful acelor, planul vertical la trecerea şi atacul vârfului inimii simple de încrucişare pe şina aripă (dreaptă sau curbă) şi invers sau a vârfurilor inimii duble în ambele sensuri de circulaţie, precum şi la joantele de intrare-ieşire pe şi de pe aparatul de cale datorită diferenţei înclinaţiei spre interiorul ecartamentului căii ferate propriu-zise la 1:20 în comparaţie cu linia directă şi deviată (abătută) a aparatului de cale cu înclinaţia spre interiorul ecartamentului 1:∞(zero).

Alegând un punct de contact între roata osiei montate a materialului rulant cu reperele de rulare (de exemplu teoretic al inimii simple de încrucişare Q (a,b,o), acesta (punctul) se deplasează în spaţiu şi poate descrie una sau mai multe curbe, respectiv mai multe suprafeţe. Spaţiul raportat la un sistem de coordonate Oxyz şi punctul P (x,y,z) se pot exprima prin una sau mai multe condiţii între coordonatele x,y,z. Diversele soluţii ale acestor ecuaţii indică diferitele poziţii în care se poate afla punctul P. Legăturile care satisfac coordonatele x,y,z se reduc la o singură ecuaţie de forma din Figura 1; F(x,y,z)=0

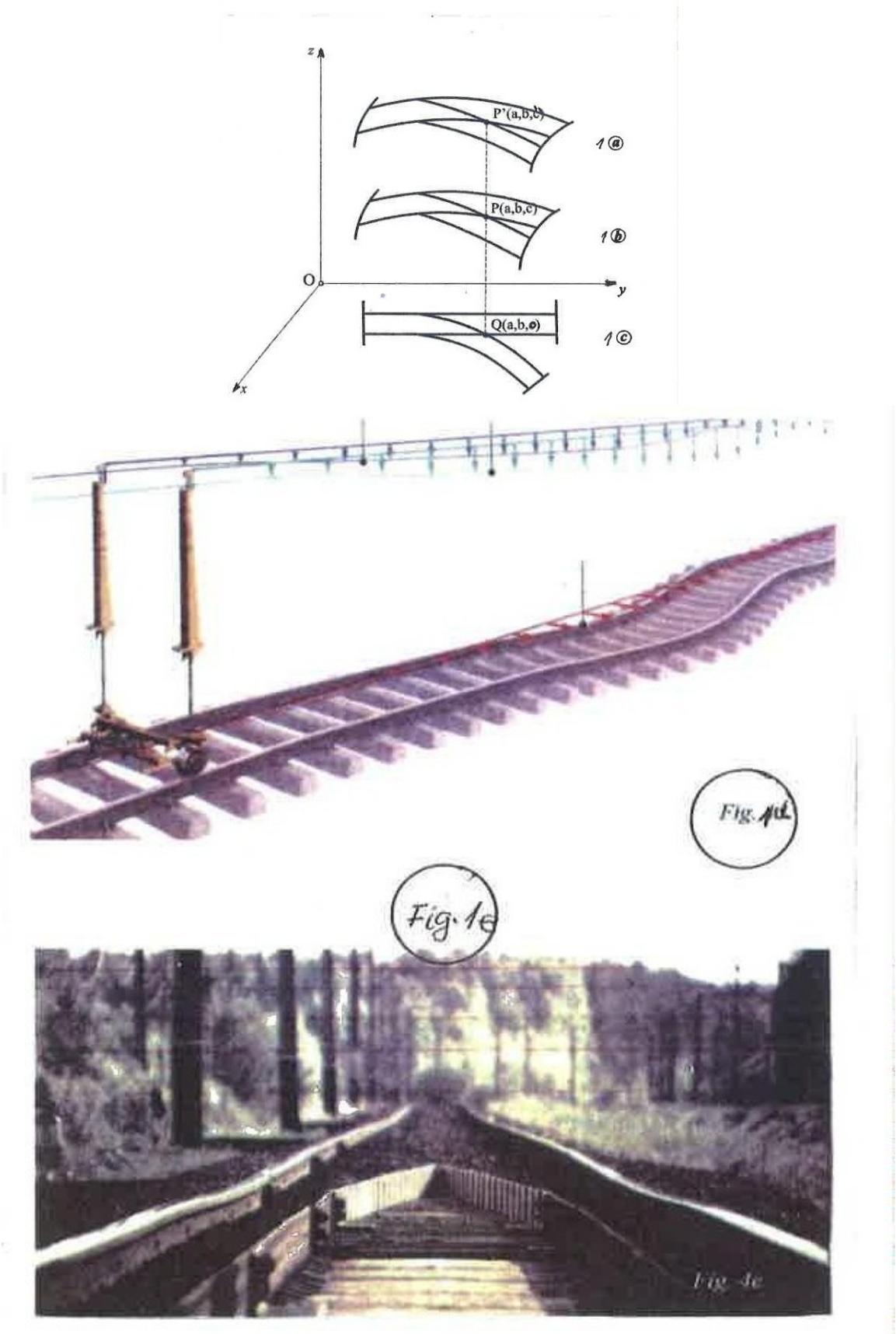


Figura 1. Suprafața și curba strâmbă a cadrului metalic al aparatului de cale

a,b – suprafețele reale ale punctelor P', P în planul Oxyz
c – soluția teoretică a punctului Q (a,b,o) în planul orizontal xOy
d – schema căii ferate strâmbe spațial
e – cale ferată strâmbă spațial

în care F este o funcție care satisface în anumite condiții de regularitate punctul corespunzător și descrie o suprafață. Această afirmație se bazează pe faptul că la orice sistem de valori x=a, y=b al variabilelor x și y, ecuația F(a,b,z)= 0, oferă un număr de soluții reale ale C, C', și sunt asemenea soluții ale punctelor P=(a,b,c) și P'= (a,b,c') ce descriu în spațiu când punctul Q=(a',b,o) din planul xOy variabil porțiuni de suprafață care pot fi distincte sau pot fi pânze ale aceleiași suprafețe. Dacă ecuația F(x,y,z)=0 se poate rezolva în raport de coordonata z și se va obține z=f(x,y) în care f(x,y) este o funcție univalentă pentru fiecare sistem de valori ale coordonatelor z și y. Funcția F(x,y,z) = 0 →este ecuația implicită a suprafeței, iar ecuația explicită este z= f(x,y).

Prin intersecția celor două suprafețe se obține curba strâmbă a liniei deviate (abătută), iar planul teoretic orizontal este „strâmb tensionat.” Cu această explicație și Figura 1 am căutat să susțin că forma geometrică a aparatului de cale și caracteristicile acestuia se pot studia cu ajutorul calculului geometriei analitice și proiective [13],[14],[15].

Cadrul metalic al aparatului de cale în profil longitudinal și transversal este esențial pentru menținerea în starea „PLAN – ORIZONTAL”, ceea ce determină tehnologii de fabricație (la cald și la rece) corelate la producător, la operatorii feroviari privind utilizarea (exploatarea) și la societatea care asigură mentenanța (întreținerea) în limitele termenelor planificate și finanțate cu supravegherea – analiza permanentă a costului și beneficiului în comparație cu celelalte moduri de transport concurențiale și complementare (rutier/auto, naval și aerian).

2.2. – Problemele fizice ale aparatului de cale argumentate la pct. 2.1 își găsesc explicația și aplicația din punct de vedere matematic plecând de la ecuația undelor ca formă fizică de manifestare practică în plan și în spațiu a cadrului metalic drept și curb al acestui produs [15], pe care o voi prezenta în rezumat astfel:

-problema lui Cauchy pentru ecuația diferențială liniară ordinară cu coeficienți constanți;

-interpretarea fizică a soluției ecuației undelor (perturbarea inițială, suprapunerea undelor și numărul de parametri variabili (sarcini diferite pe roțile unei osii montate din compunerea trenului, vagoane încărcate cu sarcini distribuite neuniform, frânări, tamponări în timpul rulării, etc.);

-calcule, măsurători – determinări ale frontului anterior al undei și ale frontului posterior al undei;

-difuzia /propagarea undelor în planul aparatului de cale, noțiunea de undă plană;

-sursa şi propagarea undelor progresive;
-ciocnirea şi reflexia undelor.

2.2.1. – Caracteristicile undei curbei strâmbe sunt următoarele şi voi reaminti definiţia lor:

- oscilaţia - este o mişcare periodică alternativă simetrică sau asimetrică faţă de axa Ox a unui corp sau a unui punct în plan sau faţă de Oxyz în spaţiu a unui corp sau a unui punct cu poziţia teoretică plan-orizontală a aparatului de cale;
- elongaţia – este valoarea momentană a unei mărimi oscilatorii;
- amplitudinea – este depărtarea maximă dintre poziţiile extreme ale unui corp (punct) care oscilează;
- unda - este propagarea din aproape în aproape a unei oscilaţii cu viteză finită printr-o variaţie spaţială;
- lungimea de undă – este distanţa dintre două puncte succesive ale unei unde în care oscilaţia are aceeaşi fază.

Din lucrarea [16] redau întocmai următoarele cu privire la aplicarea matematicii în calculul curbei strâmbe a aparatului de cale.

Ecuaţia procesului oscilatoriu:

$\rho=\partial'^2_u ¿ \partial t^2 = \text{div}(p, \text{grad}.u) - qu+F(x,t)$ în care funcţia necunoscută $u(x,t)$ depinde de timp şi n (n=1,2,3) coordonatele spaţiale $x=(x_1, x_2 \ldots x_n).)$.

Coeficienţii ρ, p, q sunt determinaţi de proprietăţile mediului în care are loc procesul oscilatoriu, adică mediul ambiant (temperatură, umiditate, grad de burare – compactare a prismei de piatră spartă şi a calităţii acesteia). Termenul liber F(x,t) descrie acţiunea forţelor exterioare (sarcina verticală pe roata osiei montate a materialului rulant şi rezultanta cu forţele orizontale la viteza de circulaţie în momentul dat, adică:

$$¿(p.grad.u)=\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial}{\partial xi}(p\frac{\partial}{\partial xi})$$

Se poate deduce ecuaţia şi în cazul particular al vibraţiilor mici transversale ale coardei înţelegând prin aceasta un fir flexibil tensionat (exemplu – tija reglabilă cu siguranţa de legătură între fixătorul de vârf (F_v) şi fixătorul de mijloc (F_m) al acelor macazului aparatului de cale (Figura 2).

Datorită flexibilităţii, tensiunea $|T(x,t)|$ în punctul *x* la momentul *t* are aceeaşi direcţie cu tangenta la coardă în punctul *x*. Neglijând mărimile mici în raport cu $\frac{\partial u}{\partial x}$, lungimea intervalului arbitrar (a,b) din coardă rămâne constantă:

$$l=\int_a^b \sqrt{1+(\frac{\partial u}{\partial z})^2}\,dx \cong b-a$$

şi conform legii lui HOOKE, mărimea tensiunii $|T(x,t)|$ va rămâne constantă, independent de *t* şi *x*, $|T(x,t)| = T_0$

Se notează prin *F(x,t) dx* componenta normală pe axa *x* a forţei externe care acţionează la momentul *t* asupra intervalului *(x, x + dx)*. Deci ρ(x) dx este masa elementului.

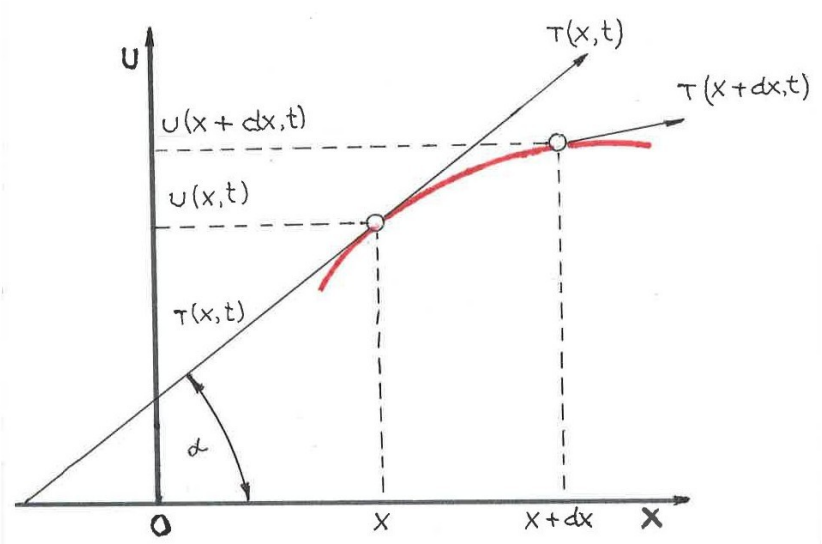


Figura 2. Variaţia tensiunii datorită flexibilităţii T(x,t) la momentul t în punctul x

liniar (x, x + dx) şi ρ(x) este densitatea liniară de masă. Asupra intervalului (x, x+dx) acţionează forţa T(x+dx,t) – T(x,t) datorită tensiunii şi forţa F(x,t) dx (Figura 2). Suma acestora este egală conform legii lui NEWTON cu produsul dintre masa intervalului (obiectului) şi acceleraţia sa. Proiecţia acestei ecuaţii vectoriale pe axa *u* este:

$$T_0 \sin\alpha \,\big|\, x+dx - T_0 \sin\alpha \,\big|\, _x + F(x,t)\,dxt \cong \rho(x)\,dx \frac{\partial^2(x,t)}{\partial t^2}$$

din această aproximaţie

$$\sin\alpha = \frac{tg\,\alpha}{\sqrt{1+tg^2\alpha}} \cong tg\,\alpha = \frac{\partial u}{\partial x}$$

şi se obţine

$$\frac{\rho^{2u(x,t)}_{¿}}{\partial t^2} = T_0 \frac{1}{dx}\left[\frac{\partial u(x+dx,t)}{\rho x} - \frac{\partial u(x.t)}{\rho x}\right] + F(x,t)¿$$

adică

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = T_0 \frac{\partial u}{\partial x^2} + F$$

Aceasta este ecuaţia micilor vibraţii transversale ale coardei în cazul când F=0, vibraţiile sunt libere, iar în cazul când F ≠ 0, vibraţiile sunt forţate şi sunt date de însumarea matematică a tuturor forţelor în cazul deplasării unui tren de marfă cu sarcini diferite pe fiecare osie montată a vagoanelor.

Dacă densitatea *ρ(x) = ρ* →constant, ecuaţia poate fi transmisă sub forma

$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f$ în care $a^2 = \frac{T_0}{\rho}$este o constantă şi rezultă

$f = \frac{F}{\rho}$→ ecuaţia unidimensională a undelor.

Vibraţiile mici longitudinale ale acelor, contraacelor, şinelor de legătură cu sau fără joante izolante electric şi ale şinelor de rulare cu contraşinele pot fi descrise şi ele de o ecuaţie de forma

$$\rho S \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x}\left(ES \frac{\partial u}{\partial x} \right) + F(x,t)$$

în care S(x) este aria secţiunii transversale a barei respective, iar *E(x)* este modulul lui YOUNG în punctul *x*. Din considerente fizice, rezultă că pentru descrierea univocă a vibraţiilor coardei sau a barei cu moment de inerţie variabil este necesar să se cunoască în afara ecuaţiei

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = T \frac{\partial u}{\partial x^2} + F$$

şi valorile abaterii *u* a vitezei u'_t la momentul iniţial şi regimul la capete (condiţiile de frontieră) care pot fi:

a. – capătul x_0 al barei se mişcă în conformitate cu legea *μ(t)* şi atunci

$$\mu \big|_{x=x_0} = \mu(t)$$

b. – la capătul x_0 al barei acţionează forţa →(t)

$$\frac{\partial u}{\partial x} \big|_{x=x_0} = \frac{\mu(t)}{T_0}$$

c. – capătul x_0 al barei este fixat elastic şi *d* este coeficientul de rigiditate al montajului respectiv, adică

$$\left(E \frac{\partial u}{\partial x} + \alpha u \right) \big|_{x=x_0} = 0$$

Observaţie: - Aceste ecuaţii pot fi utilizate numai cu o restricţie asupra inimilor de încrucişare turnate monobloc şi cu şinele-aripă şi şinele aripă şi şinele – coadă sudate cap la cap cu partea centrală turnată din oţel austenitic manganos şi reprezintă un caz particular al ecuaţiei undelor.

-Pentru rezolvarea acestor restricţii se utilizează metoda elementului finit şi analiza experimentală a tensiunilor [19].

3. ACELE MACAZULUI

3.1. – Forma constructivă a acelor elastice şi a acelor flexibile din compunerea macazului aparatului de cale este dată în SREN 13232-5:2005 şi 13232-5:2005+A1:2011

Joanta de la sfârşitul (călcâiul) acului elastic şi a acului flexibil se realizează în aceeaşi secţiune cu sfârşitul contraacului. La macazul cu R>300 m şi tangenta unghiului de intersecţie între linia directă şi linia deviată (abătută) mai mică de

1:9, fixătorul de mijloc (F_m) și dispozitivul ajutător de manevrare D_{am}, nu se înlocuiesc cu sistem basculant cu arcuri speciale; această chestiune tehnică, sub formă de comentariu se detaliază în cap.4.

Acul elastic are partea mobilă realizată din două profiluri diferite; tranziția între cele două profiluri (șină ac cu inimă îngroșată și talpă cu aripi inegale și șină normală) se obține prin deformarea plastică la cald a unui capăt al șinei ac în șină normală și apoi se sudează electric prin topire intermediară și presiune cu șina normală – coadă, care asigură elasticitatea în plan orizontal prin decuparea simetrică pe o lungime determinată a aripilor tălpii acesteia [1].

Acul flexibil se prelucrează din șină ac cu inimă îngroșată și cu aripi inegale la talpă și prin așchierea pe o lungime determinată pentru ajustarea pe contraac, iar la capătul opus vârfului se face deformarea plastică la cald în șină normală și se sudează electric prin topire intermediară cu șina de legătură [1].

Nu se admite pentru sudarea cap la cap alt procedeu tehnologic ca aluminotermic sau cu arc electric cu material de aport.

3.2. – Acul elastic și acul flexibil sunt grinzi cu moment de inerție variabil, încastrate la un capăt; în acest fel, acul este lipsit de tensiuni (cu excepția celor primare produse în timpul laminării, răcirii, îndreptării), dar numai când este depărtat de contraac (mai precis acul curb de contraacul drept și acul drept de contraacul curb). Pentru asigurarea poziției acului lipit de contraac este necesară o forță de împingere care să împiedice dezlipirea de contraac. Această forță este determinată de tipul șinei ac, al curbei liniei drepte (abătută) și a unghiului inimii de încrucișare.

Am efectuat aceste măsurători la macazuri noi (pe standuri de recepție) și am constatat că mărimea acestei forțe este determinată nu numai de parametrii geometrici, ci și de gradul de prelucrare – ajustare a acului pe contraac, proțapi, alunecători și plăcile alunecătoare. Acele elastice și flexibile în stare complet prelucrată ale unui macaz se curbează pe porțiunea ultimilor trei traverse, astfel încât în poziția depărtată de contraac, mărimea “a”=160 mm; în această poziție se îndeplinește condiția ca un ac este lipit de contraac pe lungimea proiectată și celălalt ac prin intermediul barei de acționare a fixătorului de vârf (F_v) este dezlipit. Curbarea se face pe toată lungimea arcului curbei între punctele extreme ale corzii între axele traverselor cu un dispozitiv cu role, NU prin deformare poligonală în trei puncte; aceeași metodă se aplică și acelor flexibile (Figura 3).

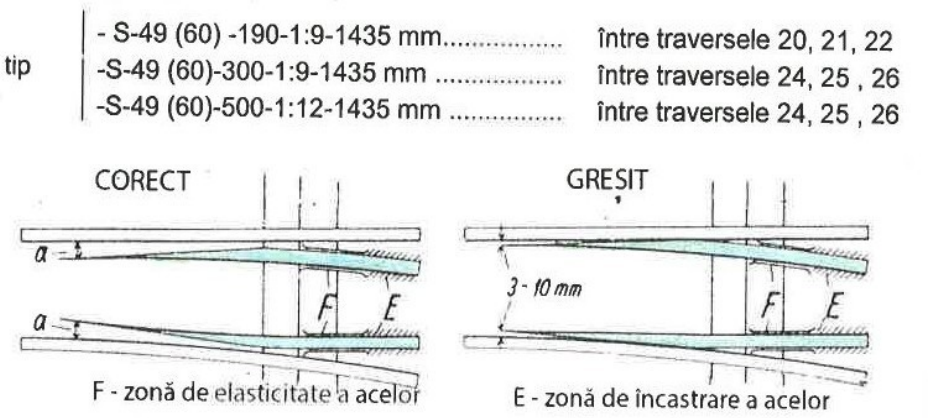


Figura 3. Macaz cu ace elastice (flexibile) în poziția liberă [fără bara fixătorului de vârf (Fv)]

Prin contactul roților osiilor montate ale materialului rulant cu acele elastice și acele flexibile, se produce în timp dezlipirea șinei ac de proțapi, deoarece profilul laminat al șinei ac tinde să revină la forma dreaptă liniară (inițială, după laminare – răcire – îndreptare).

Administrațiile feroviare DB-AG, SNCF, SBB, PKP, BR întreţin periodic curbura acelor elastice şi flexibile pentru menţinerea ajustajului proiectat pe contraace şi proţapi [1].

Până în anul 1997, fabricaţia aparatelor de cale în ţara noastră era asigurată de S.C. APCAROM – S.A. Buzău. În tehnologia de control a calităţii, fiecare macaz asamblat pe standul de montaj şi recepţie era verificat şi la determinarea forţei de manevrare a acelor flexibile şi a acelor elastice în corelare cu mărimea cotei „a” (Figura 3). Această probă se efectua cu ajutorul unui aparat compus din electromecanism de macaz, traductoare, cronometru şi înregistrator pe hârtie în sistem cartezian pe axa Ox a cursei în mm şi pe axa Oy a forţei în kgf. Înainte de înregistrare se executau 20 de deplasări complete ale acelor fixătorului de vârf (F_v) cu cleme şi a fixătorului de mijloc (F_m) cu cleme, după caz şi a dispozitivului ajutător de manevrare (Dam) pentru parcursul pe linia directă şi pe linia deviată (abătută). Forţele determinate în funcţie de cursă sub forma unei diagrame sunt:

- F_a – forţa dezvoltată de sistemul de manevrare pentru deplasarea tuturor părţilor mobile ale macazului inclusiv bara de legătură între F_v şi F_m;
- F_r – forţa de reţinere – remanentă a tuturor părţilor mobile ale macazului, inclusiv bara de legătură între F_v şi F_m care asigură parcursul pe linia directă şi linia deviată (abătută) la trecerea materialului rulant;
- F_l – forţa de blocare dezvoltată de sistemul de acţionare – zăvorâre – control aplicată părţilor mobile ale macazului pentru a le menţine în poziţia „închisă” pentru un ac lipit de contraac, precum şi pentru un ac depărtat de contraac corespunzător comenzii de parcurs executată de

electromecanismul de macaz și confirmată de barele de control ale acelor legate de acesta.

Datele de mai sus (F_a, F_r, F_l) sunt deosebit de importante pentru beneficiarul aparatului de cale și echipei de revizie – întreținere periodică, precum și în aceeași măsură proiectantului și tehnologului furnizorului în termenul de utilizare, garanție și postgaranție. În Tabelele 1 și 2 sunt prezentate tipuri de aparate de cale și caracteristicile revizuite [1] și reactualizate de diverse administrații feroviare și tipuri de aparate de cale.

Tabelul 1.

Nr. crt.	**Administrație feroviară**	**Aparat de cale**	**Forță de manevrare (kgf)**	**Cursa (mm)**	**Observații**
1.	B.R.	TJD – 54	160	108	
		TJS – 54	155	108	
2.	D.B. – AG.	S – 60	≤ 150	120 ... 160	
		TJS – 60	≤ 150	120 ... 160	
		TJD – 60	≤ 250	120 ... 160	
3.	S.N.C.B.	Ace lungimea 10 m	90 ... 95	160	
		și 12 m cu R=600m	90 ... 95	160	
		Ace 49 lungime 11 m și R=190m	90 ... 100	160	

Tabelul 2.

Nr. crt.	**Felul acționării**	**Cursa (mm)**	**Timp manevrare (s)**	**Forță deplasare (Kgf)**	**Forță atac fals (Kgf)**	**Forță de blocare (Kgf)**	**Obs.**
1.	Acționare talonabilă obișnuită fără bare de control la *Vmax ≤ 120 km/oră*	220	3	400 $^{+50}_{-30}$	1.400	550 ... 600	

2.	Idem nr.crt.1 la *Vmax ≥120 km/oră*	220	3	400	+50 -30	2.500	550 ... 600	
3.	Acționare cu deplasare brută talonabilă cu sau fără bare de control la *Vmax ≥120 km/oră* cu comandă de la mare distanță și deplasarea acelor cu mare rezistență	220	6 ...7	640	+50 -30	2.600	790 ..880	
4.	Acționare cu deplasare rapidă talonabilă pe aparatele de cale simetrice la cocoașa de triere	140	1 ... 1,5	250	±30	1.300	300 ... 400	

Observație: - acele macazului sunt elastice

- acționarea acelor se face cu electromecanisme diferite cu motor în curent continuu sau alternativ specifice diferitelor administrații feroviare.

4. CINETOSTATICA APARATULUI DE CALE

4.1. – Pe lângă cursul pe care l-am învățat la dinamică [7], cinetostatica introduce și noțiunea forței care acționează în mecanisme în timpul mișcării acestora; mai precis starea de mișcare a mecanismului este cunoscută în orice moment. Evident că forțele care însoțesc această mișcare se pot determina.

* Forțele cunoscute sunt cele exterioare mecanismului și constituie datele inițiale ale oricărui calcul cinetostatic [9]. Ele sunt de rezistență tehnologică, adică reperele de rulare fixe (contraace), șine de legătură, șine de rulare cu contrașine, inimile de încrucișare, precum și cele determinate de greutatea și de inerția maselor elementelor în mișcare variată (ace, fixător de vârf, fixător de mijloc, dispozitiv ajutător de manevrare, bare reglabile de legătură, electromecanism de

macaz [18] și forțe incidentale (două sau mai multe piese într-un ajustaj necorespunzător tehnic sau forma variabilă de curbă strâmbă a cadrului metalic al aparatului de cale [2] și Figura 1.

* Forțele din grupa a doua constituie rezultatele calculului cinetostatic care constă din reacțiunile cuplelor cinetostatice, forțele de echilibrare și forțele de frecare ale acelor pe alunecători și plăcile alunecătoare, pe proțapi, ale tuturor reperelor de rulare montate pe plăci metalice și traverse, precum și forțele de frecare ale ansamblului aparatului de cale în prisma de piatră spartă la variațiile de temperatură și umiditate ale mediului ambiant, în profil longitudinal și transversal.

Forțele de rezistență tehnologică sunt date de obicei sub formă de diagrame determinate experimental sau direct la scara 1:1 (nu prin simulare) direct în platforma aparatului de cale. Aceste forțe se determină direct sau mijlocit prin metoda echilibrului cinetostatic și, cu excepția forțelor de echilibrare se pot considera forțe interioare ale mecanismului. Metoda echilibrului cinetostatic care se bazează pe principiul lui D’ALEMBERT se enunță astfel:

„Prin introducerea forțelor de inerție, pe lângă celelalte forțe care acționează asupra mecanismului, sistemul obținut se poate considera în orice moment în echilibru” [9].

Stabilirea acestui echilibru prin care se pot determina forțele necunoscute se bazează pe aceleași ecuații ca și în statica sistemelor rigide [17]. Pentru forțele reprezentate prin vectori folosiți în desenul tehnic se poate adapta o scară a forțelor de forma $kgf = \frac{(pe\ teren - \hat{i}n\ realitate)}{mm(desenat)} = scara(w)$

Traficul feroviar influențează direct proporțional forțele de inerție. Cunoscând în urma calculului cinetostatic repartizarea forțelor pe fiecare element al mecanismului se pot determina tensiunile care-l solicită. În lucrarea [1] sunt rezultatele efective folosind analiza experimentală a tensiunilor aplicate în cercetarea, proiectarea și verificarea comportării în exploatare a aparatelor de cale aplicată la S.C. „APCAROM” S.A. Buzău până în anul 1997 - [19], [20].

4.2. – Pe baza datelor de la 4.1., am făcut calculul pe fixător cu cleme acționat de electromecanism de macaz EM-4 [18]. Forma constructivă a sistemului de manevrare – blocare – zăvorâre și control a acelor macazului aparatului de cale este stabilită în SREN 13232-2005.

* Fixătorul simplu (Fs) se utilizează la schimbătorul simplu de cale și raza curbei liniei deviate (abătută) ≤ 190m, traversarea cu joncțiune simplă sau dublă cu raza curbei liniei deviate (abătută) ≤ 190m și semibretele și bretele cu raza curbei liniei deviate (abătută) ≤ 190m.

*Fixătorul dublu (F_d) este compus din fixător de vârf (F_v) și fixător de mijloc (F_m) și se utilizează la schimbătorul simplu de cale cu raza liniei deviate (abătută) ≥ 300m și ≤ 500m și semibretele și bretele cu raza curbei liniei deviate (abătută) ≥ 300m și ≤ 500m.

*Fixătorul dublu compus (F_{dc}) este alcătuit din fixător de vârf (F_v) şi fixător de mijloc (F_m) şi dispozitiv ajutător de manevrare (D_{am}) şi se utilizează la schimbătorul simplu de cale cu raza curbei liniei deviate (abătută) ≥ 500m.

Cursa barei de acționare a fixătorului de vârf (F_v) este de 220 mm. Legătura între fixătorul de vârf (F_v), fixătorul de mijloc (F_m) şi dispozitivul ajutător de manevrare (D_{am}) ale fixătorului dublu compus (F_{dc}) se face cu ajutorul dispozitivului de acționare [18].

4.2.1. În lucrarea [18] se prezintă forma şi dimensiunile părților componente ale fixătoarelor de macaz cu cleme la vârful acelor (F_v), la mijloc (F_m) şi a dispozitivului ajutător de manevrare (D_{am}) în 8 (opt) variante constructive numai pentru schimbătorul simplu de cale cu linie directă şi linie deviată (abătută).

Un calcul elementar pentru schimbătorul simplu de cale cu ace elastice S-49-300-1:9-1435 mm cu fixător cu cleme la vârful acelor (F_v) şi fixător tip TEMPHLEX – patent VAE [1], derivat din fixătorul de macaz cu cleme mobile în plan orizontal cu anumite adaptări pentru preluarea deplasărilor longitudinale a acelor şi contraacelor de ±50 mm, garantează siguranța în funcționare în termenul de garanție şi postgaranție cu realizarea la termen a lucrărilor de întreținere planificate?

Trebuie reținut că unitatea de întreținere a aparatelor de cale se confruntă zilnic cu un examen, şi din situații necunoscute sau mai puțin ştiute se poate produce o catastrofă feroviară de mari proporții!

În caz afirmativ, lucrarea [18] trebuie completată cu următoarele date privind funcționarea sincronă şi sigură a fixătorului de vârf (F_v) cu fixătorul tip TEMPHLEX (prescurtat F_T):

- termenul de garanție al F_T să fie identic cu al aparatului de cale;
- F_T să garanteze asigurarea transmiterii sarcinii şi distribuției forțelor de la F_v în domeniul de temperatură a mediului ambiant -40°C .... +50°C;
- caracteristicile asamblării elastice a F_T prin deformarea elastică a acelor şi a arcurilor spirale din componența F_T (liniară sau neliniară);
- în cazul caracteristicilor elastice neliniare să se analizeze de producător caracteristica progresiv-crescătoare care arată că arcul devine rigid odată cu creşterea încărcării sau regresiv când arcul devine mai elastic simultan cu creşterea sarcinii;
- rigiditatea arcurilor spirale din compunerea F_T (din motive practice nu este posibil ca anumite sarcini sau deformări să fie obținute cu 1 ... 2 arcuri, ci mai multe în serie – exemplu – arcuri cilindrice de compresiune);
- comportamentul la vibrații şi amortizarea în FT;
- F_T să fie verificat periodic ca PROBĂ de TIP pe un stand adecvat în care să se probeze ace flexibile şi ace elastice tip 49 şi 60 cel

puțin pentru S-49(60) – 300 – 1:9 – 1435 mm cu proprietăți mecanice diferite (σ_c, σ_r, σ_0, ∂_5, K_{cu} -40°C/ +50°C și duritate) prelucrate pentru linia directă (acul drept) și linia deviată (abătută – acul curb);

- F_T înlocuiește F_m pentru orice tip de electromecanism?
- F_T a fost testat și în cazul fixătorului dublu compus (F_{dc}) prin înlocuirea F_m, dar cu D_{am} pentru schimbător simplu de cale cu raza curbei liniei deviate (abătută) ≥500m?

OBSERVAȚIE: Am făcut aceste propuneri pentru noutatea F_T care înlocuiește F_m în scopul preventiv al menținerii siguranței în funcționare a sistemului nou pentru care este necesar ca documentația tehnică a F_T inclusiv condițiile de întreținere-reglare să fie avizate și verificate periodic de compartimentele (direcțiile) de specialitate linie-instalație abilitate în acest scop.

Prin verificări succesive la macazuri pe standul de montaj (recepție) am constatat că forța remanentă în bara de acționare a fixătorului de vârf nu este constantă de 80 kgf, ci este diferită de forma constructivă a acului elastic sau flexibil, de mărimea razei curbei liniei deviate (abătută), de natura curbei liniei deviate (abătută) și anume, curbă progresivă, clotoidă, parabolă și unghiul de intersecție cu linia directă [18].

4.2.2. – Deoarece în perioada când aparatul de cale este solicitat la trecerea materialului rulant, se cunoaște din mecanica teoretică [17] că forțele de inerție se introduc în calcul pentru exprimarea reacțiunii cinetice {[gradul de împotrivire a masei elementului – echipamentului (în cazul de față fixătorul la vârful acelor (F_v)], la orice forță exterioară reală care să-i schimbe starea de mișcare}.

Prin determinarea rezultantei acestor forțe la fixătorul (F_v) se pot calcula forțele reale care echilibrează sistemul existent, adică F_v și F_m pe care l-am utilizat în activitatea de proiectare – tehnologie și cercetare uzinală Buzău până în anul 1997. Pentru simplificarea înțelegerii mișcării în spațiu a F_v, F_m și Dam, forțele de inerție se reduc la o rezultantă și un moment (Figura 4a).

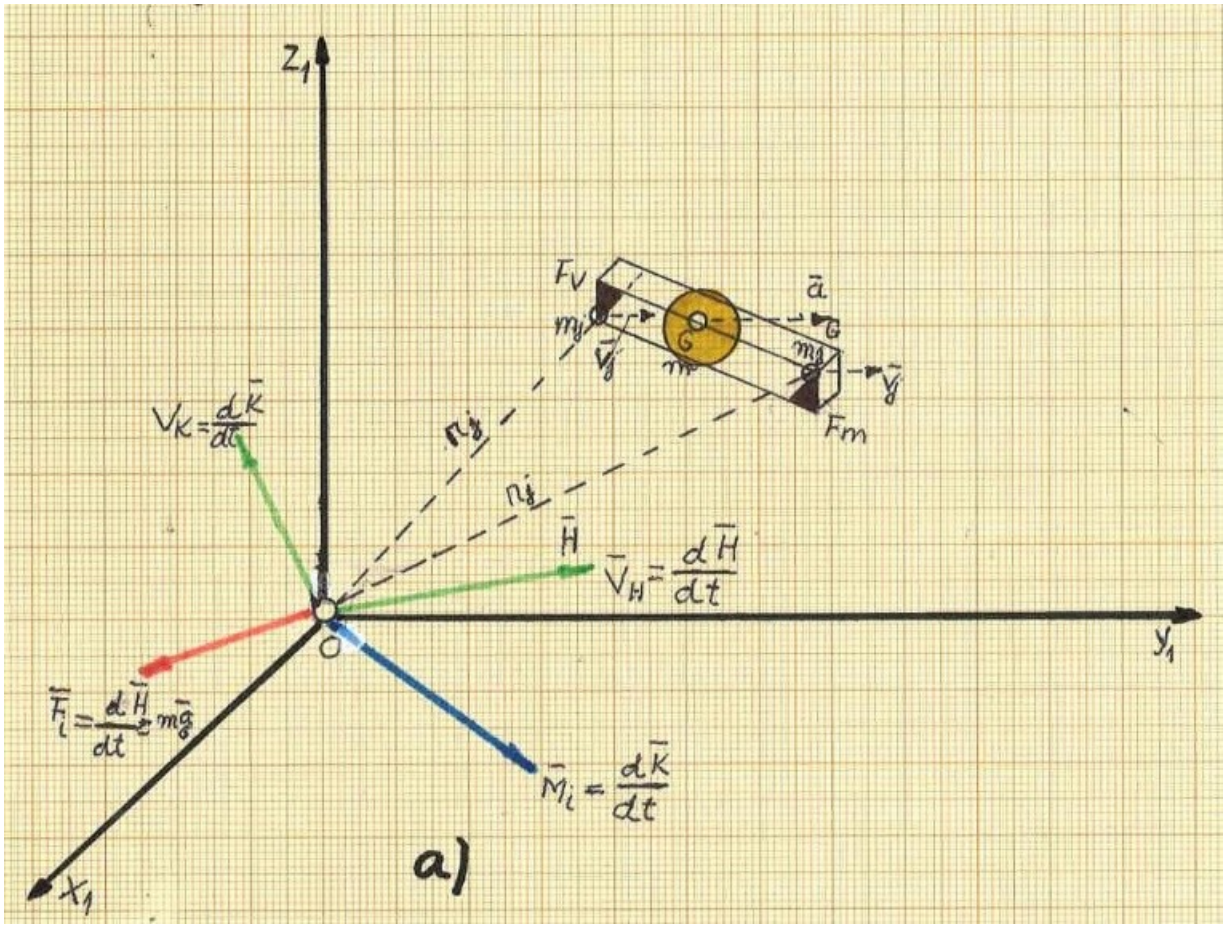


Figura 4a. Forţele de inerţie la mişcarea spaţială a F_v și F_m

Rezultanta forţelor de inerţie este **derivata** în raport cu timpul a deplasării (cursei) H a F_v și F_m redus la punctul fix O.

$$Fi = \frac{-d\overline{H}}{dt} = \frac{-d}{dt}\Sigma mj \cdot vj = -\Sigma mj \frac{d^2 j}{dt^2 t} = -m\bar{a}_G$$

Idem, momentul rezultant al forţelor de inerţie este derivata vectorului momentului cinetic al F_v, F_m faţă de acelaşi punct fix O, adică $\overline{Mi} = \frac{d\overline{k}}{dt}$

Vârfurile vectorilor $\vec{K}$ și $\vec{H}$ se deplasează faţă de sistemul fix cu vitezele $\vec{Vk}$ și $\vec{Vh}$. Vectorii $\vec{Fi}$ și $\vec{Mi}$ sunt egali și de sens contrar cu $\vec{Vk}$ și $\vec{Vh}$.Mişcarea spaţială se realizează prin translaţia dată în deplasarea centrului de greutate a barelor de acţionare a Fv și F_m pe traiectoria cursei perpendiculară pe axa liniei directe a macazului și prin rotaţia în jurul axei capului clemelor în poziţia „deschis”/„închis”. Punctul de reducere al sistemului este centrul de greutate G.

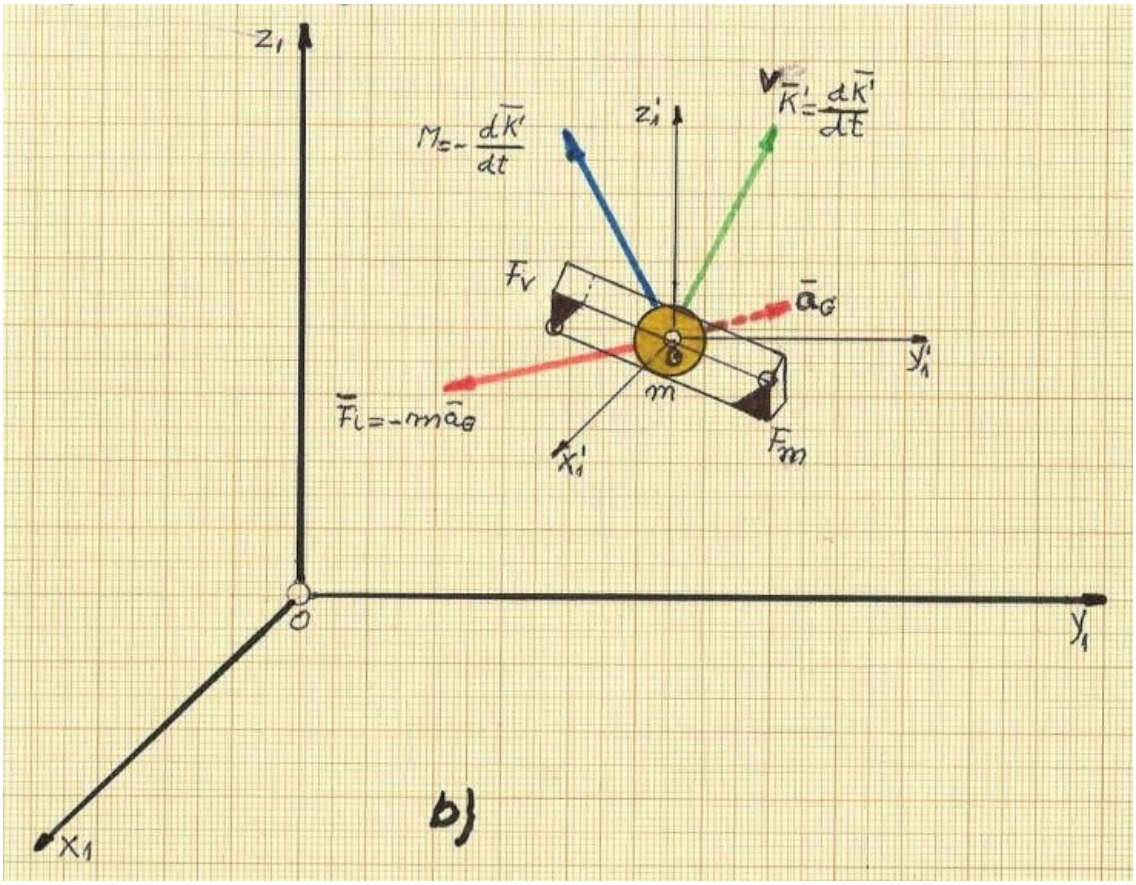


Figura 4b. Momentele forţelor de inerţie în raport cu $X_1Y_1Z_1$

Forţa rezultantă $\vec{Fi}$ rămâne constantă deoarece nu depinde de poziția punctului de reducere, ea fiind forţa de inerţie produsă de mişcarea de tranziţie, considerând că masa F_v şi F_m ar fi concentrată în G.

$\overline{Fi}$ = - m$\bar{a}_G$ în care

$\overline{M}_1$’ – momentul forţelor de inerţie ce variază cu poziția punctului de reducere M_1’

$\overline{M}_1^{'}$ – momentul forţelor de inerţie determinat de rotația în jurul centrului de greutate G în sistemul

de referinţă mobil $x_1^{'}$, $y_1^{'}$, $z_1^{'}$, continuu paralel cu cel fix x_1, y_1, z_1

$\overline{M}_1^{'} = \frac{\overline{dk'}}{dt}$ [9]

4.2.3. – Trecând la aplicația numerică am utilizat datele din lucrarea [18] pentru schimbătorul simplu de cale cu ace flexibile S-60-300-1:9-1-435 mm;

- pentru fixător de vârf (F_v) masa este - 84,256 kg;
- pentru fixător de mijloc (F_m) masa este – 84,256 + greutatea barei de legătură reglabilă de + 31 =

115,256 kg.

Rezultatul a fost foarte clar şi anume F_v şi F_m acționează sincron şi sigur, iar prin bara de legătură între ele se asigură ajustajul alunecător de rotație şi translație – opinie definitivă a experienței DB-A.G. de peste 40 de ani, pe care S.C.

APCAROM S.A. Buzău a utilizat-o în proiectarea și fabricația aparatelor de cale până în anul 1997; de la această dată la S-49-300-1:9-1435 mm și S-60-300-1:9-1435 mm, în locul F_m s-a introdus fixătorul tip TEMPHLEX (prescurtat T_H). Din compunerea și funcționarea T_H nu se constată o corelație intensă cu fixătorul de vârf (prescurtat F_v) care să garanteze funcționarea sincronă pentru asigurarea parcursului materialului rulant pe linia directă sau deviată (abătută) a schimbătorului de cale, ci mai explicabilă o corelație decalată în timp (întârziată) determinată de elasticitatea variabilă a celor două ace (drept și curb) ale macazului. Aplicarea metodei de calcul de la pct. 4.2 între Fv și F_T nu este posibilă. Corelația intensă între F_v și F_m pentru funcționarea sincronă și sigură se prezintă în Figurile 5–8, atât din punct de vedere mecanic, cât și electric.

Pentru înțelegerea acționării sistemului F_v-F_m și F_v-F_m-D_{am} în Figurile 5 și 6 se prezintă schemele funcționale.

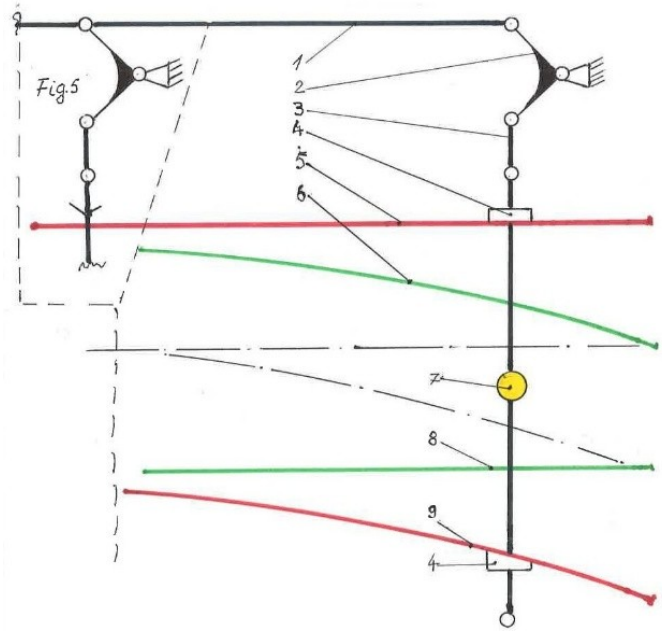


Figura 5. Schemă funcțională pentru sistem de manevrare – zăvorâre (blocare) – control cu F_v și F_m la macazul schimbătorului simplu de cale deviație dreapta și în contravedere deviație stânga

1- electromecanism de macaz; 2- bară de legătură; 3- fixător la vârful acelor (F_v); 4- bară izolată electric pentru acționarea clemelor F_v și F_m; 5- ac drept pentru linia directă; 6- contraac curb pentru dreapta liniei deviate (abătută); 7- bară reglabilă cu siguranță pentru acționarea sincronă a F_v și F_m; 8 – capră mică cu pârghie; 9 – bară de legătură; 10- fixător de mijloc (F_m); 11 - contraac drept pentru linia directă; 12- ac curb pentru dreapta a liniei deviate (abătută).

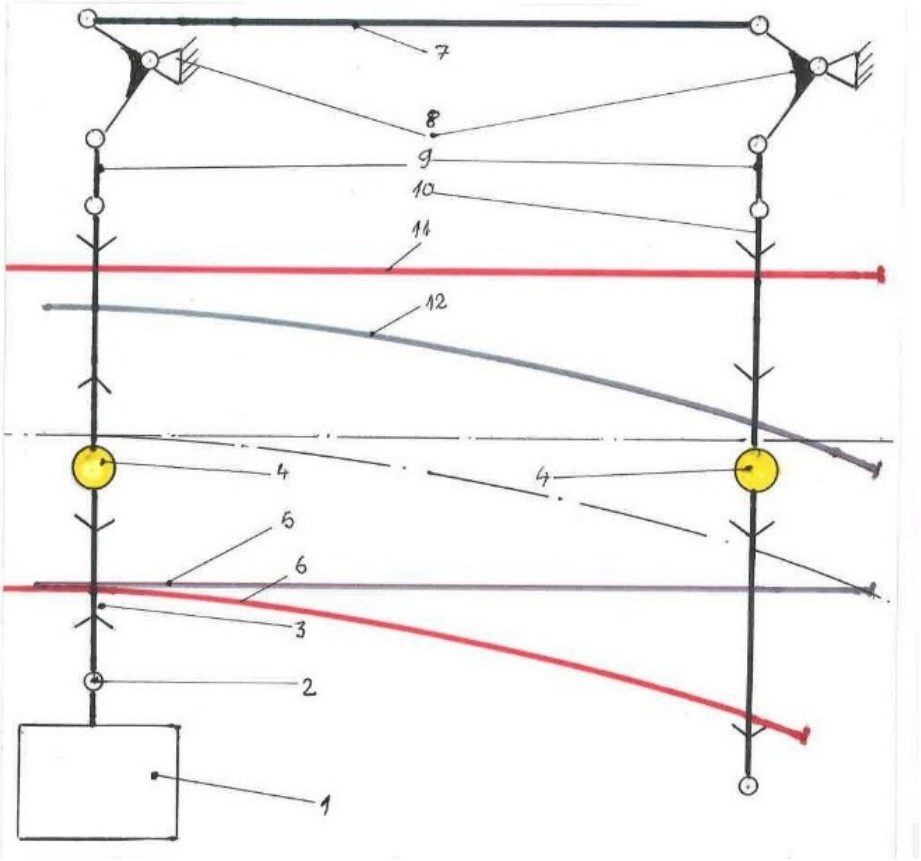


Figura 6. Schemă funcțională pentru sistem de manevrare – zăvorâre (blocare) – control cu dispozitiv ajutător de manevrare (D_{am}) a acelor schimbătorului simplu de cale deviație dreapta și în contravedere deviație stânga cu fixător la vârful acelor (Fv), fixător de mijloc (F_m) și dispozitiv ajutător de manevrare (D_{am}).

1-bară reglabilă cu siguranță pentru acționarea sincronă a acelor macazului și dispozitivului ajutător de manevrare; 2 – capră mică cu pârghie; 3- bară de legătură; 4- caseta D_{am}; 5- contraac drept; 6- ac curb pentru deviație dreapta a liniei deviate (abătută); 7 – bară izolată electric pentru acționarea D_{am}; 8 – ac drept pentru linia directă; 9- contraac dreapta pentru linia deviată (abătută).

Ajustajele clemă-bară de acționare de la F_v și F_m, precum și determinarea unghiului de rotire sunt în Figurile 7 și 8.

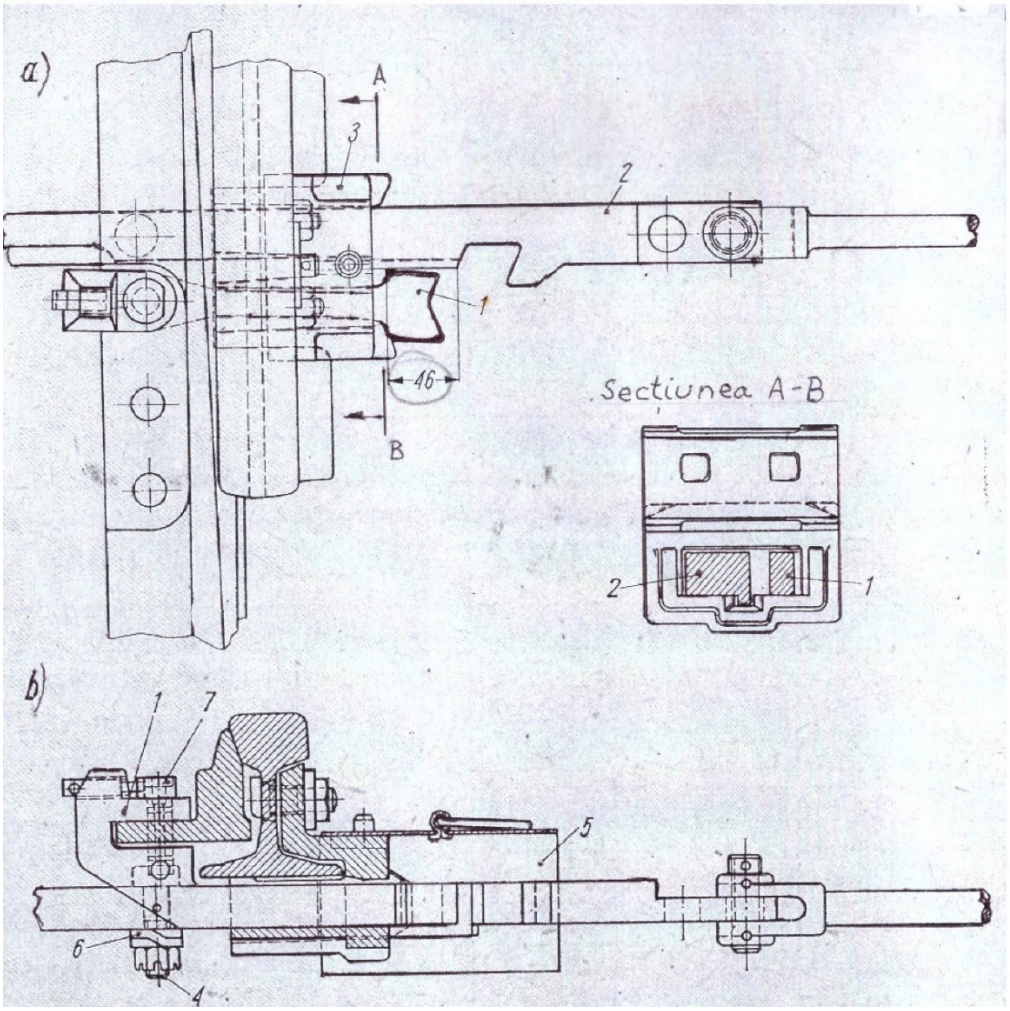


Figura 7. Ajustajul bară de acționare – casetă – talpă ac- cap clemă

1.- cap clemă mobilă; 2.- bară de acționare izolată electric; 3.- casetă pentru zăvorâre; 4.-șurub cu piuliță crenelată; 5.-capac de protecție; 6.-inel resort triplu; 7.-bolț de siguranță cu șurub vertical.

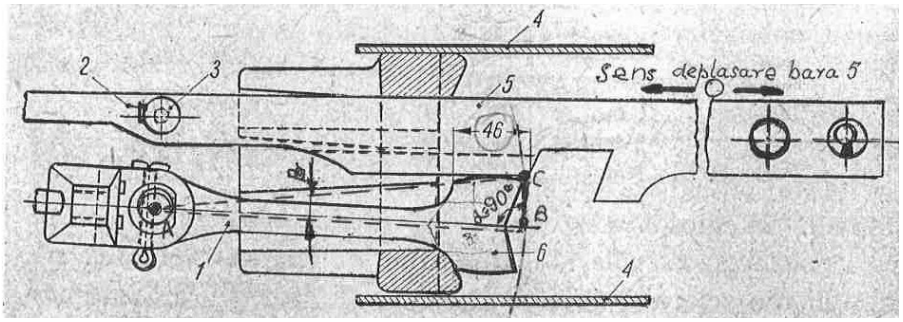


Figura 8. Detaliu din Figura 7 – Determinarea unghiului de rotație a clemei F_{v} și Fm

1.-corpul clemei; 2.-tampon limitator de cursă; 3.-șurub vertical; 4. – casetă de protecție; 5.-bară de acționare izolată electric; 6.-pinten - zăvorâre (blocare).

4.3.1. În Figura 8 △ ABC este dreptunghic la F_v și asemenea la F_m (∡= 90° = α)

– cateta BC = $\frac{68}{2}$= 34 mm [18]

– cateta AB = 237 + 46 = 283 mm [18]

tg β = $\frac{BC}{AB}$; înlocuind se obține → $\frac{34}{283}$ = 0,1201

Rezultă ∡β = 6°49′58″ [21]

Observație: la F_v sau F_m nou, unghiul β = 6°30′ – 7°30′, în condițiile respectării jocului între vârful acului și contraac de max. 2 mm.

– Cu o clemă zăvorâtă și o clemă blocată la cursa de 160 mm a acului dezlipit de contraac, distanța între axele casetei (de zăvorâre) și a axei clemei zăvorâte trebuie să fie de 285 mm.

4.3.2. În compunerea F_v și F_m, începând cu anul 1987, sunt piese articulate (în contact) cu structura metalografică de oțel laminat, oțel forjat în matriță, care au proprietăți mecanice diferite cu rezistență la uzura abrazivă în timpul exploatării (utilizării); cu timpul se produce o mărire a jocurilor care trebuie rezolvată prin utilizarea bucșelor excentrice și excentrice cu pană, iar în zona pintenilor clemelor și casetelor utilizarea încărcării cu material dur (sterlit) prin tehnologie (terotehnică) adecvată; anumite piese care au depășit pragul toleranțelor se vor înlocui cu piese noi, iar cele uzate se pot recondiționa în ateliere specializate pentru aparate de cale ferată industriale.

Pentru îmbunătățirea rezemării acelor flexibile și a acelor elastice în dreptul F_v este necesar să se introducă un cadru metalic (jgheab în formă U care se leagă cu prindere prin șuruburi cu siguranțe piulițe autoblocante de contraace), indiferent că mișcarea de rotație a clemelor se face în plan vertical sau orizontal; în acest scop experiența DB – AG și PKP poate fi analizată și aplicată la C.F.R., după parcurgerea etapelor specifice unei inovări (schimbări) în acest domeniu. Mai mult, fixarea traverselor (stânga-dreapta) în dreptul cărora se află acest cadru U, se poate face cu ușurință mecanizat sau manual [1].

La trecerea trenurilor, acele macazului nu trebuie să vibreze (să joace) prin săltarea vârfurilor acestora sau în alte zone pe lungimea lor pe plăcile cu alunecător și plăcile alunecătoare și jocul între talpa lor (a acelor) și suprafața de alunecare (de contact) să fie 0 (zero) (Figura 9).



Figura 9. Ajustajul acului pe alunecător

4.3.3. - Să se îmbunătățească rezemarea acelor pe contraacele macazului prin majorarea suprafeței de contact la ajustajul acului curb pe contraacul drept și a acului drept pe contraacul curb, indiferent de deviația dreapta sau stânga a fixătorului F_T.

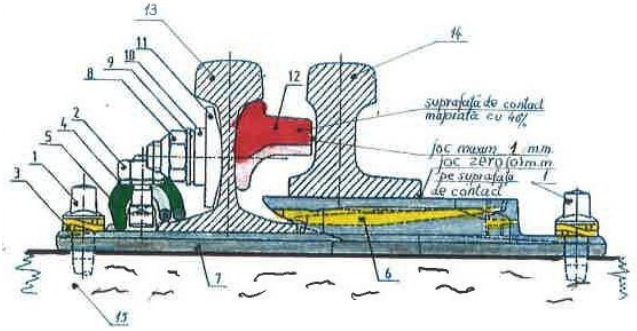


Figura 10. Îmbunătățirea rezemării acelor în dreptul fixătorului F_T

1. tirfon; 2. piuliță; 3. inel resort; 4. șaibă plată; 5. clemă elastică Skl; 6. clemă elastică IBAV; 7. placă turnată monobloc din fontă cu grafit nodular (SR EN 1563 și DIN 1693 ultima ediție GGG - 40.3 - perlită dominantă + masă de ferită cu σ_c = 91,2 kgf/mm^2); 8. piuliță; 9. șaibă plată; 10. adaos drept; 11. adaos înclinat; 12. proțap; 13. contraac; 14. ac cu inimă îngroșată și talpă cu aripi inegale; 15. traversă.

Observație: Superioritatea sistemelor de prindere elastică Skl, IBAV și IFAV a reperelor de rulare ale aparatului în comparație cu alte sisteme se prezintă în lucrarea [1].

4.3.4. - Extinderea până la generalizare a căii ferate și a aparatelor de cale cu joante sudate **NUMAI CAP LA CAP TERMOMECANIC DUR** prin topire intermediară și presiune cu debavurare pe tot perimetrul sudurii și a prinderii elastice a șinelor căii ferate propriu-zise și a reperelor de rulare ale tuturor aparatelor de cale din cadrul Administrației C.F.R. [1], [2].

4.3.5. - Producătorul aparatelor de cale are obligația prin contractul comercial încheiat cu beneficiarul și [22] să prezinte documentația tehnică (desen de ansamblu, subansamblu, detalii și instrucțiuni de exploatare/utilizare/întreținere necesare strict instruirii personalului destinat acestui scop, cu neatingerea dreptului de proprietate a acestei documentații tehnice).

4.3.6. - Recepția tuturor aparatelor de cale noi și recondiționate (refabricate) să se facă la producător în faza tehnologică montate pe traverse, pregătite pentru încărcare-transport pe vagoane tehnologice speciale care să asigure menținerea intactă a ajustajelor (identică cu recepția din atelier) și lansarea exact la locul necesar din planul de exploatare a stației C.F.R. respective; în acest moment, beneficiarul preia de la furnizor produsul finit cu notarea tuturor cotelor care asigură profilul longitudinal, transversal și de manevrare a acelor, inclusiv

certificatele de calitate (dimensiuni şi caracteristici mecanice şi fizice). Prin acest procedeu se elimină din activitatea dintre producător-cumpărător o lozincă economică „LIVRAT CU AUTORECEPȚIE DE CĂTRE PRODUCĂTOR - CUSTODIE COMERCIALĂ” - specifică uneori, cu îndoială, economiei de piață.

4.3.5.1. - Producătorul şi beneficiarul aparatelor de cale au obligația ca la partea tehnică a contractului comercial să clarifice în detaliu înscrierea geometrică a materialului rulant existent în parcul unității de exploatare, sarcină care îi revine proiectantului şi tehnologului producătorului, cu date tehnice obligatorii: tip material rulant/sarcină pe osie, viteză maximă în palier - aliniament, ampatament şi tipul curbei şi caracteristicile acesteia în vederea determinării geometrice prin metoda VOGEL (din anul 1926) şi HEUMANN (din anul 1931) [5] a înscrierii şi garantării siguranței prin forțele conducătoare cu valori minime şi să coincidă cu poziția de echilibru care evoluează pe linia de minimă rezistență.

Să se nominalizeze clar natura curbelor aparatelor de cale care începând cu anul 1930 s-au diversificat de la arc de cerc (curbă plană) la parabolă, cicloidă, clotoidă (spirala lui Cornu) — curbă progresivă introdusă şi în SR EN 13232-2:2003+A1:2012 care are centrul de greutate al unui arc situat pe linia ce unește centrele de curbură ale extremităților arcului fiind superioară curbei vieneze, precum şi înfăşurătoarea unei familii de curbe plane de forma arcelor de cerc (exemple: 245m/150m - 1:10; 245m/150m - 1:8; 300m/140m - 1:7; 400m/300m/200m - 1:9) sau schimbătoare simple de cale R=100m - 1:6 cu ace secante de tip compact şi R=100m - 1:7 cu ace tangente în continuare prin menținerea punctului matematic din schița şi schema geometrică [1], [23].

4.3.6. - Să se reglementeze prin Ordin al Ministerului Transporturilor interzicerea frânării tuturor trenurilor de persoane, mărfuri şi utilaje tehnologice rulante ale operatorilor C.F.R., privați şi externi (alte administrații feroviare din străinătate pe aparatele de cale CFR).

4.3.7. - Să se reglementeze prin Ordin al Ministerului Transporturilor verificarea permanentă de către AFER a aparatului de rulare cu suspensia aferentă şi aparatului de ciocnire-tracțiune ale tuturor operatorilor feroviari - C.F.R., privați şi externi (alte administrații feroviare din străinătate) pentru toate categoriile de material rulant şi de tracțiune şi acelea care nu corespund normelor tehnice europene să fie stopat accesul pe rețeaua C.F.R. de infrastructură feroviară până la intrarea în legalitate cu suportarea de către aceştia a daunelor materiale provocate.

5. CONCLUZII

5.1. - În lucrarea [22], la capitolul 6.2 se face o explicație (lămurire) cu privire la produsul industrial feroviar — aparatul de cale — şi anume (în special):

„Fiind dată complexitatea sistemului, nu poate fi fixată nicio regulă pentru această proiectare. În proiectele existente, furnizorul (producătorul, n.a.) trebuie să aducă dovada validității indirecte a lor prin aplicații similare și/sau referințe pertinente. Pentru proiecte noi, proiectantul trebuie să facă dovada validității lor prin calcule, încercări de laborator și/sau în exploatare în conformitate cu cerințele clientului (cumpărătorului, n.a.). Căile ferate trebuie concepute în mod adecvat pentru a garanta stabilitatea căii sub trafic. Încărcările orizontale și verticale (forțele, n.a.) trebuie transmise corect la platforma căii. Forțele tehnice trebuie corect transferate prin aparatul de cale la secțiunile adiacente și la platforma căii.”

Observație: n.a. - prescurtarea notei autorului.

Față de aceste date care îl definesc, consider că aparatul de cale are nevoie (necesită, cere) de exigență tehnică (multă grijă, strictețe, corectitudine) de la proiectare, fabricație, expediție, montare în cale, întreținere până la casare, dezmembrare (recondiționare diverse piese reutilizabile la alte tipuri de aparate de cale) și restul... fier vechi pregătit ca materie primă pentru industria metalurgică și siderurgică.

5.2. - În situația specifică actuală (la nivel european și mondial) și în perspectiva de orizont minim 50 de ani a dezvoltării transportului feroviar de persoane și mărfuri cu operatori privați și de stat concurențiali C.F.R. (cum sunt: MAV, BDZ, ÖBB, SBB, DB-AG, SNCF, BR, PKP, etc.), aparatul de cale trebuie să răspundă corespunzător tehnic și sigur diverselor categorii de material rulant (tracțiune și tractat) care au caracteristici constructive și trepte de uzură diferite. În consecință, alături de calculul geometric și de rezistență [1] este necesară (utilă) și o normă pe baza căreia să se desfășoare acest proces; pe lângă aplicarea matematicii (geometrie plană și în spațiu, trigonometrie, geometrie analitică - descriptivă, corelații funcționale) sunt necesare și cunoștințe temeinice de rezistență a materialelor, metalurgie-siderurgie, tratamente termice, organe de mașini, scule-dispozitive, verificatoare / aparate de măsură-control, toleranțe-ajustaje și desen tehnic. Susțin inovarea în domeniul aparatului de cale și gândesc cu fixătorul F_T de a înlocui fixătorul F_m începând cu anul 1997 să nu fie un concept realizat pe baza activității practice intuitive, ci să demonstreze valabilitatea și siguranța sincronă în funcționarea simultană cu F_v.

Această măsură (normă) este determinată și de evoluția tuturor modernizărilor unor componente feroviare ale infrastructurii în concurență cu celelalte moduri de transport [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31].

Am căutat prin acest studiu științific să susțin oportunitatea elaborării teoriei (normei) APARATULUI DE CALE la C.F.R., pe care o consider ca un început, un impuls urmare experienței modeste pe care o am în acest domeniu și a credinței că va fi dezvoltată, novator și definitivat cu succes de tehnicienii români absolvenți ai învățământului superior de căi ferate și material rulant.

BIBLIOGRAFIE

1.– IONESCU, N., - Aparate de cale – Ed. Feroviară Tehnică – București **2016**

2.– IONESCU, N., - Aparate de cale – Ediție revizuită și completată – Ed. Feroviară Tehnică – București **2021**

3.- ACADEMIA ROMÂNIEI - DICȚIONARUL EXPLICATIV AL LIMBII ROMÂNE (DEX), București **2016**

4. – SEBEȘAN, ȘT., - Dinamica vehiculelor de cale ferată – Ed. Institutului de Căi Ferate Facultatea Mecanică București – **1958**

5. – URSU, C., - Dinamica materialului rulant – vol. I și II – Institutul Politehnic Timișoara – Facultatea mecanică, **1981**

6. – STOICESCU, G – Suprastructura Căii Ferate – Ed. Conspress, București **2009**

7. – SEBEȘAN, I., - Dinamica vehiculelor de cale ferată – Ed. Tehnică – București, **1995**

8.- SEBEȘAN, I., COPACI, I., - Teoria sistemelor elastice la vehiculele feroviare – Ed. MatrixRom - București **2008**

9.– MANOLESCU, N., -Teoria mecanismelor și mașinilor 1956...**1958** – Institutul de Căi Ferate – Facultatea mecanică – București

10. – ȘABAC, I., GH. - Matematici speciale – 1955 ... **1957** – Institutul de Căi Ferate – Facultatea mecanică – București

11. – MOCANU, D.R., -Rezistența materialelor 1956...**1958** – Institutul de Căi Ferate – Facultatea mecanică – București

12. – IONESCU, N., - Rezonanța mecanică a aparatului de cale – Ed. Tehnică feroviară – București **2021**

13. – GHEORGHE, A., - Curbe si suprafețe, Ed. MatrixRom București **2005**

14. – NEAGU, M., - Geometria curbelor și a suprafețelor, Ed. Matrix Rom, București, **2013**

15. – ȘABUNIN, M. I., -Culegere de probleme ale ecuațiilor fizice si matematice, Ed. Științifică și enciclopedică, București, **1981**

16. – VLADIMIROV, V.S., - Ecuațiile fizice matematice – Ed. Științifică și enciclopedică – București **1980**

17. – STOENESCU, AL., - Mecanica Teoretică – 1956...**1957** – Institutul de Căi Ferate București – Facultatea Mecanică

18. – S.N.-C.F.R., Direcţia Generală Infrastructură — - Caiet de sarcini – PR-2060-0 – Fixătoare de macaz cu cleme acţionate cu electromecanism EM-4 – Ed. Filaret – Bucureşti, **1995**

19. – MOCANU, D.R., — - Analiza experimentală a tensiunilor – Ed. Tehnică – Bucureşti, **1975**

20.- IONESCU, N., MOCANU, D.R., GIMEŞ, V.,..... — -L’étude de l’état de contraintes dans les repères de roulement des appareils de voies a grandes vitesses – Proceding of the Seventh Conference Experimental Stress Analysis, Haifa, Israel, 23-27 août, **1982**

21. – HRENOV A., — - Шестизначные таблицы тригонометрических функций (Tabele de funcţii trigonometrice cu 6 zecimale) – Moscova **1978** – Academia de Ştiinţe Matematice

22. – EN -13232-9:2006 SREN–13232–9:2007 — -Aplicații feroviare. Cale. Aparate de cale. Partea 9. Ansamblu aparat de cale.

23. – IONESCU, GH. D, — - Algebră liniară geometrică, analitică şi diferenţială – Litografia Institutului Politehnic Cluj-Napoca – **1980**

24. – International UNION C.F. RAILWAYS (U.I.C.) — - Concluding Technical Report, Adam Beagles, Paris July **2015**

25. – KHALIL, K. — -Règles et disposition dans le domaine de l’infrastructure pour augmenter la vitesse limite d’interopérabilité – Revue générale des Chemins de fer n. 291, martie **2019**.

26. – ZOBA, B., — - Méthode pratique de calcul de la résistance de la voie aux effets dynamique verticaux – cas des chemins de fer africains – Revue générale des Chemins de fer n. 292, aprilie **2019**

27. – ZABÉE, J.C., — - Les traverses - Revue générale des Chemins de fer nr. 292, mai **2019**

28. – TENSAR INTERNATIONAL UNITED – UNITS — - Cunningham Court Shadsworth Business Park – Blackburn BB1 Qx United Kingdom – Stabilizarea mecanică a prismei de piatră spartă şi a substratului căii – **2017**

29.-STRAILWAY KUNSTSTOFF D-84529 Tiltmoning-GÖLLSTRASSE nr. 8 — -Traverse pentru cale ferată din material plastic reciclat – **2017**

30. – Asociația Națională a Zincatorilor Cluj- Napoca 2018 - Sustenabilitatea prin zincare termică la elementele de fixare a liniei ferate și a aparatului de cale

31. – ȚENCHEA, P., - Evoluții în standardizarea examinării nedistructive a șinelor și aparatelor de cale din domeniul aplicațiilor feroviare – Revista Sudură nr. 4/**2016**.

SELECȚIE MULTICRITERIALĂ A MATERIALELOR ŞI ACCESORIILOR PENTRU PLATFORME METALICE PREFABRICATE MODULARE: DURABILITATE, COST ȘI INDUSTRIALIZARE

Ionescu Vlad-Petruţ, drd., Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, e-mail: vladionescu9921@outlook.com
Pironea Andreea Dora Bianca, drd., Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, e-mail: pironea.bianca@gmail.com
Rece Laurențiu, prof.univ.dr.ing., coordonator, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, e-mail: recelaurentiu@gmail.com

Rezumat

Durabilitatea și rapiditatea de montaj ale unei platforme metalice prefabricate, montate la exterior, depind nu doar de protecția anticorozivă a structurii, ci și de accesoriile de ancorare, îmbinare și închidere. Lucrarea propune o selecție în doi pași, în care industrializarea este criteriu de proiectare. Pasul 1 compară prin TOPSIS trei sisteme de protecție ale oțelului carbon (zincare la cald, vopsire în trei straturi, sistem duplex) pe șase criterii, cu ponderi dintr-un studiu AHP publicat. Pasul 2 evaluează accesoriile (ancore, șuruburi, balustradă, pardoseală) prin durata de protecție a componentelor în categoriile de coroziune C3–C5. Studiul de caz este platforma din brevetul RO 132314 A0 (inventatori: L. Rece, D. Voiculescu, A.-D.-B. Pironea, L. Niculiță, V. Pironea; titular: Universitatea Tehnică de Construcții București). Prefabricarea modulară mută 5 din 12 operații în fabrică, față de una la asamblarea pe șantier, și reduce operațiile pe șantier de la 11 la 7. Zincarea la cald este prima în C3 și C4; în C5 sistemul duplex conduce doar dacă criteriile de industrializare însumează sub circa 36% din pondere. Șuruburile zincate la cald au o durată de protecție de 59% din cea a structurii, iar tijele ancorelor, neînlocuibile, trebuie să fie inoxidabile.

Cuvinte cheie: selecție multicriterială, TOPSIS, industrializare, accesorii de fixare, protecție anticorozivă, platforme metalice prefabricate

Abstract

The durability and speed of installation of a prefabricated steel platform mounted on a building exterior depend not only on the corrosion protection of the structure but also on the anchoring, jointing and enclosure accessories. The paper proposes a two-step selection in which industrialization is a design criterion. Step 1 compares, by TOPSIS, three protection systems for carbon steel (hot-dip galvanizing, three-coat paint, duplex) over six criteria, with weights from a published AHP study. Step 2 assesses the accessories (anchors, bolts, balustrade, decking) by the protection life of the components in corrosivity categories C3–C5. The case study is the platform of patent RO 132314 A0 (inventors: L. Rece, D. Voiculescu, A.-D.-B. Pironea, L. Niculiță, V. Pironea; holder: Technical University of Civil Engineering Bucharest). Modular

prefabrication moves 5 of 12 operations into the factory, compared with one for on-site assembly, and reduces on-site operations from 11 to 7. Hot-dip galvanizing ranks first in C3 and C4; in C5 the duplex system leads only if the industrialization criteria total less than about 36% of the weight. Hot-dip galvanized bolts have a protection life of 59% of that of the structure, and anchor rods, which cannot be replaced, should be stainless steel.

Keywords: multi-criteria selection, TOPSIS, industrialization, fastening accessories, corrosion protection, prefabricated steel platforms

1. INTRODUCERE

1.1. Contextul

Construcția în afara șantierului poate reduce durata de execuție cu 20–60% față de metodele tradiționale [1], iar sintezele din literatură raportează reduceri ale duratei de până la 50%, ale costului de circa 20% și ale lucrărilor de remediere până la circa 1% [2]. Aceleași surse arată că economiile nu sunt garantate: depind de proiectarea timpurie, de transport și de lanțul de aprovizionare [1, 2]. Scurtarea lucrărilor pe șantier contează mai ales în clădirile cu funcțiune sensibilă, precum cele medicale. Platformele metalice prefabricate montate la exterior extind spațiul util al unei clădiri fără intervenții majore asupra structurii de rezistență, dar sunt expuse direct mediului, iar durabilitatea lor depinde de protecția anticorozivă a structurii și a accesoriilor.

1.2. Problema, obiectivul și contribuția

Alegerea materialelor se oprește de regulă la structura portantă, iar accesoriile (ancore, șuruburi, balustradă, pardoseală) se aleg după catalog, deși unele dintre ele, precum tijele ancorelor, nu pot fi înlocuite fără intervenție în perete. Studiile multicriteriale arată, în plus, că durata de viață și rezistența la mediu au ponderi comparabile cu cea a costului [3]. Lucrarea are ca obiectiv o selecție în doi pași a materialelor și accesoriilor unei platforme metalice prefabricate, cu industrializarea tratată ca criteriu de proiectare. Contribuția constă în: (i) cadrul în doi pași, care extinde evaluarea de la structură la accesorii; (ii) cuantificarea industrializării prin doi indicatori de proces și prin grupul de criterii C3–C4, cu analiza influenței ponderii lor asupra clasamentului; (iii) aplicarea într-un studiu de caz bazat pe platforma din brevetul RO 132314 A0 (inventatori: L. Rece, D. Voiculescu, A.-D.-B. Pironea, L. Niculiță, V. Pironea; titular: Universitatea Tehnică de Construcții București) [4].

2. STADIUL CUNOAȘTERII

2.1. Industrializarea şi prefabricarea

Zohourian et al. [2] identifică, alături de avantaje, bariere ale construcției modulare: costul inițial al liniei de fabricație, transportul, înghețarea timpurie a proiectului și lanțurile de aprovizionare fragmentate; nota pentru Comisia Europeană [1] precizează că execuția în afara șantierului nu este neapărat mai ieftină în prezent. Proiectarea pentru fabricație și asamblare (DfMA) urmărește simplificarea pieselor, standardizarea componentelor și raționalizarea asamblării [5]. Pentru module din oțel ușor cu îmbinări cu șuruburi de înaltă rezistență, Wang et al. [6] raportează toleranțe de ±0,5 mm la componente și de ±0,3 mm la poziția găurilor, cu abateri de montaj sub 2 mm. În Uniunea Europeană, componentele structurale din oțel se livrează cu marcaj CE pe baza controlului producției în fabrică, conform EN 1090-1 [7], deci calitatea execuției se verifică în atelier, nu pe șantier.

2.2. Mediul, protecţia anticorozivă şi costul pe ciclu de viaţă

Standardul ISO 12944 [8] împarte mediile în categorii de coroziune (C1–CX) și definește patru clase de durabilitate pentru sistemele de vopsire: scurtă (până la 7 ani), medie (7–15 ani), ridicată (15–25 ani) și foarte ridicată (peste 25 de ani). Viteza de coroziune a zincului crește de la 0,7–2,1 µm/an în categoria C3 la 2,1–4,2 µm/an în C4 și 4,2–8,4 µm/an în C5 [9, 10]. Pentru oțelul mai gros de 6 mm, EN ISO 1461 [11] cere o grosime medie minimă a stratului zincat de 85 µm (70 µm local), deci durata de protecție a zincului se estimează ca raport dintre grosime și viteza de coroziune.

Rossi et al. [12] compară, pentru poduri din categoria C4, soluția vopsită cu cea zincată: costul inițial al variantei fără zincare este de doar 50,3% din cel al variantei zincate, dar zincarea devine mai economică după 18,5–24,2 ani. Publicația Asociației Americane a Galvanizatorilor [13], o sursă din industria zincării, raportează pentru categoria C3 un cost inițial mai mic pentru zincare decât pentru vopsire, un cost inițial mai mare pentru sistemul duplex decât pentru celelalte două soluții și o prelungire de 1,5–2 ori a ciclurilor de întreținere prin duplex. Sursele diferă în privința costului inițial, de aceea ambele sunt folosite în analiza de sensibilitate.

2.3. Accesoriile: ancorare, îmbinări şi închideri

Ancorele chimice sunt solicitate de încărcări susținute, iar în exterior durabilitatea lor pe termen lung este afectată de variațiile de temperatură și umiditate: cu un adeziv poliesteric nesaturat, ancorele au cedat în exterior la

încărcări susținute de peste 23% din capacitatea medie de scurtă durată, în timp ce în interior nu au cedat până la 47%, în încercări de până la 28 de ani [14]. Pentru ancorele mecanice cu expandare din oțel zincat cu strat funcțional, încercările după depozitare în apă și în soluție alcalină au arătat pierderi de capacitate în betonul fisurat, iar autorii le consideră nepotrivite pentru exterior; ei notează că în Germania elementele de fixare exterioare sunt de regulă din oțel inoxidabil cel puțin A2, mai costisitor [15]. Dimensionarea ancorajelor în beton se face conform EN 1992-4 [16].

La șuruburi, zincarea la cald dă un strat cu grosime medie minimă de 50 µm pe filet, iar zincarea electrolitică dă straturi mult mai subțiri, nerecomandate în exterior [17]. Un nit din oțel inoxidabil într-o placă mare de zinc nu cedează prin coroziune, pentru că raportul dintre aria catodului și cea a anodului este mic [18]. Pentru balustrade, Naqash et al. [19] menționează oțelul S275 și S355 pentru montanți și mâini curente, oțelul inoxidabil 316 în medii marine și igienice, aluminiul 6061-T6 pentru mâini curente modulare și ancorele chimice ca soluție de fixare în beton. Pentru pardoseli nu s-au identificat studii comparative recente.

2.4. Preselecția, verificarea calității și metodele multicriteriale

Oțelul patinabil formează un strat protector în 4–8 ani, dar clorurile, dioxidul de sulf și umezirea prelungită îl degradează, iar suprafețele adăpostite sau fisurile corodează mai repede [20]; o platformă cu console, plăci și îmbinări cu șuruburi are astfel de zone, deci soluția se elimină. Aluminiul are un modul de elasticitate de circa o treime din cel al oțelului și cere izolare față de elementele zincate în atmosfere conductive [21]. Grosimea stratului se verifică nedistructiv prin metoda magnetică [22], iar pentru vopsea pe suprafețe sablate se aplică ISO 19840 [23]; vopsirea cere în plus controlul pregătirii suprafeței, al grosimii pe straturi și al aderenței [8], de aceea verificabilitatea calității este un criteriu distinct. Zumrut et al. [3] aplică AHP pentru ponderi și TOPSIS pentru clasament, la alegerea sistemului structural al unei hale industriale, cu opt criterii și date de la 193 de ingineri.

3. PLATFORMA ANALIZATĂ ȘI CADRUL DE SELECȚIE

3.1. Platforma din studiul de caz

Studiul de caz folosește platforma descrisă în brevetul RO 132314 A0 (inventatori: L. Rece, D. Voiculescu, A.-D.-B. Pironea, L. Niculiță, V. Pironea; titular: Universitatea Tehnică de Construcții București) [4]: o structură metalică prefabricată, formată dintr-o consolă din profile U sau I laminate la cald din oțel carbon, fixată pe elemente verticale montate pe peretele clădirii cu ancore chimice, plăci metalice și bolțuri filetate cu piulițe, completată cu pardoseală și

balustradă (Figura 1). Platforma conține astfel structura și toate categoriile de accesorii analizate.

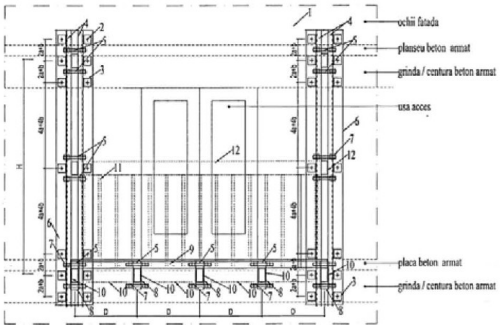


Figura 1. Platforma metalică prefabricată modulară, vedere frontală (după [4])

Cadrul de selecție are doi pași. Pasul 1 alege protecția anticorozivă a structurii prin TOPSIS, pe șase criterii (secțiunea 5). Pasul 2 stabilește accesoriile pentru fiecare categorie de coroziune, pe baza duratei de protecție a fiecărei componente și a regulilor din literatură (secțiunea 6.3). Industrializarea intervine în ambii pași: ca grup de criterii în TOPSIS (C3 și C4) și ca indicatori de proces (secțiunea 4).

4. INDUSTRIALIZAREA PLATFORMEI

4.1. Indicatorii de industrializare

Industrializarea se măsoară prin doi indicatori de proces: I1, ponderea operațiilor executate în fabrică din total, și I2, numărul de operații pe șantier. Se compară două strategii de execuție a aceleiași platforme: S1, asamblare pe șantier din profile tăiate și găurite în atelier, cu sudare și vopsire la fața locului, și S2, modul prefabricat integral în fabrică și montat pe perete. Cele 12 operații și locul lor sunt în Tabelul 1; clasificarea aparține autorilor, iar indicatorii numără operații, nu ore.

Tabelul 1. Operațiile de execuție (F – fabrică, Ș – șantier)

Nr.	Operația	S1	S2
1	Debitarea și găurirea profilelor	F	F
2	Sudarea subansamblelor (consolă, elemente verticale, plăci)	Ș	F
3	Montarea pardoselii și a balustradei pe consolă	Ș	F
4	Protecția anticorozivă a structurii și a accesoriilor	Ș	F
5	Controlul grosimii și al aspectului protecției	Ș	F
6	Trasarea și găurirea peretelui	Ș	Ș

Nr.	Operația	S1	S2
7	Instalarea ancorelor (curățarea găurilor, injectarea adezivului, tijele)	Ș	Ș
8	Priza și întărirea adezivului	Ș	Ș
9	Ridicarea și poziționarea (S1: element cu element; S2: modulul întreg)	Ș	Ș
10	Strângerea șuruburilor de prindere	Ș	Ș
11	Retușurile protecției	Ș	Ș
12	Recepția	Ș	Ș

4.2. Comparația strategiilor

Indicatorul I1 este 1/12, adică 8%, pentru S1 și 5/12, adică 42%, pentru S2; indicatorul I2 scade de la 11 la 7 operații, deci cu 36% (Figura 2). Scăderea se încadrează în intervalul de 20–60% raportat pentru durata execuției în [1], dar numărătoarea operațiilor nu înseamnă durate și nu validează intervalul. Operațiile rămase pe șantier în S2 (6–12) sunt cele legate de perete, adică exact cele pe care le determină accesoriile de ancorare și de fixare.

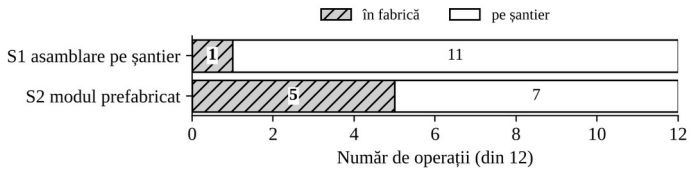


Figura 2. Operațiile de execuție în fabrică și pe șantier pentru strategiile S1 și S2

4.3. Implicații pentru alegerea materialelor și a accesoriilor

Rezultă patru reguli de proiectare, propuse de autori: (i) numărul grupurilor de ancore se reduce, pentru a limita operațiile 6–8; (ii) plăcile de prindere au găuri alungite, pentru absorbirea abaterilor de poziție ale ancorelor, deoarece modulul este fabricat cu toleranțe mult mai strânse decât cele ale peretelui; (iii) se folosește un singur tip și o singură clasă de șuruburi, livrate împreună cu modulul; (iv) toate componentele metalice au aceeași protecție, astfel încât modulul asamblat să poată fi zincat într-o singură imersie, în limita dimensiunilor băii, ceea ce elimină operațiile de protecție separate pentru accesorii.

5. ALTERNATIVELE, CRITERIILE ŞI METODA

5.1. Alternativele şi criteriile

Pasul 1 compară trei sisteme de protecţie ale oţelului carbon: **A1** zincare la cald conform EN ISO 1461, **A2** vopsire în trei straturi pe suprafaţă sablată (grund bogat în zinc, strat intermediar epoxidic şi strat final poliuretanic) şi **A3** sistem duplex (zincare urmată de vopsire). Oţelul patinabil şi aluminiul sunt eliminate la preselecţie (secţiunea 2.4). Cinci criterii corespund celor din [3], iar ponderile lor se preiau şi se renormalizează (Tabelul 2); criteriile C3 şi C4 formează grupul de industrializare, cu pondere însumată 0,298, a doua după durabilitate (0,393). Al şaselea criteriu, verificabilitatea calităţii, nu are corespondent în [3]; ponderea lui, 0,050, este apropiată de cele mai mici ponderi din sursă (0,047–0,058) şi se testează între 0 şi 0,20.

Tabelul 2. Criteriile, cuantificarea şi ponderile

Criteriu	Tip	Cuantificare	Pondere (corespondent în [3])
C1. Cost pe ciclu de viaţă	min	Indice pentru 50 de ani, A1 = 100	0,213 (cost)
C2. Durabilitate	max	Ani până la prima intervenţie majoră	0,393 (durată de viaţă + rezistenţă la mediu)
C3. Rapiditatea execuţiei	min	Număr de operaţii de protecţie înainte de livrare	0,241 (durată + montaj)
C4. Industrializare	max	Scor 1–5: retuşuri la montaj	0,057 (muncă şi echipamente)
C5. Sustenabilitate	min	Număr de aplicări ale protecţiei în 50 de ani	0,046 (reciclare)
C6. Verificabilitatea calităţii	max	Scor 1–5: etape de verificare	0,050 (fără corespondent)

Scorurile C4 şi C6 sunt atribuite de autori după reguli explicite. Pentru C4: 5 când protecţia se execută integral în fabrică (A1), 4 când sunt necesare retuşuri de vopsea la îmbinările cu şuruburi (A2, A3). Pentru C6: 5 pentru examinare vizuală şi măsurarea grosimii (A1), 4 când se adaugă controlul pregătirii suprafeţei, al grosimii pe straturi şi al aderenţei (A2), 3 când se însumează ambele lanţuri de verificare (A3). Operaţiile pentru C3 sunt 1 (imersie) pentru A1, 4 (sablare şi trei straturi) pentru A2 şi 5 pentru A3.

5.2. Metoda TOPSIS

Pentru m alternative și n criterii, valorile x_{ij} se normalizează și se ponderează cu w_j:

$$v_{ij} = w_j \cdot \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{\,2}}} \tag{1}$$

Soluțiile ideală (v_j^+) și anti-ideală (v_j^-) iau, pentru fiecare criteriu, valoarea cea mai bună și cea mai slabă. Distanțele la cele două soluții sunt:

$$S_i^{+¿} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} ¿¿¿¿¿} \tag{2}$$

$$S_i^{-¿} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} ¿¿¿¿¿} \tag{3}$$

Alternativele se ordonează descrescător după coeficientul de apropiere de soluția ideală:

$$C_i = \frac{S_i^{-¿}}{S_i^{+¿} + S_i^{-¿}¿}¿ \tag{4}$$

5.3. Modelul de durată și de cost

Durata protecției zincului este 85 µm împărțit la viteza de coroziune, luată la mijlocul intervalului categoriei (1,4; 3,15 și 6,3 µm/an pentru C3, C4 și C5), deci 60,7; 27,0 și 13,5 ani. Pentru vopsire se ia mijlocul clasei de durabilitate ridicate (20 de ani), iar pentru duplex 35 de ani, de 1,75 ori durata vopsirii, în intervalul 1,5–2 din [13]. Costul pe 50 de ani este costul inițial plus intervențiile de întreținere, fiecare egală cu 60% din costul vopsirii (ca în [12]); după epuizarea zincului, zincarea se întreține prin vopsire, la fiecare 20 de ani. Dobânda și inflația din [13] sunt egale (4%), deci costurile se însumează fără actualizare. Costurile inițiale relative (A1 = 100) sunt 219 pentru A2 și 308 pentru A3, din costurile unitare din [13] pentru C3 (2,16; 4,73 și 6,65 USD/ft²); scenariul după [12] ia vopsirea la 50,3% din costul zincării, iar duplexul la suma lor.

6. REZULTATE

6.1. Pasul 1: protecția structurii

Matricea de decizie pentru categoria de referință C3 este în Tabelul 3; în C4 și C5 se schimbă durata protecției zincului, costul pe ciclu de viață al zincării și numărul de aplicări ale acesteia. În categoria C3, zincarea la cald (A1) este cea mai bună alternativă la toate criteriile, deci domină celelalte două soluții și coeficientul ei este 1,000. În categoria C4 ea rămâne prima, iar în C5 sistemul duplex trece pe

primul loc (Tabelul 4). Vopsirea în trei straturi (A2) este ultima în toate categoriile.

Tabelul 3. Matricea de decizie (costuri după [13])

Alternativa	C1	C2 [ani]	C3	C4	C5	C6
A1, categoria C3	100	60,7	1	5	1	5
A1, categoria C4	363	27,0	1	5	3	5
A1, categoria C5	363	13,5	1	5	3	5
A2 (toate)	482	20,0	4	4	3	4
A3 (toate)	433	35,0	5	4	3	3

Tabelul 4. Coeficienții de apropiere și clasamentul (între paranteze)

Alternativa	C3	C4	C5
A1 zincare la cald	1,000 (1)	0,716 (1)	0,435 (2)
A2 vopsire în 3 straturi	0,120 (3)	0,183 (3)	0,281 (3)
A3 sistem duplex	0,262 (2)	0,448 (2)	0,569 (1)

6.2. Sensibilitatea la ponderea industrializării

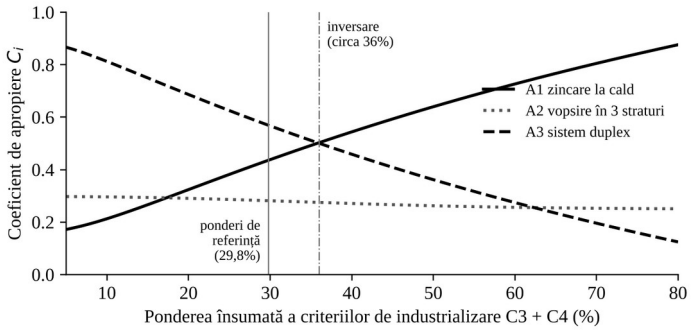


Figura 3. Coeficienții de apropiere în categoria C5 în funcție de ponderea criteriilor de industrializare

În C3 și C4, zincarea rămâne prima în toate scenariile verificate: ponderi egale, doar criteriile C1–C3, ponderea C6 între 0 și 0,20, costurile după [12] și costul unei intervenții între 30% și 100% din cel al vopsirii. În C5, duplexul este primul cu ponderile de referință, cu primele trei criterii, cu costurile după [12] și cu ponderea C6 între 0 și 0,20, dar zincarea devine prima cu ponderi egale (0,584 față de 0,422). Pentru a vedea rolul industrializării, ponderea însumată a criteriilor C3 și C4 a fost variată între 5% și 80%, celelalte ponderi fiind rescalate proporțional (Figura 3). În C5, zincarea devine prima de la circa 36% (față de 29,8% în referință), valoare aproape identică pentru ambele surse de cost; la 50%, coeficienții sunt 0,640 pentru zincare și 0,362 pentru duplex. Duplexul câștigă

deci în C5 numai când durabilitatea domină decizia; un proiect orientat spre industrializare alege zincarea în toate categoriile. Cu ponderile de referinţă, duplexul depăşeşte zincarea când durata protecţiei zincului scade sub circa 18 ani, adică la viteze de coroziune peste circa 4,7 µm/an.

6.3. Pasul 2: accesoriile

Accesoriile se evaluează prin durata de protecţie a fiecărei componente, calculată cu acelaşi model ca la structură. Şuruburile zincate la cald, cu 50 µm [17], au durate de 35,7; 15,9 şi 7,9 ani în C3, C4 şi C5, adică 59% din cele ale structurii (85 µm; 60,7; 27,0 şi 13,5 ani), deci accesoriile, nu structura, limitează durabilitatea platformei, iar numărul de înlocuiri în 50 de ani este 1, 3 şi 6 în C3, C4 şi C5. Şuruburile se pot înlocui, dar tijele ancorelor injectate nu pot fi înlocuite fără intervenţie în perete, deci pentru ele durata de 35,7 ani din C3 este insuficientă pentru o perioadă de 50 de ani şi se aleg tije din oţel inoxidabil, în acord cu practica semnalată în [15]. Soluţiile adoptate pentru fiecare accesoriu sunt în Tabelul 5.

Tabelul 5. Selecţia accesoriilor

Accesoriul	Variante	Constatări din literatură	Soluţia adoptată
Ancore în perete	Chimice; mecanice cu expandare	Durabilitate redusă în exterior sub încărcări susţinute [14]; ancorele zincate cu strat funcţional sunt nepotrivite în exterior [15]	Ancoră chimică cu tije inoxidabile în C3–C5 (A4/316 în mediu marin [19]); verificare la încărcare susţinută conform [16]
Şuruburi, piulițe, şaibe	Zincate la cald; zincate electrolitic; inox	Zincarea electrolitică este nerecomandată în exterior [17]; inoxul este compatibil cu zincul în atmosferă [18]	C3: zincate la cald; C4: zincate la cald cu înlocuire planificată sau inox; C5: inox
Balustradă	Oţel zincat; inox 316; aluminiu 6061-T6	Variantele se folosesc curent [19]; aluminiul cere izolare în atmosfere conductive [21]	Oţel zincat, cu aceeaşi protecţie ca structura, zincat împreună cu modulul
Pardoseală	Oţel zincat; alte materiale	Nu s-au identificat studii comparative	Acelaşi material şi aceeaşi protecţie ca structura; alte materiale neevaluate

7. CONCLUZII

Pentru o platformă metalică prefabricată expusă în exterior, selecţia materialelor şi a accesoriilor se face în doi paşi, iar industrializarea influenţează ambii paşi. Prefabricarea modulară mută 5 din 12 operaţii în fabrică (8% la asamblarea pe şantier) şi reduce operaţiile pe şantier de la 11 la 7; operaţiile rămase pe şantier sunt cele legate de perete, determinate de accesorii.

În pasul 1, zincarea la cald este prima în C3 (coeficient 1,000) şi C4 (0,716), iar în C5 sistemul duplex este primul (0,569) cu ponderile de referinţă. Zincarea devine prima şi în C5 când criteriile de industrializare însumează peste circa 36% din pondere. În pasul 2, şuruburile zincate la cald au o durată de protecţie de 59% din cea a structurii şi cer 1, 3, respectiv 6 înlocuiri în 50 de ani în C3, C4 şi C5, iar tijele ancorelor, care nu pot fi înlocuite, trebuie să fie din oţel inoxidabil.

Limitele studiului sunt: costurile structurii sunt indici derivaţi din surse publice, nu oferte de furnizori, iar sursa din industria zincării [13] poate favoriza zincarea, de aceea s-a testat şi scenariul din [12]; ponderile provin dintr-un studiu despre sisteme structurale [3]; scorurile C4 şi C6, numărătoarea operaţiilor şi clasificarea lor sunt atribuite de autori; accesoriile nu sunt evaluate prin cost, ancorele nu sunt dimensionate, iar pentru pardoseală nu există comparaţie. Etapele următoare: oferte reale de preţ, costul accesoriilor, dimensionarea ancorajelor şi validarea ponderilor la specialişti.

BIBLIOGRAFIE

[1]. A.L. DEDEU DUNTON, I. MARTIN, M. DELERA, M. FLICKENSCHILD: *Research Note on Offsite Construction, Ecorys pentru Secretariatul Tehnic al High Level Construction Forum, Comisia Europeană (DG GROW), decembrie **2024**.*

[2]. M. ZOHOURIAN, A. PAMIDIMUKKALA, S. KERMANSHACHI, D. ALMASKATI: *“Modular Construction: A Comprehensive Review”, Buildings, 15(12), 2020, **2025**, DOI 10.3390/buildings15122020.*

[3]. I.B. ZUMRUT, H.B. BARAN, T.G. OZBALTA: *“Multi-criteria decision-making approach for selecting a structural system of an industrial facility”, Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal, 14(1), 2022, pp. 2656–2665, DOI 10.2478/otmcj-**2022**-0010.*

[4]. L. RECE, D. VOICULESCU, A.-D.-B. PIRONEA, L. NICULIȚĂ, V. PIRONEA: *Modular metal balconies applicable to existing buildings, brevet de invenție, titular Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, clasificare E04B 2/30, certificat de înregistrare RO 132314 A0, OSIM, seria A/00449/05.07.**2017**.*

[5]. Z. YU, A. KRISHNAMOORTHY: *“Design for manufacturing and assembly (DFMA) in the industrialization of buildings and its evolution of large-scale structural design: a critical review”, Journal of Architecture and Civil Engineering, 10(11), pp. 17–29, **2025**.*

[6]. M. WANG, X. LI, F. LI, J. WANG: *“Research on Design of Modular Apartment Building Product Platform for Manufacture and Assembly: A Case Study of the Modular Dormitory Building Design Project”, Buildings, 15(19), 3585,* ***2025****, DOI 10.3390/buildings15193585.*

[7]. EN 1090-1:*2009+A1:2011, Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components; EN 1090-2:****2018****, Execution of steel structures and aluminium structures – Part 2: Technical requirements for steel structures.*

[8]. ISO 12944:***2018****, Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems, părțile 1–9.*

[9]. ISO 9223:***2012****, Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification, determination and estimation.*

[10]. HOT DIP GALVANIZERS ASSOCIATION SOUTHERN AFRICA: *Info Sheet No. 8 – Corrosion of zinc: corrosivity of atmospheres, hdgasa.org.za, consultat la 14.10.****2026****.*

[11]. EN ISO 1461:***2022****, Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods.*

[12]. B. ROSSI, S. MARQUART, G. ROSSI: *“Comparative life cycle cost assessment of painted and hot-dip galvanized bridges”, Journal of Environmental Management,* ***2017****, ScienceDirect PII S0301479717302281.*

[13]. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION: *Hot-Dip Galvanizing: Costs Less, Lasts Longer, publicație AGA cu date KTA-Tator din 2020, galvanizeit.org, consultat la 14.10.****2026****.*

[14]. R. NILFOROUSH, M. NILSSON, G. SÖDERLIND, L. ELFGREN: *“Long-Term Performance of Adhesive Bonded Anchors”, ACI Structural Journal, 113(2), pp. 251–261,* ***2016****, DOI 10.14359/51688060.*

[15]. M.Y. ECKSTEIN, J. HOFMANN: *“Tests to Assess the Durability of Expansion Anchors Made of Galvanized Steel with Functional Coating under Different Storage Conditions”, Otto Graf Journal, 20,* ***2021****.*

[16]. EN 1992-4:***2018****, Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete.*

[17]. GALVANIZERS ASSOCIATION OF AUSTRALIA: *After Fabrication: Hot Dip Galvanizing Manual – Selection of zinc coatings for bolts, designmanual.gaa.com.au, consultat la 14.10.****2026****.*

[18]. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION: *Stainless Steel in Contact with Galvanized Steel, articol tehnic online, galvanizeit.org, 2015, consultat la 14.10.**2026**.*

[19]. M.T. NAQASH, C. BEDON, A. FORMISANO: *“Structural design of balustrades: Code compliance, cross-section requirements and case studies”, Structures, 87, 111763, 2026, DOI 10.1016/j.istruc.**2026**.111763.*

[20]. N. EBRAHIMI, M. ROSHANFAR, M. MOMENI, O. NABOKA: *“Corrosion Performance of Atmospheric Corrosion Resistant Steel Bridges in the Current Climate: A Performance Review”, Materials, 18(15), 3510, **2025**, DOI 10.3390/ma18153510.*

[21]. V&S GALVANIZING: *Galvanized Steel with Aluminum Parts, articol tehnic online, hotdipgalvanizing.com, consultat la 14.10.**2026**.*

[22]. ISO 2178:***2016**, Non-magnetic coatings on magnetic substrates – Measurement of coating thickness – Magnetic method.*

[23]. ISO 19840, Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Measurement of dry film thickness on rough surfaces, ediția în vigoare.

[24]. A.D.B. PIRONEA, V.-P. IONESCU, L. RECE: *“Hybrid methodology for risk assessment in industrialised execution of precast concrete elements, with applications on post-execution inspection and possible integration of digital technologies”, Romanian Journal of Transport Infrastructure, 15(1), Article No. 3, 2026, DOI 10.2478/rjti-**2026**-0003.*

[25]. V.-P. IONESCU, A.D.B. PIRONEA, L. RECE: *“Collaborative robotic system for optimizing the execution of interior fit-out works: architecture, industrial quantification, and experimental validation”, Technium, 31, pp. 441–454, **2026**.*

UN PAS ÎNAINTE ÎN REZILIENȚA SISTEMELOR FLEXIBILE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA CĂDERILOR DE BLOCURI DE ROCĂ

Luis-Fonseca R. J., Geobrugg AG, Romanshorn, Elveția, Roberto.Luis@geobrugg.com
Gerber W., Anterior WSL, Birmensdorf, Elveția
Dudler R., Geobrugg AG, Romanshorn, Elveția, Remo.Dudler@geobrugg.com
Lanter H., Geobrugg AG, Romanshorn, Elveția, Helene.Lanter@geobrugg.com
Corbescu G., Inoveco Expert, Voluntari, România, george.corbescu@inovecoexpert.ro

Rezumat

Barierele de protecție împotriva căderilor de blocuri de rocă protejează infrastructuri critice în întreaga lume și trebuie să disipeze în siguranță cantități mari de energie pe toată durata lor de viață. Procedurile europene actuale de agrementare – urmate implicit la nivel internațional – se bazează însă pe condiții de încercare excesiv de idealizate: un singur bloc care lovește centrul câmpului median, la nivelul energiei de serviciu sau al energiei maxime. Acest scenariu geometric, cel mai favorabil, nu reflectă complexitatea evenimentelor reale, în care blocurile cad rareori singure sau lovesc bariera central, impacturile multiple, rotația blocurilor și fragmentarea generând încărcări extrem de neregulate și dinamice; încercările standard nu surprind, așadar, solicitările reale la care sunt supuse barierele. Articolul subliniază necesitatea unor abordări experimentale îmbunătățite – în special încercări în zonele critice, cu impacturi excentrice și simultane asupra câmpurilor marginale – evidențiază limitările ghidurilor actuale, sintetizează concluziile esențiale din cercetare și din experiența de teren și prezintă rezultate ale investigațiilor recente.

Cuvinte cheie: bariere de protecție împotriva căderilor de blocuri de rocă, Evaluări Tehnice Europene, încercări în zone critice, impacturi excentrice și simultane

Abstract

Rockfall barriers are widely used worldwide to protect critical infrastructure and must safely dissipate large amounts of energy throughout their lifetime. However, current European approval procedures – followed internationally by default – are based on overly idealized test conditions: a single block striking the centre of the middle field at either the service or maximum energy level. This most favourable geometric scenario does not reflect the complexity of real rockfall events, where blocks seldom fall alone or hit the barrier centrally; unpredictable combinations of multiple impacts, block rotation and fragmentation lead to highly irregular and dynamic load patterns, so standard tests fail to capture the true demands placed on barriers. The paper therefore highlights the need for improved experimental approaches – particularly tests at critical areas, with eccentric and simultaneous impacts on border fields – points out limitations in current guidelines, summarises key insights from research and field experience, and presents new findings from recent investigations.

Keywords: rockfall barriers, European Technical Assessments, tests in critical areas, eccentric and simultaneous impacts

1. INTRODUCERE

Utilizarea barierelor flexibile din oțel pentru atenuarea hazardului de căderi de blocuri de rocă a apărut în anii 1950, primele sisteme bazându-se pe plase triunghiulare din cabluri de oțel (Figura 1), structuri de protecție împotriva avalanșelor de zăpadă (Spang, 2000) — în multe cazuri, plase antitorpilă reutilizate din al Doilea Război Mondial (Figura 2).



Figura 1. Structură flexibilă antiavalanșe (1950)
(Spang, 2000)



Figura 2. Navă plutitoare de mine recuperând o plasă antitorpilă, Norfolk, Virginia 1945 (domeniu public)

Prima utilizare a plaselor din cabluri de oțel pentru protecția împotriva căderilor de blocuri a avut loc în 1951 la Schafberg (Elveția), ca barieră cu un singur câmp. Häfeli (ETH, Zürich) a introdus conceptul de structuri în serie și metode de proiectare pentru barierele flexibile antiavalanșe, care s-au dovedit rezistente și la impacturile cu blocuri de rocă. Pe această bază, Brugg AG, la propunerea lui Bindschädler, a adoptat soluția pentru căderi de blocuri: prima barieră flexibilă din lume a fost instalată la Brusio în 1958, urmată în 1959 de cea de la Ardez.

2. DE LA PRAGMATISM LA STANDARDIZARE

Proiectarea sistemelor flexibile de atenuare începe întotdeauna cu modele analitice și numerice, validate numai prin încercări de teren la scară reală (1:1), în condiții reale. Încercările la scară reală s-au dovedit esențiale pentru siguranța și fiabilitatea sistemelor și au influențat puternic elaborarea ghidurilor tehnice și a standardelor. Deoarece metodele de încercare au evoluat mai rapid decât standardele însele, acestea trebuie tratate separat: reglementările actuale se bazează încă pe rezultate mai vechi, cele mai recente constatări nefiind încă încorporate.

3. METODE DE ÎNCERCARE LA SCARĂ REALĂ

3.1. CONTEXT ISTORIC

Primele încercări sistematice pe plase de protecție au fost efectuate în 1962 la Brunnen (lângă Lucerna, Elveția): blocuri de circa 50 kg, aruncate de la 45 m înălțime, cu energii minime de 22 kJ, au marcat începutul caracterizării experimentale (Figura 3).

În 1968, la recomandarea companiei feroviare elveține BLS, au fost efectuate încercări cu blocuri de până la 1000 kg lansate către o barieră cu trei câmpuri, iar în 1975 Brugg AG (Birr) și Heierli Engineering (Zürich) au lăsat să cadă liber, de la 20 m, blocuri de beton de până la 1000 kg pe plase tensionate orizontal (Figura 4) — prima utilizare documentată a elementelor de frânare (Spang, 2000). În aceeași perioadă (Figura 5), Caltrans (SUA) a evaluat bariere de până la 200 kJ prin peste 80 de încercări cu blocuri de 136–5900 kg, rostogolite pe o pantă de 34° (Duffy, 1990), barierele rezistând la energii cu mult peste valorile de proiectare. Din 1988, Elveția a lansat peste 350 de experimente la scară reală, cu progrese majore în proiectarea barierelor (Baumann, 2002). Luis Fonseca (1995) a efectuat la Beckenried încercări pe două tipuri de bariere flexibile, cu lansare de tip funicular (până la 250 kJ) și instrumentare extinsă, obținând repetabilitate ridicată și control precis al parametrilor de impact. Colaborarea dintre cercetători și patru producători a crescut capacitatea de absorbție de la circa 250 kJ (1987) la aproximativ 2000 kJ (1998) (Figura 6).



Figura 3. Prima încercare la Brunnen (1962)



Figura 4. Prima încercare cu cădere verticală la Brugg (1976)



Figura 5. Încercarea barierei Brugg pentru Caltrans (1989)

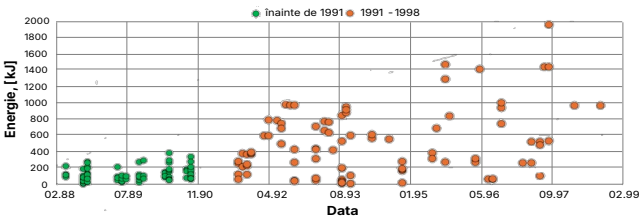


Figura 6. Încercări pe bariere împotriva căderilor de blocuri în Elveția, între 1988 și 1998 (Gerber, 2025)

Metodele de încercare în teren au evoluat pe măsură ce limitările lor au devenit evidente. Prima metodă (Figura 7.1): blocuri rostogolite pe un versant natural de rocă dură — energie pierdută la contact, viteze foarte variabile (6–24 m/s), repetabilitate slabă. A doua metodă (Figura 7.2): la Beckenried, o macara portal cu cale de cablu înclinată a permis o lansare mai controlată (10–22 m/s), însă unghiul de impact varia, iar blocurile loveau doar zona mediană a barierei. Metoda îmbunătățită (Figura 7.3), introdusă în 1991, utilizează un funicular înclinat cu eliberare de tip ghilotină: blocul ajunge direct la barieră, fără contact cu terenul (25–27 m/s la Beckenried, 29–31 m/s la Giswil); în 1998, o instalație similară a fost construită în Italia (Peila, 1998), cu monitorizare comparabilă celei de la Beckenried (Luis Fonseca, 1995; Ballester et al. 1996). Muraishi și Sano (1999) au prezentat metoda japoneză de certificare — încercări statice de laborator combinate cu încercări pe versant la 35° — concluzionând că abordarea cu cădere liberă este cea mai fiabilă. În 2000, FOEN (Oficiul Federal Elvețian pentru Mediu) a inițiat o procedură de certificare și a introdus a patra metodă de încercare (Figurile 7.4 și 8).

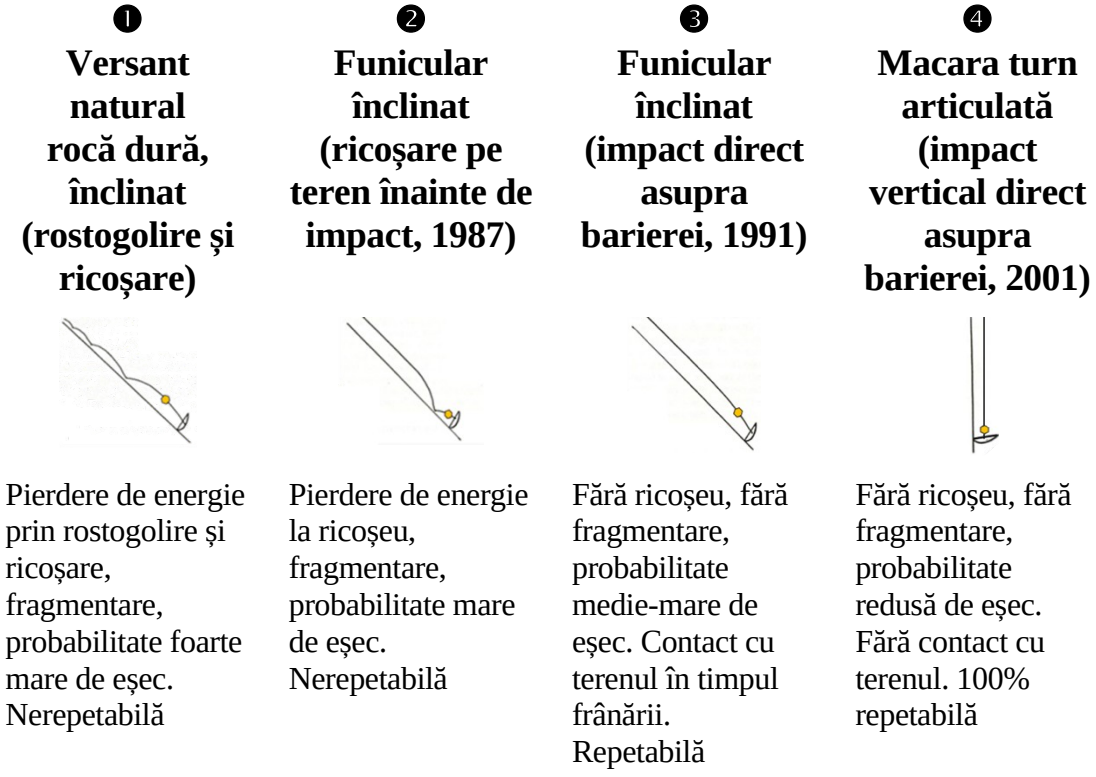


Figura 7. Clasificare în funcție de generațiile metodelor de încercare (modificat după Baumann, 2002)

Instalația permanentă de la Lochezen (Figura 8) utilizează o macara turn pentru căderea controlată a unui bloc de beton pe o barieră fixată pe un perete vertical de rocă, asigurând poziții de impact constante, fără pierderi de energie în teren, cu înregistrări video și măsurători detaliate — îmbunătățind semnificativ

calitatea și repetabilitatea încercărilor. Între 2001 și 2007, FOEN a certificat 24 de bariere (Gerber, 2025), testate la Nivelul Energiei Maxime (MEL) și la Nivelul Energiei de Serviciu (SEL = 50% MEL), cu valori MEL cuprinse între 100 și 5000 kJ.

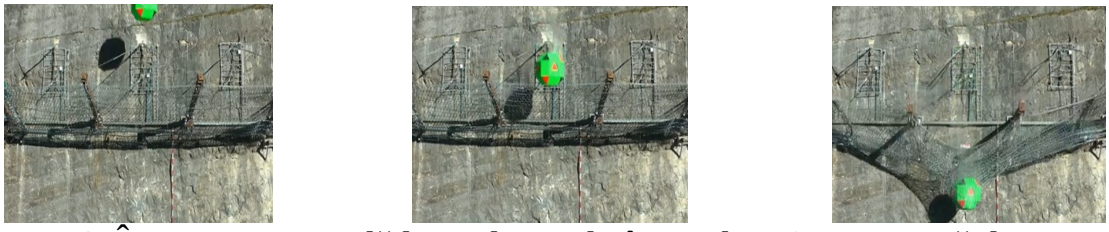


Figura 8. Încercare verticală la Walenstadt, în aprilie 2025. Barieră de 12,5 MJ (bloc de 25 t, v = 32 m/s)

În 2018, pe baza rezultatelor experimentelor anterioare, FOEN a propus o analiză mai detaliată a procesului de frânare și a transmiterii încărcărilor pentru ambele niveluri de energie (SEL și MEL). O încercare verticală pe o barieră de 2000 kJ (bloc de 6400 kg la 25 m/s, Figura 9) a indicat un timp de frânare de 0,4 s, o deplasare de 5–7 m pe traseul de alungire al plasei și un timp total de contact de 0,56 s. Variația forțelor de frânare și a decelerației blocului poate fi măsurată pe toată durata contactului cu plasa (Figura 10): dacă decelerația maximă apare devreme în faza de frânare, distanța de frânare este scurtă; dacă apare mai târziu, aceasta devine mai lungă.

3.2. NECESITATEA VALIDĂRII COMPARATIVE

Încercările pe versant natural sunt esențiale deoarece încercările cu cădere verticală (Figura 11b), deși utile pentru măsurarea parametrilor de bază, de multe ori nu reproduc comportamentul real: pe versant, blocurile accelerează, ricoșează, se rotesc, lovesc sub unghiuri oblice și suferă impacturi multiple, modificându-și viteza, direcția și energia de impact. Încercările pe versant surprind interacțiunile teren–barieră, verifică activarea disipatorilor de energie și confirmă valabilitatea rezultatelor verticale în condiții reale. Între 2019 și 2020, au fost efectuate încercări la scară reală (1:1) pe versant natural la Chant Sura, pasul Flüela, Elveția (Figura 11a), relevând efectele reale ale impacturilor excentrice și în zonele critice.

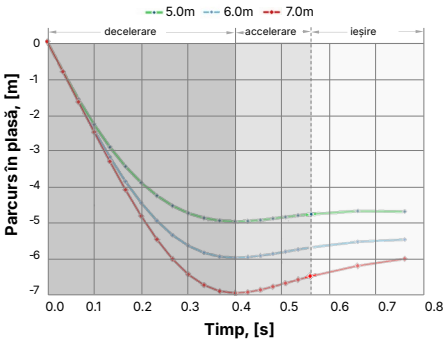


Figura 9. Procesul de frânare într-o încercare verticală cu energie de 2000 kJ (modificat după Gerber, 2025)

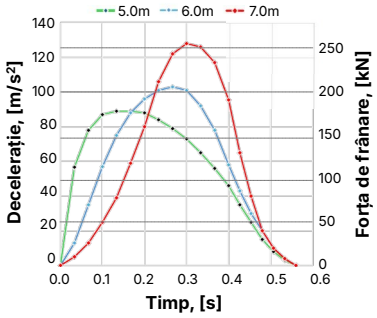


Figura 10. Decelerația și forțele de frânare pe durata contactului (modificat după Gerber, 2025)



Figura 11. Încercări pe versant natural și cu cădere verticală, blocuri de formă echidimensională

Aceste experimente au demonstrat influența semnificativă a rotației, formei și dimensiunii blocurilor asupra energiei de impact și a distribuției încărcărilor: treizeci de experimente cu blocuri de forme diferite, de 320–840 kg. La interacțiunea cu bariera, comportamentul blocului s-a modificat semnificativ, membrana de interceptare modificând unghiul de impact și făcând inaplicabile modelele de interacțiune cu terenul. Impacturile oblice au mărit solicitările la capetele stâlpilor prin forțe tangențiale suplimentare, energia cinetică s-a redus cu până la 67% de-a lungul traiectoriei, iar impacturile descentrate au produs forțe cu circa 33% mai mari în cablurile de reținere din amonte ale câmpurilor marginale — subliniind influența unghiului de impact, a rotației și a interacțiunii bloc–teren (Figura 12).

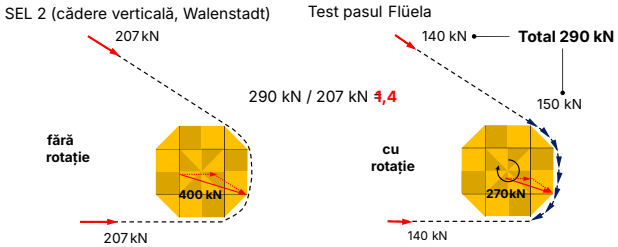


Figura 12. Comparație între încercarea cu cădere verticală (stânga) și încercarea pe versant natural de la pasul Flüela (dreapta). Energia mai mică din încercarea de teren conduce la forțe mai mari decât în încercarea verticală

3.3. TENDINȚE RECENTE ÎN ÎNCERCĂRILE LA SCARĂ REALĂ

O serie de încercări verticale complementare au fost efectuate la Walenstadt, Elveția, pe baza lecțiilor învățate la pasul Flüela (Caviezel et al. 2022), pentru a reproduce încărcările și deformațiile observate și a evalua cât de bine pot simula configurațiile de încercare standardizate condițiile reale de impact, utilizând masa blocului și vitezele minime prescrise la nivel european. **MEL-E** este o încercare pe trei câmpuri, cu un bloc care lovește într-un colț superior al câmpului central (Excentric), la energie de 100% MEL (Figura 13).

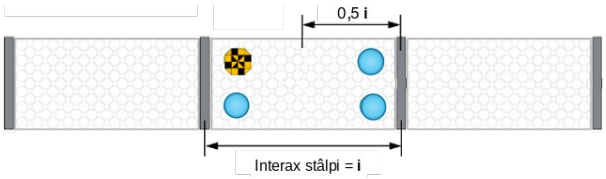


Figura 13. Impact excentric la MEL, în colțul superior, lângă capul stâlpului median al unui sistem cu trei câmpuri

Impacturile în apropierea capului stâlpului solicită mai puternic plasa și cablurile de reținere, impunând o configurație de încercare asimetrică. Încercarea MEL-E a demonstrat forțe cu 20–30% mai mari în cablurile din amonte și o forță de frânare cu 49% mai mare față de MEL standard, fiind cea mai potrivită pentru a reproduce comportamentul blocurilor în rotație, cu încărcări asimetrice și ridicate. **MEL-S** este o încercare pe un singur câmp (doar doi stâlpi), cu impact central și energie de 100% MEL (Figura 14).



Figura 14. Impact pe un singur câmp la MEL, corespunzător unui impact pe câmpul de capăt

Deoarece configurația MEL-S utilizează o suprafață de plasă mai mică și mai puține dispozitive de disipare, bariera preia aceeași energie cu mai puține componente: forțele din cablurile din amonte au fost cu 26% mai mari decât la MEL standard, iar frânele U rămase au absorbit cu 46% mai multă energie; în câmpul marginal, forțele au fost similare, fără absorbție asimetrică în frâne. MEL-S este astfel cazul de încărcare cel mai exigent, confirmând robustețea câmpului marginal (Figura 14 dreapta). Suplimentar, Geobrugg a efectuat încercări interne pentru alte două puncte critice: **separarea cablurilor** în interiorul barierelor și **impactul direct asupra unui stâlp** (Roduner et al. 2023 și TSÜS, 2020). Zona de separare a cablurilor, inclusiv frânele, prezintă

rezistență ridicată, bună absorbție a energiei și deformabilitate controlată, frânele redistribuind încărcările înainte ca acestea să ajungă la ancoraje; deformațiile corespund modelelor de proiectare. După certificarea unei bariere de 3000 kJ (un impact MEL și două SEL consecutive), au fost lansate lovituri SEL suplimentare în diverse locații (Roduner et al. 2023). Impactul direct asupra stâlpului (cădere liberă pe profil HEA 120), încercat pe o barieră de 500 kJ tip GBE, a oprit blocul la SEL (m = 580 kg, v = 25 m/s). Rezultatele și simulările numerice (Pimpinella, 2025) arată că la lovirea directă se formează o articulație plastică în profilul de oțel (Figura 15); stâlpul rămâne slăbit pentru impacturile ulterioare, iar deformația permanentă reduce înălțimea reziduală efectivă a barierei.



(a) (b) (c)

Figura 15. Etapele simulării numerice:
(a) t = 0,085 s (b) t = 0,125 s (c) t = 0,450 s

Încercările verticale suplimentare — în special cele privind **separarea cablurilor** — sunt esențiale pentru înțelegerea comportării componentelor flexibile sub încărcări extreme și a redistribuirii energiei la cedarea unui cablu, confirmând redundanța sistemului; încercările de impact direct asupra stâlpilor evaluează rezistența structurală, deformarea controlată și interacțiunea cu ancorajele și cablurile. **MEL–M** este o încercare pe trei câmpuri, cu două blocuri care lovesc simultan (Impact Multiplu Simultan) câmpul central și, respectiv, cel marginal (Geobrugg, 2025): energia totală corespunde valorii de 100% MEL, fiecare bloc purtând 50% din aceasta, cu o diferență de cel mult 0,1 s între primul și al doilea contact (Figura 16).

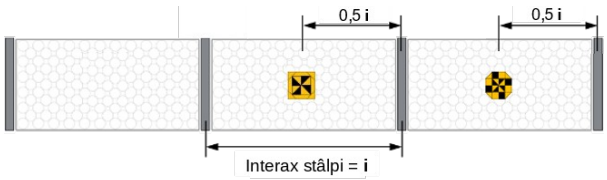


Figura 16. Două blocuri eliberate simultan

A fost efectuată o încercare pe o barieră de 3000 kJ pentru validarea comportamentului la impact multiplu, cu căderea și impactul simultane (Figura 17) a două blocuri de 4800 kg la 25 m/s (blocuri de formă echidimensională standardizate în Elveția și Europa, fiecare cu energie de serviciu de 1500 kJ).

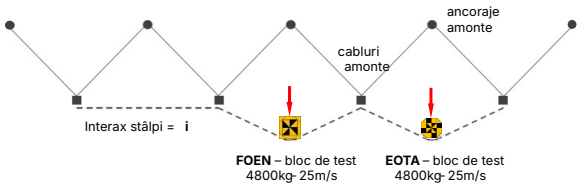


Figura 17. Schema celor două blocuri eliberate la nivelul energiei de serviciu

Din cauza încărcării multiple asimetrice în câmpurile 2 și 3, stâlpul 3 este supus unor solicitări ridicate, cablul portant fiind deviat pe ambele părți ale stâlpului (asemănător MEL-S), iar tensiunea plasei de inele solicită puternic piesa de cap și cablurile din amonte, fără deschideri ale plasei la capul stâlpului (Figura 18). Pentru problemele de fragmentare, unele ghiduri recomandă reducerea capacității nominale a barierei cu o treime (MBIE, 2016) — simplificare insuficientă, dovezile empirice arătând că barierele pot ceda chiar și la impacturi excentrice la nivelul energiei de serviciu.



Figura 18. Impact simultan pe două câmpuri ale barierei (câmpul median și câmpul de capăt)

În rezumat: **MEL-S** este referința pentru absorbția maximă de energie în câmpurile marginale, stabilitatea stâlpilor și performanța structurală sub încărcare simetrică; **MEL-E** simulează impactul excentric în zona superioară a câmpului median, lângă capul stâlpului, reproducând efectele blocurilor în rotație și ale impacturilor descentrate. Împreună, cele două configurații acoperă întreaga lățime a barierei, în condiții simetrice și asimetrice, iar **MEL–M** ia în considerare fragmentarea și impacturile multiple.

4. REGLEMENTĂRI. CRONOLOGIE ȘI STADIU ACTUAL

La începutul anilor 2000, absența unor standarde internaționale unificate a determinat diferite țări să își stabilească propriile abordări de încercare: Elveția a introdus o procedură națională de certificare în 2001 (Gerber, 2001), revizuită în 2006 și adoptată pe scară largă internațional, iar Italia a elaborat un ghid neobligatoriu. Pornind de la metodologia elvețiană, Organizația Europeană pentru Evaluare Tehnică (EOTA) a publicat ETAG 027 în 2008 (ETAG, 2008) — permițând ulterior configurații înclinate și definind SEL ca 33% din MEL — transformat în 2018 în Documentul European de Evaluare (EAD) 340059-00-

0106. Abordarea elveţiană rămâne cea mai strictă, iar o limitare esenţială a tuturor standardelor este că proiectarea fundaţiilor nu a fost inclusă niciodată în certificare, fiind lăsată în sarcina antreprenorilor. Recomandările AASHTO din 2003 au evidenţiat încercările verticale cu cădere liberă ca fiind cele mai precise (Higgins, 2003), iar ONR 24810 (2021) a introdus, din 2013, cerinţe stricte pentru integritatea barierelor: prevenirea deschiderilor, controlul deformaţiilor, întreţinere şi inspecţie.

4.1. GHIDURILE COMPLEMENTARE ELVEȚIENE 2018 ŞI 2022

Până la 31 ianuarie 2018, certificarea era guvernată de „Ghidul pentru omologarea kiturilor de protecţie împotriva căderilor de blocuri” elveţian, finanţarea publică fiind limitată la sistemele conforme. În 2018, FOEN a introdus un ghid complementar pentru evaluarea conformităţii barierelor comerciale cu cerinţele specifice proiectelor, în special privind fundaţiile, neabordate în standardele europene actuale. Deşi ETAG 027 (2008), devenit EAD în 2018, a stabilit cadrul pentru încercări şi marcajul CE — plasând responsabilitatea asupra producătorilor — unele regiuni impun niveluri de siguranţă mai ridicate decât cele din EAD 340059-00-0106. Cercetările şi încercările la scară reală efectuate de Geobrugg şi WSL, sub supravegherea TSÜS, au demonstrat necesitatea unor condiţii de încercare mai realiste (impacturi în zone specifice, rotaţia blocurilor), prezentate în Caviezel et al. (2022), îmbunătăţind semnificativ evaluarea şi proiectarea barierelor.

4.2. CERINȚE, CONFORM GHIDULUI COMPLEMENTAR AL FOEN 2018

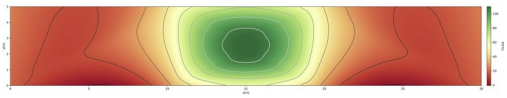
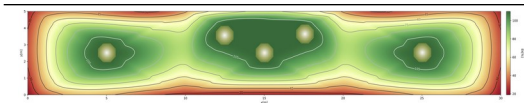
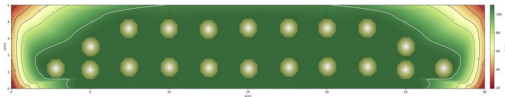
Ghidul complementar FOEN (2018) stabileşte criterii stricte pentru performanţa fiabilă în proiecte reale a barierelor şi a fundaţiilor acestora; doar sistemele care îndeplinesc toate cerinţele – fără componente slabe, precum ancoraje subdimensionate – sunt considerate suficient de sigure. Evaluarea utilizează ETA producătorului şi documentaţia tehnică, analizând traiectoria blocului, energia de impact, săgeata, distanţa de frânare, performanţa ancorajelor, înălţimea reziduală, unghiul versantului şi eventualele reazeme intermediare. O cerinţă centrală este înălţimea reziduală (h_R), care trebuie să rămână de cel puţin 50% din înălţimea nominală după încercarea MEL şi de 65% pentru încercările cu impact oblic. Distanţa maximă de frânare (w) este corelată cu energia MEL şi definită prin expresia logaritmică a FOEN: $w = 1.534 \cdot \ln(MEL[kJ]) - 3.06[\text{m}]$. Barierele fără frâne intermediare se limitează la 60 m lungime, iar sistemele care nu îndeplinesc cerinţele FOEN nu trebuie utilizate. Ghidul FOEN (2018) extinde ETA printr-un cadru mai cuprinzător

privind calitatea, siguranța, durabilitatea și adecvarea la condițiile reale, cu accent pe sistemele de ancorare și fundații.

4.3. CERINȚE SUPLIMENTARE, CONFORM GHIDULUI SUPLIMENTAR DIN 2022

Începând cu 2020, Geobrugg și WSL au dezvoltat programe extinse de încercări la scară reală pentru noile cerințe ale pieței și creșterea factorului de siguranță al barierelor (Caviezel et al. 2022), cu încercări de impact pe diverse câmpuri, dincolo de cerințele FOEN (2018). Standardele actuale validează impacturile doar în centrul barierei, creând o „zonă sigură” cu performanță garantată; siguranța scade însă pe măsură ce impacturile reale se abat de la această zonă. Tabelul 1 evidențiază nivelurile de siguranță ale sistemelor certificate și cerințele suplimentare ale FOEN.

Tabelul 1. Percepție versus realitate privind nivelul actual de siguranță al barierelor

Schemă	Percepție versus realitate
	bariera rezolvă 100% din impacturi pe întreaga sa zonă de captare (percepție)
	reglementările actuale garantează absorbția energiei doar în centrul câmpului central, conform tuturor directivelor în vigoare (realitate)
	încercările excentrice (MEL-E) și în zonele critice (MEL-S), propuse de Elveția în 2022, măresc zona sigură (realitate)
	încercările cu impact multiplu (MEL-M) și încercările suplimentare în punctele critice extind zona de interceptare (realitate apropiată de percepție)

Procesul de reglementare – deși esențial – evoluează mai lent decât progresele științifice și tehnologice. Din acest motiv, standardul EAD 340059-00-0106, aflat în prezent în vigoare în toate țările membre ale UE, inclusiv Norvegia, Islanda, Liechtenstein și Elveția, este recunoscut și la nivel mondial ca principală referință tehnică. Tabelul 2 rezumă regulile recomandate (ultimele două recomandări pot fi opționale).

Tabelul 2. Criterii de proiectare pentru o aplicare mai sigură a kiturilor de protecție împotriva căderilor de blocuri

Criteriu	Entitate coordonatoare
EAD 340059-00-0106. Clasa A, controlul h_R	EOTA

încercare verticală cu cădere liberă la ambele niveluri de energie: SEL și MEL	FOEN, EOTA
controlul alungirii maxime	FOEN
controlul deschiderilor post-impact	ONR
MEL-E încercare cu impact excentric	FOEN
MEL-S încercare cu impact pe un singur câmp sau pe câmpul marginal	FOEN
MEL-M impact multiplu	Geobrugg
încercare cu impact direct asupra stâlpului (opțional)	Geobrugg
încercare cu impact pe separarea cablurilor (opțional)	Geobrugg

5. CONCLUZII

Certificarea actuală a barierelor împotriva căderilor de blocuri nu reflectă comportamentul real al fenomenului: evaluează doar impacturi centrate, cu un singur bloc, ignorând încărcarea excentrică, rotația blocurilor, impacturile multiple și interacțiunea cu terenul — toate generând forțe semnificativ mai mari, în special în stâlpi și în câmpurile marginale. Încercările la scară reală pe versant, precum cele de la pasul Flüela, relevă comportamente critice omise de procedurile standard, inclusiv forțe cu 20–30% mai mari în cablurile din amonte. Noile încercări complementare (MEL-E, MEL-S, MEL-M) reproduc mai bine scenariile reale, evaluând impacturile excentrice, multiple și solicitările componentelor-cheie. Întrucât standardul EAD omite fundațiile, ancorarea, impacturile excentrice, viteza unghiulară și efectele blocurilor multiple, cerințele suplimentare din FOEN (2018), Caviezel et al. (2022) și Geobrugg (2025) sunt esențiale. Combinarea încercărilor verticale, excentrice, extreme, multiple și specifice pe zone extinde considerabil zona sigură verificată, cu fiabilitate și siguranță reală îmbunătățite. Este, probabil, momentul unei noi ediții a EAD.

BIBLIOGRAFIE

[1]. BALLESTER, F., LUIS-FONSECA, R., AND TORRES-VILLA, J.A., (**1996**) *Protección contra desprendimientos de rocas, Pantallas dinámicas*. Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras. Madrid

[2]. BAUMANN, R., (**2002**) *The worldwide first official approval of rockfall protection nets*. Proceedings Annual Highway Geology Symposium, California State Department of Transportation. San Luis Obispo

[3]. CAVIEZEL, A., MUNCH, J., BARTELT, P. & LANTER, A., (**2022**) *Rockfall barrier service loads for rock impacts with spin*. Theory and experiments. Report 125. WSL. Birmensdorf

[4]. DUFFY, J., (**1990**) *Flexible Wire Rope Rockfall nets*. Research Report. Record 1343. CDT. San Francisco

[5]. EOTA (**2008**) *Guideline for European Technical approval of falling rock protection kits*. ETAG 027. Brussels

[6]. EOTA (**2018**) *EAD-340059-00-0106 Falling Rock Protection Kits*. Brussels

[7]. FOEN (**2018**) *Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung von Steinschlagschutznetzen und deren Fundation*. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern

[8]. GEOBRUGG (**2025**) *Rockfall protection systems*. https://www.geobrugg.com. Romanshorn

[9]. GERBER, W., (**2001**) *(Am*. **2006**) Guideline for the approval of rockfall protection kits. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL) and the Swiss Federal Research Institute. WSL. Berne

[10]. GERBER, W., (**2025**) *30 Years of Testing Rockfall Nets*. Some Results and Findings. WSL. Birmensdorf

[11]. HIGGINS, J., (**2003**) *Recommended procedures for the testing of rock-fall barriers*. Colorado School of Mines. AASHTO Standing Committee on Highways. Golden

[12]. LUIS-FONSECA R., (**1995**) *Desarrollo de nuevos sistemas de protección de taludes y laderas rocosas*. Pantallas dinámicas. Doctoral Thesis University of Cantabria. Santander

[13]. MBIE GUIDELINES (**2016**) *Rockfall: Design considerations for passive protection structures*. Ministry of Business, Innovation & Employment. New Zealand

[14]. MURAISHI, H., AND SANO, S., (**1999**) *Full-Scale Rockfall Test of Ring Net Barrier and Components Seminar of Rockfall Tests and Standardization*. Davos

[15]. ONR 24810 (**2021**) *Technical protection against rockfall - Terms and definitions, effects of actions, design, monitoring, and maintenance*. Austrian Standards Institute. Vienna

[16]. PEILA, D., (**1998**) *Guidelines for the Classification and Certification of the Behaviour of Net Fences & Rock Mass Protection Barriers*. Proceedings Annual Symposium, Witten, Germany

[17]. PIMPINELLA, F., (**2025**) *Mechanical performance of flexible rockfall barriers*. Approaches and methods to establish efficient maintenance procedures. Polytechnic University of Torino, Italy

[18]. RODUNER, A., LANTER, H., EICHER M., (**2023**) *Latest developments to increase the quality of flexible rockfall protection barriers*. ISRM **2023**. Salzburg

[19]. SPANG, R.M., (**2000**) *Standardisierung von Prüfverfahren für Steinschlagschutzbarrieren – Ziele und aktueller Stand.- Techn*. Akad. Esslingen, 2. Kolloquium Bauen in Boden und Fels

[20]. TSÜS (**2020**) *Technical report 70200042/1 Evaluation and assessment of eccentric, single and support rope separation impact test on Falling Rock Protection Barrier ROCCO-2000*. Bratislava

INFLUENȚA IZOLATORILOR SEISMICI ASUPRA SOLICITĂRILOR SEISMICE ALE PODURILOR: SINTEZĂ COMPARATIVĂ A PODURILOR IZOLATE ȘI NEIZOLATE

Macri Elena-Laura, Drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: elena-laura.macri@phd.utcb.ro

Rezumat

Izolatorii seismici reduc eforturile transmise infrastructurii podurilor, în schimbul unor deplasări mai mari la nivelul dispozitivelor de izolare. Articolul sintetizează studiile în care poduri cu suprastructura din beton sunt analizate sau încercate cu și fără izolatori. Variațiile raportate au fost exprimate față de același pod neizolat, rezumate prin mediane și grupate după tipul podului: grinzi continue, cadre și grinzi simplu rezemate. Izolarea a redus, în general, eforturile din infrastructură, deplasarea la nivelul superior al pilelor și accelerația suprastructurii, în timp ce deplasarea orizontală a acesteia nu a avut o tendință constantă. Reducerea eforturilor a fost, de regulă, mai mare la grinzile continue și mai mică la grinzile simplu rezemate. Totuși, diferențele dintre poduri de același tip au fost mai mari decât cele dintre tipuri diferite și au fost asociate în principal cu modul de rezemare al podului neizolat. Eficiența izolării nu poate fi transferată de la un pod la altul fără a ține seama de tipul structurii și de podul de referință față de care a fost evaluată.

Cuvinte cheie: izolarea bazei; poduri din beton; tipologia podurilor; aparate de reazem pentru poduri; mișcări seismice; creșterea perioadei

Abstract

Seismic isolators reduce the forces transmitted to bridge substructures in exchange for larger displacements at the isolation level. This paper synthesises studies in which bridges with a concrete superstructure are analysed or tested with and without isolators. The reported changes were expressed relative to the same non-isolated bridge, summarised by medians and grouped by bridge type: continuous girders, frames and simply supported girders. Isolation generally reduced substructure forces, pier-top displacement and superstructure acceleration, whereas horizontal superstructure displacement showed no consistent trend. The force reduction was usually larger for continuous girders and smaller for simply supported girders. However, the differences between bridges of the same type were larger than those between types and were associated mainly with the support conditions of the non-isolated bridge. The effectiveness of isolation cannot be transferred from one bridge to another without accounting for the structure type and the reference bridge against which it was assessed.

Keywords: base isolation; concrete bridges; bridge typology; bridge bearings; ground motion; period lengthening

1. INTRODUCERE

Decuplarea unei construcţii de la mişcarea terenului este un principiu vechi, dar izolarea seismică a devenit o soluţie inginerească aplicabilă abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea, odată cu dezvoltarea aparatelor de reazem din elastomer armat, rigide pe verticală şi flexibile pe orizontală. Izolatorii din elastomer cu miez de plumb, apăruţi în anii ’70 în Noua Zeelandă, şi izolatorii cu pendul cu frecare, dezvoltaţi în anii ’80, au adus capacitatea de a disipa energie chiar în izolator, nemaifiind necesară instalarea unor dispozitive separate pentru amortizare. După cutremurele de la Loma Prieta (1989), Northridge (1994) şi Kobe (1995), care au avariat grav numeroase poduri, izolarea s-a răspândit la podurile noi şi la consolidarea celor existente şi a fost inclusă în normele europene de proiectare.

Izolatorii fac podul mai flexibil pe orizontală. Perioada proprie creşte şi iese din domeniul în care cutremurele au, de regulă, cea mai mare energie, iar o parte din energie este disipată în izolatori [1]. Rezultatul aşteptat constă în obţinerea unor eforturi mai mici în pile, culee şi fundaţii, în schimbul unor deplasări mai mari la nivelul izolării. Efectul se poate stabili comparând acelaşi pod cu şi fără izolatori. De aceea, lucrarea măsoară efectul prin variaţia relativă faţă de acelaşi pod neizolat, conform relaţiei (1), unde o valoare negativă reprezintă o reducere.

$$\Delta R = \frac{R_{iz} - R_{neiz}}{R_{neiz}} \cdot 100 [\%] \qquad (1)$$

unde:

- ΔR este variația relativă a mărimii de răspuns, %;
- R_{iz} este valoarea mărimii de răspuns (efortul din infrastructură, deplasarea sau accelerația) pentru podul izolat;
- R_{neiz} este valoarea mărimii de răspuns (efortul din infrastructură, deplasarea sau accelerația) pentru podul neizolat.

2. STUDIILE ŞI METODA

Au fost incluse numai studiile, identificate prin căutări în Scopus, Web of Science şi OpenAlex, în care acelaşi pod este analizat sau încercat cu şi fără izolatori. Sistemele hibride, sistemele de control structural şi dispozitivele noi au fost excluse, cu excepţia a două articole în care izolatorii lucrează împreună cu amortizoare vâscoase (studiile 14 şi 16 din Tabelul 1). După limitarea la podurile cu suprastructura din beton şi excluderea lucrărilor care nu oferă rezultate numerice au rămas 27 de lucrări. Studiul lui Kumbhojkar et al. [2], care analizează acelaşi pod în două variante, a fost împărţit în două cazuri, rezultând 24 de unităţi (Tabelul 1).

Pentru fiecare valoare extrasă s-au înregistrat mărimea de răspuns, direcţia, înregistrarea sau cazul de încărcare şi valorile pentru podul izolat şi pentru cel neizolat. Fiecare caz este reprezentat, pentru fiecare mărime de răspuns, prin mediana valorilor sale. Rezultatul unei categorii, numit în continuare mediana generală, este mediana valorilor obţinute pentru fiecare caz analizat. Dispersia este descrisă prin intervalul intercuartilic, care cuprinde jumătatea din mijloc a medianelor şi nu este influenţat de un singur studiu atipic. Deoarece studiile raportează un număr foarte diferit de valori, pentru fiecare caz a fost aleasă şi o singură valoare reprezentativă: forţa tăietoare la baza pilei cu cel mai mare efort în podul neizolat, pe direcţia longitudinală. Unde studiul nu raportează această mărime, s-a folosit forţa tăietoare pe direcţia raportată sau, în lipsa ei, alt efort din pilă.

Fiecare studiu a fost încadrat după tipul podului neizolat: grindă continuă (inclusiv grinzi simplu rezemate continuizate), cadru (suprastructură solidarizată cu infrastructura) şi grinzi simplu rezemate. Douăsprezece unităţi sunt grinzi continue, şase sunt cadre şi şase sunt grinzi simplu rezemate. La cadre, izolatorii sunt aşezaţi fie între suprastructura şi pile, caz în care podul izolat devine o grindă pe izolatori (Kiral et al. [19], Börekçi et al. [20], Shamsi et al. [21]), fie la baza pilelor, caz în care cadrul se păstrează (Kumbhojkar et al. [2], X. Chen et al. [18]); la Makris şi Zhang [5], podul este izolat numai la culei. Limitarea la beton, pentru ca podurile comparate să nu difere şi prin material, şi gruparea după tip au fost stabilite după primele sinteze.

3. EFORTURILE DIN INFRASTRUCTURĂ

Dintre cele 24 de unităţi din Tabelul 1, 18 raportează eforturile: 14 prin valori din care se poate calcula o mediană a unităţii şi patru numai prin intervale, analizate mai jos. Celelalte şase raportează numai deplasări sau acceleraţii.

Izolarea reduce eforturile în aproape toate cazurile: în 15 dintre cele 18 unităţi, toate valorile raportate sunt reduceri. Cele trei excepţii au cauze diferite. La Y. Gao et al. [4] şi la L.-K. Chen et al. [3], efortul creşte în cazul unei singure înregistrări, de tip impuls (Secţiunea 6). La Makris şi Zhang [5], pasajul este izolat numai la culei, iar eforturile cresc în pila centrală. Aici creşterea nu vine din mişcarea seismică, ci din redistribuirea eforturilor între elementele infrastructurii.

Pentru cele 14 unităţi, mediana generală este −66,8%: în cazul tipic, izolarea reduce eforturile din infrastructură la aproximativ o treime din valoarea podului neizolat (Figura 1). Dispersia este însă mare. Jumătate dintre unităţi se află între −78,7% şi −27,0% (intervalul intercuartilic), iar extremele sunt −90,2% la Ghobarah şi Ali [6], unde suprastructura podului neizolat nu se poate deplasa pe orizontala faţă de pile, şi −0,9% la Y. Gao et al. [4], unde podul neizolat reazemă deja pe aparate din elastomer. Această dispersie este analizată în Secţiunea 5, în funcţie de tipul podului şi de rezemarea referinţei.

Rezultatul nu depinde de numărul de valori publicate în fiecare studiu. Dacă pentru fiecare unitate se utilizează o singură valoare a efortului, cea principală (Secţiunea 2), mediana devine −67,4%. Singura mediană pozitivă apare la Y. Gao et al. [4] (+35,4%), unde mărimea principală este forţa tăietoare din pilă sub înregistrarea de tip impuls. Toate aceste valori compară răspunsuri obţinute prin modelare sau prin încercări pentru acelaşi pod, sub aceeaşi acţiune.

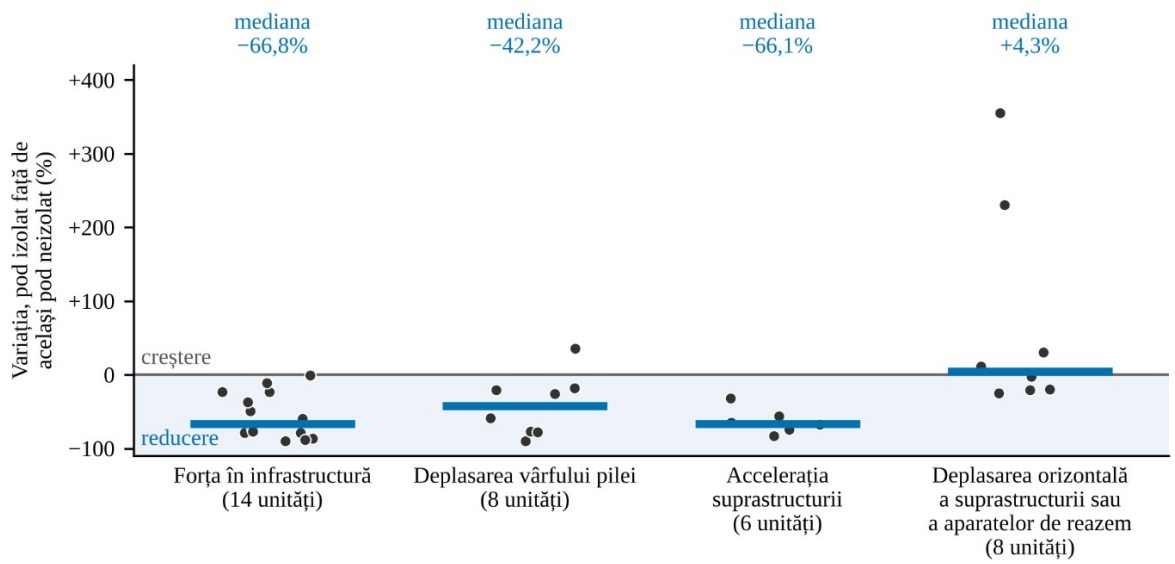


Figura 1. Variația eforturilor, deplasărilor și accelerațiilor podului izolat față de cel neizolat

Figura 1 rezumă efectul izolării asupra celor patru mărimi de răspuns analizate. Fiecare punct reprezintă o unitate de evidență, mai exact mediana variațiilor raportate de aceasta, calculată cu relația (1), iar bara orizontală marchează mediana generală a categoriei. Zona colorată de sub axa zero corespunde micșorărilor, iar punctele de deasupra ei, creșterilor. Imaginea arată două tendințe opuse. Eforturile din infrastructură, deplasarea la nivelul superior al pilei și accelerația suprastructurii scad în aproape toate situațiile, cu mediane generale de −66,8%, −42,2% și −66,1%. Deplasarea orizontală nu are un sens constant: mediana generală este de doar +4,3%, iar valorile se împart aproape egal între creșteri și scăderi, cu câteva creșteri foarte mari. Izolarea reduce astfel solicitările infrastructurii, dar poate muta o parte din răspuns în deplasarea de la nivelul izolatorilor, care trebuie verificată separat (Secțiunea 4). Dispersia mare din fiecare categorie arată că mediana descrie tendința generală, nu efectul așteptat pentru un pod anume.

Tabelul 1. Cele 24 de cazuri analizate: variația solicitărilor seismice ale podului izolat față de același pod fără izolatori, grupate după tipul podului neizolat

Nr.	Lucrarea [sursa]	Pod neizolat: rezemare	Pod izolat: izolatori	Forța: toate / principală	Depl. vârf pilă	Depl. tablier/ aparat	Accel.
Grinzi continue — 12 studii							
1	Ghobarah & Ali [6]	fixă (articulată la pilă)	elastomer cu miez de plumb	−90,2% (3) /	−90,2% (3)	+30,1% (3)	—
2	Kunde & Jangid [7]	fixă (articulată)	variante: elastomer, elastomer cu plumb, pendul	−86,1% (36) /	—	—	−74,3% (36)
3	Tongaonkar & Jangid [8]	nedescrisă	elastomer	−78,8% (18) /	—	—	−65,2% (18)
4	Sabamehr & Bagchi [9]	fixă	variante: elastomer cu plumb, pendul	−78,4% (18) /	—	—	—
5	Gong et al. [10]	fixă la pila 4, mobilă în rest	elastomer cu plumb + alunecare	−73,6% (12) /	−76,9% (12)	−2,5% (12)	—
6	Y. Gao et al. [4]	elastomer	elastomer cu miez de plumb	−0,9% (2) /	+36,0% (2)	—	−32,1% (2)
7	Kumbhojkar et al. [2], pod convențional	elastomer	elastomer cu miez de plumb	−23,5% (36) /	—	—	—
8	Gupta et al. [11]	fixă la pile	pendul cu frecare	−97,0% la −70,0%	−26,0% (1)	−43,0% la −28,0%	−78,0% la −33,0%
9	Dicleli [12] (numai intervale)	elastomer	biliniar (generic)	−41,0% la −36,0%	—	—	—
10	Y. Li et al. [13]	elastomer	elastomer cu amortizare ridicată	—	—	−20,4% (12)	—
11	Ates & Constantinou [14, 15]	nedescrisă la pile (culei integrale)	pendul cu frecare	—	—	+230,3% (68)	−56,0% (102)
12	Yurdakul & Ateș [16]; Yurdakul et al. [17]	nedescrisă	pendul cu frecare	—	—	+11,0% (1)	—
Cadre — 6 studii							
13	X. Chen et al. [18]	fixă (tablier monolit cu pilele)	pendul cu frecare	−80,0% la −66,7%	—	—	—
14	Kiral et al. [19] (cu amortizoare vâscoase)	fixă (monolită)	elastomer + amortizoare vâscoase	−87,8% (26) /	—	—	—
15	Kumbhojkar et al. [2], pod integral	fixă (tablier monolit cu pilele)	elastomer cu miez de plumb	−60,0% (36) /	—	—	—
16	Makris & Zhang [5] (cu amortizoare vâscoase; izolat numai la culeele de capăt)	fixă (pilă centrală monolită)	elastomer + amortizoare vâscoase	+100,0% la +200,0%	—	—	—

Nr.	Lucrarea [sursa]	Pod neizolat: rezemare	Pod izolat: izolatori	Forța: toate / principală	Depl. vârf pilă	Depl. tablier/ aparat	Accel.
17	Börekçi et al. [20] (lucrare de conferință)	fixă (monolită)	elastomer cu miez de plumb	—	−78,0% (1)	−25,3% (1)	—
18	Shamsi et al. [21]	fixă	HDRB	−23,1% (12) /	—	—	—
Grinzi simplu rezemate — 6 studii							
19	Matsagar & Jangid [22]	nedescrisă	variante: elastomer, elastomer cu plumb, pendul	−76,8% (36) /	—	—	−82,6% (36)
20	Mansouri et al. [23]	fixă	variante: elastomer, elastomer cu plumb, pendul	−48,9% (6) /	—	—	—
21	Santoso et al. [24, 25] (referință reproiectată cu pile mai mari)	elastomer (opritor după un rost de 200 mm)	elastomer cu miez de plumb	−37,5% (112) /	−18,4% (59)	—	—
22	L.-K. Chen et al. [3]	aparate tip oală, fără a se ști care sunt fixe	HDRB	−11,2% (30) /	−20,5% (8)	−19,4% (9)	—
23	Moestopo et al. [26]	fixă	pendul cu frecare	—	—	—	−67,1% (6)
24	Yu et al. [27]; H. Li et al. [28]	fixă la un capăt, mobilă în rest	pendul cu frecare	—	−58,4% (11)	+355,2% (8)	—

Tabelul 1 prezintă, pentru fiecare unitate de evidență, tipul și rezemarea podului neizolat, izolatorii folosiți și variația celor patru mărimi de răspuns, grupate după tipul podului. Izolatorii servesc doar la identificarea studiilor și nu sunt comparați între ei.

Cele patru unități care raportează numai intervale arată, cu o excepție, tot o reducere a forțelor. X. Chen et al. [18] reduc forțele în pile la o treime până la o cincime (−66,7% până la −80,0%), iar Gupta et al. [11] raportează reduceri de 70% până la 97%. La Dicleli [12], unde dispozitive cu rost limitează deplasarea izolatorilor, forțele tăietoare la baza infrastructurii scad la 59–64% din cele ale podului neizolat. Excepția este Makris și Zhang [5]: podul este izolat numai la culee, iar forța tăietoare la baza pilei centrale, legată monolit de tablier, crește cu 100% până la 200%. Izolarea poate deci muta eforturile de la elementele izolate spre cele rămase neizolate.

Excluderea acestor patru unități din mediana generală nu schimbă rezultatul. Dacă fiecare interval este înlocuit pe rând cu valoarea sa de mijloc, cu cea minimă sau cu cea maximă, mediana generală devine −66,7%, −66,8%, respectiv −63,4%, față de −66,8% fără ele.

4. DEPLASĂRILE ŞI ACCELERAŢIILE

Izolarea reduce deplasarea de la nivelul superior al pilei: în cele opt unităţi care o raportează, mediana generală este −42,2% (interval intercuartilic de la −77,2% la −20,0%). Singura creştere apare la Y. Gao et al. [4] (+36,0%), sub o înregistrare obținută aproape de falie.

La nivelul izolării, efectul nu are un sens constant. Pentru deplasarea orizontală a suprastructurii sau a aparatelor de reazem, mediana generală (opt unităţi) este +4,3% (interval intercuartilic de la −19,6% la +80,1%). Patru unităţi arată creşteri, cele mai mari la Yu et al. şi H. Li et al. [27, 28] (+355,2%) şi la Ates şi Constantinou [14, 15] (+230,3%), iar patru arată scăderi: Börekçi et al. [20], Y. Li et al. [13], L.-K. Chen et al. [3] şi Gong et al. [10]. Deplasarea de la nivelul izolării trebuie deci verificată separat, în valori absolute, faţă de capacitatea izolatorilor şi a rosturilor.

Acceleraţia suprastructurii scade în toate cazurile. Dintre cele şapte unităţi care o raportează, şase permit calculul unei mediane, iar mediana generală este −66,1% (interval intercuartilic de la −72,5% la −58,3%), cu valori de la −82,6% [22] la −32,1% [4]. Creşteri apar numai pe direcţia verticală: la Ates şi Constantinou, acceleraţia verticală a suprastructurii creşte cu 24,7% şi 35,2% în analiza cu spectru de răspuns [15], dar scade în analiza dinamică în timp a aceluiaşi pod [14].

5. INFLUENŢA TIPULUI DE POD

Gruparea după tipul podului are un rol descriptiv. Ea arată cum se distribuie cazurile din literatură pe tipuri de poduri şi cât de mult variază modificările răspunsului structural pentru fiecare tip.

Tabelul 2 rezumă eforturile din infrastructură pe tipuri de pod. Mediana generală este −78,4% la grinzile continue (7 unităţi cu mediană), −60,0% la cadre (3) şi −43,2% la grinzile simplu rezemate (4), dar intervalele intercuartilice se suprapun în mare parte. Ordinea depinde şi de mărimea folosită: pe efortul principal, medianele devin −67,4%, −70,8% şi −57,7%, astfel încât cadrele trec înaintea grinzilor continue. Se păstrează doar faptul că grinzile simplu rezemate au cea mai mică reducere.

Tabelul 2. Variația eforturilor în infrastructură, după tipul podului neizolat

Tipul podului neizolat	Unități de evidență pentru forță (cu mediană)	Mediana generală, toate valorile	Intervalul intercuartilic al medianelor pe unitate	Mediana generală, efortul principal
Grinzi continue	9 (7)	−78,4%	de la −82,5% la −48,5%	−67,4%
Cadre	5 (3)	−60,0%	de la −73,9% la −41,5%	−70,8%
Grinzi simplu rezemate	4 (4)	−43,2%	de la −55,9% la −30,9%	−57,7%
Toate unitățile pentru forță	18 (14)	−66,8%	de la −78,7% la −27,0%	−67,4%

Diferențele dintre poduri de același tip sunt mai mari decât cele dintre tipuri (Figura 2). La grinzile continue, medianele cazurilor se întind de la −90,2% la −0,9%, iar ordinea lor urmează tipul de rezemare a podului de referință. Reducerile mari apar acolo unde tablierul podului neizolat nu se poate deplasa orizontal față de pile: Ghobarah și Ali [6] (−90,2%), Kunde și Jangid [7] (−86,1%) și Sabamehr și Bagchi [9] (−78,4%). Gong et al. [10], cu tablierul fix la o singură pilă și mobil pe celelalte, obțin −73,6%, iar Tongaonkar și Jangid [8], care nu descriu rezemarea, −78,8%. Reducerile mici apar acolo unde podul neizolat reazemă deja pe aparate din elastomer: podul convențional al lui Kumbhojkar et al. [2] (−23,5%) și Y. Gao et al. [4] (−0,9%; +35,4% pe efortul principal, sub o singură înregistrare de tip impuls, Secțiunea 6). La grinzile simplu rezemate, tiparul este asemănător, dar mai puțin clar. Matsagar și Jangid [22], care nu descriu rezemarea, obțin −76,8%, Mansouri et al. [23], cu o referință pe reazeme fixe adoptată analitic, −48,9%, Santoso et al. [24, 25], cu referința pe aparate din elastomer, −37,5%, iar L.-K. Chen et al. [3], cu aparate de reazem tip oală, −11,2% (−11,9% numai sub înregistrările obținute departe de falie [3]). Asocierea cu rezemarea rămâne descriptivă: cu două cazuri pe aparate din elastomer la grinzile continue și unul la grinzile simplu rezemate, ea nu poate fi separată de diferențele dintre poduri, modele și înregistrări.

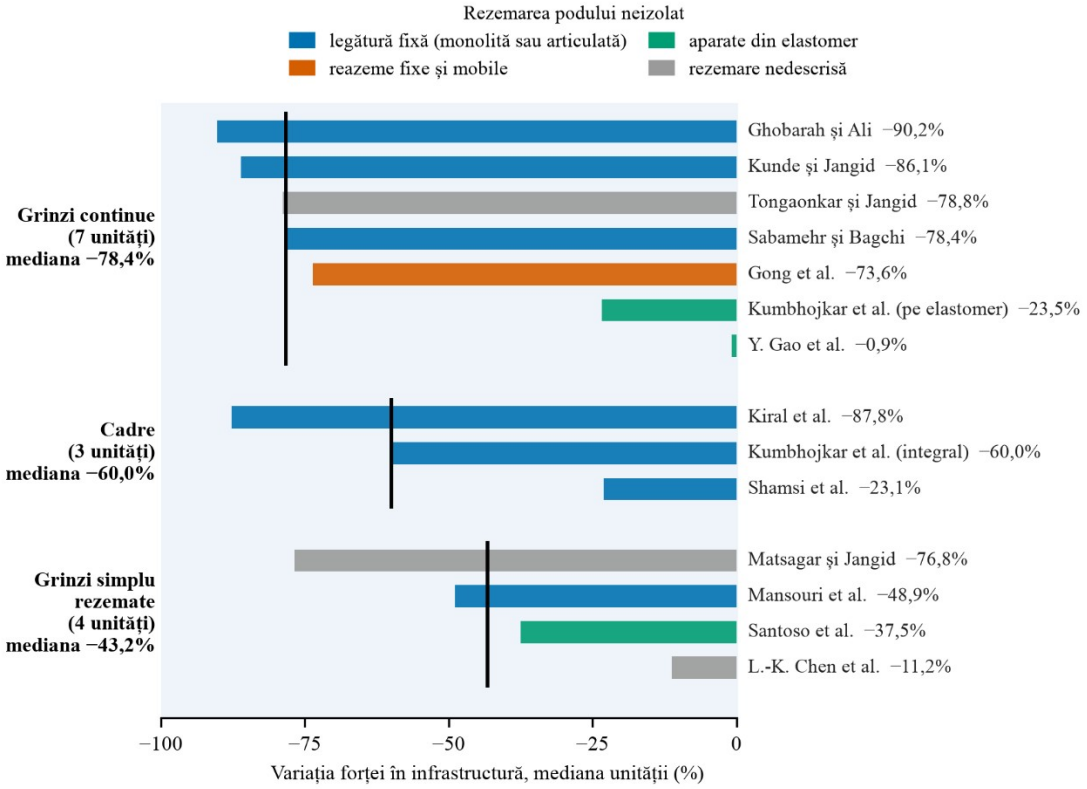


Figura 2. Variația eforturilor din infrastructură în cele 14 cazuri cu mediană, după tipul podului neizolat și rezemarea acestuia

La cadre, reducerea depinde de poziția izolatorilor. Acolo unde izolatorii se montează între tablier și pile, legătura monolită dintre ele dispare, iar podul izolat nu mai lucrează ca un cadru, ci ca o grindă continuă rezemată pe izolatori. Reducerea raportată include, așadar, și efectul acestei schimbări de schemă statică. Kiral et al. [19], la care aparatele din elastomer sunt combinate cu amortizoare vâscoase, obțin −87,8%, iar podul de monorai al lui Shamsi et al. [21] dă cea mai mică reducere a grupei, −23,1%, fiind analizat cu un model liniar, pentru un cutremur frecvent, scalată la o accelerație maximă a terenului de 0,12 g [21]. Acolo unde cadrul se păstrează și izolatorii sunt așezați la baza pilelor, ca la podul integral al lui Kumbhojkar et al. [2], reducerea este de −60,0%.

Cele mai sigure comparații sunt cele făcute în cadrul aceluiași studiu, unde datele de intrare și modelul sunt aceleași. Kumbhojkar et al. [2] analizează același pod în două variante, fiecare comparată cu varianta sa neizolată: cadru izolat la baza pilelor, și ca grindă continuă pe aparate din elastomer, izolată la nivelul tablierului. Față de cadrul integral neizolat (perioada 0,833 s [2]), reducerile eforturilor se întind de la −16,3% la −81,9%, iar față de grinda continuă neizolată (1,433 s), de la −1,2% la −49,1% [2]. Cum cele două variante diferă și prin poziția

izolatorilor, comparația nu e pe deplin concludentă, dar direcția coincide cu cea observată în mai multe studii. O explicație posibilă ține de modul în care eforturile ajung în pile. Când suprastructura podului neizolat și pilele sunt rigidizate, eforturile din aceasta se transmit direct în infrastructuri, iar izolatorii, care întrerup această legătură, reduc mult eforturile. Când suprastructura reazemă deja pe aparate din elastomer, legătura este flexibilă de la început, iar izolatorii mai au puțin de redus.

Reducerea depinde și de modul în care este modelat podul de referință. La podul de metrou ușor al lui Moestopo et al. [26], același pod izolat reduce accelerația suprastructurii cu 85,4% dacă pilele podului neizolat sunt modelate elastic și doar cu 65,5% dacă sunt modelate elastoplastic, adică dacă se pot plastifica. Pentru podul rutier din același studiu, valorile sunt 89,7% și 67,2%. Aceeași izolare poate deci părea mai eficientă sau mai puțin eficientă doar din cauza ipotezelor de calcul pentru podul de referință.

6. CONCLUZII

Pentru podurile cu suprastructura din beton, izolarea a redus, față de același pod neizolat, eforturile din infrastructură (mediana generală −66,8%, 14 unități), deplasarea vârfului pilei (−42,2%, 8 unități) și accelerația suprastructurii (−66,1%, 6 unități). Deplasarea orizontală a suprastructurii nu a avut un sens constant (+4,3%, cu creșteri în 4 din 8 unități), astfel încât deplasarea de la nivelul izolării trebuie verificată separat, în valori absolute, față de capacitatea izolatorilor.

Reducerea eforturilor a fost mai mare la grinzile continue (−78,4%) decât la cadre (−60,0%) și la grinzile simplu rezemate (−43,2%), dar intervalele se suprapun. Diferențele dintre poduri de același tip, asociate în parte cu rezemarea podului de referință și, la cadre, cu poziția izolatorilor, sunt mai mari decât cele dintre tipuri. Creșterile locale ale efortului din pile au apărut numai sub câte o singură înregistrare de tip impuls [29] și la un pod izolat numai la culei.

Practic, o reducere raportată într-un studiu nu poate fi aplicată direct altui pod. Ea depinde de tipul podului și de modul în care era rezemat podul neizolat. De exemplu, dacă reducerea a fost obținută în cazul unui pod al cărui tablier nu se poate deplasa orizontal față de pile, ea supraestimează câștigul pentru un pod care ar fi rezemat oricum pe aparate din elastomer. La cadrele izolate între tablier și pile, o parte din reducere vine din schimbarea schemei statice, nu doar din izolare.

Corpusul este restrâns, iar podul de referință și perioadele proprii nu sunt descrise complet în toate studiile. Pilele înalte izolate la nivelul tablierului, podurile hobanate și în arc, podurile care traversează o falie, podurile proiectate după Eurocoduri și mișcările seismice cu perioadă lungă, precum cele generate în București de cutremurele vrâncene de adâncime intermediară [30], sunt rare sau lipsesc, iar medianele de aici nu trebuie aplicate acestor situații. În opinia autorului, poduri de referință comune, analizate cu și fără izolare sub un set comun de înregistrări, ar permite compararea directă a rezultatelor și ar fundamenta alegerea sistemului de izolare în funcție de tipul podului.

BIBLIOGRAFIE

[1]. M.C. KUNDE, R.S. JANGID: “*Seismic behavior of isolated bridges: A-state-of-the-art review*”, Electronic Journal of Structural Engineering, 3, 140–170, **2003**.

[2]. K.R. KUMBHOJKAR, M.K. SHRIMALI, S.D. BHARTI, T.K. DATTA: *“Behavior of base-isolated integral bridge under multi-component earthquake”*, Journal of Vibration Engineering & Technologies, 11(8), 3981–3997, **2023**.

[3]. L.-K. CHEN, L.-Z. JIANG, H.-X. QIN, N. ZHANG, L. LING, Q.-H. ZHANG, Q. LI, D.-F. CAO: “*Nonlinear seismic assessment of isolated high-speed railway bridge subjected to near-fault earthquake scenarios*”, Structure and Infrastructure Engineering, 15(11), 1529–1547, **2019**.

[4]. Y. GAO, J. CHEN, L. ZHENG: “*Seismic response and damage analysis of an isolated bridge subjected to near-fault ground motion*”, Applied Sciences, 12(10), Article 4878, **2022**.

[5]. N. MAKRIS, J. ZHANG: “*Seismic response analysis of a highway overcrossing equipped with elastomeric bearings and fluid dampers*”, Journal of Structural Engineering, 130(6), 830–845, **2004**.

[6]. A. GHOBARAH, H.M. ALI: “*Seismic performance of highway bridges*”, Engineering Structures, 10(3), 157–166, **1988**.

[7]. M.C. KUNDE, R.S. JANGID: “*Effects of pier and deck flexibility on the seismic response of isolated bridges*”, Journal of Bridge Engineering, 11(1), 109–121, **2006**.

[8]. N.P. TONGAONKAR, R.S. JANGID: “*Seismic response of isolated bridges with soil–structure interaction*”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23(4), 287–302, **2003**.

[9]. A. SABAMEHR, A. BAGCHI: “*Investigation of the different types of seismic base isolators for a continuous box girder bridge*”, in: Forensic engineering 2015: Performance of the built environment, American Society of Civil Engineers, pp. 878–887, **2015**.

[10]. S. GONG, J. LI, Z. SONG, P. HE, R. WANG: “*Comparative analysis of hybrid bearing layouts for seismic enhancement of simply-supported-to-continuous bridges*”, Buildings, 16(3), Article 664, **2026**.

[11]. P.K. GUPTA, S. AGRAWAL, G. GHOSH, P. S, V. KUMAR, P. PARAMASIVAM: “*Seismic behaviour of the curved bridge with friction pendulum system*”, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 24(1), 267–280, **2025**.

[12]. M. DICLELI: “*Performance of seismic-isolated bridges with and without elastic-gap devices in near-fault zones*”, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 37(6), 935–954, **2008**.

[13]. Y. LI, Z. ZONG, B. YANG: “*Experimental study on seismic performance of concrete continuous bridge with HDR bearings*”, Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 101(2), 293–314, **2020**.

[14]. S. ATES, M.C. CONSTANTINOU: “*Example of application of response history analysis for seismically isolated curved bridges on drilled shaft with springs representing soil*”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31(3), 334–350, **2011**.

[15]. S. ATES, M.C. CONSTANTINOU: “*Example of application of response spectrum analysis for seismically isolated curved bridges including soil-foundation effects*”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31(4), 648–661, **2011**.

[16]. M. YURDAKUL, Ș. ATEȘ: “*Effectiveness of wave passage effect of seismic isolated and nonisolated bridges under spatially varying ground motion*”, Engineering Sciences (NWSAENS), 13(3), 229–246, **2018**.

[17]. M. YURDAKUL, Ș. ATEȘ, Z. TONYALI: “*Comparative study of non-isolated and isolated bridge with TCFP bearing under spatially varying ground motions*”, International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering, 3(2), 29–32, **2017**.

[18]. X. CHEN, P. WU, C. LI: “*Seismic performance assessment of base-isolated tall pier bridges using friction pendulum bearings achieving resilient design*”, Structures, 38, 618–629, **2022**.

[19]. A. KIRAL, A. GURBUZ, I. USTABAS: “*The seismic response evaluation of an existing multi-span reinforced concrete highway bridge in the presence of linear and nonlinear viscous dampers*”, Arabian Journal for Science and Engineering, 50(11), 8317–8335, **2025**.

[20]. M. BÖREKÇI, M. ALTUN, G. ARSLAN: “*The performance assessment of a multi-span, box girder reinforced concrete bridge with and without seismic isolation*”, Civil-Comp Proceedings, 99, Paper 291, **2012**.

[21]. M. SHAMSI, M. ZAKERINEJAD, A.H. VAKILI: “*Seismic analysis of soil-pile-bridge-train interaction for isolated monorail and railway bridges under coupled lateral-vertical ground motions*”, Engineering Structures, 248, Article 113258, **2021**.

[22]. V.A. MATSAGAR, R.S. JANGID: “*Seismic response of simply supported base-isolated bridge with different isolators*”, International Journal of Applied Science and Engineering, 4(1), 53–69, **2006**.

[23]. S. MANSOURI, D.-P.N. KONTONI, M. POURAMINIAN: “*The effects of the duration, intensity and magnitude of far-fault earthquakes on the seismic response of RC bridges retrofitted with seismic bearings*”, Advances in Bridge Engineering, 3(1), Article 19, **2022**.

[24]. A.K. SANTOSO, D. SULISTYO, A. AWALUDIN, A.F. SETIAWAN, I. SATYARNO, S. PURNOMO, I. HARRY: “*Structural systems comparison of simply supported PSC box girder bridge equipped with elastomeric rubber bearing and lead rubber bearing*”, Civil Engineering Dimension, 24(1), 19–30, **2022**.

[25]. A.K. SANTOSO, D. SULISTYO, A. AWALUDIN, A.F. SETIAWAN, I. SATYARNO, S. PURNOMO, I. HARRY: “*Comparative study of the seismic performance between simply supported PSC box girder bridge equipped with shear panel damper and lead rubber bearing*”, International Journal of Technology, 15(5), 1321–1330, **2024**.

[26]. M. MOESTOPO, I. IMRAN, D.M. SIRINGORINGO, J. MICHAEL, E. LIM, S. YAMAZAKI: “*Seismic design and performance evaluation of typical lightweight and heavyweight RC girder bridges with friction pendulum bearing in Indonesia*”, Structures, 46, 1154–1170, **2022**.

[27]. Z. YU, H. LI, B. WEI, L. JIANG, J. MAO: “*Numerical analysis on longitudinal seismic responses of high-speed railway bridges isolated by friction pendulum bearings*”, Journal of Vibroengineering, 20(4), 1748–1760, **2018**.

[28]. H. LI, Z. YU, J. MAO, B.F. SPENCER: “*Effect of seismic isolation on random seismic response of high-speed railway bridge based on probability density evolution method*”, Structures, 29, 1032–1046, **2021**.

[29]. J.W. BAKER: “*Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis*”, Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5), 1486–1501, **2007**.

[30]. F. PAVEL: “*Variability of ground motion amplitudes recorded in Bucharest area during Vrancea intermediate-depth earthquakes*”, Shock and Vibration, 2021(1), Article 5189966, **2021**.

CALIBRAREA ȘI VALIDAREA, PE BAZA PERCEPȚIEI PASAGERILOR, A UNUI INDICE COMPOZIT AL NIVELULUI DE SERVICIU PENTRU TRANSPORTUL PUBLIC URBAN

Măleanu Mihai Alexandru, șef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: alexandru-mihai.maleanu@utcb.ro
Pâtiu Sorin, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: sorin.patiu@phd.utcb.ro

Rezumat

Acest studiu propune și evaluează empiric indicele compozit al nivelului de serviciu (LOS) pentru transportul public urban, bazat pe percepția pasagerilor, având ca scop corelarea unor factori specifici transportului cu satisfacția generală a pasagerilor și cu disponibilitatea acestora de a recomanda transportul public. Datele au fost colectate printr-un chestionar completat de 512 respondenți, care au evaluat scenarii ipotetice ale transportului public și au ierarhizat importanța relativă a șapte parametri ai acestuia. Indicele compozit încorporează trei factori pentru care au fost disponibile evaluări comparabile și ponderi derivate din ierarhizare: distanța de mers pe jos până la și de la stațiile de transport public, frecvența serviciului și gradul de aglomerație în vehicule. Au fost aplicate două metode de ponderare – „Metoda sumei rangurilor” (RSW) și „Metoda centroidului ordinii rangurilor” (ROC) – pentru a evalua sensibilitatea indicelui la diferite ipoteze de ponderare. Ambii indici au prezentat corelații Spearman pozitive și statistic semnificative cu satisfacția generală și cu intenția de recomandare, având coeficienți cuprinși între 0,220 și 0,308. Modelele de regresie logistică ordinală ajustate au indicat, de asemenea, că o creștere cu o abatere standard a indicelui nivelului de serviciu (bazat pe metoda RSW) a fost asociată cu șanse cumulate mai mari de a raporta o satisfacție mai ridicată a folosirii transportului în comun (raportul șanselor = 1,788; IC 95%: 1,338–2,391; $p < 0,001$) și o intenție mai mare de recomandare a acestui mijloc de transport (raportul șanselor = 2,083; IC 95%: 1,546–2,805; $p < 0,001$). Ipoteza șanselor proporționale pentru nivelul de serviciu nu a fost respinsă în cazul satisfacției referitoare la transportul public, dar nu a fost confirmată în cazul intenției de recomandare a transportului public. Un model cu șanse proporționale parțiale a relevat faptul că asocierea dintre nivelul de serviciu perceput și intenția de recomandare a fost mai puternică la pragurile inferioare de răspuns și a scăzut în intensitate spre categoria cea mai înaltă de recomandare a transportului public. Rezultatele oferă dovezi privind validitatea convergentă a indicilor propuși și sugerează că un cadru de analiză a nivelului de serviciu centrat pe pasageri poate sprijini evaluarea calității percepute a serviciilor de transport public.

Abstract

This study proposes and empirically evaluates a composite level-of-service (LOS) index for urban public transport based on passenger perception. The aim is to relate specific service

factors to overall passenger satisfaction and to willingness to recommend public transport. Data were collected through a questionnaire completed by 512 respondents, who rated hypothetical public transport scenarios and ranked the relative importance of seven service parameters. The composite index includes the three factors for which comparable ratings and rank-derived weights were available: walking distance to and from stops, service frequency, and crowding in vehicles. Two weighting methods, Rank Sum Weight (RSW) and Rank Order Centroid (ROC), were applied to test the sensitivity of the index to different weighting assumptions. Both indices showed positive, statistically significant Spearman correlations with overall satisfaction and with recommendation intention, with coefficients between 0.220 and 0.308. Ordinal logistic regression models indicated that a one-standard-deviation increase in the RSW-based index was associated with higher cumulative odds of reporting greater satisfaction (odds ratio = 1.788; 95% CI: 1.338–2.391; $p < 0.001$) and greater intention to recommend public transport (odds ratio = 2.083; 95% CI: 1.546–2.805; $p < 0.001$). The proportional odds assumption for the LOS index was not rejected for satisfaction but was rejected for recommendation intention. A partial proportional odds model showed that the association between perceived LOS and recommendation intention was stronger at the lower response thresholds and weakened toward the highest recommendation category. The results support the convergent validity of the proposed indices and suggest that a passenger-centred LOS framework can support the assessment of perceived public transport service quality.

Cuvinte cheie: transport public; nivel de serviciu; percepția pasagerilor; indice compozit; ponderare bazată pe ranguri; regresie logistică ordinală; șanse proporționale parțiale

Keywords: public transport; level of service; passenger perception; composite index; rank-based weighting; ordinal logistic regression; partial proportional odds

1. INTRODUCERE

Evaluarea Nivelului de Serviciu (Level of Service – LOS) constituie o componentă centrală a planificării transportului public, întrucât oferă o modalitate structurată de a descrie calitatea resimțită de pasageri, precum și performanța operațională asigurată de furnizorii de servicii de transport. Manualul privind Capacitatea și Calitatea Serviciilor de Transport Public (Transit Capacity and Quality of Service Manual – TCQSM) reprezintă unul dintre cele mai consacrate cadre metodologice pentru evaluarea calității serviciilor de transport public și pune la dispoziție indicatori care vizează disponibilitatea, confortul, comoditatea, fiabilitatea, gradul de aglomerare a pasagerilor, precum și alte dimensiuni ale serviciului [1,2]. Cea mai recentă ediție subliniază în mod explicit faptul că acest manual reflectă practicile curente din domeniu, fără a stabili însă niveluri de serviciu considerate universal dezirabile sau adecvate [1].

2. ANALIZA LITERATURII DE SPECIALITATE

Importanța percepției utilizatorilor în evaluarea calității serviciilor a fost subliniată de mulți cercetători. Astfel, Parasuraman și colab. consideră percepția

utilizatorilor drept un element fundamental pentru aprecierea calității serviciilor, întrucât pasagerii sunt cei care, în cele din urmă, suportă consecințele unei prestări deficitare a serviciilor [3]. În plus, mai mulți cercetători au pus la îndoială posibilitatea aplicării universale a acestor praguri ale nivelului de serviciu (LOS), contestându-le relevanța și acuratețea în diverse contexte geografice și condiții economice. De exemplu, s-a ridicat problema dacă nivelul de serviciu ar avea aceeași semnificație în diferite regiuni geografice și dacă standardele sau pragurile specifice LOS ar putea varia între zonele urbane, suburbane și rurale [4]. De asemenea, este probabil ca utilizatorii transportului public din țări diferite să perceapă în mod diferit același nivel de serviciu, din cauza variațiilor în condițiile socio-economice, precum și a diferențelor în modul de prestare a serviciilor.

Alte demersuri de cercetare s-au concentrat pe aplicarea unui model de tip „Importanță-Satisfacție” pentru a stabili care atribute ale serviciului de transport public sunt considerate cele mai critice de către pasageri, pe baza unor percepții agregate, colectate în timp real prin intermediul unor sondaje realizate în mai multe stații de transport [5]. În schimb, Tyrinopoulos și Antoniou au analizat variațiile satisfacției percepute de utilizatori în funcție de diferite niveluri de serviciu, utilizând un model de regresie probit ordonat [6]. O altă perspectivă este oferită prin utilizarea unui „Indice al Calității Serviciului”, în cadrul căruia participanții au fost rugați să își exprime nivelul de satisfacție față de o serie de scenarii ipotetice privind serviciul oferit [7]. Cu toate acestea, această abordare depinde în mare măsură de experiența respondenților în ceea ce privește nivelul serviciilor de transport public.

3. METODOLOGIA DE LUCRU

În vederea realizării acestui studiu a fost conceput un chestionar pentru un sondaj de opinie. Acest sondaj a urmărit stabilirea influenței următorilor factori asupra percepției transportului în comun printr-o scară de la 1 la 5 (de tip Likert):

- Distanța de la punctul de origine al călătoriei până la stația de transport public;
- Distanța de la stația de transport până la destinația finală a călătoriei;
- Frecvența transportului în comun;
- Întârzierile în respectarea orarului de transport;
- Gradul de aglomerare în mijlocul de transport;
- Prezența aerului condiționat;
- Dotările stației de transport în comun;
- Alți factori precum poziția trecerilor de pietoni în proximitatea stațiilor de transport în comun.

Chestionarul a mai cuprins:

- O întrebare privind ordonarea factorilor de importanţă menţionaţi anterior;
- Întrebări pentru validarea rezultatelor referitoare la gradul de satisfacţie al călătorilor şi la disponibilitatea acestora de a recomanda folosirea transportului în comun.

Ultima parte a sondajului s-a concentrat pe colectarea de date socio-economice de la persoanele intervievate. Au fost colectate informaţii privind vârsta, sexul, venitul lunar, activitatea profesională, gradul de motorizare etc.

Etapele cercetării au fost următoarele:

- ordonarea rezultatelor obţinute în urma sondajului bazat pe percepţia utilizatorilor;
- ierarhizarea principalilor parametri selectaţi în analizarea serviciilor de transport public;
- conversia ierarhizărilor în ponderi folosind metoda sumei rangurilor (RSW) şi metoda ponderii centroidului după rang (ROC);
- construirea unui indice compozit al nivelului de serviciu (LOS), bazat pe percepţia pasagerilor;
- validarea nivelurilor de serviciu construite din percepţiile pasagerilor prin verificarea asocierii lor cu două evaluări globale independente: satisfacţia faţă de transportul public (Întrebarea nr. 1 din chestionar) şi intenţia de a recomanda transportul public (Întrebarea nr. 22 din chestionar).

Pentru fiecare parametru, scorul mediu perceput a fost calculat ca medie aritmetică a evaluărilor valide pe o scară de cinci puncte, oferite de respondenţi. Aceste valori medii, specifice fiecărui scenariu, au fost ulterior utilizate pentru a estima punctele empirice de tranziţie (între fiecare prag al percepţiei utilizatorilor) prin interpolare liniară între categoriile de scenarii adiacente. Rezultatele chestionarelor indică o deteriorare monotonă a nivelului de serviciu perceput odată cu creşterea distanţei de acces, a distanţei de la staţie la destinaţie, a intervalului de succedare, a întârzierii şi a aglomeraţiei, după cum se prezintă în Figurile 1–4 de mai jos.

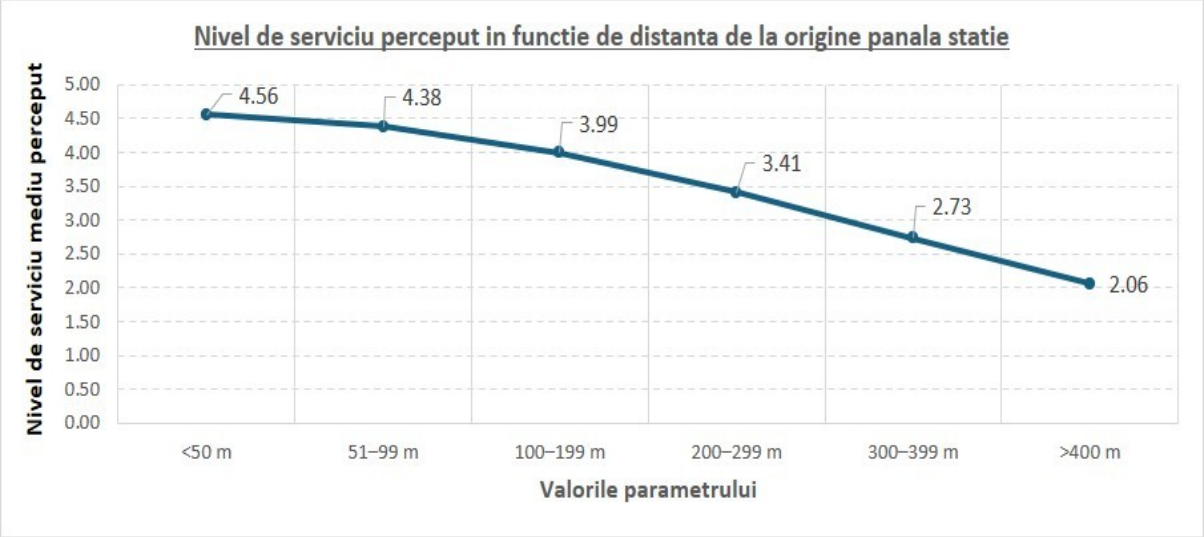


Figura 1. Nivelul de serviciu mediu perceput în funcție de distanța parcursă pe jos de la origine la stație

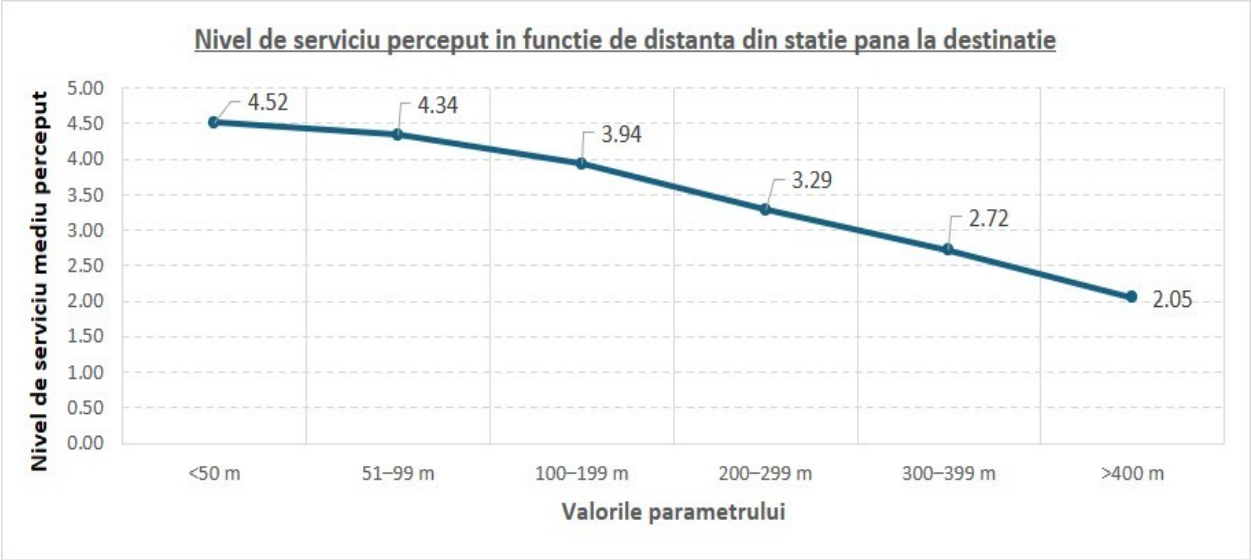


Figura 2. Nivelul de serviciu mediu perceput în funcție de distanța parcursă pe jos de la stație la destinație

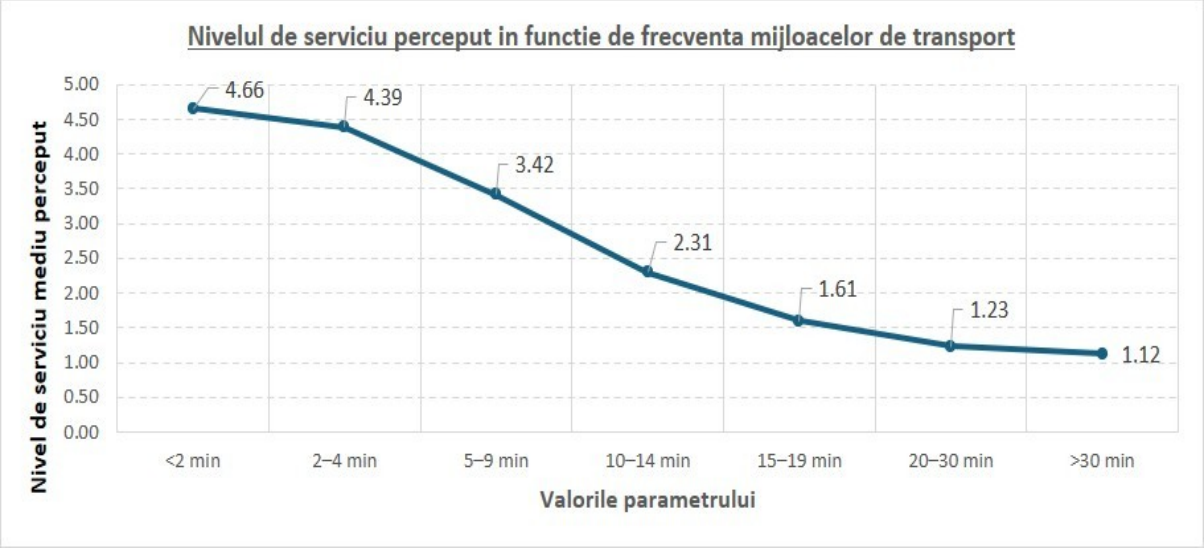


Figura 3. Nivelul de serviciu mediu perceput în funcţie de intervalul de succedare a vehiculelor de transport public

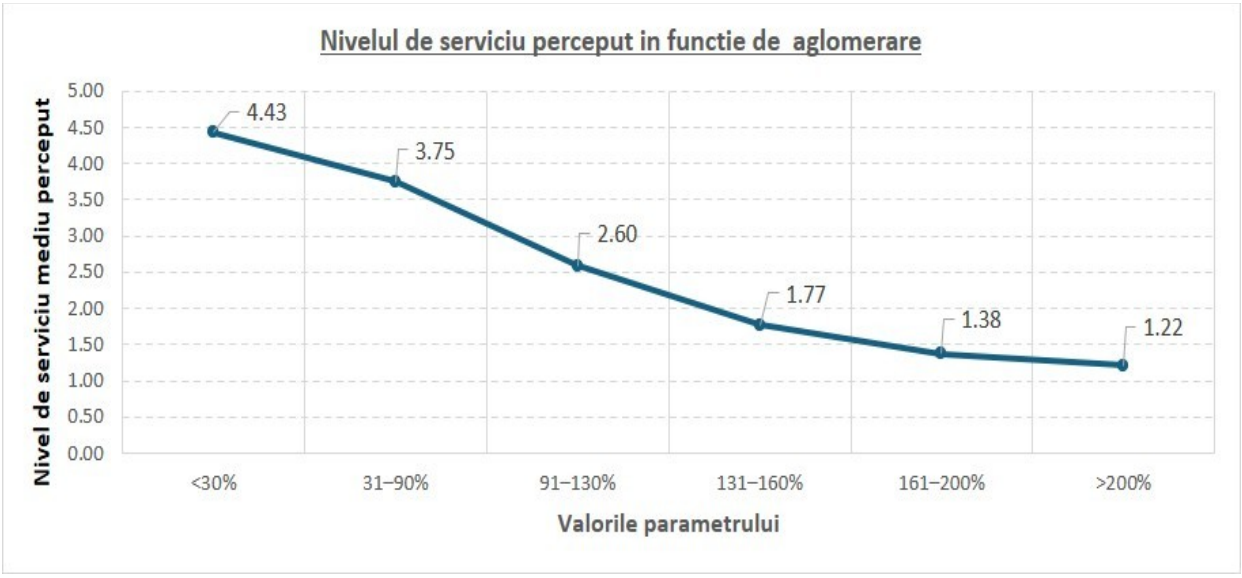


Figura 4. Nivelul de serviciu mediu perceput în funcţie de gradul de ocupare/aglomerația din vehicule

Întrebarea nr. 20 din chestionar le-a solicitat respondenţilor să ierarhizeze cei şapte parametri ai calității transportului în comun de la 1 (cel mai puţin important) la 7 (cel mai important). Parametrii analizați au fost frecvența, aerul condiționat, durata călătoriei, aglomerația, distanța până la staţie, trecerile pentru pietoni și adăposturile/băncile din stațiile de transport în comun. Rezultatele privind percepția călătorilor sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Ierarhizarea atributelor serviciului de către călători

Poziție în clasament	Parametrul al percepției călătorilor	Rang mediu
1	Frecvența vehiculelor	5,207
2	Aer condiționat	4,798
3	Durata călătoriei	4,576
4	Aglomerație	3,892
5	Distanța până la stație	3,626
6	Treceri pentru pietoni	2,990
7	Adăposturi/bănci	2,911

Atributele ierarhizate ale serviciului de transport public au fost transformate în ponderi normalizate utilizând două abordări: metoda sumei rangurilor (Rank Sum Weight — RSW) și metoda centroidului ordinii rangurilor (Rank Order Centroid — ROC) [8–10]. Pentru RSW, ponderea atribuită atributului (i) a fost calculată prin împărțirea scorului său bazat pe rang la suma scorurilor tuturor celor (n) atribute. Pentru ROC, ponderea a fost obținută prin calcularea mediei reciprocelor pozițiilor în clasament de la „ri” la „n”. În ambele metode, rangul 1 desemnează atributul cel mai important. Deoarece chestionarul a utilizat convenția inversă de ierarhizare (7 = cel mai important; 1 = cel mai puțin important), rangurile înregistrate au fost inversate înainte de calcularea ponderilor. Ambele metode produc ponderi a căror sumă este egală cu unu, însă ROC atribuie, în general, ponderi relative mai mari atributelor aflate în partea superioară a clasamentului.

Scorul distanței de acces (D) a fost obținut prin calcularea mediei celor șase evaluări pentru parametrul distanța origine–stație și a celor șase estimări pentru parametrul distanța stație–destinație, atribuind astfel o importanță egală celor două componente. Scorul frecvenței serviciului (H) a fost calculat ca media celor șapte evaluări ale parametrului privind intervalul de succedare, iar scorul aglomerației din vehicule (C) a fost obținut ca media celor șase evaluări ale factorului privind gradul de ocupare. Formulele pentru parametrii menționați mai sus sunt prezentate în continuare.

$$D_i = \frac{1}{6}\sum_{j=1}^{6} D_{ij} \quad (1)$$

$$H_i = \frac{1}{7}\sum_{j=1}^{7} H_{ij} \quad (2) \qquad C_i = \frac{1}{6}\sum_{j=1}^{6} C_{ij} \quad (3)$$

unde D, H, și C reprezintă distanța, intervalul de succedare și, respectiv, aglomerația.

Ponderile inițiale bazate pe ierarhizare au fost renormalizate pentru cei trei factori ai transportului public selectați, iar indicele rezultat trebuie interpretat ca o estimare parțială a nivelului de serviciu bazată pe percepția călătorilor.

Indicele nivelului de serviciu compozit prin metoda RSW este următorul:

$$LOS_i^{RSW} = 0.214\, D_i + 0.500\, H_i + 0.286\, C_i \quad (4)$$

iar varianta alternativă obținută prin metoda ROC este:

$$LOS_i^{ROC} = 0.132\, D_i + 0.671\, H_i + 0.197\, C_i \quad (5)$$

Coeficientul de corelație a rangurilor Spearman a fost utilizat pentru examinarea asocierii dintre indicii compoziți LOS bazați pe percepția călătorilor (RSW și ROC) și două criterii externe rezultate din sondaj: satisfacția generală față de transportul public (Întrebarea nr. 1) și disponibilitatea de a recomanda transportul public (Întrebarea nr. 22).

Coeficientul Spearman a fost apoi calculat ca o corelație Pearson între aceste ranguri. Au fost efectuate teste de corelație bilaterale, utilizând numai datele primite de la respondenții cu observații valide pentru ambele variabile. Rezultatele oferă dovezi ale unor asocieri pozitive în raport cu criteriile externe, fără a implica o relație de cauzalitate.

Tabelul 2. Corelații Spearman între indicii LOS și variabilele rezultat privind călătorii

Variantă de calcul a nivelului de serviciu	Variabilă rezultat	ρ Spearman	Valoare p	n
RSW	Satisfacție generală	0,246	<0,001	512
RSW	Intenție de recomandare	0,302	<0,001	512
ROC	Satisfacție generală	0,224	0,001	512
ROC	Intenție de recomandare	0,282	<0,001	512

Întrebările numărul 1 și numărul 22 din chestionar au fost apoi modelate utilizând regresia logistică ordinală, folosind un nivel de serviciu standardizat,

frecvența utilizării transportului public, modul de transport predominant, grupa de vârstă, deținerea unui autoturism, durata deplasării cu transportul public mai mare decât cea cu autoturismul și indicatori privind scopul deplasării. Ipoteza șanselor proporționale a fost testată, iar acolo unde a fost necesar s-a utilizat un model cu șanse parțial proporționale.

Indicele compozit al nivelului de serviciu a fost standardizat înaintea analizei de regresie prin scăderea mediei sale în eșantion și împărțirea la abaterea sa standard. Tabelul 3 prezintă estimările complete ale modelelor ajustate cu șanse proporționale, incluzând rapoartele șanselor individuale, intervalele de încredere de 95% și valorile p pentru toate variabilele privind călătorii și deplasările. Indicele nivelului de serviciu standardizat obținut prin metoda RSW a fost asociat pozitiv cu satisfacția generală (raportul șanselor = 1,788, interval de încredere de 95%: 1,338–2,391, p < 0,001) și cu intenția de recomandare (raportul șanselor = 2,083, interval de încredere de 95%: 1,546–2,805, p < 0,001). Utilizarea zilnică a transportului public a fost, de asemenea, asociată pozitiv cu ambele variabile rezultat. Perceperea transportului public ca fiind mai lent decât autoturismul a fost asociată cu o intenție de recomandare mai redusă (raportul șanselor = 0,547, interval de încredere de 95%: 0,307–0,975, p = 0,041), dar nu a fost asociată semnificativ cu satisfacția generală a folosirii transportului în comun (întrebarea nr. 1 din sondaj). Deoarece ipoteza șanselor proporționale nu a fost îndeplinită pentru nivelul de serviciu în cazul întrebării numărul 22 privind recomandarea transportului în comun, au fost necesare analize suplimentare utilizând metoda cu șanse parțial proporționale prezentată în Tabelul 4.

Tabelul 3. Rezultatele regresiei ordinale multivariabile

Predictor	**Q1 Raportul șanselor**	**Q1 IC 95%**	**Q1 p**	**Q22 Raportul șanselor**	**Q22 IC 95%**	**Q22 p**
Indice nivelului de serviciu standardizat	1,788	1,338–2,391	<0,001	2,083	1,546–2,805	<0,001
Utilizare zilnică a transportului public (față de utilizare nezilnică)	2,782	1,430–5,410	0,003	2,458	1,292–4,675	0,006
Deplasare cu transportul public mai lungă decât cu autoturismul (da față de nu)	1,118	0,632–1,977	0,702	0,547	0,307–0,975	0,041

Predictor	**Q1 Raportul şanselor**	**Q1 IC 95%**	**Q1 p**	**Q22 Raportul şanselor**	**Q22 IC 95%**	**Q22 p**
Folosirea tramvaiului în raport cu autobuzul	0,930	0,463–1,867	0,837	0,861	0,437–1,695	0,664
Folosirea troleibuzului în raport cu autobuzul	1,432	0,511–4,013	0,495	0,624	0,207–1,876	0,401
Interval de vârstă 40–59 faţă de intervalul sub 40 de ani	1,352	0,745–2,456	0,321	1,473	0,821–2,643	0,194
Interval de vârstă peste 60 de ani faţă de intervalul sub 40 de ani	2,866	1,075–7,636	0,035	2,085	0,781–5,565	0,142
Deţinerea unui autoturism (da faţă de nu)	0,755	0,325–1,755	0,514	0,518	0,225–1,196	0,123
Scopul deplasării: serviciu (da faţă de nu)	0,504	0,241–1,053	0,068	0,506	0,246–1,040	0,064
Scopul deplasării: educaţie (da faţă de nu)	0,659	0,230–1,886	0,437	0,882	0,330–2,358	0,802
Scopul deplasării: cumpărături (da faţă de nu)	0,665	0,338–1,308	0,237	0,847	0,434–1,652	0,626
Scopul deplasării: timp liber (da faţă de nu)	0,804	0,414–1,559	0,518	1,392	0,725–2,673	0,321
Scopul deplasării: altele (da faţă de nu)	0,300	0,111–0,811	0,018	0,456	0,170–1,225	0,119

Pentru intenția călătorilor de a recomanda transportul public (întrebarea nr. 22 din chestionar), rezultatele obținute prin metoda șanselor proporționale nu sunt satisfăcătoare, indicând că asocierea dintre nivelul de serviciu perceput și intenția de recomandare poate varia între pragurile de răspuns. În consecință, a fost luat în considerare un model cu șanse parțial proporționale (PPO). Această analiză alternativă permite indicelui nivelului de serviciu să varieze între cele patru

praguri cumulative, menținând restricția șanselor proporționale pentru celelalte covariabile privind călătorii și deplasările. Metoda statistică cu șanse proporționale și cea cu șanse parțial proporționale au fost comparate utilizând un test al raportului de verosimilitate cu trei grade de libertate, corespunzătoare celor trei parametri ai nivelului de serviciu suplimentari estimați în cadrul unui model mai flexibil. În urma rulării acestui tip de analiză, rezultatele au fost corespunzătoare.

Metoda șanselor proporționale a fost folosită pentru a determina dacă asocierea dintre indicele nivelului de serviciu compozit standardizat și fiecare rezultat ordinal poate fi reprezentată de un singur coeficient de regresie aferent pragurilor de răspuns cumulate. Pentru scala formată din cele cinci categorii ale răspunsurilor privind gradul de satisfacție și recomandare a transportului în comun se poate observa că nivelul de serviciu rămâne constant în cele patru comparații cumulative.

Tabelul 4. Modelul cu șanse parțial proporționale rulat pentru intenția de recomandare a transportului în comun

Contrast cumulativ	β coeficientul de regresie al indicelui LOS standardizat	Raport ajustat al șanselor	Interval de încredere 95%	p
Categoriile 2–5 față de categoria 1	1,517	4,561	2,381–8,735	<0,001
Categoriile 3–5 față de categoria 1–2	1,231	3,424	1,972–5,947	<0,001
Categoriile 4–5 față de categoriile 1–3	0,591	1,805	1,227–2,655	0,0027
Categoriile 5 față de categoriile 1–4	0,330	1,391	0,946–2,045	0,0934

4. CONCLUZII

Rezultatele acestui studiu prezintă răspunsuri corespunzătoare ale călătorilor la modificările caracteristicilor serviciilor de transport în comun. Frecvența se evidențiază ca parametrul dominant în ierarhizarea factorilor cu însemnătatea cea mai mare în evaluarea transportului în comun. Indicele nivelului de serviciu compozit este asociat pozitiv atât cu satisfacția, cât și cu intenția de

recomandare. Metodologia descrisă mai sus poate oferi o bază teoretică şi practică pentru stabilirea unor praguri de percepție a pasagerilor care sunt relevante la nivel local, asigurând o prioritizare transparentă a intervențiilor pe liniile de transport în comun, precum şi monitorizarea comparativă între diferite rute sau scenarii.

BIBLIOGRAFIE

[1]. [1]. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Transit Capacity and Quality of Service Manual, 4th edition. TCRP Research Report 262. Washington, DC: The National Academies Press; **2026**. doi:10.17226/29449.

[2]. [2]. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition. TCRP Report 165. Washington, DC: The National Academies Press; **2013**. doi:10.17226/24766.

[3]. [3]. PARASURAMAN, A., ZEITHAML, V.A, & BERRY, L. (**1985**) *A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research*. Journal of Marketing, 49, 4, Autumn: 41-50. https://doi.org/10.1177/0022242985049004

[4]. [4]. ROESS, P. R., VANDEHEY, M., & KITTELSON, W. (**2010**) *Level of Service: 2010 and beyond*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. https://doi.org/10.3141/2173-03

[5]. [5]. ISEKI, H., B. TAYLOR. (**2010**). “*Style versus Service*? An Analysis of User Perceptions of Transit Stops and Stations. Journal of Public Transportation 13 (3): 39–63. https://doi.org/10.5038/2375-0901.13.3.2

[6]. [6]. TYRINOPOULOS, Y., AND C. ANTONIOU. (**2008**). “*Public Transit User Satisfaction: Variability and Policy Implications.” Transport Policy 15 (4): 260–272*.

[7]. [7]. HENSHER, D. A., & PRIONI, P. (**2002**). *A Service Quality Index for Area-Wide Contract Performance Assessment*. Journal of Transport Economics and Policy, 36(1), 93–113. https://www.jstor.org/stable/20053894

[8]. [8]. Stillwell WG, Seaver DA, Edwards W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. Organizational Behavior and Human Performance. **1981**;28(1):62–77. doi:10.1016/0030-5073(81)90015-5.

[9]. [9]. Barron FH, Barrett BE. The efficacy of SMARTER—Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking. Acta Psychologica. **1996**;93(1–3):23–36. doi:10.1016/0001-6918(96)00010-8.

[10]. [10]. BARRON FH, BARRETT BE. DECISION QUALITY USING RANKED ATTRIBUTE WEIGHTS. MANAGEMENT SCIENCE. **1996**;42(11):*1515–1523. doi:10.1287/mnsc.42.11.1515.*

CREȘTEREA REZISTENȚELOR CĂII PRIN UTILIZAREA TRAVERSELOR CU GEOGRILE ATAȘATE

Laurenţiu MĂRCULESCU, dr.ing., director general Baicons Impex, e-mail: marculescul@yahoo.com
Tiberiu MĂRCULESCU, student Facultatea CFDP, e-mail: tiberiu.marculescu@student.utcb.ro

Rezumat

Geosinteticele se aplică la lucrările de infrastructură de cale ferată pe scară largă. Ele sunt folosite la armarea taluzelor de rambleu sau debleu, la nivelul platformei de pământ cu rol de armare sau separare sau în cadrul dispozitivelor de drenare cu rol de filtrare. De asemenea, se folosesc și la nivelul platformei c.f. (limita de separare între infrastructura și suprastructura căii), în baza prismei de piatră spartă.

Totuși, până acum geosinteticele nu au fost folosite în suprastructura c.f.

Articolul de față va arăta că geosinteticele pot fi folosite și în suprastructura c.f. și nu de formă, ci cu rezultate foarte bune.

Cuvinte cheie: geogrilă, rezistență laterală, stabilitatea căii fără joante, traverse, piatră spartă

Abstract

Geosynthetics are widely used in railway infrastructure works, for example to reinforce embankment and cutting slopes, to reinforce or separate the subgrade, and to filter in drainage systems. They have not yet been used in the railway superstructure. This paper proposes ordinary sleepers (timber, concrete or plastic) with geogrids attached to the sole, and optionally to the sides and beyond the sleeper footprint, so that ballast stones interlock in the geogrid apertures. The attachment can be glued, tied, nailed, cast in, or made through an intermediate material such as polyurethane. A 1:10 scale model of a track panel, equivalent to 15 m at full scale, was built to test the concept. Pull-out tests on two geogrids with different aperture sizes, on isolated sleepers, and on complete track panels show that the geogrid with larger apertures performs better. In the panel tests, using geogrid-equipped sleepers raised the lateral resistance by about 60% compared with conventional sleepers. The geogrids confine the ballast under the sleepers into a compact block. The paper also gives recommended aperture sizes for the full-scale ballast gradation (31.5–63 mm). The proposed solution can improve the stability of continuous welded rail, especially in small-radius curves, and may reduce breathing lengths.

Keywords: geogrid, lateral resistance, continuous welded rail stability, sleepers, ballast

1. INTRODUCERE

Geosinteticele se aplică la lucrările de infrastructură de cale ferată pe scară largă. Ele sunt folosite la armarea taluzelor de rambleu sau debleu, la nivelul platformei de pământ cu rol de armare sau separare sau în cadrul

dispozitivelor de drenare cu rol de filtrare. De asemenea, se folosesc şi la nivelul platformei c.f. (limita de separare între infrastructura şi suprastructura căii), în baza prismei de piatră spartă.

Totuşi, până acum geosinteticele nu au fost folosite în suprastructura c.f.

Articolul de faţă va arăta că geosinteticele pot fi folosite şi în suprastructura c.f. şi nu de formă, ci cu rezultate foarte bune.

Un lucru foarte important la calea ferată este stabilitatea acesteia. Şi când vorbim de stabilitate ne gândim nu numai la şerpuiri, ci şi la deplasări mai mici în sens transversal.

Deformarea căii ferate continuă să fie o problemă pentru inginerii de cale ferată şi personalul de întreţinere în toate reţelele de cale ferată.

Calea fără joante, în comparaţie cu calea cu joante, reduce costurile de întreţinere, creşte durata de viaţă a componentelor căii şi, nu în ultimul rând, creşte confortul pasagerilor. La variaţii mari de temperatură faţă de temperatura de fixare apar eforturi de compresiune sau întindere mari cu implicaţii asupra stabilităţii căii.

Componentele suprastructurii căii sunt: şinele, prinderile, traversele, prisma de piatră spartă.

Şinele

Şinele reprezintă în fapt calea de rulare a materialului rulant. De asemenea, ele distribuie încărcările către traverse, ghidează roţile, distribuie forţele de tracţiune şi frânare. Dintre componentele suprastructurii, şina este cea mai afectată de variaţiile de eforturi. De fapt, la nivelul şinei este cel mai vizibil fenomenul de deformare sau pierdere a stabilităţii. Cele mai importante eforturi apar în şine, în special la calea fără joante.

Prinderile

Cea mai importantă funcţie a prinderilor este de a menţine ecartamentul, de a absorbi elastic forţele laterale provenite de la şină şi de a le transfera mai departe la traverse. Prinderile transferă forţele longitudinale la traverse, asigură rezistenţă la alunecarea şinelor în prinderi şi contribuie la stabilitatea căii.

Prinderile pot fi elastice sau rigide. Prinderile elastice asigură o rezistenţă torsională mai mare faţă de prinderile rigide, cresc rigiditatea căii care are un comportament de structură tip „scară” şi cresc, de asemenea, rezistenţa la şerpuire a căii.

Pentru limitarea deplasării şinelor prin prinderi se folosesc agrafe, în special în cazul traverselor de lemn.

Traversele

Cele mai importante funcţii ale traverselor sunt următoarele:

- repartizează încărcările verticale în prisma căii;
- menţin şinele în poziţie corectă, ca poziţie relativă în plan (aliniament sau curbură), ca poziţie relativă în secţiune transversală (ecartament) şi ca înclinare;

- asigură rezistența longitudinală la solicitările date de tracțiune, frânare sau variațiile de temperatură;
- asigură rezistența transversală la solicitările date de variațiile de temperatură sau încărcările din trafic.

Rezistențele longitudinale, respectiv cele transversale, depind în principal de tipul traversei, de poza căii și de structura și dimensiunile prismei de piatră spartă.

Creșterea rezistențelor la nivelul traverselor obișnuite se poate realiza prin intermediul unor plăci metalice care se fixează longitudinal sau transversal pe traversă.

Prisma căii

Prisma căii ferate este alcătuită din piatră spartă cu granulometrie și formă a granulelor controlate. Rolul prismei căii este de a transfera prin intermediul traverselor și a distribui la nivelul substratului căii solicitările provenite din trafic. Rezistența prismei căii este dată de interacțiunea cu traversele. Contribuția la rezistența longitudinală este dată de piatra spartă dintre traverse. Contribuția la rezistența transversală este dată de umărul prismei căii și de frecarea pietrei sparte de fețele laterale, respectiv talpa traversei.

Privită ca un ansamblu, prisma căii are o comportare elastică. Prisma căii trebuie să fie curată pentru a permite drenarea apelor și a împiedica apariția fenomenelor de pompaj sau traverse oarbe.

2. METODE ACTUALE DE CREȘTERE A REZISTENȚELOR CĂII

Cele mai eficiente metode de creștere a rezistențelor longitudinale sau transversale ale căii sunt legate de modificări la nivelul traverselor. La nivelul prismei căii creșterea rezistențelor se realizează prin mărirea dimensiunii umărului sau prin lipirea pietrelor din alcătuirea prismei căii.

La nivelul traverselor sunt câteva metode de creștere a rezistenței transversale:

- traverse cu extinderi transversale (traverse cu „aripi”) - figurile 1a, 1b;
- traverse ancorate (cu plăci metalice de ancorare) - figura 2;
- traverse gemene (traverse tip cadru) - figura 3;
- traverse agabaritice, cu mase obținute prin mărirea lungimii sau lățimii - figura 4;
- traverse cu striuri pe talpă (frictional sleeper) - figura 5.

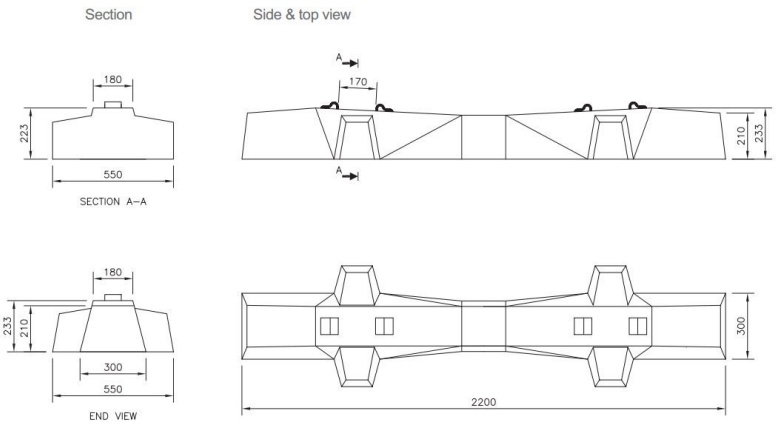


Figura 1a. Exemplu de traversă cu „aripi”

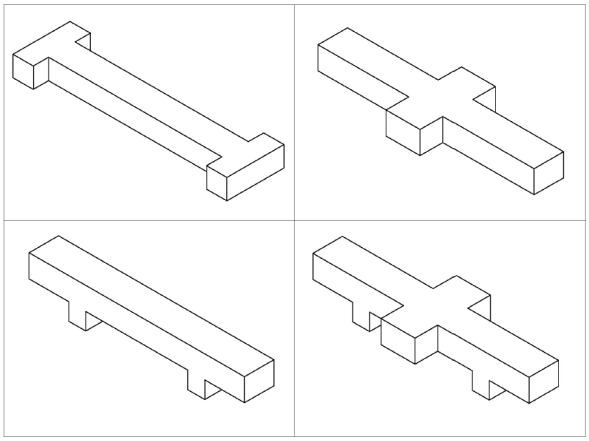


Figura 1b. Exemple schematice de traverse cu extinderi

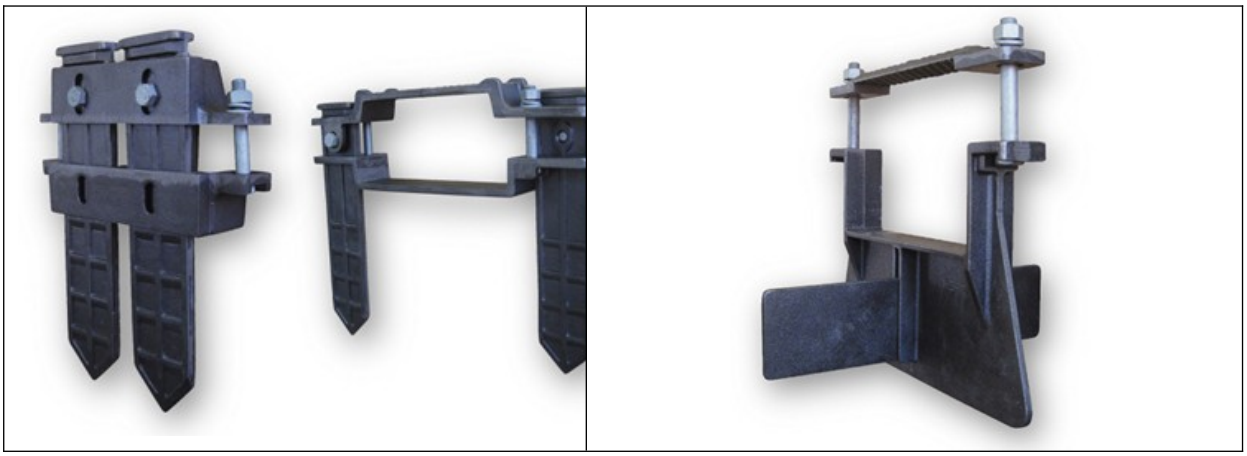




Figura 2. Exemple de traverse ancorate



Figura 3. Traverse gemene



Figura 4. Traverse agabaritice



Figura 5. Traverse cu striuri pe talpă

Creșterea rezistenței laterale a căii fără joante este necesară în principal în punctele critice pentru a reduce riscurile, dar și costurile de întreținere.

Unele dintre traversele de mai sus sunt atipice și necesită un proces de fabricație special. Traversa de tip cadru nu permite burajul. Dimensiunile și masele mari le fac incomode la montare.

Cercetările au arătat că cea mai mare rezistență longitudinală o au traversele de beton monobloc, în comparație cu traversele de beton bibloc, traversele de lemn și traversele metalice.

De aceea, considerăm că, dintre exemplele prezentate mai sus, cele mai ușor de utilizat sunt traversele obișnuite cu ancoraje și traversele cu striuri pe talpă.

3. CREȘTEREA REZISTENȚELOR CĂII PRIN UTILIZAREA TRAVERSELOR OBIȘNUITE COMBINATE CU GEOGRILE

Traversa pe care o propunem este o combinație dintre o traversă obișnuită și geosintetice.

Geogrilele pot fi atașate pe orice tip de traversă, fie ele de lemn, beton sau plastic.

Acesta este marele avantaj. Pornind de la un produs comun, uzual, prin atașarea geogrilelor se obține un produs care nu are niciun dezavantaj față de produsul anterior, dar are avantaje suplimentare.

Prin prezența geogrilelor se îmbunătățește conlucrarea traversei cu prisma căii.

În cazul traversei de beton, coeficientul de frecare piatră/beton este mai mic decât coeficientul de frecare piatră/geogrilă în situația în care geogrilele sunt atașate traversei, iar pietrele din prisma căii sunt încleștate în ochiurile geogrilelor.

Geogrila poate fi instalată pe traversă în mai multe variante:

1. numai pe talpa traversei, nedepășind suprafața acesteia (figura 6).
2. pe talpa traversei și pe fețele laterale (figura 7).
3. pe talpa traversei, dar și în afara acesteia, în limitele permise de câmpul de acțiune al ciocanelor de burat (figura 8).
4. la fel ca la punctul 3, dar și pe fețele laterale.

În figura 9 este prezentată o vedere în plan a mai multor traverse care au atașate geogrile.

Dacă geogrila este mai lată și intră în câmpul de acțiune al ciocanelor de burat, aceasta va fi împinsă mai jos sau va fi degradată local. Acest lucru nu-i va diminua funcționalitatea.

În funcție de materialul din care este realizată traversa, dar și în funcție de caracteristicile materialului din care este realizată geogrila, conlucrarea/fixarea între cele două elemente se poate face:

- prin lipirea geogrilei pe talpa traversei sau pe fețele laterale ale traversei;
- prin legarea geogrilei de traversă;
- prin fixarea cu cuie (sau alte elemente de fixare) de talpa traversei și de fețele laterale ale traversei;
- prin atașarea geogrilei de un alt material intermediar fixat pe traversă (figura 10);
- prin înglobarea geogrilei într-un material aderent la traversă; geogrila poate fi încorporată într-un material turnat pe talpa traversei.

Atașarea geogrilei se poate face direct sau prin intermediul unui material care poate să aibă el însuși un rol benefic. Ca material intermediar se poate folosi poliuretanul. Acesta permite o adâncime mai mare de amprentare a pietrelor și deci o încleștare mai bună în geogrile. În plus, poliuretanul are rolul de a îmbunătăți comportamentul traverselor în ceea ce privește sarcinile transmise la nivelul platformei c.f.

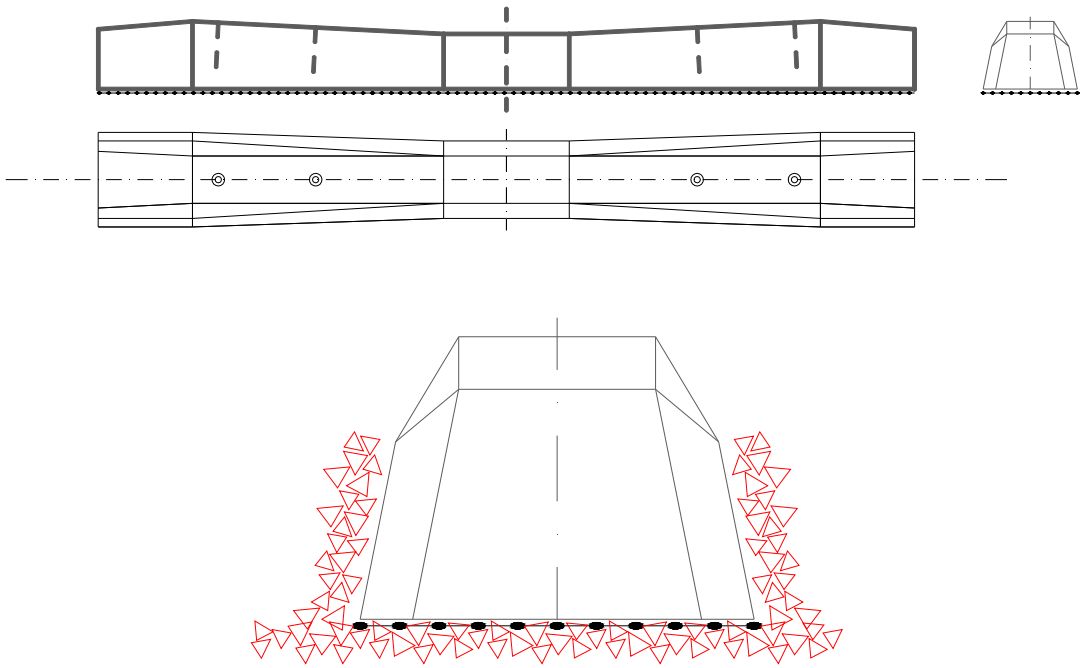


Figura 6. Geogrila este instalată strict pe talpa traversei

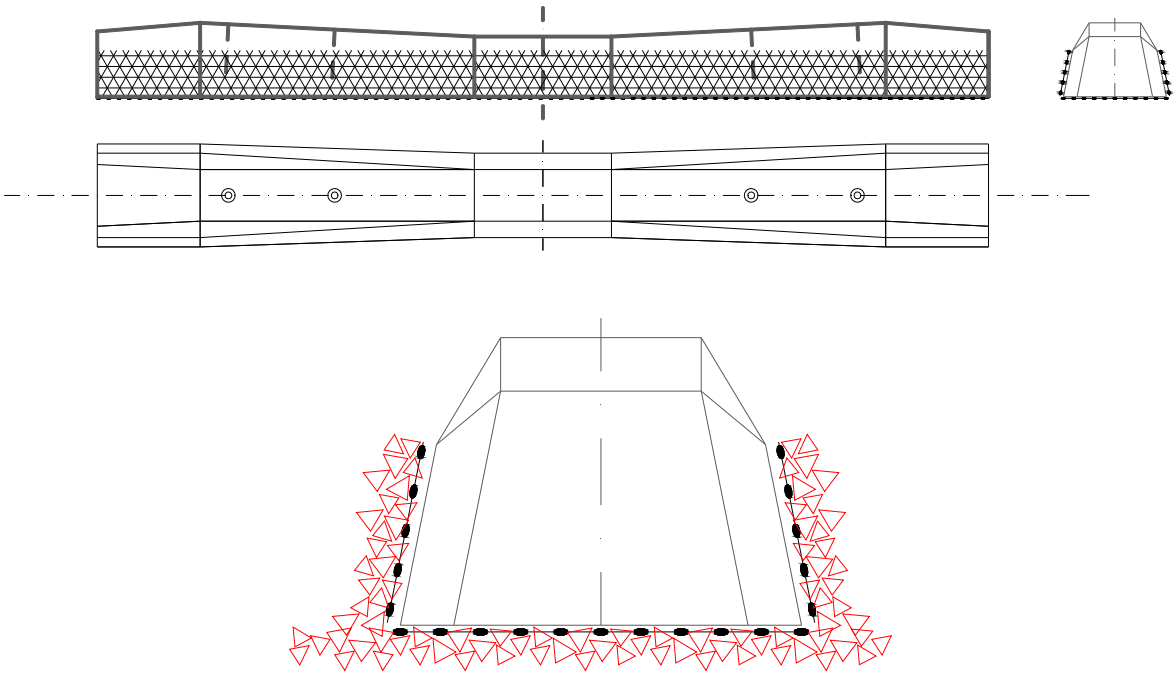


Figura 7. Geogrila este instalată pe talpa traversei, dar și pe fețele laterale

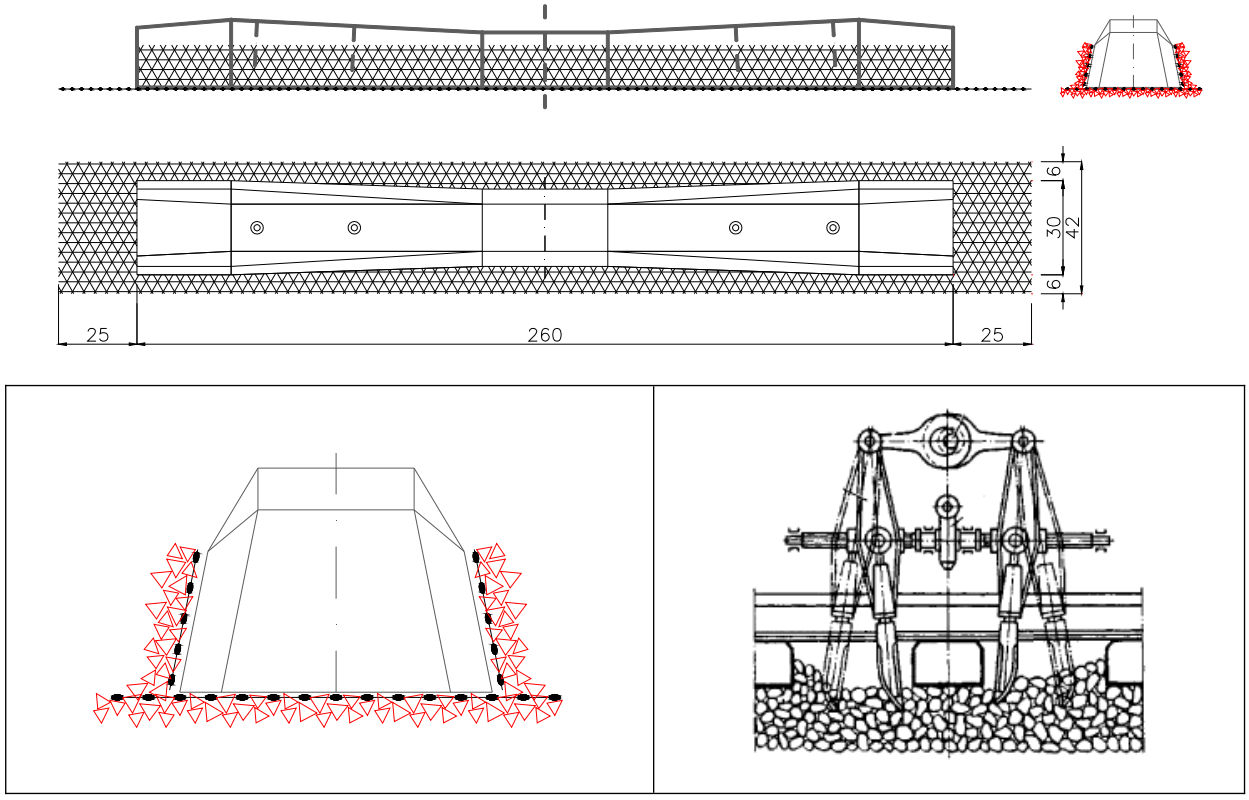


Figura 8. Geogrila este instalată pe talpa traversei, dar și în afara acesteia, în limitele permise de câmpul de acțiune al ciocanelor de burat

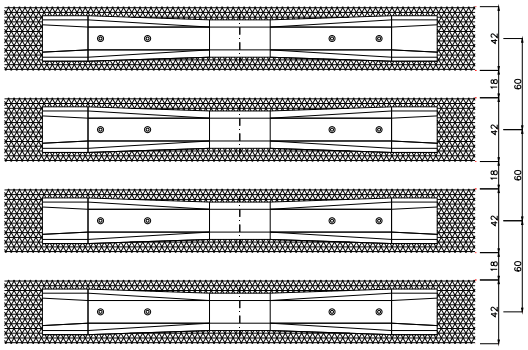


Figura 9. Dispoziția în plan a traverselor cu geogrile atașate

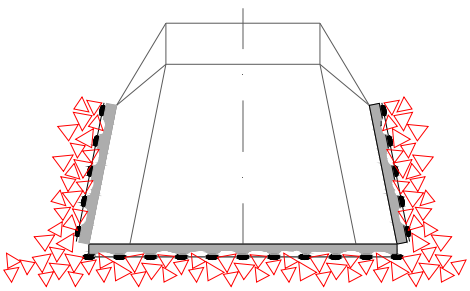


Figura 10. Atașarea geogrilei de un alt material intermediar fixat pe traversă

4. STUDIUL MODELULUI LA SCARA 1:10

Pentru validarea modelului a fost realizat un model al căii ferate la scara 1:10. A fost considerat un panou de cale cu lungimea de aproximativ 1,50 m, corespunzător unui panou de cale de 15 m la scară naturală. Traversele au fost realizate din lemn. O traversă are dimensiunile 25 cm x 2 cm x 2 cm. Șina este reprezentată de un profil metalic. Piatra spartă a fost înlocuită cu o criblură decorativă cu granule cuprinse între 3 mm și 8 mm. Dimensiunile prismei căii în model au fost următoarele: umărul de 5 cm, iar grosimea sub talpa traversei de 2,5 cm. Distanţa dintre traverse a fost aleasă de 6 cm. S-au folosit două tipuri de geogrile, cu ochiuri pătrate, dar cu dimensiuni diferite ale ochiurilor. Geogrila cu ochiuri mici are latura ochiului de 4,5 mm. Geogrila cu ochiuri mari are latura ochiului de 9 mm.

Geogrilele au fost testate la smulgere. Testele s-au realizat pe fâșii cu lățimea de 3 cm și lungimea de 26 cm. Geogrilele au fost acoperite cu un strat de 2 cm de piatră spartă. Pentru geogrila cu ochiuri mai mici, la o deplasare de 5 mm s-a înregistrat o forță de 8 N. Pentru geogrila cu ochiuri mari, la o deplasare de 5 mm s-a înregistrat o forță de 10 N. Era evident că geogrila cu ochiuri mai mari se va comporta mai bine, având în vedere că granulele de piatră spartă au dimensiuni cuprinse între 3 mm și 8 mm.

S-a testat apoi traversa izolată încorporată în piatra spartă. Pentru o deplasare de 5 mm s-a înregistrat o forță de 4 N.

S-au făcut aceleași teste pentru situațiile când pe talpa traversei a fost atașată geogrila cu ochiuri mici și apoi geogrila cu ochiuri mari.

Pentru o deplasare a traversei de 5 mm, pentru traversa combinată cu geogrila cu ochiuri mici s-a înregistrat o forță de 6 N.

Pentru o deplasare a traversei de 5 mm, pentru traversa combinată cu geogrila cu ochiuri mari s-a înregistrat o forță de 8 N.

Forțele cele mai mari s-au înregistrat în cazul geogrilelor izolate. Geogrila este practic ancorată în piatra spartă.

Forțe ceva mai mici s-au înregistrat în cazul traversei combinate cu geogrile. Sub traversă geogrila nu lucrează la capacitate maximă, particulele neputând fi cuprinse în ochiuri decât pe o singură față.

Cea mai mică forță s-a înregistrat în cazul traversei izolate. Rezistența în cazul traversei este dată de frecarea pe talpă, pe fețele laterale și nu în ultimul rând de umărul de piatră spartă.

Testele realizate pe panoul de cale ferată au condus la rezultate surprinzătoare.

A fost testat prima dată panoul cu traverse normale, necombinate cu geogrile. În prisma de piatră spartă au fost înglobate 9 traverse. Încercarea de tracțiune s-a realizat în dreptul traversei din mijloc. Pentru o deplasare de 5 mm s-a înregistrat o forță de 50 N. De fapt, la această deplasare traversele au început să lunece prin prismă.

A fost testat apoi panoul cu traverse în care o parte din ele au fost combinate cu geogrilele cu ochiuri mari. În prisma de piatră spartă au fost înglobate 9 traverse, dintre care 6 au fost combinate cu geogrile. Încercarea de tracțiune s-a realizat în dreptul traversei din mijloc. Pentru o deplasare de 5 mm s-a înregistrat o forță de 80 N. Ceea ce trebuie notat este faptul că traversele au început să lunece cu tot cu prisma pe suprafața suport. Rezultă că geogrilele au confinat practic piatra spartă de sub traverse, creând astfel un bloc compact de piatră sub traverse. S-a realizat practic o confinare în adâncime, o confinare a pietrei sparte de sub geogrilă. Rezistența laterală în cazul panoului cu traverse combinate cu geogrile este cu 60% mai mare decât în cazul obișnuit.

Sporul de rezistență este mai mare în cazul traverselor combinate cu geogrile cuprinse în panou decât în cazul traversei izolate combinate cu geogrile.



Figura 11. Pregătirea modelului la scara 1:10



Figura 12. Testarea celor două tipuri de geogrile



Figura 13. Testarea traversei cu geogrile atașate



Figura 14. Pregătirea și testarea panoului de cale fără geogrile atașate

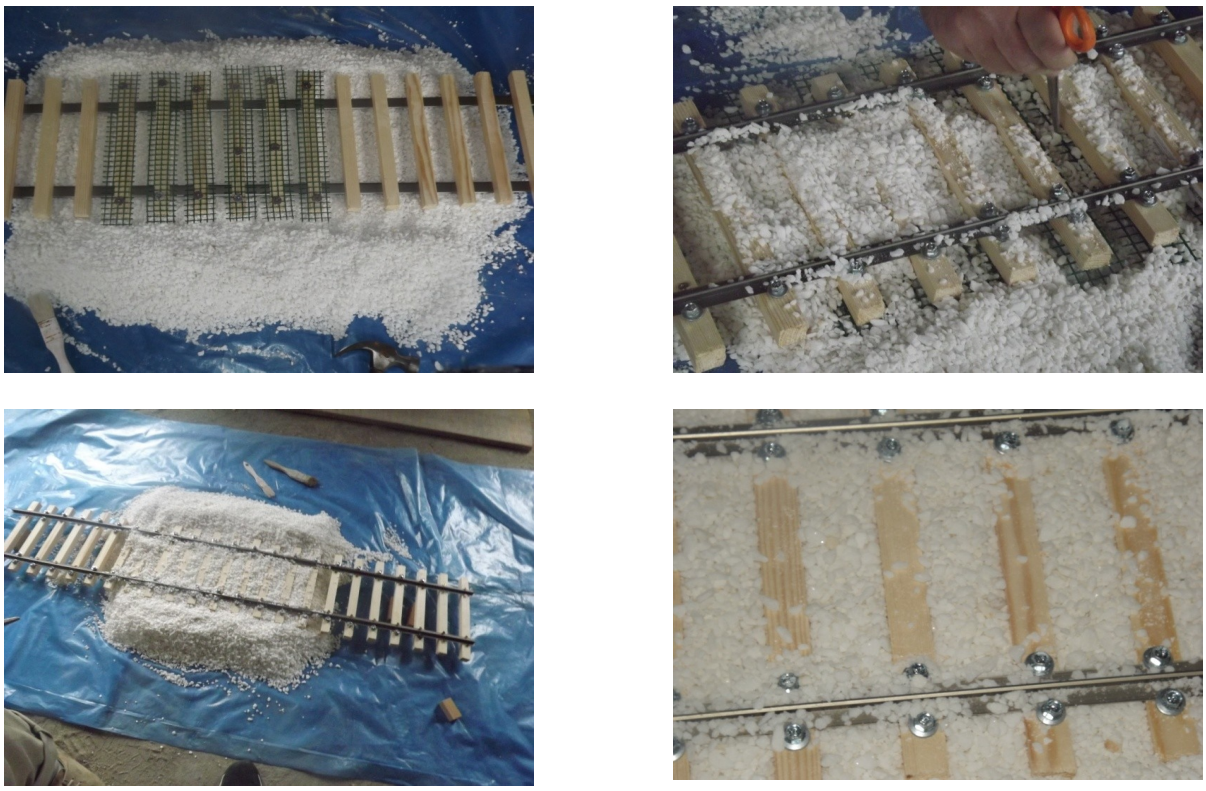


Figura 15. Pregătirea și testarea panoului de cale cu geogrile atașate

Din literatura de specialitate au rezultat următoarele concluzii referitoare la interacțiunea geogrilă-pământ (M.J. Lopes and M.L. Lopes, Soil-geosynthetic interaction – influence of soil particle size and geosynthetic structure, Geosynthetics International, 1999, vol. 6, no. 4):

- dimensiunile particulelor care alcătuiesc pământul au o influență importantă asupra comportării la interfața dintre geogrilă și pământ;
- rezistența la forfecare la interfața dintre geogrilă și pământ este influențată de dimensiunile relative ale particulelor pământului, de deschiderea ochiurilor geogrilei și de grosimea nervurii și nodului geogrilei;
- s-a constatat că rezistența la forfecare la interfața dintre geogrilă și pământ este cu 20% mai mare în cazul în care pământul conține un procent semnificativ de particule cu dimensiunea puțin mai mare decât grosimea nervurii, dar mai mică decât deschiderea ochiului;
- rezistența la smulgere a geogrilei este influențată și de rezistența pasivă a nervurilor transversale;
- rezistența la smulgere a geogrilei este de cel puțin patru ori mai mare decât rezistența laterală a traversei de beton.

Având în vedere dimensiunile pietrei sparte la calea ferată (31,5 mm - 63 mm), eficiența geogrilei depinde de alegerea dimensiunii ochiurilor.

Pentru geogrila biaxială, deschiderea ochiurilor trebuie să fie de 50 mm.

Pentru geogrila triax (cu ochiuri triunghiuri laterale), lungimea nervurii măsurată între două noduri vecine trebuie să fie de 60 mm.

5. CONCLUZII

Traversa combinată cu geogrile conduce la stabilitatea căii și are o serie de avantaje:

1. Creșterea nivelului de siguranță în curbele cu rază mică, la calea fără joante. Creșterea rezistenței laterale cu până la 60%.

2. O mai bună comportare a traversei în cale: prin intermediul geogrilelor, traversa este „ancorată elastic” în prisma căii.

3. Prezența geogrilelor sub umărul prismei căii asigură menținerea în timp a formei și dimensiunilor acestuia (lățimea umărului, înclinarea taluzului prismei căii).

4. Creșterea rezistenței longitudinale a traversei la deplasarea prin prisma căii are implicații serioase asupra calității căii. Limitarea deplasărilor traverselor prin prisma căii conduce la o mai mică „perturbare” a prismei căii.

5. Un alt rezultat este reducerea lungimilor de respirație cu implicații asupra sistematizării stațiilor în zonele de trecere de la calea fără joante la calea cu joante.

PROPUNERI DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A INSTRUCȚIEI 314 DIN PUNCTUL DE VEDERE AL CALCULULUI SUPRAÎNĂLȚĂRII

Laurenţiu MĂRCULESCU, dr.ing., director general Baicons Impex, e-mail: marculescul@yahoo.com
Tiberiu MĂRCULESCU, student Facultatea CFDP, e-mail: tiberiu.marculescu@student.utcb.ro

Rezumat

Prezenta lucrare analizează critic unele prevederi ale Instrucţiei 314 referitoare la stabilirea supraînălţării în curbele căilor ferate, evidenţiind limitările acestora în condiţiile modernizării infrastructurii feroviare şi ale circulaţiei trenurilor cu viteze şi tonaje diferite.

Sunt analizate situaţiile în care diferenţele dintre vitezele trenurilor de călători şi cele ale trenurilor de marfă conduc la dificultăţi în stabilirea supraînălţării efective, cu respectarea simultană a limitelor insuficienţei şi excesului de supraînălţare. Prin exemple numerice corespunzătoare vitezelor de 160 km/h şi 200 km/h sunt evidenţiate restricţiile rezultate din aplicarea Instrucţiei 314, comparativ cu prevederile NP 109, SR EN 13803 şi ale reglementărilor europene.

De asemenea, este analizată critic condiţia menţinerii constante a produsului dintre raza curbei şi supraînălţarea efectivă, evidenţiindu-se implicaţiile acesteia asupra parametrilor geometrici şi asupra solicitărilor celor două fire de şină.

În continuare, se propune o metodă alternativă de determinare a supraînălţării, bazată pe echilibrarea încărcărilor verticale transmise celor două fire de şină, ţinând seama de vitezele şi tonajele aferente traficului de călători şi de marfă. Metoda urmăreşte o repartizare mai echilibrată a solicitărilor şi oferă un criteriu suplimentar de analiză pentru stabilirea supraînălţării în condiţii de trafic mixt.

Rezultatele evidenţiază necesitatea actualizării unor prevederi ale Instrucţiei 314 şi a corelării acestora cu cerinţele tehnice actuale privind proiectarea şi exploatarea infrastructurii feroviare.

Cuvinte cheie: supraînălţarea căii ferate, insuficienţă de supraînălţare, exces de supraînălţare, trafic feroviar mixt, geometria curbelor feroviare, echilibrarea încărcărilor verticale, Instrucţia 314.

Abstract

This paper critically examines certain provisions of Instruction 314 concerning the determination of cant on railway curves. It highlights their limitations in the context of railway infrastructure modernisation and of trains running at different speeds and tonnages. It analyses situations in which the gap between passenger and freight train speeds makes it difficult to set the applied cant while meeting the limits for cant deficiency and cant excess at the same time. Numerical examples for speeds of 160 km/h and 200 km/h show the restrictions resulting from Instruction 314, compared with NP 109, SR EN 13803 and European regulations. The paper also critically examines the requirement that the product of curve radius and applied cant be kept constant, and discusses its implications for the geometric parameters and for the loads on the two rails. An alternative method of determining cant is then proposed, based on balancing the vertical loads transmitted to the two rails, taking into account the speeds and tonnages of passenger and freight traffic. The method aims at a more even distribution of loads and provides an additional criterion for setting cant under mixed traffic. The results show that some provisions of Instruction 314 need updating and alignment with current technical requirements for the design and operation of railway infrastructure.

Keywords: railway cant, cant deficiency, cant excess, mixed railway traffic, railway curve geometry, vertical load balancing, Instruction 314

1. INTRODUCERE

Supraînălțarea căii ferate constituie unul dintre principalii parametri geometrici ai curbelor, având o influență directă asupra comportării dinamice a vehiculelor feroviare, confortului călătorilor, solicitărilor transmise suprastructurii căii și uzurii elementelor de rulare.

Stabilirea supraînălțării efective reprezintă o problemă de optimizare tehnică, întrucât aceeași cale ferată este utilizată, în numeroase situații, atât de trenuri de călători care circulă cu viteze ridicate, cât și de trenuri de marfă caracterizate prin viteze mai reduse și sarcini pe osie mai mari.

În cazul traficului mixt, alegerea supraînălțării trebuie să realizeze un compromis între limitarea accelerațiilor transversale necompensate, evitarea excesului de supraînălțare și asigurarea unei repartizări corespunzătoare a încărcărilor verticale între cele două fire de șină.

În România, proiectarea elementelor geometrice ale căii ferate se realizează prin aplicarea unor reglementări naționale, între care Instrucția 314

ocupă un loc important. Aceasta stabilește condițiile de determinare a supraînălțării și limitele unor parametri precum insuficiența și excesul de supraînălțare.

Modernizarea infrastructurii feroviare, creșterea vitezelor de circulație și necesitatea asigurării interoperabilității cu rețeaua feroviară europeană impun însă reanalizarea unor prevederi ale acestei instrucții, în raport cu cerințele actuale și cu abordările din standardele europene.

În practica proiectării se întâlnesc situații în care aplicarea simultană a limitelor impuse de Instrucția 314 conduce la dificultăți în alegerea supraînălțării efective, în special în cazul diferențelor mari dintre vitezele trenurilor de călători și cele ale trenurilor de marfă.

O altă problemă o reprezintă condiția menținerii constante a produsului dintre raza curbei și supraînălțarea efectivă, a cărei aplicare necesită o analiză critică din perspectiva insuficienței și excesului de supraînălțare corespunzătoare fiecărei curbe.

În plus, metodele uzuale de calcul acordă o importanță predominantă vitezelor de circulație și limitelor geometrice, în timp ce efectul ponderii traficului asupra repartizării solicitărilor între cele două fire de șină merită analizat în mod distinct.

Prezenta lucrare urmărește evidențierea acestor aspecte prin exemple numerice, analiza comparativă a prevederilor tehnice și dezvoltarea unei metode alternative de calcul al supraînălțării, bazată pe echilibrarea încărcărilor verticale transmise celor două fire de șină, în funcție de caracteristicile traficului feroviar.

Scopul final este formularea unor propuneri de îmbunătățire a Instrucției 314, care să contribuie la stabilirea mai rațională a supraînălțării efective și la îmbunătățirea comportării căii ferate în exploatare.

2. STABILIREA INSUFICIENȚEI DE SUPRAÎNĂLȚARE PENTRU PROIECTELE DE MODERNIZARE A CĂILOR FERATE

În cadrul proiectelor de modernizare a căilor ferate din țara noastră se dorește realizarea unei viteze cât mai mari pentru trenurile de călători. Viteza trenurilor de marfă este influențată și limitată de tonajul trenurilor.

Diferența mare dintre viteza maximă a liniei și viteza medie a trenurilor de marfă în cazul traficului combinat conduce la imposibilitatea definirii parametrilor căii, prin prisma Instrucției 314.

Tabelul 1. Valori ale lui h pentru V = 160 km/h, Vm = 80 km/h, R = 1500 m

	Valori rezultate din calcul		**Valori limită conform Instrucției 314**			**Valori limită conform NP109 și SR EN 13803**			**Regulamentul (UE) nr. 1299/2014**		
I (mm)	h (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)
70	130	80	70 (90)	100	50	110	160	110	130	160	-
90	110	60									
110	90	40									

Tabelul 2. Valori ale lui h pentru V = 200 km/h, Vm = 80 km/h, R = 2150 m

	Valori rezultate din calcul		**Valori limită conform Instrucției 314**			**Valori limită conform NP109 și SR EN 13803**			**Regulamentul (UE) nr. 1299/2014**		
I (mm)	h (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)
70	150	115	70 (90)	85	50	110	160	110	153	160	-
90	130	95									
110	110	75									

Insuficiența de supraînălțare de 90 mm, reprezintă conform Instrucției 314 un caz excepțional aplicabil cu aprobarea direcției de linii și instalații.

Excesul de supraînălțare de 50 mm corespunde conform Instrucției 314 unui trafic de marfă zilnic mai mare de 60 000 t/zi.

Din cele de mai sus rezultă că Instrucția 314 nu permite desfășurarea unui trafic combinat, în care viteza maximă a trenurilor de călători este de 160 km/h, respectiv 200 km/h, iar viteza medie a trenurilor de marfă este de 80 km/h.

Luăm în considerare și cazul ideal cu V_m = 100 km/h.

Tabelul 3. Valori ale lui h pentru V = 160 km/h, Vm = 100 km/h, R = 1500 m

	Valori rezultate din calcul		**Valori limită conform Instrucției 314**			**Valori limită conform NP109 și SR EN 13803**			**Regulamentul (UE) nr. 1299/2014**		
I (mm)	h (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)
70	130	55	70 (90)	125	50	110	160	110	130	160	-
90	110	35									
110	90	15									

Tabelul 4. Pentru V = 200 km/h, Vm = 100 km/h, R = 2150 m

	Valori rezultate din calcul		**Valori limită conform Instrucției 314**			**Valori limită conform NP109 și SR EN 13803**			**Regulamentul (UE) nr. 1299/2014**		
I (mm)	h (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)	I (mm)	h_{max} (mm)	E (mm)
70	150	95	70 (90)	105	50	110	160	110	153	160	-
90	130	75									
110	110	55									

Din cele de mai sus rezultă că Instrucția 314 nu permite desfășurarea unui trafic combinat, în care viteza maximă a trenurilor de călători este de 160 km/h, respectiv 200 km/h, iar viteza medie a trenurilor de marfă este de 100 km/h.

Instrucția 314 este restrictivă față de NP109, SR EN 13803 și Regulamentul (UE) nr. 1299/2014, dar și mai veche.

Caracterul restrictiv al instrucției poate afecta criteriul de interoperabilitate cerut sistemului feroviar românesc.

Din punctul nostru de vedere insuficiența de supraînălțare care asigură confortul cel mai bun și uzurile egale ale șinelor este cea cu valoare de 90 mm. Ea corespunde unui coeficient de suplețe egal cu 0,4 și unei accelerații transversale necompensate de 0,85 m/s^2.

3. REFERITOR LA CONDIȚIA DIN INSTRUCȚIA 314 CA PRODUSUL DINTRE RAZA CURBEI (R) ȘI SUPRAÎNĂLȚAREA EFECTIVĂ APLICATĂ PE TEREN (h) SĂ FIE CONSTANT ÎN ORICE PUNCT DE PE CURBA IZOLATĂ, GRUPAREA DE CURBE ȘI CURBELE DE PE UN SECTOR DE LINIE

Considerând curba cu raza minimă și o curbă oarecare (A) de pe același sector de linie, pentru o insuficiență de supraînălțare (I) și un exces de supraînălțare (E) rezultă următoarele supraînălțări (corespunzător și tabelului 2 din Instrucția 314).

$$h_m = \frac{11,8 \times V^2}{R_m} - I \quad (1)$$

$$h_A = \frac{11,8 \times V^2}{R_A} - I \quad (2)$$

Dacă s-ar aplica principiul R x h = ct, atunci supraînălțarea curbei A s-ar calcula din formula

$$R_m \text{ x } h_m = R_A \text{ x } h_A^C \quad (3)$$

$$h_A^C = \frac{R_m \times h_m}{R_A} = \frac{R_m}{R_A}\left(\frac{11,8 \times V^2}{R_m} - I\right) = \frac{11,8 \times V^2}{R_A} - I \times \frac{R_m}{R_A} > h_A \quad (4)$$

Din principiul R x h = ct, curba (A) va avea o supraînălțare mai mare decât cea rezultată din calcul pentru insuficiența de supraînălțare (I) și excesul de supraînălțare (E) constante.

În funcție de supraînălțarea calculată conform principiului R x h = ct, pentru fiecare curbă vom avea insuficiență de supraînălțare și exces de supraînălțare diferite, valori influențate de raportul dintre raza curbei minime și raza curbei respective.

Tocmai acest lucru va contribui la producerea de uzuri inegale la cele două fire ale căii, diferit pentru fiecare curbă în parte.

Personal, consider, că la întocmirea Instrucţiei 314 s-a produs o eroare de traducere din literatura tehnică străină. Principiul R x h = ct este normal când h reprezintă supraînălţarea teoretică.

4. CALCULUL SUPRAÎNĂLȚĂRII EFECTIVE PE BAZA DATELOR DE TRAFIC

Vom arăta mai jos că deşi au fost respectate principiile de calcul pentru supraînălţare, conform Instrucţiei 314, valoarea rezultată nu este corectă având în vedere condiţiile de trafic şi reprezintă una dintre cauzele apariţiei defectelor.

Conform Instrucţiei 314:

- supraînălţarea normală este cea mai mică supraînălţare ce se aplică în funcţie de raza curbei şi viteza maximă a trenurilor de călători V_c şi insuficienţa de supraînălţare I.

$$h_n = \frac{11,8 \times V_c^2}{R} - I \tag{5}$$

- supraînălţarea maximă este cea mai mare supraînălţare ce se poate aplica într-o curbă; supraînălţarea maximă este în funcţie de viteza medie a trenurilor de marfă V_m, intensitatea traficului trenurilor de marfă care determină valoarea excesului de supraînălţare E.

$$h_{max} = \frac{11,8 \times V_m^2}{R} + E \tag{6}$$

- supraînălţarea efectivă este supraînălţarea care se aplică în curbă şi este în funcţie de viteza maximă a trenurilor de călători V_c, insuficienţa de supraînălţare I, viteza medie a trenurilor de marfă V_m, intensitatea traficului trenurilor de marfă care determină valoarea excesului de supraînălţare E

Rezultă că insuficienţa de supraînălţare reală pentru trenurile de călători

$$I = h_{eq}(V_c) - h = 11,8 \cdot \frac{V_c^2}{R} - h \le I_{\lim ¿¿} \tag{7}$$

Şi excesul de supraînălţare pentru trenurile de marfă

$$E = h - h_{eq}(V_m) = h - 11,8 \cdot \frac{V_m^2}{R} \leq E_{\lim ¿¿} \tag{8}$$

Modul de calcul al supraînălțării conform Instrucţiei 314 nu acoperă anumite situaţii care se produc în realitate. Una dintre situaţii este când diferența dintre viteza maximă a trenurilor de călători este apropiată ca valoare de viteza medie a trenurilor de marfă.

Având în vedere limitările metodei de calcul prevăzute de Instrucția 314, se propune o metodă alternativă de determinare a supraînălțării efective, bazată pe echilibrarea încărcărilor verticale transmise celor două fire de șină, ținând seama de vitezele de circulație și de ponderea traficului de călători și de marfă.

Determinarea supraînălțării se va face din condiția ca uzurile verticale ale celor două fire de șină să fie egale.

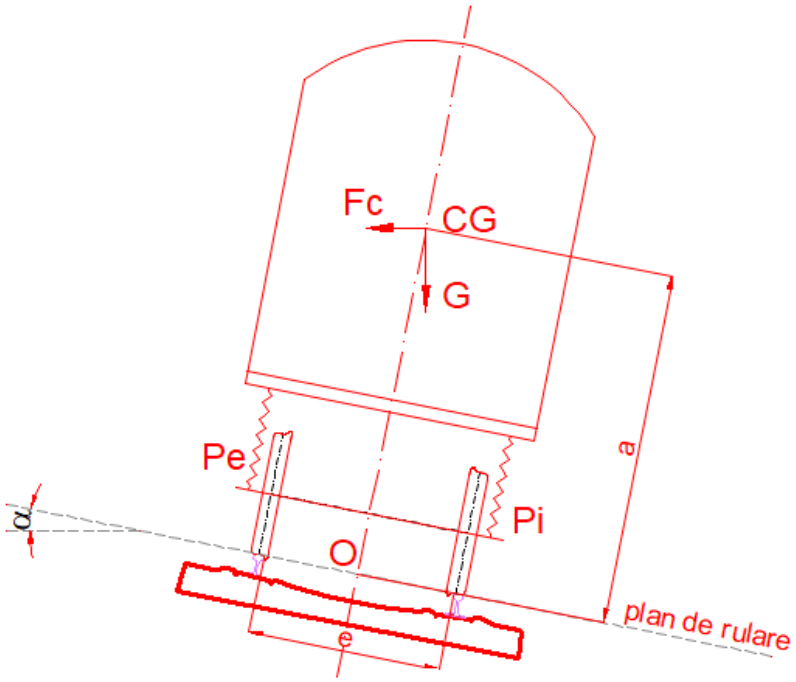


Figura 1. Schema forțelor care acționează asupra vehiculului feroviar în curbă

În calcul nu se iau în considerare următoarele:
- viteza vântului;
- existența resorturilor;
- existența excentricităților;
- forța de tracțiune sau de frânare;
- înclinarea șinelor;
- declivitatea liniei.

Pe linie se consideră traficul mixt, trenurile de călători care circulă cu viteza maximă și trenurile de marfă pentru care se va considera viteza medie.

Trenurile de călători care circulă cu viteza maximă produc încărcarea firului interior de șină cu sarcina $(P_c^i)_i$, respectiv încărcarea firului exterior de șină cu sarcina $(P_c^e)_i$.

Trenurile de marfă care circulă cu viteza medie produc încărcarea firului interior de șină cu sarcina $(P_m^i)_i$, respectiv încărcarea firului exterior de șină cu sarcina $(P_m^e)_i$.

$$P_c^e - P_c^i = \frac{2a}{e}\left(\frac{G_c V_c^2}{gR} - G_c \frac{h}{e}\right) \tag{9}$$

$$P_m^e - P_m^i = \frac{2a}{e}\left(\frac{G_m V_m^2}{gR} - G_m \frac{h}{e}\right) \tag{10}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_c^e - P_c^i\right)_i = \frac{2a}{e}\sum_{i=1}^{n}\left(G_c\right)_i\left(\frac{V_c^2}{gR} - \frac{h}{e}\right) \tag{11}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_c^e - P_c^i\right)_i = \frac{2a}{e}\left(\frac{V_c^2}{gR} - \frac{h}{e}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(G_c\right)_i \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_c^e - P_c^i\right)_i = \frac{2a}{e}\left(\frac{V_c^2}{gR} - \frac{h}{e}\right)T_c \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_m^e - P_m^i\right)_i = \frac{2a}{e}\sum_{i=1}^{n}\left(G_m\right)_i\left(\frac{V_m^2}{gR} - \frac{h}{e}\right) \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_m^e - P_m^i\right)_i = \frac{2a}{e}\left(\frac{V_m^2}{gR} - \frac{h}{e}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(G_m\right)_i \tag{15}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_m^e - P_m^i\right)_i = \frac{2a}{e}\left(\frac{V_m^2}{gR} - \frac{h}{e}\right)T_m \tag{16}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(P_c^e - P_c^i\right)_i + \sum_{i=1}^{n}\left(P_m^e - P_m^i\right)_i = 0 \tag{17}$$

$$\frac{2a}{e}\left(\frac{V_c^2}{gR}-\frac{h}{e}\right)T_c+\frac{2a}{e}\left(\frac{V_m^2}{gR}-\frac{h}{e}\right)T_m=0 \tag{18}$$

$$\frac{V_c^2}{gR}T_c+\frac{V_m^2}{gR}T_m=\frac{h}{e}\left(T_c+T_m\right) \tag{19}$$

$$h=\frac{e}{gR}\frac{V_c^2T_c+V_m^2T_m}{\left(T_c+T_m\right)} \tag{20}$$

Mai sus, T_c este tonajul trenurilor de călători, iar T_m este tonajul trenurilor de marfă.

Considerăm $T_m=\propto T_c$

$$h=\frac{e}{gR}\frac{V_c^2+\propto V_m^2}{\left(1+\propto\right)}=11,8\frac{V_c^2+\propto V_m^2}{R\left(1+\propto\right)} \tag{21}$$

Formula de mai sus se poate scrie și astfel:

$$h=11,8\frac{\propto V_m^2+V_c^2}{\propto R+R}=11,8\frac{V_m^2+V_c^2/\propto}{R+R/\propto} \tag{22}$$

Când $\propto$ tinde către infinit,

$$h=11,8\frac{V_m^2}{R} \tag{23}$$

5. CONCLUZII

Analizele şi exemplele numerice prezentate în lucrare evidenţiază existenţa unor limitări ale Instrucţiei 314 în ceea ce priveşte stabilirea supraînălţării efective a căii ferate, în special în condiţiile traficului mixt şi ale modernizării infrastructurii pentru viteze ridicate.

Principalele concluzii sunt următoarele:

1. Limitele insuficienţei şi excesului de supraînălţare prevăzute de Instrucţia 314 sunt restrictive în comparaţie cu valorile admise de reglementările tehnice europene. În anumite condiţii de trafic mixt, respectarea simultană a acestor limite poate conduce la imposibilitatea stabilirii unei supraînălţări care să satisfacă toate cerinţele impuse.

2. Exemplele numerice analizate pentru viteze ale trenurilor de călători de 160 km/h şi 200 km/h, respectiv viteze medii ale trenurilor de marfă de 80 km/h şi 100 km/h, evidenţiază dificultăţile aplicării Instrucţiei 314 la proiectele de modernizare a căilor ferate. Aceste situaţii justifică reanalizarea valorilor admisibile ale insuficienţei şi excesului de supraînălţare şi corelarea acestora cu standardele actuale de proiectare.

3. Condiţia menţinerii constante a produsului dintre raza curbei şi supraînălţarea efectivă, aplicată unor curbe cu raze diferite, nu asigură în mod necesar menţinerea aceloraşi valori ale insuficienţei şi excesului de supraînălţare. În consecinţă, această condiţie trebuie analizată şi clarificată în raport cu principiile de stabilire a supraînălţării efective pentru fiecare curbă.

4. Stabilirea supraînălţării numai prin raportare la vitezele de circulaţie şi la limitele insuficienţei şi excesului de supraînălţare nu reflectă integral influenţa structurii traficului feroviar asupra solicitărilor transmise celor două fire de şină. Ponderea traficului de călători şi a celui de marfă reprezintă un parametru suplimentar care poate fi luat în considerare la alegerea supraînălţării.

5. Metoda alternativă propusă în lucrare se bazează pe condiţia echilibrării încărcărilor verticale cumulate transmise celor două fire de şină. Prin introducerea raportului dintre tonajul traficului de marfă şi cel al traficului de călători, supraînălţarea poate fi determinată în funcţie de caracteristicile efective ale traficului feroviar.

6. Relaţia de calcul rezultată evidenţiază faptul că supraînălţarea optimă, din perspectiva criteriului de echilibrare adoptat, depinde atât de vitezele de circulaţie, cât şi de raportul dintre tonajele celor două categorii de trenuri. Creşterea ponderii traficului de marfă conduce la apropierea supraînălţării

calculate de supraînălțarea de echilibru corespunzătoare vitezei medii a trenurilor de marfă.

7. Echilibrarea încărcărilor verticale reprezintă un criteriu suplimentar pentru reducerea dezechilibrului solicitărilor asupra celor două fire de șină. Influența efectivă a acestui criteriu asupra uzurii șinelor trebuie însă confirmată prin analize dinamice și prin observații asupra comportării căii în exploatare.

8. Metoda propusă nu elimină necesitatea respectării condițiilor privind siguranța circulației, confortul călătorilor, insuficiența și excesul de supraînălțare. Aceasta poate fi utilizată ca instrument suplimentar de analiză și optimizare, în limitele impuse de reglementările tehnice aplicabile.

În concluzie, se consideră necesară revizuirea unor prevederi ale Instrucției 314 privind calculul supraînălțării, astfel încât acestea să fie corelate cu standardele europene și cu condițiile reale de exploatare a infrastructurii feroviare.

Introducerea unui criteriu de calcul care să țină seama de structura traficului și de echilibrarea solicitărilor asupra celor două fire de șină poate contribui la îmbunătățirea procesului de proiectare, constituind totodată o direcție pentru cercetări și validări experimentale ulterioare.

IMPLEMENTAREA BIM ÎN PROIECTAREA AUTOSTRĂZII A8, LOTUL 1D: JOSENI–DITRĂU

Matei Ştefan-Sebastian, drd.ing., Manager adjunct de proiect, Consitrans S.R.L., e-mail: stefan.matei@consitrans.ro, stefan-sebastian.matei@phd.utcb.ro

Rezumat

Articolul prezintă experiența Consitrans în implementarea metodologiei BIM la proiectarea Autostrăzii A8, lotul 1D: Joseni–Ditrău, investiție pentru care utilizarea BIM a fost inclusă ca factor de evaluare în procedura de atribuire. Sunt descrise organizarea colaborării dintre Proiectant, Antreprenor, Supervizor și Beneficiar prin intermediul mediului comun de date (CDE), pe platforma Autodesk Forma, și aplicarea regulilor stabilite prin Planul de execuție BIM (BEP). Articolul detaliază structura CDE, sistemul de codificare, fluxurile de verificare și aprobare, precum și formularea și soluționarea observațiilor pe documentele analizate. Coordonarea interdisciplinară a reprezentat un proces continuu, desfășurat pe parcursul tuturor etapelor de proiectare pe baza unui model federalizat, alcătuit din modelele de specialitate elaborate în Civil 3D, AutoCAD și Revit și accesibil tuturor părților. Aceleași modele au stat la baza generării pieselor desenate și a extragerii cantităților de lucrări. Sunt evidențiate transparența colaborării și trasabilitatea documentației asigurate prin utilizarea CDE, precum și dificultățile de adaptare a echipei la noile fluxuri de lucru și măsurile adoptate pentru depășirea acestora. Implementarea BIM continuă în etapa de execuție, modelele elaborate în proiectare fiind utilizate de Antreprenor la realizarea lucrărilor. Experiența acumulată constituie o bază pentru proiectele viitoare de infrastructură rutieră cu cerințe BIM.

Cuvinte cheie: BIM, autostradă, proiectare, CDE, model federalizat, coordonare interdisciplinară

Abstract

This paper presents Consitrans’s experience in implementing BIM for the design of the A8 Motorway, Section 1D: Joseni–Ditrău, a project for which the use of BIM was included as an evaluation factor in the tender procedure. It describes how collaboration among the Designer, Contractor, Supervisor and Client was organised through a common data environment (CDE) on the Autodesk Forma platform, together with the application of the rules established in the BIM Execution Plan (BEP). The paper details the CDE structure, document coding system, review and approval workflows, and the process of raising and resolving comments on the documents under review. Interdisciplinary coordination was maintained throughout all design stages through a federated model accessible to all parties, comprising discipline-specific models developed in Civil 3D, AutoCAD and Revit. These models also

provided the basis for drawing generation and quantity take-off. The paper highlights the transparency of collaboration and the traceability of documentation enabled by the CDE, as well as the challenges faced by the design team in adapting to the new workflows and the measures adopted to address them. BIM implementation continues during construction, with the Contractor using the models developed during design to carry out the works. The experience gained provides a foundation for future road infrastructure projects with BIM requirements.

Keywords: BIM, motorway, design, CDE, federated model, interdisciplinary coordination.

1. INTRODUCERE

Proiectarea infrastructurii de transport, prezentată în acest articol prin experiența Consitrans în aplicarea metodologiei BIM pentru Autostrada A8, lotul 1D Joseni–Ditrău, presupune adaptarea soluțiilor tehnice la particularitățile amplasamentului. Dezvoltarea liniară a infrastructurii rutiere pe distanțe mari implică traversarea unor zone cu relief și condiții geotehnice variate, care impun corelarea soluțiilor de proiectare și coordonarea permanentă a specialităților.

1.1. Date generale privind obiectivul de investiție

Denumirea obiectivului: „Proiectare și execuție Autostrada Târgu Mureș–Târgu Neamț, Secțiunea II Miercurea Nirajului–Leghin, Lot 1D: Joseni–Ditrău”.

Autostrada Târgu Mureș–Târgu Neamț este inclusă în rețeaua centrală transeuropeană de transport (TEN-T Core) și constituie o parte a legăturii rutiere dintre vestul și estul României, pe ruta Borș–Suplacu de Barcău–Nădășelu–Târgu Mureș–Târgu Neamț–Iași–Ungheni [1].

Lotul 1D Joseni–Ditrău este situat în județul Harghita, pe teritoriul administrativ al comunelor Joseni și Lăzarea. Sectorul are o lungime de 14,395 km, între km 77+800 și km 92+195. Traseul autostrăzii intersectează cursuri de apă, drumuri locale și calea ferată CF400 [1].

Principalele lucrări ale investiției cuprind 18 poduri și pasaje, precum și 3 ecoducte pentru asigurarea traversării faunei. Legătura cu DN13B se realizează prin nodul rutier Joseni, amplasat în zona km 80+980, care asigură descărcarea traficului în drumul național printr-o intersecție giratorie. Dotările autostrăzii includ două spații de servicii de tip S1, amplasate la km 87+925, câte unul pe fiecare sens de circulație [1].

1.2. Cerințe BIM în documentația de atribuire

În cadrul procedurii de atribuire, utilizarea BIM a constituit un factor de evaluare cu o pondere de 6% din punctajul total, pentru care fișa de date precizează: „Autoritatea contractantă acordă 6 puncte Ofertanților care își asumă utilizarea BIM în toate etapele contractului” [2].

Pentru ofertanții care optau pentru utilizarea BIM, cerințele de schimb de informații prevedeau elaborarea unui plan prealabil de execuție BIM (pre-BEP), care urma să fie dezvoltat și actualizat după semnarea contractului [3]. Rolul acestui document este de a prezenta abordarea propusă pentru gestionarea și livrarea informațiilor, organizarea echipei, responsabilitățile și instrumentele de lucru, în raport cu cerințele Beneficiarului [4].

2. ORGANIZAREA COLABORĂRII ÎN MEDIUL COMUN DE DATE

Implementarea metodologiei BIM a inclus atât coordonarea specialităților de proiectare, cât și organizarea colaborării dintre Proiectant, Antreprenor, Supervizor și Beneficiar prin intermediul mediului comun de date (CDE). Acesta permite colectarea, gestionarea și distribuirea informațiilor proiectului prin procese controlate [5]. Identificarea documentelor, gestionarea reviziilor, înregistrarea utilizatorilor și controlul accesului susțin urmărirea circuitului informațiilor [4]. În cadrul proiectului, păstrarea istoricului versiunilor, observațiilor și răspunsurilor a contribuit la transparența colaborării și la trasabilitatea documentației.

Prima etapă în implementarea cerințelor BIM a fost configurarea mediului comun de date pe platforma Autodesk Forma. Procedurile privind accesarea și utilizarea platformei au fost transmise tuturor entităților implicate în proiect, iar manualele de utilizare au fost publicate în CDE. Pentru personalul Consitrans și al celorlalți subcontractori au fost organizate ședințe de instruire privind utilizarea platformei CDE și pentru clarificarea cerințelor BIM și fluxurilor de lucru stabilite prin planul de execuție BIM (BEP).

2.1. Structura mediului comun de date

Structura CDE a fost definită în BEP și aplicată pentru fiecare fază de proiectare [6]. În cadrul fiecărei faze au fost create folderele în lucru (WIP),

partajat, publicat şi arhivat, fiecare dintre acestea fiind organizat pe specialităţi [5]. Fişierele încărcate în CDE au fost denumite conform convenţiei de codificare a proiectului, derivată din sistemul de codificare intern al Consitrans, care permite identificarea proiectului, a emitentului, a fazei de proiectare, a pachetului de lucrări, a tipului documentului şi a reviziei acestuia [6].

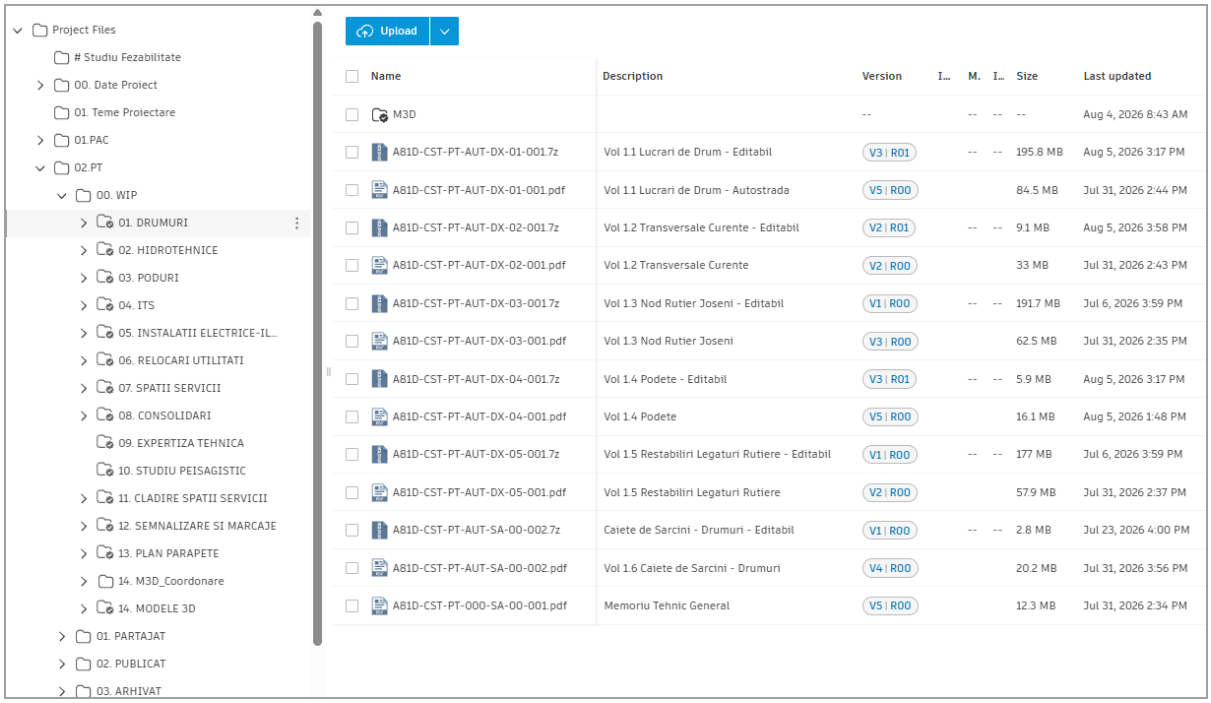


Figura 1. Structura mediului comun de date în Autodesk Forma

2.2. Fluxuri de verificare şi aprobare

Transmiterea documentelor s-a realizat prin fluxuri de aprobare (workflows), configurate pentru fiecare specialitate şi pentru fiecare etapă de verificare. Fiecare flux predefinit stabileşte iniţiatorul, aprobatorul, termenul de răspuns şi statusurile posibile ale verificării [6].

Proiectantul responsabil încărca documentul în folderul WIP al specialităţii sale şi iniţia un review, selectând fluxul corespunzător. Aprobarea putea fi acordată de către coordonatorul de specialitate, de Managerul de proiect sau de alţi responsabili desemnaţi. Documentele acceptate erau copiate automat în folderul Partajat.

Următoarea etapă o constituia verificarea Antreprenorului, după care documentele erau transmise Supervizorului, prin fluxuri de aprobare distincte. Documentele aprobate de Supervizor au fost transmise în folderul Publicat, iar aprobarea finală a revenit Beneficiarului, prin fluxul iniţiat de Supervizor.

Statusurile fluxurilor de lucru permit aprobarea sau respingerea documentației [5].

În fiecare etapă, respingerea unui document a fost însoțită de motivarea acesteia și de specificarea modificării necesare, iar inițiatorul verificării a fost notificat în platformă. După revizuire, documentul a parcurs din nou circuitul de verificare.

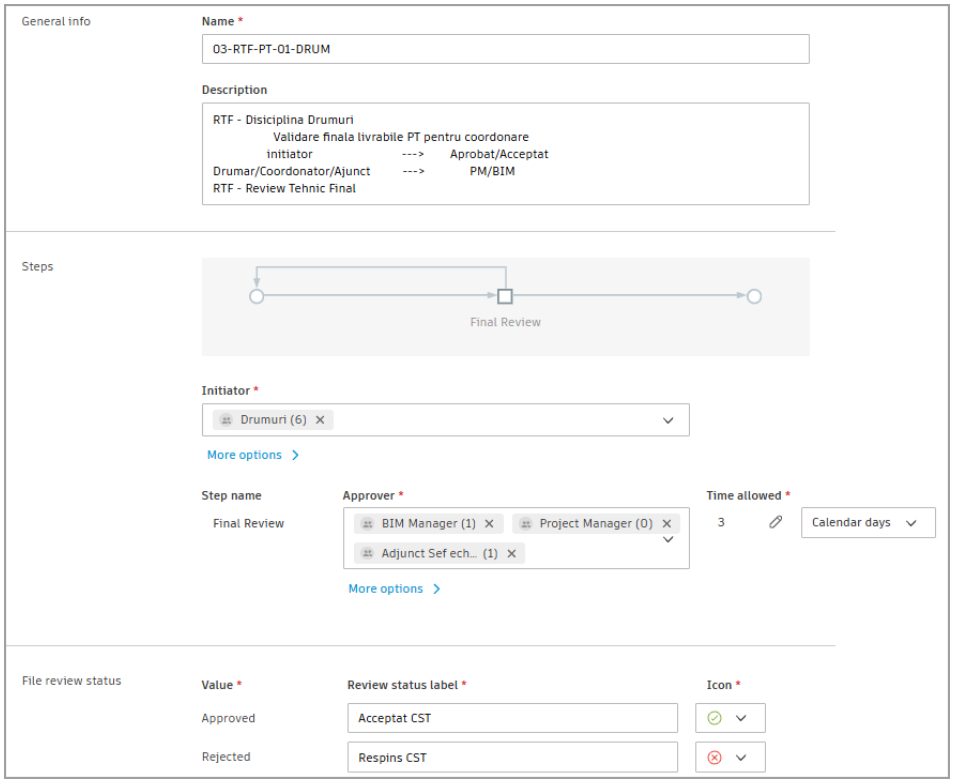


Figura 2. Configurarea unui workflow în Autodesk Forma

2.3. Formularea și soluționarea observațiilor

Observațiile Supervizorului au fost formulate direct în CDE, sub formă de *issue*, pe planșa sau piesa scrisă analizată, și atribuite specialității care elaborase documentul. Parcursul fiecărei observații putea fi urmărit prin statusurile *Draft*, *Open*, *In progress*, *Completed*, *In review* și *Closed*.

Proiectantul de specialitate putea soluționa observația în două moduri: prin revizuirea documentului și reîncărcarea acestuia în CDE sau printr-un răspuns tehnic argumentat, atunci când soluția inițială era menținută. Închiderea observației revenea Supervizorului, după verificarea răspunsului sau a documentului revizuit.



Figura 3. Istoricul unei observații formulate în CDE

Fiecare observație, împreună cu răspunsurile și schimbările de status, au rămas înregistrate în CDE, cu indicarea autorului și a datei fiecărei acțiuni. Istoricul astfel păstrat asigură transparența procesului de verificare și trasabilitatea soluționării fiecărei observații.

3. MODELAREA ȘI COORDONAREA INTERDISCIPLINARĂ

Coordonarea specialităților se realizează pe parcursul tuturor etapelor de proiectare. În cadrul proiectului, aceasta s-a bazat pe modelele tridimensionale elaborate de fiecare specialitate și publicate în CDE, care au permis vizualizarea comună a soluțiilor și corelarea acestora.

3.1. Modelarea lucrărilor

Modelele lucrărilor au fost elaborate utilizând software din suita Autodesk [6]. Lucrările de drumuri, hidrotehnice, de consolidare și de siguranță a

circulației, precum și platformele de beton ale spațiilor de servicii, au fost modelate în Civil 3D și încărcate în CDE ca fișiere DWG care conțin solide tridimensionale. Clădirile spațiilor de servicii au fost proiectate în AutoCAD și Revit și încărcate în formatele DWG și IFC (Tabelul 1). Prezentul articol se referă exclusiv la lucrările proiectate de Consitrans.

Tabelul 1. Software și formate utilizate pentru modelarea lucrărilor

Lucrări	Software	Format încărcat în CDE
Drumuri	Civil 3D	DWG cu solide 3D
Lucrări hidrotehnice	Civil 3D	DWG cu solide 3D
Consolidări	Civil 3D	DWG cu solide 3D
Siguranța circulației (semnalizare, marcaje, parapete)	Civil 3D	DWG cu solide 3D
Platforme de beton – spații de servicii	Civil 3D	DWG cu solide 3D
Clădiri – spații de servicii	AutoCAD / Revit	DWG / IFC

3.2. Vizualizarea integrată a specialităților

Modelele elaborate de fiecare specialitate au fost încărcate în CDE și integrate într-un model federalizat, alcătuit din containere de informație separate [5]. Vizualizarea acestuia direct pe platforma Autodesk Forma a permis verificarea corelării dintre lucrări și identificarea zonelor care necesitau revizuirea soluțiilor de proiectare.

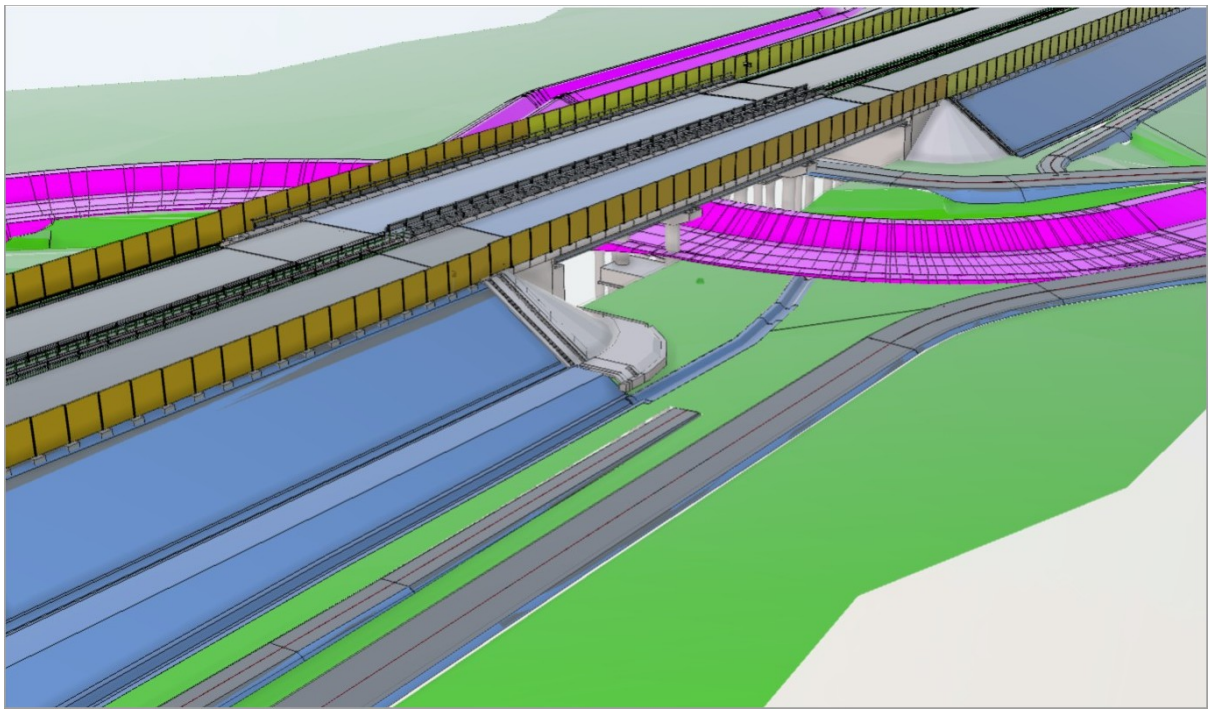


Figura 4. Modelul federalizat al lucrărilor în Autodesk Forma

Prin publicarea în CDE, modelul federalizat a devenit accesibil tuturor părţilor implicate în proiect. Acesta a completat documentația tehnică, oferind o imagine unitară asupra lucrărilor proiectate.

3.3. Utilizarea modelelor în proiectare

Modelele elaborate au stat la baza generării pieselor desenate și a extragerii cantităţilor de lucrări. Modelul păstrează legături dinamice între elementele infrastructurii, iar revizuirea unui singur element conduce la actualizarea automată a tuturor pieselor desenate și a cantităților dependente de acesta [6].

Această legătură are efecte directe asupra calității documentației. Planșele și cantitățile de lucrări provin din aceeași sursă de informații, ceea ce reduce riscul unor neconcordanțe. Totodată, timpul necesar pentru actualizarea documentației în urma unei modificări este redus.

Respectarea metodologiei BIM continuă și în etapa de execuție, modelele elaborate în proiectare fiind utilizate de Antreprenor la realizarea lucrărilor [6].

4. EXPERIENȚA IMPLEMENTĂRII BIM

Trecerea la metodologia BIM a presupus, pe lângă utilizarea mediului comun de date, adaptarea modului de lucru al echipei de proiectare. Dificultățile întâmpinate au fost legate de aplicarea constantă a regulilor stabilite prin BEP în activitatea curentă.

Publicarea documentației a presupus respectarea sistemului de codificare, încărcarea documentelor în folderele corespunzătoare și inițierea fluxurilor de verificare. Gestionarea observațiilor prin *issue-uri* a necesitat urmărirea acestora în platformă, formularea răspunsurilor și corelarea lor cu documentația revizuită. Pentru o parte dintre membrii echipei, aceste etape au reprezentat o schimbare a unor practici de lucru consolidate în timp.

Ședințele de instruire, ghidurile de utilizare publicate în CDE și sprijinul constant oferit de colegi au susținut implementarea noilor proceduri. Colaborarea în cadrul echipei a permis clarificarea dificultăților întâlnite și aplicarea treptată a fluxurilor de lucru în proiectare [6].

5. CONCLUZII

Proiectarea Autostrăzii A8, lotul 1D: Joseni–Ditrău, a reprezentat pentru Consitrans o experiență de implementare a metodologiei BIM pornind de la cerințele formulate încă din etapa de atribuire. Utilizarea BIM, asumată prin ofertă și punctată ca factor de evaluare, a fost aplicată pe parcursul etapelor de proiectare.

Organizarea colaborării într-un mediu comun de date, cu acces pentru Proiectant, Antreprenor, Supervizor și Beneficiar, a permis gestionarea controlată a documentației. Structura definită prin BEP, sistemul de codificare, fluxurile de verificare și aprobare și formularea observațiilor direct pe documente au asigurat transparența procesului și trasabilitatea documentației. Modelul federalizat a oferit tuturor părților o imagine unitară asupra lucrărilor.

Implementarea a necesitat adaptarea modului de lucru al echipei, susținută prin instruire, ghiduri de utilizare și colaborare între colegi. Utilizarea BIM nu se încheie odată cu finalizarea proiectării: modelele și mediul comun de date rămân suportul pentru gestionarea informațiilor și în etapa de execuție a lucrărilor. Experiența acumulată constituie o bază pentru aplicarea metodologiei BIM în proiectele viitoare de infrastructură rutieră cu cerințe similare.

BIBLIOGRAFIE

[1]. CONSITRANS S.R.L. *Memoriu tehnic general. Proiect tehnic de execuție. Proiectare și execuție Autostrada Târgu Mureș–Târgu Neamț, Secțiunea II Miercurea Nirajului–Leghin, Lot 1D: Joseni–Ditrău.* Cod A81D-CST-PTE-000-SA-00-001-R00, iunie, **2026**.

[2]. COMPANIA NAȚIONALĂ DE INVESTIȚII RUTIERE S.A. *Fișa de date a achiziției. Proiectare și execuție Autostrada Târgu Mureș–Târgu Neamț, Secțiunea II Miercurea Nirajului–Leghin, Lot 1D: Joseni–Ditrău.* Anunț de participare, nr. DF1228755, Sistemul Electronic de Achiziții Publice, **2024**.

[3]. COMPANIA NAȚIONALĂ DE INVESTIȚII RUTIERE S.A. *Cerințele Beneficiarului. Anexa nr. 12 – Modelare BIM (Building Information Modeling). Cerințe de schimb de informații (CSI). Proiectare și execuție Autostrada Târgu Mureș–Târgu Neamț, Secțiunea II Miercurea Nirajului–Leghin, Lot 1D: Joseni–Ditrău.* Revizia 0, 30 septembrie, **2024**.

[4]. ASRO. *SR EN ISO 19650-2:2019. Organizarea informațiilor în format digital despre clădiri și lucrări de geniu civil, utilizând modelarea informației construcției (BIM). Managementul informațiilor utilizând modelarea informației construcției. Partea 2: Etapa de livrare a activelor.* ASRO, București, **2019**.

[5]. ASRO. *SR EN ISO 19650-1:2019. Organizarea informațiilor în format digital despre clădiri și lucrări de geniu civil, utilizând modelarea informației construcției (BIM). Managementul informațiilor utilizând modelarea informației construcției. Partea 1: Concepte și principii.* ASRO, București, **2019**.

[6]. CONSITRANS S.R.L. *Plan de execuție BIM (BEP). Proiectare și execuție Autostrada Târgu Mureș–Târgu Neamț, Secțiunea II Miercurea Nirajului–Leghin, Lot 1D: Joseni–Ditrău.* Cod A81D-CST-00-BIM-SA-00-001, revizia R1, 28 ianuarie, **2026**.

MONITORIZAREA ÎN TIMP REAL A SEMNALIZĂRII RUTIERE TEMPORARE ÎN PERIOADA EXECUȚIEI

Matei Ștefan-Sebastian, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, B-dul Lacul Tei nr. 122–124, București, România, e-mail: stefan-sebastian.matei@phd.utcb.ro
Burlacu Adrian, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro

Rezumat

Obiectivul lucrării constă în sporirea siguranței în apropierea zonelor de lucrări rutiere prin monitorizarea în timp real a semnalizării rutiere temporare. Zonele de lucru reprezintă un mediu rutier cu risc crescut, iar nerespectarea schemelor de semnalizare aprobate, deplasarea sau dispariția elementelor de semnalizare și menținerea lor după finalizarea lucrărilor afectează direct siguranța participanților la trafic și a personalului. Lucrarea propune atașarea pe fiecare element de semnalizare a unui dispozitiv capabil să transmită în timp real poziția, starea (mișcare, înclinare), momentul activării și codificarea categoriei din care acesta face parte, astfel încât administratorul drumului, poliția rutieră și antreprenorul să poată verifica și supraveghea mult mai ușor conformitatea cu schema aprobată.

Pe baza cadrului normativ actualizat (inclusiv modificările aduse Codului rutier prin Legea nr. 51/2024), a literaturii privind siguranța în zonele de lucru și a experiențelor internaționale (specificația WZDx, panourile cu săgeată conectate, standardul DATEX II, regulamentele europene privind informațiile de trafic), sunt propuse arhitectura sistemului, modelul de date, regulile de alertă, fluxul de lucru și indicatorii unei aplicări-pilot. Informațiile colectate pot fi vizualizate într-o platformă GIS, disponibilă organizațiilor publice, și pot fi transmise, în format standardizat, către Punctul Național de Acces și aplicațiile de navigare.

Cuvinte cheie: monitorizare, siguranță rutieră, semnalizare temporară, zone de lucru, IoT, GIS, DATEX II.

Abstract

The aim of the paper is to increase safety near road works zones through real-time monitoring of temporary road signage. Work zones are a high-risk road environment, and failure to comply with the approved signage schemes, the displacement or disappearance of signage elements and their maintenance after completion of the works directly affect the safety of road users and of the personnel. The paper proposes attaching to each signage element a device capable of transmitting in real time its position, its status (movement, tilt), the time of activation and the code of the category to which it belongs, so that the road administrator, the

traffic police and the contractor can check and supervise compliance with the approved scheme much more easily.

Based on the updated regulatory framework (including the amendments to the Road Traffic Code introduced by Law no. 51/2024), the literature on work zone safety and international experience (the WZDx specification, connected arrow boards, the DATEX II standard, the European regulations on traffic information), the system architecture, the data model, the alert rules, the workflow and the indicators of a pilot application are proposed. The collected information can be visualised on a GIS platform available to public organisations and can be transmitted, in a standardised format, to the National Access Point and to navigation applications.

Keywords: monitoring, road safety, temporary signage, work zones, IoT, GIS, DATEX II.

1. INTRODUCERE

Siguranța rutieră rămâne o problemă majoră în România. Potrivit datelor preliminare publicate de Comisia Europeană pentru anul 2025, în Uniunea Europeană au decedat circa 19 400 de persoane în accidente rutiere, iar România continuă să aibă una dintre cele mai ridicate rate ale mortalității rutiere, alături de Bulgaria și Croația [1]. Uniunea urmărește reducerea cu 50% a numărului de decese și de răniri grave până în 2030, față de anul 2019 [1], iar Strategia națională privind siguranța rutieră pentru perioada 2022–2030 vizează, la rândul ei, reducerea la jumătate a numărului de decese și de răniri grave [2].

Zonele de lucrări rutiere constituie un mediu cu risc ridicat: reducerea numărului și a capacității benzilor, modificarea delimitărilor și a semnalizării, precum și prezența personalului, a utilajelor și a barierelor creează un mediu mai complex, cu conflicte suplimentare în trafic [3]. Pe autostrăzile din California, rata accidentelor a crescut cu 21,5% în perioada lucrărilor față de perioada anterioară (cu 17,3% pentru accidentele cu victime și cu 23,8% pentru cele fără victime), iar frecvența accidentelor a crescut odată cu durata și lungimea zonei de lucru și cu traficul mediu zilnic [4]. O meta-analiză a modelelor de predicție a confirmat efectul semnificativ al lungimii zonei de lucru asupra numărului de accidente [3]. În Statele Unite, în anul 2022 s-au înregistrat 891 de decese în 821 de accidente mortale produse în zone de lucru, iar 94 de lucrători și-au pierdut viața pe șantierele de construcții rutiere [5].

La nivel european, proiectul BRoWSER, derulat în programul de cercetare al Conferinței Directorilor Europeni de Drumuri (CEDR), a constatat o lipsă

serioasă de date privind incidentele şi evenimentele de tip „near miss” care implică lucrătorii rutieri şi a arătat că simpla marcare, în bazele de date de accidente, a prezenței lucrărilor ar îmbunătăți considerabil analizele [6]. Simpozionul CEDR–ERF din februarie 2026 a descris zonele de lucru drept cele mai periculoase medii din rețelele rutiere şi a evidențiat rolul instrumentelor digitale de monitorizare în timp real şi al integrării datelor despre lucrări în serviciile de navigație [7].

În România, Legea nr. 51/2024 a modificat Codul rutier, obligând administratorul drumului, antreprenorul sau executantul să semnalizeze corespunzător, cât mai repede posibil, orice obstacol sau lucrare şi să înlăture semnalizarea temporară după finalizarea lucrărilor; totodată, la accidentele soldate cu decese sau vătămări corporale, polițistul trebuie să înregistreze foto şi video existența sau inexistența semnalizării şi să consemneze calitatea acesteia [8]. Aceste prevederi cresc importanța unor dovezi obiective şi datate privind starea semnalizării în fiecare moment al execuției.

Obiectivul lucrării este de a propune un sistem de monitorizare în timp real a semnalizării rutiere temporare, aplicabil pe şantierele de drumuri din România. Capitolul 2 sintetizează cerințele normative, capitolul 3 prezintă prevederile tehnice privind semnalizarea temporară, iar capitolul 4 detaliază soluția propusă: experiențe internaționale şi standarde de date, arhitectura sistemului, modelul de date şi regulile de alertă, fluxul de lucru şi o propunere de aplicare-pilot cu indicatori de performanță.

2. REGLEMENTĂRI PRIVIND ÎNCHIDERILE ŞI RESTRICȚIILE DE CIRCULAȚIE

2.1. Cadrul normativ şi obligațiile părților

În România, condițiile de închidere a circulației şi de instituire a restricțiilor în vederea executării de lucrări în zona drumului public sunt stabilite prin Normele metodologice aprobate prin Ordinul nr. 1.112/411/2000 [9]. Închiderea sau restricționarea circulației se aprobă de administratorul drumului, cu acordul poliției rutiere, iar schemele de semnalizare se vizează „spre neschimbare” de administrator şi de poliție. Executantul are obligația să instaleze, să completeze operativ şi să întrețină semnalizarea şi mijloacele de protecție pe toată durata execuției; administratorul şi poliția verifică respectarea condițiilor

din aprobare şi pot aplica sancţiuni, pot anula aprobarea sau pot suspenda lucrările, iar accidentele cauzate de semnalizarea temporară incompletă sau inexistentă intră în responsabilitatea integrală a executantului [9].

Cadrul a fost întărit prin Legea nr. 51/2024, care a introdus obligația înlăturării indicatoarelor şi mijloacelor de semnalizare rutieră temporară la finalizarea lucrărilor, a stabilit ca nerespectarea acestei obligații să constituie contravenție și a obligat poliția să documenteze foto și video starea semnalizării la accidentele cu victime [8]. Cerinţele tehnice pentru indicatoare şi mijloacele de semnalizare rutieră sunt stabilite prin SR 1848-2 [10].

Sinteza din acest capitol şi din capitolul 3 are la bază normele naționale [9], [10] și ghidurile de management temporar al traficului din Marea Britanie [11], Irlanda [12] şi provincia canadiană British Columbia [13]. Dispozitivele temporare de control al traficului sunt cele enumerate și descrise în rândurile următoare:

Semne de circulație, semnale luminoase, marcaje și alte echipamente pentru a ajusta, avertiza și dirija participanții la trafic prin sau în jurul lucrărilor de construcție, întreținere, modernizare a drumurilor, sau de extindere, reparații, întreținere a diverselor utilități.

Proiectarea și aplicarea dispozitivelor temporare de control al traficului în zonele în care se lucrează trebuie să abordeze nevoile tuturor participanților la trafic: șoferi, bicicliști și pietoni, inclusiv persoanele cu dizabilități.

Dispozitivele utilizate trebuie să respecte principiile de bază ale semnalizării pentru a fi eficiente pentru toți utilizatorii drumului:

- Îndeplinesc o nevoie;
- Impun atenție și respect;
- Transmit un mesaj clar și simplu de înțeles;
- Oferă suficient timp pentru a putea reacționa corespunzător.

Siguranța este cel mai important obiectiv. Lucrările trebuie efectuate într-un timp minim, ocupând spațiul rutier minim, dar fără a compromite siguranța. Când un sector de drum este închis, trebuie folosită oportunitatea pentru a efectua orice altă lucrare de întreținere necesară pe acel sector.

Potrivit Normelor metodologice [9], executanții lucrărilor în zona drumului public au, printre altele, următoarele obligații:

- Să respecte procesul tehnologic și soluțiile tehnice de execuție.
- Să realizeze amenajările destinate siguranței traficului, să monteze și să întrețină mijloacele de semnalizare și de protecție de pe sectorul de drum, pe toată durata execuției lucrării.

- Să amenajeze culoare speciale pe partea carosabilă pentru circulația pietonilor, dacă lucrările afectează trotuarul.

- Să realizeze și să întrețină varianta de ocolire, în condiții de siguranță, în cazul devierii circulației.

- Să asigure echipament de protecție și avertizare pentru personalul desemnat să lucreze în zona drumului.

- Să restabilească circulația prin eliberarea completă a platformei și a zonei drumului după terminarea lucrărilor sau a programului de lucru, dacă partea carosabilă nu mai este afectată de lucrări.

- Să demonteze semnalizarea rutieră temporară odată cu terminarea lucrărilor și să refacă semnalizarea inițială sau, dacă este cazul, să adapteze semnalizarea la noile condiții de circulație; nerespectarea obligației de înlăturare a semnalizării temporare constituie, de la modificarea Codului rutier din 2024, contravenție [8].

- Să încheie, la terminarea lucrărilor, procesul-verbal de recepție împreună cu administratorul drumului și cu poliția rutieră [9].

Premergător închiderii sau instituirii restricțiilor de circulație, administratorul drumului va înștiința participanții la trafic, prin radio și presă, cu privire la condițiile de circulație pe respectivele sectoare de drum și la eventualele trasee alternative recomandate [9].

Semnalizarea rutieră temporară trebuie să fie în corelare cu tipul pericolului vizat și categoria de participanți la trafic căreia i se adresează.

2.2. Principii fundamentale

1. Aspectul consecvent al semnelor ajută la comunicarea facilă către șoferi și permite utilizatorilor drumului să recunoască și să înțeleagă cu ușurință ce acțiune trebuie să facă.

2. Uniformitatea înseamnă a trata întotdeauna situații similare în același mod. Plasarea semnalizării într-o manieră uniformă și consecventă asigură că participanții la trafic pot răspunde în mod corespunzător privind expunerea lor anterioară la situații similare de control al traficului.

3. Amplasarea semnelor necesită asigurarea vizibilității și un timp suficient de reacție.

4. Este necesară întreținerea fizică pentru a se asigura că semnalizarea este vizibilă și lizibilă. Semnele curate, montate corespunzător și aflate în stare bună sunt mai ușor de respectat.

5. Întreţinerea funcţională înseamnă instalarea, reglarea şi îndepărtarea semnalizării provizorii ca răspuns la schimbarea condiţiilor drumului. Aceasta include revizuirea proiectului de control al traficului pentru eficacitate şi modificare dacă este necesar.

6. Echipamentele care sunt excesiv de uzate, îndoite, deteriorate sau care au pierdut o cantitate semnificativă din materialul retroreflectorizant trebuie să fie înlocuite; pentru conuri şi cilindri, cerinţele de performanţă vizuală (culoare, retroreflexie) şi fizică sunt stabilite prin EN 13422 [14].

3. PREVEDERILE SEMNALIZĂRII RUTIERE TEMPORARE

Pentru semnalizarea rutieră temporară şi protecţia personalului se utilizează: indicatoare specifice semnalizării rutiere temporare, mijloace auxiliare de semnalizare a lucrărilor şi echipamente de protecţie.

Semnele de circulaţie la lucrările rutiere pot fi împărţite în trei mari categorii:

- Reglementare – semne care dau instrucţiuni sau aplică interdicţii sau restricţii pe care utilizatorii drumului trebuie să le respecte;
- Avertizare – semne care avertizează asupra pericolelor sau restricţiilor pe drumul din faţă sau informează persoanele cu privire la măsurile de precauţie care trebuie luate împotriva unui astfel de pericol, sau ambele;
- Informative – semne care oferă direcţii şi distanţe către destinaţii pe drumul din faţă sau pe drumuri care se intersectează sau care oferă alte informaţii relevante pentru utilizatorul drumului.

La lucrările rutiere se foloseşte un tip unic de semne de avertizare: cele mai multe sunt în formă de romb cu legendă neagră pe fond galben. Semnele de avertizare şi plăcuţele suplimentare pentru utilizare la lucrările rutiere sunt prezentate în Anexa 1 a Normelor metodologice [9]; nu se vor utiliza alte semne de avertizare, cu excepţia cazului în care sunt susţinute de o decizie ulterioară. Semnele de reglementare utilizate la lucrările rutiere sunt aceleaşi cu cele utilizate în altă parte.

Semnele de direcţie utilizate la lucrările rutiere trebuie să fie similare ca aspect cu semnele de direcţie utilizate în rest şi trebuie să aibă aceleaşi culori de fundal precum cele necesare într-o situaţie permanentă, cu excepţia indicatoarelor de rută de deviere.

Semnele de informare utilizate la lucrările rutiere trebuie să fie similare cu semnele de informare utilizate în altă parte, dar trebuie să aibă un fundal portocaliu.

Siglele, numele companiilor şi alte mărci comerciale sau reclame nu vor fi afişate pe partea din faţă a semnelor de trafic de reglementare, de avertizare, de lucrări rutiere sau de informaţii.

Dispozitivele de delimitare, cum ar fi conurile, cilindrii, barierele uşoare şi butonii reflectorizanţi de drum, ar trebui să fie fabricate dintr-un material care poate fi lovit fără a provoca deteriorarea vehiculului care le loveşte şi care îşi poate reveni la forma iniţială după impact. Conurile ar trebui să fie suficient de stabile pentru a rămâne în poziţie verticală în exploatare şi să aibă o bază care să împiedice rostogolirea conului dacă este răsturnat. Cerinţele privind stabilitatea, rezistenţa la impact şi comportarea la temperaturi scăzute ale conurilor şi cilindrilor sunt stabilite prin EN 13422 [14].

Delimitatoarele de tip cilindru ar trebui să fie proiectate astfel încât să le permită să fie fixate la butonii de şosea existenţi sau fixate cu şuruburi pe suprafaţa drumului. Cilindrii pot fi folosiţi pentru a separa traficul opus. Deoarece au o vizibilitate mai mică decât alte dispozitive, ar trebui să fie utilizate numai în situaţii în care spaţiul este restricţionat.

Materialul retroreflectorizant utilizat pe dispozitivele de delimitare ar trebui să fie conform şi să aibă o suprafaţă exterioară netedă, etanşă, care să afişeze aproximativ aceeaşi culoare ziua şi noaptea. Dispozitivele luminoase de avertizare utilizate la semnalizarea lucrărilor trebuie să respecte cerinţele vizuale, structurale şi de funcţionare din EN 12352 [15].

3.1. Caracteristicile indicatoarelor rutiere şi ale mijloacelor auxiliare de semnalizare a lucrărilor

Indicatoarele rutiere sunt clasificate în funcţie de culoare şi dimensiuni [10]. Indicatoarele utilizate la semnalizarea rutieră temporară trebuie să fie solid montate pe suporţi şi să aibă stabilitate. Suporţii pot fi alcătuiţi din stâlpi cu secţiune circulară sau de altă formă ori din dispozitive mobile.

Indicatoarele specifice semnalizării rutiere temporare sunt realizate pe fond galben la noi în ţară [9], [10], în timp ce pe plan internaţional în mod predominant acestea sunt realizate cu fond portocaliu, cu următoarele excepţii: indicatoarele de interzicere a opririi şi staţionării, indicatoarele de obligare, indicatoarele de orientare şi informare: drum fără ieşire, trecere pentru pietoni, sens unic şi

indicatorul de reglementare a priorității, *Prioritate față de circulația din sens invers*.

Mijloacele auxiliare de semnalizare a lucrărilor sunt realizate în combinația galben-roșu, cu excepția parapetului din material plastic, a paletei și a fanionului. Este interzis să se figureze pe indicator sau pe suportul său orice înscris sau imagine care nu se referă strict la semnificația indicatorului. Formatele indicatoarelor se aleg în funcție de categoria drumului [10], [16].

3.2. Instalarea semnalizării rutiere temporare

Ca regulă generală, indicatoarele se instalează pe partea dreaptă a sensului de mers căruia i se adresează și numai în cazuri speciale se repetă pe partea stângă, astfel încât să se asigure o bună vizibilitate a acestora.

Din punct de vedere al amplasării, semnalizarea rutieră temporară cuprinde [9]:

- Semnalizarea premergătoare lucrărilor – instalată înainte de zona lucrărilor în sensul de mers;
- Semnalizarea de poziționare a lucrărilor (bariere, balize, conuri de dirijare);
- Semnalizarea de terminare a sectorului restricționat – instalată după sfârșitul sectorului de drum ocupat de lucrări.

Distanțele de amplasare diferă semnificativ între țări. Pe autostrăzi, semnalizarea de avertizare începe, de regulă, la 2–3 km înaintea lucrărilor, dar intervalul dintre indicatoarele succesive variază de la circa 500 m în Flandra la circa 1 500 m, în medie, în celelalte țări analizate, iar distanța laterală de siguranță variază între 0,5 m (Flandra, Germania), 1,2 m (Marea Britanie, Irlanda) și 3 m (Norvegia) [6]. Proiectul ASAP a arătat că majoritatea măsurilor de management al vitezei au, luate izolat, o eficiență limitată, motiv pentru care sunt utilizate combinat, și a recomandat reducerea limitelor de viteză temporare în trepte de circa 20 km/h [6]. Aceste diferențe justifică definirea, în sistemul propus, a poziției proiectate a fiecărui element pe baza schemei aprobate, nu a unor distanțe-tip.

În cazul devierii circulației, semnalizarea va începe cu instalarea indicatoarelor care jalonează traseul de deviere și apoi se montează indicatoarele de interzicere la capetele sectorului aferent lucrărilor.

Semnalizarea rutieră temporară trebuie întreținută în mod regulat, iar toate elementele defecte trebuie înlocuite după cum este necesar. Trebuie adoptate următoarele proceduri:

1. Să se efectueze inspecții și întreținere regulate ale semnalizării rutiere temporare pentru a se asigura că măsurile au fost implementate conform proiectului, că toate semnele, conurile, barierele etc. sunt încă la locul lor și în stare bună și că măsurile vor funcționa satisfăcător. Orice defecțiune trebuie remediată fără întârziere. Este o bună practică păstrarea înregistrărilor acestor inspecții; codul de bune practici britanic recomandă, de asemenea, verificarea continuă a prezenței indicatoarelor și barierelor pe durata lucrului [17].

2. Datorită naturii lucrărilor de construcție, se pot genera praf și noroi și, prin urmare, este necesară curățarea regulată a conurilor, indicatoarelor, reflectoarelor și suprafețelor drumurilor. Reflectoarele de pe barierele temporare de siguranță trebuie curățate. De asemenea, semnele și conurile pot fi răsturnate sau deplasate și trebuie verificate în mod regulat și readuse pe poziția inițială.

În practica actuală, aceste verificări sunt periodice și manuale, iar între două inspecții starea semnalizării nu este cunoscută. Sistemul propus în capitolul 4 urmărește tocmai acoperirea acestui interval, prin detectarea automată a deplasării, răsturnării sau dispariției elementelor și prin înregistrarea datată a stării semnalizării.

3.3. Închideri de drumuri și devieri

Atunci când este necesară o închidere, ar trebui prevăzută o rută de deviere adecvată tipurilor și volumelor de trafic. Dacă se construiește un drum temporar, ar trebui să se ia în considerare posibila prezență a utilităților care ar putea necesita relocări, protecție sau deviere. Restricțiile de înălțime ar trebui să fie clar semnalizate și protejate.

Pentru o rută de deviere care utilizează rețeaua de drumuri existentă, trebuie luate în considerare următoarele recomandări atunci când se alege o rută alternativă:

1. Caracteristicile drumurilor de pe traseul de deviere trebuie să fie similare cu cele ale drumului care urmează să fie închis. Dacă acest lucru nu este realizabil, atunci ar putea fi adecvată utilizarea unei devieri pentru un singur sens de circulație sau a două devieri separate pentru traficul din fiecare sens.

2. Este necesară cunoașterea volumului de trafic şi a tipurilor de vehicule care utilizează deviația. Ar trebui să se ia în considerare configurația intersecțiilor şi lățimile disponibile ale benzilor pentru autobuze şi autovehicule grele.

3. Trebuie folosit cel mai scurt traseu adecvat posibil.

Pentru accesul în amplasamentul lucrării sunt necesare puncte de acces clar definite. Accesul către şi dinspre zona de lucrări ar trebui stabilit în faza de proiectare, luând în considerare: spațiul necesar pentru decelerare şi accelerare, conflictele cu alte mişcări, amplasamentul, lățimea şi semnalizarea.

Vehiculele trebuie să intre pe un acces de lucrări numai pe sensul de circulație. Vehiculelor nu li se permite să se oprească pe o bandă activă şi să se întoarcă într-un acces la lucrări. Pentru ca vehiculele implicate în desfăşurarea lucrărilor să aibă acces la şantier, poate fi necesar ca barierele şi conurile să fie îndepărtate. Cu excepția cazului în care aceste conuri şi bariere sunt puse înapoi pe poziții imediat, alte vehicule pot intra din greşeală în şantier.

Intrările trebuie să fie lipsite de orice obstacol sau vehicule în orice moment, pentru a se asigura că vehiculele care intră nu trebuie să încetinească sau să se oprească parțial la intrare.

3.4. Protecția personalului

Personalul implicat în lucrările de drumuri trebuie să fie echipat astfel încât să iasă în evidență față de mediul înconjurător şi să poată fi văzut cu uşurință de utilizatorii drumului, precum şi de conducătorii vehiculelor care circulă în şantier. Echipamentele de protecție-avertizare folosite trebuie să fie de culoare galben-portocaliu, cu elemente retroreflectorizante pe timp de noapte [9]. Pentru o bună percepție, culoarea trebuie să fie fluorescentă.

În situațiile cu vizibilitate redusă sau atunci când execuția lucrărilor poate prezenta un pericol pentru desfăşurarea traficului, supervizorii de şantier trebuie să folosească piloți de dirijare a traficului.

Piloții de trafic trebuie să fie echipați cu semne şi echipamente de protecție şi trebuie să fie vizibili pentru şoferii din trafic. În zonele de curbă şi în zonele de drum cu vizibilitate redusă, piloții trebuie să fie echipați cu stații radio mobile.

Este interzis personalului să staționeze pe carosabil sau în afara zonei de lucru. Circulația personalului pe drumul public trebuie să se desfăşoare pe partea stângă a drumului sau pe acostamentul drumului. Înainte de a traversa drumul, personalul trebuie să se asigure de lipsa traficului din ambele direcții de mers.

4. STUDIU DE CAZ PRIVIND SPORIREA SIGURANȚEI ÎN TIMPUL EXECUȚIEI LUCRĂRILOR RUTIERE

Pentru a închide sau a institui restricţii de circulaţie în vederea executării lucrărilor de construcţii de drumuri noi, modernizări, reabilitări şi de sporire a capacităţii de circulaţie, antreprenorul are obligaţia să folosească semne de circulaţie, semnale luminoase, marcaje şi alte echipamente pentru a ajusta, avertiza şi dirija participanţii la trafic prin sau în jurul lucrărilor.

Din păcate, antreprenorul nu realizează întotdeauna aceste semnalizări temporare în conformitate cu Normele metodologice [9] sau, uneori, nu semnalizează deloc.

4.1. Monitorizarea permanentă a semnalizării rutiere temporare

Pentru o creştere semnificativă a siguranţei generale în timpul execuţiei lucrărilor ar trebui să existe o bază de date a zonelor de lucru la nivel naţional, la care să fie conectate toate şantierele de construcţii de drumuri noi, întreţinere, modernizare a drumurilor şi de sporire a capacităţii de circulaţie, precum şi cele de extindere, reparaţii şi întreţinere a diverselor utilităţi. Un astfel de program ar fi un exemplu al modului în care organizaţiile din sectorul public şi cele din sectorul privat pot colabora eficient în beneficiul societăţii.

Prin ataşarea unui dispozitiv de monitorizare pe fiecare tip de element al semnalizării rutiere în timpul execuţiei, capabil să transmită în timp real poziţia şi starea elementului (de exemplu, mişcarea sau înclinarea), precum şi codificarea categoriei din care acesta face parte, va putea exista o corelare atât în plan, cât şi în timp. Se va putea verifica exact momentul în care elementul a fost instalat pe poziţie şi dacă este amplasat corect.

După verificarea poziţiei exacte a întregii semnalizări de către o persoană autorizată, sistemul poate fi activat şi va fi disponibil în baza de date. În cazul în care, după activarea acestuia, este înregistrată o deplasare sau o dispariţie a oricărui semnal, responsabilul de şantier din partea antreprenorului, dar şi responsabilii din sectorul public vor fi alertaţi şi trebuie să intervină imediat cu scopul de a remedia problema pentru evitarea unui posibil accident.

Această bază de date poate să acumuleze toate informaţiile provenite din zona de lucru într-un singur loc, disponibil atât organizaţiilor publice, cât şi tuturor participanţilor la trafic prin includerea în aplicaţiile de navigare precum Google Maps sau Waze – de exemplu, prin programul gratuit de schimb de date

Waze for Cities, care preia închideri de drumuri planificate şi în timp real [18] –, precum şi vehiculelor conectate la un sistem de informare a traficului şi chiar vehiculelor autonome. Rezultă o singură sursă de informaţii de calitate, actualizate în timp util, despre zona de lucru, disponibilă oriunde şi oricând este nevoie.

Obiectivul este de a face călătoriile pe drumurile publice mai sigure şi mai eficiente prin accesul omniprezent la datele despre activitatea din zona de lucru, astfel încât şoferii să fie informaţi din timp şi să circule mai în siguranţă.

Un exemplu de posibilă variantă de dispozitive pentru monitorizare este „Eye Beacon” [19]:



Figura 1. Variantă de dispozitive pentru monitorizare – „Eye Beacon” [19]

Specificaţii tehnice (EYE BEACON, model BTSID1, conform documentaţiei producătorului [19]): dimensiuni 56,6 mm × 38 mm × 13 mm; masă de circa 18–19 g; grad de protecţie IP67; temperatură de funcţionare între −20 °C şi +60 °C; rază de emisie Bluetooth de până la 80 m; baterie nereîncărcabilă CR2450, cu durată de viaţă estimată între circa 4 şi 10 ani, în funcţie de intervalul de emisie (3–10 s). Varianta EYE SENSOR (BTSMP1) include, în plus, un accelerometru care detectează mişcarea şi înclinarea obiectului [19], funcţie utilă pentru detectarea răsturnării elementelor de semnalizare.

Cum funcţionează: fiecare dispozitiv emite periodic un semnal Bluetooth cu identificator unic, iar un gateway (de exemplu, un tracker GNSS cu modul Bluetooth sau un smartphone) recepţionează semnalele, identifică dispozitivele şi

estimează distanța până la ele pe baza puterii semnalului recepționat. Gateway-ul transmite apoi aceste date, împreună cu propria poziție, către un server pentru analiză. În consecință, fiecare element cu un dispozitiv atașat poate fi urmărit în timp real prin orice dispozitiv inteligent cu conexiune la internet. Dispozitivele pot fi fixate cu șuruburi sau cu bandă adezivă.

4.2. Experiențe internaționale și standarde de date

În Statele Unite, specificația Work Zone Data Exchange (WZDx) permite administratorilor de infrastructură să publice date armonizate despre zonele de lucru pentru utilizare de către terți, inclusiv de către sistemele de conducere automată. Versiunea 4.2, publicată în februarie 2023, este în curs de transformare într-un standard formal, iar începând cu versiunea 4.0 specificația permite și schimbul de date provenite de la dispozitivele „inteligente” din zona de lucru [20].

Cel mai apropiat exemplu de aplicare a ideii propuse în această lucrare este cel al Departamentului de Transporturi din Iowa, care impune utilizarea panourilor cu săgeată conectate: un kit hardware-software transformă panourile existente în dispozitive care transmit poziția GPS, sensul săgeții și starea (desfășurat sau strâns) către sistemul de management al traficului, de unde datele sunt publicate în fluxul WZDx; începând cu 2022, cerința a fost extinsă la toate proiectele de pe drumurile de stat și locale, iar panourile conectate permit definirea mai precisă a începutului zonei de lucru [21]. Potrivit asociației americane a industriei de siguranță rutieră, pe drumuri se aflau peste 3 000 de astfel de unități, costul suplimentar de închiriere fiind de circa 1,85 USD pe zi pentru fiecare unitate [22].

În Uniunea Europeană, Regulamentul delegat (UE) nr. 886/2013 include „lucrările rutiere de scurtă durată” printre evenimentele pentru care trebuie furnizate gratuit informații minime legate de siguranța rutieră [23]. Regulamentul delegat (UE) 2022/670 obligă autoritățile rutiere și operatorii infrastructurii să furnizeze, prin Punctul Național de Acces și în format standardizat, date privind închiderile de drumuri, închiderile de benzi și lucrările rutiere și să le actualizeze imediat ce starea lor se modifică [24]; obligațiile se aplică rețelei TEN-T și autostrăzilor de la 1 ianuarie 2025 și întregii rețele rutiere deschise traficului motorizat de la 1 ianuarie 2028 [25].

Schimbul acestor date se realizează pe baza standardului DATEX II: partea 3 a seriei EN 16157 definește publicarea situațiilor de trafic [26], iar profilul

recomandat pentru lucrări rutiere distinge lucrările planificate de cele active și descrie benzile afectate [27]. În paralel, strategia europeană privind sistemele de transport inteligente cooperative include serviciul de avertizare privind lucrările rutiere printre serviciile pregătite pentru implementare pe scară largă [28].

Pentru implementare, ghidul FHWA privind sistemele ITS pentru zonele de lucru recomandă o abordare de inginerie de sistem în șase etape: evaluarea nevoilor, dezvoltarea conceptului și analiza fezabilității, proiectarea detaliată, achiziția, implementarea, respectiv operarea, întreținerea și evaluarea [29]. Un studiu realizat pentru Departamentul de Transporturi din Carolina de Nord a dezvoltat, pe platforme Android, prototipuri cu cost redus pentru detectarea intruziunilor în zona de lucru și pentru avertizarea privind formarea cozilor [30].

4.3. Arhitectura sistemului propus

Pe baza acestor experiențe, sistemul propus este organizat pe patru niveluri (Figura 2, Tabelul 1): dispozitivele atașate elementelor de semnalizare, comunicația, platforma GIS [31] și utilizatorii.

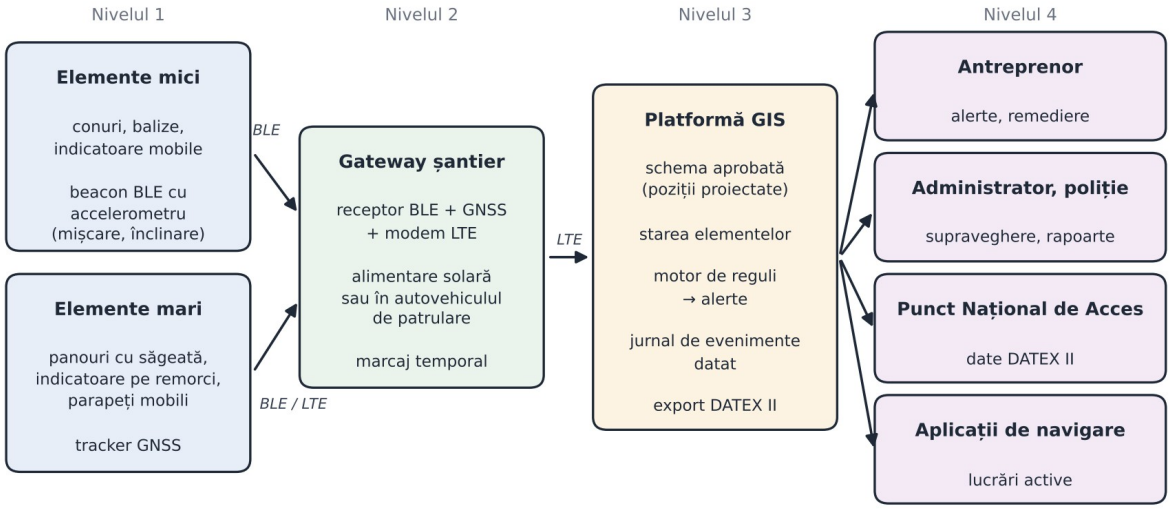


Figura 2. Arhitectura propusă a sistemului de monitorizare a semnalizării rutiere temporare

Tabelul 1. Nivelurile sistemului de monitorizare propus

Nivel	Componente	Funcţii	Observaţii practice
1. Dispozitive pe elemente	Beacon BLE cu accelerometru pe conuri, balize şi indicatoare mobile; tracker GNSS pe panouri cu săgeată, indicatoare pe remorci şi parapeți mobili	Identificare unică; detectarea mişcării şi a înclinării; poziție (pentru elementele cu GNSS); nivelul bateriei	Fixarea nu trebuie să afecteze retroreflexia şi stabilitatea elementului [14]
2. Comunicație	Gateway pe șantier (alimentat solar) sau în autovehiculul de patrulare al antreprenorului; rețea mobilă	Recepția semnalelor BLE, marcarea temporală, transmiterea la server	Acoperirea gateway-ului se verifică pe toată lungimea schemei de semnalizare
3. Platformă GIS	Bază de date spațială, schema aprobată digitizată, motor de reguli	Compararea stării reale cu schema aprobată, generarea alertelor, jurnal de evenimente	Jurnalul datat poate susține constatările privind existența şi calitatea semnalizării [8]
4. Utilizatori şi interfețe	Antreprenor, administrator, poliție rutieră, Punctul Național de Acces, aplicații de navigare	Alerte, rapoarte, publicarea lucrărilor active (DATEX II [26])	Publicarea se face numai după validarea schemei de către persoana autorizată

O limitare practică importantă este precizia poziționării. Receptoarele GNSS din telefoanele inteligente au, în mod obişnuit, o precizie de circa 4,9 m sub cer deschis, care se degradează în apropierea clădirilor, podurilor şi arborilor [32], iar estimarea distanței pe baza puterii semnalului Bluetooth este afectată de reflexii şi obstacole [33]. De aceea, pentru conuri şi balize, sistemul nu trebuie să se bazeze pe coordonate absolute, ci pe evenimente – prezența sau absența semnalului, mişcarea sau înclinarea detectate de accelerometru [19] –, raportate la poziția validată la activare. Poziția GNSS se utilizează pentru elementele mari, cum sunt panourile cu săgeată, unde serveşte la publicarea începutului şi sfârşitului zonei de lucru, aşa cum se procedează în Iowa [21].

4.4. Modelul de date şi regulile de alertă

Fiecare element monitorizat este descris printr-un set minim de atribute (Tabelul 2), care leagă dispozitivul fizic de poziția proiectată din schema aprobată

și de categoria de semnalizare definită în Normele metodologice: premergătoare, de poziționare sau de terminare [9].

Tabelul 2. Atributele minime ale unui element de semnalizare monitorizat

Atribut	Descriere	Sursa sau observații
ID element	Identificatorul unic al elementului în schema de semnalizare	Atribuit la digitizarea schemei
ID dispozitiv	Identificatorul beacon-ului sau al trackerului atașat	Identificator Bluetooth/GNSS [19]
Tip element	Indicator, con, baliză, panou cu săgeată, parapet mobil, lampă	Codificare conform SR 1848-2 [10]
Categorie de semnalizare	Premergătoare, de poziționare sau de terminare	Normele metodologice [9]
Poziție proiectată	Coordonatele din schema vizată „spre neschimbare”	Schema aprobată [9]
Autorizație	Numărul aprobării și perioada aprobată	Aprobarea administratorului și acordul poliției
Stare	Instalat, activ, în alertă, dezafectat	Actualizată de motorul de reguli
Marcaje temporale	Instalare, validare, ultima comunicare, dezafectare	Jurnal de evenimente
Nivelul bateriei	Tensiunea și semnalizarea bateriei descărcate	Documentația dispozitivului [19]

Regulile de alertă propuse sunt sintetizate în Tabelul 3. Pragurile numerice (de exemplu, unghiul de înclinare sau intervalul maxim fără comunicare) nu sunt impuse de reglementări și trebuie calibrate în etapa-pilot, în funcție de intervalul de emisie al dispozitivelor și de acoperirea gateway-ului.

Tabelul 3. Reguli de alertă propuse

Eveniment	Mod de detectare	Destinatari	Acțiune
Element deplasat	Mișcare detectată după activare; pentru elementele cu GNSS, abatere față de poziția validată	Responsabilul antreprenorului	Verificare și repoziționare; închiderea alertei cu fotografie
Element răsturnat	Înclinare peste pragul calibrat	Responsabilul antreprenorului	Readucerea elementului în poziție
Element dispărut sau fără comunicare	Lipsa semnalului peste intervalul calibrat	Antreprenor; administrator, dacă alerta nu se închide	Inspecție la fața locului; înlocuirea elementului

Eveniment	Mod de detectare	Destinatari	Acțiune
Semnalizare activă după perioada aprobată	Stare activă după data de sfârșit a aprobării	Administrator, poliție	Dezafectare sau prelungirea aprobării [8]
Baterie descărcată	Tensiune sub pragul de alertă	Responsabilul antreprenorului	Înlocuirea dispozitivului
Schimbarea stării zonei de lucru	Activare, modificare de fază, dezafectare	Punctul Național de Acces, aplicații de navigare	Actualizarea automată a datelor publicate [24]

4.5. Fluxul de lucru propus

Fluxul de lucru propus (Tabelul 4) urmărește etapele prevăzute de Normele metodologice [9] și de Codul rutier modificat [8], adăugând la fiecare etapă rezultatul înregistrat în sistem.

Tabelul 4. Fluxul de lucru propus pe durata unei lucrări

Etapă	Activitate	Responsabil	Rezultat în sistem
1. Aprobare	Obținerea aprobării administratorului și a acordului poliției; viza schemei „spre neschimbare”	Antreprenor, administrator, poliție	Schema digitizată în GIS, cu pozițiile proiectate
2. Instalare	Montarea semnalizării și asocierea dispozitivelor cu elementele din schemă	Antreprenor	Elemente în starea „instalat”
3. Validare și activare	Verificarea la fața locului, prin comparație cu schema aprobată	Persoana autorizată	Elemente „active”; zona de lucru publicată
4. Monitorizare	Tratarea alertelor; inspecții periodice înregistrate	Antreprenor; administrator și poliție (supraveghere)	Jurnal de evenimente datat
5. Schimbarea fazelor	Modificarea schemei la trecerea între fazele lucrării	Antreprenor, cu aprobare	Versiune nouă a schemei
6. Dezafectare	Înlăturarea semnalizării temporare; proces-verbal de recepție	Antreprenor, administrator, poliție	Elemente „dezafectate”; lucrare închisă în datele publicate

4.6. Propunere de aplicare-pilot şi indicatori

Pentru validare, se propune o aplicare-pilot pe un şantier cu restricţie de circulaţie de durată (de exemplu, închiderea unei benzi cu circulaţie alternativă), urmând etapele recomandate de ghidul FHWA: evaluarea nevoilor, conceptul de operare, proiectarea detaliată, achiziţia, implementarea şi evaluarea [29]. Pe durata pilotului, inspecţiile manuale se menţin, astfel încât rezultatele sistemului să poată fi comparate cu constatările din teren. Indicatorii propuşi sunt prezentaţi în Tabelul 5.

Tabelul 5. Indicatori propuşi pentru evaluarea aplicării-pilot

Indicator	Definiţie	Utilitate
Conformitate în timp	Procentul din durata execuţiei în care toate elementele active sunt conforme cu schema	Măsura principală a eficienţei
Timp de remediere	Durata medie între generarea alertei şi închiderea ei	Evaluarea reacţiei antreprenorului
Rata alertelor	Numărul de alerte la 1 000 de element-zile, pe tipuri	Identificarea punctelor slabe ale schemei
Alerte false	Proporţia alertelor neconfirmate la verificare	Calibrarea pragurilor
Concordanţa cu inspecţiile	Proporţia neconformităţilor constatate la inspecţie care fuseseră semnalate de sistem	Validarea sistemului
Întârzierea publicării	Intervalul dintre schimbarea stării zonei de lucru şi apariţia ei în datele publicate	Cerinţa de actualizare în timp real [24]
Incidente şi „near miss”	Evenimentele raportate în zona de lucru	Completarea datelor lipsă semnalate de BRoWSER [6]

Printre limitările care trebuie analizate în pilot se numără costul dispozitivelor şi al gateway-urilor, riscul de furt sau de deteriorare, autonomia bateriilor la temperaturi scăzute (domeniul de funcţionare declarat pentru dispozitivul analizat începe de la −20 °C [19]), acoperirea reţelei mobile, securitatea datelor şi valoarea juridică a jurnalului de evenimente. Experienţa din Iowa, unde panourile conectate au fost introduse prin cerinţe obligatorii pentru proiecte [21], sugerează că includerea monitorizării în caietele de sarcini ar fi calea cea mai directă de generalizare.

5. CONCLUZII

În această lucrare este prezentată o metodă de creștere a siguranței generale în apropierea zonelor de lucrări rutiere prin monitorizarea permanentă a semnalizării temporare. Sunt descrise caracteristicile, principiile și modalitățile realizării închiderii sau instituirii restricțiilor de circulație în vederea executării de lucrări în zona drumurilor, precum și arhitectura, modelul de date, regulile de alertă și fluxul de lucru ale sistemului propus.

Principalul obiectiv trebuie să fie întotdeauna maximizarea siguranței atât a personalului angajat în lucrare, cât și a tuturor participanților la trafic. Obiectivul secundar este menținerea fluidității traficului cât mai bine posibil. Este vital ca evaluările riscurilor să fie efectuate în toate etapele dezvoltării proiectului, ținând cont de potențialele pericole pentru forța de muncă și public. Semnele de circulație clare și eficiente sunt esențiale la lucrările rutiere pentru funcționarea eficientă a rețelei rutiere.

Măsurile propuse pot avea un impact real asupra performanței în materie de siguranță pe drumuri și pot contribui la salvarea de vieți. Siguranța rutieră este o responsabilitate comună, care se poate obține doar cu implicarea fiecăruia, atât din postura de utilizator al drumului, cât și din cea de autoritate de reglementare și aplicare a legislației.

Evoluția tehnologică din ultimii ani permite utilizarea unor aplicații software care pot ajuta administratorii drumurilor și antreprenorii să creeze planuri de semnalizare, să solicite aprobări și să mențină conformitatea. Digitalizarea acestor procese elimină o parte din barierele care apar în practică, astfel încât zonele de lucru să fie mai bine coordonate între părțile implicate, în concordanță cu cele mai bune practici de siguranță și cu o vizibilitate îmbunătățită a restricțiilor pentru șoferi, ceea ce contribuie la reducerea riscului pentru cei aflați la fața locului.

Din punct de vedere practic, lucrarea formulează următoarele recomandări: (1) digitizarea schemelor de semnalizare aprobate și asocierea fiecărui element cu un identificator unic; (2) utilizarea accelerometrului și a evenimentelor de prezență pentru elementele mici și a poziției GNSS pentru elementele mari; (3) introducerea monitorizării în caietele de sarcini, după modelul panourilor cu săgeată conectate [21]; (4) publicarea stării lucrărilor în format DATEX II prin Punctul Național de Acces, în acord cu Regulamentul delegat (UE) 2022/670 [24]; (5) validarea soluției printr-o aplicare-pilot, pe baza indicatorilor propuși.

BIBLIOGRAFIE

[1]. EUROPEAN COMMISSION: *“EU road deaths drop by 3% in 2025 (date preliminare)”*, European Road Safety Charter, Bruxelles, martie **2026**.

[2]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *“Strategia națională privind siguranța rutieră pentru perioada 2022–2030”*, aprobată în mai **2022**.

[3]. A. THEOFILATOS, A. ZIAKOPOULOS, E. PAPADIMITRIOU, G. YANNIS, K. DIAMANDOUROS: *“Meta-analysis of the effect of road work zones on crash occurrence”*, Accident Analysis & Prevention, vol. **108**, pp. **1–8**, **2017**. DOI: 10.1016/j.aap.2017.07.024.

[4]. A.J. KHATTAK, F.M. COUNCIL: *“Effects of work zone presence on injury and non-injury crashes”*, Accident Analysis & Prevention, vol. **34**, nr. 1, pp. **19–29**, **2002**.

[5]. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION: *“Work Zone Facts and Statistics”*, Work Zone Mobility and Safety Program, U.S. Department of Transportation (date FARS 2022), consultat **2026**.

[6]. A. VADEBY, J. WEEKLEY: *“Final Programme Report: ASAP and BRoWSER Projects”*, CEDR Contractor Report 2016-2, Conference of European Directors of Roads, Bruxelles, **2016**.

[7]. EUROPEAN UNION ROAD FEDERATION: *“Towards Safer Work Zones in Europe – Key outcomes from the CEDR–ERF Work Zone Symposium”*, Bruxelles, februarie **2026**.

[8]. *“Legea nr. 51/2024 pentru modificarea și completarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 233 din 19.03.2024.

[9]. *“Ordinul ministrului de interne și al ministrului transporturilor nr. 1.112/411/2000 pentru aprobarea Normelor metodologice privind condițiile de închidere a circulației și de instituire a restricțiilor de circulație în vederea executării de lucrări în zona drumului public și/sau pentru protejarea drumului”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 397 din 24.08.2000.

[10]. SR 1848-2:2011: *“Semnalizare rutieră. Indicatoare și mijloace de semnalizare rutieră. Partea 2: Condiții tehnice”*, ASRO, București, **2011**.

[11]. DEPARTMENT FOR TRANSPORT: *“Traffic Signs Manual, Chapter 8 – Traffic Safety Measures and Signs for Road Works and Temporary Situations, Part 1”*, The Stationery Office, Londra, **2009**.

[12]. DEPARTMENT OF TRANSPORT, TOURISM AND SPORT (AN ROINN IOMPAIR): *“Traffic Signs Manual, Chapter 8 – Temporary Traffic Measures and Signs for Roadworks”*, Dublin, **2019**.

[13]. MINISTRY OF TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE BRITISH COLUMBIA: *“Traffic Management Manual for Work on Roadways”*, Victoria, **2015**.

[14]. EN 13422:2019: *“Vertical road signs – Portable deformable warning devices and delineators – Portable road traffic signs – Cones and cylinders”*, CEN, Bruxelles, **2019**.

[15]. EN 12352:2006: *“Traffic control equipment – Warning and safety light devices”*, CEN, Bruxelles, **2006** (înlocuit de EN 12352:2024).

[16]. E. DIACONU, M. DICU, C. RĂCĂNEL: *“Căi de comunicații rutiere. Principii de proiectare”*, Editura Conspress, București, **2006**.

[17]. DEPARTMENT FOR TRANSPORT: *“Safety at Street Works and Road Works – A Code of Practice”*, The Stationery Office, Londra, **2013**.

[18]. WAZE: *“Waze for Cities – Data Sharing Program”*, prezentarea programului, Google, consultat **2026**.

[19]. TELTONIKA TELEMATICS: *“EYE BEACON (BTSID1) și EYE SENSOR (BTSMP1) – documentație tehnică”*, Teltonika Wiki, https://wiki.teltonika-gps.com, consultat **2026**.

[20]. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION: *“Work Zone Data Exchange (WZDx) Specification”*, versiunea 4.2, Work Zone Data Working Group, februarie **2023**.

[21]. IOWA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION: *“Iowa DOT Hits Bullseye with WZDx and Smart Arrow Boards – WZDx Project Highlight”*, FHWA-HOP-22-022, **2022**.

[22]. AMERICAN TRAFFIC SAFETY SERVICES ASSOCIATION: *“Connected Arrow Boards – material de prezentare”*, ATSSA, **2024**.

[23]. *“Regulamentul delegat (UE) nr. 886/2013 al Comisiei din 15 mai 2013 de completare a Directivei 2010/40/UE în ceea ce privește datele și procedurile pentru furnizarea gratuită, atunci când este posibil, a unui minim universal de informații despre trafic legate de siguranța rutieră pentru utilizatori”*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, **2013**.

[24]. *“Regulamentul delegat (UE) 2022/670 al Comisiei din 2 februarie 2022 de completare a Directivei 2010/40/UE în ceea ce privește furnizarea de servicii de informare în timp real cu privire la trafic la nivelul UE”*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, 25.04.2022.

[25]. MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE: *“Fiche synthétique – Règlement délégué RTTI (UE) 2022/670 et directive STI révisée”*, Paris, consultat **2026**.

[26]. EN 16157-3:2018: *“Intelligent transport systems – DATEX II data exchange specifications for traffic management and information – Part 3: Situation publication”*, CEN, Bruxelles, **2018**.

[27]. DATEX II: *“Recommended Reference Profile RTTI – DRD 5 Roadworks”*, documentație DATEX II, https://docs.datex2.eu, consultat **2026**.

[28]. COMISIA EUROPEANĂ: *“O strategie europeană privind sistemele de transport inteligente cooperative”*, COM(2016) 766 final, Bruxelles, 30.11.2016.

[29]. G. ULLMAN, J. SCHROEDER, D. GOPALAKRISHNA: *“Use of Technology and Data for Effective Work Zone Management: Work Zone ITS Implementation Guide”*, FHWA-HOP-14-008, Federal Highway Administration, Washington, D.C., **2014**.

[30]. E. OZAN: *“Using IoT Technology to Create „Smart Work Zones””*, Report FHWA/NC/2019-24, East Carolina University pentru North Carolina Department of Transportation, **2020**.

[31]. ESRI ROMÂNIA: *“Ce este GIS?”*, https://www.esri.ro/ro-ro/what-is-gis/overview, consultat **2022**.

[32]. GPS.GOV: *“GPS Accuracy”*, National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, Washington, D.C., consultat **2026**.

[33]. F. ZAFARI, A. GKELIAS, K.K. LEUNG: *“A survey of indoor localization systems and technologies”*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. **21**, nr. 3, pp. **2568–2599**, **2019**. DOI: 10.1109/COMST.2019.2911558.

EFECTUL ÎNCORPORĂRII SILICA-AEROGELULUI ASUPRA PERFORMANȚELOR MORTARELOR DE RESTAURARE A CLĂDIRILOR ISTORICE

Meliță Larisa Mădălina, prof.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: larisa.melita@utcb.ro
Nica (Morogan) Margareta Elena, studentă doctorand, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie, Politehnica București, e-mail: mara141184@yahoo.com
Orbeci Cristina, prof.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie, Politehnica București, e-mail: cristina.orbeci@upb.ro
Rău Ileana, prof.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie, Politehnica București, e-mail: ileana.rau@upb.ro

Rezumat

În acest articol este prezentată o cercetare științifică referitoare la dezvoltarea și caracterizarea de mortare inovatoare pe bază de var hidraulic, ciment și silica-aerogel, ce pot fi utilizate la restaurarea clădirilor istorice. Scopul acestei lucrări este de a optimiza raportul dintre performanța termoizolantă, proprietățile mecanice și compatibilitatea mortarelor obținute cu zidăria unei biserici de patrimoniu din secolul al XVIII-lea, situată în sud-estul României, pornind de la analizele microstructurale și spectrale FTIR, efectuate pe cărămizi istorice prelevate din această biserică. Rezultatele experimentale au evidențiat faptul că, odată cu creșterea conținutului de silica-aerogel, are loc o reducere semnificativă a conductivității termice a mortarelor, ceea ce contribuie, implicit, și la îmbunătățirea performanței lor termoizolante. Dar, această îmbunătățire a fost însoțită de o reducere a rezistențelor mecanice la încovoiere și compresiune care nu afectează calitatea acestora. În ansamblu, mortarele studiate pot fi utilizare în cadrul intervențiilor de restaurare a clădirilor istorice orientate și către o creștere a eficienței energetice.

Cuvinte cheie: mortar cu var hidraulic, silica-aerogel, conservare clădiri patrimoniu, materiale de restaurare, reabilitare sustenabilă

Abstract

This study investigates the development and characterization of innovative mortars based on hydraulic lime, cement and silica-aerogel for the restoration and energy-efficient rehabilitation of historic buildings. The mortar compositions were designed considering the microstructural characteristics and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) spectra of historic bricks collected from an eighteenth-century heritage church in south-eastern Romania. The influence of increasing silica-aerogel content on the thermal and mechanical performance

of the mortars was experimentally evaluated. The results showed that silica-aerogel incorporation significantly reduced thermal conductivity, thereby improving the thermal insulation performance of the developed mortars. However, increasing the silica-aerogel content resulted in lower flexural and compressive strengths, revealing a clear trade-off between thermal and mechanical performance. Nevertheless, the investigated mortars achieved a suitable balance between reduced thermal conductivity, mechanical strengths performance and compatibility with historic masonry substrates.

Keywords: hydraulic lime mortar, silica-aerogel, heritage conservation, restoration materials, sustainable rehabilitation.

1. INTRODUCERE

Clădirile istorice din zidărie au fost realizate, în general, cu mortare pe bază de var și cu materiale minerale poroase, care contribuie la transportul natural al umidității. Aplicarea sistemelor de izolare convenționale, precum polistirenul expandat sau vata minerală, poate modifica comportamentul higrotermic al pereților istorici, poate favoriza acumularea umidității și poate compromite autenticitatea arhitecturală. În consecință, materialele termoizolante de natură minerală sunt tot mai des studiate în reabilitarea clădirilor de patrimoniu [1].

Dintre aceste materiale, silica-aerogelul este considerat unul dintre cei mai eficienți izolatori termici datorită structurii sale nanoporoase și porozității foarte ridicate, 90–98%, cea mai mare parte a volumului porilor fiind ocupată de aer, a conductivității termice extrem de reduse ($\lambda \approx 0{,}013-0{,}015 W/(m\cdot K)$ și a permeabilității ridicate la vaporii de apă. Încorporat în mortare, silica-aerogelul permite realizarea unor tencuieli termoizolante ușoare, care îmbunătățesc eficiența energetică, păstrând totodată compatibilitatea cu suporturile tradiționale. Studiile anterioare au demonstrat potențialul acestora de a reduce pierderile de căldură și de a păstra un echilibru higrotermic al structurilor istorice din zidărie [2,3].

Cu toate acestea, informațiile privind utilizarea mortarelor cu silica-aerogel concepute special pentru reabilitarea structurilor istorice din zidărie, afectate de degradări de lungă durată, sunt limitate. În acest context, studiul de față analizează posibilitatea aplicării unui mortar termoizolant, inovator, cu silica-aerogel la reabilitarea termică a pereților și stâlpilor bisericii ortodoxe „Buna Vestire” Vernești II (județul Buzău, România), din secolul al XVIII-lea,

monument istoric de patrimoniu care prezintă degradări cauzate de umiditate şi deteriorări ale faţadei.

Cercetarea îmbină caracterizarea cărămizilor originale ale bisericii cu dezvoltarea şi evaluarea unor tencuieli de restaurare pe bază de silica-aerogel, obţinute în laborator. O atenţie deosebită este acordată performanţelor termice, comportărilor mecanice, caracteristicilor microstructurale şi compatibilităţii materialelor utilizate cu zidăria bisericii. Rezultatele contribuie la dezvoltarea unor soluţii de conservare sustenabile şi eficiente energetic pentru clădirile istorice din zidărie.

2. DIAGNOSTICAREA SITULUI DE PATRIMONIU ŞI PRELEVAREA PROBELOR

Având în vedere degradarea avansată observată la zidăria istorică a bisericii, a fost demarat un program amplu de conservare, pentru păstrarea autenticităţii arhitecturale şi a integrităţii structurale a monumentului. În cadrul evaluării diagnostice preliminare, au fost prelevate cu atenţie probe reprezentative de cărămizi istorice din zone selectate ale bisericii, care au fost caracterizate prin analize de laborator, pentru determinarea compoziţiei mineralogice, a tipului de cărămidă, a liantului şi a texturii materialelor de construcţie originale. Campania de prelevare s-a desfăşurat cu respectarea strictă a reglementărilor naţionale privind intervenţiile asupra clădirilor clasificate ca monumente istorice şi cu aprobarea autorităţilor competente în domeniul *Patrimoniului Cultural*. Pentru a asigura reprezentativitatea investigaţiei şi a reduce la minimum afectarea materialului istoric, probele au fost prelevate din stâlpul de la intrarea în biserică, din pereţii interiori şi din stâlpii exteriori deterioraţi. Codurile de identificare ale probelor şi zonele de prelevare din biserică, însoţite de descrierile corespunzătoare, sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Descrierea probelor analizate

Proba	Zona din biserică	Pictura
S1	Perete interior al bisericii, cu pictură murală	

Proba	Zona din biserică	Pictura
S2	Stâlp interior al bisericii	
S3	Stâlp exterior la intrarea în biserică	

3. CARACTERIZAREA PROBELOR DIN BISERICĂ

3.1. Analiza microstructurală

Analiza microstructurală a fost realizată cu un microscop electronic de scanare cu emisie de câmp (FE-SEM) Hitachi SU8230, cuplat cu spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDS). Probele au fost analizate în starea în care au fost recepționate, fără metalizare sau secționare. Observațiile morfologice au fost făcute în trei zone reprezentative ale fiecărei probe, la măriri cuprinse între ×1000 și ×8000. Caracteristicile microstructurale și mineralogice observate sunt asociate cu o priză lentă, o porozitate ridicată și o permeabilitate sporită la vaporii de apă, caracteristici avantajoase pentru conservarea zidăriilor istorice [4].

Analiza SEM-EDS (Figura 1) a confirmat caracterul nehidraulic al liantului, evidențiind o microstructură eterogenă și poroasă, alcătuită din particule angulare de dimensiuni variate, tipice cărămizilor pe bază de var din carbonat de calciu recristalizat și din material nereacționat. Cristalele de calcit, formate prin carbonatarea hidroxidului de calciu, au fost identificate după morfologia lor caracteristică, romboedrică și în aglomerări. Absența produșilor de hidratare, precum silicații de calciu hidratați (C-S-H) și aluminații de calciu hidratați (C-A-H), susține, de asemenea, încadrarea liantului ca nehidraulic. În ansamblu, microstructura arată că întărirea s-a produs în principal prin carbonatare, iar

dezvoltarea rezistențelor mecanice a rezultat din transformarea $Ca(OH)_2$ în $CaCO_3$ ca urmare a expunerii la CO_2 atmosferic [5].

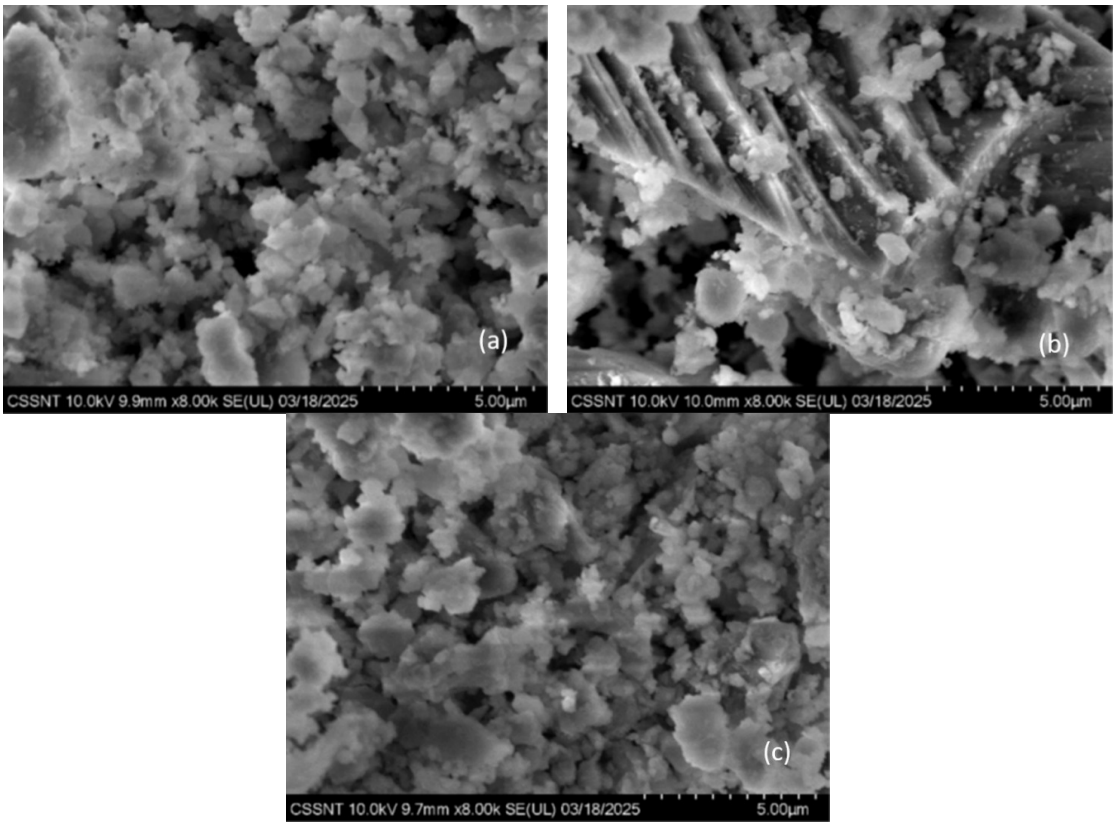


Figura 1. Imagini SEM ale probelor de mortar prelevate:
(a) – S1; (b) – S2; (c) – S3.

3.2. Analiza spectrală

Analiza FTIR a fost efectuată cu un spectrometru PerkinElmer Spectrum 100, echipat cu accesoriu ATR. Spectrele au fost înregistrate în domeniul 4000–550 cm^{-1}, cu o rezoluție de 4 cm^{-1}, folosind patru scanări consecutive pentru fiecare probă. Structura cristalină a probelor a fost investigată prin difracție de raze X (XRD), cu un difractometru Shimadzu XRD 6000 (Shimadzu, Kyoto, Japonia), cu radiație Cu Kα filtrată cu Ni (λ = 1,5406 Å), în domeniul 2θ de 10–60°. Datele au fost colectate cu un pas de 0,2° și o viteză de scanare de 2°/min. Difractogramele obținute au fost analizate pentru identificarea compoziției probelor.

În Figura 2 sunt prezentate analizele FTIR ale probelor S1–S3. Rezultatele au evidențiat benzile caracteristice calcitului, la 1420–875 cm^{-1} și, respectiv, la

712 cm^{-1}, confirmând prezența $CaCO_3$. Absența absorbțiilor asociate grupărilor hidroxil și apei (3400–3600 cm^{-1} și ~1640 cm^{-1}) sugerează lipsa fazelor hidraulice, ceea ce arată că varul aerian este liantul predominant și că principalul mecanism de întărire este carbonatarea [6].

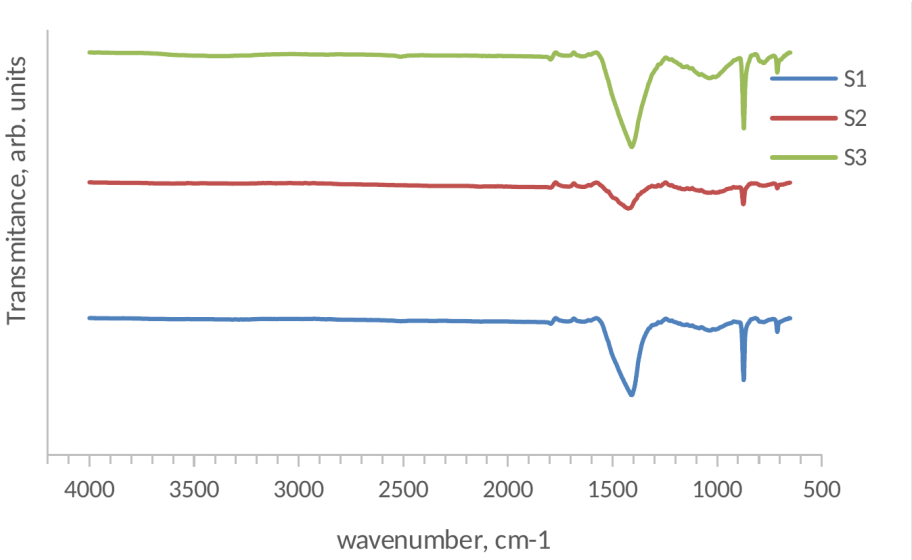


Figura 2. Spectrele FTIR ale probelor de mortar: S1, S2, S3.

4. MATERIALE ȘI METODE

4.1. Materiale

Tencuielile pe bază de ciment și var obținute sunt alcătuite din ciment Z100, un ciment românesc pentru tencuieli, cu rezistența standard de 12,5 MPa la 28 de zile [7], furnizat de Carpatcement HEIDELBERG Group RO; var hidratat pentru construcții Supercalco M, CL80S, conform SR EN 459-1 [8], care necesită mai puțină apă de amestecare, furnizat de Carmeuse Holding RO; nisip conform SR EN 12620+A1 [9], cu dimensiunea maximă a granulei de 4,0 mm, furnizat de Noua Tei Company RO și particule de silica-aerogel P100, cu diametrul granulelor între 0,1 și 4,0 mm, diametrul porilor de 20 nm, porozitate >90% și densitate în vrac de 80–100 kg/m^3 [10], furnizate de CABOT Corporation USA. S-a folosit și apă cu pH între 6,4 și 6,8.

4.2. Proiectarea şi prepararea probelor

Au fost preparate şase amestecuri de mortare de tencuială pe bază de ciment şi var modificate cu silica-aerogel. Amestecul de referinţă, P_0 a fost obţinut cu un raport volumetric nisip/ciment/var de 1:0,22:0,11. Alte cinci amestecuri (P_1–P_5) au fost preparate prin înlocuirea a 40%, 50%, 60%, 70% şi, respectiv, 80% din volumul de nisip al compoziţiei de referinţă, P_0 cu particule de silica-aerogel P100. În aceste compoziţii, particulele de aerogel fac parte din scheletul tencuielii, consolidat de matricea de liant ciment–var. Cantităţile de ciment şi de var au fost menţinute constante în toate amestecurile şi identice cu cele din compoziţia de referinţă [7,8,11]. Pentru a evalua reproductibilitatea compoziţiilor şi repetabilitatea rezultatelor, au fost preparate patru seturi independente din fiecare compoziţie. Cantitatea de apă de amestecare a fost stabilită conform recomandărilor standard privind consistenţa tencuielilor, determinată prin metoda mesei de împrăştiere [12].

Încercări mecanice la încovoiere şi la compresiune au fost efectuate, după 28 de zile de întărire, pe probe prismatice şi jumătăţi de prisme, conform SR EN 1015-11 [13], cu o maşină universală de încercat Hegewald & Peschke.

Conductivitatea termică a fost determinată conform SR EN 1745 [14], prin intermediul unui echipament de laborator pentru studiul transferului termic prin materiale de construcţii şi izolaţii (model H111N). Măsurătorile au fost efectuate pe probe cu vârsta de 28 de zile, la temperatura de 19,5°C.

5. REZULTATE

5.1. Rezistenţele mecanice

Rezistenţele la încovoiere au fost determinată cu ajutorul unei celule de sarcină de 10 kN, iar rezistenţele la compresiune cu ajutorul unei celule de sarcină de 30 kN. Aceleaşi epruvete au fost utilizate pentru ambele încercări mecanice. După efectuarea încercărilor la încovoiere, cele două seturi de jumătăţi rezultate din epruvetele prismatice au fost supuse încercărilor la compresiune, fiind notate $C_{strength1}$ şi $C_{strength2}$.

Odată cu creşterea procentului volumic de silica-aerogel, s-a observat o reducere a rezistenţelor la încovoiere (Figura 3). Compoziţia de referinţă, P_0 a înregistrat cea mai mare valoare a rezistenţei la încovoiere, de 0,855 N/mm², în timp ce compoziţia P_5, cu un conţinut de 80% vol. silica-aerogel, a prezentat cea

mai mică valoare, de 0,117 N/mm². Această reducere poate fi atribuită unei cantități insuficiente de liant, ca urmare a raportului mai ridicat silica-aerogel /liant, care ar conduce la formarea unui volum mare de goluri. De asemenea, este posibil să se fi format o rețea de capilare cu un conținut relativ ridicat de aer. Pentru compoziția P_1, care conține 40% vol. silica-aerogel, rezistența la încovoiere a scăzut la 0,715 N/mm², ceea ce corespunde unei reduceri de aproximativ 16,4% față de compoziția de referință P_0. Această compoziție este cea mai adecvată pentru aplicații practice datorită conținutului mai redus de silica-aerogel, care contribuie la diminuarea costului produsului final, respectiv al mortarului, menținând totodată valori bune ale rezistenței la încovoiere. Rezultatele indică faptul că, la acest conținut de silica-aerogel, mortarul își păstrează într-o proporție relativ mare rezistența sa inițială la încovoiere.

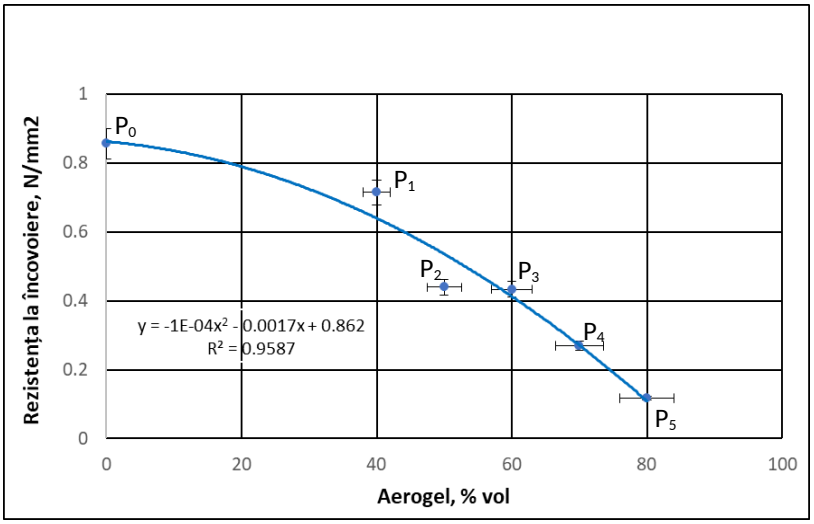


Figura 3. Variația rezistenței la încovoiere a tencuielilor pe bază de ciment și var cu silica-aerogel, în funcție de conținutul de silica-aerogel

În cazul rezistențelor la compresiune, așa cum se observă din Figura 4, rezultatele experimentale evidențiază o diminuare progresivă a acestora odată cu creșterea conținutului de silica-aerogel. Probele de referință, care nu conțin silica-aerogel, au prezentat rezistențe la compresiune de 3,22 N/mm² și, respectiv, de 3,17 N/mm². În schimb, pentru probele cu 80% vol. silica-aerogel au fost obținute valori de numai 0,97 și, respectiv, 1,2 N/mm², ceea ce reprezintă o reducere de aproximativ 62–70% a acestor rezistențe. La un conținut de 40% vol. silica-aerogel, scăderea rezistenței a fost moderată, în timp ce probele cu un conținut de 60–80% vol. silica-aerogel au prezentat o scădere mai mare a rezistențelor. Deși

pentru $C_{strength1}$ s-a constatat o ușoară creștere locală a rezistenței la compresiune pentru 60% și respectiv 70% vol. silica-aerogel, aceasta nu influențează tendința generală de scădere a rezistenței la compresiune odată cu majorarea conținutului de silica-aerogel.

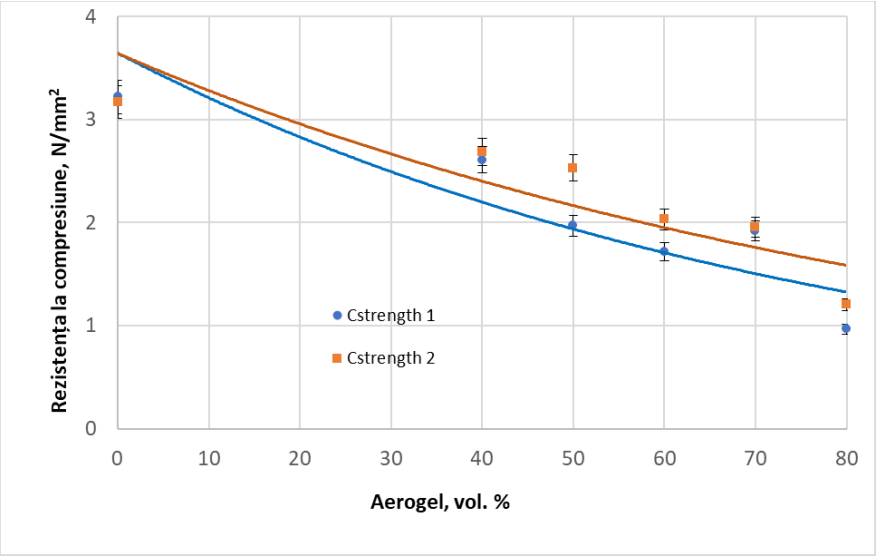


Figura 4. Variația rezistenței la compresiune a tencuielilor pe bază de ciment și var cu silica-aerogel, în funcție de conținutul de silica-aerogel

5.2. Conductivitatea termică

Variația conductivității termice a tencuielilor obținute pe bază de ciment și var cu silica-aerogel este prezentată în Figura 5. Tendința de scădere a acesteia poate fi atribuită structurii foarte poroase și nanoporoase a particulelor de silica-aerogel.

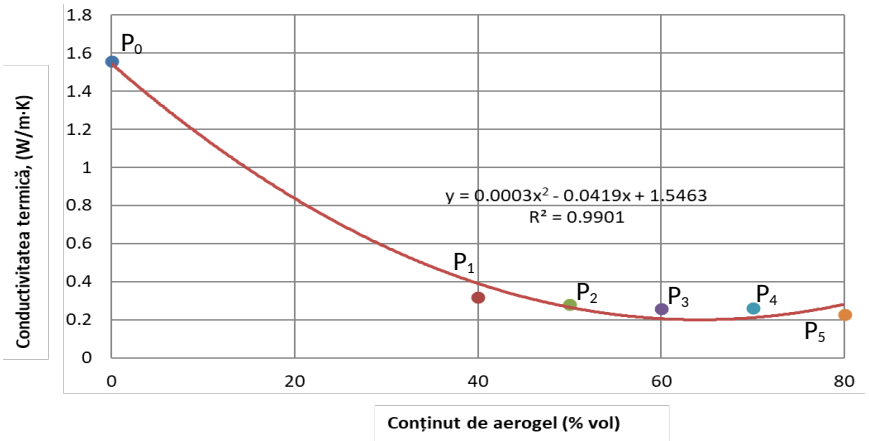


Figura 5. Variației conductivității termice a tencuielilor obținute funcție de conținutul de silica-aerogel

Rezultatele arată o scădere evidentă a conductivității termice odată cu creșterea conținutului de silica-aerogel. Compoziția de referință P_0, fără silica-aerogel, are o conductivitate termică de 1,5586 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, care a scăzut substanțial la 0,3170 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pentru 40% vol. aerogel. Creșterea în continuare a conținutului de silica-aerogel a condus la valori ale conductivității termice de 0,2821 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pentru 50% vol. aerogel, 0,2567 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pentru 60% vol. aerogel și, respectiv, 0,26 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$pentru 70% vol. aerogel. Cea mai mică conductivitate termică, de 0,2287 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, a fost înregistrată la 80% vol. silica-aerogel, ceea ce corespunde unei reduceri totale de aproximativ 85,3% față de compoziția fără silica-aerogel. Deși între 60 și 70% vol. silica-aerogel s-a observat o ușoară creștere a conductivității termice, rezultatele confirmă, în ansamblu, că mărirea conținutului de silica-aerogel îmbunătățește substanțial performanța termoizolantă a tencuielilor. Reduceri suplimentare ale conductivității termice a mortarelor cu silica-aerogel ar putea fi obținute prin încorporarea altor materiale cu conductivitate termică redusă, precum argilele calcinate. Aderența la interfața dintre particulele de aerogel și matricea ciment–var ar putea fi, de asemenea, îmbunătățită cu agenți tensioactivi adecvați. Totuși, proporția de ciment înlocuită cu argilă calcinată trebuie optimizată cu atenție, pentru a evita scăderea performanțelor mecanice ale tencuielilor, mai ales în cazul argilelor bogate în caolinit [15]. O altă abordare constă în combinarea particulelor de silica-aerogel cu alte agregate ușoare termoizolante, precum polistirenul expandat sau vermiculitul [16]. În plus, efectele diferitelor condiții de păstrare și de întărire asupra proprietăților termice și mecanice ale tencuielilor pe bază de ciment și var modificate cu silica-aerogel ar trebui investigate sistematic.

6. CONCLUZII

În această lucrare s-au studiat tencuieli pe bază de ciment și var modificate cu silica-aerogel, dezvoltate pentru restaurarea și reabilitarea termică a clădirilor istorice din zidărie. Caracterizarea probelor prelevate din biserica „Buna Vestire” Vernești II (județul Buzău, România), din secolul al XVIII-lea, a evidențiat o microstructură eterogenă și poroasă a acestora, dominată de calcit. Absența fazelor hidraulice a confirmat că principalul mecanism de întărire a fost carbonatarea unui liant pe bază de var aerian. Aceste caracteristici oferă o bază relevantă pentru evaluarea compatibilității materialelor de restaurare propuse cu zidăria originală.

Încorporarea silica-aerogelului a îmbunătățit substanțial performanța termică a tencuielilor studiate. Conductivitatea termică a scăzut de la 1,5586 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pentru compoziția de referință, P_0 la 0,3170 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pentru 40% vol. silica-aerogel și la 0,2287 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pentru 80% vol. silica-aerogel. Aceste rezultate se datorează structurii foarte poroase și nanoporoase a silica-aerogelului care limitează transferul de căldură prin matricea mortarului.

Scăderea conductivității termice a mortarelor obținute a fost însoțită de o reducere progresivă a performanțelor mecanice. Rezistența la încovoiere a scăzut de la 0,855 N/mm² pentru tencuiala de referință la 0,715 N/mm² pentru 40% vol. silica-aerogel și la 0,117 N/mm² pentru 80% vol. silica-aerogel. Similar, cele două valori ale rezistenței la compresiune au scăzut de la 3,22 N/mm² și 3,17 N/mm² pentru probele de referință la 0,97 N/mm² și, respectiv, 1,20 N/mm² pentruc el mai mare conținut de silica-aerogel de 80% vol. Aceste reduceri pot fi asociate cu creșterea porozității, cu întreruperea continuității matricei liante și cu aderența limitată dintre particulele hidrofobe de aerogel și liantul ciment–var.

Dintre compozițiile studiate (P_1–P_5), tencuiala cu 40% vol. silica-aerogel, P_1 a oferit cel mai favorabil echilibru între proprietățile termice și cele mecanice. La acest grad de înlocuire a nisipului cu silica-aerogel, conductivitatea termică s-a diminuat cu aproximativ 79,7%, în timp ce rezistența la încovoiere a scăzut cu aproximativ 16,4% față de compoziția de referință P_0. Prin urmare, compoziția cu 40% vol. silica-aerogel este cea mai potrivită pentru a fi dezvoltată în continuare ca tencuială termoizolantă de restaurare pentru zidăria istorică.

În ansamblu, rezultatele obținute confirmă potențialul tencuielilor pe bază de ciment și var modificate cu silica-aerogel ca produse minerale pentru îmbunătățirea performanței termice a anvelopelor clădirilor istorice. Totuși, utilizarea lor în practică necesită investigații suplimentare privind compatibilitatea cu suprafețele originale și evaluarea caracteristicilor fizice, chimice și mecanice pe termen lung. Cercetările viitoare vor aborda studii cu privire la permeabilitatea la vaporii de apă, absorbția capilară de apă, aderența, stabilitatea dimensională, cristalizarea sărurilor, rezistența la îngheț–dezgheț și durabilitate în condiții variabile de temperatură și umiditate a mortarelor obținute. De asemenea, trebuie avute în vedere și optimizarea raportului liant/silica-aerogel și îmbunătățirea aderenței la interfață prin aditivi adecvați. Înainte de aplicarea în intervenții de conservare, este necesară validarea prin încercări pe sisteme multistrat și prin aplicații-pilot monitorizate.

BIBLIOGRAFIE

[1]. M. GANOBJAK, W. J. MALFAIT, J. JUST, M. KÄPPELI, F. MANCEBO, S. BRUNNER, J. WERNERY: *“Development and evaluation of highly thermally insulating aerogel glass bricks”*, Journal of Physics: Conference Series, **2023**, 2600 (11), 112015. http://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/11/112015.

[2]. R. BAETENS, B. P. JELLE, A. GUSTAVSEN: *“Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review”*, Energy and Buildings, **2011**, 43(4), 761–769. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778810004329.

[3]. K. GHAZI WAKILI, Th. STAHL, E. HEIDUK, M. SCHUSS, R. VONBANK, U. PONT, C. SUSTR, D. WOLOSIUK, A. MAHDAVI: *“High-Performance Aerogel Containing Plaster for Historic Buildings with Structured Façades”,* Energy Procedia, **2015**, 78, 949–954. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.027

[4]. Z. CHEN, H. LIU, L. XU, W. GE: *“A review of mechanical properties and carbonation behaviour evolution of lime mortar for architectural heritages restoration”*, Minerals and Mineral Materials, **2024**, 3(1), 2–20. https://dx.doi.org/10.20517/mmm.2023.26.

[5]. C. RODRIGUEZ-NAVARRO, T. ILIĆ, E. RUIZ-AGUDO, K. ELERT: *“Carbonation mechanisms and kinetics of lime-based binders*”. Cement and Concrete Research, **2023**, 173, 107301. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107301.

[6]. M. B. TOFFOLO, L. REGEV, S. DUBERNET, Y. LEFRAIS, E. BOARETTO: “*FTIR-Based Crystallinity Assessment of Aragonite–Calcite Mixtures in Archaeological Lime Binders Altered by Diagenesis”*, Minerals, **2019**, 9(2), 121. https://doi.org/10.3390/min9020121.

[7]. SR EN 413-1:2011: *“Ciment pentru zidărie. Partea 1: Compoziție, specificații și criterii de conformitate”* Organismul Național de Standardizare (ASRO), **2011**, https://magazin.asro.ro/Search?q=SR+EN+413-1%3A2011&ics=&l=

[8]. SR EN 459-1:2015: *“Var pentru construcții. Partea 1: Definiții, specificații şi criterii de conformitate”*, Organismul Național de Standardizare (ASRO), **2015**. https://magazin.asro.ro/Search?q=SR+EN+459-1%3A2015&ics=&l=&sp=1

[9]. SR EN 12620+A1:2008: *“Agregate pentru beton”*, Organismul Național de Standardizare (ASRO), **2008**. https://magazin.asro.ro/Search?q=SR+EN+12620%2BA1%3A2008&ics=&l=&sp=1

[10]. Cabot International GmbH, Aerogel Particles P100, available online, https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/particles

[11]. L. MELIȚĂ, R. CALOTĂ, M. AMĂREANU: *“Silica Aerogel-Incorporated Cement and Lime Plasters for Building Insulation: An Experimental Study”*, Buildings, **2024**, 14, 2300. https://doi.org/10.3390/buildings14082300

[12]. SR EN 1015-3:2001/A1:2004: *“Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie. Partea 3: Determinarea consistenței mortarului proaspăt (cu masa de împrăștiere)”*, Organismul Național de Standardizare (ASRO), **2004**. https://magazin.asro.ro/Search?q=EN+1015-3%3A2001%2FA1%3A2004&ics=&l=&sp=1

[13]. SR EN 1015-11:2020 *“Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie. Partea 11: Determinarea rezistențelor la încovoiere și la compresiune a mortarului întărit”*, Organismul Național de Standardizare (ASRO), **2020**, https://magazin.asro.ro/Search?q=SR+EN+1015-11%3A2020+&ics=&l=

[14]. SR EN 1745:2020: *“Zidărie și elemente pentru zidărie. Metode pentru determinarea proprietăților termice”*, Organismul Național de Standardizare (ASRO), **2020**. https://magazin.asro.ro/Search?q=EN+1745%3A2020&ics=&l=&sp=1

[15]. A. ABABNEH, F. MATALKAH, R. AQEL: *“Synthesis of kaolin-based alkali-activated cement: carbon footprint, cost and energy assessment”*, Journal of Materials Research and Technology, **2020**, 9(4), 8367–8378. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.116.

[16]. N. ABBAS, H.R. KHALID, G. BAN, H.T. KIM, H.K. LEE: “*Silica aerogel derived from rice husk: An aggregate replacer for lightweight and thermally insulating cement-based composites”*, Construction and Building Materials, **2019**, 195, 312–322. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.227

ANALIZA SOLUȚIILOR DE REDUCERE A ZGOMOTULUI ȘI VIBRAȚIILOR LA LINIILE DE TRAMVAI DIN MUNICIPIUL BUCUREȘTI

Adrian Miteluț, ing., S.C. Urban Profile Grele S.R.L., e-mail: adrian.mitelut@urbanpg.ro
Adrian Burlacu, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: adrian.burlacu@utcb.ro
George Stoicescu, prof.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: gstoicescu48@gmail.com

Rezumat

Articolul prezintă o analiză aplicată asupra soluțiilor tehnice utilizate pentru reducerea zgomotului și vibrațiilor generate de circulația tramvaielor în mediul urban, cu particularizare pentru rețeaua din Municipiul București. Sunt sintetizate mecanismele principale de producere a zgomotului de rulare, a scârțâitului în curbe și a vibrațiilor transmise prin infrastructură și teren, precum și rolul mentenanței căii și al materialului rulant. Analiza pune accent pe corelarea intervențiilor la sursă, pe calea de transmitere și la receptor, deoarece performanța acustică nu depinde de o singură componentă, ci de ansamblul roată–șină–cale–teren–clădire.

Pe baza documentării tehnice și a unei sinteze a literaturii de specialitate recente, a experienței profesionale, a studiului intern RATB privind determinarea zgomotului produs de tramvaie, a specificației sistemului elastic CAUPLAST și a unui chestionar aplicat unui număr de 122 de respondenți, sunt formulate recomandări pentru proiectarea, execuția și exploatarea liniilor modernizate. Rezultatele indică necesitatea combinării sistemelor elastice, a ungătoarelor de șină, a rectificării periodice și a monitorizării zonelor critice, în special pe tronsoanele cu clădiri apropiate, curbe cu raze reduse și infrastructură rigidă sau degradată.

Cuvinte cheie: tramvai, zgomot urban, vibrații, amortizoare de șină, CAUPLAST, mentenanță.

Abstract

The paper presents an applied analysis of the technical solutions used to reduce the noise and vibration generated by tram traffic in the urban environment, with a focus on the network of the Municipality of Bucharest. The main mechanisms generating rolling noise, curve squeal and vibration transmitted through the infrastructure and the ground are summarised, together with the role of track and rolling stock maintenance. The analysis emphasises the correlation of interventions at the source, along the transmission path and at the

receiver, since acoustic performance does not depend on a single component but on the wheel–rail–track–ground–building system as a whole.

Based on technical documentation and a synthesis of recent literature, professional experience, the internal RATB study on the determination of tram noise, the specification of the CAUPLAST elastic system and a questionnaire answered by 122 respondents, recommendations are formulated for the design, construction and operation of modernised lines. The results show the need to combine elastic systems, rail lubricators, periodic rail grinding and the monitoring of critical areas, especially on sections with nearby buildings, small-radius curves and rigid or degraded infrastructure.

Keywords: tram, urban noise, vibration, rail dampers, CAUPLAST, maintenance.

1. INTRODUCERE

Transportul urban pe șină reprezintă o componentă esențială a mobilității durabile, în special în orașele cu densitate mare a populației și cu cerere ridicată de deplasare pe axe radiale sau semicirculare. Tramvaiul are avantaje evidente față de transportul rutier individual: capacitate mare de transport, emisii locale reduse, consum energetic specific mai mic și posibilitatea organizării unor coridoare dedicate. Totuși, aceste avantaje pot fi diminuate atunci când infrastructura de cale este rigidă, uzată sau insuficient întreținută, deoarece circulația tramvaielor poate deveni o sursă importantă de zgomot și vibrații. Un studiu de caz realizat la Brăila arată, de altfel, că starea necorespunzătoare a elementelor rețelei de tramvai poate deveni o cauză majoră a poluării sonore și vibraționale în vecinătatea clădirilor [1].

În literatura și practica europeană, zgomotul ambiental produs de transport este tratat ca factor de risc pentru sănătate și calitatea vieții. Rapoartele europene privind zgomotul ambiental arată că expunerea populației la zgomotul de transport rămâne una dintre problemele majore ale mediului urban [2]. Potrivit celei mai recente evaluări a Agenției Europene de Mediu, circa 92 de milioane de persoane sunt expuse zgomotului rutier, iar circa 18 milioane zgomotului feroviar, la niveluri care depășesc pragul de 55 dB Lden prevăzut de legislația europeană; expunerea pe termen lung la zgomotul din transporturi este asociată anual cu cel puțin 73 000 de decese premature, circa 49 000 de cazuri noi de boli cardiovasculare, circa 16,9 milioane de persoane cu disconfort ridicat pe termen lung și circa 4,6 milioane de persoane cu tulburări severe ale somnului [3]. Organizația Mondială a Sănătății recomandă reducerea expunerii populației la

zgomotul generat de transportul rutier, feroviar şi aerian, pe baza efectelor documentate asupra somnului, stresului şi sănătăţii cardiovasculare; pentru zgomotul feroviar, recomandarea, de tip „puternic”, este ca nivelurile să fie menţinute sub 54 dB Lden şi sub 44 dB Lnight [4].

Mecanismele prin care zgomotul afectează sănătatea sunt descrise în sinteze de referinţă: pe lângă efectele auditive, expunerea cronică produce efecte non-auditive precum disconfortul, perturbarea somnului, afectarea performanţei cognitive la copii şi creşterea riscului de boli cardiovasculare [5]. Zgomotul nocturn, în special, declanşează reacţii de stres asociate cu o incidenţă mai mare a hipertensiunii arteriale, a infarctului miocardic şi a accidentului vascular cerebral [6].

În cazul tramvaiului, studiile de răspuns comunitar arată că disconfortul nu depinde numai de nivelul echivalent al zgomotului. Combinând o anchetă socială cu un program de măsurători, Miedema şi van den Berg au constatat că disconfortul produs de tramvaie depinde de nivelul echivalent pe 24 de ore, de nivelul nocturn şi de prezenţa scârţâitului şi a zgomotelor de impact [7]. Această constatare justifică atenţia acordată, în continuare, mecanismelor de tip tonal şi impulsiv.

Din punct de vedere normativ, evaluarea şi gestionarea zgomotului ambiant în aglomerările urbane sunt reglementate la nivel european prin Directiva 2002/49/CE [8], ale cărei metode de evaluare a efectelor nocive au fost stabilite prin Directiva (UE) 2020/367 [9]. În România, cadrul este dat de Legea nr. 121/2019 [10], modificată şi completată prin Legea nr. 181/2022 [11]. Legea include explicit, printre sursele cartate în interiorul aglomerărilor, traficul feroviar desfăşurat pe căile de rulare a tramvaielor. Pentru București, hărţile strategice de zgomot în vigoare în 2022 erau realizate pe baza datelor din anul 2016, iar actualizarea contractată de Primăria Municipiului București vizează traficul rutier, traficul feroviar de tip tramvai şi industria [12].

Pentru Municipiul București, tema este relevantă din mai multe motive. Reţeaua de tramvai este extinsă – circa 341 km de cale simplă, potrivit datelor prezentate în [13] – include tronsoane realizate în perioade diferite şi traversează zone urbane cu tipologii foarte variate: străzi înguste cu front construit apropiat, bulevarde largi cu platformă mediană, intersecţii complexe, curbe cu raze reduse, poduri şi zone cu aparate de cale. În paralel, flota este în curs de înnoire, 100 de tramvaie noi fiind deja livrate la sfârşitul anului 2024 [13], ceea ce face relevantă şi compatibilitatea dintre materialul rulant nou şi starea căii. În aceste condiţii,

soluţiile tehnice trebuie adaptate punctual şi nu pot fi generalizate fără analiza amplasamentului.

Scopul articolului este de a sintetiza principalele mecanisme vibro-acustice asociate liniilor de tramvai şi de a propune o abordare integrată pentru reducerea impactului asupra populaţiei şi fondului construit. Articolul valorifică rezultatele unei lucrări de disertaţie axate pe liniile de tramvai din Bucureşti, fiind structurat astfel: mecanisme de generare, metode de analiză, soluţii tehnice, studiu aplicat asupra reţelei locale, interpretarea unui chestionar adresat populaţiei şi recomandări de etapizare a intervenţiilor.

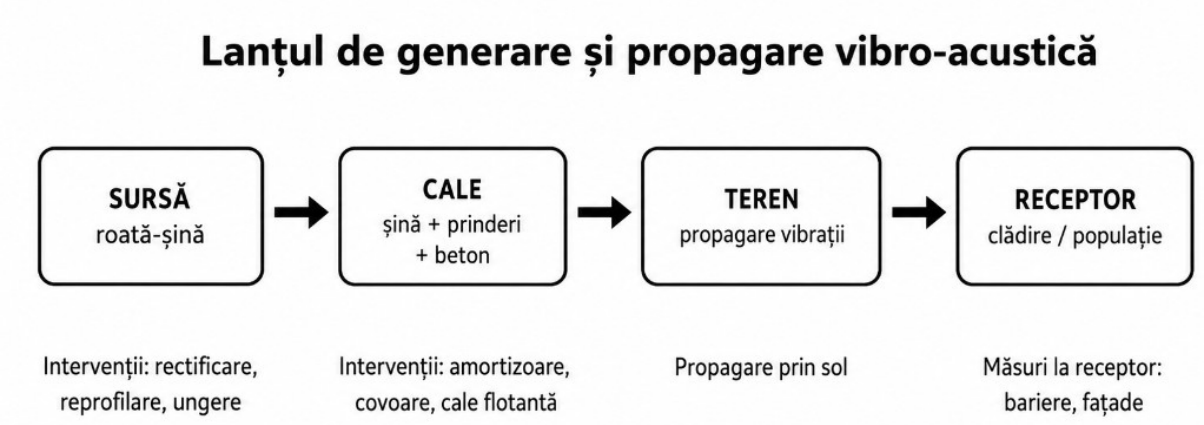


Figura 1. Lanţul de generare şi propagare vibro-acustică şi poziţionarea principalelor categorii de intervenţie. Sursa: prelucrare proprie

2. MECANISME DE PRODUCERE A ZGOMOTULUI ŞI VIBRAŢIILOR

2.1. Zgomotul de rulare

În exploatarea curentă a tramvaielor, zgomotul de rulare este produs în principal la interfaţa dintre roată şi şină. Suprafeţele de contact nu sunt perfect netede, ci prezintă neregularităţi microscopice, denumite rugozităţi. La trecerea roţii peste aceste neregularităţi apar forţe dinamice variabile, care excită vibraţiile roţii, şinei şi structurii căii. Ambele elemente pot radia energie acustică în mediul exterior, iar nivelul perceput depinde de rigiditatea căii, starea suprafeţei de rulare, viteza de circulaţie şi tipul vehiculului. Literatura de specialitate clasifică zgomotul generat la contactul roată–şină în trei categorii: zgomotul de rulare, produs pe aliniament de neregularităţile suprafeţelor şi excitat preponderent vertical; zgomotul de impact, o formă extremă a zgomotului de rulare, produsă la

discontinuitățile roții sau ale șinei; și scârțâitul în curbe, excitat de regulă lateral [14].

Mecanismele de generare a zgomotului feroviar, inclusiv zgomotul de rulare, scârțâitul în curbe și vibrațiile transmise prin teren, sunt descrise amplu în lucrările de specialitate dedicate zgomotului și vibrațiilor feroviare [15]. O observație importantă este că o cale modernizată nu își păstrează performanța acustică dacă materialul rulant circulă cu roți uzate, cu planeități sau cu bandaje reprofilate necorespunzător. În mod similar, o flotă bine întreținută nu poate compensa integral o cale afectată de uzură ondulatorie sau de defecte locale ale șinei.

Pentru tramvaie, măsurătorile și modelările recente oferă repere cantitative utile. La aceeași rugozitate și aceeași viteză (circa 55 km/h), Sun et al. au constatat că, dintre tipurile de cale analizate pe o rețea în exploatare, calea pe dală de beton a fost cea mai zgomotoasă, cu circa 3–4 dB(A) peste calea cu prismă de piatră spartă, iar calea înierbată a fost, în măsurători, cu circa 1,5 dB(A) mai silențioasă decât calea pe dală; contribuția șinei a depășit-o pe cea a roții cu circa 3 dB pe calea cu piatră spartă și cu circa 5 dB pe calea pe dală, iar rugozitatea șinelor a fost cu peste 20 dB peste spectrul de referință din ISO 3095 [16], [17]. Modelarea căilor înglobate a arătat că vibrația plăcii de beton crește radiația acustică la frecvențe joase, că rata de atenuare a vibrațiilor de-a lungul șinei are un minim larg între 500 și 1000 Hz, unde apare un maxim al zgomotului radiat, și că diferite geometrii ale materialului de înglobare și ale profilului șinei pot conduce la diferențe de până la 3 dB [18]. Pentru caracterizarea obiectivă a suprafeței de rulare, rugozitatea acustică a șinei și a roții se măsoară conform EN 15610 [19].

Zgomotul de impact apare la joante, inimi de încrucișare, macazuri și la roțile cu planeități. Studiile clasice au arătat că, la joante, nivelul zgomotului de impact este controlat de denivelarea dintre capetele șinelor, nu de lățimea rostului, iar o planeitate a roții produce un zgomot similar celui al unei joante cu treaptă descendentă de aceeași înălțime [20]. Pentru rețeaua bucureșteană, cu numeroase aparate de cale în intersecții, acest mecanism este relevant pentru zgomotele impulsive percepute de locuitori.

2.2. Uzura ondulatorie și scârțâitul în curbe

Uzura ondulatorie a șinei reprezintă unul dintre defectele cu impact acustic major. Aceasta constă în apariția unor ondulații aproape periodice pe suprafața de rulare, care generează o excitație repetitivă la trecerea roților. La anumite viteze,

frecvența excitației poate coincide cu domenii de sensibilitate acustică sau cu moduri proprii ale elementelor structurale, amplificând zgomotul și vibrațiile. În aceste situații, amortizoarele montate pe șină sau sistemele elastice pot avea performanță redusă dacă șina nu este rectificată periodic.

Sinteza realizată de Grassie arată că toate tipurile de uzură ondulatorie documentate sunt, în esență, fenomene cu frecvență constantă, mecanismele care fixează lungimea de undă acționând aproximativ în domeniul 50–1200 Hz; deși nu există o soluție unică, fenomenul poate fi gestionat și, în multe cazuri, prevenit prin intervenții asupra întregului sistem vehicul–cale, inclusiv asupra interfeței roată–șină [21]. O trecere în revistă recentă a mecanismelor de formare și a metodelor de detectare a uzurii ondulatorii, care include și studii realizate pe rețele de tramvai, este prezentată în [22].

Scârțâitul în curbe este un fenomen distinct, de frecvență ridicată, asociat în special curbelor cu raze mici, frecării laterale dintre buza bandajului și flancul activ al șinei și fenomenului de tip stick-slip. Primul model fizic al fenomenului, dezvoltat pe baza observațiilor la metroul american și la tramvaie germane, a atribuit scârțâitul alunecării laterale a roții pe ciuperca șinei, consecință a ampatamentului finit al boghiului, intensitatea depinzând de viteză, de raza curbei și de ampatament; același studiu a arătat că roțile amortizate și roțile elastice reduc scârțâitul [23]. Sinteza actuală a domeniului tratează scârțâitul în curbe ca pe o familie de fenomene cu frecvențe dominante și cauze diferite, cu apariție neregulată de la o zi la alta, explicată fie prin caracteristica descrescătoare a frecării în funcție de viteza de alunecare, fie prin cuplarea modurilor de vibrație [24]. Un catalog european recent de bune practici indică faptul că, la sistemele de tip light rail, scârțâitul apare de regulă în curbe cu raze sub circa 200 m (față de circa 300 m la căile ferate), iar metoda comună europeană de evaluare CNOSSOS-EU aplică o corecție implicită de 8 dB pentru curbele cu raze de cel mult 300 m [25]. În București, această problemă este relevantă în zonele cu intersecții dense, aparate de cale și constrângeri geometrice, unde curbele sunt adesea realizate fără supraînălțare pentru a păstra compatibilitatea cu traficul rutier și pietonal.

2.3. Vibrații transmise prin infrastructură și teren

Vibrațiile produse în contactul roată–șină nu se manifestă exclusiv ca zgomot aerian. O parte din energia dinamică este transmisă prin șină, sistem de prindere, betonul de cale, fundație și apoi prin teren către clădirile învecinate.

Acest tip de transmitere este important în zonele cu clădiri apropiate, clădiri istorice, terenuri sensibile sau construcţii cu frecvenţe proprii apropiate de frecvenţele dominante generate de circulaţia tramvaielor. Ajunse în clădire, vibraţiile pot fi re-radiate de pereţi şi planşee sub formă de zgomot audibil (zgomot re-radiat), fenomen descris iniţial pentru sistemele de metrou [26].

Analiza vibraţiilor transmise prin teren poate fi raportată la seria ISO 14837, care tratează zgomotul şi vibraţiile transmise prin sol generate de sistemele feroviare [27]. Din punct de vedere practic, vibraţiile transmise prin teren sunt mai dificil de controlat decât zgomotul aerian, deoarece nu pot fi reduse eficient prin ferestre fonoizolante sau bariere acustice. Pentru aceste situaţii, măsurile eficiente trebuie introduse în cale: covoare antivibrante, sisteme elastice sub placă sau cale flotantă.

Evaluarea efectelor asupra ocupanţilor clădirilor se poate face, complementar, după ISO 2631-2 [28]. Literatura arată că tipul vehiculului şi condiţiile de contact roată–şină influenţează semnificativ generarea vibraţiilor [29]. Pentru tramvaiul T2000 din Bruxelles, analiza numerică a arătat că cele mai mari vibraţii ale terenului sunt produse de defectele izolate ale suprafeţei de rulare, că analiza în câmp liber, fără considerarea interacţiunii teren–structură, poate conduce la estimări eronate, şi că roţile elastice pot aduce zgomotul şi vibraţiile transmise prin sol în limitele admisibile [30]. Prin urmare, alături de izolarea căii, eliminarea defectelor locale ale şinei şi măsurile la vehicul sunt componente ale controlului vibraţiilor. Un studiu de caz privind vibraţiile transmise unei clădiri situate lângă reţeaua de tramvai a fost realizat şi în România, la Brăila [1].

Tabelul 1. Principalele mecanisme vibro-acustice asociate circulației tramvaielor

Mecanism	Cauză principală	Efect observat	Măsuri adecvate
Zgomot de rulare	Rugozitatea roții și șinei, viteza, rigiditatea căii	Zgomot aerian de bandă largă	Rectificare șină, reprofilare roți, amortizoare de șină
Zgomot de impact	Discontinuități: joante, inimi de încrucișare, macazuri, planeități ale roților	Zgomot impulsiv, vibrații locale	Eliminarea denivelărilor, întreținerea aparatelor de cale, reprofilarea roților
Uzură ondulatorie	Excitații periodice și feedback între roată și șină	Zgomot tonal și vibrații repetate	Rectificare periodică, monitorizare rugozitate
Scârțâit în curbe	Frecare laterală, stick-slip, raze mici	Sunet strident, disconfort ridicat	Ungătoare, modificatori de frecare, control viteză
Vibrații prin sol	Transmiterea energiei dinamice prin cale și teren	Disconfort, zgomot re-radiat, vibrații în clădiri	Covoare antivibrante, cale flotantă, izolare la sursă

Sursa: prelucrare proprie pe baza [15], [14], [20], [21], [24], [29].

3. STADIUL ACTUAL ȘI PRINCIPII DE INTERVENȚIE

La nivel internațional, reducerea zgomotului și vibrațiilor la transportul urban pe șină se bazează pe combinații de măsuri. Raportul UIC privind zgomotul feroviar în Europa sintetizează principalele surse de zgomot, măsurile de reducere și direcțiile recente de dezvoltare tehnică [31]. Proiectele europene SILENCE și RIVAS au consolidat abordarea integrată, prin care reducerea zgomotului și vibrațiilor se realizează simultan la vehicul, la infrastructură și pe calea de propagare [32], [33]. O analiză a eficienței acestor măsuri pe rețelele europene, însoțită de discutarea aplicabilității lor în condițiile unei rețele naționale din regiune, este prezentată de Lakušić și Ahac [34].

Principiul de bază este că măsurile aplicate la sursă sunt cele mai eficiente atunci când problema este generarea excitației, iar măsurile aplicate în cale sunt esențiale atunci când problema este transmiterea vibrațiilor. De exemplu, rectificarea șinei și reprofilarea roților reduc excitația inițială. Amortizoarele de șină reduc vibrațiile dezvoltate în corpul șinei. Covoarele antivibrante și calea

flotantă reduc transmiterea către teren. Barierele acustice și izolarea fațadelor acționează asupra receptorului, dar nu elimină cauza.

Literatura oferă repere cantitative pentru fiecare categorie de măsuri. În cazul rectificării, campania de polizare de pe rețeaua de tramvai din Dublin a condus la reduceri ale nivelului LAE de 11,2 dB pe o cale clasică pe dală (viteză de proiectare 60 km/h) și de 4,9 dB pe o cale înglobată (30 km/h); pe primul amplasament, nivelurile au crescut ulterior cu circa 1 dB pe lună, fapt pus pe seama îndepărtării incomplete a uzurii ondulatorii [35]. Rezultatul subliniază importanța recepției lucrărilor de rectificare pe baza rugozității acustice măsurate [19] și a stabilirii unei periodicități a intervențiilor.

Pentru amortizoarele de șină, dispozitivele acordate cu mai multe frecvențe proprii au redus componenta de cale a zgomotului de rulare cu circa 6 dB în încercări de laborator și pe teren [36]. Pe o cale de tramvai pe dală, amortizoarele au redus însă nivelul cu 3,4 dB(A) în domeniul 800–5000 Hz, dar numai cu 0,2 dB(A) pe ansamblu, din cauza unui maxim al vibrației șinei în jurul frecvenței de 500 Hz [16]. Eficiența amortizoarelor trebuie, așadar, verificată în raport cu spectrul dominant al amplasamentului și nu poate fi preluată direct din documentațiile producătorilor.

Alegerea tipului de cale și a sistemului de prindere are, de asemenea, efecte măsurabile. Diferența dintre calea pe dală și calea cu piatră spartă a fost de 3–4 dB(A) [16], iar la Zagreb introducerea a 142 de tramvaie noi cu podea joasă a afectat durabilitatea sistemelor de prindere existente, ceea ce a impus dezvoltarea unor sisteme modificate, evaluate prin rata de atenuare a vibrațiilor în cale și prin nivelul echivalent de zgomot la trecerea unui vehicul de referință [37]. Experiența este relevantă pentru București, unde înnoirea flotei se desfășoară în paralel cu reabilitarea căii.

Soluțiile de cale pe placă și de cale înglobată, utilizate pentru controlul vibrațiilor, sunt tratate sistematic în literatura de suprastructură [38]. La metroul din Atena, calea flotantă amplasată în zona aparatelor de cale a fost proiectată pentru o pierdere prin inserție de circa 20 dB, exprimată în nivel de viteză de vibrație, în domeniul dominant 40–125 Hz, iar măsurătorile ulterioare au arătat niveluri ale zgomotului re-radiat în clădirile cele mai apropiate semnificativ sub limitele admisibile [39]. La nivelul receptorului, efectul barierelor joase amplasate lângă cale a fost analizat prin modelare acustică pentru o arteră cu circulație de tramvai din Zagreb [40].

Managementul frecării roată–șină reprezintă o direcție tehnică distinctă, deosebit de importantă în curbele cu raze mici. Seria EN 15427 tratează

echipamentele şi materialele utilizate pentru lubrifierea flancului şinei şi pentru controlul frecării la interfaţa roată–şină [41]. În mediul urban, ungătoarele de şină contribuie la reducerea scârţâitului în curbe, a uzurii flancului activ al şinei, a uzurii roţilor şi a solicitărilor laterale transmise căii. Fundamentele tribologice ale controlului frecării sunt sintetizate în [42], iar studiile de teren arată că modificatorii de frecare aplicaţi pe suprafaţa de rulare modifică distribuţia spectrală a zgomotului şi vibraţiilor în curbe [43].

Un catalog european recent de bune practici arată că modificatorii de frecare aplicaţi pe ciuperca şinei reprezintă măsura de cale cea mai utilizată împotriva scârţâitului, reducând numărul, durata şi nivelul evenimentelor numai dacă sunt întreţinuţi corespunzător; ungerea flancului are în principal rolul de a reduce uzura şi nu garantează eliminarea scârţâitului, iar măsurile aplicate exclusiv în cale nu au condus la eliminarea completă a fenomenului [25]. Acelaşi document menţionează, pentru tramvaie, ungerea la bordul vehiculelor (Nantes, Berlin) şi amortizoarele de roată cu strat constrâns, care au redus scârţâitul cu 25 dB la tramvaiele din Vitoria-Gasteiz [25]. Încercările pe stand cu discuri, în condiţii specifice buclelor de întoarcere ale tramvaielor, au arătat că apa reduce excitaţia scârţâitului cu 10–20 dB la viteze mai mari, dar numai cu circa 2 dB la viteze mici, fără a elimina fenomenul [44].

Pentru Bucureşti, aceste rezultate arată că ungătoarele montate pe tronsoanele reabilitate trebuie însoţite de un regim de întreţinere şi de verificarea periodică a eficienţei prin măsurători, iar pe termen mediu pot fi analizate şi măsuri la vehicul, precum amortizoarele de roată sau roţile elastice. Principalele rezultate cantitative raportate în literatură sunt sintetizate în Tabelul 3. Valorile nu sunt direct comparabile între ele, deoarece provin din contexte, indicatori şi metode de măsurare diferite, dar indică ordinul de mărime al efectelor care pot fi urmărite la proiectarea şi recepţia lucrărilor.

Tabelul 2. Gruparea soluțiilor de reducere a impactului vibro-acustic

Categorie	Exemple de măsuri	Rol tehnic	Observații pentru București
Măsuri la sursă	Rectificare șine, reprofilare roți, ungere în curbe	Reducerea excitațiilor dinamice	Necesare pe întreaga rețea, în special în curbe și zone cu uzură
Măsuri în cale	Amortizoare de șină, elemente de talpă, înglobare elastică	Reducerea vibrației șinei și a transmiterii către structură	Aplicabile la modernizări și la linii în carosabil
Izolare față de teren	Covoare antivibrante, cale flotantă	Reducerea vibrațiilor transmise prin fundație și sol	Recomandabile lângă clădiri sensibile sau aparate de cale
Măsuri la receptor	Bariere, fațade fonoizolante, măsuri urbanistice	Reducerea expunerii populației	Complementare, nu substituie mentenanța căii
Monitorizare	Măsurători acustice, reclamații, inspecții, baze de date GIS	Prioritizarea intervențiilor	Necesare pentru gestionarea unei rețele extinse

Sursa: prelucrare proprie pe baza [31], [32], [33], [34], [25].

Tabelul 3. Sinteza unor rezultate cantitative raportate în literatură pentru măsurile de reducere a zgomotului și vibrațiilor

Măsură	Context	Rezultat raportat	Sursa
Rectificarea șinei	Tramvai, Dublin; cale pe dală, 60 km/h	−11,2 dB LAE după polizare; creștere ulterioară de circa 1 dB/lună	[35]
Rectificarea șinei	Tramvai, Dublin; cale înglobată, 30 km/h	−4,9 dB LAE; niveluri relativ constante după polizare	[35]
Amortizoare de șină acordate	Cale ferată; încercări în laborator și pe teren	Circa −6 dB pentru componenta de cale a zgomotului de rulare	[36]
Amortizoare de șină	Tramvai; cale pe dală	−3,4 dB(A) în 800–5000 Hz; −0,2 dB(A) global	[16]
Tipul căii	Tramvai; aceeași rugozitate și viteză	Cale pe dală cu 3–4 dB(A) peste calea cu piatră spartă; cale înierbată cu circa 1,5 dB(A) sub calea pe dală	[16]
Geometria înglobării și profilul șinei	Tramvai; modelare numerică validată	Diferențe de până la 3 dB între variante	[18]
Cale flotantă	Metrou, Atena; zone cu aparate de cale	Pierdere prin inserție de proiectare de circa 20 dB în 40–125 Hz	[39]
Amortizoare de roată cu strat constrâns	Tramvai, Vitoria-Gasteiz	−25 dB pentru scârțâit	[25]
Apă la contactul roată–șină	Stand cu discuri; condiții de buclă de tramvai	−10…−20 dB la viteze mai mari; circa −2 dB la viteze mici	[44]

4. PARTICULARITĂȚI ALE REȚELEI DE TRAMVAI DIN BUCUREŞTI

Rețeaua de tramvai din București prezintă o diversitate ridicată a soluțiilor constructive și a condițiilor de exploatare. Există tronsoane în carosabil, platforme proprii, zone înierbate, sectoare cu piatră spartă, aparate de cale complexe și curbe cu raze reduse. În plus, tramvaiul circulă adesea în vecinătatea imediată a clădirilor, inclusiv pe străzi cu front construit apropiat. Pe asemenea tronsoane, zgomotul aerian este amplificat de reflexiile dintre fațade, iar vibrațiile transmise prin sol pot deveni perceptibile în clădiri.

Preocupările pentru întreținerea acustică a șinei în București nu sunt recente. În perioada 1995–1997, specialiștii RATB au realizat un vagon polizor prototip destinat rectificării suprafeței șinelor. Ulterior, în anul 2018, operatorul de transport public a achiziționat de la MECNO SERVICE SRL un vehicul specializat pentru polizarea și profilarea șinei de tramvai, contractul având valoarea de 6.415.500 lei [45]. Utilajul este relevant deoarece permite intervenții mecanizate asupra suprafeței de rulare, reducând rugozitatea, corectând profilul șinei și limitând defectele care favorizează zgomotul de rulare.

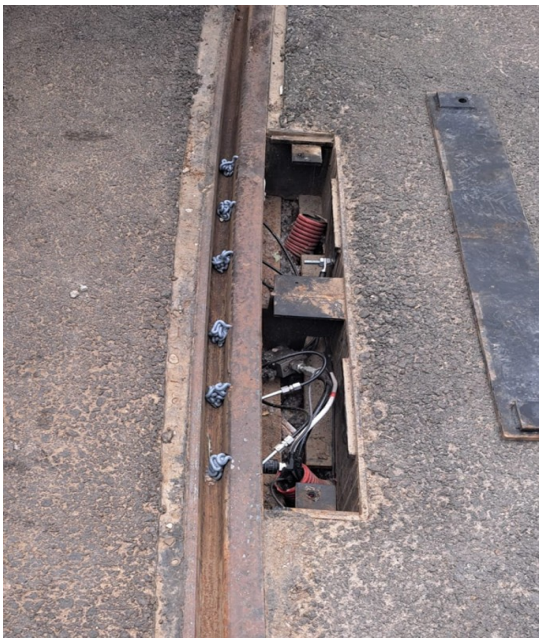


Figura 2. Sistem automat de ungere a șinei montat în cadrul contractului aferent Lotului 14. Sursa: fotografie realizată de autor, 2025

Figura 2 prezintă un exemplu recent de aplicare a managementului frecării în rețeaua bucureșteană. Sistemul automat de ungere a șinei este destinat reducerii

frecării dintre roată și șină în zonele curbe, cu efect asupra diminuării zgomotului de scârțâit, a uzurii flancului activ al șinei și a roților, precum și a solicitărilor laterale transmise căii de rulare.

5. SISTEME ELASTICE ȘI ÎNGLOBAREA ȘINEI

Sistemele elastice pentru liniile de tramvai urmăresc decuplarea parțială a șinei de structura rigidă a căii. În cazul liniilor înglobate în beton, șina poate transmite vibrații direct către placa de beton dacă nu sunt prevăzute elemente elastice laterale și inferioare. În consecință, soluția de înglobare elastică are rolul de a reduce rigiditatea contactului dintre profilul metalic și beton, de a limita transmiterea vibrațiilor și de a reduce zgomotul radiat.

Sistemul CAUPLAST analizat în lucrare include elemente elastomerice dispuse lateral și sub talpa șinei, precum și posibilitatea utilizării unui covor elastic în fundație, conform specificației tehnice avizate AFER [46]. În configurațiile unde se introduce și covorul de cauciuc în fundație, acesta funcționează ca strat suplimentar de decuplare între suprastructura căii și structura suport, reducând transmiterea vibrațiilor către teren.



Figura 3. Secțiune transversală prin sistemul elastic CAUPLAST, cu elemente elastomerice laterale, inferioare și covor elastic de fundație. Sursa: fotografie realizată de autor

În Figura 3 se observă modul de dispunere a elementelor elastomerice în jurul profilului de șină și a covorului elastic amplasat în zona de fundație. Elementele laterale și cele de sub talpă contribuie la înglobarea elastică a profilului metalic, iar covorul din fundație introduce un strat suplimentar de izolare pentru reducerea vibrațiilor transmise către teren.

Tabelul 4. Domenii de utilizare pentru soluțiile elastice analizate

Soluție	Aplicare tipică	Efect principal	Limitări
Elemente elastice laterale	Șină înglobată în beton sau asfalt	Reducerea contactului rigid lateral și a zgomotului radiat	Necesită execuție atentă și protecție la infiltrații
Element elastic sub talpă	Cale în dală sau sistem înglobat	Reducerea rigidității verticale și a vibrațiilor transmise	Eficiența depinde de rigiditate și montaj
Covor elastic în fundație	Aparate de cale, zone sensibile, tronsoane cu clădiri apropiate	Reducerea vibrațiilor transmise prin structură și teren	Cost mai ridicat și necesitatea dimensionării corecte
Cale flotantă	Zone cu cerințe ridicate de izolare vibrațională	Decuplarea ansamblului placă–șină de structura suport	Cost ridicat și cerințe sporite de proiectare

6. STUDIU INTERN RATB ȘI COMPORTAREA ACUSTICĂ A TIPURILOR DE CALE

O sursă importantă pentru analiza aplicativă o constituie studiul intern realizat de Serviciul Protecția Mediului al RATB privind determinarea zgomotului produs de tramvaie [47]. Acesta oferă informații utile asupra comportării acustice a diferitelor tipuri de cale și asupra modului în care geometria, tipul de înglobare și starea infrastructurii influențează nivelul de zgomot.

Interpretarea studiului arată că soluțiile rigide, în special șina montată în dale sau înglobată rigid în beton, pot conduce la niveluri acustice ridicate, din cauza reflexiei sonore și a transmiterii vibrațiilor către structura de beton. Soluțiile cu elemente elastice, calea înierbată și calea cu piatră spartă pot avea comportări mai favorabile, dar eficiența depinde de starea căii, de întreținere și de modul de execuție.

Tabelul 5. Clasificarea orientativă a comportării acustice pe baza studiului intern RATB

Tip de soluție analizată	Comportare acustică orientativă	Interpretare tehnică
Șină montată în dale sau înglobată rigid în beton	Nivel ridicat, uneori peste 90 dB(A) în clasificarea LAE	Comportare defavorabilă, influențată de reflexia acustică și rigiditatea structurii
Șină înglobată în beton cu amortizoare și prindere elastică	Nivel redus față de înglobarea rigidă, cca. 85–87 dB(A) LAE	Reducere prin limitarea excitării plăcii de beton și prin introducerea elementelor elastice
Cale înierbată	Nivel redus, cca. 84–85 dB(A) LAE	Reducere datorată reflexiei acustice mai mici și absorbției parțiale a suprafeței
Cale cu piatră spartă	Nivel variabil, în general mai redus decât soluțiile rigide	Comportare dependentă de starea căii, de compactare și de întreținerea suprastructurii

Tabelul 5 trebuie interpretat ca o sinteză orientativă, nu ca o clasificare universală. În practică, aceeași soluție constructivă poate avea rezultate diferite în funcție de geometrie, trafic, viteză, tipul tramvaielor, starea roților și calitatea mentenanței. De aceea, măsurătorile acustice și vibraționale trebuie corelate cu inspecția tehnică a căii.

7. CERCETARE CANTITATIVĂ PRIVIND PERCEPȚIA POPULAȚIEI

Pe lângă analiza tehnică, lucrarea include o componentă aplicativă privind percepția locuitorilor din București. Chestionarul propriu a urmărit identificarea nivelului de disconfort resimțit, a tipurilor de zgomot considerate cele mai deranjante, a efectelor percepute asupra calității vieții și a măsurilor considerate prioritare pentru reducerea impactului [48].

Chestionarul a înregistrat 122 de răspunsuri validate la nivelul formularului. Eșantionul nu are caracter statistic reprezentativ pentru întreaga populație a Municipiului București, însă oferă o imagine orientativă asupra percepției locuitorilor și permite corelarea observațiilor tehnice cu reacția subiectivă a receptorilor urbani.

Rezultatele arată că respondenţii nu percep zgomotul produs de tramvaie ca pe o problemă izolată, ci îl asociază cu starea infrastructurii. În întrebarea privind tipurile de zgomot asociate tramvaielor considerate deranjante, cea mai mare pondere a fost atribuită infrastructurii degradate, urmată de rularea roată–şină, vibraţii, zgomotul în curbe şi intersecţii, frânare şi semnale sonore.

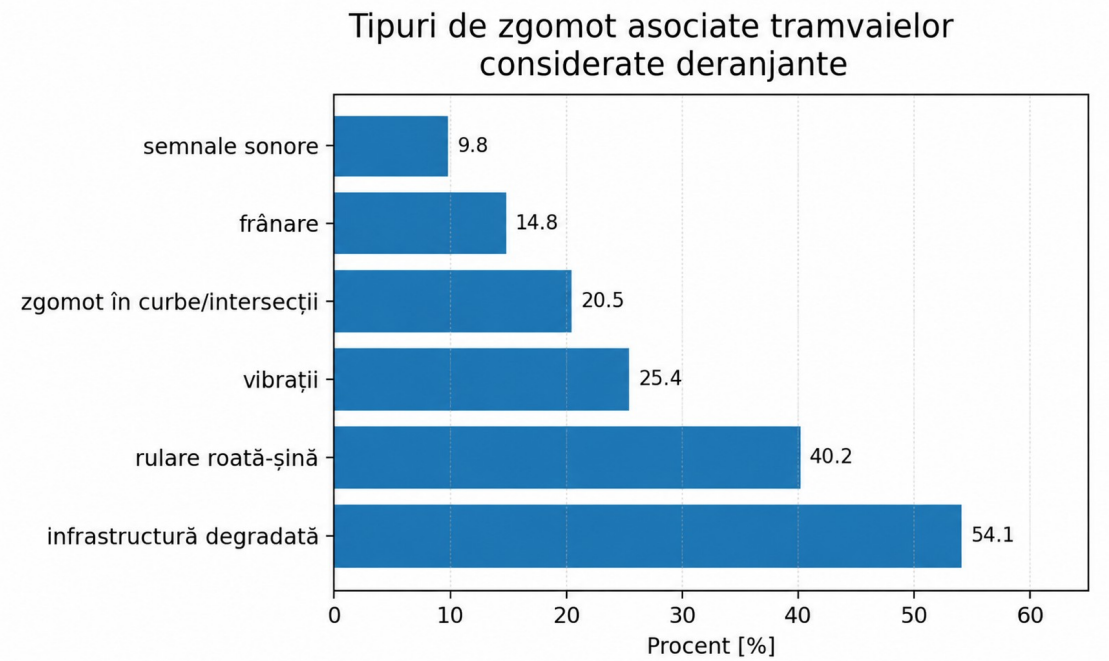


Figura 4. Tipuri de zgomot asociate tramvaielor considerate deranjante. Sursa: prelucrare proprie pe baza chestionarului aplicat populației

Figura 4 evidenţiază faptul că infrastructura degradată este percepută ca principală sursă de disconfort, fiind indicată de 54,1% dintre respondenţi. Acest rezultat confirmă necesitatea ca modernizarea infrastructurii să fie corelată cu mentenanţa preventivă, deoarece percepţia populaţiei este influenţată nu doar de existenţa tramvaiului, ci mai ales de starea căii şi de defectele vizibile sau audibile în exploatare.

8. SISTEM DE MONITORIZARE ŞI ETAPIZAREA INTERVENŢIILOR

Pentru o reţea extinsă, aplicarea simultană a tuturor măsurilor nu este realistă din punct de vedere tehnic şi financiar. Este necesară o etapizare a intervenţiilor pe baza unei metodologii care să combine măsurători, reclamaţii, inspecţii tehnice şi date privind tipul căii. Manualul FTA privind evaluarea impactului zgomotului şi vibraţiilor în proiectele de transport poate fi utilizat ca

reper metodologic general pentru definirea unor praguri şi proceduri de analiză [49].

În Bucureşti, este relevant faptul că Primăria Municipiului Bucureşti are în derulare un program amplu de reabilitare a infrastructurii de tramvai, structurat pe loturi. Conform documentaţiilor de atribuire publicate în SEAP pentru contractele de reabilitare analizate, proiectele prevăd utilizarea elementelor elastice de amortizare şi montarea sistemelor de ungere a şinei în zonele curbe [50]. Finalizarea acestor contracte poate contribui la reducerea nivelului de zgomot şi vibraţii pe tronsoanele modernizate, cu condiţia menţinerii geometriei căii şi a funcţionării corespunzătoare a sistemelor de ungere.

Tabelul 6. Etapizarea recomandată a intervenţiilor pentru reducerea impactului vibro-acustic

Etapă	Tip de acţiune	Exemple	Rezultat urmărit
I	Identificare şi prioritizare	Hărţi de zgomot, reclamaţii, inspecţii, baze de date	Stabilirea zonelor critice
II	Intervenţii rapide la sursă	Rectificare, reprofilare, reglarea ungătoarelor	Reducerea excitaţiilor dinamice
III	Modernizare structurală	Amortizoare, covoare antivibrante, cale elastică	Reducerea transmiterii vibraţiilor
IV	Protecţia receptorului	Faţade, bariere joase, măsuri urbanistice	Reducerea expunerii populaţiei
V	Monitorizare continuă	Fişe de tronson, măsurători periodice, actualizare GIS	Menţinerea performanţei în timp

Etapizarea din Tabelul 6 subliniază necesitatea unei abordări progresive. Intervenţiile rapide la sursă pot reduce efectele imediate ale uzurii şi ale frecării excesive, dar modernizarea structurală este necesară în zonele unde infrastructura este rigidă sau degradată. În acelaşi timp, protecţia receptorului trebuie tratată ca măsură complementară, aplicabilă doar acolo unde intervenţiile la sursă şi în cale nu pot asigura singure nivelul de confort dorit.

Tabelul 7. Prioritizarea măsurilor în funcţie de tipul amplasamentului urban

Tip amplasament	Probleme dominante	Măsuri prioritare
Străzi înguste cu front construit apropiat	Reflexii acustice, vibraţii percepute în clădiri	Înglobare elastică, covoare antivibrante, limitarea defectelor de şină
Bulevarde cu platformă proprie	Zgomot de rulare, expunere pietonală, viteză	Rectificare, cale înierbată, amortizoare, monitorizare
Curbe cu raze reduse	Scârţâit, uzură flanc activ, solicitări laterale	Ungătoare, control profil roată–şină, verificare aparate de cale
Aparate de cale şi intersecţii	Impacturi, zgomote impulsive, vibraţii locale	Covoare antivibrante, întreţinere preventivă, inspecţii frecvente
Zone cu clădiri sensibile	Vibraţii prin teren, zgomot re-radiat	Sisteme elastice avansate, cale flotantă, monitorizare vibraţii

9. DISCUȚII

Rezultatele analizate susţin ideea că reducerea impactului vibro-acustic al tramvaielor nu poate fi obţinută printr-o soluţie unică. O cale modernizată cu elemente elastice poate avea performanţe bune iniţial, dar acestea se pot pierde în lipsa rectificării periodice şi a întreţinerii roţilor. În mod similar, ungătoarele de şină pot reduce scârţâitul în curbe, dar eficienţa lor depinde de reglaj, alimentare, poziţionare şi întreţinere.

O altă observaţie importantă este diferenţa dintre zgomotul măsurat şi zgomotul perceput. Populaţia reacţionează mai puternic la zgomote impulsive, tonale sau stridente, cum sunt scârţâitul în curbe, loviturile în aparatele de cale sau zgomotul generat de infrastructura degradată. De aceea, evaluarea impactului trebuie să combine indicatorii acustici obiectivi cu analiza reclamaţiilor şi observaţia directă în teren.

Pentru București, prioritizarea intervenţiilor ar trebui să ţină cont de trei criterii principale: starea tehnică a căii, sensibilitatea urbană a amplasamentului şi intensitatea percepţiei populaţiei. Tronsoanele cu clădiri apropiate, infrastructură rigidă şi istoric de reclamaţii trebuie tratate diferit faţă de tronsoanele cu platformă proprie, situate în zone deschise. Această diferenţiere permite utilizarea eficientă a fondurilor şi evitarea supradimensionării soluţiilor.

10. CONCLUZII

Analiza realizată evidențiază că zgomotul și vibrațiile produse de tramvaie sunt rezultatul interacțiunii dintre materialul rulant, șină, sistemul de prindere, structura căii, teren și receptorul urban. Reducerea impactului trebuie abordată integrat, prin măsuri la sursă, măsuri în cale, izolare față de teren și, unde este necesar, măsuri la receptor.

Pentru rețeaua de tramvai din București, cele mai importante direcții sunt: rectificarea periodică a șinelor, reprofilarea roților, montarea și întreținerea ungătoarelor în curbe, utilizarea sistemelor elastice de înglobare a șinei, introducerea covoarelor antivibrante în zone sensibile și constituirea unei baze de date pentru monitorizarea zonelor critice. Programul actual de reabilitare a infrastructurii reprezintă o oportunitate importantă pentru implementarea acestor măsuri, cu condiția ca proiectarea să fie corelată cu mentenanța ulterioară.

Contribuția aplicativă a articolului constă în corelarea analizei tehnice cu observații din rețeaua bucureșteană și cu rezultatele unui chestionar adresat populației. Această corelare arată că percepția locuitorilor este influențată semnificativ de starea infrastructurii, ceea ce confirmă importanța întreținerii preventive și a monitorizării continue. Pe termen lung, soluțiile elastice pot produce efecte durabile numai dacă sunt integrate într-un sistem coerent de exploatare, întreținere și evaluare periodică.

BIBLIOGRAFIE

[1]. A. LEOPA, D. ANGHELACHE: *“Urban pollution issues generated by trams traffic”*, The Annals of „Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle IX – Metallurgy and Materials Science, vol. **38**, nr. 4, pp. **32–37**, **2015**.

[2]. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: *“Environmental noise in Europe – 2020”*, EEA Report No. 22/2019, Publications Office of the European Union, Luxembourg, **2020**.

[3]. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: *“Environmental noise in Europe 2025”*, EEA Report 05/2025, Copenhaga, **2025**. DOI: 10.2800/5134480.

[4]. WORLD HEALTH ORGANIZATION: *“Environmental Noise Guidelines for the European Region”*, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, **2018**.

[5]. M. BASNER, W. BABISCH, A. DAVIS, M. BRINK, C. CLARK, S. JANSSEN, S. STANSFELD: *“Auditory and non-auditory effects of noise on health”*, The Lancet, vol. **383**, pp. **1325–1332**, **2014**. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X.

[6]. T. MÜNZEL, T. GORI, W. BABISCH, M. BASNER: *“Cardiovascular effects of environmental noise exposure”*, European Heart Journal, vol. **35**, nr. 13, pp. **829–836**, **2014**. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu030.

[7]. H.M.E. MIEDEMA, R. VAN DEN BERG: *“Community response to tramway noise”*, Journal of Sound and Vibration, vol. **120**, nr. 2, pp. **341–346**, **1988**.

[8]. *“Directiva 2002/49/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 25 iunie 2002 privind evaluarea și gestionarea zgomotului ambiant”*, Jurnalul Oficial al Comunităţilor Europene, L 189, 18.07.2002, pp. **12–25**.

[9]. *“Directiva (UE) 2020/367 a Comisiei din 4 martie 2020 de modificare a anexei III la Directiva 2002/49/CE în ceea ce privește stabilirea unor metode de evaluare a efectelor nocive ale zgomotului ambiant”*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 67, 05.03.2020.

[10]. *“Legea nr. 121/2019 privind evaluarea și gestionarea zgomotului ambiant”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 604 din 23.07.2019.

[11]. *“Legea nr. 181/2022 pentru modificarea și completarea Legii nr. 121/2019 privind evaluarea și gestionarea zgomotului ambiant”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 582 din 15.06.2022.

[12]. AGIR: *“Primăria Capitalei reface hărțile de zgomot ale municipiului București”*, Univers Ingineresc, nr. 8/2022, Asociația Generală a Inginerilor din România, București, **2022**.

[13]. A. PROCA: *“Proiecte în derulare și în pregătire la Metrorex și STB”*, Univers Ingineresc, nr. 21/2024, Asociația Generală a Inginerilor din România, București, **2024**.

[14]. D.J. THOMPSON, C.J.C. JONES: *“A review of the modelling of wheel/rail noise generation”*, Journal of Sound and Vibration, vol. **231**, nr. 3, pp. **519–536**, **2000**. DOI: 10.1006/jsvi.1999.2542.

[15]. D. THOMPSON: *“Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control”*, Elsevier, **2009**.

[16]. W. SUN, D. THOMPSON, M. TOWARD, M. WISEMAN, E. NTOTSIOS, S. BYRNE: *“The influence of track design on the rolling noise from trams”*, Applied Acoustics, vol. **170**, art. 107536, **2020**. DOI: 10.1016/j.apacoust.2020.107536.

[17]. ISO 3095:2013: *“Acoustics – Railway applications – Measurement of noise emitted by railbound vehicles”*, International Organization for Standardization, Geneva, **2013**.

[18]. W. SUN, D. THOMPSON, M. TOWARD, Z. ZENG: *“Modelling of vibration and noise behaviour of embedded tram tracks using a wavenumber domain method”*, Journal of Sound and Vibration, vol. **481**, art. 115446, **2020**. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115446.

[19]. EN 15610:2019: *“Railway applications – Acoustics – Rail and wheel roughness measurement related to noise generation”*, CEN, Bruxelles, **2019** (versiune consolidată EN 15610:2019+A1:2025).

[20]. I.L. VER, C.S. VENTRES, M.M. MYLES: *“Wheel/rail noise – Part III: Impact noise generation by wheel and rail discontinuities”*, Journal of Sound and Vibration, vol. **46**, nr. 3, pp. **395–417**, **1976**.

[21]. S.L. GRASSIE: *“Rail corrugation: characteristics, causes, and treatments”*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, vol. **223**, nr. 6, pp. **581–596**, **2009**. DOI: 10.1243/09544097JRRT264.

[22]. Q.-A. WANG, X.-Y. HUANG, J.-F. WANG, Y.-Q. NI, S.-C. RAN, J.-P. LI, J. ZHANG: *“Concise historic overview of rail corrugation studies: from formation mechanisms to detection methods”*, Buildings, vol. **14**, nr. 4, art. 968, **2024**. DOI: 10.3390/buildings14040968.

[23]. M.J. RUDD: *“Wheel/rail noise – Part II: Wheel squeal”*, Journal of Sound and Vibration, vol. **46**, nr. 3, pp. **381–394**, **1976**.

[24]. D.J. THOMPSON, G. SQUICCIARINI, B. DING, L. BAEZA: *“A state-of-the-art review of curve squeal noise: phenomena, mechanisms, modelling and mitigation”*, în: Anderson, D. et al. (ed.), Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems, Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, vol. **139**, Springer, Cham, pp. **3–41**, **2018**. DOI: 10.1007/978-3-319-73411-8_1.

[25]. E. VERHEIJEN, R. VAN MOPPES: *“Squealing noise in curves – Catalogue with best practices”*, raport dBvision PRO089-01-02ev pentru ProRail, proiectul Rail4Earth (Horizon Europe, GA 101101917), Europe’s Rail Joint Undertaking, Utrecht, **2025**.

[26]. L.G. KURZWEIL: *“Ground-borne noise and vibration from underground rail systems”*, Journal of Sound and Vibration, vol. **66**, nr. 3, pp. **363–370**, **1979**.

[27]. SR ISO 14837-1:2005: *“Vibrații mecanice. Zgomot și vibrații transmise prin sol generate de sisteme feroviare. Partea 1: Ghid general”*.

[28]. ISO 2631-2:2003: *“Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)”*, International Organization for Standardization, Geneva, **2003**.

[29]. G. KOUROUSSIS, D.P. CONNOLLY, O. VERLINDEN: *“Railway-induced ground vibrations – a review of vehicle effects”*, International Journal of Rail Transportation, vol. **2**, nr. 2, pp. **69–110**, **2014**. DOI: 10.1080/23248378.2014.897791.

[30]. G. KOUROUSSIS, N. PAUWELS, P. BRUX, C. CONTI, O. VERLINDEN: *“A numerical analysis of the influence of tram characteristics and rail profile on railway traffic ground-borne noise and vibration in the Brussels Region”*, Science of the Total Environment, vol. **482–483**, pp. **452–460**, **2014**. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.05.083.

[31]. UIC: *“Railway Noise in Europe – State-of-the-Art Report”*, International Union of Railways, Paris, **2021**.

[32]. EUROPEAN COMMISSION, CORDIS: *“SILENCE – Quieter Surface Transport in Urban Areas”*, FP6 Project, Grant Agreement ID 516288, **2005–2008**.

[33]. EUROPEAN COMMISSION, CORDIS: *“RIVAS – Railway Induced Vibration Abatement Solutions”*, FP7 Project, Grant Agreement ID 265754, **2011–2013**.

[34]. S. LAKUŠIĆ, M. AHAC: *“Rail traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas”*, Tehnički vjesnik – Technical Gazette, vol. **19**, nr. 2, pp. **427–435**, **2012**.

[35]. S. BYRNE: *“An investigation into noise emissions following a rail grinding campaign on Dublin’s light rail system”*, Proceedings of the 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV24), Londra, 23–27 iulie **2017**.

[36]. D.J. THOMPSON, C.J.C. JONES, T.P. WATERS, D. FARRINGTON: *“A tuned damping device for reducing noise from railway track”*, Applied Acoustics, vol. **68**, nr. 1, pp. **43–57**, **2007**. DOI: 10.1016/j.apacoust.2006.05.001.

[37]. S. LAKUŠIĆ, I. HALADIN, M. AHAC: *“The effect of rail fastening system modifications on tram traffic noise and vibration”*, Shock and Vibration, vol. **2016**, art. 4671302, **2016**. DOI: 10.1155/2016/4671302.

[38]. C. ESVELD: *“Modern Railway Track”*, ediția a 2-a, MRT-Productions, Zaltbommel, **2001**.

[39]. K.E. VOGIATZIS, G. KOUROUSSIS: *“Prediction and efficient control of vibration mitigation using floating slabs: practical application at Athens metro lines 2 and 3”*, International Journal of Rail Transportation, vol. **3**, nr. 4, pp. **215–232**, **2015**. DOI: 10.1080/23248378.2015.1076622.

[40]. M. AHAC, S. LAKUŠIĆ, S. AHAC, V. DRAGČEVIĆ: *“The analysis of low noise protection barriers influence on tram traffic noise levels”*, Romanian Journal of Transport Infrastructure, vol. **2**, nr. 1, pp. **1–9**, **2013**. DOI: 10.1515/rjti-2015-0007.

[41]. EN 15427-1-1:2022: *“Railway applications – Wheel/Rail Friction Management – Part 1-1: Equipment and Application – Flange Lubrication”*.

[42]. R. LEWIS, U. OLOFSSON (ed.): *“Wheel–Rail Interface Handbook”*, Woodhead Publishing, Cambridge, **2009**.

[43]. D.T. EADIE, M. SANTORO, J. KALOUSEK: *“Railway noise and the effect of top of rail liquid friction modifiers: changes in sound and vibration spectral distributions in curves”*, Wear, vol. **258**, pp. **1148–1155**, **2005**.

[44]. V. NAVRÁTIL, D. KVARDA, M. KLAPKA, R. GALAS, M. OMASTA, I. KŘUPKA, M. HARTL: *“Investigation of squeal noise generation in wheel–rail contact under wet conditions using a twin-disc test rig”*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, vol. **239**, nr. 8, pp. **635–645**, **2025**. DOI: 10.1177/09544097251339854.

[45]. SOCIETATEA DE TRANSPORT BUCUREȘTI STB S.A.: *“Situația contractelor atribuite”*, contract nr. 4627/C din 17.07.2018, furnizor MECNO SERVICE SRL, obiect „Vehicul specializat pentru polizare și profilare șină de tramvai”, valoare 6.415.500 lei, **2018**.

[46]. URBAN PROFILE GRELE / CAUPLAST: *“Specificație tehnică – Ansamblu elastic CAUPLAST”*, cod ST CP 002/2011, avizată AFER, **2023**.

[47]. RATB – SERVICIUL PROTECȚIA MEDIULUI: *“Determinarea zgomotului produs de tramvaie”*, raport tehnic intern nepublicat, București, cca. **2006–2008**.

[48]. A. MITELUȚ: *“Chestionar – Percepția locuitorilor din București asupra poluării mediului urban, cu accent pe poluarea fonică generată de circulația tramvaielor”*, 122 răspunsuri validate, București, **2026**.

[49]. FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION: *“Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual”*, FTA Report No. 0123, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., September **2018**.

[50]. SISTEMUL ELECTRONIC DE ACHIZIȚII PUBLICE: *“Documentații de atribuire pentru contractele de reabilitare a liniilor de tramvai din Municipiul București”*, loturile aferente programului de modernizare a infrastructurii de tramvai, Primăria Municipiului București, consultate în **2026**.

SOLUȚII SUSTENABILE ADOPTATE ÎN CADRUL PROIECTULUI MODERNIZARE DN73, LOT 2 KM 92+000 – KM 128+250

Neagu Anca, Responsabil Calitate, Viarom Construct SRL, e-mail: anca.neagu@viarom.ro
Simion Tudor, Director Tehnic, Viarom Construct SRL, e-mail: tudor.simion@viarom.ro

Rezumat

Prezentul studiu de caz se concentrează asupra Lotului 2 (km 92+000 ÷ km 128+250), executat de VIAROM CONSTRUCT S.R.L. în calitate de antreprenor, având ca beneficiar Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere (CNAIR) prin Direcția Regională de Drumuri și Poduri Brașov. Înainte de începerea lucrărilor, drumul prezenta numeroase degradări avansate: fisuri și crăpături în stratul de uzură, pelade, faianțări, suprafețe cu ciupituri, suprafețe șlefuite, cedări de acostamente, rupturi de margine, precum și burdușiri, tasări și văluriri provocate de ciclurile de îngheț–dezgheț. Având în vedere lungimea traseului, stadiul lucrărilor deja realizate de un alt constructor, zonele locuite, sondajele realizate, etc., în cadrul proiectului au fost adoptate mai multe soluții tehnice. Pentru tronsonul km 92+000 ÷ km 110+000, soluția adoptată în proiectul tehnic actualizat a constat în reciclarea la rece in situ a straturilor asfaltice existente cu emulsie bituminoasă şi liant hidraulic, pentru realizarea stratului de fundație al noii structuri rutiere.

Cuvinte cheie: reciclare in situ, strat de bază, sustenabilitate, reducerea emisiilor şi a amprentei de carbon

Abstract

The present case study focuses on Lot 2 (km 92+000 ÷ km 128+250), executed by VIAROM Construct S.R.L. as contractor, having as beneficiary the National Company for Road Infrastructure Administration (CNAIR) through the Regional Directorate of Roads and Bridges Brașov. Prior to execution, the road showed numerous advanced degradations: cracks in the wear layer, pelades, tiles, pinched surfaces, polished surfaces, slope failures, edge breaks, as well as bellows, settlements and undulations caused by freeze-thaw cycles. Considering the length of the route, the status of the works already carried out by another builder, the inhabited areas, the surveys carried out, etc., several technical solutions were adopted within the project. For the km 92+000 ÷ km 110+000 section, the solution adopted in the updated technical project consisted of cold recycling in situ of the existing asphalt layers with bituminous emulsion and hydraulic binder, in order to create the foundation layer of the new road structure.

Keywords: in situ recycling, base course, sustainability, reduction of emissions and carbon footprint

1. TEHNOLOGIA DE RECICLARE LA RECE IN SITU

Reciclarea la rece in situ este o tehnologie utilizată în reabilitarea drumurilor, care presupune reutilizarea materialelor existente din structura drumului pentru a crea un nou strat de fundație sau de bază cu aport de liant hidraulic și bituminos, cu sau fără adaos de agregate naturale, fără a transporta materialele din structura rutieră existentă în afara șantierului. Aceasta este o metodă eficientă, ecologică și economică pentru reabilitarea și întreținerea drumurilor degradate.

1.1. Aspecte de mediu şi sustenabilitate

Procedeul de reciclare la rece in situ a structurilor rutiere reprezintă una dintre cele mai sustenabile soluţii disponibile în prezent pentru reabilitarea infrastructurii rutiere degradate. Față de tehnologiile clasice de execuție, această metodă generează beneficii semnificative atât din punct de vedere tehnic, cât și din perspectiva impactului asupra mediului înconjurător.

1.2. Îmbunătăţirea viabilităţii drumului

Reciclarea la rece in situ permite refacerea integrală a structurii rutiere degradate fără a fi necesară închiderea îndelungată a traficului sau demolarea completă a structurii existente. Prin reciclarea materialului existent direct pe amplasament, drumul redobândește caracteristicile funcționale necesare unui trafic sigur și fluent într-un interval de timp considerabil redus față de soluțiile tradiționale. Viabilitatea pe termen lung a drumului este asigurată prin îmbunătățirea omogenității structurii rutiere și prin eliminarea zonelor cu rigiditate neuniformă, care reprezintă principalele cauze ale degradării premature.

1.3. Creşterea capacităţii portante a drumului

Unul dintre cele mai importante avantaje tehnice ale procedeului îl constituie sporirea semnificativă a capacității portante a structurii rutiere. Prin

încorporarea filerului activ (lianți hidraulici) și a liantului bituminos (emulsie bituminoasă sau bitum spumat) în masa materialului existent frezat și omogenizat, se obține un strat reciclat cu caracteristici mecanice superioare materialului inițial degradat. Modulul de elasticitate și rezistența la deformații permanente ale stratului rezultat sunt net îmbunătățite, ceea ce conduce la o distribuție mai eficientă a încărcărilor provenite din trafic către straturile inferioare ale structurii rutiere.

1.4. Economisirea resurselor energetice și a agregatelor

Din perspectiva consumului de resurse, tehnologia de reciclare in situ aduce avantaje remarcabile în comparație cu soluțiile convenționale. Materialul existent în structura rutieră (mixturi bituminoase îmbătrânite) este refolosit integral pe amplasament, eliminând necesitatea aprovizionării cu agregate noi din cariere sau balastiere. Aceasta înseamnă reducerea drastică a transportului de materiale, atât pentru aducerea agregatelor noi, cât și pentru evacuarea materialului vechi demolat, ceea ce conduce implicit la economii substanțiale de combustibil și la diminuarea uzurii drumurilor adiacente șantierului. Studiile comparative din literatura de specialitate estimează economii de energie de până la 50–60% față de metodele clasice de reabilitare, în funcție de condițiile specifice ale șantierului și de distanțele de transport aferente soluției tradiționale.

1.5. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră

Amprenta de carbon a unui proiect de reabilitare executat prin reciclare in situ este considerabil mai mică față de varianta clasică prin eliminarea sau reducerea semnificativă a transportului de materiale, prin evitarea proceselor energointensive de producție a mixturilor bituminoase noi în stație și prin utilizarea lianților hidraulici și bituminoși în proporții reduse. Reducerile de emisii de CO_2 raportate în proiectele europene similare se situează frecvent între 35% și 60%, în funcție de soluția tehnică adoptată și de specificul fiecărui proiect.

1.6. Remedierea rapidă a drumurilor degradate, uzate, fisurate

Tehnologia de reciclare la rece in situ se distinge prin viteza ridicată de execuție, un avantaj deosebit de relevant în cazul drumurilor cu trafic intens sau al intervențiilor de urgență pe rețeaua rutieră. Trenul de utilaje specializat — care

cuprinde, în configurația tipică, freza de reciclare, cisternele de apă și liant, autogreder, precum și compactoarele — avansează continuu pe lungimea traseului, realizând într-o singură trecere operațiunile de scarificare, dozare a lianților, malaxare și reprofilare a structurii rutiere. Viteza medie de execuție poate atinge 4–6 metri pe minut în condiții optime, permițând tratarea a sute de metri de bandă de drum pe zi. Această eficiență reduce semnificativ durata șantierului, minimizează perturbarea traficului și scurtează perioada în care utilizatorii drumului sunt expuși inconvenientelor și riscurilor asociate unui șantier rutier activ. Totodată, prin tratarea simultană a fisurilor, a deformațiilor permanente și a degradărilor de suprafață, reciclarea in situ oferă o soluție integrată care abordează cauzele degradărilor complexului rutier, nu doar ale straturilor de îmbrăcăminte bituminoasă.

2. PROCESUL DE EXECUȚIE

Acesta se desfășoară direct pe teren și implică următoarele etape principale: frezarea straturilor existente, adăugarea de materiale de aport, amestecarea și așternerea, compactarea grosieră, nivelarea și profilarea, compactarea finală.



Figura 1. Imagini tronson experimental

2.1. Pregătirea lucrărilor de reciclare la rece in situ

O etapă importantă în realizarea acestui procedeu este pregătirea lucrărilor de reciclare la rece şi sunt necesari următorii paşi:

- Verificarea amplasamentului;
- Realizarea testelor nedistructive;
- Efectuarea de teste distructive;
- Realizarea dimensionării noii structuri rutiere cu programe de calcul specifice;
- Elaborarea rețetei / rețetelor de lucru.

În cadrul acestui material se vor prezenta rezultatele obţinute în urma testelor nedistructive privind determinarea capacităţii portante realizate cu echipamentul DYNATEST pe care societatea VIAROM CONSTRUCT îl deține.

2.2. Determinarea capacităţii portante a structurii rutiere cu deflectometrul cu sarcină dinamică – înainte de execuţie

Sectorul de drum din cadrul lucrării pe care s-au realizat lucrările de reciclare la rece „in situ” are următoarele caracteristici:

- clasă tehnică: III
- clasă de trafic: FOARTE GREU.
- Sistem rutier semirigid

Mai jos sunt evidenţiate rezultatele prelucrării statistice ale deflexiunii pe tronsonul km 92+000 ÷ km 110+000, efectuate pe ambele căi de circulaţie, în puncte situate la o distanţă de 50 m.

CALE 1	
Tronson 1	
Temp medie=	17.90
Deflexiunea medie d_{BM}=	52.35
Deflexiunea medie cu corecții de temp d_{BM20}=	54.45
Abaterea medie patratică s_B=	17.22
Coeficient de variație C_v=	32.9%
Abaterea medie patratică cu corecții de temp s_{B20}=	17.91
Nr de pct măsurate t_α=	2.20
Deflexiunea caracteristică cu corecții de temp (0.01mm) d_c=	93.84

CALE 2	
Tronson1	
Temp medie=	31.10
Deflexiunea medie d_{BM}=	65.84
Deflexiunea medie cu corecții de temp d_{BM20}=	58.53
Abaterea medie patratică s_B=	22.43
Coeficient de variație C_v=	34.06%
Abaterea medie patratică cu corecții de temp s_{B20}=	19.94
Nr de pct măsurate t_α=	2.20
Deflexiunea caracteristică cu corecții de temp (0.01mm) d_c=	102.40

Figura 2. Rezultate capacitate portantă înainte de execuţia stratului reciclat

Din analiza rezultatelor măsurătorilor se poate concluziona că sectorul pe care au fost realizate determinările are o capacitate portantă REA, în conformitate cu prevederile CD 155. Totodată se poate observa o variabilitate mare a rezultatelor obţinute de-a lungul profilului longitudinal conform diagramelor de mai jos:

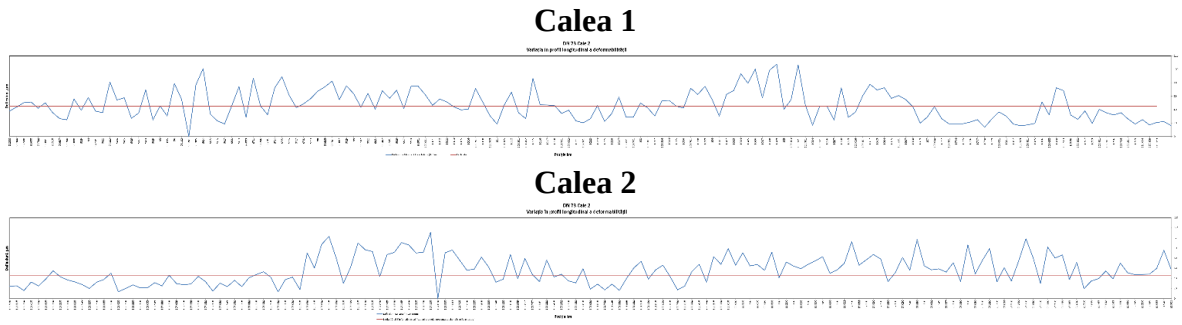


Figura 3. Diagrame ale deflexiunilor măsurate pe km 92+000 ÷ km 110+000 Calea 1, Calea 2 înainte de execuţia stratului reciclat

2.3. Studii de laborator privind soluția optimă de reciclare in situ

Soluția tehnică proiectată pentru tronsonul km 92+000 ÷ km 110+000, a constat în reciclarea la rece in situ a straturilor asfaltice existente cu emulsie bituminoasă şi liant hidraulic, pentru realizarea stratului de fundație al noii structuri rutiere. Proiectarea compoziției amestecului reciclat s-a realizat în conformitate cu cerințele Normativului AND 532-2022 privind reciclarea la rece a straturilor rutiere, iar încercările de laborator au fost efectuate de către Laboratorul de Analize şi Încercări în Activitatea de Construcții al VIAROM CONSTRUCT S.R.L. – Chitila, Jud. Ilfov.

Rețeta adoptată pentru reciclarea la rece a tronsonului a fost următoarea:

- 2% liant hidraulic;
- 2% bitum rezidual din emulsie bituminoasă cationică tip C60B5.

Toate caracteristicile fizico-mecanice determinate pe epruvete Marshall la 14 zile îndeplinesc cerințele Normativului AND 532, validând compoziția amestecului pentru a fi utilizată ca strat de fundație în cadrul lucrării de modernizare.

Verificarea performanțelor mecanice ale amestecului reciclat s-a efectuat pe epruvete Marshall, la 14 zile, conform cerințelor AND 532.

Tabelul 1. Performanțe obținute pe amestecul reciclat

Nr.	Caracteristică	U.M.	Valoare obținută	Metodă	Cerință AND 532
1	Rezistența la tracțiune indirectă la 14 zile	kPa	393,2	SR EN 12697-23	min. 200
2	Sensibilitatea la apă la 14 zile	%	101,3	SR EN 12697-12, metoda A	min. 40
3	Modul de rigiditate la 14 zile, la 20°C, 124 ms	MPa	1811	SR EN 12697-26:2018+A1:2022 (Anexa C)	min. 1200

Determinarea rigidității s-a efectuat la un laborator terț.

Valorile ridicate ale rezistenței la tracțiune indirectă, ale sensibilității la apă şi ale modulului de rigiditate confirmă soluția de reciclare adoptată.

Rezultatele obținute pentru modulul de rigiditate sunt semnificativ superioare celor luate în calcul la dimensionarea structurii rutiere (1000 MPa) pentru un strat de fundație realizat prin stabilizare.

Analizând rezultatele obținute şi ținând cont de faptul că în amestecul de reciclat a fost utilizat un liant hidraulic într-un dozaj de 2%, se poate concluziona

că în timp, performanța stratului rutier din punct de vedere al rigidității acestuia va crește. Prin urmare, în exploatare, stratul va dezvolta o durabilitate mai mare decât cea obținută la momentul realizării testelor pentru elaborarea rețetelor de lucru.

2.4. Determinarea capacităţii portante a structurii rutiere cu deflectometrul cu sarcină dinamică – după execuţie

Determinările efectuate pe structura rutieră existentă, anterior execuţiei lucrărilor de reciclare la rece in situ, au evidenţiat o stare structurală precară a complexului rutier. Din analiza rezultatelor măsurătorilor s-a concluzionat că sectorul pe care se aplică tehnologia de reciclare la rece (km 92+000 ÷ km 110+000) prezintă o capacitate portantă REA. Diagramele obținute pentru ambele căi de rulare au evidenţiat o variabilitate mare a deflexiunilor de-a lungul profilului longitudinal, reflectând neuniformitatea rigidității materialelor din structura rutieră existentă, cauzată de mai mulţi factori cum ar fi: îmbătrânirea avansată a liantului bituminos, de acţiunea repetată a traficului greu, de infiltrarea apelor, acţiunea înghețului-dezgheţului dar mai ales de oboseala îmbrăcăminţii.

Ulterior execuţiei reciclării la rece in situ pe acest sector şi realizării pachetului de straturi bituminoase conform proiectului, au fost efectuate noi măsurători de capacitate portantă cu acelaşi echipament Dynatest FWD 8002, în aceleaşi condiţii de testare. Rezultatele au demonstrat o îmbunătăţire semnificativă a capacităţii portante şi a uniformităţii rezultatelor pe întreaga lungime a sectorului investigat.

CALE 1	
Tronson 1	
Temp medie=	3.50
Deflexiunea medie d_{BM}=	17.60
Deflexiunea medie cu corecții de temp d_{BM20}=	20.51
Abaterea medie patratică s_B=	5.25
Coeficient de variație C_v=	29.9%
Abaterea medie patratică cu corecții de temp s_{B20}=	6.12
Nr de pct măsurate t_α=	2.20
Deflexiunea caracteristică cu corecții de temp (0.01mm) d_c=	33.97

CALE 2	
Tronson 1	
Temp medie=	6.10
Deflexiunea medie d_{BM}=	14.37
Deflexiunea medie cu corecții de temp d_{BM20}=	16.37
Abaterea medie patratică s_B=	4.11
Coeficient de variație C_v=	28.59%
Abaterea medie patratică cu corecții de temp s_{B20}=	4.68
Nr de pct măsurate t_α=	2.20
Deflexiunea caracteristică cu corecții de temp (0.01mm) d_c=	26.66

Figura 4. Rezultate capacitate portantă după execuția stratului reciclat

Din analiza rezultatelor măsurătorilor se poate concluziona că sectorul pe care au fost realizate determinările are o capacitate portantă FOARTE BUNĂ, în conformitate cu prevederile CD 155.

Eliminarea zonelor punctuale de rigiditate redusă și asigurarea unui comportament uniform al structurii rutiere pe întreaga lungime a sectorului – tronson omogen – reprezintă unul dintre cele mai importante beneficii ale tehnologiei, beneficiu ce nu poate fi obținut prin metodele clasice de reparație localizată. Acest aspect poate fi observat și în cele două diagrame de mai jos, pentru ambele căi de rulare – variația în profil longitudinal a valorilor măsurate.

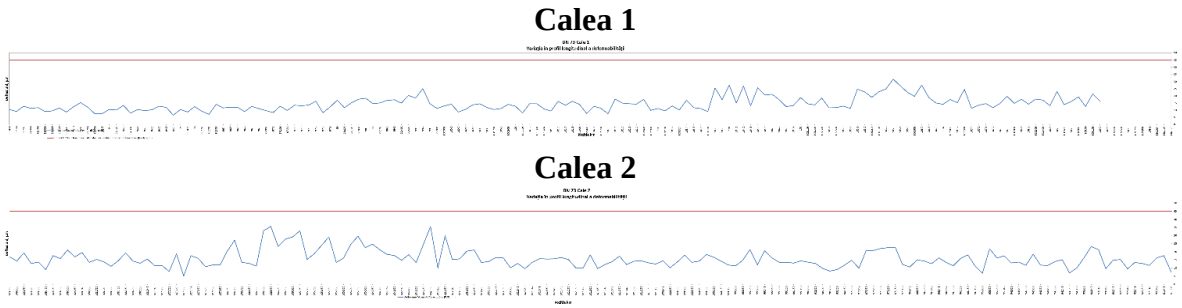


Figura 5. Diagrame ale deflexiunilor măsurate pe km 92+000 ÷ km 110+000 Calea 1, Calea 2 după execuția stratului reciclat

Analiza comparativă a rezultatelor de capacitate portantă obţinute cu deflectometrul dinamic Dynatest FWD, anterior şi ulterior execuţiei lucrărilor de reciclare la rece in situ pe DN 73, evidenţiază în mod concludent eficacitatea acestei tehnologii de reabilitare structurală.

Aceste rezultate confirmă faptul că procedeul de reciclare la rece in situ, prin omogenizarea materialului existent, adăugarea de emulsie bituminoasă şi liant hidraulic şi compactarea controlată, creează un strat reciclat cu proprietăţi mecanice net superioare structurii iniţiale degradate.

3. COMPARAŢII PRIVIND VARIANTA RECICLARE IN SITU VERSUS VARIANTA STRAT DE BAZĂ DIN MIXTURĂ ASFALTICĂ TIP ANROBAT BITUMINOS

Analiza urmăreşte evidenţierea diferenţelor privind consumul de materiale, necesarul de transport, utilizarea utilajelor, durata de execuţie şi costurile directe aferente fiecărei soluţii. Prin această abordare se doreşte demonstrarea faptului că tehnologia reciclării in situ poate constitui nu doar o alternativă sustenabilă, ci şi una competitivă din punct de vedere economic, în special în cazul proiectelor de reabilitare a drumurilor existente cu volume mari de lucrări şi resurse locale limitate.

Prin urmare se vor considera 3 tipuri de structuri rutiere:

- Structură rutieră clasică – frezare + aşternere pachet de 3 straturi din mixtură asfaltică (bază, legătură, uzură)
- Structură rutieră proiect DN 73 – reciclare in situ + aşternere pachet de 3 straturi din mixtură asfaltică (bază, legătură, uzură)
- Structură rutieră propusă – reciclare in situ + aşternere pachet de 2 straturi din mixtură asfaltică (legătură şi uzură)

3.1. Dimensionarea structurii rutiere

Se va considera acelaşi trafic rutier de perspectivă: N_{c15} = 2.02 m.o.s.

Tabelul 2. Cele 3 variante de structuri rutiere propuse pentru dimensionare

Denumirea materialului din strat	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3

	h (cm)	E (MPa)	μ	h (cm)	E (MPa)	μ	h (cm)	E (MPa)	μ
Beton asfaltic MAS16 rul 50/70	4	4200	0.35	4	4200	0.35	4	4200	0.35
Binder de criblură BAD22.4 leg 50/70	6	3600	0.35	6	3600	0.35	6	3600	0.35
Mixtură asfaltică AB31.5 bază 50/70	8	5600	0.35	8	5600	0.35	–	–	–
Frezare mixturi asfaltice existente				–	–	–	–	–	–
Straturi asfaltice reciclate (se asimilează cu balast stabilizat)	–	–	–	20	1000	0.27	20	1800*	0.27
Balast stabilizat existent	15	1000	0.27	15	1000	0.27	15	1000	0.27
Balast amestec optimal	70	267	0.27	70	267	0.27	70	267	0.27
Pământ tip P5	∞	70	0.42	∞	70	0.42	∞	70	0.42

Rezultate obținute în urma analizei celor trei variante de dimensionare ale sistemului rutier la solicitarea osiei standard cu ajutorul programului CALDEROM:

Tabelul 3. Rezultatele obținute în urma analizei celor 3 sisteme rutiere la solicitarea osiei standard

Nr. crt	Criteriu	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Criteriu admisibilitate
Rata de degradare la oboseală, RDO					RDO_{adm}
1	ε_r	86,10	66,00	40.80	
2	N_{adm}	8,88	25,52	172.25	
3	RDO	0,23	0,08	0.01	0,85
Tensiunea de întindere la baza stratului stabilizat					$\sigma_{r.adm}$
4	σ_r	0,123	0,088	0.090	0,204
Deformația specifică verticală la nivelul terenului de fundare					$\varepsilon_{z.adm}$
5	ε_z	140	108	97.10	576

Rezultatele verificărilor de dimensionare demonstrează că toate variantele analizate ale structurii rutiere îndeplinesc cerințele impuse de traficul de calcul, conform criteriilor prevăzute de Normativul PD 177-2001. Atât varianta clasică, cu strat de bază din mixtură asfaltică AB 31,5, cât și varianta cu reciclarea la rece in situ a straturilor asfaltice existente respectă condițiile privind comportarea la oboseală a straturilor bituminoase, tensiunea de întindere admisibilă la baza

stratului stabilizat şi deformaţia verticală admisibilă la nivelul pământului de fundare. Valorile calculate pentru rata de degradare la oboseală, tensiunile de întindere şi deformaţiile specifice verticale se situează sub limitele admisibile, ceea ce confirmă capacitatea ambelor structuri de a prelua solicitările produse de traficul estimat pe perioada de perspectivă.

Totodată, se observă că înlocuirea stratului din mixtură asfaltică AB 31,5 cu un strat reciclat la rece in situ conduce la rezultate îmbunătățite.

3.2. Costuri execuţie

Pentru evidenţierea diferenţei de preţ dintre cele două soluţii tehnice analizate, a fost făcută estimarea costurilor de execuţie în cele 2 ipoteze.

Tabelul 4. Evaluarea costurilor de execuţie/mp în cele 2 variante studiate

Denumire lucrare	Preţ/mp RON
Strat de Bază AB31.5 (8 cm)	75,54
Frezare asfalt existent (18 cm)	27,9
TOTAL	103,44
Reciclare la rece (20 cm)	50,2

Această diferenţă reprezintă economia directă obţinută prin aplicarea soluţiei de reciclare la rece in situ, comparativ cu varianta clasică ce presupune frezarea straturilor existente şi realizarea unui strat de bază nou din mixtură asfaltică AB 31,5.

Pe lângă acest câştig net rezultat din comparaţia costurilor directe de execuţie, soluţia de reciclare la rece in situ generează şi economii indirecte importante, care nu sunt reflectate integral în diferenţa de preţ calculată. Reutilizarea materialului existent în amplasament reduce semnificativ necesarul de transport pentru evacuarea materialului frezat şi pentru aprovizionarea cu agregate naturale sau mixturi asfaltice noi, ceea ce conduce la diminuarea consumului de combustibil, a uzurii utilajelor şi a timpilor logistici aferenţi şantierului. În acelaşi timp, prin reducerea consumului de materii prime şi valorificarea materialelor deja existente în structura rutieră, tehnologia contribuie la limitarea exploatării resurselor naturale şi la scăderea emisiilor asociate producerii şi transportului materialelor.

3.3. Evaluarea amprentei de CO_2

Studiul de caz a cuantificat amprenta de carbon a celor două soluții de reabilitare aplicabile unui tronson de drum național de 1 km lungime și 8 m lățime, pe modulele A1–A5 ale ciclului de viață. Rezultatele obținute sunt sintetizate în tabelul următor.

Tabelul 5. Evaluarea amprentei de CO_2

Indicator	Varianta 3 – Reciclare in situ	Varianta 1 – Frezare + AB 31,5	Diferența (1–3)	Reducere
Emisii totale (t CO_2e)	**66.1**	**102.3**	**(36.2)**	**35.4%**
Emisii specifice (kg CO_2e/m^2)	8.3	12.8	(4.5)	35.4%
Materiale, t CO_2e	54.9	79.9	(24.9)	31.2%
Transport, t CO_2e	2.0	14.4	(12.4)	86.4%
Punere în operă, t CO_2e	9.2	8.1	1.1	-13.8%
Material virgin consumat (t)	134.4	1,536.0	(1,401.6)	91.3%
Material transportat pe drumuri publice (t)	134.4	4,920.0	(4,785.6)	97.3%

Soluția de reciclare in situ la rece generează 66,1 t CO_2e pe kilometru de drum reabilitat, față de 102,3 t CO_2e în cazul soluției convenționale, ceea ce corespunde unei reduceri de 36,2 t CO_2e/km, respectiv de 35,4%.

4. CONCLUZII

4.1. Analiza rezultatelor

Analiza rezultatelor obținute în cadrul studiului confirmă faptul că reciclarea la rece in situ reprezintă o soluție tehnică viabilă și performantă pentru reabilitarea structurilor rutiere degradate.

Determinările efectuate înainte de execuție au evidențiat o capacitate portantă necorespunzătoare a structurii existente, caracterizată prin valori ridicate

ale deflexiunilor şi o variabilitate mare a acestora pe lungimea sectorului analizat, aspect ce indică o comportare neuniformă şi o stare avansată de degradare.

În schimb, rezultatele obţinute după aplicarea soluţiei de reciclare au demonstrat o îmbunătăţire semnificativă a capacităţii portante şi a omogenităţii structurii rutiere prin reducerea deflexiunilor măsurate cu deflectometrul cu sarcină dinamică reducând riscul apariţiei degradărilor locale şi sporind durata de exploatare a drumului.

Prin urmare, analiza rezultatelor susţine că reciclarea la rece in situ constituie o alternativă eficientă la soluțiile tradiționale, oferind avantaje tehnice clare pentru utilizarea acestei tehnologii în proiectele viitoare de modernizare şi reabilitare rutieră.

4.2. Analiza costuri implicate

În urma analizei de cost efectuate se constată că varianta de reciclare la rece in situ are un avantaj financiar semnificativ faţă de varianta clasică cu strat de bază din mixtură asfaltică tip anrobat bituminos. Diferenţa de cost evidenţiază eficienţa economică a reutilizării materialului existent din structură, prin reducerea consumului de materiale noi, a necesarului de transport şi a operaţiunilor tehnologice distincte.

Pe lângă acest câştig net rezultat din comparaţia costurilor directe de execuţie, soluţia de reciclare la rece in situ generează şi economii indirecte importante, care nu sunt reflectate integral în diferenţa de preţ calculată. Reutilizarea materialului existent în amplasament reduce semnificativ necesarul de transport pentru evacuarea materialului frezat şi pentru aprovizionarea cu agregate naturale sau mixturi asfaltice noi, ceea ce conduce la diminuarea consumului de combustibil, a uzurii utilajelor şi a timpilor logistici aferenţi şantierului. În acelaşi timp, prin reducerea consumului de materii prime şi valorificarea materialelor deja existente în structura rutieră, tehnologia contribuie la limitarea exploatării resurselor naturale şi la scăderea emisiilor asociate producerii şi transportului materialelor. Astfel, avantajul economic al reciclării este completat de un impact pozitiv asupra sustenabilităţii lucrărilor, soluţia fiind aliniată principiilor economiei circulare şi reducerii amprentei de carbon în infrastructura rutieră.

Un alt avantaj economic şi operaţional al reciclării la rece in situ este reducerea timpilor de aşteptare asociaţi aprovizionării cu materiale şi coordonării transporturilor către şantier. În varianta clasică, execuţia depinde de

disponibilitatea agregatelor, de funcţionarea staţiilor de producere a mixturilor asfaltice, de încărcarea mijloacelor de transport şi de condiţiile de trafic pe traseele de aprovizionare. Prin utilizarea materialului existent direct în amplasament, aceste etape sunt simplificate, ceea ce permite o continuitate mai bună a lucrărilor şi o reducere a perioadelor inactive ale utilajelor şi echipelor de execuţie. Totodată, diminuarea necesarului de agregate naturale conduce la scăderea emisiilor generate în etapa de extracţie, concasare, sortare şi manipulare a materialelor de carieră sau balastieră, activităţi care implică un consum ridicat de energie şi combustibil. Astfel, beneficiile reciclării nu se limitează la şantierul propriu-zis, ci se extind asupra întregului lanţ de producţie şi aprovizionare, contribuind la reducerea impactului asupra mediului încă din faza de obţinere a materiilor prime.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ARM, M., Descantes, Y., De la Roche, C., Pihl, K. A., Gaspar, L., Mollenhauer, K., Antunes, M. L., De Bock, L., McNally, C.: *„DIRECT-MAT: sharing knowledge and practices on recycling of road materials in Europe.”* University College Dublin Research Repository, **2009**.

[2]. BATISTA, F. A., Antunes, M. L., Mollenhauer, K., McNally, C.: *„Building blocks for a best practice guide on cold in-place recycling.”* Proiect Direct-Mat, EU 7th Framework Programme Transport, **2009–2011**.

[3]. COLAS IRELAND: *„Cold In-Situ Recycling.”* Colas Ireland Official Website. <https://colas.ie/contracting/recycling/>.

[4]. CORDIS Commission – European: *„DISmantling and RECycling Techniques for road MATerials – Sharing knowledge and practices (DIRECT_MAT).”* Grant Agreement ID: 218656, Proiect FP7, **2009–2011**.

[5]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII / MINISTERUL DEZVOLTĂRII, LUCRĂRILOR PUBLICE ȘI ADMINISTRAȚIEI: *Normativ privind reciclarea la rece a straturilor rutiere – indicativ AND 532-2022*, aprobat prin Ordinul nr. 1.431/1.746/2023, publicat în Monitorul Oficial nr. 766 din 24 august **2023**.

[6]. MÖLLENHAUER, K., Gáspár, L.: *„Synthesis of European knowledge on asphalt recycling: options, best practices and research needs.”* 5th Eurobitume & Eurasphalt Congress, Istanbul, Turkey, **2012**.

[7]. NORMATIV CD 155: *Normativ privind determinarea stării tehnice a drumurilor moderne*, **2001**.

[8]. NORMATIV PD 177 – *Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide*, **2001**.

[9]. ROADMAX CONSTRUCT / ROAD GROUP: *„Când este indicată reciclarea la rece a unui drum și cum se face”*, 19 februarie **2026**. <https://roadgroup.ro/cand-este-indicata-reciclarea-la-rece-a-unui-drum-si-cum-se-face/>

[10]. STRABAG / SAT Reabilitare Reciclare: *„Reconstrucția drumurilor prin reciclare la rece, de două ori mai rapidă și cu 30% mai puțin costisitoare – STRABAG.”* Economica.net/Romania TV, 27 octombrie **2023**. <https://www.economica.net/reconstructia-drumurilor-prin-reciclare-la-rece-de-doua-ori-mai-rapida-si-cu-30-mai-putin-costisitoare-strabag_702405.html>.

[11]. VIAROM CONSTRUCT: *„Drumurile eco se construiesc prin reciclarea materialelor”*, Arena Construcțiilor, 10 septembrie **2018**. <https://arenaconstruct.ro/drumurile-eco-se-construiesc-prin-reciclarea-materialelor/>

[12]. WIRTGEN GROUP: *„Cold in-situ recycling – Applications.”* Wirtgen Group Official Website. <https://www.wirtgen-group.com/en-lt/applications/road-construction/road-rehabilitation/cold-in-situ-recycling/>

INVESTIGAȚII NEDISTRUCTIVE CU ECHIPAMENTUL GPR GEORADAR ÎN LUCRĂRI DE DRUMURI UTILIZÂND SISTEMUL HYPERSTACKING 200HS

Negoiță Mihai Marian, ing., Serviciul GIS și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Ioniță Ștefan, dr.ing., Director Executiv, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Pâtiu Sorin, drd.ing., Director Direcția Inginerie și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Rampa de acces a unui pod suspendat a prezentat degradări structurale manifestate prin tasări ale terasamentului și fisuri în zona culeei. Pentru identificarea cauzelor, fără intervenții invazive asupra infrastructurii, au fost realizate investigații geofizice nedistructive, utilizând tehnologia georadar (GPR). Măsurătorile au fost efectuate cu sistemul HyperStacking 200HS, echipat cu o antenă de 200 MHz și tehnologie avansată de îmbunătățire a raportului semnal–zgomot. Acest sistem permite investigarea subsolului până la aproximativ 21 m adâncime, în condiții geologice favorabile, oferind o capacitate de explorare superioară sistemelor GPR convenționale și facilitând identificarea anomaliilor situate la adâncimi mari. Scanarea rampei și a culeei a fost realizată cu o antenă digitală wireless GSSI 200HS, controlată printr-o tabletă Panasonic Toughpad G2. Poziționarea exactă a profilelor radar a fost asigurată de un receptor GNSS RTK Emlid Reach RS2+, cu precizie centimetrică în timp real. Sistemul a fost calibrat cu ajutorul unei roți de măsurare, iar parametrii de achiziție au fost configurați pentru investigarea adâncimilor de interes. Interpretarea datelor a evidențiat defecte structurale semnificative în corpul rampei și în zona culeei. A fost identificat un front de tasare al terenului de fundare până la aproximativ 3 m adâncime, sugerând o compactare insuficientă sau pierderea materialului de umplutură. De asemenea, în zona zidului de sprijin tip U al culeei, a fost observată o fisură cu o deschidere de aproximativ 3 cm. În proximitatea acesteia, datele GPR au indicat discontinuități și atenuări ale semnalului, asociate infiltrării apei și unei posibile separări între umplutură și zid. Rezultatele au demonstrat eficiența sistemului HyperStacking 200HS în identificarea tasărilor, fisurilor și a zonelor cu potențial de instabilitate, oferind informații esențiale pentru proiectarea măsurilor de remediere și consolidare a infrastructurii.

Cuvinte cheie: georadar (GPR), tasări, degradări structurale, suprafețe de alunecare.

Abstract

The access ramp of a suspension bridge exhibited structural deterioration manifested by settlement of the embankment fill and cracking in the abutment area. To identify the causes of

these defects without invasive intervention, non-destructive geophysical investigations were carried out using Ground Penetrating Radar (GPR). The survey was performed with the HyperStacking 200HS system, equipped with a 200 MHz antenna and advanced signal enhancement technology that improves the signal-to-noise ratio and penetration depth. Under favorable geological conditions, the system can investigate the subsurface to depths of approximately 21 m, providing superior exploration capability compared to conventional GPR systems and enabling the detection of deep-seated anomalies. The ramp and abutment were scanned using a wireless digital GSSI 200HS antenna, controlled through a Panasonic Toughpad G2 tablet. Precise positioning of the radar profiles was ensured by an Emlid Reach RS2+ GNSS RTK receiver, providing centimeter-level real-time accuracy. The system was calibrated using a survey wheel, and acquisition parameters were configured to investigate the target depth range. Data interpretation revealed significant structural defects within the embankment body and the abutment area. A settlement front extending to a depth of approximately 3 m was identified, indicating insufficient compaction or loss of fill material. Additionally, a crack with an opening of approximately 3 cm was observed in the U-shaped retaining wall of the abutment. In the vicinity of this crack, GPR data showed signal attenuation and subsurface discontinuities, suggesting water infiltration and a possible separation between the backfill material and the retaining structure. The results demonstrated the effectiveness of the HyperStacking 200HS system in detecting settlements, cracks, and potentially unstable zones. The investigation provided essential information for the design of remediation and stabilization measures, contributing to the long-term safety and performance of the bridge infrastructure.

Keywords: Ground Penetrating Radar (GPR), settlements, structural deterioration, slip surfaces.

1. INTRODUCERE

Siguranța și durabilitatea infrastructurilor rutiere depind în mare măsură de stabilitatea fundațiilor și a terasamentelor. Rampele de acces la poduri suspendate, în special zona culeelor și a zidurilor de sprijin adiacente, sunt supuse unor factori care pot genera defecte ascunse în corpul drumului – de la compactări neuniforme ale umpluturii, la infiltrații de apă, ce pot slăbi structura de rezistență. Identificarea din timp a acestor probleme este esențială pentru a preveni degradarea accentuată a drumului sau chiar compromiterea siguranței podului. Metodele tradiționale de investigare a terasamentelor (sondaje geotehnice, foraje, excavări) sunt invazive, costisitoare și oferă informații punctuale. În schimb, tehnicile geofizice nedistructive, precum georadarul (Ground Penetrating Radar –

GPR), permit o cartografiere rapidă şi continuă a structurii interne a drumului, fără a afecta integritatea acestuia.

Studiul de față prezintă aplicarea tehnologiei GPR pentru investigarea unei astfel de rampe de acces, unde au fost semnalate tasări anormale şi fisuri în zona culeei. S-a optat pentru un sistem georadar avansat – antena digitală HyperStacking 200HS, produsă de GSSI – datorită necesităţii de a obține o penetrare mare în teren și un contrast bun al semnalului în condiții dificile. Tehnologia HyperStacking reprezintă un salt generațional în domeniul GPR, permițând achiziția ultra-rapidă a datelor prin înregistrarea și suprapunerea (stacking) repetată a semnalelor dintr-un singur impuls transmis. Această abordare brevetată reduce drastic zgomotul aleator din date și îmbunătățește considerabil claritatea radargramelor obținute, făcând posibilă detectarea unor diferențe subtile în interiorul terasamentelor la adâncimi mult mai mari decât cele accesibile anterior. În plus, sistemul 200HS este conceput pentru aplicații geotehnice și geofizice ce necesită fiabilitate ridicată în condiții de lucru dificile – cum ar fi zone cu teren variabil sau cu nivel freatic ridicat.

În cadrul investigației, obiectivele principale au fost:

- identificarea extinderii în profunzime a zonei tasate observate la suprafață;
- detectarea eventualelor planuri de alunecare sau zone de instabilitate;
- evaluarea gradului de afectare a contactului dintre umplutura rampei și structurile de sprijin (zidul U al culeei).

Prin corelarea datelor GPR cu observațiile de la suprafață, s-a urmărit obținerea unei imagini cât mai complete a stării de fapt, în vederea fundamentării unor măsuri adecvate de intervenție.

2. METODOLOGIE

Pentru investigarea zonei s-a folosit un sistem georadar GSSI din seria GS, reprezentat în figura 1, alcătuit dintr-o antenă 200 HS (HyperStacking) de 200 MHz și un modul de control wireless, împreună cu o tabletă Panasonic Toughpad G2, utilizată ca interfață de achiziție. Antena 200HS a fost montată pe un cărucior dotat cu roată metrică (odometru), permițând declanșarea achiziției de date în modul dependent de distanță. Astfel, la deplasarea uniformă a antenei pe suprafața terenului, sistemul a înregistrat automat o densitate ridicată de scanări radar pe unitatea de lungime, asigurând o rezoluție orizontală optimă a profilului. Tableta G2 comunică cu antena prin rețea WiFi și rulează software-ul dedicat

GPR (echivalent funcțional unității GSSI SIR-4000, integrată în modulul HS). De asemenea, pentru georeferențierea precisă a datelor, s-a utilizat un receptor GNSS RTK Emlid Reach RS2+, montat pe cadrul antenei. Acesta furnizează coordonate în timp real cu o acuratețe de ordinul centimetrilor, prin conectare Bluetooth la tabletă, permițând înregistrarea poziției fiecărei scanări GPR.

Măsurătorile s-au efectuat pe teren în condiții de șantier, suprafața rampei fiind acoperită cu îmbrăcăminte asfaltică ușor denivelată din cauza tasărilor. S-au trasat mai multe profile GPR în zonele critice:

- de-a lungul axului rampei, pe direcție longitudinală către culee (pentru a surprinde eventuale planuri de alunecare orientate spre pod);
- transversal față de ax, în apropierea culeei (pentru a investiga extinderea laterală a tasărilor și existența unor planuri de alunecare transversale);
- în proximitatea zidului de sprijin al culeei, perpendicular pe acesta (cu scopul de a examina contactul umpluturii cu zidul și posibilele goluri sau infiltrații asociate fisurii observate).

Lungimea profilelor a variat între aproximativ 20 m și 30 m, acoperind zona afectată și extinzându-se în zone aparent stabile pentru comparație.



Figura 1. Echipament GPR HyperStacking 200HS

Achiziția datelor GPR a fost calibrată pentru a atinge adâncimi de până la circa 15 m, considerând că principalele anomalii investigate (planuri de alunecare) au fost anticipate în intervalul 0–12 m adâncime. S-a selectat o fereastră temporală corespunzătoare (~300 ns), care, presupunând o viteză de propagare a undei radar de ~0,1 m/ns în solul uscat, corespunde unei adâncimi de aproximativ 15 m. În zonele saturate cu apă, viteza efectivă scade (până la ~0,06–0,08 m/ns), însă atenuarea este principalul factor limitativ. Din acest motiv, contribuția tehnologiei HyperStacking a fost esențială: prin stivuirea semnalelor și creșterea raportului semnal-zgomot, antena 200HS a reușit să detecteze reflexii utile chiar și din zone cu umiditate ridicată, unde un GPR convențional ar fi înregistrat preponderent zgomot.



Figura 2. Interfață soft colectare date brute

Datele brute colectate au fost prelucrate ulterior folosind software specializat GSSI RADAN7. S-au aplicat corecții și filtre standard: eliminarea ecoului de suprafață și a zgomotului de fond (filtru de background removal), filtrare bandă-pass (IIR) pentru atenuarea frecvențelor nedorite, precum și amplificare (gain) variabilă pe adâncime pentru evidențierea detaliilor din zonele mai profunde.



Figura 3. Interfață soft RADAN7 prelucrare date brute

De asemenea, s-a efectuat o corecție de timp-zero (alinierea începutului semnalului reflectat la suprafața terenului) și o conversie a timpilor de întârziere în adâncimi, pe baza unei estimări de viteze calibrate din literatură și observații (în lipsa unui calibrator de velocitate in situ). Radargramele rezultate au fost apoi interpretate, identificându-se anomaliile sub forma reflexiilor puternice, a întreruperilor stratificației normale ori a zonelor cu atenuare accentuată a semnalului. Aceste caracteristici au fost corelate cu posibile defecte fizice identificate în teren.

Trei dintre profilurile cele mai relevante sunt prezentate în cele ce urmează, împreună cu interpretarea lor geotehnică.

Investigațiile GPR au relevat clar anomaliile subterane corespunzătoare degradărilor observate la suprafață. Datele obținute confirmă existența unei zone de tasare în materialul de umplutură din spatele culeei, precum și dezvoltarea unor planuri de alunecare profunde în masa rampei.

De asemenea, analiza radargramelor a evidențiat efectele fisurii din zidul de sprijin: infiltrarea apei și potențiala pierdere a contactului strâns dintre terasament și structura de beton. În continuare sunt prezentate trei radargrame reprezentative, afișate în scară de gri, împreună cu interpretările asociate.

În timpul investigațiilor s-a determinat un profil GPR longitudinal (figura 4), de aproximativ 20 m lungime, realizat de-a lungul rampei către culee (zona culeei se află spre dreapta imaginii). Se observă, la adâncimi de 8–12 m, un set de reflectori înclinați (în dreapta profilului), care converg spre suprafață în direcția culeei. Aceste reflexii configurează un posibil plan de alunecare orientat longitudinal, lângă culee, indicând deplasarea materialului de umplutură. Zona de

sub acest plan prezintă o atenuare pronunțată a semnalului (contrast scăzut, evidențiat prin lipsa reflectorilor adânci sub ~10 m în dreapta), sugerând prezența unei mase de sol puternic umezite sau cu structura dezorganizată. În stânga profilului (spre zona mai depărtată de culee/pod), stratificația se prezintă relativ uniform până la ~5 m adâncime, de unde se remarcă un orizont reflector continuu (posibil fundația rampei sau nivelul unui strat mai compact), peste care nu apar perturbații majore – indicând că acea porțiune a rampei este neafectată de instabilitate.

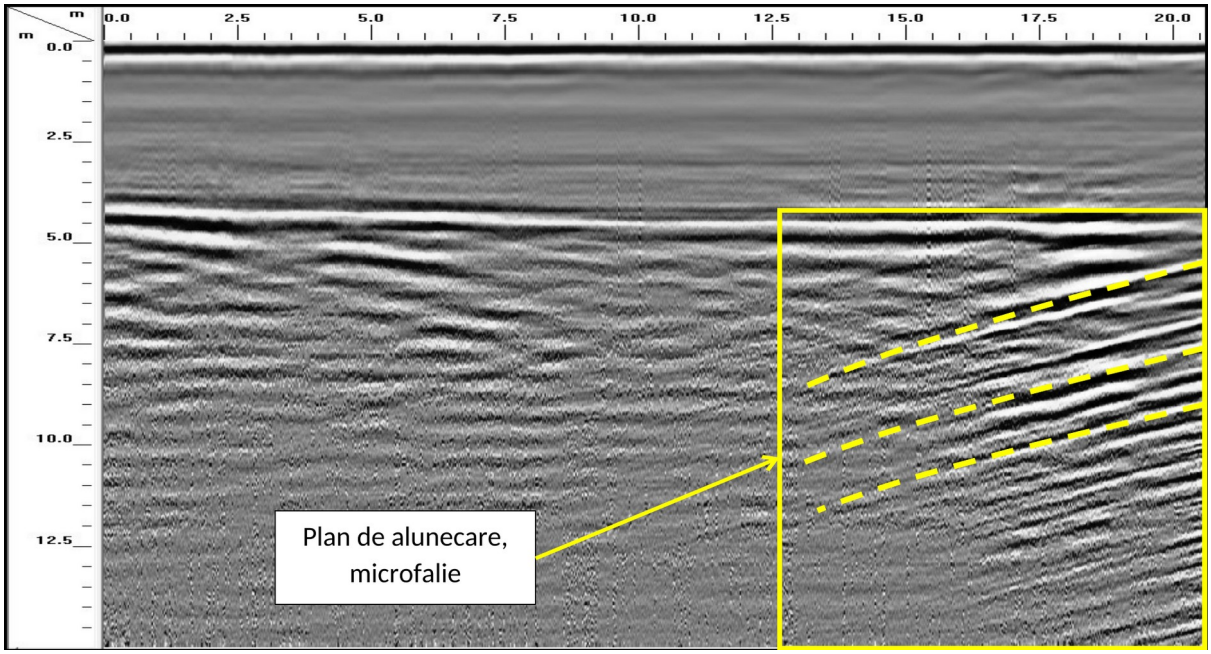


Figura 4. Profil GPR culee+zid U

Un alt profil GPR transversal de aproximativ 25 m lungime efectuat perpendicular pe direcția de dezvoltare a zidului U (figura 5), în apropierea culeei, a fost determinat în zona paralelă cu zidul U. În această secțiune se remarcă două anomalii situate spre marginile rampei: în stânga (lângă zidul de sprijin al culeei) și în dreapta (către marginea exterioară a rampei). Ambele anomalii apar ca zone cu reflexii haotice și întreruperi ale straturilor orizontale, concentrate în intervalul 4–7 m adâncime. Acestea indică existența a două planuri de alunecare distincte, orientate transversal față de axul rampei (aproximativ paralele cu planul imaginii). Planul din stânga, în dreptul culeei, delimitează o masă de sol care pare să fi alunecat spre exterior, depărtându-se de zid, iar planul din dreapta sugerează o instabilitate către marginea taluzului rampei. Se poate observa că de-a lungul ambelor planuri apar reflexii puternice, indicând probabil suprafețe de rupere pe care s-a acumulat apă (contrastul dielectric ridicat la interfața apă-sol generează

ecouri mai puternice). Între cele două zone perturbate, partea centrală a profilului prezintă straturi relativ continue până la ~5 m adâncime, ceea ce sugerează că mijlocul rampei este mai puțin afectat de alunecare în secțiunea investigată.

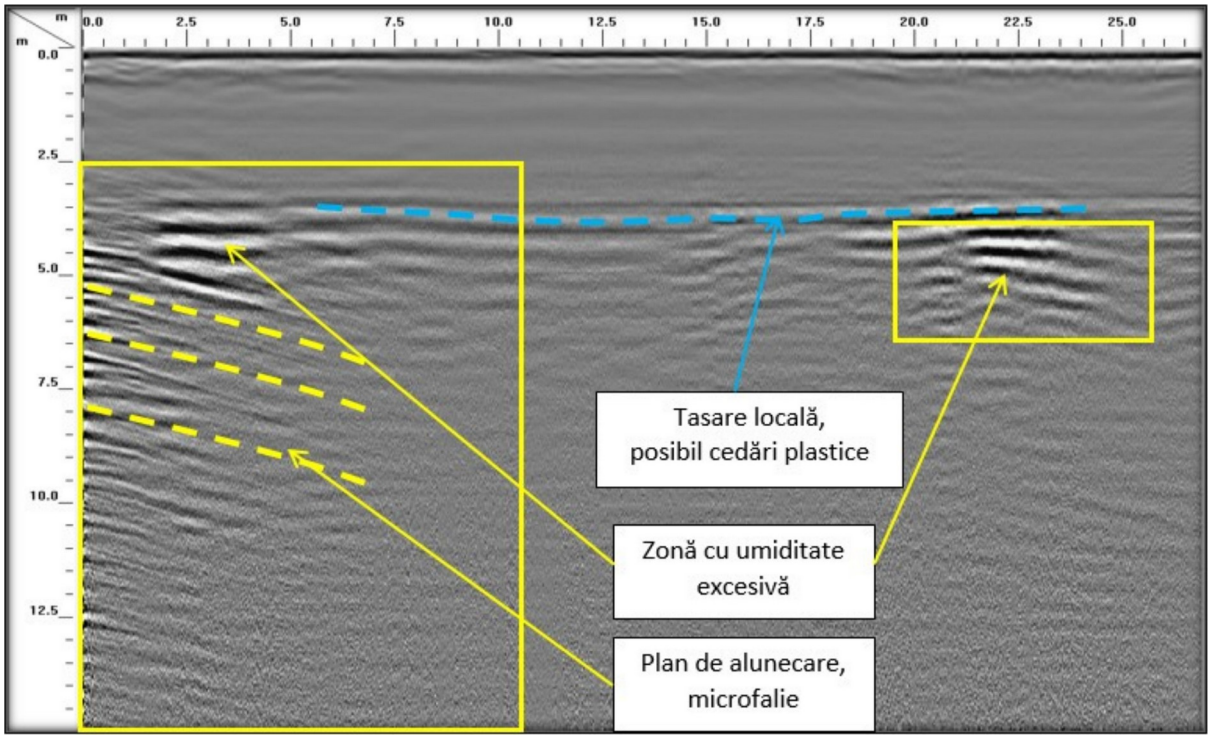


Figura 5. Profil GPR culee+zid U

Profil GPR realizat în imediata apropiere a culeei, paralel cu zidul de sprijin „U”, iar zidul se află la poziția ~20 m pe axa orizontală a imaginii (figura 6). Acest profil superficial (0–6 m adâncime) evidențiază clar efectele tasării și ale fisurii observate. În jumătatea stângă (0–18 m) se observă o scădere treptată a nivelului reflexiilor de la suprafață către adâncime (până la ~3 m), indicând o zonă tasată unde materialul de umplutură s-a compactat sau s-a consolidat neuniform. Lângă zid (în jurul poziției 18–20 m), apar anomalii sub forma unor reflexii difuze și a unor zone aproape lipsite de semnal imediat în spatele zidului.

Acestea pot semnala existența unui gol sau a unei zone de contact slab între umplutură și zid, creat probabil de desprinderea umpluturii ca urmare a fisurii de 3 cm din zid și a infiltrării apei. Reflexiile puternice de la baza părții drepte a profilului (5–6 m adâncime la ~20 m orizontal) corespund probabil fundației zidului de sprijin sau altei structuri rigide; imediat deasupra, însă, semnalul este haotic și atenuat, ceea ce confirmă perturbarea cauzată de infiltrații. Acest profil arată că fisura de lângă zid a condus la pătrunderea apei în terasament și la tasarea zonei adiacente, punând în pericol stabilitatea culeei dacă fenomenul ar progresa.

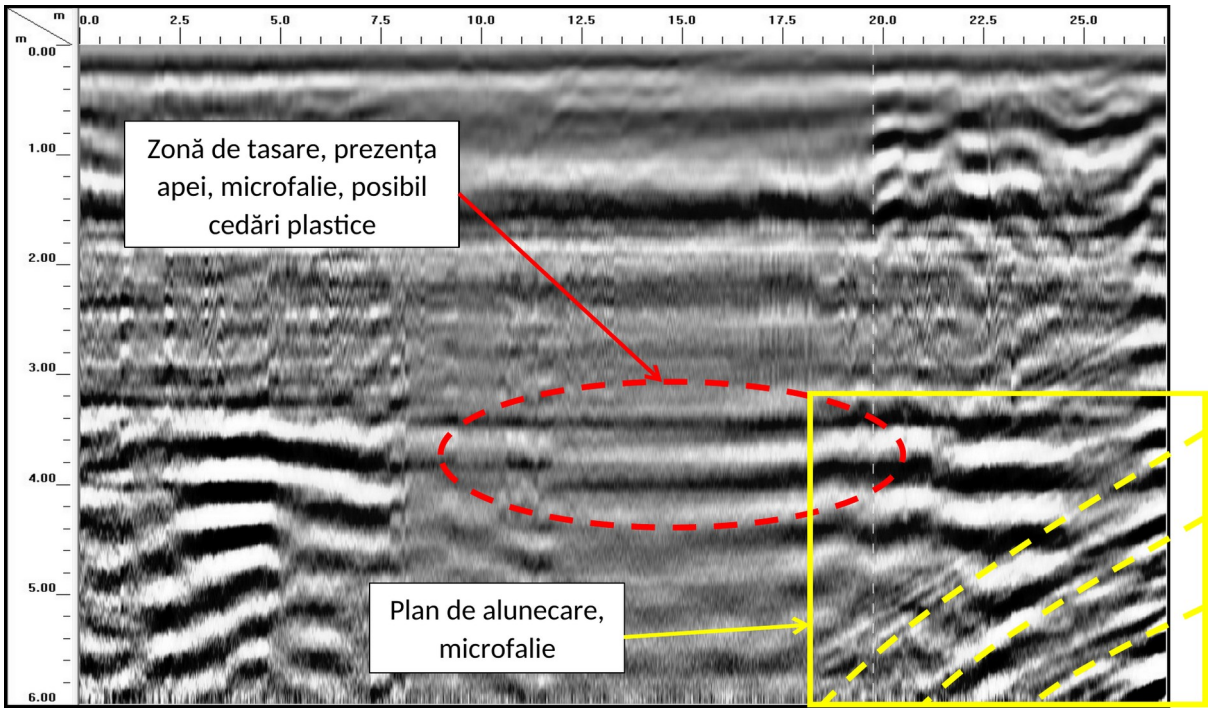


Figura 6. Profil GPR culee

3. CONCLUZII

Aplicarea tehnologiei georadar HyperStacking 200HS în investigarea rampei de acces a podului suspendat s-a dovedit extrem de eficientă pentru identificarea defectelor ascunse în terasament. Prin metoda nedistructivă adoptată, s-au putut obține rapid informații detaliate despre starea internă a umpluturii și interacțiunea acesteia cu structurile de sprijin, fără perturbarea traficului sau a elementelor constructive. Rezultatele obținute – evidențierea tasărilor până la 3 m adâncime, a fisurii din zidul culeei și a planurilor de alunecare extinse între 2,5 m și 12 m adâncime – au oferit o imagine clară a mecanismului de degradare în curs.

Astfel, s-a concluzionat că fisura de lângă zidul U și tasarea aferentă au fost cauzate de slăbirea și deplasarea materialului de umplutură pe planuri de alunecare interne, facilitate de prezența apei (infiltrații) în corpul rampei.

Un aspect important evidențiat de acest studiu este performanța superioară a sistemului HyperStacking în condiții dificile de lucru. Chiar și în zonele cu umiditate ridicată, unde echipamentele GPR convenționale ar fi atins limitele de penetrare, antena 200HS a furnizat date utile de până la 10–12 m adâncime, demonstrând robustețe și un raport semnal-zgomot îmbunătățit în terenuri

problematice. Acest lucru confirmă avantajele teoretice ale tehnologiei HyperStacking menționate de producător, transpunându-le în beneficii practice pentru inginerii geotehnicieni și de drumuri.

Nu în ultimul rând, integrarea receptorului GPS de înaltă precizie a permis corelarea spațială exactă a anomaliilor detectate cu pozițiile lor din teren, facilitând planificarea intervențiilor viitoare. Pe baza hărților rezultate, se pot lua măsuri informate de remediere, cum ar fi injecții de stabilizare în zonele tasate sau drenaje pentru eliminarea excesului de apă de pe suprafețele de alunecare.

Studiul de față subliniază utilitatea investigării nedistructive cu georadar în domeniul lucrărilor de drumuri și poduri, în special atunci când se dispune de echipamente avansate care extind limita de detecție. Tehnologia HyperStacking 200HS și-a demonstrat capacitatea de a oferi o imagine subterană detaliată chiar și în condiții nefavorabile, constituind un instrument valoros pentru monitorizarea și întreținerea preventivă a infrastructurilor rutiere.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ASTM International (2019). ASTM D6432-19. *Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation*. **2019**.

[2]. *GSSI HyperStacking Technology Documentation*. Geophysical Survey Systems, Inc.

[3]. *200HS Antenna Instruction Manual*. Geophysical Survey Systems, Inc.

[4]. *RADAN 7 User Manual and Processing Guide*. Geophysical Survey Systems, Inc.

DEZVOLTAREA ȘI ETAPA DE TRANZIȚIE DE LA CONCEPT LA IMPLEMENTARE A TRENULUI METROPOLITAN ÎN ROMÂNIA

Nică Ioan Flaviu, asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate și Materiale de Construcții, e-mail: flaviu.nica@utcb.ro
Roșeanu Ștefan, drd, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, e-mail: stefan.roseanu@stud.mec.upb.ro

Rezumat

Prezența infrastructurii de transport feroviar pe teritoriul României a facilitat introducerea serviciilor de transport feroviar pentru călătoriile regulate din zona marilor orașe. Inițiate timid, în anul 2021, în București, serviciile au fost adoptate și dezvoltate, fiind într-un proces continuu de dezvoltare în preajma majorității marilor orașe, precum Cluj-Napoca, Oradea, Brașov, Târgu Mureș, Iași, Timișoara, Sibiu și Constanța, ajungând în prezent la 13 proiecte recunoscute. Prezența acestora a necesitat introducerea în legislație a posibilității de asociere între unica companie de administrare a infrastructurii feroviare din România, CFR S.A., și unitățile administrativ-teritoriale (UAT) care doresc să implementeze serviciile, demers inițiat în 2020 și actualizat până în prezent. Stadiul actual al unor proiecte este prezentat succint pentru orașele: Iași, Cluj-Napoca, Oradea, Sibiu, Brașov și Târgu Mureș, cu evidențierea infrastructurii feroviare beneficiare. Alocarea de fonduri pentru dezvoltarea serviciilor în actualul ciclu financiar al Uniunii Europene și perspectivele sunt analizate.

Cuvinte cheie: cale ferată, tren metropolitan, infrastructură feroviară, mobilitate, transport verde

Abstract

The existing railway infrastructure in Romania has enabled the introduction of rail services for regular commuting in the areas surrounding large cities. Launched cautiously in Bucharest in 2021, these services have since been adopted and are continuously developing around most major cities, such as Cluj-Napoca, Oradea, Brașov, Târgu Mureș, Iași, Timișoara, Sibiu and Constanța. There are currently 13 recognised projects. Their emergence required legislative changes allowing partnerships between CFR S.A., the sole railway infrastructure manager in Romania, and the territorial administrative units (TAUs) wishing to implement such services. This process began in 2020 and has been updated ever since. The paper briefly presents the current status of the projects in Iași, Sibiu, Brașov, Târgu Mureș, Oradea and Cluj-

Napoca and highlights the railway infrastructure they use. It also analyses how funds for these services are allocated within the current European Union financial framework, together with future prospects.

Keywords: railway, metropolitan train, railway infrastructure, mobility, green transport

1. INTRODUCERE

Trenul metropolitan a trecut de la concept la realitate în România în decurs de câțiva ani, prima inițiativă concretizată printr-un document oficial asumat de către o autoritate, fiind în anul 2021, de către Asociația de Dezvoltare Intercomunitară pentru Transport Public București – Ilfov, autoritate care gestionează transportul public la nivelul celor două unități administrativ-teritoriale, prin Studiu privind oportunitatea „Introducerii și, ulterior, dezvoltării serviciilor de tren urban și metropolitan București – Ilfov”. [1]

Ulterior, o serie de localități au trecut de la noțiunea de concept la prioritate locală – regională, la nivelul anului 2026 existând următoarele inițiative în curs de dezvoltare și diverse stadii pentru care s-au realizat parteneriate între administratorul unic de rețea din România Compania Națională de Căi Ferate „C.F.R.” — S.A.:[2]

- Introducerea și, ulterior, dezvoltarea serviciilor de tren urban și metropolitan București – Asociația de Dezvoltare Intercomunitară pentru Transport Public București-Ilfov
- Dezvoltarea rețelei de tram – train metropolitan Oradea – Consiliul Județean Bihor
- Reînnoirea căii de rulare pe tronsonul liniei CF Reșița Nord – Reșița Sud, unitatea administrativ-teritorială (U.A.T.) municipiul Reșița
- Reabilitare/Modernizare infrastructură feroviară Reșița Nord – Timișoara Nord, cu extensie Voiteni — Stamora-Moravița — Frontieră U.A.T. Reșița și Timișoara, U.A.T. județul Caraș-Severin și județul Timiș
- Realizare conexiune feroviară cu Aeroportul Internațional Brașov–Ghimbav – Consiliul Județean Brașov
- Extinderea transportului terestru prin dezvoltarea serviciilor de tren urban și metropolitan în Zona Metropolitană Iași – Asociația Metropolitană de Transport Public Iași

- Dezvoltarea serviciilor de tren urban pe semiinelul feroviar de nord – Primăria Municipiului București

- Introducere a transportului electric — Tren Periurban Sibiu – U.A.T. municipiul Sibiu și U.A.T. comuna Șelimbăr

- Tren Metropolitan Gilău – Cluj-Napoca – Bonțida — etapa I a sistemului de transport metropolitan rapid Cluj: componenta 2. Tren Metropolitan – Cluj – U.A.T. Cluj-Napoca, Apahida, Baciu, Bonțida, Gârbău, Jucu

- Tren Metropolitan Brașov – Asociația de Transport Brașov

- Tren Metropolitan Mureș – Asociația de Dezvoltare Intercomunitară de Transport Public Feroviar „Tren Metropolitan Mureș”

- Tren Metropolitan Timișoara – U.A.T. municipiul Timișoara

- Introducerea și, ulterior, dezvoltarea serviciilor de Tren Metropolitan Constanța – A.D.I. Dezvoltare Durabilă a Județului Constanța

2. CONTEXT LEGISLATIV ACTUAL

Cadrul juridic aplicabil dezvoltării trenului metropolitan reunește norme privind organizarea transportului feroviar, administrarea infrastructurii, cooperarea interinstituțională și realizarea investițiilor publice. Deși legislația națională nu consacră trenul metropolitan drept categorie tehnică distinctă, aceasta permite organizarea serviciilor feroviare urbane, suburbane și regionale, precum și dezvoltarea infrastructurii aferente.

Temeiul principal al cooperării dintre autoritățile locale și instituțiile feroviare îl constituie Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 12/1998. Potrivit art. 11^2, autoritățile administrației publice locale și asociațiile de dezvoltare intercomunitară pot propune Ministerului Transporturilor și Infrastructurii încheierea unor acorduri de asociere în participațiune pentru proiecte de interes local, județean, zonal sau regional. Acestea pot viza infrastructura feroviară publică și bunurile imobile deținute sau administrate de entități feroviare cu capital integral de stat. [3]

Procedura este detaliată în Hotărârea Guvernului nr. 187/2023, care reglementează documentația, responsabilitățile și etapele de pregătire a proiectelor. Autoritatea locală trebuie să fundamenteze oportunitatea intervenției, să constituie structura de gestionare și echipa de implementare și să justifice eficiența parteneriatului. După aprobarea proiectului, părțile pot încheia protocolul de implementare, pot elabora documentația tehnico-economică și pot formaliza acordul de asociere și contractul de activitate locală. [4]

Competenţele administratorului infrastructurii sunt stabilite prin Legea nr. 202/2016, care reglementează operarea, întreţinerea, reînnoirea şi dezvoltarea reţelei, precum şi accesul şi alocarea capacităţilor de infrastructură. În consecinţă, proiectele metropolitane trebuie corelate cu traficul feroviar existent şi cu principiile accesului transparent şi nediscriminatoriu. Intervenţiile pot include modernizarea liniilor, a instalaţiilor şi a staţiilor, electrificarea, realizarea unor racorduri şi îmbunătăţirea accesibilităţii. [5]

Pentru liniile ferate industriale şi infrastructurile neadministrate de C.F.R. S.A. sunt relevante prevederile Ordonanţei Guvernului nr. 60/2004, inclusiv cerinţele privind autorizarea operatorilor şi protecţia infrastructurii feroviare. [6], [7] Proiectele trebuie să respecte şi normele generale privind administraţia publică, patrimoniul, urbanismul, autorizarea lucrărilor şi calitatea în construcţii.

Cadrul actual permite autorităţilor locale să iniţieze şi să cofinanţeze proiecte de tren metropolitan, fără a le transfera automat administrarea infrastructurii sau organizarea circulaţiei. Implementarea necesită delimitarea clară a responsabilităţilor dintre autoritatea locală, Ministerul Transporturilor şi Infrastructurii, administratorul infrastructurii, autoritatea competentă pentru serviciile publice şi operatorul feroviar. Prin urmare, studiul de oportunitate trebuie să clarifice regimul patrimonial, soluţia instituţională, sursele de finanţare şi obligaţiile privind exploatarea şi întreţinerea.

3. PROIECTE ŞI SERVICII – STADIU ŞI PERSPECTIVE

3.1. Tren metropolitan Iaşi

Proiectul trenului metropolitan Iaşi se află în faza de identificare a finanţării, Studiul de Fezabilitate fiind aprobat de către toate entităţile implicate, iar proiectul este depus pentru finanţare cu fonduri europene.

În ceea ce priveşte traseele analizate în cadrul studiului de fezabilitate se regăsesc trei secţii după cum urmează: [8]

- Tronson Podu Iloaiei – Nicolina, face parte din linia de cale ferată Paşcani – Iaşi – Frontieră, are o lungime de aproximativ 30 km.

- Tronson Nicolina – Cristeşti Jijia, face parte din linia de cale ferată Paşcani – Iaşi – Frontieră, lungimea aprox. 13,08 km. Linia simplă este electrificată între Nicolina – Socola şi neelectrificată între Socola – Cristeşti Jijia.

- Tronson Nicolina – Bârnova, face parte din linia de cale ferată Tecuci Nord-Iaşi (Nicolina), lungime de aprox. 16,30 km, linia este dublă neelectrificată.

- Staţia Bârnova (km 388+081 – 390+433), liniile sunt neelectrificate, viteza trenurilor de călători este de 95 km/h.

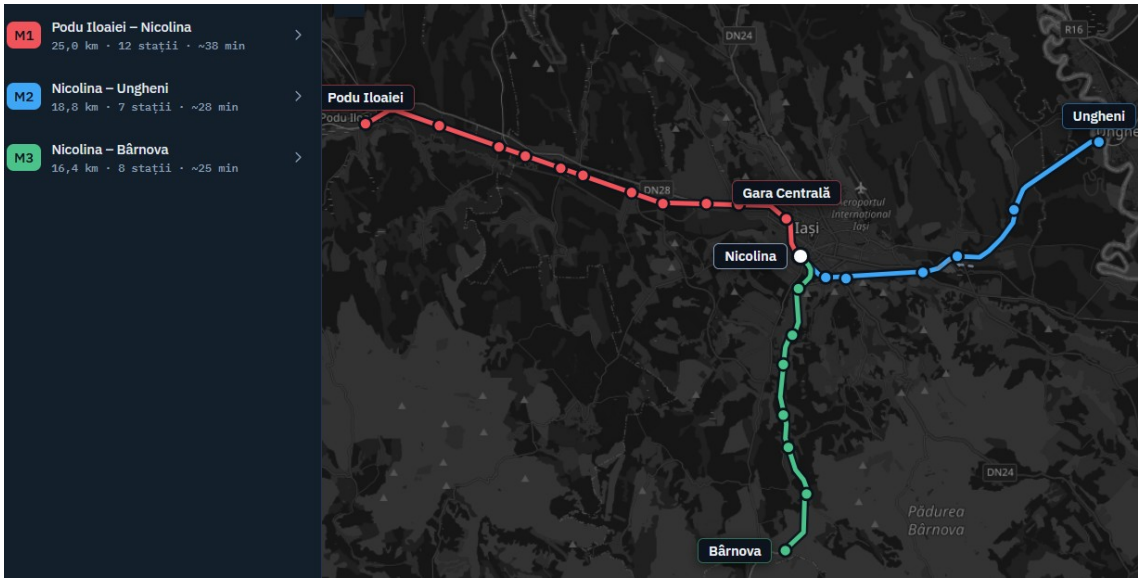


Figura 1. Trasee propuse pentru introducerea trenului metropolitan Iaşi [9]

Sintetic prin obiectivul „Extinderea Transportului Terestru prin dezvoltarea serviciilor de tren urban şi metropolitan în Zona Metropolitană Iaşi”, se urmăresc: construirea a 2 pasaje rutiere şi a 4 pasaje pietonale; înfiinţarea a 16 puncte de oprire noi şi reabilitarea a 7 staţii existente; reabilitarea a 8 (opt) TN-uri şi desfiinţarea a 2 TN; electrificarea şi întregirea liniei de cale normală CET Socola – Holboca; amenajarea PID-urilor pentru accesul publicului călător prin construirea de peroane înalte; refacerea spaţiilor verzi şi a elementelor peisagistice din vecinătatea infrastructurii. [9]

3.2. Tren metropolitan Sibiu – „Tren Periurban Sibiu”

Proiectul trenului metropolitan Sibiu se află în faza de licitaţie pentru întocmirea Studiului de Fezabilitate.

Obiectivul proiectului este elaborarea soluţiei optime, atât din punct de vedere tehnic, cât şi din punct de vedere economic, pentru introducerea transportului electric în Sibiu prin trenul periurban pe traseul în lungime de aproximativ 16 km care urmează calea ferată existentă, aflată în operare, între staţiile: Gara Şelimbăr – Sibiu Triaj – Ateliere zonă – Gara Sibiu – halta Sibiu –

Halta Turnişor. Din cartierul Turnişor, traseul continuă pe 2 ramificaţii: pe linie de cale ferată operabilă – până în cartierul Tilişca şi pe linie de cale ferată industrială – până la Aeroport şi Zona Industrială Vest.

Traseele solicitate a fi analizate sunt: traseu 1: Şelimbăr – Gara Sibiu – Zona Industrială de Vest (Aeroport) şi traseu 2: Şelimbăr – Gara Sibiu – Turnişor – Tilişca. [10]

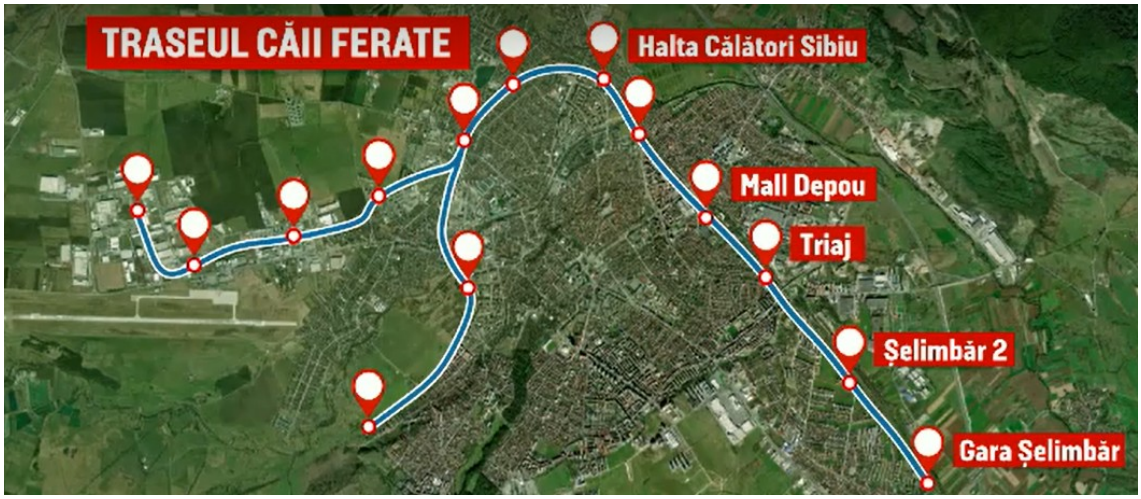


Figura 2. Trasee propuse pentru introducerea trenului metropolitan Sibiu [11]

3.3. Tren metropolitan Braşov

Proiectul trenului metropolitan Braşov se află în faza de aprobare a cererii de finanţare din fonduri europene nerambursabile, în baza elaborării Studiului de Fezabilitate, varianta finală a acestuia fiind prezentată public în luna mai 2026.

În concluziile studiului de fezabilitate se regăsesc recomandările elaboratorilor, în urma analizelor realizate, în ceea ce priveşte traseele prioritare ce urmează a fi implementate în cadrul următoarei etape: [12]

- Traseu nr. 1: Stupini – Prejmer, lungime de 37,53 km, staţii: Stupini, Nicolae Labiş, Tractorul, Gara Braşov, Pavilioane CFR Triaj, Hărman, Parc Industrial Prejmer, Ilieni, Prejmer;

- Traseu nr. 2: Codlea – Dârste, lungime de 20 km, staţii: Codlea, Ghimbav, VGP, Bartolomeu, Tractorul, Gara Braşov, Zizin, Micşunica, Dârste şi racordul Ghimbav – Ghimbav Nord / AIBG;

- Traseu nr. 3: Zărneşti – Dârste, lungime de 33,10 km, staţii: Zărneşti, General Traian Moşoiu, Tohanu Vechi, Romacril, Râşnov, Cristian, Ina Schaeffer, Braşovia, Bartolomeu, Gara Braşov, Zizin, Micşunica, Dârste

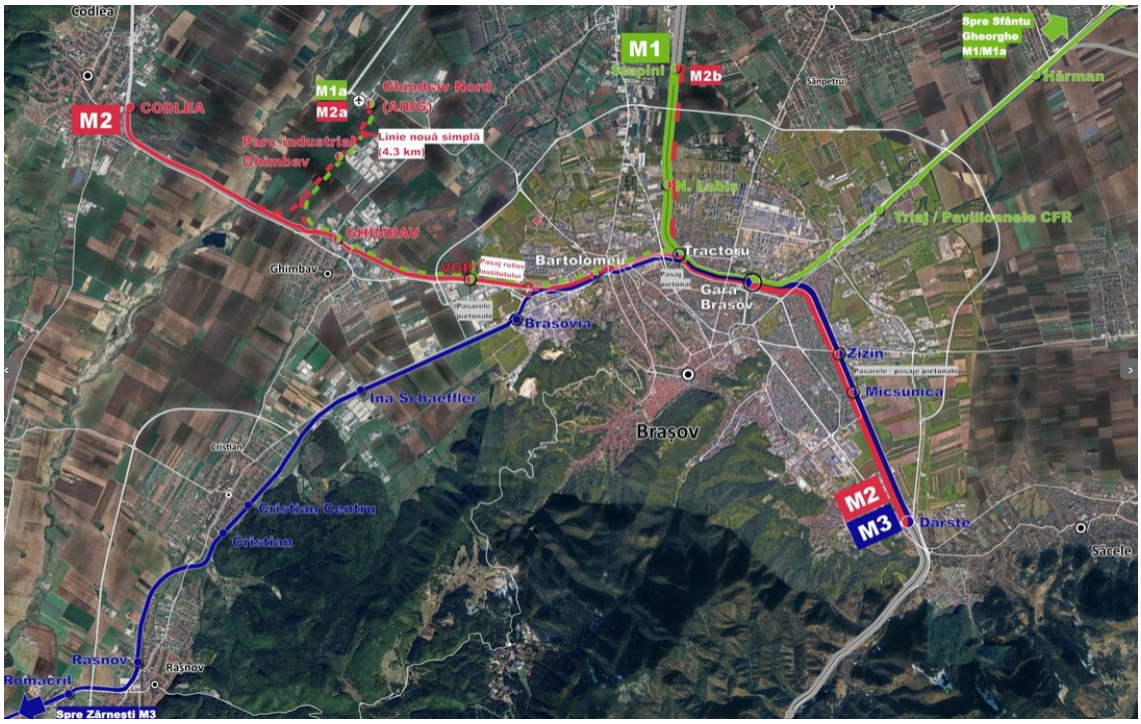


Figura 3. Trasee propuse pentru introducerea trenului metropolitan Brașov [12]

3.4. Tren metropolitan Mureș – „Introducerea și, ulterior, dezvoltarea serviciilor de Tren Metropolitan Mureș”

Proiectul trenului metropolitan Mureș este în faza de evaluare în vederea contractării fondurilor europene nerambursabile, având inclusiv un studiu de oportunitate aprobat de autoritățile locale în anul 2025, cu titlul „Introducerea și, ulterior, dezvoltarea serviciilor de Tren Metropolitan Mureș”.[13]

Obiectivul general se constituie din intervenții la nivelul infrastructurii liniilor de cale ferată existente pentru a se asigura transportul la nivelul vitezelor proiectate în zona metropolitană Târgu Mureș, între stațiile de cale ferată și punctele de oprire Reghin – Petelea – Periș – Gornești – Dumbrăvioara – Sângeorgiu de Mureș – Nordului (nou) – Luntrașilor (nou) – Târgu Mureș Nord – Libertății (nou) – Târgu Mureș – Azomureș – Târgu Mureș Sud – General Nicolae Dăscălescu – Ungheni – Vidrasău – Chirileu – Sînpaul – Ogra – Cipău – Iernut – Cuci – Bogata Mureș – Luduș.

Tronsonul de cale ferată pe care se vizează lucrări pentru restabilirea parametrilor tehnici ai căii ferate și creșterea calității serviciilor de transport feroviar, cuprinde linia interoperabilă 316 Deda – Războieni, între stațiile Reghin – Târgu Mureș – Luduș, între km 249+100 – 323+400.

Linia de cale ferată Reghin – Târgu Mureș – Luduș în lungime de 74,30 km cuprinde următoarele: [13]

- Stațiile: Reghin, km 249+100 – 250+158.60, Dumbrăvioara, km 267+094 – 267+929.60, Târgu Mureș Nord, km 278+442 – 279+144,2, Târgu Mureș, km 282+271 – 283+382, Târgu Mureș Sud, km 286+972 – 288+138.30, General N. Dăscălescu, km 290+064 – 290+981.70, Sânpaul, km 301+184 – 302+029, Iernut, km 310+607 – 311+370, Luduș, km 322+161 – 323+204

- Intervalele: Reghin – Dumbrăvioara, km 250+800 – 267+094, Dumbrăvioara – Târgu Mureș Nord, km 267+929,60 – 278+442, Târgu Mureș Nord – Târgu Mureș, km 279+144,2 – 282+271, Târgu Mureș – Târgu Mureș Sud, km 283+382 – 286+972, Târgu Mureș Sud – General N Dăscălescu, km 288+138,30 – 290+064, General N Dăscălescu – Sânpaul, km 290+981,70 – 301+184, Sânpaul – Iernut, km 302+029 – 310+607, linii simple, neelectrificate.

Principalele lucrări vizate a fi realizate în cadrul proiectului de tren metropolitan: înlocuirea la rând a elementelor componente ale suprastructurii căii pe liniile curente, directe și pe linia de primiri-expedieri ce încadrează peronul; înlocuirea aparatelor de cale de pe liniile directe; refacerea substratului căii pe întreaga distanță; sudarea șinelor pentru realizarea căii fără joante cu înglobarea aparatelor de cale în calea fără joante; refacerea peroanelor.



Figura 4. Trasee propuse pentru introducerea trenului metropolitan Mureș [13]

3.5. Tren metropolitan Oradea – „Dezvoltarea rețelei de tram-train metropolitan Oradea”

Proiectul trenului metropolitan Oradea este în faza de implementare, iar finanțarea europeană a fost deja acordată și contractată de autoritățile locale.

Proiectul cuprinde o serie de lucrări, desfășurate pe o lungime totală de aproximativ 33,5 km, obiectivul principal fiind dezvoltarea unui sistem modern, sustenabil și integrat de transport public metropolitan în zona Oradea, prin introducerea serviciilor de tip tram-train și prin îmbunătățirea conectivității dintre municipiu, localitățile din aria metropolitană, aeroport, zonele industriale și zonele turistice.

Implementarea proiectului conduce la creșterea atractivității transportului public, la reducerea dependenței de autoturismul personal, la diminuarea congestiei rutiere și la reducerea impactului transportului asupra mediului.

Sintetic obiectivele caracteristice ale proiectului constau în: dezvoltarea unei rețele de transport metropolitan de tip tram-train, integrată cu sistemul de transport public existent în Municipiul Oradea; reabilitarea, modernizarea și electrificarea unor sectoare de cale ferată existente; realizarea legăturilor necesare între infrastructura feroviară și rețeaua municipală de tramvai; amenajarea stațiilor și a facilităților aferente pentru călători, în condiții moderne de siguranță, accesibilitate și confort; îmbunătățirea conectivității între Oradea, localitățile periurbane, zonele industriale, aeroport și zonele turistice din județul Bihor. [14]

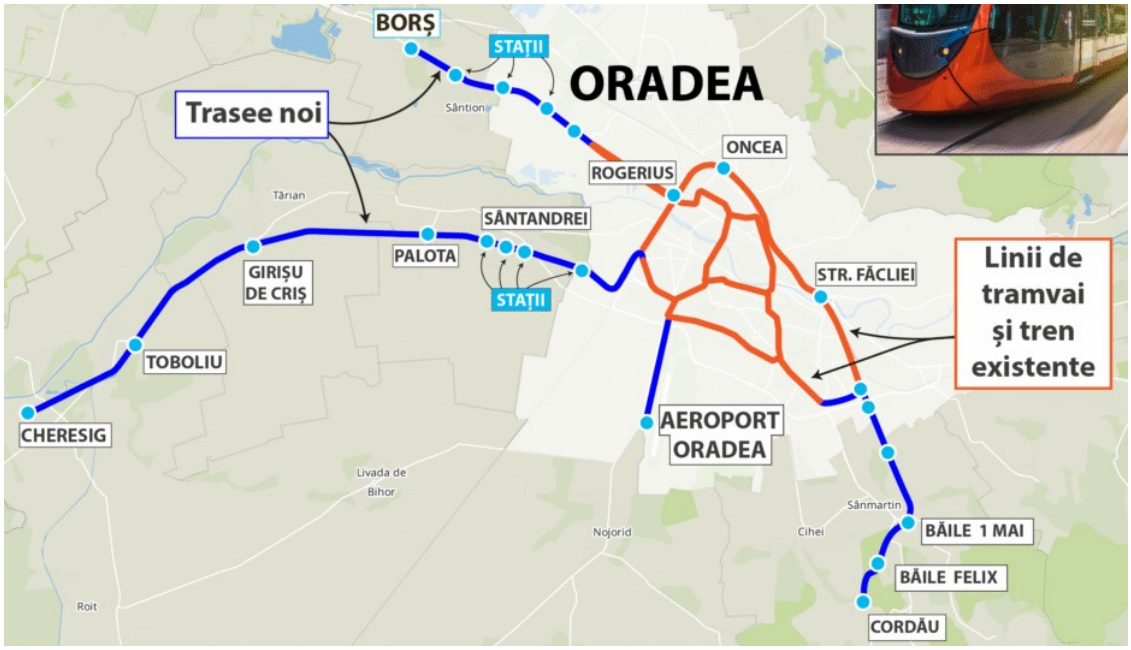


Figura 5. Trasee propuse pentru introducerea trenului metropolitan Oradea [14]

Complementar, proiectul va atrage o serie de beneficii, dintre care pot fi enumerate următoarele: crearea unei alternative moderne de transport public pentru locuitorii din Oradea şi zona metropolitană, cât şi reducerea timpilor de deplasare pentru navetiști; reducerea traficului auto generat de deplasările zilnice către municipiu; îmbunătățirea accesului către locurile de muncă, unitățile de învățământ, servicii publice, zone industriale, aeroport şi zone turistice; diminuarea emisiilor poluante și sprijinirea tranziției către o mobilitate urbană și metropolitană sustenabilă; valorificarea infrastructurii feroviare existente şi integrarea acesteia într-un sistem de transport public metropolitan; dezvoltarea coerentă a mobilității în județul Bihor și în zona metropolitană Oradea. [14]

3.6. Tren metropolitan Cluj-Napoca

Proiectul trenului metropolitan Cluj-Napoca se află în implementare – contractul de execuție fiind deja acordat, iar finanțarea europeană fiind deja acordată și contractată de către autoritățile locale.

Proiectul cuprinde o serie de lucrări, desfășurate între halta de mișcare Gârbău şi Bonţida, de-a lungul localităţilor Floreşti, Cluj-Napoca, Baciu, Apahida, Jucu, pe o lungime totală de aproximativ 50,00 km, amplasate: linia 300, cale dublă, Cluj-Napoca – Apahida, interval km 489+400 – 500 + 750 şi linia 412 Apahida – Jucu, interval km 0 + 000 – 1 + 300; linia simplă 412 Apahida – Jucu, interval 1 + 300 – 8 + 497/540; linia simplă 412 Jucu – Bonţida, interval 9 + 760/800 – 15 + 280. [15]



Figura 6. Trasee propuse pentru introducerea trenului metropolitan Cluj-Napoca [15]

Obiectivele principale ale proiectului sunt: creşterea ofertei de transport de călători pe calea ferată; reducerea timpilor de deplasare, creşterea nivelului de interoperabilitate pe calea ferată; decongestionarea infrastructurii rutiere; reducerea poluării.

Implementarea proiectului va conduce la: modernizarea a aproximativ 50 km de cale ferată simplă; realizarea a peste 2,50 km de cale ferată nouă; construirea de puncte noi de oprire; realizarea de pasaje; modernizarea trecerilor la nivel.

Complementar, proiectul va atrage o serie de beneficii, dintre care pot fi enumerate următoarele: creşterea atractivităţii transportului feroviar de călători; reducerea timpilor de deplasare în zona metropolitană Cluj; decongestionarea traficului rutier şi reducerea poluării.

4. ALOCARE FINANCIARĂ NAȚIONALĂ ȘI INTERNAȚIONALĂ

Finanţarea proiectelor de tren metropolitan este structurată, în actuala perioadă de programare, prin Programul Transport 2021–2027, Prioritatea 6 „Dezvoltarea mobilităţii sustenabile în nodurile urbane”, în cadrul obiectivului specific RSO2.8 privind promovarea mobilităţii urbane multimodale sustenabile. Sprijinul este acordat sub formă de grant, prin două apeluri distincte: unul finanţat din Fondul european de dezvoltare regională, destinat nodurilor urbane din afara regiunii Bucureşti–Ilfov, şi unul finanţat din Fondul de coeziune, dedicat trenului metropolitan Bucureşti. Această diferenţiere reflectă arhitectura teritorială a politicii de coeziune şi necesitatea adaptării sursei de finanţare la categoria regiunii beneficiarului [16].

Structura financiară presupune combinarea contribuţiei europene cu resurse naţionale şi locale. În cazul proiectelor prezentate în capitolul anterior, contribuţia Uniunii Europene poate reprezenta 85% din valoarea eligibilă, iar diferenţa este acoperită din bugetul de stat şi din contribuţia proprie a beneficiarului, în condiţiile stabilite prin ghid şi prin contractul de finanţare. Dincolo de cofinanţarea investiţiei, autorităţile publice implicate trebuie să prevadă resurse pentru cheltuielile neeligibile, eventualele depăşiri de cost, operarea şi întreţinerea activelor, precum şi pentru compensarea serviciului public feroviar. Prin urmare, eligibilitatea pentru grant nu înlocuieşte obligaţia de a demonstra sustenabilitatea bugetară pe durata de viaţă a proiectului.

Intervenţiile finanţabile trebuie să formeze un sistem funcţional, nu o succesiune de investiţii izolate. Ghidul include lucrări privind infrastructura

feroviară, achiziția de material rulant sustenabil, dezvoltarea facilităților multimodale și pregătirea documentației tehnico-economice. Activitatea de bază, alcătuită din dezvoltarea sau reînnoirea infrastructurii și achiziția de material rulant, trebuie să reprezinte cel puțin 70% din valoarea totală a proiectului. Totodată, sunt eligibile numai proiectele care asigură, prin intervențiile proprii și cele complementare asumate de C.F.R. S.A., Autoritatea pentru Reformă Feroviară sau alte entități competente, ansamblul elementelor necesare pentru funcționarea serviciului metropolitan [16].

Condiționalitatea tehnică influențează direct alocarea resurselor. Potrivit Anexei nr. 14, finanțarea materialului rulant este limitată la vehicule noi cu emisii zero, precum ramele electrice, cu baterii sau cu hidrogen; electrificarea unor sectoare poate fi eligibilă atunci când este corelată cu introducerea acestui material rulant. La nivelul stațiilor, resursele FEDR sau ale Fondului de coeziune pot acoperi peroanele, căile de acces, traversările pietonale, sistemele de informare, dotările de siguranță și accesibilitate și alte elemente feroviare. În schimb, facilitățile de integrare urbană — parcări de tip „Park&Ride”, spații „Kiss&Ride”, facilități pentru biciclete și trotinete, toalete publice, integrarea tarifară și anumite amenajări ale spațiului public — intră, de regulă, în responsabilitatea financiară a unităților administrativ-teritoriale. [17]

Anexa nr. 19 transformă aceste condiții într-un mecanism de verificare a coerenței tehnice și financiare. Solicitantul trebuie să justifice soluția de asigurare a materialului rulant, compatibilitatea acesteia cu infrastructura, cadența și capacitatea planificate, precum și sursa de acoperire a costurilor de operare și întreținere. Sunt admise patru variante: achiziția individuală de către unitatea administrativ-teritorială sau asociația de dezvoltare intercomunitară, achiziția comună, achiziția centralizată realizată de Autoritatea pentru Reformă Feroviară ori furnizarea materialului rulant de operator prin contractul de servicii publice. În ultimul caz, beneficiarul trebuie să demonstreze disponibilitatea pieței și capacitatea de a finanța compensația aferentă serviciului public. [18]

Pentru proiectele alcătuite din documentații tehnice distincte sau din intervenții realizate de entități diferite, accesul la finanțare este condiționat de elaborarea unui document de concept integrat. Acesta trebuie să delimiteze responsabilitățile și sursele de finanțare ale autorității locale și ale C.F.R. S.A., să demonstreze compatibilitatea parametrilor tehnici și să coreleze investițiile cu serviciile feroviare existente. Analiza cost–beneficiu se realizează la nivelul proiectului în ansamblu și include costurile și beneficiile tuturor componentelor, indiferent de titularul investiției sau de sursa de finanțare. Documentul de concept

integrat şi formularul prevăzut în Anexa nr. 19 sunt supuse avizării Autorității de Management pentru Programul Transport, cu sprijinul JASPERS, înainte de depunerea cererii de finanţare.

În consecinţă, alocarea financiară pentru trenurile metropolitane trebuie analizată ca un aranjament multianual de finanţare mixtă. Fondurile europene şi cofinanţarea naţională susţin investiţia iniţială, în timp ce bugetele locale şi, după caz, bugetul de stat trebuie să asigure contribuţia proprie, componentele neeligibile, întreţinerea infrastructurii şi compensarea serviciului public. Fezabilitatea proiectului depinde astfel de concordanţa dintre soluţia tehnică, capacitatea administrativă şi angajamentele bugetare ale partenerilor, nu doar de disponibilitatea de a aloca fonduri nerambursabile.

5. CONCLUZII

Introducerea serviciului de transport public prin intermediul infrastructurii de transport feroviar existente este un demers care şi-a demonstrat utilitatea externă şi internă, prin existenţa proiectului pe ruta Gara de Nord – Aeroport Otopeni. Prin urmare, aplicabilitatea acestuia în ţara noastră conduce la beneficii pe întregul lanţ de transport public, prin decongestionarea traficului rutier, reducerea poluării şi trecerea la un mijloc de transport sustenabil, susţinut prin politici publice la nivel european.

Evoluția rapidă a acestui sistem, de la concept în anul 2021 [19], [20] la contracte de execuție [14], [15] în anul 2026, s-a putut realiza printr-o promovare corectă, etapizată și prin susținerea autorităților locale.

Explozia numărului de proiecte de la un singur oraș la 13 [2] presupune o serie de acțiuni ce necesită corelarea și coexistența acestora, pornind de la necesitatea actualizării contextului legislativ [4], [7] – acțiune reușită care a creat cadrul legal, promovarea conceptului și înțelegerea acestuia de către autoritățile locale – acțiune reușită, numărul proiectelor, în diverse stadii fiind reprezentat în peste 13 proiecte deja aprobate, alocarea fondurilor – acțiune parțial reușită, fondurile alocate pentru proiectele actuale fiind insuficiente.

Acțiunea parțial reușită provine dintr-o serie de deficiențe, precum lipsa uniformității proiectelor, lipsa de personal de specialitate, necorelarea dintre proiecte și nu în ultimul rând, lipsa de capacitate administrativă.

Numărul redus de ingineri specializați în infrastructura de transport feroviar are un impact negativ asupra elaborării documentației, iar lipsa de capacitate administrativă – reflectată tot prin lipsa inginerilor specializați în

infrastructura de transport pe șină – conduce la supraestimarea costurilor, rezultând, în final, o deficienţă artificială de alocare a fondurilor.

Astfel, existența și introducerea serviciilor de tren metropolitan în complementaritate cu efectuarea unor lucrări de înlocuire la rând a elementelor infrastructurii feroviare, de reînnoire, respectiv de modernizare a acesteia sunt demersuri care au avut ecou în ultimii ani, iar alocarea pe noul exercițiu financiar asigură speranțe în extinderea acestuia cel puțin și la nivelul rețelelor din jurul municipiilor care au proiectele în fază de pregătire, dar și încurajarea altor municipii să facă noi demersuri în același sens.

BIBLIOGRAFIE

[1]. Studiu privind oportunitatea *„Introducerea și, ulterior, dezvoltarea serviciilor de tren urban și metropolitan București – Ilfov”*, Asociația de Dezvoltare Intercomunitară pentru Transport Public București – Ilfov https://tpbi.ro/file/2025/12/StudiuOportunitateTren_iunie2021_comp.pdf

[2]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII, Ordinul nr. 895 din 23 septembrie 2026 privind aprobarea listei proiectelor analizate, aprobate și propuse spre implementare potrivit art. 11^2 alin. (1) din Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 12/1998. https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/314904

[3]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Ordonanța de urgență nr. 12 din 7 iulie 1998 privind transportul pe căile ferate române și reorganizarea Societății Naționale a Căilor Ferate Române”*, republicată, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 834 din 9 septembrie 2004. https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/15140

[4]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Hotărârea nr. 187 din 1 martie 2023 pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a prevederilor art. 11^2 din Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 12/1998”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 184 din 3 martie 2023 https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/265480

[5]. PARLAMENTUL ROMÂNIEI: *„Legea nr. 202 din 4 noiembrie 2016 privind integrarea sistemului feroviar din România în spațiul feroviar unic european”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 900 din 9 noiembrie 2016 https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/183453.

[6]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Ordonanța nr. 60 din 29 iulie 2004 privind reglementările referitoare la construirea, întreținerea, repararea și exploatarea căilor ferate, altele decât cele administrate de Compania Națională de Căi Ferate «C.F.R.» — S.A.”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 741 din 17 august 2004. https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/54415.

[7]. GUVERNUL ROMÂNIEI: *„Ordonanța nr. 41 din 28 august 2024 pentru modificarea și completarea unor acte normative din domeniul feroviar”*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 871 din 29 august 2024. https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/287835.

[8]. Primăria Municipiului Iași, Consiliul Local Iași, Anexa nr. 2 la Hotărârea Consiliului Local nr. 234 din 15 iunie 2026. 2026 https://www.primaria-iasi.ro/dm_iasi/hotarari.nsf/A3489BD1FEC5AB74C2258E19003BB90D/%24FILE/HCL_234_2026.pdf

[9]. Asociația Metropolitană de Transport Public Iași, *„Proiecte în derulare – Trenul Metropolitan Iași”*. https://www.amtpi.ro/proiecte-in-derulare-trenul-metropolitan-iasi/

[10]. Servicii de realizare a documentațiilor Tehnico-economice în vederea realizării proiectului *„Introducerea transportului electric – Tren Periurban Sibiu”* Faza: Studiu de fezabilitate (SF), https://e-licitatie.ro/pub/procedure/view/100327283/

[11]. Tren Periurban Sibiu, https://stirileprotv.ro/stiri/actualitate/sibiul-are-un-proiect-ambitios-de-tren-urban-cu-13-statii-zonele-in-care-ar-ajunge-noua-cale-ferata.html

[12]. Asociația de transport Brașov, Studiu de Fezabilitate – pentru obiectul de investiții *„TREN METROPOLITAN BRAȘOV”*, https://transportbrasov.ro/wp-content/uploads/2026/08/TTL-095.ATBV_.SFTM-L05.ME_Rev.3.pdf

[13]. Primăria Tîrgu Mureș, Introducerea și ulterior dezvoltarea serviciilor de Tren Metropolitan Mureș, https://www.tirgumures.ro/portal/servicii/2026/hotarari.nsf/all/7CB345459CC52D87C2258DD400266A2D/$FILE/Anexa%201_s.pdf

[14]. Compania Națională de Căi Ferate „CFR”. SA, Proiecte programul transport 2021–2027, *„Dezvoltarea rețelei de Tram-Train Metropolitan Oradea”* https://cfr.ro/dezvoltarea-retelei-de-tram-train-metropolitan-oradea-cod-mysmis-2021-334319/

[15]. Compania Națională de Căi Ferate „CFR”. SA, Proiecte programul transport 2021–2027, Tren METROPOLITAN Gilău – Florești – CLUJ Napoca – Baciu – Apahida – Jucu – Bonțida – etapa I a sistemului de transport metropolitan rapid Cluj: Magistrala I de Metrou și Tren Metropolitan, inclusiv legătura dintre acestea și a studiilor conexe viitoarelor obiective de investiții” https://cfr.ro/tren-metropolitan-gilau-floresti-cluj-napoca-baciu-apahida-jucu-bontida-etapa-i-a-sistemului-de-transport-metropolitan-rapid-cluj/

[16]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII: *„Ghidul solicitantului consolidat pentru Prioritatea 6 — Dezvoltarea mobilității sustenabile în nodurile urbane: apeluri pentru trenuri metropolitane”*, Programul Transport 2021–2027, 2023, cu modificările și completările ulterioare. https://www.fonduri.mt.ro/programul-transport-pt-2021-2027/ghiduri-si-apeluri/prioritatea-6.

[17]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII: *„Anexa nr. 14 la Ghidul solicitantului — Categorii de activități și cheltuieli eligibile pentru proiectele de tren metropolitan”*, Programul Transport 2021–2027, Prioritatea 6, 2025. https://www.fonduri.mt.ro/programul-transport-pt-2021-2027/ghiduri-si-apeluri/prioritatea-6.

[18]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII: *„Anexa nr. 19 la Ghidul solicitantului — Formular privind asigurarea materialului rulant și sustenabilitatea serviciului de tren metropolitan”*, Programul Transport 2021–2027, Prioritatea 6, 2025. https://www.fonduri.mt.ro/programul-transport-pt-2021-2027/ghiduri-si-apeluri/prioritatea-6.

[19]. S. Roșeanu, F.I. Nică, *„Modernizarea infrastructurii feroviare din zona marilor orașe pentru introducerea serviciilor de tren metropolitan. Studiu de caz linia cf 706 Căciulați – Snagov”*, în „140 ani de Învățământ Tehnic Ingineresc în Domeniul Infrastructurii Transporturilor”, București, 14 decembrie 2021.

[20]. Ș. Roșeanu, F. I. Nică, *„Modernizarea infrastructurii feroviare publice pentru introducerea serviciilor de transport feroviar de călători de interes local. Studiu de caz Palas – Năvodari”*, al XXII-lea Simpozion Național de Cale Ferată, cu Participare Internațională, 30 Octombrie 2025.

EXCAVAȚII ADÂNCI: UTILIZAREA DRUMURILOR DE EFORT ÎN ÎNCERCĂRILE DE LABORATOR GEOTEHNIC

Olteanu Andrei Constantin, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: andrei.olteanu@utcb.ro
Cristian Bobarnac, ing. geolog, MSc., Geocon Global Consulting, e-mail: office@ggc.ro

Rezumat

Realizarea infrastructurii subterane urbane, precum liniile de metrou, implică excavații adânci care produc modificări importante ale stării de efort și deformațiilor terenului de fundare. În contextul cerințelor NP 120-2014 și NP 074-2022 [16, 17], studiul de laborator necesită încercări și proceduri care să reproducă starea naturală de efort și modificările induse în fazele de execuție și exploatare. Obiectivul este fundamentarea modelului geotehnic pentru evaluarea revenirii prin decomprimare (heave), a umflării (swelling), în cazul pământurilor cu potențial expansiv, și a rigidității de contact teren–structură, în funcție de natura coezivă sau necoezivă a terenului de la cota de fundare. Articolul prezintă studiul de caz al stației Eroii Revoluției, Magistrala de Metrou M4, Lot 2, București. Sunt interpretate rezultatele încercărilor de compresiune în edometru pe probe reconstituite de pământuri necoezive, într-un program conceput pentru reproducerea drumurilor de efort asociate etapelor stației, definite de proiectant. Rezultatele evidențiază modificarea rigidității între încărcare, descărcare și reîncărcare, susținând alegerea parametrilor de calcul în raport cu fazele lucrării și cu istoricul solicitării.

Cuvinte cheie: excavație adâncă; drum de efort; heave; swelling; rigiditate de contact; interacțiune teren–structură.

Abstract

Urban underground infrastructure, such as metro lines, involves deep excavations that significantly alter the stress state and deformation of the foundation soil. Within the framework of NP 120-2014 and NP 074-2022 [16, 17], laboratory investigation requires tests and procedures that reproduce the natural stress state and the changes induced during construction and operation. The objective is to establish a geotechnical model for assessing unloading-induced heave, swelling in potentially expansive soils, and soil–structure contact stiffness, considering whether the soil at foundation level is cohesive or cohesionless. The paper presents the case study of Eroii Revoluției station on Bucharest Metro Line M4, Lot 2. Oedometer compression tests on reconstituted cohesionless soil specimens are interpreted within a

programme designed to reproduce the stress paths associated with the station stages, as defined by the designer. The results demonstrate changes in stiffness between loading, unloading and reloading, supporting the selection of design parameters in relation to construction stages and stress history.

Keywords: deep excavation; stress path; heave; swelling; contact stiffness; soil–structure interaction.

1. INTRODUCERE

Comportarea terenului din jurul unei excavaţii adânci depinde de succesiunea modificărilor stării de efort. Îndepărtarea suprasarcinii produce decomprimarea terenului de sub baza excavaţiei, iar realizarea radierului şi a structurii determină recomprimarea acestuia. Evaluarea deformaţiilor presupune, prin urmare, caracterizarea răspunsului pentru fiecare etapă şi păstrarea istoricului solicitării în modelul de calcul. Metoda drumurilor de efort [1, 2] oferă cadrul pentru corelarea încercărilor de laborator cu aceste procese; diferenţele dintre compresibilitatea nisipurilor la încărcare, descărcare şi reîncărcare sunt documentate în literatura de specialitate [3].

Lucrarea urmărește această corelare prin analiza încercărilor P27 și P33, a schemei de execuție și a propunerilor din nota metodologică din 14.07.2026 [12, 13]. Sunt examinate modificarea rigidității pe ramurile de solicitare, revenirea la descărcare și deformațiile remanente. Pe această bază se formulează un program de încercări orientat către mecanismele excavației și către calibrarea modelelor de interacțiune teren–structură.

2. CADRUL GEOTEHNIC ŞI MATERIALELE INVESTIGATE

Materialele investigate provin din forajul ABH-04, executat în cadrul investigaţiilor M4 Lot 2 pentru staţia Eroii Revoluţiei [8, 11]. La o cotă a terenului de aproximativ +83.0m, succesiunea litologică include umpluturi până la 1.5m, un orizont coeziv până la 13.5m şi teren predominant nisipos până la 35.0m. Apa subterană a fost interceptată la 13.5m, nivelul stabilizat fiind de 13.0m. Adâncimea orientativă de fundare, de 26.7–27.0m, situează baza excavaţiei în orizontul necoeziv; pentru adâncimea de 27.0m, cota corespunzătoare este aproximativ +56.0m.

Tabelul 1. Caracteristicile probelor investigate

Caracteristică	P27	P33
Adâncime / N SPT	27.0m / 33	33.0m / 31
Litologie	Nisip mijlociu–mare cu pietriș mic	Nisip fin–mijlociu, slab prăfos
Înălțime inițială h_0	20.0mm	20.0mm
Înregistrări	17 foi XLSX	16 fișiere ASCII
Maxim / minim intermediar	500 / 12.5kPa	700 / 100kPa

2.1. Corelarea probelor cu etapele lucrării

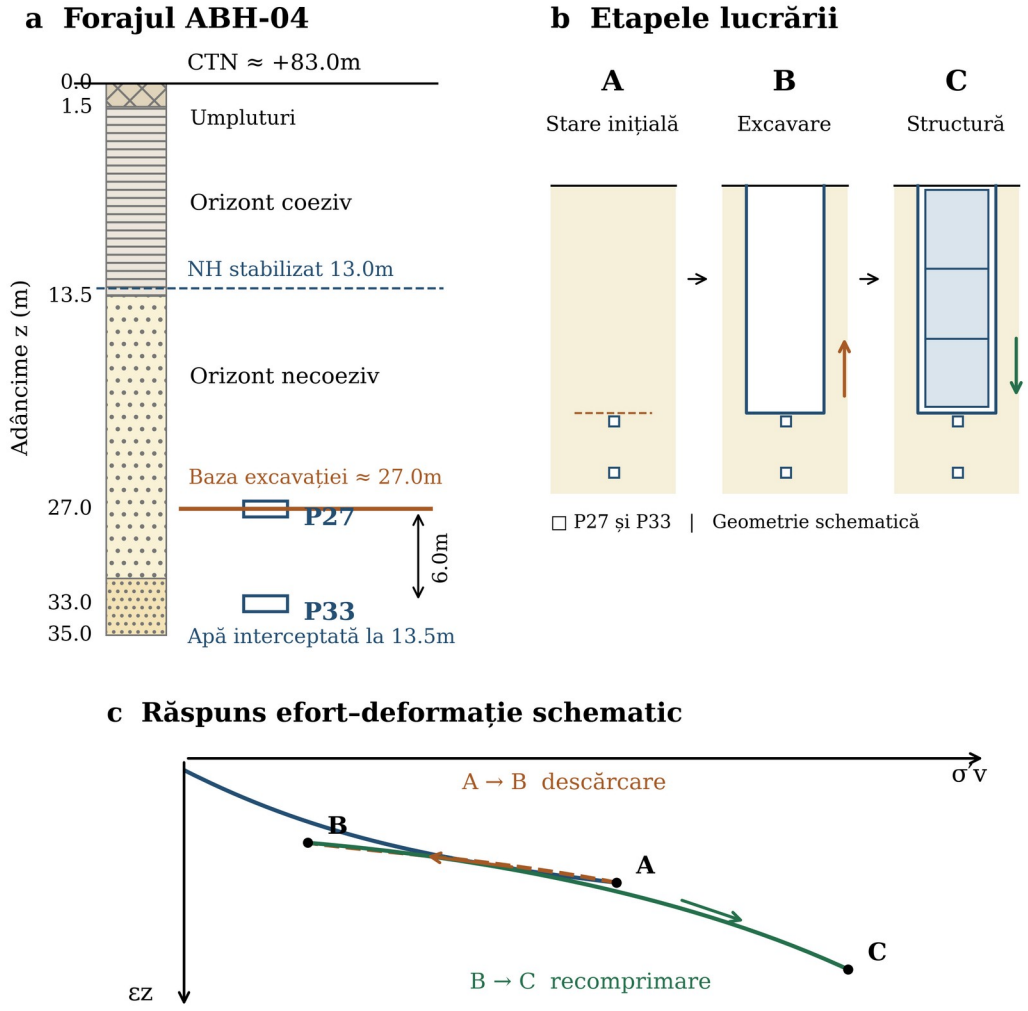


Figura 1. Poziția probelor și succesiunea A–B–C, după schița autorilor [13], corelată cu fișa ABH-04 [8]

Figura 1 corelează trei stări: A — înaintea excavării; B — după realizarea excavației; C — după construirea structurii subterane. P27 este situată în

vecinătatea bazei excavației, iar P33 la circa 6.0m sub aceasta. Limitele litologice provin din fișa ABH-04, iar geometria construcției este schematică.

Figura 1c ilustrează conceptual răspunsul efort–deformație pentru etapele A–B–C. Solicitarea în C depinde de încărcările structurii și de condițiile hidraulice, putând rămâne sub nivelul inițial sau depăși acest nivel. Curbele experimentale sunt prezentate în figurile 2 și 3.

3. PROGRAMUL EXPERIMENTAL ŞI METODA DE PRELUCRARE

3.1. Pregătirea epruvetelor

Programul ABH-04 cuprinde încercări edometrice imersate, EDi, pe nisipuri reconstituite [8]. Nota metodologică [12] propune depunerea hidraulică, urmată de încărcarea până la starea inițială estimată. Procedura se adaptează granulometriei, cu controlul masei uscate, volumului inelului, indicelui porilor și densității relative. Depunerea din suspensie permite obținerea unor structuri relevante pentru nisipurile fluviale, alegerea procedurii urmărind și limitarea segregării materialelor neuniforme sau prăfoase [14].

Reprezentativitatea epruvetei se apreciază prin raportarea stării obținute la condițiile din teren. Reconstituirea definește o structură și un istoric mecanic de laborator; cimentarea și îmbătrânirea naturală necesită o evaluare distinctă. Densitatea inițială, geometria epruvetei și condițiile de saturare și drenaj fundamentează interpretarea răspunsului și transferul parametrilor în calcul.

3.2. Succesiunea solicitărilor și convenţiile de calcul

Analiza probei P27 cuprinde succesiunea 12.5 → 500 → 12.5 → 1200kPa, iar analiza probei P33 succesiunea 12.5 → 700 → 100 → 1200 → 12.5kPa. Aceste trasee includ prima încărcare, descărcarea și reîncărcarea, cu depășirea maximului anterior. Prelucrarea utilizează citirile de la sfârșitul treptelor de solicitare [9, 10], pentru determinarea incrementelor de deformație și a modulelor edometrice secante pe intervalele selectate.

Compresiunea este considerată pozitivă, iar înălțimea inițială a epruvetei este h_0 = 20.0mm. Pentru două stări de calcul A și B se folosesc relațiile:

$$\Delta\varepsilon_v = \frac{d_B - d_A}{h_0};\ h_0 = 20.0\,mm \qquad (1)$$

$$M_{sec} = \left| \frac{\sigma_{v,B} - \sigma_{v,A}}{\Delta\varepsilon_v} \right| \quad (2)$$

În relațiile (1) și (2), d este citirea deplasării verticale, iar σ_v solicitarea verticală indicată de aparat. $\Delta\varepsilon_v$ este adimensională; M_{sec} se convertește din kPa în MPa prin împărțire la 1000. Deformația verticală ε_v coincide cu cea volumică în condiția edometrică ideală. Originea curbelor corespunde sfârșitului primei trepte de 12.5kPa, fără modificarea incrementelor și a modulelor calculate.

4. REZULTATELE EXPERIMENTALE

4.1. Răspunsul probei P27

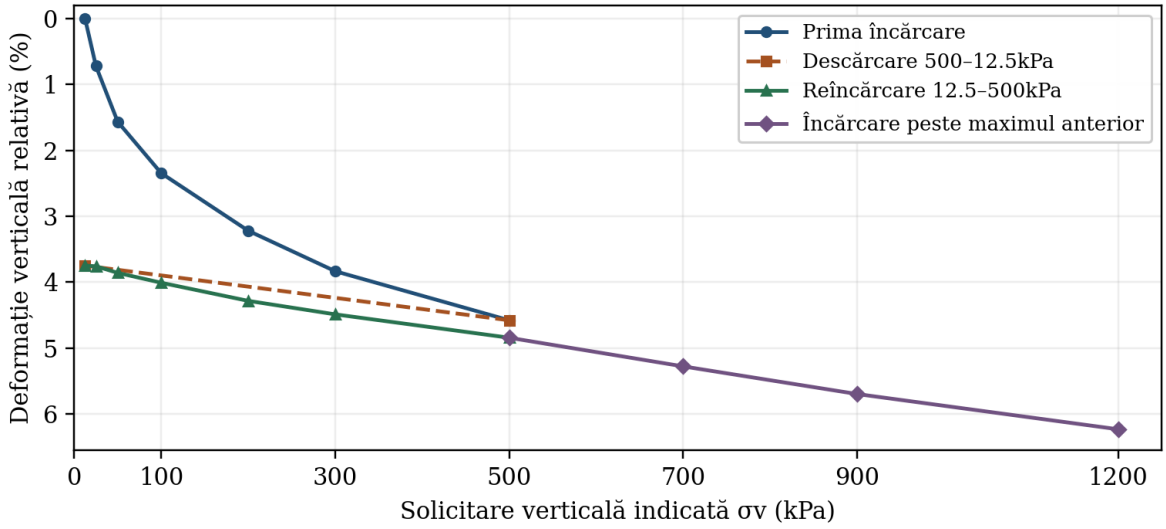


Figura 2. Curba solicitare–deformație pentru P27; compresiunea crește în jos

Tabelul 2. Module edometrice secante pentru P27

Ramură	Interval σ_v (kPa)	Δd (mm)	$\Delta\varepsilon_v$ (%)	M_{sec} (MPa)
Prima încărcare	12.5 → 500	+0.916	+4.580	10.64
Descărcare	500 → 12.5	−0.166	−0.830	58.73
Reîncărcare	12.5 → 500	+0.219	+1.095	44.52
Încărcare peste maximul anterior	500 → 1200	+0.278	+1.390	50.36

La prima încărcare, citirea deplasării crește de la 1.610mm, la 12.5kPa, la 2.526mm, la 500kPa. Descărcarea conduce la 2.360mm, iar reîncărcarea la 500kPa la 2.579mm; la limita de 1200kPa se înregistrează 2.857mm. Revenirea

de 0.166mm reprezintă 18.1% din compresiunea inițială de 0.916mm. La reatingerea nivelului de 500kPa, diferența față de prima încărcare este de 0.053mm, echivalentă cu 0.265 puncte procentuale de deformație.

Pentru intervalul 12.5–500kPa, raportul dintre modulul la reîncărcare și cel la prima încărcare este 4.18. Răspunsul combină astfel o revenire parțială la descărcare cu o recomprimare mai rigidă. Deformația suplimentară acumulată pe ciclu evidențiază caracterul ireversibil al unei părți din răspuns.

4.2. Răspunsul probei P33

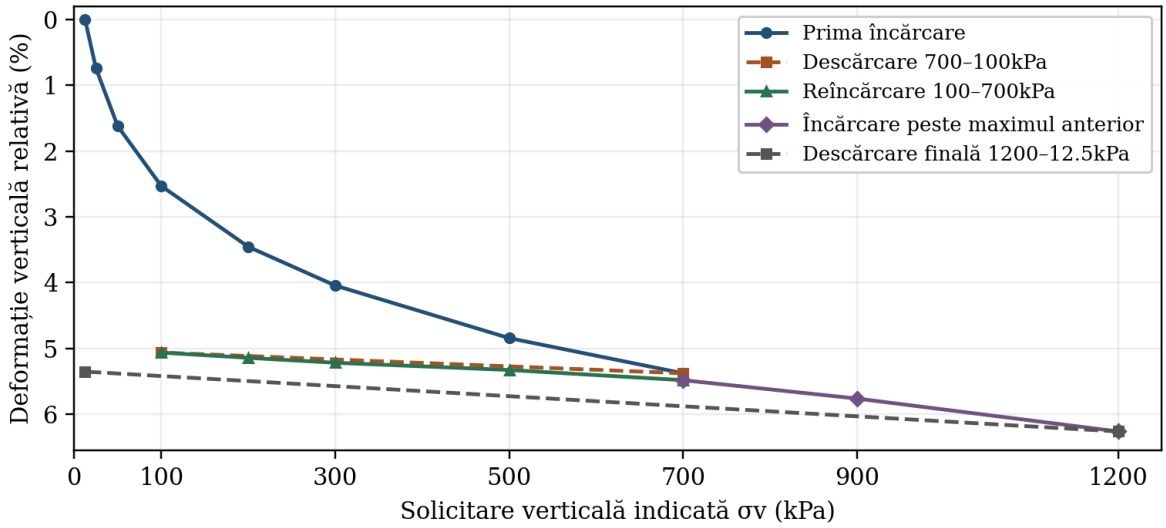


Figura 3. Curba solicitare–deformație pentru P33, cu aceeași convenție ca în figura 2

Tabelul 3. Module edometrice secante pentru P33

Ramură	Interval σ_v (kPa)	Δd (mm)	$\Delta\varepsilon_v$ (%)	M_{sec} (MPa)
Prima încărcare globală	12.5 → 700	+1.076	+5.380	12.78
Prima încărcare comparabilă cu ciclul	100 → 700	+0.570	+2.850	21.05
Descărcare intermediară	700 → 100	−0.063	−0.315	190.48
Reîncărcare	100 → 700	+0.084	+0.420	142.86
Încărcare peste maximul anterior	700 → 1200	+0.156	+0.780	64.10
Descărcare finală	1200 → 12.5	−0.182	−0.910	130.49

Pentru P33, citirile cresc de la 1.266mm la 2.342mm între 12.5 şi 700kPa. Descărcarea la 100kPa conduce la 2.279mm, iar reîncărcarea la 700kPa la 2.363mm. La 1200kPa se ating 2.519mm; după descărcarea finală la 12.5kPa se înregistrează 2.337mm. Deplasarea remanentă față de starea inițială la aceeaşi solicitare este de 1.071mm.

Pe 100–700kPa, rigiditatea la reîncărcare este de 6.79 ori mai mare decât la prima încărcare. Depăşirea maximului anterior de 700kPa este însoțită de reducerea modulului de la 142.86MPa la 64.10MPa pe 700–1200kPa, evidenţiind influența istoricului de laborator asupra compresibilității.

4.3. Comparaţia pe intervalul comun de solicitare

Pentru a compara răspunsurile pe o bază comună, analiza se restrânge la intervalul 200–500kPa, parcurs de ambele probe atât la prima încărcare, cât şi la reîncărcare. Modulele din tabelul 4 sunt determinate cu aceeaşi convenție de calcul şi cu înălțimea inițială h_0 = 20.0mm.

Tabelul 4. Comparaţia pe intervalul comun 200–500kPa

Probă	Δd prim. (mm)	Δd reînc. (mm)	M prim. (MPa)	M reînc. (MPa)	Raport
P27	0.272	0.112	22.06	53.57	2.43
P33	0.278	0.037	21.58	162.16	7.51

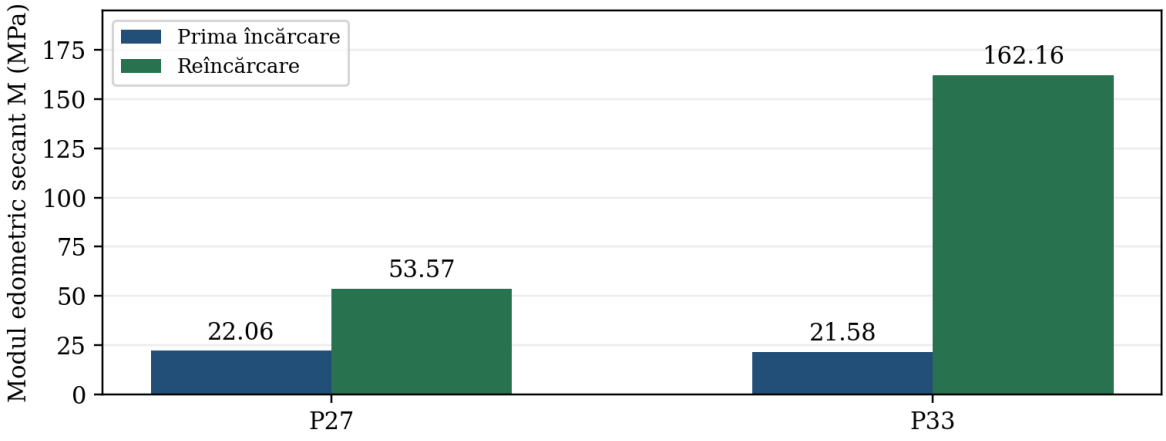


Figura 4. Diferențierea rigidității la prima încărcare şi reîncărcare

La acelaşi increment de solicitare, $\Delta\sigma_v$ = 300kPa, incrementul de deformație se reduce de la 1.360% la 0.560% pentru P27 şi de la 1.390% la

0.185% pentru P33. Creșterea corespunzătoare a rigidității este de 2.43, respectiv 7.51 ori. Rezultatele arată că reprezentarea celor două ramuri necesită rigidități distincte, asociate istoricului solicitării.

Valorile obținute caracterizează materialele, stările inițiale și succesiunile de solicitare ale încercărilor analizate. Diferența dintre probe reflectă efectul combinat al acestor factori. Pentru aplicarea în proiect, concluzia relevantă este creșterea rigidității la reîncărcare în fiecare încercare; rapoartele determinate se utilizează în cadrul condițiilor experimentale din care provin.

5. REPRODUCEREA DRUMULUI DE EFORT AL EXCAVAȚIEI

5.1. Starea inițială și fazele A–B–C

Transpunerea etapelor de execuție într-un program de laborator pornește de la un element de teren și de la evoluția stării sale de efort [12]. Starea inițială A este definită prin eforturile efective verticale și orizontale, presiunea apei și istoricul mecanic. Pentru terenul saturat, $\sigma'_v = \sigma_v - u$, iar variația între etape este $\Delta\sigma'_v = \Delta\sigma_v - \Delta u$. Valorile inițiale se stabilesc din condițiile geotehnice și hidrogeologice ale amplasamentului; maximele de 500 și 700kPa aparțin programului experimental analizat.

Pe traseul A–B, îndepărtarea terenului reduce solicitarea totală și favorizează revenirea bazei excavației. Reducerea presiunii apei prin epuizment poate compensa parțial această descărcare în termeni de efort efectiv sau poate produce compresiune. Pe traseul B–C, realizarea structurii și evoluția regimului hidraulic stabilesc recomprimarea. La nivelul P33, situat la circa 6.0m sub baza excavației, solicitarea rămasă include efectul terenului păstrat deasupra probei. Amplitudinea descărcării se determină, așadar, pentru fiecare adâncime analizată.

5.2. Condiții inițiale și semnificația drumului de efort

Coeficientul $K_0 = \sigma'_{h0}/\sigma'_{v0}$ descrie raportul eforturilor efective în starea inițială de repaus. Excavația produce deplasări laterale și redistribuiri care modifică acest raport. Încercarea edometrică reproduce compresiunea cu deformație laterală nulă, fiind adecvată caracterizării componentei verticale a răspunsului. Determinarea lui K_0 și descrierea evoluției complete a stării de efort presupun și cunoașterea eforturilor orizontale.

Raportul de supraconsolidare OCR = σ'_p/σ'_{v0} se definește prin presiunea de preconsolidare σ'_p și efortul efectiv vertical inițial. Pentru materialele reconstituite, încărcarea preliminară generează un istoric controlat de laborator, distinct de istoricul geologic al terenului. Revenirea nisipului la descărcare reprezintă răspunsul mecanic la reducerea solicitării; în acest context, termenii heave sau rebound desemnează ridicarea sau revenirea terenului.

Drumul de efort descrie succesiunea stărilor de solicitare și poate fi reprezentat, de exemplu, în planul p′–q. Drumul de deformație descrie evoluția deformațiilor, iar curba σ_v–ε_v exprimă răspunsul măsurat în edometru. Corelarea acestor reprezentări permite alegerea încercării potrivite mecanismului: compresiune verticală sub baza excavației, redistribuire laterală lângă sprijinire sau forfecare în zonele solicitate deviatoric.

5.3. Program de încercări adaptat mecanismului

Programul de încercări se definește prin colaborarea proiectantului, elaboratorului studiului geotehnic și laboratorului. Succesiunea urmărită cuprinde stabilirea unei stări inițiale reprezentative, descărcarea corespunzătoare excavării și regimului hidraulic, măsurarea revenirii, reîncărcarea asociată structurii și investigarea domeniului superior de efort. Valoarea de 1200kPa este limita impusă de programul de testare în laborator. Treptele intermediare și amplitudinea ciclurilor se aleg în funcție de stările calculate pentru fazele lucrării.

Tabelul 5. Corespondența dintre mecanism și încercare

Obiectiv	Încercare / control	Rezultat urmărit
Decomprimare și recomprimare verticală	Edometru cu cicluri adaptate și criteriu de stabilizare	M_{sec} pe ramuri, revenire, deformație remanentă
Schimbarea eforturilor laterale și forfecare	Triaxial cu consolidare anizotropă; CK_0 când este justificat	Trasee p′–q, ε_{ax}, ε_{vol} și u; rigiditate și rezistență
Evoluția rezistenței pe un plan	Forfecare directă cu istoric al solicitării normale	Rezistență și deformare pe plan impus
Rigiditate la deformații foarte mici	Bender elements / coloană rezonantă; măsurare locală	G_0 și degradarea rigidității, după metoda utilizată

Încercările complementare se selectează în funcție de mecanism și de condițiile de drenaj. În triaxial, alegerea regimului drenat sau nedrenat se corelează cu permeabilitatea terenului și durata etapei analizate. ISO 17892-9

[15] oferă cadrul încercărilor consolidate de compresiune pe epruvete saturate; traseele cu extensie sau control particular al eforturilor se descriu prin protocoale dedicate. Forfecarea directă caracterizează rezistența pe un plan impus, fiind utilă pentru mecanismele în care această condiție este reprezentativă.

6. PARAMETRI DE CALCUL ŞI VERIFICAREA MODELULUI

Modulele M_{sec} descriu rigiditatea edometrică pe intervalele analizate. Transferul în modelul constitutiv respectă definiția parametrilor şi dependența rigidității de efort. În Hardening Soil, E_{50}, E_{oed} şi E_{ur} caracterizează componente distincte ale răspunsului [6, 7]. Calibrarea prin simularea încercărilor reproduce treptele aplicate şi convenția de calcul a deformației, urmărind pantele ramurilor, revenirea şi deformația remanentă pe întregul ciclu.

Pentru HSsmall, caracterizarea la deformații mici necesită determinarea suplimentară a lui G_0 şi a parametrului de degradare $\gamma_{0.7}$ [7]. Încercările edometrice descriu compresibilitatea şi ciclurile de descărcare–reîncărcare, iar determinările complementare extind calibrarea către domeniile relevante pentru lucrare.

Diferențele dintre ramuri impun rigidități distincte la prima încărcare şi la reîncărcare. Un modul echivalent poate descrie o fază şi un interval limitat, cu verificarea sensibilității rezultatelor. Modelarea etapizată trebuie să păstreze istoricul mecanic şi să actualizeze rigiditatea în raport cu starea de efort.

6.1. Standarde de încercare şi programul de proiect

ISO 17892-5 şi ASTM D2435/D2435M [4, 5] constituie reperele metodologice pentru edometru. Programul de proiect definește succesiunea solicitărilor, ASTM prevăzând adaptarea încărcării la condițiile din amplasament. Pregătirea epruvetei, măsurarea şi raportarea rezultatelor se integrează în aceeaşi procedură de încercare.

Conform notei metodologice [12], tema investigațiilor precizează parametrii necesari fazelor de execuție şi modelului constitutiv ales. Obiectivul se concretizează prin definirea drumului de efort, a drenajului, a ritmului solicitării şi a criteriilor de încheiere a etapelor. Această corelare permite transferul coerent al rezultatelor în analiza lucrării.

6.2. Verificarea prin monitorizare

Verificarea drumului de efort modelat în laborator şi confirmarea parametrilor se fundamentează pe monitorizarea răspunsului terenului [16, 17, 19]. Se instalează tasometre/extensometre cu senzori distribuiţi în ampriza excavaţiei şi în terenul de fundare, de la cota de fundare a radierului pe întreaga zonă activă considerată decomprimată [20]. Reperul stabil se amplasează dincolo de zona de influenţă, iar citirile iniţiale preced excavarea şi epuizmentul.

În paralel, piezometrele din interiorul şi exteriorul incintei urmăresc nivelurile piezometrice şi presiunile apei din pori [22]. Instrumentarea se corelează cu sistemul propriu de monitorizare al structurii staţiei, inclusiv cu deplasările radierului şi sprijinirilor şi cu măsurătorile înclinometrice [21]. Urmărirea în exploatare se organizează potrivit P 130-2025 [18].

Drumul de efort efectiv se reconstituie din variaţiile de efort total calculate pe faze şi din presiunile apei măsurate. Compararea deformaţiilor înregistrate cu predicţiile pentru excavare, recomprimare şi exploatare permite verificarea parametrilor de laborator şi calibrarea rigidităţii de contact teren–structură.

7. CONCLUZII

Încercările P27 şi P33 evidenţiază dependenţa rigidităţii terenurilor necoezive de istoricul solicitării. Pe intervalul comun 200–500kPa, modulele edometrice secante cresc de la 22.06MPa la 53.57MPa pentru P27 şi de la 21.58MPa la 162.16MPa pentru P33, între prima încărcare şi reîncărcare. Revenirea parţială la descărcare şi deformaţiile remanente completează această caracterizare a răspunsului.

Schema A–B–C transpune mecanismul în etapele lucrării: stare iniţială, decomprimare prin excavare şi recomprimare prin realizarea structurii. Poziţia elementului de teren şi evoluţia presiunii apei determină solicitările care trebuie reproduse în laborator. În acest cadru, programul de încercări devine un instrument pentru descrierea comportării terenului pe faze de execuţie.

Utilizarea drumurilor de efort adaptate excavaţiei fundamentează alegerea unor rigidităţi distincte şi calibrarea modelelor de interacţiune teren–structură. Un modul constant unic nu poate reproduce simultan ramurile experimentale analizate. Corelarea încercărilor edometrice cu determinări complementare şi cu monitorizarea lucrării permite o reprezentare mai fidelă a decomprimării şi recomprimării terenului în calculul excavaţiilor adânci.

BIBLIOGRAFIE

[1]. T. W. LAMBE. *Stress Path Method.* Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 93(6), 309–331. **1967**. DOI: 10.1061/JSFEAQ.0001058.

[2]. T. W. LAMBE; W. A. MARR. *Stress Path Method: Second Edition.* Journal of the Geotechnical Engineering Division, 105(6), 727–738. **1979**. DOI: 10.1061/AJGEB6.0000821.

[3]. K. H. ANDERSEN; K. SCHJETNE. *Database of Friction Angles of Sand and Consolidation Characteristics of Sand, Silt, and Clay.* JGGE, 139(7), 1140–1155. **2013**. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.**1943**-5606.0000839.

[4]. ISO. *ISO 17892-5:**2017***. Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 5: Incremental loading oedometer test. **2017**. www.iso.org/standard/55247.html.

[5]. ASTM INTERNATIONAL. *ASTM D2435/D2435M-25*. Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. **2025**. DOI: 10.1520/D2435_D2435M-25.

[6]. T. SCHANZ; P. A. VERMEER; P. G. BONNIER. *The Hardening Soil model: Formulation and Verification.* Document tehnic reprodus de Bentley Systems, KB0110202, actualizare 24.10.**2016**.

[7]. BENTLEY SYSTEMS / SEEQUENT. *PLAXIS 2D **2024**.1 Material Models Manual.* Capitolele Hardening Soil, HSsmall și Soft Soil. Documentația oficială PLAXIS, **2024**.

[8]. DOCUMENTAȚIA M4 LOT 2. *Fișa forajului ABH-04 și programul de laborator*. Foraj 14.06.**2026**; adnotări 07.07.**2026**. „FFP si Programare LG UTCB ABH-04 Statia Eroii Revolutiei”. Document nepublicat, **2026**.

[9]. DATE EXPERIMENTALE P27. *Încercarea EDi ABH-04 P27, 27.0m.* Fișier XLSX „03 ABH-04 P27 27.0m EDi”, 08.08.**2026**, 17 trepte. Date nepublicate, **2026**.

[10]. DATE EXPERIMENTALE P33. *Încercarea EDi M4 ABH04 P33, 33.0m.* Fișiere ASCII „M4 ABH04 P33 33M EDI_Cons_01.txt”–„Cons_16.txt”, 13–16.07.**2026**. Date nepublicate, **2026**.

[11]. A. C. OLTEANU; C. BOBARNAC. *Raport tehnic RT01 din 09.08.**2026***. Documentație tehnică nepublicată, **2026**.

[12]. A. C. OLTEANU; C. BOBARNAC. *Determinarea parametrilor geotehnici pe baza reproducerii drumului de efort în laborator*. „Pentru MDE LG Revizia SG CrBo & AnOl 14.07.**2026**.doc”. Notă metodologică nepublicată, **2026**.

[13]. DOCUMENTAȚIA AUTORILOR. *Schița de corelare ABH-04 și etapele A–B–C.* „Schita de Implementat in Articol.jpg”, transmisă la 15.10.**2026**. Document nepublicat.

[14]. R. KUERBIS; Y. P. VAID. *Sand Sample Preparation—The Slurry Deposition Method.* Soils and Foundations, 28(4), 107–118. **1988**. DOI: 10.3208/sandf1972.28.4_107.

[15]. ISO. *ISO 17892-9:**2018***. Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water saturated soils. **2018**. www.iso.org/standard/70954.html.

[16]. MDRAP. *NP 120-**2014**. Normativ privind cerințele de proiectare, execuție și monitorizare a excavațiilor adânci în zone urbane.* Aprobat prin Ordinul nr. 2104/29.10.**2014**. Monitorul Oficial nr. 863 și 863 bis/27.11.**2014**. legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/163300.

[17]. MDLPA. *NP 074-**2022**. Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții.* Aprobat prin Ordinul nr. 27/10.01.**2023**. Monitorul Oficial nr. 56 și 56 bis/20.01.**2023**. legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/264362.

[18]. MDLPA. *P 130-**2025**. Normativ privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor*. Aprobat prin Ordinul nr. 770/30.05.**2025**. Monitorul Oficial nr. 568 și 568 bis/19.06.**2025**. legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/299190.

[19]. ASRO. *SR EN ISO 18674-1:**2015**. Investigații și încercări geotehnice. Monitorizare geotehnică prin instrumentare in situ. Partea 1: Reguli generale.* Echivalent ISO 18674-1:**2015**. www.iso.org/standard/63168.html.

[20]. ASRO. *SR EN ISO 18674-2:**2017**. Investigații și încercări geotehnice. Monitorizare geotehnică prin instrumentare in situ. Partea 2: Măsurarea deplasării de-a lungul unei linii: extensometre.* Echivalent ISO 18674-2:**2016**. www.iso.org/standard/67123.html.

[21]. ASRO. *SR EN ISO 18674-3:**2018** și SR EN ISO 18674-3:**2018**/A1:**2020**. Supraveghere geotehnică in situ prin aparatură. Partea 3: Înclinometre.* Echivalente ISO 18674-3:**2017** și Amd 1:**2020**.

[22]. ASRO. *SR EN ISO 18674-4:**2020**. Investigații și încercări geotehnice. Monitorizare geotehnică prin instrumentare in situ. Partea 4: Măsurarea presiunii apei din pori: Piezometre.* Echivalent ISO 18674-4:**2020**. www.iso.org/standard/73819.html.

INFRASTRUCTURA PODULUI BRĂILA ȘI MONITORIZAREA ONLINE A COMPORTĂRII ACESTEIA

Olteanu Andrei Constantin, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: andrei.olteanu@utcb.ro
Alexe Alexandru Gabriel, ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, Departamentul de Geotehnică și Fundații, e-mail: alexandru.alexe@utcb.ro

Rezumat

Podul suspendat peste Dunăre de la Brăila este un ansamblu în care comportarea tablierului, a cablurilor și a pilonilor este legată de răspunsul fundațiilor, al blocurilor de ancoraj și al terenului. Lucrarea prezintă infrastructura podului și punerea în funcțiune, în anul 2024, a șapte lanțuri de inclinometre instalate permanent (IPI), distribuite pe cele două maluri. Sistemul cuprinde 81 de module și o lungime instrumentată totală de 162,0 m. Sunt descrise configurația instrumentării, instalarea, stabilirea referinței, achiziția și transmiterea datelor, precum și condițiile necesare pentru validarea informației. Pentru Etapa 0 sunt sintetizate variațiile locale relative înregistrate în intervalul 25.05–10.06.2024, cu valori maxime cuprinse între 0,342 mm și 1,431 mm. Aceste valori sunt raportate la referința sistemului automat și nu reprezintă deplasări absolute ale fundațiilor. Integrarea cu nivelul Dunării, piezometria, temperatura și monitorizarea suprastructurii este prezentată ca un cadru pentru interpretarea comună a mecanismelor și a evenimentelor. Valoarea inginerească a monitorizării online depinde de trasabilitatea datelor, verificările independente și existența unor proceduri de răspuns.

Cuvinte cheie: Podul Brăila; infrastructură; monitorizare inclinometrică; monitorizare online; inclinometre instalate permanent; interacțiune teren–structură.

Abstract

The Brăila suspension bridge over the Danube is a structural system in which the response of the deck, cables and towers is linked to the behaviour of the foundations, anchor blocks and supporting ground. This paper presents the bridge substructure and the commissioning, in 2024, of seven permanent in-place inclinometer (IPI) arrays distributed on the two riverbanks. The system comprises 81 modules with a total instrumented length of 162.0 m. The installed configuration, field implementation, reference establishment, data acquisition and transmission, and the conditions required for data validation are described. For the initial monitoring stage, the paper summarises local relative changes recorded between 25 May and 10 June 2024, with maximum values ranging from 0.342 mm to 1.431 mm. These values are

referred to the automatic system baseline and do not represent absolute foundation displacements. Integration with Danube water levels, pore water pressure, temperature and superstructure monitoring is presented as a framework for the joint interpretation of mechanisms and events. The engineering value of online monitoring depends on data traceability, independent checks and defined response procedures.

Keywords: Brăila Bridge; substructure; inclinometric monitoring; online monitoring; in-place inclinometers; soil–structure interaction.

1. INTRODUCERE

La un pod suspendat de mari deschideri, urmărirea comportării trebuie să conecteze răspunsul structurii cu procesele care se produc în teren și în fundații. Monitorizarea infrastructurii oferă această legătură. În cazul Podului Brăila, instrumentarea automată permite trecerea de la observații periodice la serii temporale mai detaliate, consultabile la distanță și utilizabile pentru investigarea evenimentelor [1, 2]. Obiectivul lucrării este prezentarea configurației, instalării și punerii în funcțiune a sistemului IPI, împreună cu principiile de prelucrare, validare și interpretare a datelor. Rezultatele din Etapa 0 sunt analizate ca variații relative față de referința sistemului automat și nu ca deplasări absolute ale fundațiilor.

2. PODUL BRĂILA ȘI ROLUL INFRASTRUCTURII

Podul realizează legătura rutieră peste Dunăre între zona Brăila și malul dinspre Jijila, către județul Tulcea. Sistemul suspendat are lungimea de 1 974,3 m și deschiderea centrală de 1 120 m, iar podurile de acces au aproximativ 110 m la fiecare extremitate [3]. Lățimea comunicată de constructor este de 31,7 m, iar circulația a fost deschisă în iulie 2023 [4]. Aceste dimensiuni explică necesitatea urmăririi diferențiate a componentelor structurale și geotehnice.



Figura 1. Podul suspendat peste Dunăre la Brăila. Imagine reprodusă din [1], provenită din Raportul Etapa 0/2024.

Tablierul transferă încărcările către cablurile principale prin tiranți. Cablurile transmit reacțiuni pilonilor și eforturi importante blocurilor de ancoraj. Fundațiile pilonilor și blocurile de ancoraj închid traseul încărcărilor prin interacțiunea cu terenul. O deplasare a infrastructurii poate modifica geometria și distribuția solicitărilor în ansamblul podului; invers, variațiile acțiunilor asupra suprastructurii pot schimba solicitarea fundațiilor.

Pentru prezentarea de față, infrastructura urmărită cuprinde cele două blocuri de ancoraj și fundațiile celor doi piloni. La blocurile de ancoraj sunt relevante translația, rotația și deformarea locală. La fundațiile pilonilor interesează deplasările diferențiate, modificarea curburii pe adâncime și compatibilitatea dintre punctele instrumentate. Lungimea unei coloane IPI reprezintă întinderea măsurării și nu trebuie confundată cu lungimea piloților sau cu adâncimea totală a fundației.

Contextul de fundare este aluvionar, în vecinătatea unui fluviu cu nivel variabil. Proiectantul de specialitate semnalează prezența importantă a argilelor moi și complexitatea lucrărilor de fundare, care au inclus piloți de diametru mare, excavații adânci și sisteme de epuizment [5]. Pentru fundațiile podului au fost utilizați piloți cu diametrul de până la 1,8 m și adâncimi de până la aproximativ 45 m [4]. Stratificația locală și regimul apei subterane constituie date necesare interpretării, deoarece deplasările măsurate nu pot fi explicate numai prin acțiunile asupra tablierului.

Urmărirea online a fundațiilor completează inspecțiile și măsurătorile structurale. Ea permite localizarea unei variații pe adâncime și verificarea evoluției sale în timp, furnizând informații pentru evaluarea interacțiunii teren–infrastructură–suprastructură.

3. CONFIGURAȚIA INSTRUMENTĂRII GEOTEHNICE

Monitorizarea inclinometrică manuală a început în etapa de execuție. Arhiva analizată în [1] acoperă septembrie 2019–ianuarie 2025 și include mai multe tuburi pentru fiecare obiectiv. În anul 2024, șapte dintre tuburile existente au fost echipate cu lanțuri permanente IPI. Campaniile manuale ulterioare au continuat în tuburile rămase accesibile; cele două categorii de serii trebuie identificate separat.

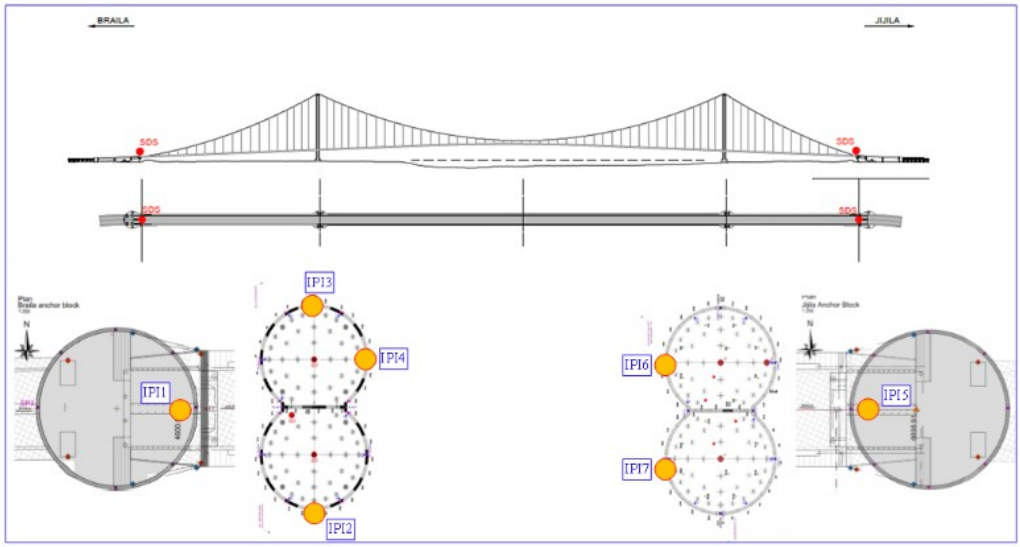


Figura 2. Poziționarea IPI1–IPI7 la blocurile de ancoraj și fundațiile pilonilor. Planșă din Raportul Etapa 0, reprodusă în [1]; reprezentare schematică, fără scară.

Tabelul 1. Configurația instalată în anul 2024, sintetizată după [1], tabelul 3-3.

Sistem	Obiectiv	Lungime prevăzută (m)	Lungime instrumentată (m)	Module
IPI1	Bloc de ancoraj Brăila	40,0	38,0	19
IPI2	Pilonul Brăila	20,0	20,0	10
IPI3	Pilonul Brăila	20,0	20,0	10
IPI4	Pilonul Brăila	20,0	20,0	10
IPI5	Bloc de ancoraj Jijila	40,0	28,0	14
IPI6	Pilonul Jijila	22,0	14,0	7
IPI7	Pilonul Jijila	22,0	22,0	11

Inventarul însumează 81 de module şi 162,0 m de lungime instrumentată, la un pas nominal de 2,0 m. Diferenţele dintre lungimile prevăzute şi cele instrumentate se păstrează în interpretare. IPI5 şi IPI6 nu oferă informaţii sub 28,0 m, respectiv 14,0 m; stabilitatea reperului inferior trebuie analizată separat. Instrumentarea multiplă a fundaţiilor pilonilor permite comparaţii spaţiale, fără a descrie toate modurile de mişcare ale unei fundaţii.

4. INSTALAREA ŞI STABILIREA REFERINȚEI

Sistemele utilizează module inclinometrice SISGEO S410, cu senzori MEMS, instalate permanent în tubulatura existentă. Ghidarea în caneluri păstrează orientarea măsurării, iar modulele furnizează informaţii pentru cele două axe locale, A şi B, împreună cu temperatura [1, 6].

Documentarea din teren acoperă pregătirea şi verificarea tuburilor în aprilie–mai 2024, urmate de conectare şi punere în funcţiune în iunie. Operaţiile au inclus verificarea adâncimii accesibile, inventarierea modulelor, introducerea controlată a lanţului, protejarea cablurilor, adresarea canalelor şi testarea comunicaţiei. Accesul la capul tubului şi condiţiile locale au influenţat organizarea montajului [1].



Figura 3. Etape ale instalării şi punerii în funcţiune: pregătirea tubului şi a lanţului IPI (stânga), introducerea controlată a instrumentelor (centru) şi unitatea OMNIAlog pentru achiziţia datelor (dreapta). Fotografii din campaniile aprilie–iunie 2024, arhiva contractului, reproduse în [1].

Fiecărui modul îi corespund un identificator, o poziţie pe adâncime, o orientare şi o referinţă. Fişa de instalare leagă aceste informaţii de cablare, de

adresa digitală şi de jurnalul intervenţiilor. Axele A şi B pot fi denumite longitudinală şi transversală numai după verificarea orientării tubului faţă de axa podului. În caz contrar, se păstrează denumirile locale.

Etapa 0 defineşte starea de referinţă a achiziţiei automate. Stabilirea ei presupune verificarea identităţii canalelor, a stabilităţii mecanice şi termice şi a funcţionării comunicaţiei. Citirea de control permite observarea variaţiilor faţă de această stare. Iniţializarea unui lanţ la zero nu anulează deplasările acumulate înaintea instalării şi nu reprezintă o nouă origine geometrică a structurii.

Continuitatea cu istoricul manual se acceptă numai pentru poziţii, adâncimi, orientări şi repere compatibile. O asociere generică la acelaşi pilon nu dovedeşte identitatea tubului. Pentru verificări independente se utilizează tuburile accesibile sondei mobile, măsurători topografice şi, după caz, proceduri controlate de demontare şi reinstalare. Intervenţiile asupra unui lanţ permanent trebuie consemnate deoarece pot modifica referinţa.

5. FUNCȚIONAREA MONITORIZĂRII ONLINE

Monitorizarea online reprezintă un flux care leagă măsurarea automată de accesul la date, validarea acestora şi interpretarea inginerească. În configuraţia descrisă pentru Podul Brăila, modulele IPI comunică cu echipamentele OMNIAlog, iar datele sunt stocate local şi transmise pentru consultare centralizată [1, 6, 7]. Comunicarea dintre senzori şi unitatea de achiziţie este distinctă de legătura utilizată pentru transferul datelor către sistemul central. OMNIAlog realizează achiziţia şi stocarea, iar platforma centrală organizează vizualizarea, analiza şi gestionarea evenimentelor.

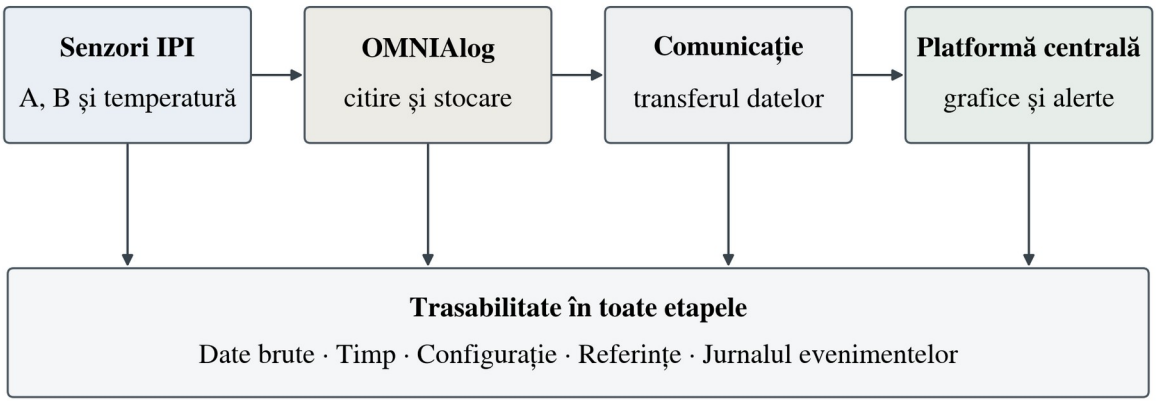


Figura 4. Arhitectura funcţională a monitorizării online şi a fluxului de date. Schemă de sinteză pe baza [1, 6, 7].

Achiziția. Dataloggerul interoghează canalele conform programului configurat și asociază valorilor un marcaj temporal. Documentația OMNIAlog descrie stocare locală, administrare prin browser și posibilități de conectare în rețea [7]. Aceste capabilități susțin supravegherea la distanță; funcțiile efectiv activate și intervalele de citire se consemnează pentru fiecare instalație.

Transmiterea și arhivarea. Momentul măsurării trebuie păstrat separat de momentul recepției pe server. Întreruperea legăturii poate întârzia accesul la date chiar dacă achiziția locală continuă. După restabilirea comunicației, recuperarea înregistrărilor se verifică prin marcajele temporale și identificatorii canalelor, evitând dublurile. Se păstrează atât valorile brute, cât și rezultatele prelucrate.

Vizualizarea. Pentru fiecare lanț sunt utile profilurile pe axele A și B, evoluția la adâncimi selectate, temperatura și starea achiziției. Interfața trebuie să indice data ultimei citiri valide și intervalele fără date. O curbă afișată cu succes nu dovedește că informația este actuală. Parametrii privind disponibilitatea și întârzierea datelor fac parte din evaluarea funcționării sistemului.

Sensul termenului online. Citirea automată are un interval programat, iar transmiterea și validarea introduc întârzieri suplimentare. De aceea, accesul online nu echivalează automat cu măsurare instantanee sau cu latență garantată. Frecvența se stabilește în raport cu viteza fenomenului urmărit. Pentru fundații interesează în principal evoluțiile lente și efectele reziduale; vibrațiile tablierului necesită o achiziție dinamică dedicată.

6. DE LA ÎNCLINARE LA INFORMAȚIE INGINEREASCĂ

IPI măsoară înclinarea locală pe cele două axe ale fiecărui modul. Variația deplasării laterale a unui segment rezultă prin prelucrarea acestei înclinări pe baza lungimii segmentului și a referinței geometrice. Pentru segmentul i și pentru fiecare axă, variația componentei orizontale se exprimă prin relația (1), în care L_i este lungimea segmentului, $\theta_i(t)$ este înclinarea curentă, iar $\theta_i(t_0)$ este înclinarea de referință [1, 9].

$$\Delta d_i(t) = L_i[\sin\theta_i(t) - \sin\theta_i(t_0)] \quad (1)$$

Profilul pe adâncime se obține prin însumarea contribuțiilor segmentelor pentru fiecare axă, conform geometriei lanțului și convenției de semn, pornind de la reperul de integrare. Dacă mișcarea acestui reper nu este cunoscută, rezultatul reprezintă deformarea relativă față de reper, nu translația absolută a fundației. Presupunerea unei baze fixe trebuie justificată, deoarece un lanț relativ scurt poate să nu ajungă într-o zonă stabilă.

Componentele A și B se păstrează în analiză, deoarece sensul deplasării este relevant pentru mecanismul urmărit. Rezultanta reprezintă modulul vectorului și se calculează după raportarea componentelor la aceeași referință. Pentru continuarea unei serii manuale, incrementul IPI se adaugă separat fiecărei componente compatibile, apoi se recalculează rezultanta. Adunarea scalară a rezultantelor poate conduce la o valoare eronată.

6.1. Validarea datelor

Primul nivel de verificare privește identitatea canalului, unitatea, ordinea modulelor, timpul și referința. Urmează controlul domeniului de măsurare, al golurilor de date, al valorilor repetate și al salturilor asociate repornirilor. Înregistrările lipsă sau nevalide se marchează ca atare; înlocuirea lor cu zero ar crea deplasări ori reveniri artificiale. Datele excluse se păstrează împreună cu motivul excluderii.

Al doilea nivel urmărește coerența pe adâncime și între instrumente. Un modul divergent poate indica un efect local sau o problemă de măsurare; un răspuns comun mai multor module poate avea semnificație mecanică, dar poate proveni și dintr-o schimbare comună de referință. Temperatura și jurnalul tehnic sunt necesare în ambele situații. Confirmarea printr-o metodă independentă întărește interpretarea.

6.2. Indicatori pentru urmărirea evoluției

Interpretarea combină amplitudinea, adâncimea variației, forma profilului, viteza aparentă și persistența. Schimbarea pantei curbei deplasare–timp poate fi mai relevantă decât o valoare izolată. Comparațiile se efectuează pe intervale compatibile cu precizia și frecvența sistemului; diferențierea unor citiri zgomotoase la intervale foarte scurte poate produce viteze aparente fără semnificație fizică.

Disponibilitatea se evaluează separat pentru fiecare canal, raportând citirile valide la cele programate. O medie calculată pentru întreaga rețea poate ascunde pierderea informației într-un punct important. Interpretarea geotehnică și evaluarea funcționării echipamentelor se păstrează distincte, dar se prezintă împreună în raportarea periodică.

Interpretarea variațiilor submilimetrice se realizează în raport cu performanțele metrologice ale fiecărui modul. Se iau în considerare certificatul

individual de calibrare, repetabilitatea, stabilitatea în timp, influența temperaturii, lungimea segmentelor și propagarea incertitudinii prin însumarea modulelor. O variație locală nu este considerată semnificativă numai pe baza amplitudinii sale, ci după verificarea persistenței, a coerenței cu modulele învecinate și, după caz, a confirmării printr-o metodă independentă.

7. REZULTATE REPREZENTATIVE ȘI SEMNIFICAȚIA ACESTORA

Etapa 0 oferă un exemplu documentat al modului în care este stabilită și controlată referința automată. În [1] sunt reproduse rezultatele Raportului tehnic 0/2024, cu citiri inițiale și de control realizate între 25.05.2024 și 10.06.2024. Tabelul 2 sintetizează maximele absolute ale variațiilor locale raportate pe module; intervalul efectiv diferă între lanțuri.

Tabelul 2. Variații locale relative în Etapa 0, după [1], tabelul 4-2. Adâncimile sunt pozitive în jos; valorile nu reprezintă deplasarea cumulată a fundației.

Sistem	Interval de control în anul 2024	max $\|\Delta d_i\|$ (mm)	Adâncimea maximului (m)
IPI1	01.06–10.06	0,879	2,0
IPI2	25.05–10.06	0,526	2,0
IPI3	25.05–10.06	0,342	20,0
IPI4	25.05–10.06	0,639	2,0
IPI5	02.06–10.06	0,520	10,0
IPI6	01.06–10.06	1,431	2,0
IPI7	01.06–09.06	0,958	4,0

În această secvență de control, maximele locale se situează între 0,342 mm și 1,431 mm. Pentru cinci lanțuri, maximul apare în zona superioară, la 2,0–4,0 m. IPI3 prezintă maximul la 20,0 m, iar IPI5 la 10,0 m. Poziția maximului justifică examinarea întregului profil și evitarea unei interpretări bazate exclusiv pe valoarea de la capul tubului.

Aceste mărimi descriu variații locale față de referința automată și nu valori absolute ale mișcării blocurilor de ancoraj sau ale pilonilor. Numărul de zecimale reproduce sursa și nu reprezintă o declarație privind exactitatea măsurării. Diferențele dintre maxime nu constituie, singure, o ierarhizare a riscului, deoarece lanțurile au lungimi, poziții și intervale de control diferite. Interpretarea

trebuie să considere distribuţia pe adâncime, semnul variaţiilor pe axele A şi B, temperatura, stabilitatea reperului şi incertitudinea măsurării.

Seriile de continuitate manual–IPI prezentate în [1] permit compararea, la nivel interpretativ, a campaniilor manuale cu referinţa sistemului automat. Seriile prelucrate trebuie păstrate distinct de exporturile brute. Semnificaţia lor depinde de verificarea corespondenţei tuburilor, a axelor, a adâncimii de comparaţie şi a referinţelor; simpla continuitate grafică nu demonstrează continuitatea metrologică.

Rezultatul principal al trecerii la online este posibilitatea de a urmări evoluţia dintre campanii şi de a identifica momentul unei schimbări. Formularea unei concluzii privind starea infrastructurii necesită compararea datelor validate cu limitele din proiect, verificări independente şi analiza mecanismului. Absenţa unei variaţii importante într-un interval scurt nu demonstrează singură siguranţa pe termen lung.

8. INTEGRAREA CU DUNĂREA ŞI SUPRASTRUCTURA

8.1. Contextul hidrologic şi termic

Dunărea reprezintă o condiţie hidraulică de frontieră pentru terenul din vecinătatea podului. O modificare a nivelului fluviului se poate transmite în acvifer cu întârziere şi atenuare, în funcţie de stratificaţie, permeabilitate, distanţă şi drenaj. Modificarea presiunii apei din pori schimbă eforturile efective; în anumite condiţii poate influenţa deformarea terenului şi solicitarea fundaţiilor [1].

IPI nu măsoară presiunea interstiţială, tasarea verticală sau afuierea. Atribuirea unei variaţii inclinometrice unui proces hidrologic presupune date piezometrice şi hidrologice compatibile. Cota citită la mira hidrometrică trebuie transformată într-un reper comun înaintea comparaţiei cu nivelurile piezometrice absolute. O coincidenţă temporală constituie un indiciu pentru analiză, dar nu demonstrează singură o relaţie cauzală.

Temperatura poate influenţa atât structura, cât şi lanţul de măsurare. Oscilaţiile sezoniere se compară pe cicluri succesive, urmărind dacă profilul revine sau păstrează o componentă reziduală. O coincidenţă temporală cu temperatura, precipitaţiile ori nivelul fluviului este un indiciu pentru analiză, nu o demonstraţie de cauzalitate.

8.2. Corelarea răspunsurilor pe scări temporale

Tabelul 3. Complementaritatea măsurărilor pentru integrarea propusă, după [1].

Sistem	Informația utilizată	Legătura urmărită cu IPI
Piezometrie	Presiune interstițială și nivel	Context hidrogeologic
Topografie / GNSS	Deplasări și cote în reper stabil	Translație și tasare globală
Tiltmetre	Înclinări ale elementelor	Compatibilitatea rotațiilor
Deformații / fibră optică	Deformații și temperatură	Schimbarea stării structurale
Accelerometre	Răspuns dinamic	Eveniment și efect rezidual
Meteo și trafic	Acțiuni și momente relevante	Context și ferestre de analiză

Integrarea se realizează printr-un eveniment și un timp comun. Pentru vânt puternic, trafic excepțional sau un episod hidrologic se compară intervale înainte, în timpul și după eveniment. Senzorii dinamici caracterizează răspunsul rapid, iar IPI verifică eventuala modificare lentă sau reziduală. Agregarea seriilor trebuie să păstreze mărimile și scările temporale relevante.

În studiul de caz [1], integrarea cu baza numerică a suprastructurii este prezentată ca un cadru metodologic. Aplicarea acestuia presupune acces la seriile provenite de la sistemele relevante, sincronizarea ceasurilor, documentarea pozițiilor, utilizarea unor repere comune și verificarea incertitudinii fiecărei metode de măsurare.

9. DE LA OBSERVAȚIA ONLINE LA DECIZIE

Un sistem de monitorizare devine util exploatării atunci când o variație măsurată poate conduce la o acțiune definită. Pragurile se stabilesc de proiectant în raport cu mecanismele urmărite și cu limitele acceptabile ale comportării, înainte de producerea evenimentelor. Valorile din Etapa 0 nu pot fi transformate automat în praguri de alarmare.

Pentru organizarea răspunsului poate fi utilizată o succesiune de niveluri: normal, atenție, avertizare și alarmă. La nivel normal se verifică funcționarea și se urmăresc tendințele. Nivelul de atenție declanșează analiza unei abateri și, dacă este necesar, creșterea frecvenței. Avertizarea solicită evaluare inginerească și verificări independente. Alarma activează măsurile prestabilite și informarea imediată a persoanelor responsabile. Denumirile, limitele și timpii de răspuns se particularizează prin proiect.

Trebuie diferențiată depășirea unui prag geotehnic de pierderea informației: lipsa alimentării, întreruperea comunicației sau un canal nefuncțional necesită intervenție tehnică și pot impune o metodă alternativă de supraveghere. Pentru fiecare eveniment se păstrează momentul detecției, destinatarul notificării, confirmarea primirii, verificarea efectuată și decizia. O notificare automată fără responsabil și termen nu închide procesul de monitorizare.

Validarea se adaptează urgenței. Persistența și coerența între senzori sunt criterii utile pentru eliminarea semnalelor nejustificate, dar nu trebuie să întârzie măsurile de protecție prevăzute pentru o variație rapidă și potențial critică. În această situație, verificarea datelor și aplicarea răspunsului de precauție se desfășoară în paralel, conform procedurii aprobate.

Organizarea monitorizării geotehnice se sprijină pe regulile generale ISO 18674-1 și pe cerințele specifice inclinometriei din ISO 18674-3 [8, 9]. Pentru urmărirea în exploatare, cadrul național este completat de P 130-2025 [10]. Exploatarea sistemului include întreținerea echipamentelor, controlul reperelor, arhivarea configurațiilor, raportarea periodică și analiza distinctă după evenimente relevante.

10. CONCLUZII

Instrumentarea realizată în anul 2024 cuprinde șapte lanțuri IPI, 81 de module și o lungime totală instrumentată de 162,0 m. Configurația extinde capacitatea de observare a celor două blocuri de ancoraj și a fundațiilor pilonilor Podului Brăila, permițând localizarea pe adâncime a variațiilor și urmărirea evoluției acestora între campaniile manuale.

În secvența de control a Etapei 0 au fost raportate variații locale maxime cuprinse între 0,342 mm și 1,431 mm. Aceste valori sunt raportate la referința sistemului automat și nu reprezintă deplasări absolute ale fundațiilor. Interpretarea lor necesită analiza profilului complet, păstrarea distinctă a componentelor A și B, verificarea temperaturii, a stabilității reperului și a incertitudinii măsurării.

Monitorizarea online sprijină decizia atunci când măsurarea, validarea, interpretarea și răspunsul sunt legate prin referințe verificabile și responsabilități clare. Integrarea datelor infrastructurii cu piezometria, topografia, condițiile de mediu și monitorizarea suprastructurii oferă cadrul necesar pentru interpretarea mecanismelor și a efectelor asociate evenimentelor relevante.

BIBLIOGRAFIE

[1]. ALEXE, A. G. *Monitorizare on-line aplicată structurilor de fundare versus monitorizarea suprastructurii – Studiu de caz: blocuri de ancoraj și sisteme de fundare piloni, Pod Brăila.* Lucrare de disertație, UTCB, **2026**. Conducător: Andrei Constantin Olteanu. Configurația IPI și sinteza Etapei 0: tabelele 3-3 și 4-2; documentare fotografică și scheme: capitolele 1–3.

[2]. OLTEANU, A. C.; ALEXE, A. G.; TOMȘA, C. *Real-Time Monitoring of Bridge Infrastructures.* Material tehnic transmis, versiunea din 28.11.**2024**.

[3]. IHI INFRASTRUCTURE SYSTEMS. *IHI Group First Order Received for Large Suspension Bridge in Romania.* Comunicat din 17.01.**2018**. Sursa oficială IHI.

[4]. WEBUILD. *Braila Bridge inaugurated in Romania, second longest suspended bridge on Continental Europe.* Comunicat din 06.07.**2023**. Sursa oficială Webuild.

[5]. STUDIO GEOTECNICO STRUTTURALE SGS. *Braila Bridge Foundations.* Prezentarea proiectului de fundații. Sursa oficială SGS.

[6]. SISGEO. *MEMS In-place Inclinometers.* Descrierea tehnologiei și a comunicației digitale a senzorilor. Documentația oficială SISGEO.

[7]. SISGEO. *OMNIAlog Datalogger*. Caracteristici de achiziție, stocare și comunicație; fișa tehnică OMNIA_EN_08. Documentația oficială SISGEO.

[8]. ISO 18674-1:**2015**. *Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 1: General rules.* Catalog ISO.

[9]. ISO 18674-3:**2017**, cu amendamentul 1:**2020**. *Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 3: Measurement of displacements across a line: Inclinometers.* Catalog ISO.

[10]. MDLPA. *Normativ privind urmărirea comportării în exploatare a construcţiilor, indicativ P 130-**2025**.* Aprobat prin Ordinul nr. 770/30.05.**2025**; Monitorul Oficial nr. 568 și 568 bis/19.06.**2025**. Portal Legislativ.

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND UTILIZAREA TEHNOLOGIEI WARM MIX ASPHALT ÎN MIXTURI ASFALTICE CU DIFERITE PROPORȚII DE MATERIAL ASFALTIC RECICLAT

Orodel Răzvan Gabriel, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, e-mail: razvan-gabriel.orodel@phd.utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Prezentul articol analizează posibilităţile de utilizare a tehnologiei Warm Mix Asphalt (WMA) în prepararea mixturilor asfaltice cu diferite proporţii de material asfaltic recuperat (RAP), destinate straturilor de uzură şi de legătură ale structurilor rutiere. Cercetarea se bazează pe analiza studiilor experimentale internaţionale, a principiilor tehnologice de preparare şi a cadrului normativ aplicabil în România. Studiul de caz, realizat prin compararea rezultatelor publicate pentru proporţii de RAP cuprinse între 0% şi 75%, evidenţiază influenţa materialului recuperat asupra rezistenţei la deformaţii permanente, comportării la fisurare şi temperaturilor de preparare. Rezultatele analizate indică posibilitatea reducerii temperaturilor de fabricaţie şi a consumului de materiale de aport, menţinând performanţe mecanice corespunzătoare în anumite condiţii experimentale. Concluziile evidenţiază potenţialul tehnologiei WMA-RAP pentru dezvoltarea unor soluţii rutiere sustenabile, precum şi necesitatea verificării experimentale şi a respectării cerinţelor normative înaintea aplicării în practica rutieră din România.

Cuvinte cheie: Warm Mix Asphalt, material asfaltic recuperat, RAP, mixturi asfaltice, sustenabilitate

Abstract

This paper examines the potential application of Warm Mix Asphalt (WMA) technology in the production of asphalt mixtures incorporating different proportions of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for wearing and binder courses. The research is based on a review of international experimental studies, asphalt production technologies, and the regulatory framework applicable in Romania. The case study, conducted through a comparative analysis of published results for RAP contents ranging from 0% to 75%, highlights the influence of reclaimed material on rutting resistance, cracking performance, and production temperatures. The reviewed findings indicate that lower production temperatures and reduced

consumption of virgin materials can be achieved while maintaining satisfactory mechanical performance under specific experimental conditions. The conclusions highlight the potential of WMA-RAP technology for developing more sustainable road pavement solutions, as well as the need for experimental validation and compliance with technical regulations before its implementation in Romanian road construction practice.

Keywords: Warm Mix Asphalt, Reclaimed Asphalt Pavement, RAP, asphalt mixtures, sustainability.

1. INTRODUCERE: SUSTENABILITATEA MIXTURILOR ASFALTICE PRIN UTILIZAREA TEHNOLOGIEI WARM MIX ASPHALT

Dezvoltarea durabilă a infrastructurii rutiere impune identificarea unor soluții tehnologice care să permită reducerea consumului de energie și a utilizării resurselor naturale, fără afectarea performanțelor tehnice ale structurilor rutiere. În acest context, tehnologia Warm Mix Asphalt (WMA) reprezintă o alternativă la tehnologia convențională Hot Mix Asphalt (HMA), permițând prepararea și punerea în operă a mixturilor asfaltice la temperaturi reduse. Aplicarea acestei tehnologii poate contribui la diminuarea consumului de combustibil și a emisiilor generate în procesul de fabricație, oferind totodată posibilitatea integrării materialelor asfaltice recuperate din lucrările de reabilitare și întreținere a drumurilor [4], [5].

Utilizarea materialului asfaltic recuperat, cunoscut sub denumirea de Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), constituie o direcție revoluționară în dezvoltarea mixturilor asfaltice sustenabile, prin valorificarea agregatelor și a liantului bituminos existente în structurile rutiere. Cercetările realizate la nivel internațional au evidențiat posibilitatea introducerii unor proporții ridicate de RAP în mixturile asfaltice preparate prin tehnologia WMA [1], [2]. Cu toate acestea, influența materialului recuperat asupra comportării mixturilor asfaltice depinde de proporția utilizată, de caracteristicile bitumului îmbătrânit și de procedeul tehnologic adoptat. În consecință, evaluarea rezistenței la deformații permanente, a comportării la oboseală și a sensibilității la apă prezintă o importanță deosebită, în special pentru mixturile destinate straturilor de uzură și de legătură [5], [7].

Prezentul articol își propune să analizeze stadiul actual al cercetărilor privind utilizarea tehnologiei Warm Mix Asphalt în combinație cu diferite proporții de material asfaltic recuperat, prin evidențierea avantajelor, limitărilor și

performanţelor tehnice raportate în literatura de specialitate. Analiza urmăreşte identificarea condiţiilor de utilizare prevăzute în reglementările tehnice naţionale şi internaţionale. În completarea studiului bibliografic, se propune realizarea unui studiu de caz comparativ, orientat către evaluarea influenţei procentului de RAP asupra caracteristicilor mixturilor asfaltice, în vederea identificării posibilităţilor de aplicare a acestei tehnologii în execuţia straturilor rutiere de uzură şi de legătură.

2. ANALIZA TEORETICĂ ŞI PRINCIPII DE FUNCŢIONARE

2.1. Principiul de funcţionare al tehnologiei Warm Mix Asphalt

Tehnologia Warm Mix Asphalt (WMA) se bazează pe reducerea temperaturilor de preparare şi punere în operă a mixturilor asfaltice, comparativ cu tehnologia convenţională Hot Mix Asphalt (HMA), fără modificarea cerinţelor fundamentale privind calitatea şi performanţa materialului. În funcţie de procedeul utilizat şi de caracteristicile materialelor componente, reducerea temperaturii poate fi de aproximativ 20–40°C, contribuind la diminuarea consumului energetic şi a emisiilor rezultate în procesul de producţie [5], [12].

Obţinerea mixturilor asfaltice la temperaturi reduse este posibilă prin utilizarea unor procedee tehnologice care îmbunătăţesc lucrabilitatea amestecului şi facilitează acoperirea agregatelor cu liant bituminos. Principalele categorii de procedee pentru tehnologia WMA sunt:

- Aditivi organici: Produse pe bază de ceruri sintetice sau naturale, precum Sasobit, care modifică proprietăţile reologice ale bitumului la temperaturile de preparare, favorizând amestecarea şi compactarea mixturii asfaltice.

- Aditivi chimici: Produse care îmbunătăţesc interacţiunea dintre liantul bituminos şi agregate, facilitând anrobarea şi lucrabilitatea mixturii la temperaturi mai reduse, fără a necesita în toate cazurile o diminuare semnificativă a vâscozităţii bitumului.

- Procedee de spumare a bitumului: Tehnologii bazate pe introducerea controlată a apei sau pe utilizarea unor materiale precum zeoliţii, care determină expandarea temporară a liantului bituminos şi îmbunătăţirea lucrabilităţii acestuia.

Alegerea procedeului WMA depinde de tipul mixturii asfaltice, caracteristicile bitumului utilizat şi condiţiile tehnologice de preparare. În cazul

mixturilor care conţin material asfaltic recuperat, reducerea temperaturii de fabricaţie prezintă un interes suplimentar, deoarece limitează expunerea liantului îmbătrânit la temperaturi ridicate şi poate reduce îmbătrânirea suplimentară a acestuia în timpul procesului tehnologic [1], [5].

2.2. Utilizarea materialului asfaltic recuperat şi influenţa asupra performanţelor mixturilor asfaltice

Materialul asfaltic recuperat, denumit în literatura internaţională Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), provine din frezarea sau decaparea straturilor asfaltice existente şi conţine agregate minerale acoperite cu bitum îmbătrânit. Reintroducerea acestuia în compoziţia mixturilor asfaltice noi permite valorificarea materialelor existente şi reducerea necesarului de agregate naturale şi liant bituminos nou.

Integrarea RAP în mixturile WMA presupune stabilirea unei compoziţii corespunzătoare, ţinând seama de granulozitatea materialului recuperat, conţinutul şi caracteristicile bitumului existent, precum şi de proporţia acestuia în amestecul final. Creşterea procentului de RAP poate determina sporirea rigidităţii mixturii asfaltice, cu efecte favorabile asupra rezistenţei la deformaţii permanente, dar poate influenţa negativ comportarea la fisurare şi oboseală, în funcţie de proprietăţile liantului şi de condiţiile de exploatare [2], [5].

Cercetările experimentale au evidenţiat posibilitatea utilizării unor proporţii ridicate de material recuperat prin asocierea acestuia cu tehnologia WMA. Mallick şi colaboratorii [1] au investigat prepararea unei mixturi asfaltice cu 75% RAP, utilizând aditivul Sasobit H8, în timp ce Zhao şi colaboratorii [2] au analizat comportarea unor mixturi WMA cu proporţii de RAP cuprinse între 0% şi 50%.

Într-un studiu ulterior, Zaremotekhases şi colaboratorii [7] au evaluat mixturi asfaltice cu 0%, 25% şi 35% RAP, urmărind rezistenţa la deformaţii permanente, comportarea la fisurare şi influenţa tehnologiilor WMA asupra performanţelor mecanice. Rezultatele au evidenţiat îmbunătăţirea rezistenţei la deformaţii permanente pentru anumite combinaţii de material recuperat şi tehnologie WMA, precum şi posibilitatea obţinerii unor performanţe favorabile la fisurare.

Pentru straturile de uzură şi de legătură, utilizarea mixturilor WMA cu RAP necesită o evaluare diferenţiată, având în vedere solicitările specifice fiecărui strat. În cazul stratului de uzură, prezintă o importanţă deosebită

rezistența la deformații permanente, sensibilitatea la apă și caracteristicile suprafeței de rulare, în timp ce pentru stratul de legătură trebuie urmărite în special comportarea la solicitări repetate, rezistența la fisurare și contribuția la capacitatea portantă a structurii rutiere.

2.3. Standarde și reglementări tehnice aplicabile

La nivel european, cerințele privind caracteristicile mixturilor asfaltice și ale materialelor componente sunt reglementate prin seria de standarde EN 13108. Pentru betonul asfaltic utilizat în structurile rutiere este relevant standardul EN 13108-1, în timp ce standardul EN 13108-8 stabilește cerințele pentru clasificarea și descrierea asfaltului recuperat utilizat ca material component al mixturilor asfaltice [13].

În România, proiectarea, prepararea și punerea în operă a mixturilor asfaltice sunt reglementate prin Normativul AND 605-2016, cu modificările și completările ulterioare. Acesta stabilește condițiile tehnice pentru materialele componente, compoziția mixturilor asfaltice, caracteristicile fizico-mecanice și controlul calității lucrărilor executate [14].

Un document important pentru valorificarea materialelor asfaltice recuperate este Normativul DD 509-2024, aprobat prin Ordinul nr. 285/412/2026, privind reciclarea mixturilor asfaltice la cald în instalații de preparare fixe, semimobile și mobile. Reglementarea stabilește condițiile de utilizare a asfaltului recuperat, cerințele privind materialele componente și caracteristicile mixturilor rezultate, precum și domeniile admise de aplicare în structurile rutiere [15].

Trebuie precizat faptul că reciclarea la cald și tehnologia WMA nu reprezintă procedee identice. Prin urmare, posibilitatea utilizării unor proporții de RAP raportate în cercetările internaționale nu implică automat acceptarea acestora în lucrările rutiere din România. Aplicarea practică trebuie analizată în raport cu tipul stratului rutier, clasa tehnică a drumului și prevederile reglementărilor în vigoare.

2.4. Contextul internațional și direcții actuale de cercetare

Dezvoltarea tehnologiilor WMA a fost susținută inițial prin aplicații și cercetări europene, ulterior acestea fiind adoptate și extinse în Statele Unite și în alte regiuni. Interesul pentru aceste tehnologii a fost determinat de posibilitatea reducerii temperaturilor de fabricație, a consumului de combustibil și a emisiilor

asociate producerii mixturilor asfaltice. Federal Highway Administration (FHWA) a documentat utilizarea procedeelor WMA în infrastructura rutieră americană, evidențiind avantajele privind lucrabilitatea, compactarea și condițiile de punere în operă [12].

În paralel cu dezvoltarea tehnologiilor de producere la temperaturi reduse, cercetările internaționale au urmărit creșterea proporției de material asfaltic recuperat introdus în amestecul final. Analiza realizată de Hettiarachchi și colaboratorii [5] evidențiază faptul că performanțele mixturilor WMA-RAP sunt influențate de procedeul tehnologic, caracteristicile materialului recuperat și interacțiunea dintre bitumul nou și cel îmbătrânit. Rezultatele raportate în literatura de specialitate nu sunt întotdeauna concordante, ceea ce indică necesitatea evaluării fiecărei combinații de materiale și procedee de preparare.

Direcțiile actuale de cercetare urmăresc optimizarea proporției de RAP, utilizarea agenților de regenerare a bitumului și stabilirea unor metode de evaluare care să permită corelarea rezistenței la deformații permanente cu comportarea la fisurare și oboseală. În acest context, analiza comparativă a mixturilor asfaltice cu diferite procente de material recuperat constituie o etapă necesară pentru aprecierea posibilităților de utilizare a tehnologiei WMA în straturile de uzură și de legătură.

3. STUDIUL DE CAZ: ANALIZA COMPARATIVĂ A MIXTURILOR ASFALTICE WMA CU DIFERITE PROPORȚII DE MATERIAL ASFALTIC RECUPERAT

Studiul de caz urmărește evaluarea influenței proporției de material asfaltic recuperat (RAP) asupra performanțelor mixturilor asfaltice preparate prin tehnologia Warm Mix Asphalt (WMA), prin analiza comparativă a rezultatelor experimentale publicate în literatura internațională și raportarea acestora la cerințele tehnice aplicabile în România.

Analiza a fost realizată pe baza a trei cercetări experimentale, selectate în funcție de proporțiile de RAP investigate, procedeele de preparare și caracteristicile mecanice evaluate. Au fost urmărite rezistența la deformații permanente, comportarea la fisurare și oboseală, sensibilitatea la apă, precum și posibilitățile de utilizare a mixturilor reciclate în straturile asfaltice de uzură și de legătură [1], [2], [7].

3.1. Caracterizarea variantelor de mixturi asfaltice analizate

Pentru analiza comparativă au fost considerate trei cercetări reprezentative, realizate în condiții experimentale diferite, care evidențiază posibilitatea introducerii unor proporții variabile de material recuperat în mixturile asfaltice (tabelul 1).

Mallick și colaboratorii [1] au investigat utilizarea unui procent de 75% RAP, prin introducerea aditivului organic Sasobit H8 (aditiv sintetic de tip ceară dură – ceară microcristalină, obținut prin procesul Fischer-Tropsch din cărbune sau gaz natural). Studiul a urmărit posibilitatea reducerii temperaturii de preparare și obținerea unor caracteristici mecanice comparabile cu cele ale mixturilor convenționale.

Zhao și colaboratorii [2] au analizat în laborator mixturi WMA produse în stație, utilizând o tehnologie de spumare a bitumului și proporții de RAP cuprinse între 0% și 50%. Cercetarea a inclus încercări privind rezistența la deformații permanente, sensibilitatea la apă și comportarea la oboseală.

În studiul realizat de Zaremotekhases și colaboratorii [7] au fost evaluate trei proporții de material recuperat, respectiv 0%, 25% și 35% RAP, în combinație cu diferite tehnologii WMA. Aceste variante au fost utilizate pentru analiza principală a comportării mecanice, deoarece permit evidențierea efectului creșterii procentului de material recuperat asupra proprietăților mixturilor asfaltice.

Tabelul 1. Caracteristicile cercetărilor experimentale analizate

Studiu	Proporție RAP (%)	Tehnologia utilizată	Caracteristici investigate
Mallick et al. (2008) [1]	75	WMA-Sasobit H8	Goluri de aer, rezistență la întindere, rigiditate, deformații permanente
Zhao et al. (2012) [2]	0–50	WMA-spumarea bitumului	Deformații permanente, sensibilitate la apă, oboseală
Zaremotekhases et al. (2022) [7]	0, 25, 35	Diferite tehnologii WMA	Deformații permanente, fisurare, oboseală, sensibilitate la apă

Sursa: Prelucrare după Mallick et al. [1], Zhao et al. [2] și Zaremotekhases et al. [7].

Deși studiile utilizează tehnologii și condiții experimentale diferite, acestea permit identificarea principalelor tendințe privind influența materialului recuperat. Rezultatele nu pot fi însă comparate direct din punct de vedere numeric

fără luarea în considerare a caracteristicilor materialelor componente, a dozajelor și a metodelor de încercare utilizate.

3.2. Influența proporției de RAP asupra performanțelor mecanice

Analiza comportării mecanice a fost realizată pornind de la cercetarea publicată de Zaremotekhases și colaboratorii [7], în care au fost investigate mixturi asfaltice cu 0%, 25% și 35% RAP.

Pentru evaluarea rezistenței la deformații permanente, autorii au utilizat încercarea de făgășuire (Loaded Wheel Tracker-LWT), iar pentru caracterizarea liantului bituminos recuperat din punct de vedere al comportamentului vâscoelastic și al rezistenței la deformații permanente a fost aplicată încercarea Multiple Stress Creep Recovery-MSCR folosind reometrul de forfecare dinamică DSR.

Comportarea la fisurare a mixturilor asfaltice a fost investigată prin încercarea de încovoiere în trei puncte semicirculară (Semi-Circular Bending-SCB), în timp ce proprietățile la oboseală ale liantului au fost evaluate prin încercarea Linear Amplitude Sweep-LAS folosind reometrul de forfecare dinamică DSR.

Rezultatele cercetării au evidențiat faptul că mixturile asfaltice bazate pe tehnologia WMA cu 35% RAP au prezentat o rezistență îmbunătățită la deformații permanente. Pentru combinațiile investigate, utilizarea tehnologiilor WMA a contribuit la îmbunătățirea comportării la fisurare, comparativ cu mixturile reciclate preparate prin tehnologia convențională HMA [7], tabelul 2.

Tabelul 2. Sinteza comportării mixturilor asfaltice cu diferite proporţii de RAP

Indicator	0% RAP	25% RAP	35% RAP
Varianta	Referință fără RAP	Proporție intermediară	Proporție ridicată
Rezistenţă la deformaţii permanente	Bază de comparație	Evaluată experimental	Îmbunătățire raportată în studiu
Rezistenţă la fisurare	Bază de comparație	Evaluată experimental	Rezultate favorabile pentru combinațiile WMA-RAP investigate
Comportare la oboseală	Bază de comparație	Evaluată experimental	Influențată de tehnologia WMA și de proprietățile liantului
Sensibilitate la apă	Evaluată experimental	Evaluată experimental	Evaluată experimental

Sursa: Sinteză calitativă pe baza cercetării Zaremotekhases et al. [7].

Datele evidențiază faptul că introducerea materialului recuperat nu determină în mod obligatoriu o diminuare a performanțelor mixturilor asfaltice. Comportarea acestora depinde de interacțiunea dintre liantul îmbătrânit existent în RAP, liantul de aport și tehnologia WMA utilizată.

Rezultatele trebuie interpretate în raport cu condițiile concrete ale cercetării. În special, performanțele favorabile obținute pentru o anumită combinație de RAP și aditiv pentru tehnologia WMA nu pot fi generalizate pentru toate tipurile de mixturi asfaltice sau pentru toate condițiile de exploatare.

3.3. Analiza influenței temperaturii de preparare

Unul dintre principalele avantaje urmărite prin utilizarea tehnologiei WMA îl reprezintă reducerea temperaturii de preparare a mixturilor asfaltice, aspect important în cazul materialelor recuperate care conțin bitum îmbătrânit.

Mallick și colaboratorii [1] au analizat utilizarea unui procent de 75% RAP și au comparat mai multe variante de preparare a mixturilor asfaltice.

În cercetare (tabelul 3) au fost utilizate temperaturi de 150°C și 135°C pentru variantele de tehnologie HMA, respectiv 125°C pentru variantele de tehnologie WMA cu aditiv Sasobit H8.

Tabelul 3. Temperaturile de preparare utilizate în cercetarea Mallick et al. (2008)

Varianta de mixtură asfaltică	Tehnologia	Temperatura de preparare (°C)
Mixtură asfaltică convențională de referință	HMA	150
Mixtură asfaltică convențională cu liant diferit	HMA	135
Mixtură asfaltică cu 75% RAP și aditiv Sasobit H8	WMA	125

Sursa: Prelucrare după Mallick et al. [1].

Comparativ cu varianta convențională preparată la 150°C, temperatura de 125°C utilizată pentru mixturile WMA reprezintă o reducere de 25°C, echivalentă cu aproximativ 16,7% din valoarea temperaturii inițiale.

Această diferență evidențiază posibilitatea reducerii regimului termic de preparare prin utilizarea aditivilor WMA. Totuși, reducerea procentuală a temperaturii nu trebuie confundată cu reducerea procentuală a consumului energetic, care depinde de instalația de preparare, umiditatea agregatelor, proporția de RAP și condițiile efective de producție.

Cercetarea a indicat posibilitatea obținerii unor mixturi cu 75% RAP la temperaturi inferioare celor convenționale, prin utilizarea unui dozaj de 1,5% Sasobit, în condițiile experimentale analizate [1].

3.4. Evaluarea utilizării materialului recuperat în raport cu reglementările românești

Pentru aprecierea posibilităților de aplicare a tehnologiei în România, rezultatele experimentale au fost analizate în raport cu prevederile Normativului DD 509-2024, aprobat prin Ordinul nr. 285/412/2026, privind reciclarea mixturilor asfaltice la cald în instalații de preparare fixe, semimobile și mobile [15].

Conform art. 4 și art. 11, normativul reglementează utilizarea mixturilor asfaltice reciclate în straturile de legătură și de bază, pentru drumuri publice de clase tehnice III–V și străzi de categorii tehnice II–IV, în condițiile tehnice stabilite de acesta.

În cazul stratului de legătură, cerințele privind caracteristicile mecanice sunt prezentate în art. 23, tabelele 4A și 4B din normativ. Pentru mixturile din

beton asfaltic deschis, normativul stabileşte valori-limită privind stabilitatea Marshall, fluajul, absorbția de apă şi sensibilitatea la apă (tabelul 4).

Tabelul 4. Cerinţe fizico-mecanice pentru betonul asfaltic deschis reciclat, conform DD 509-2024

Caracteristică	Valoare normată
Stabilitate Marshall la 60°C, S	5,0–13 kN
Fluaj Marshall la 60°C, F	1,5–4,0 mm
Coeficient Marshall la 60°C, S/F	minimum 1,2 kN/mm
Absorbție de apă	1,5–6,0% vol.
Sensibilitate la apă	minimum 80%

Sursa: Normativ DD 509-2024 [15], tabelul 4A.

Pentru mixturile reciclate utilizate în stratul de legătură, pe drumurile de clase tehnice III–IV şi străzile de categorii tehnice II–III, sunt prevăzute şi cerinţe privind caracteristicile determinate prin încercări dinamice (tabelul 5).

Tabelul 5. Cerinţe privind performanţele dinamice ale mixturilor reciclate pentru stratul de legătură

Caracteristică	Valoare normată
Volum de goluri la 120 de giraţii	maximum 10,5%
Deformaţie permanentă la 40°C, 200 kPa şi 10.000 de impulsuri	maximum 30.000 µm/m
Viteza de deformaţie permanentă la 40°C, 200 kPa şi 10.000 de impulsuri	maximum 3,0 µm/m/ciclu
Modul de rigiditate la 20°C, 124 ms	minimum 4.500 MPa
Rezistenţă la oboseală la 15°C, pe epruvete cilindrice solicitate la întindere indirectă	minimum 300.000 de cicluri

Sursa: Normativ DD 509-2024 [15], tabelul 4B.

Valorile prezentate reprezintă cerinţe de performanţă şi nu rezultate obţinute prin încercarea variantelor WMA-RAP analizate în literatura internaţională.

În ceea ce priveşte regimul termic, normativul DD 509-2024 prevede pentru mixturile asfaltice reciclate o temperatură la ieşirea din malaxor de 155–180°C, conform tabelului 5 din normativ [15].

Acest interval este superior temperaturilor de preparare utilizate pentru variantele WMA în cercetarea Mallick şi colaboratorii [1], ceea ce evidenţiază existenţa unor diferenţe între procesul de reciclare la cald reglementat în România şi tehnologiile WMA investigate la nivel internaţional.

În consecință, utilizarea practică a mixturilor WMA-RAP necesită verificarea compatibilității procedeului tehnologic cu reglementările aplicabile și demonstrarea îndeplinirii cerințelor de performanță prin încercări de laborator.

3.5. Analiza comparativă a posibilităților de utilizare în straturile de uzură și de legătură

Rezultatele cercetărilor internaționale arată că tehnologia WMA poate permite introducerea unor proporții de material asfaltic recuperat, menținând caracteristici mecanice favorabile în anumite condiții de preparare și testare [1], [2], [7].

Pentru stratul de legătură, analiza trebuie să urmărească în principal rezistența la deformații permanente, rigiditatea și comportarea la oboseală, în raport cu solicitările transmise de trafic și cu cerințele structurale ale îmbrăcăminții rutiere.

În cazul stratului de uzură, pe lângă caracteristicile mecanice, trebuie avute în vedere comportarea la acțiunea apei și a condițiilor climatice, rezistența la fisurare și proprietățile suprafeței de rulare.

Normativul DD 509-2024 nu stabilește un cadru general de utilizare a mixturilor asfaltice reciclate în stratul de uzură. Domeniile de utilizare prevăzute de acesta sunt stratul de legătură și stratul de bază, în condițiile menționate anterior [15].

Prin urmare, rezultatele experimentale internaționale privind utilizarea unor proporții de RAP de 25%, 35%, 50% sau chiar 75% demonstrează posibilități tehnologice, dar nu constituie, în sine, o justificare suficientă pentru aplicarea acestor proporții în lucrările rutiere din România.

Analiza evidențiază necesitatea continuării cercetărilor prin încercări experimentale asupra unor mixturi asfaltice preparate cu materiale disponibile la nivel național, pentru identificarea proporțiilor de RAP care permit obținerea unor performanțe corespunzătoare cerințelor tehnice specifice fiecărui strat rutier.

4. CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

Analiza cercetărilor internaționale privind utilizarea tehnologiei Warm Mix Asphalt (WMA) în combinație cu diferite proporții de material asfaltic recuperat (RAP) evidențiază potențialul acestei soluții pentru reducerea consumului de resurse naturale și a temperaturilor de preparare a mixturilor

asfaltice. Rezultatele studiului comparativ permit formularea următoarelor concluzii:

- Reducerea temperaturilor de preparare: Tehnologia WMA permite obţinerea mixturilor asfaltice la temperaturi inferioare celor utilizate în tehnologia convenţională HMA. Studiul realizat de Mallick şi colaboratorii [1] evidenţiază posibilitatea preparării unor mixturi cu 75% RAP la temperatura de 125°C, prin utilizarea aditivului Sasobit H8, demonstrând fezabilitatea tehnologică a acestei combinaţii în condiţii experimentale.

- Valorificarea materialului asfaltic recuperat: Cercetările analizate confirmă posibilitatea introducerii unor proporţii variabile de RAP în mixturile WMA. Creşterea conţinutului de material recuperat contribuie la diminuarea necesarului de materiale de aport, însă influenţează proprietăţile mecanice ale amestecului, în special rigiditatea, rezistenţa la deformaţii permanente şi comportarea la fisurare [2], [7].

- Influenţa asupra performanţelor mecanice: Rezultatele studiului realizat de Zaremotekhases şi colaboratorii [7], pentru proporţii de 0%, 25% şi 35% RAP, evidenţiază posibilitatea obţinerii unor performanţe favorabile privind rezistenţa la deformaţii permanente şi comportarea la fisurare. Totuşi, stabilirea unei proporţii optime de RAP necesită evaluarea simultană a principalelor caracteristici mecanice, deoarece îmbunătăţirea unui indicator nu garantează performanţe superioare pentru toate solicitările din exploatare.

- Condiţii de aplicare în România: Compararea rezultatelor internaţionale cu prevederile Normativului DD 509-2024 [15] evidenţiază necesitatea unei analize distincte a condiţiilor tehnologice şi a domeniilor de utilizare. Proporţiile ridicate de RAP investigate experimental nu pot fi considerate automat admisibile pentru straturile de uzură şi de legătură, fără verificarea conformităţii cu reglementările aplicabile şi a caracteristicilor mixturilor rezultate.

Se recomandă continuarea cercetărilor prin realizarea unor încercări experimentale asupra mixturilor asfaltice WMA cu diferite proporţii de material recuperat, utilizând agregate şi lianţi bituminoşi disponibili în România. Evaluarea ar trebui să urmărească rezistenţa la deformaţii permanente, sensibilitatea la apă, rigiditatea şi comportarea la oboseală şi fisurare la temperaturi scăzute, în vederea identificării unor compoziţii adecvate straturilor de uzură şi de legătură. Totodată, se recomandă analiza consumului energetic şi a beneficiilor economice asociate reducerii temperaturilor de preparare şi reutilizării materialelor asfaltice, pentru fundamentarea posibilităţilor de aplicare a tehnologiei în practica rutieră naţională.

BIBLIOGRAFIE

[1]. R.B. MALLICK, P.S. KANDHAL, R.L. BRADBURY: „*Using Warm-Mix Asphalt Technology to Incorporate High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement Material in Asphalt Mixtures*”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2051, nr. 1, pp. 71–79, **2008**. DOI: 10.3141/2051-09.

[2]. S. ZHAO, B. HUANG, X. SHU, X. JIA, M. WOODS: „*Laboratory Performance Evaluation of Warm-Mix Asphalt Containing High Percentages of Reclaimed Asphalt Pavement*”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2294, nr. 1, pp. 98–105, **2012**. DOI: 10.3141/2294-11.

[3]. N. GUO, Z. YOU, Y. ZHAO, Y. TAN, A. DIAB: „*Laboratory Performance of Warm Mix Asphalt Containing Recycled Asphalt Mixtures*”, Construction and Building Materials, vol. 64, pp. 141–149, **2014**. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.002.

[4]. M.A. FAROOQ, M.S. MIR: „*Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Warm Mix Asphalt (WMA) Pavements: A Review*”, Innovative Infrastructure Solutions, vol. 2, articolul 10, **2017**. DOI: 10.1007/s41062-017-0058-7.

[5]. C. HETTIARACHCHI, X. HOU, J. WANG, F. XIAO: „*A Comprehensive Review on the Utilization of Reclaimed Asphalt Material with Warm Mix Asphalt Technology*”, Construction and Building Materials, vol. 227, articolul 117096, **2019**. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117096.

[6]. A. YOUSEFI, A. BEHNOOD, A. NOWRUZI, H. HAGHSHENAS: „*Performance Evaluation of Asphalt Mixtures Containing Warm Mix Asphalt (WMA) Additives and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*”, Construction and Building Materials, vol. 268, articolul 121200, **2021**. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121200.

[7]. F. ZAREMOTEKHASES, H. SADEK, M.M. HASSAN, C. BERRYMAN: „*Impact of Warm-Mix Asphalt Technologies and High Reclaimed Asphalt Pavement Content on the Performance of Alternative Asphalt Mixtures*”, Construction and Building Materials, vol. 319, articolul 126035, **2022**. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.126035.

[8]. A. YOUSEFI, H.F. HAGHSHENAS, B.S. UNDERWOOD, J.T. HARVEY, P. BLANKENSHIP: „*Performance of Warm Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement, an Anti-Stripping Agent, and Recycling Agents: A Study Using a Balanced Mix Design Approach*”, Construction and Building Materials, vol. 363, articolul 129633, **2023**. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129633.

[9]. K.M. ARUN SAGAR, V. VENUDHARAN, G. SAHA: „*Prospects of Warm Mix Asphalt in Maximizing Reclaimed Asphalt Pavement Utilization: Review on Mix Design and Performance*”, Cleaner Waste Systems, vol. 10, articolul 100229, **2025**. DOI: 10.1016/j.clwas.2025.100229.

[10]. E. BOCCI, C. CARPANI: „*The Laboratory Characterization of a Warm Asphalt Mixture Incorporating Reclaimed Asphalt Pavement*”, Infrastructures, vol. 11, nr. 3, articolul 103, **2026**. DOI: 10.3390/infrastructures11030103.

[11]. S. JAIN: „*A State-of-the-Art Review on Warm Mix Asphalt with Recycled Asphalt: Sustainable Approach to Utilize High RAP Contents*”, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), vol. 13, nr. 3, pp. 737–762, **2026**. DOI: 10.1016/j.jtte.2025.01.003.

[12]. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA): „*Warm Mix Asphalt Technologies and Research*”, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., publicație instituțională online, fără an de publicare precizat.

[13]. ASOCIAȚIA DE STANDARDIZARE DIN ROMÂNIA (ASRO): „SR EN 13108-8:2016. *Mixturi asfaltice. Specificații pentru materiale. Partea 8: Asfalt recuperat*”, București, **2016**.

[14]. MINISTERUL DEZVOLTĂRII REGIONALE, ADMINISTRAȚIEI PUBLICE ȘI FONDURILOR EUROPENE; MINISTERUL TRANSPORTURILOR: „*Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald. Condiții tehnice de proiectare, preparare și punere în operă a mixturilor asfaltice*”, indicativ AND 605-2016, aprobat prin Ordinul nr. 6.970/1.779/2017, Monitorul Oficial al României, nr. 126, București, **2018**, cu modificările și completările ulterioare.

[15]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR ȘI INFRASTRUCTURII; MINISTERUL DEZVOLTĂRII, LUCRĂRILOR PUBLICE ȘI ADMINISTRAȚIEI: „*Normativ privind reciclarea mixturilor asfaltice la cald în instalații de preparare fixe, semimobile și mobile*”, indicativ DD 509-2024, aprobat prin Ordinul nr. 285/412/2026, Monitorul Oficial al României, nr. 379, București, **2026**.

DIGITALIZAREA INFRASTRUCTURII RUTIERE. MODERNIZAREA EVALUĂRII STRUCTURALE PRIN TEHNOLOGIA TSD

Pădure Veronica, ing., C.N.A.I.R. – SA CESTRIN, e-mail: veronica.padure@cestrin.ro
Căpățînă Dragoș, ing., C.N.A.I.R. – SA CESTRIN, e-mail: dragos.capatina@cestrin.ro

Rezumat

Evaluarea structurală a sistemelor rutiere reprezintă o componentă fundamentală în managementul modern al infrastructurii. Acest articol realizează o retrospectivă a echipamentelor destinate determinării capacității portante a drumurilor, evidențiind tranziția de la metodele cvasi-statice la cele dinamice. Elementul central al acestei evoluții este reprezentat de *Traffic Speed Deflectometer (TSD)*. Această tehnologie inovatoare permite măsurarea continuă a deflexiunilor la viteze normale de deplasare, eliminând perturbările în trafic. Sunt prezentate beneficiile operaționale, economice și de siguranță pe care *TSD* le oferă față de soluțiile tradiționale.

Cuvinte cheie: infrastructură rutieră, echipamente, capacitate portantă, deflexiuni, viteză de deflexie.

Abstract

Structural evaluation of road systems represents a fundamental component in modern infrastructure management. This article provides a retrospective review of equipment designed to determine the bearing capacity of roads, highlighting the transition from quasi-static to dynamic methods. The central element of this evolution is the Traffic Speed Deflectometer (TSD). This innovative technology allows for the continuous measurement of deflections at normal traffic speeds, eliminating traffic disruptions. The operational, economic, and safety benefits that the *TSD* offers compared to traditional solutions are presented.

Keywords: road infrastructure, equipment, bearing capacity, deflections, traffic speed deflectometer.

1. INTRODUCERE

Determinarea capacității portante a complexului rutier are ca scop evaluarea stării structurale a straturilor rutiere și a patului drumului în vederea dimensionării optime a lucrărilor de reabilitare sau consolidare. De-a lungul timpului, ingineria rutieră a căutat constant soluții pentru a crește eficiența colectării și precizia datelor colectate, evoluând de la evaluări locale cu ritm lent de execuție, la monitorizări globale mult mai rapide și mai precise.

2. ISTORICUL ŞI EVOLUȚIA ECHIPAMENTELOR DE MĂSURARE

Noțiunea modernă de *capacitate portantă a drumurilor* (sau a sistemelor rutiere) a început să se contureze și să fie definită științific la mijlocul secolului al XX-lea, mai exact în anii 1950–1960**.** Evoluția istorică a acestui concept s-a desfășurat în câteva etape. În antichitate (drumurile romane) și până în secolul al XIX-lea (prin sistemele inventate de Thomas Telford și John McAdam), drumurile se construiau pe baza unor reguli empirice. „Portanța” nu era calculată matematic, ci se asigura intuitiv prin straturi groase de piatră compactată pentru a preveni afundarea trăsurilor și căruțelor în noroi [1]. Odată cu apariția automobilelor și a camioanelor, drumurile au început să cedeze rapid. În 1929, departamentul de drumuri din California (Caltrans) a dezvoltat testul *CBR (California Bearing Ratio)*. Acesta a fost primul indicator standardizat care măsura capacitatea portantă a pământului de fundare (patul drumului) și a straturilor de bază, fiind adoptat pe scară largă inclusiv de armata americană în al Doilea Război Mondial [2]. Marele salt pe plan global a fost marcat de Testul Rutier AASHO (American Association of State Highway Officials) din SUA (1958–1960), recunoscut ca cel mai mare experiment de profil din istorie. În cadrul acestuia, s-a analizat matematic comportamentul și deformarea diverselor structuri rutiere sub acțiunea sarcinilor repetate pe osie. În urma testului, *capacitatea portantă* a fost definită explicit drept *abilitatea structurală a unui drum de a prelua traficul greu cumulat pe o perioadă de timp, fără a suferi degradări majore sau deformații permanente* [3]. În anii 1960 – 1970 apar primele metode de măsurare nedistructivă:

1. *Deflectometrul cu Pârghie Benkelman.* Dezvoltat în anii 1950–1960, Deflectometrul cu Pârghie Benkelman a constituit referința de bază pentru primele normative românești [4], [5]. Principiu*:* Măsoară deflexiunea elastică maximă a suprafeței sub acțiunea axei din spate a unui camion etalon care se deplasează cu viteză foarte redusă (cvasi-static). Limitări: Metoda este strict punctuală, extrem de lentă, dependentă de factorul uman și prezintă un grad ridicat de periculozitate prin blocarea parțială a benzii de circulație.
2. *Deflectometrul dinamic cu masă căzătoare (FWD / HWD).* Apariția Falling Weight Deflectometer (*FWD*) a reprodus pentru prima dată cu precizie impactul dinamic al unei osii grele în mișcare asupra unei structuri rutiere în exploatare [6]. Prin utilizarea unui ansamblu de geofoni, FWD înregistrează întregul „*bazin de deflexiuni*”. Totuși, testarea rămâne discontinuă (oprire din punct în punct, de regulă la intervale de maximum 200 m), necesitând vehicule de semnalizare și generând disfuncționalități în fluența traficului.

După 1970, în Germania apar plăcile dinamice și deflectometrele ușoare (*LWD*). Utilizate intens pentru controlul calității terasamentelor și straturilor de formă, echipamentele de tip Light Weight Deflectometer (LWD) utilizează căderea liberă a unei mase ghidate pentru a induce un impuls dinamic. Deși oferă

rapid rezultate privind modulul de deflexie dinamic (Evd), acestea rămân limitate la testarea straturilor în faza de execuție și pe zone restrânse.

Implementarea metodelor matematice de verificare a capacității portante în standardele rutiere românești a început în anii 1970, odată cu apariția instrucțiunilor PD 177 și a seriei STAS 1709.

În prezent, evaluarea capacității portante pe baza unor indicatori de precizie, precum modulul de deformație liniară sau deflexiunea dinamică, este strict reglementată de normativele tehnice naționale și europene [5], [10]–[13].

3. TEHNOLOGIA TRAFFIC SPEED DEFLECTOMETER (TSD)

3.1. Descriere

Greenwood TSD (Traffic Speed Deflectometer) reprezintă, în ingineria rutieră modernă, soluția de ultimă generație și adevăratul „paradox rezolvat” al măsurării capacității portante. Dezvoltat inițial de compania daneză *Greenwood Engineering*, Traffic Speed Deflectometer (TSD) reprezintă tranziția către o metodologie superioară de monitorizare structurală continuă la nivel de rețea [7].

Spre deosebire de FWD, TSD utilizează un ansamblu articulat (autotren) care aplică o sarcină controlată pe osia spate (ex. 80 kN) și este echipat cu senzori laser *Doppler* de înaltă precizie, montați pe o grindă stabilizată termic și izolată mecanic. Aceste lasere nu măsoară deplasarea verticală directă, ci *viteza de deflexie* a suprafeței drumului în momentul trecerii roții de încărcare. Prin raportarea vitezei de deflexie la viteza de deplasare a vehiculului se determină înclinarea pantei de deformare [8], proces ce permite trasarea profilului continuu al bazinului de deformație (Figura 1). Deși ambele echipamente determină capacitatea portantă prin analizarea unui bazin de deflexiune, diferențele structurale de calcul sunt majore:

- în cazul echipamentelor *FWD,* testarea se realizează prin aplicarea unei sarcini dinamice sub formă de impuls. Dispozitivul staționează în punctul de măsurare și eliberează o greutate calibrată care cade liber pe o placă, în timp ce senzorii măsoară deflexia produsă de șocul vertical. Timpul de aplicare a sarcinii este fix (aproximativ 20–30 de milisecunde), iar unda de șoc rezultată se propagă sferic în corpul drumului. În software-urile clasice de calcul pentru FWD, comportamentul materialelor este considerat, în majoritatea cazurilor, ca fiind liniar-elastic. Prin urmare, este ignorată componenta vâscoasă a mixturii asfaltice și se presupune că răspunsul este instantaneu și simetric [6].
- în cazul echipamentelor *TSD,* testarea se realizează în regim dinamic-rulant continuu, sarcina deplasându-se constant cu o viteză de până la 80 km/h. Din cauza comportamentului vâsco-elastic al mixturii asfaltice, structura rutieră necesită un timp de revenire după trecerea roții. Acest fenomen generează un *bazin de deflexiune asimetric*, deformarea fiind mai accentuată în spatele roții

decât în fața acesteia [6]. Software-urile avansate de calcul destinate TSD (precum *ViscBackCalc)* utilizează modele *vâsco-elastice tridimensionale în regim permanent*, integrând viteza de rulare direct în ecuațiile diferențiale ale deformării structurii [9].

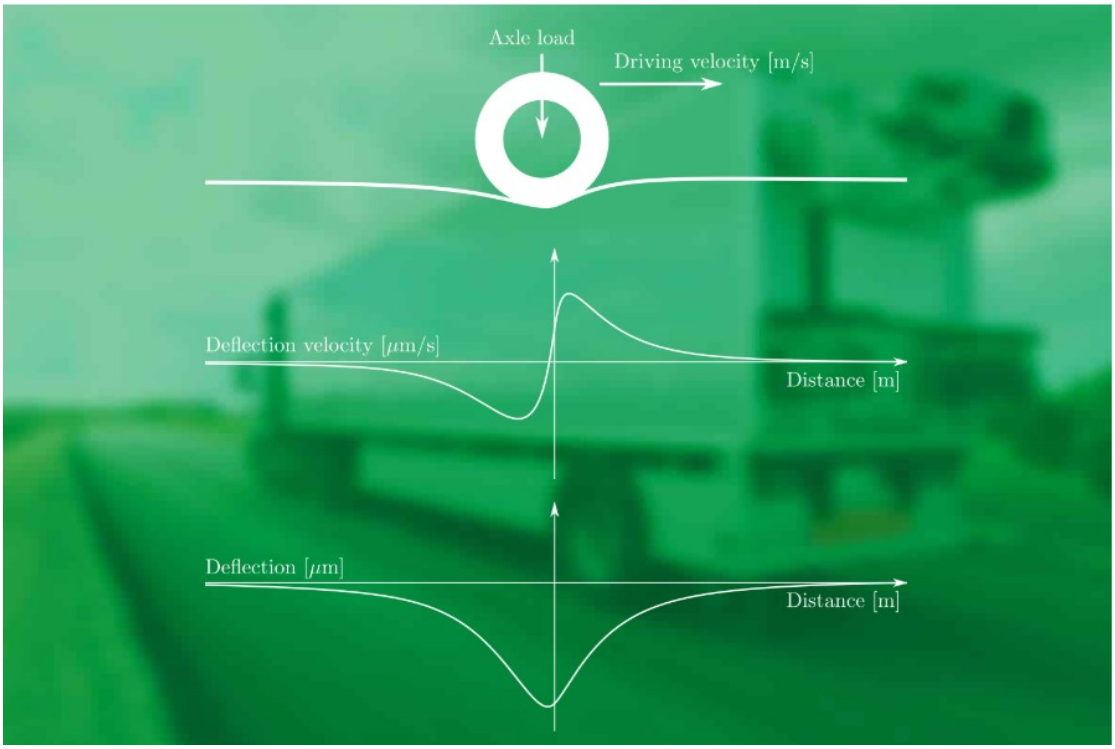


Figura 1. Viteze de deflexie – bazin de deflexiuni

3.2. Beneficiile ultimei tehnologii de măsurare

Implementarea TSD aduce avantaje majore care eficientizează și optimizează managementul infrastructurii rutiere (Pavement Management Systems - PMS):

- Măsurare continuă fără întreruperea traficului: echipamentul rulează la viteze cuprinse între 60 și 95 km/h, fără a perturba evoluția fluxului de trafic. Prin urmare, nu mai sunt necesare închideri de benzi sau restricții temporare care generează ambuteiaje.
- Siguranță rutieră maximă: deoarece vehiculul TSD rulează la viteza fluxului de trafic, riscul de coliziune din spate (specific echipamentelor FWD sau Grinzii Benkelman care staționează sau merg foarte încet) este complet înlăturat atât pentru operatori, cât și pentru participanții la trafic.
- Densitate excepțională a datelor: TSD poate furniza măsurători la intervale longitudinale extrem de reduse (până la 5 cm). Acest mod de lucru oferă o imagine completă a structurii rutiere și elimină riscul de a rata zonele cu deficiențe structurale locale (puncte critice), un risc major asociat

investigațiilor intermitente specifice metodelor tradiționale (intervale de max. 200 metri).

- Rentabilitate și productivitate la nivel de rețea: performanța echipamentului permite investigarea a sute de kilometri de bandă pe zi, volumul anual depășind 15.000–18.000 km. Această capacitate logistică extinsă determină o diminuare substanțială a costului unitar per kilometru evaluat, comparativ cu cheltuielile logistice specifice investigațiilor tradiționale.
- Sincronizare multi-senzor: versiunile avansate de echipamente TSD integrează simultan sisteme de tip Ground Penetrating Radar (GPR) pentru determinarea grosimii straturilor rutiere, camere video 3D pentru identificarea degradărilor de suprafață și profilometre laser pentru făgașe și rugozitate. Toate datele structurale și geometrice sunt colectate într-o singură trecere [7].

Pentru o imagine de ansamblu asupra elementelor constructive și operaționale care diferențiază cele două metodologii de investigare structurală, principalele caracteristici comparative între tehnologiile **FWD și TSD** sunt centralizate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Comparație între metodele tradiționale vs. tehnologia TSD

Caracteristică	Deflectometrul cu pârghie Benkelman	FWD / HWD (dinamică)	TSD (Deflect. Laser)
Perioada de apariție	Anii 1950	Anii 1970-1980	Generație actuală
Tipul încercării	Statică	Dinamică (prin șoc/masă căzătoare)	Dinamică continuă (în regim de rulare)
Viteza de operare	Foarte redusă (mers la pas)	Staționară în timpul impactului	60 - 95 km/h (viteza fluxului de trafic)
Principiul de măsurare	Pârghie mecanică și ceas comparator	Rețea de geofoni	Senzori laser Doppler
Indicatorul primar înregistrat	Deflexiunea maximă punctuală	Bazinul de deflexiuni (la intervale)	Viteza de deflexie (convertită în pantă)
Impact asupra traficului	Blocaje majore, închideri de benzi	Restricții temporare, vehicule de însoțire	Niciunul (se integrează în fluxul de trafic)
Eficiență	Foarte redusă (câțiva km/zi)	Medie (zeci de km/zi)	Ridicată (sute de km de bandă/zi)
Multifuncționalitate	Nu permite alte înregistrări (doar deflexia maximă)	Nu permite alte înregistrări (doar bazinul de deflexiuni)	Înregistrează simultan (Deflexiuni +

			GPR + Video 3D și profilometre)

4. CONCEPTE PENTRU VIITORII INGINERI (UTCB)

- *Panta de Deflexie (Slope)***:** TSD introduce un nou model de calcul și interpretare matematică. Nu se mai măsoară deplasarea verticală d1, ci panta profilului de deformație obținută din raportul dintre viteza de deflexie v_v măsurată de laserele Doppler și viteza de deplasare a vehiculului $v_{h.}$
- *Eficiență PMS (Pavement Management Systems)***:** Eliminarea costurilor destinate măsurilor de siguranță rutieră (semnalizarea temporară, mașini de însoțire, personal de dirijare/poliție) asociată cu evaluarea dinamică a întregii rețele rutiere fundamentează schimbarea strategiilor de mentenanță. Managementul conservării drumurilor evoluează astfel de la metode corective de remediere a degradărilor avansate, la planificări predictive, asigurând consolidarea straturilor de bază în stadii primare de oboseală structurală.

Corelarea datelor structurale cu cele de suprafață permite o evaluare globală și unitară a proceselor de degradare. Această abordare integrată ajută la identificarea precisă a cauzelor și la detectarea timpurie a defectelor, mult înainte ca acestea să poată fi depistate prin metode individuale de monitorizare. Prin urmare, acesta reprezintă un instrument esențial în gestionarea infrastructurii rutiere, oferind un fundament solid pentru stabilirea unor strategii de întreținere durabile și eficiente din punct de vedere al costurilor, bazate pe soluții tehnice corect adaptate. Traffic Speed Deflectometer, fiind un echipament complet integrat, poate colecta simultan, într-o singură trecere și la viteza traficului, atât date structurale, cât și funcționale despre starea drumului precum: rezistența structurală prin măsurarea deflexiunilor, fisuri, profilul longitudinal și transversal al drumului, macrotextura îmbrăcăminții rutiere, geometria drumului, poziția geospațială, imagistică digitală [7].

5. CONCLUZII

Tranziția metodologică și tehnologică prezentată în acest articol evidențiază o evoluție clară a ingineriei rutiere către optimizarea culegerii datelor de capacitate portantă, trecând de la măsurători statice/punctuale la monitorizări dinamice, globale și continue la nivel de rețea. Evoluția către tehnologia TSD impune deja un nou standard de performanță în domeniu, transformând evaluarea structurală într-o activitate predictivă și de înaltă performanță.

Principalele concluzii ale articolului evidențiază următoarele aspecte:

- Echipamentele clasice, precum Deflectometrul cu pârghie Benkelman și deflectometrele dinamice FWD, rămân echipamente extrem de utile pentru investigații detaliate la nivel de proiect sau

pentru controlul calităţii în fazele de execuţie (cazul LWD). Totuşi, pentru monitorizarea marilor reţele de autostrăzi şi drumuri expres, tehnologia TSD se dovedeşte net superioară din punct de vedere al randamentului.

- Prin capacitatea sa de a măsura continuu la viteza normală a fluxului de trafic, tehnologia TSD elimină integral costurile logistice de semnalizare rutieră şi reduce la zero riscul de accidente asociat operatorilor din teren.
- Datele de mare rezoluţie furnizate continuu de TSD reprezintă fundamentul ideal pentru Sistemele de Management al Îmbrăcăminţilor Rutiere (PMS). Această abordare le permite administratorilor de drumuri să planifice din timp intervenţiile de întreţinere şi să aloce eficient resursele financiare, acţionând proactiv înainte ca degradările de suprafaţă/structură să devină critice.
- Din perspectiva educaţională, familiarizarea viitorilor ingineri absolvenţi ai UTCB cu aceste sisteme avansate reprezintă o premisă esenţială. Înţelegerea profundă a tehnologiilor bazate pe lasere Doppler şi a modelelor complexe de calcul invers le va permite acestora să gestioneze şi să proiecteze reţelele rutiere moderne, sigure şi sustenabile.

BIBLIOGRAFIE

[1]. M.G. LAY: *„Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles That Used Them”*, New Brunswick: Rutgers University Press. (Sursa istorică pentru sistemele Telford, McAdam şi evoluţia timpurie a portanţei*),* **1992.**

[2]. **O.J. PORTER: „***The Preparation of Subgrades*”, Proceedings of the Highway Research Board, Vol. **18**, pp. **324**–**331**. *(*Documentul original de fundamentare pentru testul California Bearing Ratio - CBR*),* **1938**.

[3]. **HIGHWAY RESEARCH BOARD**: **„***The AASHO Road Test: Report 5 - Pavement Research”*, Special Report 61E. Washington D.C.: National Academy of Sciences - National Research Council. *(*Raportul oficial AASHO de definire a capacităţii portante structurale*),* **1962**.

[4]. **AND 542-1998:** *„Instrucţiuni tehnice pentru determinarea prin deflectografie şi deflectometrie a capacităţii portante a structurilor rutiere suple şi semirigide”*. Bucureşti, Administraţia Naţională a Drumurilor / Ministerul Transporturilor. *(*Suportul tehnic normativ istoric pentru utilizarea grinzii Benkelman*),* **1998**.

[5]. **CD 31-2002**: *„Normativ pentru determinarea prin deflectografie şi deflectometrie a capacităţii portante a structurilor rutiere suple şi semirigide”*, Bucureşti, Buletinul Tehnic Rutier, CESTRIN, **2002**.

[6]. **S. NIELSEN: „***From FWD to TSD: The paradigm shift in continuous structural*

pavement evaluation”, Seventh International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA) *(*Sursa pentru analiza teoretică a diferențelor dintre deformarea sferică FWD și cea asimetrică TSD*),* **2019**.

[7]. **GREENWOOD ENGINEERING:** „*Traffic Speed Deflectometer: Continuous Network Testing”*, Copenhagen, Greenwood Manuals & Tech Sheets. *(*Sursa corporativă originală pentru descrierea tehnologiei TSD*),* **2021**.

[8]. **RADA G. R., NAZARIAN S. ŞI SHEKHARAN A. R.**: „*Traffic Speed Deflectometer (TSD) for Network-Level Pavement Structural Evaluation”*, Washington D.C., Federal Highway Administration (FHWA), TechBrief FHWA-HIF-17-002 *(*Sursa tehnică pentru descrierea senzorilor laser Doppler și a autotrenului *TSD)***, 2016**.

[9]. **NASIMIFAR M., THYAGARAJAN, S. ŞI SIVANESWAREN N.**: „*Backcalculation of Pavement Layer Moduli from Traffic Speed Deflectometer Data Using Viscoelastic Models (ViscBackCalc)”*, Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, Vol. **144**, Issue **4**. *(*Sursa software-ului specific menționat în text*)***, 2018**.

[10]. **CD 155-2001**: „*Instrucțiuni tehnice pentru determinarea stării tehnice a structurilor rutiere suple și semirigide”,* Bucureşti, Ministerul Lucrărilor Publice, Transporturilor și Locuinței, **2001**.

[11]. **PD 177-2001: „***Normativ pentru dimensionarea structurilor rutiere suple și semirigide (metoda analitică)”*, Bucureşti, Ministerul Lucrărilor Publice, Transporturilor şi Locuinței. **2001.**

[12]. **STAS 1709/1-90**: „*Acțiunea îngheț-dezghețului la lucrările de drumuri. Determinarea adâncimii de îngheț în complexul rutier”*, Bucureşti, Institutul Român de Standardizare (IRS), **1990**.

[13]. **STAS 8942/3-90**: „*Teren de fundare. Determinarea modului de deformație liniară prin încercări pe teren cu placa”*, București, Institutul Român de Standardizare (IRS), **1990**.

INTEGRAREA MODELELOR AVANSATE BAZATE PE METODA ELEMENTELOR FINITE (MEF) ÎN PROIECTAREA PODURILOR MODERNE: APLICAȚII ÎN PRACTICA INGINEREASCĂ DIN ROMÂNIA

Pascariu Nicolae, ing., INTEGRATED ROAD SOLUTIONS, e-mail: nicolae.pascariu@irsol.ro

Rezumat

Lucrarea analizează rolul și importanța integrării modelelor avansate de calcul bazate pe Metoda Elementelor Finite (MEF) în proiectarea podurilor din România, în contextul dezvoltării accelerate a infrastructurii de transport rutier. Necesitatea identificării unor soluții structurale care să răspundă cerințelor beneficiarilor, să fie adaptate capacităților tehnologice de execuție și să contribuie la reducerea costurilor și a duratei de realizare a lucrărilor, cu respectarea cerințelor de siguranță structurală, justifică utilizarea unor metode de analiză din ce în ce mai complexe. În acest context, analizele tridimensionale de detaliu completează metodele uzuale de calcul structural și permit investigarea aprofundată a comportării unor elemente și zone specifice ale structurilor.

Sunt prezentate strategiile de modelare adoptate în proiectarea unor poduri importante realizate în perioada recentă, cu accent pe elementele structurale investigate prin analize numerice avansate și pe relevanța verificărilor efectuate în raport cu rolul acestora în comportarea globală a ansamblului.

În final, sunt evidențiate beneficiile integrării analizelor structurale de detaliu în practica proiectării podurilor, precum și dificultățile asociate modelării și interpretării rezultatelor numerice. Este subliniată importanța experienței și a pregătirii profesionale a inginerului proiectant în alegerea ipotezelor de calcul, evaluarea rezultatelor și fundamentarea deciziilor de proiectare.

Cuvinte cheie: Poduri, Metoda Elementelor Finite (MEF), analize avansate de detaliu, siguranță structurală.

Abstract

This paper examines the role and significance of integrating advanced computational models based on the Finite Element Method (FEM) into Romanian bridge design, amid the accelerated development of road transport infrastructure. The need for structural solutions that satisfy beneficiaries’ requirements, are adapted to construction technological capabilities, and

contribute to reducing both costs and delivery times, while strictly adhering to structural safety requirements, justifies the deployment of increasingly complex analysis methods. In this framework, three-dimensional detailed analyses complement standard structural calculations, enabling an in-depth investigation into the behavior of specific elements and regions.

The study presents the modeling strategies implemented in the design of recent major bridges, focusing on the structural components investigated through advanced numerical simulations and the relevance of these verifications to the global behavior of the structure.

Finally, the benefits of integrating detailed structural analyses into bridge design practice are highlighted, alongside the difficulties associated with numerical modeling and the interpretation of results. The paper underscores that the engineer’s expertise and professional training remain paramount in establishing calculation assumptions, evaluating numerical results, and substantiating design decisions.

Keywords: Bridges, Finite Element Method (FEM), advanced detailed analyses, structural safety.

1. INTRODUCERE

1.1. Contextul dezvoltării infrastructurii rutiere în România

În ultimii ani, România traversează o perioadă de dezvoltare fără precedent a infrastructurii de transport rutier, caracterizată atât prin proiectarea și execuția în ritm accelerat a unor segmente majore de autostrăzi și drumuri expres, cât și prin modernizarea, respectiv crearea de noi rețele de străzi în marile orașe, unde beneficiarii optează tot mai des pentru soluții de poduri complexe care să reflecte progresul economic și social al comunităților pe care le conduc. Această dinamică impune inginerilor proiectanți identificarea unor soluții structurale care să răspundă optim cerințelor beneficiarilor, să fie adaptate noilor tehnologii și să contribuie direct la eficiența economică și la reducerea duratelor de realizare a lucrărilor. În acest context, podurile, viaductele și pasajele, care reprezintă elemente critice ale rețelei rutiere, necesită o atenție deosebită din perspectiva siguranței, durabilității și eficienței economice.

1.2. Evoluția modelelor de calcul structural în ingineria podurilor

Trecerea de la metodele analitice clasice și modelele simplificate bidimensionale (de tip rețea de grinzi sau cadre plane) către modelele tridimensionale complexe, care pot include și modelarea mult mai fidelă a unor

componente specifice, reprezintă un pas firesc în evoluția ingineriei structurale. Deşi metodele uzuale de calcul sunt şi vor rămâne în continuare instrumentul de bază şi indispensabil pentru dimensionarea globală a structurilor de poduri, ele prezintă limitări consistente în evaluarea stărilor de eforturi locale şi în investigarea zonelor cu geometrie complexă sau cu discontinuități. Integrarea Metodei Elementelor Finite (MEF) prin analize numerice tridimensionale avansate permite simularea în detaliu a comportamentului structurilor, oferind o imagine mult mai clară asupra distribuției eforturilor şi a deformațiilor sub acțiunea încărcărilor complexe.

1.3. Scopul şi obiectivele lucrării

Scopul principal al acestei lucrări este de a evidenția rolul şi importanța integrării modelelor avansate bazate pe MEF în practica curentă de proiectare a podurilor din România. Lucrarea îşi propune să arate modul în care analizele tridimensionale de detaliu completează metodele globale de calcul, oferind inginerului instrumentele necesare pentru a valida soluțiile adoptate în condiții de deplină siguranță şi pentru a înțelege mai bine modul de comportare a structurilor. Prin prezentarea unor strategii de modelare şi studii de caz din activitatea recentă, lucrarea subliniază totodată importanța discernământului profesional în interpretarea rezultatelor numerice, evitând capcanele unei abordări pur automatizate a proiectării.

2. CADRUL NORMATIV ŞI PROVOCĂRILE PROIECTĂRII MODERNE A PODURILOR

2.1. Cerințele beneficiarilor şi corelarea lor cu tehnologiile de proiectare

Proiectarea podurilor din România este supusă unei presiuni constante de a echilibra cerințele estetice şi funcționale ale beneficiarilor cu realitatea tehnologică a șantierelor şi cu mijloacele de care dispun birourile de proiectare. În mediul urban, se solicită tot mai des structuri zvelte, cu un impact vizual deosebit, deschideri mari şi pile subțiri, în timp ce pe sectoarele de autostrăzi accentul cade pe standardizare şi viteză de execuție. Astfel, corelarea timpurie a calculului structural cu fazele tehnologice, estimarea timpilor de lucru pentru analizele complexe şi capacitatea de a anticipa eventualele modificări care pot interveni în

execuția efectivă a unui obiectiv sunt deprinderi esențiale pe care inginerul de poduri trebuie să le dobândească pentru a face față cerințelor pieței.



Pod hobanat Satu Mare



Pod hobanat Galați



Pod hobanat Arad



Pod peste lacul Cernica

Figura 1. Exemple de poduri executate la care s-au aplicat analize generale completate cu analize avansate de detaliu

2.2. Standarde și reglementări tehnice aplicabile în România

Proiectarea structurilor de poduri se realizează în conformitate cu normele europene (SR EN 1990 - SR EN 1999), împreună cu Anexele Naționale specifice. Referitor la analizele avansate, acestea sunt permise atât timp cât se obține un nivel de siguranță adecvat, dar normele Eurocod nu oferă un cadru foarte clar cu privire la modul în care pot fi folosite. [1]

Cu toate acestea, EN 1993-1-5 anexa C, coroborată cu EN 1993-1-9 anexa B, oferă un minim de instrucțiuni, care pot fi confruntate sau completate cu diverse studii din literatura de specialitate și alte norme de proiectare cu aplicabilitate generală pentru structurile metalice. [3], [4]

În ceea ce privește construcțiile din beton, specificațiile din EN 1992 sunt extrem de limitate și se referă numai la modele simple de comportare neliniară a betonului și armăturilor. Astfel, responsabilitatea analizelor de detaliu folosind diverse modele de material care simulează comportarea reală a betonului armat revine în totalitate inginerului proiectant, care trebuie să poată justifica alegerea

unei soluţii de modelare pe baza literaturii de specialitate şi a rezultatelor experimentale aferente. [2]

2.3. Limitele metodelor uzuale de calcul

Metodele utilizate în mod frecvent în analiza structurală rămân instrumentul de bază în proiectarea curentă, dar ele își ating rapid limitele atunci când comportamentul unei structuri este influenţat în mod decisiv de efecte locale și globale care nu au acoperire adecvată în normele de proiectare.

În ceea ce privește concentrările de eforturi, aplicațiile care pot fi rezolvate prin metode clasice sau modelări grosiere sunt limitate și mari consumatoare de timp. Din acest considerent, pentru acest tip de probleme se recomandă utilizarea analizelor de detaliu. Ele permit eliminarea incertitudinilor și înțelegerea deplină a modului de comportare la nivel strict local, precum și a modului de transmitere a solicitărilor către zonele adiacente.

Un alt inconvenient major apare în cazul verificărilor de stabilitate locală și globală, întrucât formulele analitice sunt concepute pentru panouri izolate și geometrii regulate, bazându-se pe teorii care adesea conduc la rezultate divergente.

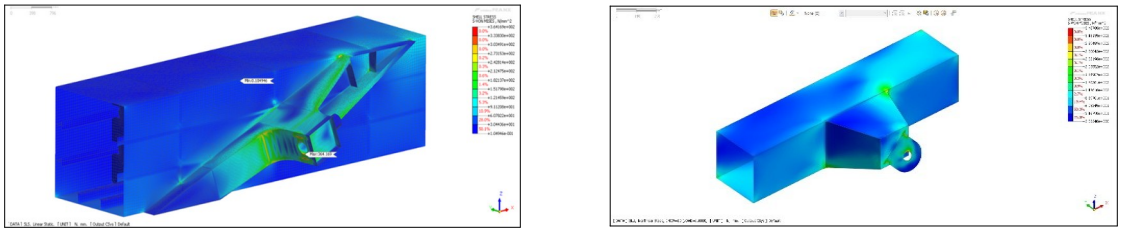
Aceste aspecte constrâng perspectiva inginerului de a înţelege cum se comportă structura pe care a proiectat-o și îl expun la luarea de decizii greșite atât pe perioada execuției, când necunoscutele sunt numeroase, cât și în faza în care structura este completă și trebuie să satisfacă toate cerințele de rezistență și stabilitate impuse de normele de proiectare.

3. STRATEGII DE MODELARE NUMERICĂ DE DETALIU

3.1. Tipuri de elemente şi modelare utilizate

Alegerea tipului de element finit pentru analizarea unei anumite componente este esențială pentru a echilibra precizia rezultatelor cu efortul și timpul de calcul necesare. În funcţie de specificul zonei analizate se poate face o oarecare segmentare, dar în foarte multe situaţii este nevoie de combinarea mai multor tipuri de elemente finite pentru a putea realiza o simulare corectă. Astfel putem defini următoarele tipuri de modelare:

a) **Modelare exclusivă cu elemente tip Shell**. Acest tip de modelare este specifică zonelor care se pot asimila cu plăci așa cum sunt definite în normative, cu excepția plăcilor din beton armat unde e nevoie de un nivel superior de modelare pentru considerarea armăturilor.



1 2

Figura 2. Exemplu de modelare cu elemente Shell
(1 - ancoră hobană pod Galaţi, 2 - ancoră hobană pasarelă Bacău)

b) **Modelare cu elemente tip Shell sau stare plană de tensiune şi elemente tip grindă dublu articulată.** Se utilizează preponderent la studiul problemelor plane atât pentru elemente metalice cât şi pentru elemente din beton armat.

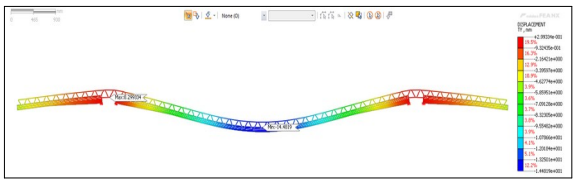
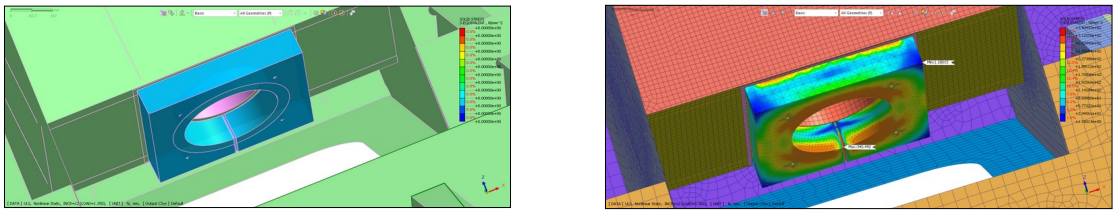


Figura 3. Exemplu de modelare cu elemente Shell plus elemente de grindă
(Predală cu deschiderea de 6,40 m, pod km 5+250 legătura A3-Centura Oradea)

c) **Modelare cu elemente tip Shell şi elemente de volum.** Această abordare este benefică în cazul în care se dorește o analiză mai aprofundată a unor componente ale structurilor descrise la „punctul a)”. Trebuie menționat faptul că modelarea cu Shell nu poate surprinde detalii de tipul șanfrenurilor sau a găurilor cu pătrundere parțială în plăci. Așadar, în cazul în care se consideră că aceste detalii pot cauza cedări locale prin atingerea deformațiilor specifice plastice limită sau prin oboseală, o astfel de modelare este recomandată.



1 2

Figura 4. Exemplu de modelare cu elemente Shell plus elemente de volum (verificări de rezistență și oboseală în zona canalului de drenaj din placa suport a unui ancoraj la pod hobanat Arad, 1 – geometrie locală, 2 – modelare FEM)

d) **Modelare cu elemente tip Shell, elemente de volum și elemente de grindă sau bară dublu articulată.** Cazurile în care este nevoie de o modelare atât de complexă sunt de obicei specifice structurilor cu secțiune compusă oțel-beton și a fixării de elemente metalice în beton.

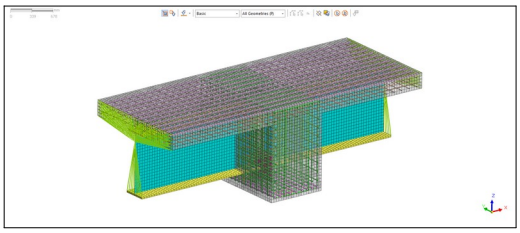


Figura 5. Exemplu de modelare cu elemente Shell plus elemente de volum, elemente de grindă și elemente de bară dublu articulată (modelare a unui nod grindă principală cu secțiune compusă – antretoaza din beton armat la Pasaj de legătură între DN1C și parcul industrial Tetarom III)

e) **Modelare cu elemente de volum**. Reprezintă nivelul cel mai înalt de modelare și se utilizează de obicei pentru analizarea a unor componente sau părți dintr-o structură atunci când integrarea lor într-un model care cuprinde și zonele adiacente are ca efect un efort de calcul foarte mare sau atunci când nu există alternative pentru o modelare mai simplă.

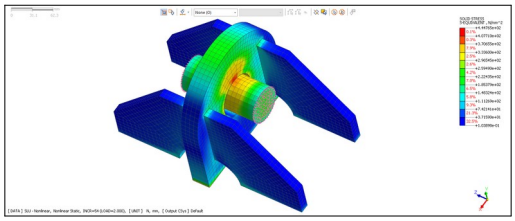


Figura 6. Exemplu de modelare cu elemente de volum (ureche de ridicare)

f) **Modelare cu elemente de volum și elemente de grindă sau bară dublu articulată**. Este opțiunea standard de modelare complexă a

structurilor din beton armat atunci când se dorește surprinderea efectelor locale ale încărcărilor sau a efectelor globale de tip descărcare prin boltire („arching”).

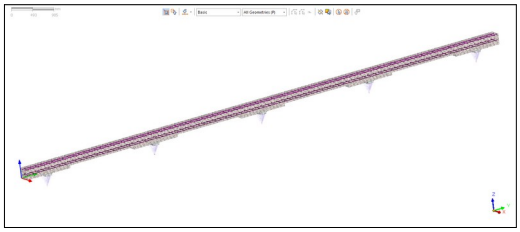


Figura 7. Exemplu de modelare cu elemente de volum și elemente de grindă (investigarea fenomenului de „arching” la o placă din beton armat)

3.2. Condiții de margine și încărcări

Acuratețea analizelor de detaliu depinde foarte mult de modul în care sunt definite încărcările, respectiv condițiile de margine, iar în această privință sunt posibile mai multe moduri de abordare, printre care putem menționa: integrarea unui model de detaliu în modelul de analiză generală, transformarea deplasărilor nodale din modelul general în cazuri de încărcare în modelul de detaliu, replicarea stărilor de eforturi din modelul general prin intermediul unor combinații de reazeme și încărcări sau aplicarea de încărcări strict la nivel local. Toate aceste metode trebuie utilizate în mod adecvat și raportat la tipul de fenomen care se dorește a fi surprins.

3.3. Materiale

Cu toate că la prima impresie s-ar putea crede că în analizele complexe se folosesc preponderent modele constitutive care reproduc comportarea în domeniul neliniar al materialelor, este important de menționat că verificările preliminare se fac întotdeauna folosind modelul de comportare liniar elastică. De asemenea, pentru a reduce efortul de calcul, se recomandă ca în zonele care nu prezintă interes să se folosească tot materiale cu comportare liniar elastică.

În ceea ce privește oțelul structural, EN 1993-1-5 Anexa C oferă posibilitatea de a alege între patru moduri de comportare, dar este de datoria inginerului să decidă care și unde se pretează. Modelele cu platou de curgere sau consolidare cu panta foarte mică sunt foarte bune pentru analizarea structurilor la care cedarea se produce prin pierderea capacității de rezistență concomitent cu

pierderea stabilității. Desigur, acestea sunt cazuri particulare rar întâlnite la poduri, iar în majoritatea aplicațiilor se folosesc modele cu consolidare. [3]

Pentru beton, cele mai utilizate modele constitutive sunt modelul fisurilor difuze (Smeared Crack Model - SCM) şi modelul de plasticitate cu degradare (Concrete Damage Plasticity - CDP). Un lucru foarte important de precizat este faptul că primul se utilizează exclusiv în cazurile în care solicitările sunt monotone, el neavând capacitatea de a simula în mod corect închiderea fisurilor la descărcare. Pentru astfel de aplicații se utilizează modelul de plasticitate cu degradare.

Pentru comportarea armăturilor, se recomandă utilizarea modelelor de comportare prezentate în EN 1992-1-1 la punctul 3.2.7, de preferat modelul cu consolidare, care aduce de obicei un spor de rezistență ultimă. [2]

4. APLICAȚII PRACTICE LA PODURI CONSTRUITE ÎN ROMÂNIA

4.1. Poduri hobanate

Podurile hobanate sunt unele dintre cele mai spectaculoase structuri, iar în ultima perioadă în România s-a reușit proiectarea și construirea unui număr destul de mare de astfel de lucrări, printre care se numără și cele menționate în Figura 1. Din punct de vedere structural, podurile hobanate sunt caracterizate printr-o complexitate deosebită, care se datorează atât schemei statice, cât și interacțiunilor la nivel local dintre hobane și elementele de care se ancorează, zone unde apar concentrări mari de eforturi.

La podul hobanat peste râul Someș din municipiul Satu Mare s-au analizat ancorele hobanelor de la tablier, strategia de modelare fiind axată într-o primă fază pe utilizarea exclusivă a elementelor Shell, iar ulterior s-a făcut o investigație mai amănunțită, cu elemente de volum, a zonei de aplicare a presiunilor de la ancorajul cablurilor pe placa suport corespondentă de pe tablier. Această alegere a asigurat o modelare fidelă a componentelor asimilate cu plăci metalice și a rigidizărilor locale, permițând maparea riguroasă a stărilor de eforturi fără a genera un timp de calcul prohibitiv.

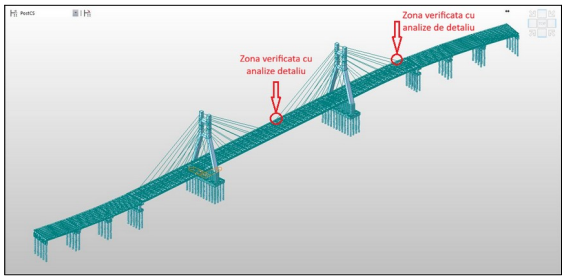
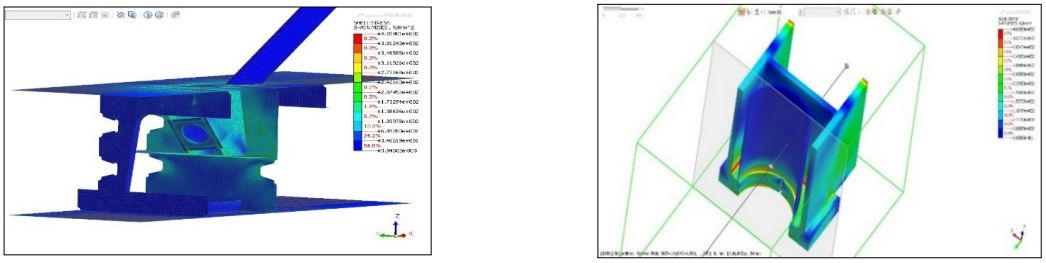


Figura 8. Pod hobanat Satu Mare – modelul de analiză generală



1 2

Figura 9. Pod hobanat Satu Mare - modele pentru analize de detaliu (1 - model cu elemente de tip Shell utilizat pentru verificări de detaliu; 2 - model cu elemente de volum folosit pentru verificări în zonele cu concentrări de eforturi, având o geometrie identică cu cea trimisă la execuție)

Un alt obiectiv la care s-au făcut analize de detaliu este podul hobanat peste râul Mureș din Arad. La fel ca în exemplul menționat anterior, aceste analize s-au concentrat la nivelul ancorării hobanelor, dar în cazul de față o parte din cabluri sunt ancorate în radierul unei culee. Având experiența de la lucrarea anterioară, pentru ancorele de la tablier s-a adoptat de la bun început un model unic care combina elemente Shell pentru marea majoritate a componentelor, iar placa de compresiune a ancorajelor s-a discretizat cu elemente de volum. În ceea ce privește ancorele metalice de la culee, pe lângă provocările legate de concepția și verificările de rezistență și deformabilitate ale acestora, apare ca element suplimentar realizarea îmbinării cu radierul din beton, care a trebuit adaptată la capacitățile tehnologice ale constructorului. Astfel, partea metalică văzută, de tip aripă de rechin, a fost modelată cu elemente Shell, blocul aferent din beton cu elemente de volum, iar buloanele și elementele de poziționare ale plăcii de bază de la interfața oțel-beton cu elemente de grindă.

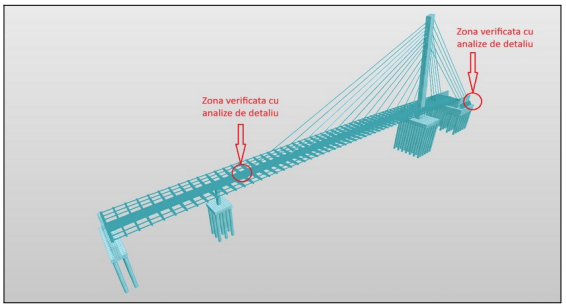
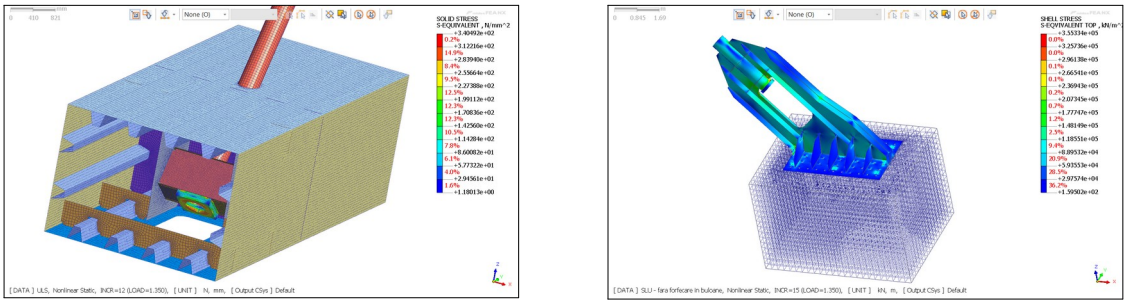


Figura 10. Pod hobanat Arad – modelul de analiză generală



1 2

Figura 11. Pod hobanat Arad - modele pentru analize de detaliu
(1 – ancora tablier, model cu elemente de tip Shell și elemente de volum în zona plăcii ancorajului; 2 - ancora culee, model cu elemente de tip Shell pentru oțel structural, elemente de volum pentru beton și elemente de grindă pentru buloane și elemente de poziționare)

4.2. Poduri pe grinzi

Soluțiile de poduri pe grinzi se utilizează pe scară largă și aspectele curente de proiectare sunt bine cunoscute de majoritatea inginerilor. Cu toate acestea, presiunile de reducere a costurilor conduc la necesitatea de a utiliza analize complexe, în special la podurile metalice și cele cu secțiune compusă oțel-beton.

Astfel, există o tendință tot mai pronunțată de folosire pe scară largă a uzinării automate pentru grinzile metalice cu inimă plină și de scădere a timpilor de execuție, lucruri care conduc în principal către folosirea de grinzi zvelte rigidizate numai transversal și la reducerea drastică a numărului de contravântuiri. Așadar, fenomenele de interes care sunt necesare a fi investigate folosind analize de detaliu în aceste situații sunt verificarea deformabilității și stabilității generale pe perioada execuției, atunci când tablierele pot fi supuse unor solicitări mari aplicate unui sistem structural total diferit de cel final, și voalarea din forfecare în faza finală, pentru cazurile în care acoperirea normelor de proiectare este discutabilă.

Ca exemple la care au fost investigate practic aspectele menţionate mai sus sunt pasajul peste calea ferată Bucureşti - Oltenița de la km 51+077 şi podul peste lacul Cernica de la km 49+157, ambele pe lotul 4 Nord al autostrăzii de centură Bucureşti. La pasajul peste calea ferată s-a utilizat un sistem de grinzi contravântuite numai transversal şi în perechi şi s-a considerat necesară verificarea stabilităţii şi a deformabilităţii transversale în timpul fazelor de betonare ale plăcii de suprabetonare, iar la podul Cernica s-a utilizat un sistem similar, dar în cazul acesta interesul principal a fost legat de stabilitatea la ridicare a tronsoanelor metalice şi de voalarea la forfecare a inimilor grinzilor principale în poziţii relevante, pentru a verifica fezabilitatea utilizării de panouri zvelte rigidizate numai transversal.

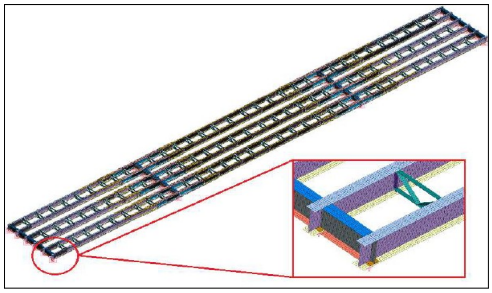
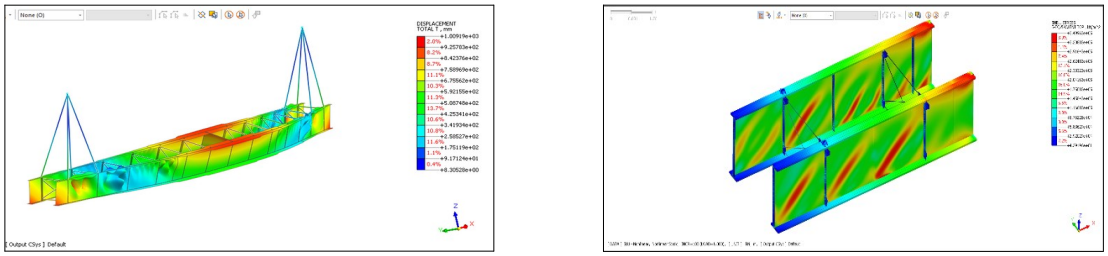


Figura 12. Pasaj la km 51+077 pe autostrada de centură Bucureşti lot 4 Nord – model detaliat pentru analiza stabilităţii generale şi deformabilităţii pe perioada execuţiei



1 2

Figura 13. Pod la km 49+157 pe autostrada de centură Bucureşti lot 4 Nord – model pentru analize de detaliu (1 – verificare stabilitate tronson metalic la ridicare; 2 – verificare voalare din forfecare panouri inimi)

5. CONCLUZII

Analizele de detaliu prin Metoda Elementelor Finite nu mai reprezintă doar o opțiune academică, ci au devenit o necesitate practică în birourile de proiectare din România, pentru a acoperi zonele pe care modelele globale și metodele analitice nu le pot surprinde. Studiile de caz prezentate în această lucrare arată că strategia de abordare a procesului de proiectare poate fi decisivă pentru a obține rezultate precise într-un timp de calcul rezonabil. Deși utilizarea modelelor avansate de material și a neliniarităților aduce avantaje evidente în estimarea comportării reale și optimizarea costurilor, sensibilitatea acestor modele la parametrii de intrare impune o atenție sporită. În plus, modelarea de detaliu cu elemente finite introduce multiple singularități numerice, care nu apar în modelele generale și care trebuie tratate judicios. Programele de calcul actuale oferă instrumente extrem de puternice și validate în timp, însă alegerea ipotezelor corecte și interpretarea rezultatelor depind în totalitate de experiența și discernământul inginerului proiectant, singurul care poate garanta siguranța structurală a unui obiectiv.

BIBLIOGRAFIE

[1]. SR EN 1990:**2004** – *Eurocod 0: Bazele proiectării structurilor*

[2]. SR EN 1992-1-1:**2004** – Eurocod 2: *Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1*

[3]. SR EN 1993-1-5:**2007** – Eurocod 3: *Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-5*

[4]. SR EN 1993-1-9:**2005** – Eurocod 3: *Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-9*

AGRESIVITATEA TRAFICULUI RUTIER: EVOLUȚIA ACESTEIA, NIVELUL ACTUAL ŞI PERSPECTIVELE DE CREȘTERE ÎN CONDIȚIILE RESPECTĂRII LIMITELOR PRIVIND ÎNCĂRCAREA MAXIMĂ PE OSIE

Pâtiu Sorin, drd.ing., Director Direcția Inginerie și Studii de Teren, CESTRIN e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Agresivitatea traficului rutier reprezintă un factor esențial în dimensionarea, verificarea și administrarea structurilor rutiere. În România, după anul 1989, armonizarea legislației naționale cu legislația europeană a condus la creșterea maselor maxime admise ale vehiculelor și a încărcărilor maxime admise pe osie. În prezent, în condițiile în care limitele legale privind încărcarea maximă pe osie nu mai înregistrează modificări semnificative, creșterea agresivității traficului rutier trebuie analizată prin prisma modificării spectrului real al încărcărilor pe osie. Lucrarea evidențiază faptul că agresivitatea traficului poate continua să crească nu neapărat prin depășirea limitelor legale de masă, ci prin creșterea frecvenței încărcărilor situate în clase superioare de sarcină.
Optimizarea transportului de marfă, creșterea gradului de încărcare a vehiculelor și reducerea curselor fără marfă conduc la o pondere mai mare a osiilor încărcate aproape de valorile maxime admise. Acest fenomen produce o creștere reală a solicitărilor asupra structurilor rutiere, chiar în condițiile respectării limitelor legale. Un al doilea aspect analizat îl reprezintă corelarea coeficienților de echivalare în osii standard de 115 kN cu răspunsul mecanic al structurilor rutiere. În reglementările tehnice actuale, coeficienții de echivalare sunt stabiliți pe categorii de vehicule și pe tipuri generale de structuri rutiere. Totuși, aceeași încărcare poate produce stări de eforturi și deformații diferite, în funcție de alcătuirea structurii rutiere, de grosimea straturilor, de rigiditatea materialelor și de caracteristicile terenului de fundare. În lucrare este prezentată o metodologie alternativă de determinare a coeficienților de echivalare, bazată pe raportul dintre deformația specifică orizontală de întindere produsă de vehiculul fizic la baza straturilor bituminoase și deformația produsă de osia standard de 115 kN. Studiul de caz realizat pentru un autocamion cu trei osii arată că, pentru aceeași categorie de vehicule, coeficientul de echivalare poate varia semnificativ în funcție de alcătuirea structurii rutiere. Pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi asfaltice a rezultat un coeficient de echivalare de 0,87, iar pentru structura rutieră suplă cu două straturi de mixturi asfaltice a rezultat un coeficient de 1,29, față de valoarea de 0,70 prevăzută în AND 584 pentru categoria analizată.
Rezultatele obținute susțin necesitatea actualizării modului de definire și utilizare a agresivității traficului rutier, prin integrarea spectrelor reale de încărcare pe osie, a datelor obținute din cântărirea vehiculelor în trafic și a răspunsului mecanic specific fiecărei structuri rutiere. O astfel de abordare ar permite o evaluare mai realistă a efectului traficului greu asupra infrastructurii rutiere și o fundamentare mai corectă a coeficienților de echivalare utilizați în proiectare și verificare.

Cuvinte cheie: agresivitatea traficului rutier, osie standard 115 kN, coeficienți de echivalare, spectru de încărcări pe osie, structuri rutiere suple, deformații specifice, trafic greu.

Abstract

Traffic aggressivity is a key factor in the design, verification, and management of road structures. In Romania, after 1989, the harmonization of national legislation with European legislation led to an increase in the maximum permitted vehicle masses and axle loads. Currently, under conditions where legal limits regarding maximum axle loads no longer undergo significant changes, the increase in road traffic aggressivity must be analyzed through the lens of changes in the actual axle load spectrum. The paper highlights that traffic aggressivity can continue to increase not necessarily through exceeding legal mass limits, but through the growing frequency of loads falling within higher load classes. The optimization of freight transport, increased vehicle loading efficiency, and the reduction of empty runs lead to a higher proportion of axles loaded close to the maximum permissible values. This phenomenon results in a real increase in the stresses imposed on road structures, even under conditions of compliance with legal limits. A second aspect analyzed is the correlation of equivalency factors to the standard 115 kN axle with the mechanical response of road structures. In current technical regulations, equivalency factors are established based on vehicle categories and general types of road structures. However, the same load can produce different stress and strain states depending on the composition of the road structure, layer thicknesses, material stiffness, and subgrade characteristics.
The paper presents an alternative methodology for determining equivalency factors, based on the ratio between the horizontal tensile strain at the bottom of the asphalt layers induced by the actual vehicle and the strain produced by the standard 115 kN axle. The case study conducted for a three-axle truck shows that, for the same vehicle category, the equivalency factor can vary significantly depending on the structure of the pavement. For the flexible pavement structure with three asphalt layers, an equivalency factor of 0.87 was obtained, while for the flexible pavement structure with two asphalt layers, a factor of 1.29 was obtained, compared to the value of 0.70 specified in AND 584 for the analyzed category. The results support the need to update the definition and use of road traffic aggressivity by integrating real axle load spectra, data obtained from weigh-in-motion systems, and the mechanical response specific to each road structure. Such an approach would allow a more realistic assessment of the impact of heavy traffic on road infrastructure and a more accurate basis for the equivalency factors used in design and verification.

Keywords: road traffic aggressiveness, standard axle load of 115 kN, equivalency factors, axle load spectrum, flexible pavement structures, specific strains, heavy traffic

1. INTRODUCERE

Până în anul 1989, limitele de tonaj admise pentru diferitele tipuri de vehicule rutiere și pentru diferitele tipuri de osii au fost stabilite prin Legea nr. 13/1974, cunoscută ca Legea drumurilor, și prin Decretul nr. 9/1984. Aceste reglementări țineau seama de recomandările CAER.

Pentru dimensionarea structurilor rutiere se utiliza, în funcție de tipul structurii rutiere, autovehiculul de calcul echivalent A13, cu încărcarea pe osie de 9,1 t sau 10 t/osie.

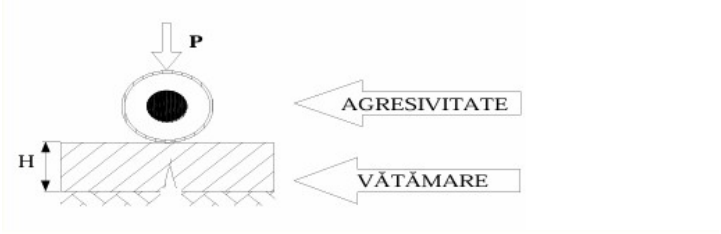
După anul 1989, în vederea armonizării legislației românești cu legislația Uniunii Europene, limitele de tonaj admise pentru diferitele tipuri de vehicule rutiere și pentru diferitele tipuri de osii au fost modificate în mai multe etape. În prezent, sunt aplicabile limitele stabilite prin Directiva 96/53/CE a Consiliului Europei.

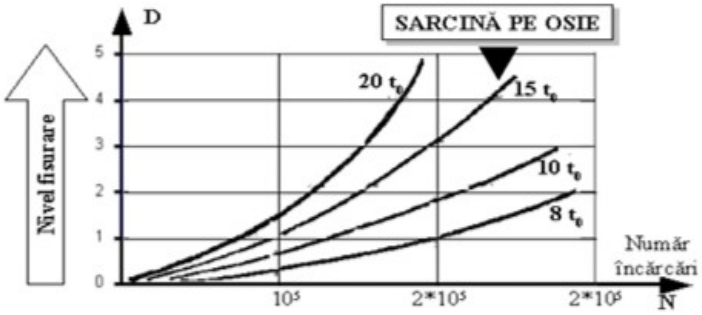
Adoptarea acestor prevederi europene a condus la creșterea semnificativă atât a maselor maxime admise pentru diferitele tipuri de autovehicule, cât și a încărcărilor maxime admise pe osie. De exemplu, masa maximă admisă pentru vehiculele articulate a crescut de la 38 t la 44 t, iar încărcarea maximă admisă pe osia simplă de calcul a crescut de la 10 t la 11,5 t/osie.

În acest context, apare o întrebare importantă: cum mai poate crește agresivitatea traficului rutier dacă, spre deosebire de perioada 1989–2000, în prezent nu mai există modificări legislative semnificative privind creșterea sarcinilor maxime admise pe osie sau pe vehicul?

Răspunsul nu poate fi formulat doar prin analiza valorilor maxime admise de legislație. El trebuie căutat în analiza curbelor de frecvență ale încărcărilor pe tipuri de osii și clase de încărcare. În acest sens, prezenta lucrare propune analizarea acestor curbe, inclusiv la nivel de tip de autovehicul.

Agresivitatea traficului rutier este utilizată frecvent ca explicație pentru probleme de comportare a structurilor rutiere care nu par a fi justificate doar prin traficul exprimat în valori medii sau prin numărul total de vehicule.

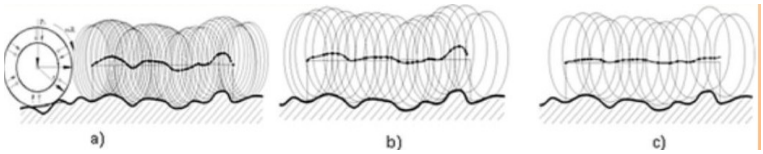




Totuși, acest termen trebuie utilizat cu prudență, deoarece în reglementările tehnice nu este definită întotdeauna o valoare concretă a agresivității traficului față de care un expert sau un inginer să poată aprecia dacă traficul real este subdimensionat sau supradimensionat față de traficul considerat în calcul.

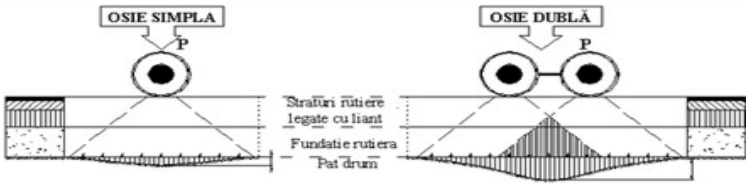
TIP OSIE	DISPOZIȚIE CONSTRUCTIVĂ	S C H E M A	Pi
1	Osie izolată cu roți simple normale		9
2	Osie izolată cu roți simple late		11
3	Osie roți gemene		13
4	Osii tandem cu roți gemene		20
5	Osii tridem cu roți simple		22
6	Osii tridem cu roți simple late		24
7	Osii tridem cu roți gemene		25

O posibilă definire a agresivității traficului rutier poate fi realizată prin intermediul curbelor de frecvență ale încărcărilor pe clase de încărcare.



Orice abatere semnificativă față de curbele utilizate la determinarea coeficienților de echivalare poate conduce la erori importante în aplicarea acestor coeficienți.

În același timp, există problema corelării coeficienților de echivalare în osii standard de 115 kN, așa cum sunt definiți în reglementările tehnice, cu realitatea unei game foarte variate de structuri rutiere.



Aceste structuri nu pot fi încadrate întotdeauna într-o singură categorie generală, deoarece răspunsul mecanic al unei structuri rutiere depinde de alcătuirea sa, de grosimile straturilor, de rigiditatea materialelor și de caracteristicile terenului de fundare.

Prin urmare, termenul de agresivitate a traficului rutier este folosit, de multe ori, pentru a explica situații care nu sunt suficient de bine surprinse de reglementările tehnice, dar care se regăsesc în comportarea reală a structurilor rutiere aflate în exploatare.

Este necesar de precizat că, pentru o structură rutieră care prezintă după execuție o stare de eforturi și deformații mai mare decât cea rezultată din breviarul de calcul, agresivitatea traficului va fi mai mare decât cea considerată inițial la dimensionare. Această situație poate apărea chiar dacă, prin metodele uzuale de evaluare, structura rutieră primește un calificativ bun sau foarte bun al capacității portante.

Explicația este că fiecărei structuri rutiere îi corespunde un set specific de coeficienți de echivalare în osii standard. Valoarea acestor coeficienți depinde de rigiditatea și alcătuirea structurii rutiere.

De asemenea, calificativul capacității portante pentru o structură rutieră nouă nu poate fi definit decât estimativ, prin comparație cu anumite valori de referință prevăzute în reglementări. În realitate, performanța unei structuri rutiere trebuie evaluată prin raportare la atingerea sau neatingerea parametrilor de performanță stabiliți prin breviarul de calcul, respectiv prin starea de eforturi, deformații și deplasări.

Normativul CD 155 își găsește utilitatea în special în administrarea rețelelor de drumuri existente, unde este necesară o evaluare rapidă a stării de fapt și stabilirea unor direcții de intervenție. Utilizarea sa este mai potrivită pentru activitatea de administrare și evaluare a rețelei existente decât pentru validarea directă a performanței unei structuri rutiere noi în raport cu breviarul de calcul.

2. AGRESIVITATEA TRAFICULUI RUTIER: CÂT A CRESCUT ȘI CÂT MAI POATE CREȘTE, ÎN CONDIȚIILE PĂSTRĂRII LIMITELOR PRIVIND ÎNCĂRCAREA MAXIMĂ PE OSIE

2.1. Cât a crescut agresivitatea traficului rutier?

În literatura tehnică națională au fost prezentate anterior date privind distribuția sarcinilor pe osie, pe baza măsurătorilor realizate în trafic real. Un exemplu relevant este articolul „Influența sarcinilor pe osie asupra drumurilor”, publicat de prof. dr. ing. Stelian Dorobanțu în Revista Drumuri și Poduri, anul IX, nr. 47, 1999, nr. 3–4, pag. 7–9.

În cadrul articolului menționat este prezentat un grafic privind distribuția sarcinilor pe osie. Graficul conține valori obținute de la contoare de trafic cu cântărire din Europa, respectiv valori medii măsurate în anii 1970 și 1992 pe câteva drumuri de mare capacitate din țări vest-europene.

Din analiza graficului se observă că agresivitatea traficului a crescut chiar și în condițiile menținerii acelorași limite maxime admise pentru masa totală sau pentru sarcina pe osie. Creșterea agresivității nu rezultă neapărat din depășirea valorilor maxime admise, ci din creșterea frecvenței încărcărilor situate în clase superioare de sarcină.

Astfel, în anul 1992, comparativ cu anul 1970, se observă o diminuare a frecvenței sarcinilor reduse pe osie, de aproximativ 2–4 t, și o creștere a frecvenței sarcinilor mai mari, situate în intervalul 4–10 t/osie.

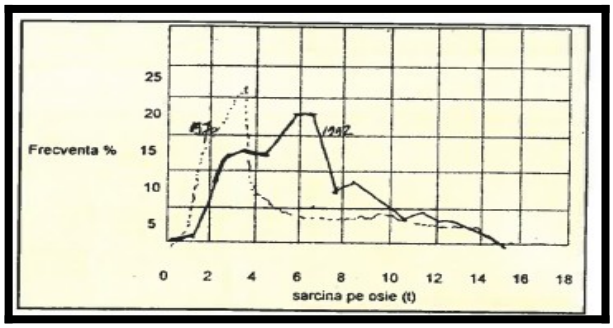


Figura 1. Distribuția sarcinilor pe osie

Aceste modificări sunt explicate, în principal, prin optimizarea transportului de marfă, prin schimbarea modului de distribuție a mărfurilor, prin creșterea gradului de încărcare a vehiculelor și prin utilizarea mai eficientă a parcursului. În fapt, aceste modificări ale frecvențelor pe clase de încărcare ar trebui să fie reflectate în coeficienții de echivalare. Schimbarea distribuției încărcărilor pe osie înseamnă că un coeficient de echivalare în osii standard de 115 kN nu este o valoare complet fixă pe perioade lungi de timp, ci poate varia în funcție de dinamica traficului monitorizată prin contoare de trafic și sisteme de cântărire în mers.

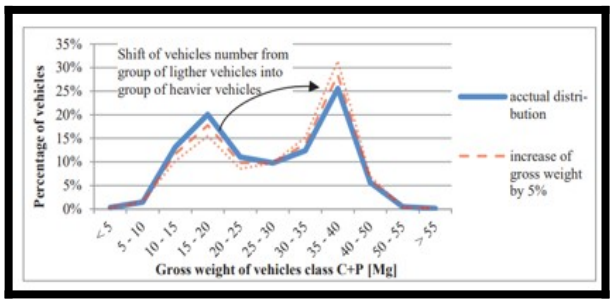


Figura 2. Determination of Vehicles Load Equivalency Factors for Polish Catalogue of Typical Flexible and Semi-rigid Pavement Structures - [2] (2016)

Această idee este susținută și de literatura internațională, unde determinarea coeficienților de echivalare este corelată cu distribuțiile reale ale încărcărilor pe vehicule și pe osii. În acest sens, pot fi menționate studiile privind determinarea factorilor de echivalare pentru structuri rutiere suple și semirigide, în care variația greutății vehiculelor și schimbarea distribuției încărcărilor sunt analizate ca factori importanți în evaluarea agresivității traficului.

2.2. Cât mai poate crește agresivitatea traficului rutier?

În condițiile actuale, în care limitele maxime admise pe osie sunt stabilite legislativ și nu se anticipează creșteri semnificative ale acestora, agresivitatea traficului rutier poate continua să crească prin modificarea distribuției încărcărilor pe clase de sarcină.

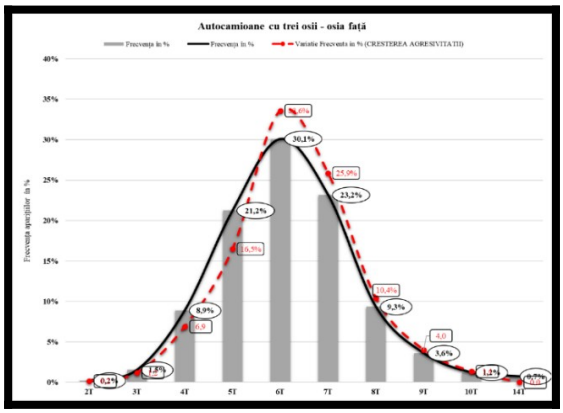


Figura 3. Frecvența claselor de încărcare determinate și prognozate Autocamion cu 3 osii.

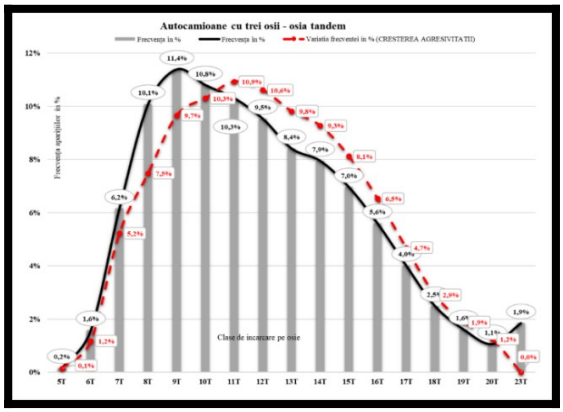


Figura 4. Frecvența claselor de încărcare determinate și prognozate pentru osia față Autocamion cu 3 osii

Această creștere se poate produce prin creșterea ponderii vehiculelor încărcate aproape de capacitatea maximă admisă, prin reducerea numărului de curse fără marfă, prin optimizarea rutelor de transport, prin creșterea eficienței logistice și prin concentrarea transporturilor grele pe anumite coridoare rutiere.

Prin urmare, chiar dacă limitele legale sunt respectate, structurile rutiere pot fi solicitate mai intens decât în trecut, deoarece o pondere mai mare a vehiculelor grele circulă cu încărcări apropiate de valorile maxime admise.

Această situație arată că analiza agresivității traficului nu trebuie limitată la verificarea respectării sarcinilor maxime admise. Este necesară și analiza

spectrului real de încărcări pe osie, respectiv a frecvenţei cu care apar diferite clase de încărcare în traficul real.

Pe baza datelor CESTRIN, graficele de frecvență ale încărcărilor pe osie din Figurile 3 și 4 arată modul în care distribuția încărcărilor se poate modifica pentru aceeași categorie de autovehicule. Aceste modificări pot conduce la creșteri concrete ale agresivității traficului rutier, chiar fără modificarea limitelor maxime admise prin legislație.

Concluzie intermediară

Metodologia reglementată în prezent nu permite întotdeauna cuantificarea suficient de detaliată a diferențelor rezultate din modificarea frecvențelor de încărcare pe clase de sarcină.

Din acest motiv, este utilă elaborarea și publicarea unor grafice de frecvență ale încărcărilor pe osie, pe baza cărora să poată fi actualizaţi sau calibraţi coeficienții de echivalare în osii standard.

Prin raportare la aceste grafice, pentru un anumit sector de drum, s-ar putea estima mai concret creșterea agresivității traficului rutier și efectul acesteia asupra structurilor rutiere existente sau proiectate.

3. NECORELAREA COEFICIENȚILOR DE ECHIVALARE ÎN OSII STANDARD DE 115 KN CU REALITATEA UNEI MULTITUDINI DE STRUCTURI RUTIERE

Echivalarea vehiculelor fizice în osii standard de 115 kN se efectuează cu ajutorul coeficienților de echivalare, stabiliți pe grupe de vehicule, în funcție de spectrul de încărcări pe osie al vehiculelor din fiecare grupă. Acest spectru este determinat prin cântărirea vehiculelor în trafic real.

În metodologia curentă, se determină spectrul de încărcări pe osie pentru vehiculele din fiecare grupă, iar pentru fiecare tip de osie și încărcare se determină coeficientul de echivalare. În această relație intervin sarcina pe osie a vehiculului real, exprimată în kN, un parametru care depinde de tipul de osie și de structura rutieră, precum și un exponent funcție de tipul structurii rutiere.

Pentru structurile rutiere suple și semirigide noi, exponentul utilizat este diferit față de cel utilizat pentru ranforsarea structurilor rutiere suple și semirigide. De asemenea, parametrii utilizați diferă în funcție de tipul osiei: osie din față, alte osii simple, osii tandem sau osii tridem.

Această abordare are meritul de a permite transformarea traficului fizic într-un trafic echivalent exprimat în osii standard. Totuși, ea poate deveni insuficientă atunci când structurile rutiere analizate au alcătuiri foarte diferite, chiar dacă aparțin aceleiași categorii generale.

În acest sens, o problemă importantă este reprezentată de structurile rutiere suple cu două straturi de mixtură asfaltică, care pot avea un comportament mecanic foarte diferit (ex: comparativ cu structurile suple cu trei straturi de mixtură asfaltică). Prin urmare, aceeaşi categorie de vehicule induce o agresivitate diferită asupra unor structuri rutiere diferite.

În articolul „Asupra traficului echivalent în cadrul metodelor analitice PD 177-2001 şi AND 550-99”, publicat în Revista Drumuri şi Poduri nr. 54 (123), prof. univ. cons. dr. ing. Horia Gheorghe Zarojanu și dr. ing. Mihai Stasco propun ca determinarea coeficienţilor de echivalare să fie corelată cu criteriile de dimensionare ale structurilor rutiere.

Autorii au în vedere determinarea coeficienţilor de echivalare prin raportarea efectului produs de vehiculul fizic la efectul produs de osia standard de 115 kN, utilizând parametri precum:

- deformaţia specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase;
- deformaţia specifică verticală de compresiune la nivelul patului drumului;
- tensiunea orizontală de întindere la baza straturilor din agregate naturale stabilizate cu lianţi hidraulici sau puzzolanici.

Concluzia autorilor este că folosirea criteriilor de dimensionare pentru echivalarea traficului permite asigurarea unui nivel mai ridicat de încredere al rezultatelor, datorită omogenităţii criteriilor utilizate.

Pentru structurile rutiere suple şi semirigide, criteriul determinant pentru calculul coeficienţilor de echivalare a vehiculelor fizice în osii standard de 115 kN este deformaţia specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase.

Această abordare are în vedere corelarea coeficientului de echivalare în osii standard de starea de eforturi şi deformaţii a structurii rutiere. Cu alte cuvinte, coeficientul de echivalare nu trebuie privit doar ca o valoare asociată unei categorii de vehicule, ci ca o valoare influenţată de răspunsul mecanic al structurii rutiere analizate.

Continuând această abordare, coeficienţii de echivalare în osii standard pentru osia tandem şi osia tridem pot fi determinaţi plecând de la legea de oboseală a mixturilor asfaltice.

Luând în considerare legea de oboseală:

$$N_{adm.} = a \times \varepsilon_r^{-b} \quad (1)$$

şi relaţia:

$$n_{o.s.115} = f^{o}_{ek.o.i.} \times n_{o.i.} \quad (2)$$

în care:

$n_{o.s.115}$ reprezintă numărul de osii standard cu sarcina de 115 kN,

$f_{ek.o.i.}$ este coeficientul de echivalare al agresivităţii osiei “i” în osii standard egalitatea ratelor de degradare prin oboseală se exprimă prin:

$$f^{o}_{ek.o.i.} \times n_{o.i.} / a\ (\varepsilon_{r\ o.s.115})^{-b} = n_{o.i.} / a\ (\varepsilon_{r\ o.i.})^{-b} \quad (3)$$

Prin simplificări se ajunge la:

$$f^{o}_{ek.o.i.} = (\varepsilon_{ro.s.115} / \varepsilon_{r\ o.i.})^{-b} \quad (4)$$

în care:

$\varepsilon_{r\ o.s.115}$ este deformația specifică de întindere produsă de solicitarea sarcinii semiosiei standard, la baza straturilor bituminoase, în microdeformații;

$\varepsilon_{r\ o.i.}$ este deformația specifică de întindere produsă de solicitarea sarcinii semiosiei “i”, la baza straturilor bituminoase, în microdeformații.

În conformitate cu prevederile normativului indicativ AND 550, b = 3,97, deci relația devine:

$$f^{o}_{ek.o.i.} = (\varepsilon_{r\ o.s.115} / \varepsilon_{r\ o.i.})^{-3,97} \quad (5)$$

sau

$$f^{o}_{ek.o.i.} = (\varepsilon_{r\ o.i.} / \varepsilon_{r\ o.s.115})^{4} \quad (6)$$

Această relație arată că o creștere relativ redusă a deformației specifice de întindere la baza straturilor bituminoase $\varepsilon_{ro.i.}$ poate conduce la o creștere importantă a coeficientului de echivalare, deoarece raportul deformațiilor este ridicat la puterea a patra.

Prin urmare, coeficientul de echivalare este sensibil la răspunsul mecanic al structurii rutiere. Două structuri rutiere diferite, solicitate de aceeași osie, pot conduce la coeficienți de echivalare diferiți, dacă deformațiile specifice produse la baza straturilor bituminoase sunt diferite.

3.1. Studiu de caz: autocamion cu trei osii

Pentru exemplificarea acestei abordări a fost analizat un autocamion cu trei osii, pe baza datelor obținute de la contoarele de trafic. Au fost analizate distribuțiile de încărcare pentru osia față și pentru osia tandem.

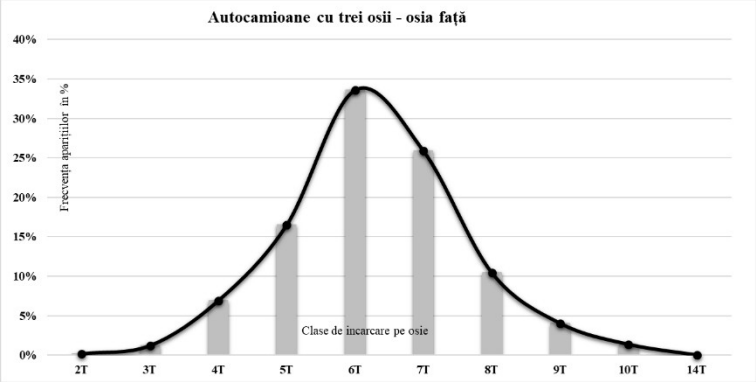


Figura 5. Frecvența claselor de încărcare determinate și prognozate pentru osia față Autocamion cu 3 osii.

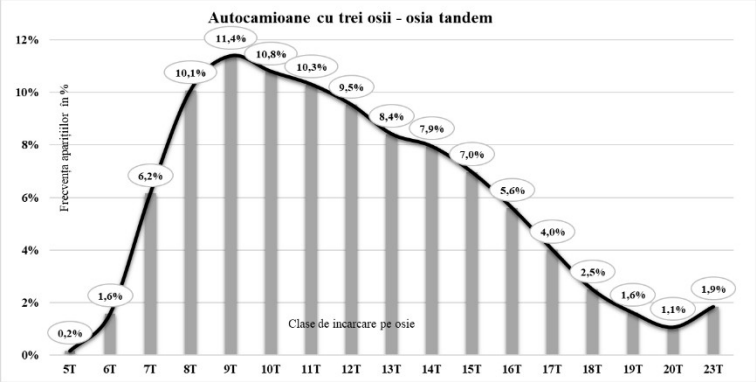


Figura 6. Frecvența claselor de încărcare determinate și prognozate pentru osia tandem Autocamion cu 3 osii.

Pentru evaluarea efectului asupra structurii rutiere au fost realizate calcule în programul ALIZE-LCPC, pentru două structuri rutiere suple:

- structură rutieră suplă cu trei straturi de mixturi asfaltice;
- structură rutieră suplă cu două straturi de mixturi asfaltice.

3.2. Structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi asfaltice

Pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi asfaltice au fost considerate următoarele straturi:

- strat de uzură, cu grosimea de 4 cm, modul de elasticitate dinamic de 3300 MPa și coeficientul lui Poisson de 0,35;
- strat de binder, cu grosimea de 6 cm, modul de elasticitate dinamic de 3000 MPa și coeficientul lui Poisson de 0,35;
- strat de bază, cu grosimea de 8 cm, modul de elasticitate dinamic de 5000 MPa și coeficientul lui Poisson de 0,35;
- strat superior de fundație din piatră spartă, cu grosimea de 25 cm, modul de elasticitate dinamic de 500 MPa și coeficientul lui Poisson de 0,27;

- strat inferior de fundaţie din balast, cu grosimea de 30 cm, modul de elasticitate dinamic de 182 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,27;
- teren de fundare, pământ P5, cu modul de elasticitate dinamic de 70 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,42.

Modulul de elasticitate dinamic al stratului de balast a fost calculat conform punctului 6.3 din normativul PD 177-2001.

3.3. Structura rutieră suplă cu două straturi de mixturi asfaltice

Pentru structura rutieră suplă cu două straturi de mixturi asfaltice au fost considerate următoarele straturi:

- strat de uzură, cu grosimea de 4 cm, modul de elasticitate dinamic de 3300 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,35;
- strat de bază, cu grosimea de 8 cm, modul de elasticitate dinamic de 5000 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,35;
- strat superior de fundaţie din piatră spartă, cu grosimea de 25 cm, modul de elasticitate dinamic de 500 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,27;
- strat inferior de fundaţie din balast, cu grosimea de 30 cm, modul de elasticitate dinamic de 182 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,27;
- teren de fundare, pământ P5, cu modul de elasticitate dinamic de 70 MPa şi coeficientul lui Poisson de 0,42.

Și în acest caz, modulul de elasticitate dinamic al stratului de balast a fost calculat conform punctului 6.3 din normativul PD 177-2001.

3.4. Rezultatele studiului de caz

În urma calculelor au fost obţinute următoarele rezultate:

Pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi asfaltice, coeficientul de echivalare calculat conform AND 584, pe baza datelor de la contoarele de trafic pentru autocamioane cu 3–4 osii, a fost de 0,66. Coeficientul de echivalare prevăzut în AND 584 pentru autocamioane cu 3–4 osii este de 0,70. Prin metodologia alternativă, bazată pe starea de deformaţii a structurii rutiere, coeficientul de echivalare rezultat a fost de 0,87. În cazul estimării unei evoluţii viitoare a curbelor de frecvenţă ale încărcărilor, coeficientul a crescut la 0,90 (Figurile 3 şi 4).

Pentru structura rutieră suplă cu două straturi de mixturi asfaltice, coeficientul de echivalare calculat conform AND 584, pe baza datelor de la contoarele de trafic, a fost tot de 0,66. Coeficientul de echivalare prevăzut în AND 584 pentru autocamioane cu 3–4 osii este tot de 0,70. Prin metodologia alternativă, coeficientul de echivalare rezultat a fost însă de 1,29. În cazul

estimării unei evoluții viitoare a curbelor de frecvență ale încărcărilor, coeficientul a crescut la 1,34 (Figurile 3 și 4).

Aceste rezultate arată că, prin metodologia actuală, cele două structuri rutiere sunt tratate identic din punctul de vedere al coeficientului de echivalare, au același coeficient de echivalare. În schimb, prin metodologia alternativă, care ține seama de starea de deformații a structurii rutiere, rezultă diferențe semnificative între coeficienții de echivalare rezultați.

Astfel, pentru aceeași categorie de vehicule, coeficientul de echivalare este mai mare în cazul structurii rutiere suple cu două straturi de mixturi asfaltice decât în cazul structurii cu trei straturi de mixturi asfaltice.

Diferența dintre coeficientul de echivalare de 1,29 și cel de 0,87 este de aproximativ 48%. Această diferență arată că alcătuirea structurii rutiere influențează semnificativ agresivitatea reală a traficului, atunci când aceasta este exprimată prin efectul produs asupra stării de eforturi și deformații.

Prin urmare, utilizarea unui coeficient unic de echivalare pentru aceeași categorie de vehicule poate conduce la subestimarea agresivității traficului în cazul unor structuri rutiere mai sensibile la solicitările produse de traficul greu.

4. CONCLUZII

Agresivitatea traficului rutier crește în prezent ca urmare a unui transport de marfă mult mai bine optimizat. Utilizarea aplicațiilor și tehnologiilor moderne permite o rutare mai eficientă, o planificare mai bună a transporturilor și o creștere a gradului de încărcare a autovehiculelor.

Această optimizare se reflectă în faptul că vehiculele de transport marfă sunt utilizate astfel încât, pe întreg traseul de distribuție, să fie încărcate cât mai aproape de capacitatea maximă admisă și să circule cât mai puțin timp fără marfă. În acest context, se observă modificări la nivelul spectrului de încărcări pe osie. Frecvența încărcărilor corespunzătoare claselor superioare de sarcină este în creștere, în timp ce frecvența încărcărilor aferente claselor reduse de sarcină se diminuează.

Prin urmare, agresivitatea traficului rutier poate crește chiar în condițiile respectării limitelor maxime admise de legislația în vigoare. Creșterea nu se produce neapărat prin depășirea sarcinilor maxime admise, ci prin creșterea frecvenței încărcărilor apropiate de aceste limite.

Această concluzie arată că evaluarea agresivității traficului rutier trebuie să se bazeze nu doar pe numărul de vehicule sau pe limitele legale de masă, ci și pe analiza distribuției reale a încărcărilor pe clase de încărcare.

Metodologia actuală de echivalare în osii standard de 115 kN nu permite întotdeauna cuantificarea completă a acestor modificări ale spectrului de încărcare. Din acest motiv, este necesară elaborarea și publicarea unor curbe de

frecvență ale încărcărilor pe osie, pe baza datelor obținute din cântărirea vehiculelor în trafic.

Aceste curbe ar putea fi utilizate pentru calibrarea coeficienților de echivalare și pentru estimarea concretă a agresivității traficului pe anumite sectoare de drum.

În același timp, rezultatele studiului de caz arată că agresivitatea traficului nu depinde doar de tipul vehiculului și de încărcarea pe osie, ci și de alcătuirea structurii rutiere. Aceeași categorie de vehicule poate produce efecte diferite asupra unor structuri rutiere diferite.

Pentru structurile analizate, metodologia alternativă bazată pe deformația specifică orizontală de întindere la baza straturilor bituminoase a evidențiat diferențe importante între structura rutieră suplă cu trei straturi de mixturi asfaltice și structura rutieră suplă cu două straturi de mixturi asfaltice.

În timp ce coeficientul de echivalare prevăzut în AND 584 pentru autocamioane cu 3–4 osii este de 0,70, metodologia alternativă a condus la un coeficient de 0,87 pentru structura cu trei straturi de mixturi asfaltice și la un coeficient de 1,29 pentru structura cu două straturi de mixturi asfaltice.

Această diferență de aproximativ 48% între structurile rutiere și de 84% relativ la valoarea din normativ arată că utilizarea unor coeficienți unici de echivalare, stabiliți doar pe încărcarea pe osie, conduce la erori importante în evaluarea agresivității reale a traficului rutier.

În concluzie, pentru o evaluare mai corectă a agresivității traficului rutier, este necesară corelarea coeficienților de echivalare cu două elemente principale:

- spectrul real al încărcărilor pe osie, determinat prin măsurători în trafic;
- răspunsul mecanic al structurii rutiere, exprimat prin starea de eforturi și deformații.

Această abordare ar permite o estimare mai realistă a efectului traficului greu asupra structurilor rutiere și ar contribui la fundamentarea mai corectă a soluțiilor de proiectare, verificare și administrare a infrastructurii rutiere.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Dorobanțu, S. (2003). Influența sarcinilor pe osie asupra drumurilor. Revista Drumuri și Poduri, 47(3-4), 7-9. Consultat la 16 octombrie 2024, la adresa https://www.apdp.ro/documents/dp/1999/DP_47_1999.pdf* **1999**

[2]. *The AASHO Road Test: Report 1, History and Description of the Project. Special Report 61A. Highway Research Board, National Academy of Sciences. Washington, D.C.*

[3]. *Ryś, Dawid & Judycki, Jozef & Jaskula, Piotr. (2016). Determination of Vehicles Load Equivalency Factors for Polish Catalogue of Typical Flexible and Semi-rigid Pavement Structures. Transportation Research Procedia. 14. 2382-2391. 10.1016/j.trpro.2016.05.272* **2016**

[4]. Ministerul Lucrărilor Publice, Transporturilor şi Locuinţei. (2012). Normativ pentru determinarea traficului de calcul pentru proiectarea drumurilor din punct de vedere al capacităţii portante şi al capacităţii de circulaţie (indicativ AND 584-2012). Consultat la 20 mai 2026, la adresa https://cnadnr.ro/sites/default/files/Reglementari-tehnice/AND%20547-2013.pdf **2012**

DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE ECHIVALARE ÎN OSII STANDARD 115 KN ÎN ROMÂNIA – 4 STUDII DE CAZ CA PREMISE PENTRU RECONSIDERAREA METODOLOGIEI DE CALCUL

Pâtiu Sorin, drd.ing., Director Direcția Inginerie și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Evoluția traficului rutier greu, atât din punctul de vedere al sarcinilor pe osie, cât și al configurației osiilor, impune o analiză critică a modului în care agresivitatea vehiculelor este transformată în osii standard de 115 kN. Articolul analizează coeficienții de echivalare utilizați în normativul AND 584, cu accent pe diferențele dintre abordarea normativă generală și răspunsul mecanic efectiv al structurilor rutiere. Sunt comparate valorile coeficienților de echivalare prevăzute în variantele normative anterioare și actualizate, fiind evidențiat faptul că acestea diferențiază vehiculele în funcție de categoria osiei și de tipul general al structurii rutiere, dar nu surprind în mod direct influența alcătuirii reale a structurii, a grosimii straturilor asfaltice și a legilor de oboseală. Pentru evidențierea acestor aspecte, au fost analizate mai multe studii de caz pe structuri rutiere suple, utilizând calcule mecanice realizate în programe de calcul dedicate. Rezultatele arată că două structuri rutiere încadrate în aceeași categorie normativă pot prezenta valori diferite ale deformației radiale la baza straturilor asfaltice și, implicit, capacități diferite de preluare a traficului. De asemenea, analiza solicitărilor produse de osii standard, tandem și tridem indică faptul că agresivitatea mecanică a acestora poate diferi semnificativ de cea rezultată prin aplicarea directă a coeficienților medii de echivalare. Pe baza distribuției deformațiilor radiale în profil longitudinal și transversal, articolul propune interpretarea agresivității traficului printr-un indicator mecanic integrat, asociat ariei de variație a deformațiilor specifice. Rezultatele evidențiază concentrarea solicitărilor în zona axului încărcării și posibilitatea unei evaluări mai detaliate a modului de repartizare a agresivității traficului în profil transversal. Concluziile indică necesitatea completării abordării normative bazate pe coeficienți medii cu analize mecanice adaptate structurii rutiere reale, în vederea unei estimări mai corecte a vătămării produse de traficul greu și a optimizării dimensionării structurilor rutiere.

Cuvinte cheie: structură rutieră flexibilă, structură rutieră semirigidă, osia standard 11.5 t, osia tandem 20 t, osia tridem 24 t.

Abstract

The evolution of heavy road traffic, both in terms of axle loads and axle configurations, calls for a critical analysis of how vehicle aggressiveness is converted into equivalent 115 kN standard axles. This paper examines the equivalency factors adopted in the AND 584 standard, with particular emphasis on the differences between the general code-based approach and the actual mechanical response of pavement structures. The equivalency factors specified in both

previous and updated versions of the standard are compared, highlighting that, although they distinguish vehicles according to axle category and the general type of pavement structure, they do not directly account for the influence of the actual pavement composition, asphalt layer thicknesses, or fatigue laws. To illustrate these aspects, several case studies were conducted on flexible pavement structures using mechanistic analyses performed with dedicated pavement design software. The results show that two pavement structures classified within the same code category may exhibit different radial strain values at the bottom of the asphalt layers and, consequently, different traffic load-carrying capacities. Furthermore, the analysis of the responses induced by standard, tandem, and tridem axles indicates that their mechanical aggressiveness may differ significantly from that obtained through the direct application of average equivalency factors. Based on the distribution of radial strains in both the longitudinal and transverse directions, the paper proposes interpreting traffic aggressiveness through an integrated mechanical indicator associated with the area under the strain distribution curves. The results highlight the concentration of stresses in the vicinity of the load axis and demonstrate the potential for a more detailed assessment of how traffic aggressiveness is distributed across the pavement width. The conclusions indicate the need to complement the code-based approach, which relies on average equivalency factors, with mechanistic analyses tailored to the actual pavement structure in order to achieve a more accurate estimation of the damage caused by heavy traffic and to optimize pavement design.

Keywords: flexible pavement structure, semi-rigid pavement structure, 11.5-tonne standard axle, 20-tonne tandem axle, 24-tonne tridem axle

1. INTRODUCERE

Determinarea agresivității traficului rutier asupra structurilor rutiere reprezintă un element esențial în procesul de dimensionare, verificare și evaluare a duratei de viață a drumurilor. În practica de proiectare, traficul real este transformat în osii standard de 115 kN, prin utilizarea unor coeficienți de echivalare care exprimă efectul relativ al diferitelor categorii de vehicule asupra complexului rutier.

În literatura tehnică națională de specialitate se arată că agresivitatea traficului rutier depinde, în principal, de spectrul sarcinilor pe osie, de configurația osiilor — simple, tandem sau tridem — și de tipul structurii rutiere analizate. Această abordare este corectă din punct de vedere general, însă aplicarea sa practică ridică o serie de probleme atunci când coeficienții utilizați sunt medii și nu sunt corelați direct cu răspunsul mecanic al structurii rutiere.

Din acest punct de vedere, nu este suficientă doar încadrarea structurii rutiere în categoriile generale: suplă, semirigidă sau rigidă. De exemplu, două structuri rutiere suple, una cu două straturi de mixtură asfaltică și alta cu trei straturi de mixtură asfaltică, pot avea comportări diferite la oboseală, chiar dacă, din punct de vedere normativ, sunt încadrate în aceeași categorie, respectiv structuri rutiere suple. Diferențele de grosime, alcătuire, rigiditate și distribuție a deformațiilor conduc la niveluri diferite de vătămare sub aceeași solicitare din trafic.

În acest context, articolul analizează relaţia dintre coeficienţii normativi de echivalare şi răspunsul mecanic efectiv al structurii rutiere, urmărind identificarea unor posibile necorelări între abordarea normativă şi comportarea calculată prin metode mecanistice.

2. RELAȚIA GENERALĂ DE CALCUL A COEFICIENȚILOR DE ECHIVALARE

Conform normativului AND 584-2004/2012, coeficienţii de echivalare a vehiculelor fizice în osii standard de 115 kN exprimă gradul de agresivitate al fiecărui vehicul asupra complexului rutier. Relaţia generală pentru determinarea coeficientului de echivalare este:

$$f_i = A\left[\frac{Pi}{115}\right]^b \quad (1)$$

unde:

Pi - sarcina pe osie a unui vehicul real;

b - exponent în funcţie de tipul de sistem rutier;

A - parametru care depinde de tipul de osie.

Această formulare permite o transformare simplificată a traficului real în osii standard. Totuşi, prin caracterul său general, relaţia nu integrează în mod direct alcătuirea efectivă a structurii rutiere, grosimea straturilor, modulele de rigiditate sau starea de deformaţie rezultată în structură.

3. EVOLUȚIA COEFICIENȚILOR MEDII DE ECHIVALARE

În varianta AND 584-2004, coeficienţii medii de echivalare a vehiculelor fizice în osii standard de 115 kN erau diferenţiaţi în funcţie de tipul structurii rutiere şi de grupa de vehicule.

Pentru structurile rutiere suple şi semirigide noi, coeficienţii erau: 0,4 pentru autocamioane şi derivate cu 2 osii, 0,6 pentru autocamioane şi derivate cu 3 şi 4 osii, 0,8 pentru autovehicule articulate, 0,6 pentru autobuze şi 0,3 pentru remorci.

Pentru ranforsarea structurilor rutiere suple şi semirigide, valorile erau: 0,3 pentru autocamioane şi derivate cu 2 osii, 0,8 pentru autocamioane şi derivate cu 3 şi 4 osii, 0,9 pentru autovehicule articulate, 0,6 pentru autobuze şi 0,2 pentru remorci.

În cazul structurilor rutiere rigide, coeficienţii erau: 0,3 pentru autocamioane şi derivate cu 2 osii, 3,8 pentru autocamioane şi derivate cu 3 şi 4 osii, 2,9 pentru autovehicule articulate, 1,5 pentru autobuze şi 0,2 pentru remorci. În varianta AND 584-2012, coeficienţii au fost modificaţi şi au fost introduse categorii suplimentare de vehicule. Pentru structurile rutiere suple şi semirigide, valorile sunt: 0,1 pentru autocamioane şi derivate cu 2 osii, 0,7 pentru autocamioane şi derivate cu 3 şi 4 osii, 0,9 pentru autovehicule articulate, 0,6 pentru autobuze, 0,1 pentru tractoare cu/fără remorcă şi 1,0 pentru trenuri rutiere. Pentru ranforsarea structurilor rutiere suple şi semirigide, coeficienţii sunt: 0,1 pentru autocamioane şi derivate cu 2 osii, 0,8 pentru autocamioane şi derivate cu 3 şi 4 osii, 1,1 pentru autovehicule articulate, 0,6 pentru autobuze, 0,1 pentru tractoare cu/fără remorcă şi 1,2 pentru trenuri rutiere.

În cazul structurilor rutiere rigide, valorile sunt: 0,2 pentru autocamioane şi derivate cu 2 osii, 2,6 pentru autocamioane şi derivate cu 3 şi 4 osii, 1,5 pentru autovehicule articulate, 2,0 pentru autobuze, 0,2 pentru tractoare cu/fără remorcă şi 1,4 pentru trenuri rutiere.

Comparativ cu varianta anterioară, tabelul din 2012 introduce o clasificare mai detaliată a vehiculelor, prin evidenţierea distinctă a tractoarelor cu/fără remorcă şi a trenurilor rutiere. În acelaşi timp, se observă modificări importante ale valorilor coeficienţilor, în special pentru structurile rutiere rigide şi pentru vehiculele grele de marfă.

Această evoluţie arată că valorile coeficienţilor medii au fost recalibrate în timp, însă rămâne necesară analiza măsurii în care aceştia reflectă răspunsul mecanic real al structurilor rutiere moderne, supuse unui trafic greu tot mai diversificat.

- ✓ La nivel de structuri rutiere rigide valoarea parametrului A preluată din Normativul francez NF P98-082 şi nu determinată/adaptată osiei 115 kN. În Franţa avem însă osia Standard de 130 de kN;
- ✓ Parametrul A şi exponentul b discretizează mult prea general si mult prea grosier comportarea structurilor rutiere sub acţiunea încărcărilor din trafic şi a tipul de osie pentru a putea o determina o vătămare suficient de corect.

4. OBSERVAȚII PRIVIND CARACTERUL GENERAL AL COEFICIENȚILOR NORMATIVI

Parametrii A şi b permit o evaluare rapidă a agresivităţii traficului, însă discretizează comportarea structurilor rutiere într-un mod foarte general. Aceştia ţin cont de tipul general al sistemului rutier şi de configuraţia osiei, dar nu includ direct alcătuirea concretă a structurii, grosimea straturilor asfaltice, calitatea materialelor, rigiditatea fundaţiei sau caracteristicile terenului de fundare.

Astfel, două structuri rutiere încadrate în aceeaşi categorie pot primi acelaşi coeficient de echivalare pentru aceeaşi osie, deşi starea de deformaţie calculată este diferită. Această situaţie indică o posibilă necorelare între abordarea

normativă bazată pe coeficienți bazați mai mult pe sarcina pe osie și răspunsul mecanic efectiv al structurii rutiere.

Pentru o evaluare mai riguroasă a vătămării produse de traficul greu, coeficienții de echivalare ar trebui interpretați nu doar ca valori normative medii, ci și în raport cu starea de eforturi și deformații generată în structura rutieră analizată.

5. STUDIU DE CAZ 1. STRUCTURĂ RUTIERĂ SUPLĂ CU TREI STRATURI ASFALTICE VERSUS STRUCTURĂ RUTIERĂ SUPLĂ CU DOUĂ STRATURI ASFALTICE

Pentru evidențierea influenței alcătuirii structurii rutiere asupra răspunsului mecanic, au fost analizate două structuri rutiere suple, utilizând programul ALIZE-LCPC. Scopul analizei a fost determinarea stării de eforturi și deformații pentru două structuri asemănătoare, dar cu alcătuire diferită la nivelul straturilor asfaltice.

Structură rutieră cu 3 straturi din mixtură asfaltică

- ✓ strat de uzură – 4 cm;
- ✓ binder – 6 cm;
- ✓ strat de bază – 8 cm;
- ✓ strat superior de fundație din piatră spartă – 25 cm;
- ✓ strat inferior de fundație din balast – 30 cm
- ✓ Teren de fundare – pământ P5.

Structură rutieră cu 2 straturi din mixtură asfaltică

- ✓ strat de uzură – 4 cm;
- ✓ strat de bază – 8 cm;
- ✓ strat superior de fundație din piatră spartă – 25 cm;
- ✓ strat inferior de fundație din balast – 30 cm
- ✓ Teren de fundare – pământ P5.

Rezultatele obținute la nivelul deformației specifice radiale de întindere la baza stratului asfaltic sunt următoarele:

- ✓ ε_r – 157,7 microdef structura rutieră cu 2 straturi de mixtură asfaltică N_{adm} = 0,8 (caz N_c >1 m.o.s) respectiv N_{adm} = 4,6 m.o.s. (caz N_c <1 m.o.s);
- ✓ ε_r – 125,3 microdef structura rutieră cu 3 straturi de mixtură asfaltică N_{adm} = 2 (caz N_c >1 m.o.s) respectiv N_{adm} =11 m.o.s. (caz N_c <1 m.o.s).

Observăm faptul că, în conformitate cu legea de oboseală, cele două structuri rutiere se comportă diferit, respectiv au un trafic de calcul admisibil diferit deci se vătămează în mod diferit.

Metodologia de calcul a coeficientului de echivalare este însă aceeași pentru ambele structuri. În consecință, pentru aceeași osie P_i, coeficientul de

echivalare este identic pentru cele două structuri. Totuşi, din punct de vedere mecanic, structurile au deformaţii radiale diferite, respectiv valori diferite pentru traficul admisibil. Observăm aşadar o necorelare a coeficientului de echivalare cu legea de oboseală.

6. STUDIU DE CAZ 2. ANALIZA SOLICITĂRILOR PRODUSE DE OSIA STANDARD, OSIA TANDEM ŞI OSIA TRIDEM

Pentru structura rutieră suplă cu trei straturi de mixtură asfaltică, au fost determinate diagramele de variaţie a deformaţiei radiale εr sub acţiunea osiei standard de 115 kN, a osiei tandem de 240 kN şi a osiei tridem de 240 kN. Pentru asigurarea proporţionalităţii, osia tandem şi osia tridem au fost analizate la aceeaşi încărcare totală de 24 tone.

Diagramele au fost determinate prin considerarea a 13 puncte de calcul, dispuse stânga-dreapta faţă de centrul încărcării, pe o lăţime de 2,3 m. Pentru fiecare caz a fost calculată aria de variaţie a deformaţiei radiale, considerată ca indicator mecanic integrat al solicitării produse în structură.

Valorile deformaţiei radiale maxime la baza stratului de bază din mixtură asfaltică: ε_{r115} = 125,3 microdef, $\varepsilon_{rtandem240kn}$ = 129,7 microdef şi $\varepsilon_{rtridem240kn}$= 103,2 microdef.

Au rezultat ariile 104,45 pentru osia 115 kN, 211,5 pentru osia TANDEM 240 kN şi 238,35 pentru osia TRIDEM 240 kN. Aceste suprafeţe sunt aproximative, deoarece între valorile din secţiuni s-a considerat o variaţie liniară şi nu cea reală.

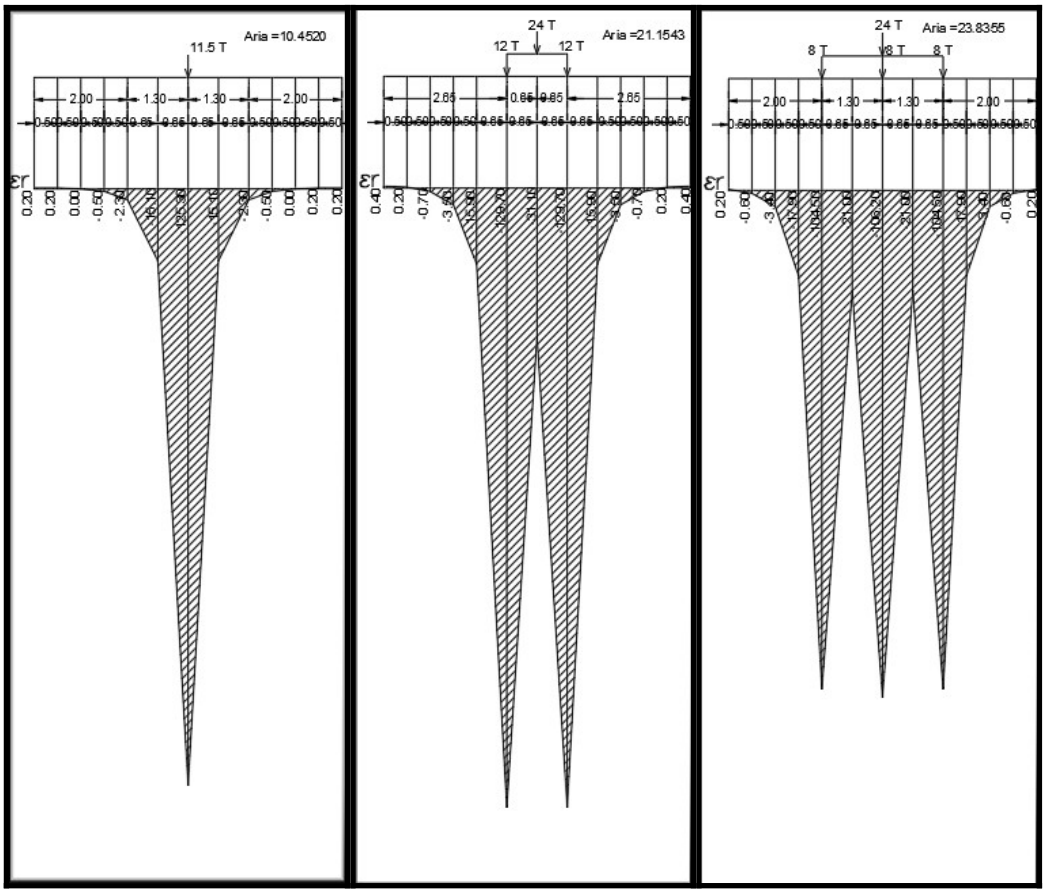


Figura 1. Distribuția deformației radiale sub încărcarea cu osia 11,5 tone, osia tandem 24 tone și osia TRIDEM 24 tone. Calcul ALIZE.

Calculele au fost realizate și cu ajutorul programului CESAR, pe un model tridimensional, pentru aceeași structură rutieră. Rezultatele au confirmat faptul că distribuția spațială a deformațiilor diferă semnificativ în funcție de configurația osiei.

Din analiza efectuată rezultă că, din punctul de vedere al ariei de variație a deformațiilor radiale, atât osia tandem, cât și osia tridem generează o solicitare mai mare decât osia standard. Această constatare indică faptul că agresivitatea unei osii nu trebuie analizată doar prin valoarea maximă punctuală a deformației, ci și prin modul în care aceasta se distribuie în structură.

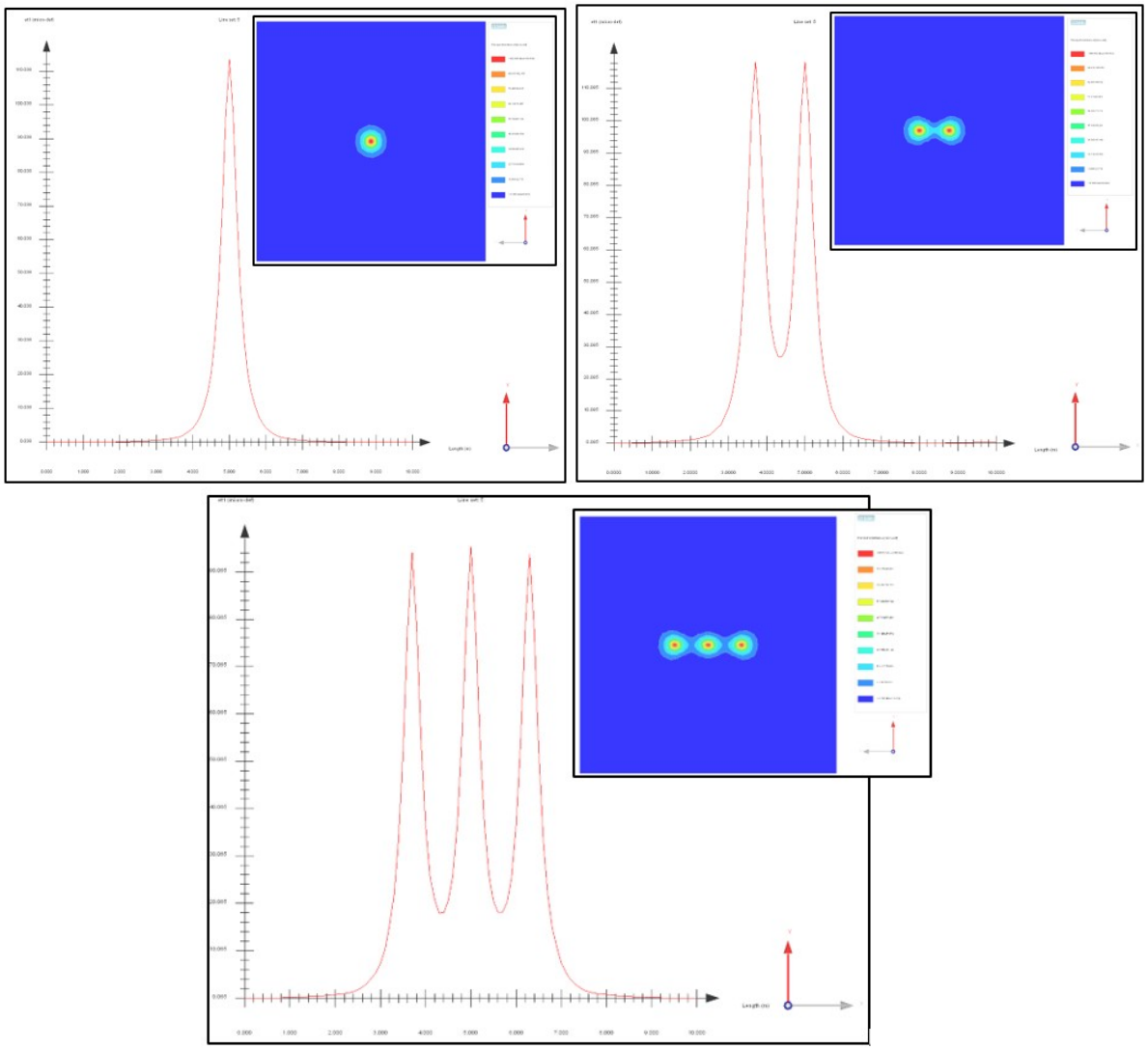


Figura 2. Distribuția deformației radiale sub încărcarea cu osia 11,5 tone, osia tandem 24 tone şi osia TRIDEM 24 tone. Calcul CESAR.

Pe baza calculelor mecanice realizate în ALIZE, pentru structura rutieră analizată au rezultat următoarele valori ale traficului admisibil:

- ✓ $N_{adm,115\ kN}$ = 2,00 m.o.s.;
- ✓ $N_{adm,tandem\ 240\ kN,\ osie\ elementară}$ = 1,74 m.o.s., respectiv $N_{adm,tandem\ 240\ kN}$ = 0,87 m.o.s.;
- ✓ $N_{adm,tridem\ 240\ kN,\ osie\ elementară}$ = 3,86 m.o.s., respectiv $N_{adm,tridem\ 240\ kN}$ = 1,29 m.o.s.

Prin raportare la osia standard, pentru structura analizată rezultă un coeficient mecanic de echivalare de aproximativ 2,29 pentru osia tandem și 1,56 pentru osia tridem.

Coeficient de echivalare 1,36 osii standard 115 kN conform AND 584. Coeficientul de echivalare pentru aceeași osie tridem (24 t) este de 0,6 osii standard 115 kN conform AND 584.

Comparativ, coeficienţii prevăzuţi în AND 584-2012 pentru acelaşi tip de structură pot conduce la valori mai reduse ale agresivității. Pentru structura analizată, această diferență sugerează că utilizarea directă a coeficienților AND 584 poate subestima efectul mecanic al unor configuraţii de osii, în special în cazul încărcărilor mari. Ex: Conform AND 584-2012 osia tridem are o agresivitate mai mică decât osia standard 115 kN.

7. STUDIU DE CAZ 3. IDENTIFICAREA CONFIGURAȚIEI DE OSIE CU AGRESIVITATE MAXIMĂ

Pentru aceeaşi structură rutieră suplă cu trei straturi de mixtură asfaltică, s-a analizat variația deformației radiale în sens transversal drumului, în două ipoteze de calcul: o ipoteză ideală şi o ipoteză reală de repartizare a încărcărilor.

Analiza SPAȚIALĂ – Ipoteza ideală (ipoteza 1)

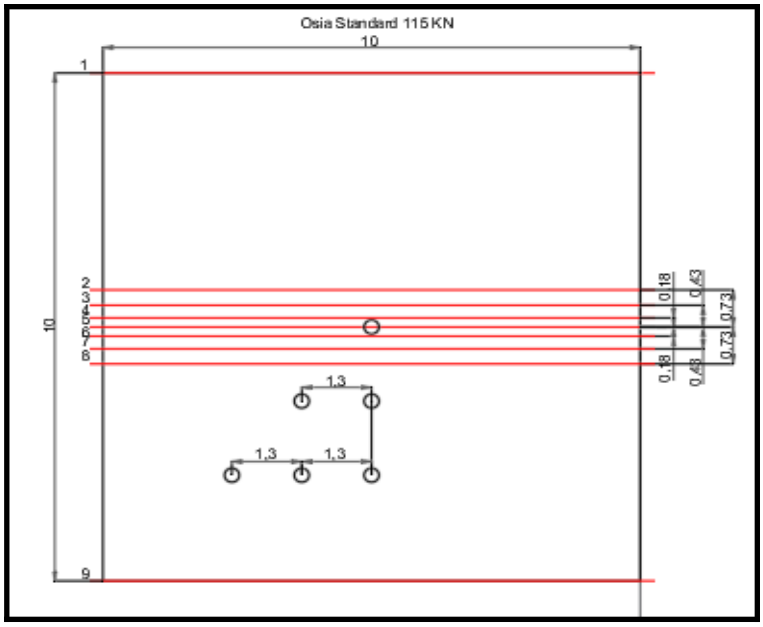


Figura 3. Distribuția secțiunilor longitudinale- Varianta ideală. Calcul CESAR

Tabelul 1. Ariile deformaţiilor specifice radiale pentru secţiunile longitudinale analizate. Ipoteza ideală

Secţiunea	Aria variaţiei εr

nr.	Osia standard 115 kN	Osia tandem cu masa totală 24 T	Osia tridem cu masa totală 24 T
1	1,1008	2,4268	2,2806
2	16,1381	24,0681	20,0233
3	32,5489	53,392	47,6542
4	60,7179	118,4904	118,9973
5	76,621	158,8037	171,0612
6	60,7444	118,2363	118,7707
7	32,5188	58,8628	47,7589
8	16,2892	23,6444	19,953
9	1,0922	2,4176	2,2681
Suma A	297,7713	560,3421	548,7673
Raport A TANDEM 24T/A 115, Raport A TRIDEM 24T/A 115 =		**1,88**	**1,84**
Raport A SECT5 TANDEM 24T/A SECT5 115, Raport A SECT5 TRIDEM 24T/A SECT5 115 =		**2,073**	**2,232**

Analiza SPAȚIALĂ – Ipoteza reală (ipoteza 2)

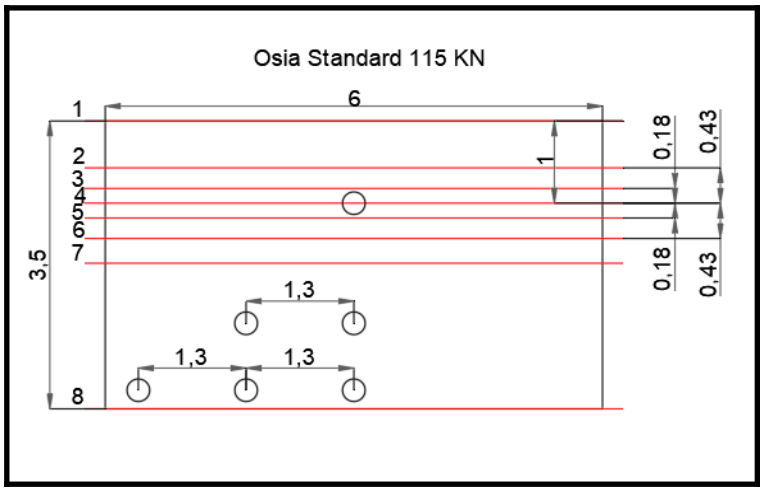


Figura 4. Distribuția secțiunilor longitudinale - Varianta reală. Calcul CESAR.

Tabelul 2. Ariile deformațiilor specifice radiale pentru secțiunile longitudinale analizate. Ipoteza reală

Secțiunea nr.	Aria variației εr		
	Osia standard 115 kN	Osia tandem cu masa totală 24 T	Osia tridem cu masa totală 24 T

1	15,4253	19,6223	14,9522
2	36,1465	52,8084	45,1721
3	68,881	120,2634	119,1513
4	85,8835	157,4822	171,2191
5	69,608	122,1498	121,3192
6	36,097	54,1464	47,3121
7	17,4944	22,8656	18,8039
8	1,3095	2,87	1,0813
Suma A	330,8452	552,2081	539,0112
Raport A TANDEM 24T/A 115, Raport A TRIDEM 24T/A 115 =		**1,67**	**1,63**
Raport A SECT5 TANDEM 24T/A SECT4 115, Raport A SECT4 TRIDEM 24T/A SECT5 115 =		**1,83**	**1,99**

Rezultatele evidențiază faptul că zona axului încărcării reprezintă zona critică din punctul de vedere al fenomenului de oboseală. În această zonă se concentrează cele mai mari valori ale deformației radiale și, implicit, cele mai mari valori ale indicatorului mecanic de agresivitate.

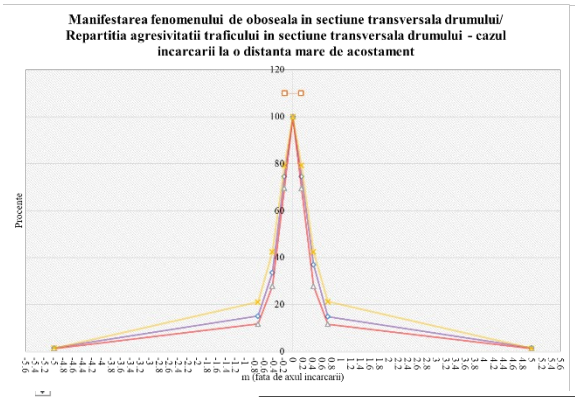
Pentru o aceeași încărcare de 24 de tone pe osie pentru osia tandem și tridem, ținând cont de toate cele 9/8 secțiuni, observăm faptul că în teoria elasticității o aceeași încărcare, după o aceeași direcție, asupra unei aceleiași structuri rutiere, conduce practic la o aceeași deformație radială totală (3D)/ o aceeași energie potențială de deformație consumată de structura rutieră. Diferențele la nivel de secțiunii longitudinale de calcul există însă! Așadar sub aspect de Energie potențială de deformație elastică, atât osia tandem cu încărcarea de 20/24 de tone cât și osia tridem cu încărcarea de 24 de tone prezintă clar o agresivitate mai mare (comparativ cu osia standard).

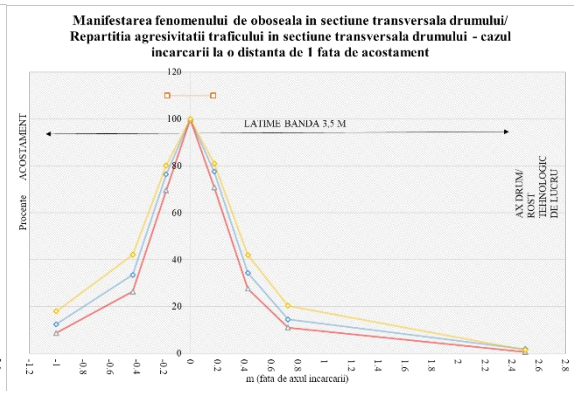
Prin urmare, configurația osiei influențează nu doar valoarea maximă a deformației, ci și modul de distribuție spațială a acesteia. Această observație este importantă pentru evaluarea fenomenului de oboseală și pentru estimarea mai corectă a agresivității traficului greu.

Sporirea sarcinii pe osie are o oarecare importanţă în ceea ce priveşte durata de viaţă, întreţinerea şi investiţia în lucrările de structuri rutiere suple. Mult mai importantă însă, rezultă, din acelaşi punct de vedere, geometria vehiculelor, distribuţia osiilor şi a sarcinilor, tipurilor de pneuri şi suspensii utilizate, ponderea vehiculelor grele şi în special a celor cu osii tridem în trafic, viteza de circulaţie şi factorii climatici etc., ceea ce ar trebui, până la urmă, să se reflecte în acurateţea coeficienţilor de transformare a vehiculelor grele în vehicule etalon.

8. DE LA COEFICIENȚII DE ECHIVALARE LA DIAGRAMA AGRESIVITĂȚII TRAFICULUI ÎN PROFIL TRANSVERSAL

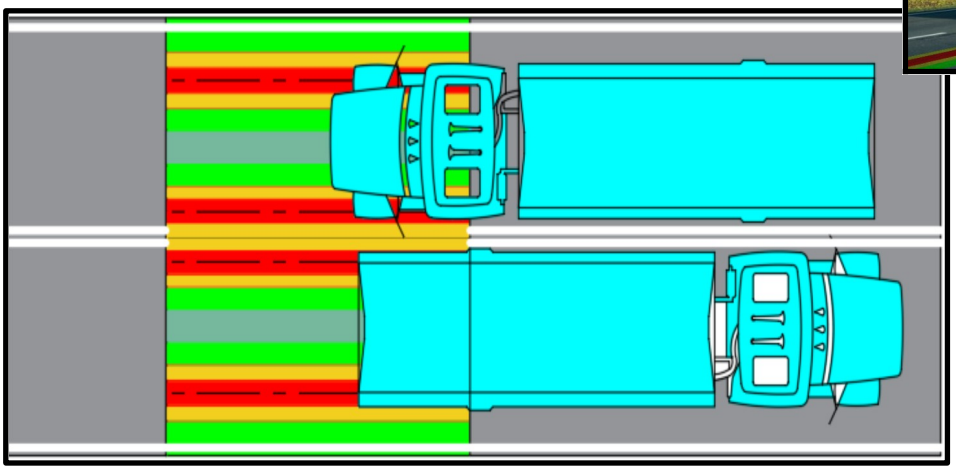
Pornind de la calculele realizate, se poate propune o reprezentare a modului de repartizare a agresivității traficului în profil transversal. Această reprezentare evidențiază faptul că agresivitatea traficului nu este uniform distribuită pe întreaga lățime a benzii de circulație, ci este concentrată în zona de contact a roților/amprenta.





	Intensitatea Fenomenului de oboseala la nivel de deformatie radiala la baza straturilor din mixtura asfaltica			
	<20%	40-60%	60-80%	80-100%
Suprafata carosabil (%)	15.7	35.7	25.7	**22.9**





Sub amprenta roții, în ax, solicitarea are valoarea maximă, considerată 100%. Pe măsură ce distanța față de axul încărcării crește, intensitatea deformației radiale scade semnificativ. Astfel, în profil transversal pot fi identificate zone cu niveluri diferite de agresivitate: zone cu intensitate foarte ridicată, zone cu intensitate medie și zone marginale cu intensități reduse.

Calculul de dimensionare al structurilor rutiere în România are în vedere, în principal, starea de deformație radială aferentă zonei celei mai solicitate. Practic, structura rutieră este dimensionată tehnico-economic pentru zona critică, care poate reprezenta aproximativ 23%–30% din lățimea benzii de circulație. Pentru celelalte zone ale profilului transversal, nivelul solicitării este mai redus, ceea ce poate conduce la o supradimensionare relativă a structurii în afara zonei critice.

Această observație deschide posibilitatea unei abordări mai detaliate a dimensionării, prin luarea în considerare a distribuției reale a agresivității traficului în profil transversal. O astfel de abordare ar putea permite optimizarea repartizării materialelor în structura rutieră, reducerea costurilor, utilizarea mai eficientă a resurselor și diminuarea amprentei de carbon asociate lucrărilor de infrastructură rutieră.

9. CONCLUZII

Analiza realizată evidențiază faptul că utilizarea coeficienților de echivalare în osii standard de 115 kN – AND 584 reprezintă o metodă simplificată și utilă pentru transformarea traficului real în trafic de calcul. Totuși, caracterul general al acestor coeficienți poate să nu surprindă integral răspunsul mecanic al structurilor rutiere analizate.

Rezultatele obținute arată că două structuri rutiere încadrate în aceeași categorie normativă, dar având alcătuiri diferite la nivelul straturilor asfaltice, pot prezenta valori diferite ale deformației radiale și, pe cale de consecință, valori diferite ale traficului admisibil de dimensionare. În aceste condiții, aplicarea aceluiași coeficient de echivalare pentru ambele structuri poate conduce la o evaluare insuficient diferențiată a vătămării produse de trafic. Structurile rutiere cu 2 straturi din mixtură asfaltică sunt printre cele mai vulnerabile în acest context, la nivel de durabilitate.

De asemenea, analiza solicitărilor produse de osia standard, osia tandem și osia tridem arată că agresivitatea traficului depinde nu doar de valoarea totală a încărcării, ci și de configurația osiei și de modul de repartizare spațială a deformațiilor în structură. Pentru structura analizată, coeficienții mecanici

calculaţi pe baza răspunsului structural au fost mai mari decât valorile rezultate prin aplicarea directă a coeficienţilor normativi (AND 584), ceea ce indică posibilitatea subestimării agresivităţii pentru anumite configuraţii de osii.

Un alt rezultat important îl reprezintă evidenţierea distribuţiei neuniforme a agresivităţii traficului în profil transversal. Solicitarea este concentrată în zona de acţiune a roţilor, în timp ce zonele marginale ale benzii de circulaţie sunt solicitate semnificativ mai redus. Această constatare poate sta la baza unor metode de analiză și dimensionare mai eficiente, orientate către optimizarea repartizării materialelor în profil transversal.

Zonele părţii carosabile supuse unui fenomen de oboseală intens și foarte intens sunt cele mai susceptibile la apariția degradărilor severe, precum fisurările în plăci și făgașele. Aceste degradări sunt direct corelate și cu caracteristicile bitumului utilizat la prepararea mixturilor asfaltice, bitum care, în condiţii de temperatură scăzută, poate favoriza apariția fisurărilor în plăci, iar în condiţii de temperaturi ridicate poate favoriza apariția făgașelor.

Zonele părţii carosabile supuse unui fenomen de oboseală foarte redus sunt cele mai puțin susceptibile la apariția degradărilor, în special a degradărilor structurale.



Figura 5. Excessive Alligator Fatigue Cracking (New Damitta- to Damitta Port Road)



Figura 6. High Severity Rutting (Mansoura-Gamsa Road)

În concluzie, rezultatele studiilor de caz indică necesitatea completării abordării normative bazate pe coeficienți din AND 584, cu analize mecanice adaptate structurii rutiere reale. O astfel de abordare poate conduce la o estimare mai corectă a vătămării produse de traficul greu, la o dimensionare mai rațională a structurilor rutiere și la utilizarea mai eficientă a resurselor materiale.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Dorobanțu, S. (1999). Influența sarcinilor pe osie asupra drumurilor.* Drumuri și Poduri, IX*(47), 7–9. https://www.apdp.ro/documents/dp/1999/DP_47_1999.pdf* **1999**

[2]. *Dorobanțu, S., Jercan, S., Păucă, C., Romanescu, C., Răcănel, I., & Șovărel, E. (1980). Drumuri. Calcul și proiectare: Alcătuirea și calculul sistemelor rutiere. Editura Tehnică.***1980**

[3]. *Nicolau, M. Evoluția transportului rutier și determinarea agresivității acestuia asupra drumurilor. Revista Drumuri și Poduri, Anul XIII, nr. 71, 2003, nr. 8, pp. 7–10.* **2003**

[4]. *AND 584-2004 (revizuit) NORMATIV pentru determinarea traficului de calcul pentru proiectarea drumurilor din punct de vedere al capacităţii portante şi al capacităţii de circulaţie Indicativ AND 584* -**2004**

[5]. *AND 584-2012 (în vigoare) NORMATIV pentru determinarea traficului de calcul pentru proiectarea drumurilor din punct de vedere al capacităţii portante şi al capacităţii de circulaţie* **2012**

[6]. *LCPC. French Design Manual for Pavement Structures. Guide Technique. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris,* **1994**.

[7]. *Pereira, P.; Pais, J. Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of a European method. Journal of Traffic and Transportation Engineering, Volume 4, Issue 4, 2017, pp. 316–346.* **2017**

[8]. *PD 177-2001: Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică). Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere. https://cnadnr.ro/sites/default/files/Reglementari-tehnice/PD%20177-2001.pdf* ***2001***

[9]. *Abdalfattah, Ibrahim & Alabasey, R. & Azam, Abdelhalim & El-Badawy, Sherif & Gabr, Alaa. (2015). Evaluation of Polymer Modified Asphalt Mixtures in Pavement Construction.* **2015**

[10]. *AND 547-2013 NORMATIV pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor la*

îmbrăcămințile rutiere moderne.
https://cnadnr.ro/sites/default/files/Reglementari-tehnice/AND%20547-2013.pdf
2013

CALITATEA DATELOR ITS ÎN IDENTIFICAREA ANOMALIILOR DE TRAFIC – GHID METODOLOGIC PENTRU ADMINISTRAȚIILE RUTIERE

Pavăl Flavius-Florin, conf.univ.dr.ing., Director Adjunct Siguranța Circulației și ITS din cadrul Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere (C.N.A.I.R.), Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Construcții și Geodezie, e-mail: flavius.paval@iit.utm.md, pavalflavius@yahoo.com

Rezumat

Lucrarea propune o procedură pentru verificarea datelor provenite din sisteme de transport inteligente înaintea utilizării lor la identificarea anomaliilor de trafic. Sunt explicate diferențele dintre lipsa unei măsurări, o valoare suspectă și o perturbare reală. Procedura verifică existența și actualitatea datelor, unitățile și domeniul valorilor, ordinea mesajelor, repetarea măsurărilor și coerența dintre indicatori. Rezultatul separă starea traficului de posibilitatea evaluării sale, pentru ca lipsa informației să nu fie afișată drept trafic normal. Un exemplu ipotetic de 15 minute compară aceeași regulă de alertare cu și fără controlul datelor și arată de ce o alertă începută înaintea perturbării nu trebuie contabilizată automat ca detectare. Sunt definite reguli explicite pentru asocierea alertelor cu evenimentele, precum și indicatori pentru detectare, alerte false, întârziere și disponibilitate. Administrațiile pot utiliza cadrul după stabilirea parametrilor, verificarea compatibilității cu echipamentele și calibrarea pe date locale. Exemplul este demonstrativ și nu reprezintă o validare pe teren sau o estimare a performanței unui sistem real.

Cuvinte cheie: sisteme de transport inteligente, calitatea datelor, anomalii de trafic, alerte false, disponibilitatea evaluării.

Abstract

This paper proposes a procedure for checking intelligent transport system data before using them to identify traffic anomalies. It explains the differences between a missing measurement, a suspect value and an actual traffic disturbance. The procedure checks data completeness and age, units and value ranges, message ordering, repeated measurements and consistency between traffic variables. Its output separates traffic status from the availability of an assessment, preventing missing information from being displayed as normal traffic. A hypothetical 15-minute example compares the same alert rule with and without data checks and shows why an alert starting before a disturbance should not automatically count as its detection. Explicit rules are defined for matching alerts to events and for measuring detection, false alerts, delay and assessment availability. Road administrations can use the framework after selecting parameters, checking equipment compatibility and calibrating it with local data. The example is illustrative and does not constitute field validation or an estimate of the performance of a deployed system.

Keywords: intelligent transport systems, data quality, traffic anomalies, false alerts, assessment availability.

1. SCOPUL ŞI CONTRIBUȚIA LUCRĂRII

Sistemele de transport inteligente, denumite în continuare ITS, furnizează administraţiilor rutiere informaţii despre circulaţie prin detectoare, camere video şi echipamente de comunicaţii. Datele pot sprijini identificarea unei reduceri neobişnuite a vitezei sau formarea unei cozi. Totuşi, o informaţie primită de centrul de management nu este automat corectă sau actuală. O eroare de unitate, o întrerupere a comunicaţiei sau repetarea ultimei măsurări poate modifica sensul unei alerte.

Literatura privind calitatea datelor de trafic tratează dimensiuni precum completitudinea şi actualitatea. Verificările pentru detectoare includ controlul plauzibilităţii şi examinarea relaţiilor dintre indicatori. Cercetările asupra detectării incidentelor arată că performanţa trebuie urmărită prin mai multe măsuri, inclusiv detectarea şi întârzierea. Aceste componente sunt reunite aici într-o procedură explicată din perspectiva exploatării de către administrator.

Contribuţia este operaţională: se propune o succesiune de verificări, se precizează ce afişează sistemul când datele sunt insuficiente şi se defineşte o regulă de evaluare care separă detectarea unui eveniment de simpla suprapunere a unei alerte cu acesta. Exemplul numeric este construit explicit pentru ilustrarea mecanismelor, iar lucrarea nu prezintă măsurători de pe DN 39, rezultate de implementare sau performanţe statistice validate.

Prin anomalie de trafic se înţelege o abatere persistentă faţă de situaţia obişnuită. Aceasta nu identifică singură cauza: poate fi produsă de congestie, lucrări, vreme sau un incident. Incidentul confirmat presupune verificare dintr-o sursă independentă, de exemplu o cameră video ori o patrulă. Separarea este necesară înaintea oricărei interpretări privind siguranţa circulaţiei.

2. DATELE NECESARE ŞI SEMNIFICAŢIA LOR

Pentru o staţie de măsurare se pot utiliza numărul de vehicule „N” într-un interval, viteza medie „v” şi gradul de ocupare „o”. Ocuparea reprezintă proporţia de timp în care zona sensibilă a detectorului este acoperită de vehicule; nu este procentul de vehicule dintr-un sector. În exemplu, intervalul de agregare este un minut, iar viteza se exprimă în km/h. Se păstrează separat momentul măsurării şi momentul sosirii mesajului.

Tabelul 1. Termeni necesari pentru interpretarea datelor

Termen	Semnificație practică
Completitudine	Proporția observațiilor așteptate care sunt disponibile într-un interval.
Latență	Întârzierea dintre măsurare și sosirea mesajului în sistem.
Vechimea datelor	Timpul dintre momentul evaluării și momentul măsurării utilizate.
Valoare suspectă	Observație care necesită verificare; suspiciunea nu demonstrează un defect.
Evaluare indisponibilă	Datele nu permit aplicarea regulii curente cu cerințele declarate.
Episod de alertă	Interval continuu în care sistemul menține aceeași alertă activă.

Numărul „0” de vehicule poate fi o observație validă. În acel minut, viteza medie a vehiculelor care trec nu poate fi calculată și se marchează ca nedefinită, nu ca zero. Lipsa unui mesaj este o altă situație: nu se cunoaște numărul de vehicule. Aceste două cazuri trebuie păstrate distinct în baza de date și pe interfața operatorului.

Profilul de referință descrie viteza obișnuită pentru stația și perioada analizată. El poate fi construit din zile comparabile, cu separarea orelor și a tipurilor de zi. Zilele cu lucrări sau defecte cunoscute nu se includ automat în referință. Alegerea perioadei și actualizarea profilului sunt responsabilități ale administrației și trebuie documentate.

3. PROCEDURA DE VERIFICARE ȘI ALERTARE

3.1. Verificările înaintea evaluării

Verificările se aplică numai mesajelor sosite până la momentul deciziei. Mesajele întârziate pot completa arhiva, dar nu modifică retroactiv momentul la care o alertă ar fi putut fi emisă. Se păstrează atât valoarea originală, cât și rezultatul verificării, pentru ca o corecție sau excludere să poată fi urmărită ulterior.

Tabelul 2. Verificări propuse și tratamentul rezultatului

Control	Ce se urmărește	Tratament recomandat
Existență și actualitate	Observații suficiente și suficient de recente pentru regula aplicată.	Evaluare indisponibilă dacă cerința nu este îndeplinită.
Unități și domeniu	Unitatea declarată, valori imposibile și câmpuri obligatorii.	Conversie documentată dacă unitatea este cunoscută; altfel excludere justificată.
Timp și duplicate	Mesaje repetate, ordine temporală și sincronizarea ceasurilor.	O observație pe interval; păstrarea momentului real al sosirii.
Repetări și salturi	Serii identice sau variații neobișnuite față de istoricul stației.	Marcaj suspect și verificare suplimentară; fără respingere automată universală.
Coerență între indicatori	Compatibilitatea debitului, vitezei și ocupării; comparații cu alte surse.	Marcaj suspect; confirmare ținând seama de cozi, bretele și tipul detectorului.

Un șir de valori identice poate proveni dintr-un senzor blocat, dar și din rotunjirea unor măsurări valide. Administrația stabilește durata minimă a repetării și toleranța în raport cu precizia echipamentului. Similar, o reducere mare a vitezei nu este automat o eroare: poate indica o schimbare reală a circulației. Comparația cu stația vecină trebuie să considere timpul de deplasare și posibilitatea formării unei cozi între stații.

Relațiile dintre debit, viteză și ocupare pot susține controlul plauzibilității, însă nu se transferă identic între tehnologii. O aproximație simplă a lungimii efective a vehiculului, folosită numai pentru o agregare compatibilă pe benzi, este:

$$L \approx o \times b \times v / (6 \times N) \quad (1)$$

În relația (1), L este în metri, o este ocuparea în procente, b numărul de benzi, v viteza în km/h, iar N totalul vehiculelor pe minut pe acele benzi. Se presupun ocupări medii comparabile pe benzi și o viteză reprezentativă; lungimea efectivă include influența zonei sensibile a detectorului. Pentru N = 20, b = 2, v = 90 și o = 4%, rezultă L ≈ 6 m. Relația este un control aproximativ și nu justifică singură respingerea măsurării.

3.2. Separarea stării datelor de starea traficului

Sistemul trebuie să păstreze două informații. Prima privește datele: utilizabile, utilizabile cu rezerve sau insuficiente. A doua privește traficul: fără anomalie identificată ori alertă activă. Dacă evaluarea este indisponibilă, ultima stare cunoscută poate fi afișată numai împreună cu momentul ei și cu mențiunea că nu reprezintă o constatare curentă.

Datele cu rezerve pot susține o examinare de către operator dacă regula permite acest lucru și îndeplinește condițiile minime. Nu orice suspiciune trebuie transformată în lipsă de date. Pentru aplicații cu efect asupra informării conducătorilor, administrația stabilește în ce condiții este necesară confirmarea video înaintea unei acțiuni.

3.3. O regulă simplă pentru demonstrație

Se consideră o reducere neobișnuită dacă viteza este mai mică de 65% din viteza de referință. Alerta pornește la a treia observație consecutivă sub prag și se închide la a treia observație consecutivă egală sau peste prag. La o singură schimbare de sens a comparației se păstrează starea alertei, iar numărătorul pentru condiția opusă se resetează. Procentul de 65% și persistența de trei minute sunt ipoteze demonstrative, nu praguri normative.

Pentru comparație, varianta A folosește valorile numerice primite fără controlul unității. Varianta B cere trei observații valide consecutive, inclusiv observația minutului curent. O valoare exclusă întrerupe continuitatea, resetează numărătorile și face evaluarea indisponibilă până la acumularea unui nou șir de trei observații valide. În exemplu nu există mesaje întârziate sau lipsă; toate ajung la sfârșitul minutului de măsurare.

4. EXEMPLU NUMERIC EXPLICAT

4.1. Date și rezultate la nivel de minut

Exemplul propus cuprinde 15 minute, numerotate 0–14, la o singură stație. Viteza de referință este constantă, 90 km/h; pragul de alertare este deci 58,5 km/h. În minutele 3–5, un defect de configurare transmite valoarea 25, în m/s, către un câmp așteptat în km/h. Viteza reală rămâne 90 km/h. Incompatibilitatea este cunoscută din metadatele demonstrative și B exclude aceste mesaje. O conversie verificată ar putea recupera datele într-o implementare; aici se analizează explicit opțiunea excluderii.

Perturbarea reală începe în minutul 7 și se încheie în minutul 10 inclusiv. Vitezele reale și transmise în aceste minute sunt 50, 48, 45 și 50 km/h. În celelalte minute, exceptând eroarea de unitate, valoarea transmisă este 90 km/h. Intervalul perturbat este stabilit prin construcția exemplului și nu este dedus din ieșirea uneia dintre variante.

Tabelul 3. Aplicarea aceleiași reguli cu și fără verificarea datelor

Minute	Viteză primită	Varianta A	Varianta B
0–2	90; 90; 90	Fără alertă.	Indisponibilă la 0–1; fără alertă la 2.
3–4	25; 25	Două valori sub prag; fără alertă.	Indisponibilă; unitate incompatibilă.
5	25	Pornește alerta.	Indisponibilă; unitate incompatibilă.
6	90	Alerta rămâne activă.	Indisponibilă; prima valoare validă nouă.
7–8	50; 48	Alerta rămâne activă.	Indisponibilă la 7; fără alertă la 8.
9–10	45; 50	Alerta rămâne activă.	Alertă activă din minutul 9.
11–12	90; 90	Alerta rămâne activă.	Alerta rămâne activă.
13–14	90; 90	Fără alertă din minutul 13.	Fără alertă din minutul 13.

A deschide un singur episod în minutul 5, pe baza erorii de unitate, și îl menține până în minutul 12. Când începe perturbarea reală, alerta este deja activă: nu apare o detectare nouă. B nu evaluează traficul în timpul erorii și al refacerii ferestrei. Primele trei viteze consecutive sub prag sunt cele din minutele 7, 8 și 9, astfel încât alerta pornește în minutul 9, cu două minute după începutul perturbării.

4.2. Cum se numără corect detectările

Pentru acest ghid, un episod poate detecta o perturbare numai dacă începe la aceeași stație între debutul perturbării și sfârșitul ei plus o toleranță declarată. În exemplu toleranța este de două minute, deci intervalul admis pentru începutul alertei este 7–12. O alertă începută anterior nu primește automat credit pentru un eveniment ulterior. Dacă se dorește și evaluarea alertelor timpurii, aceasta se face separat, cu referință independentă și reguli stabilite înaintea testului.

Perturbările se parcurg cronologic, iar fiecăreia i se asociază primul episod eligibil care nu a fost utilizat deja. Un episod nu poate detecta două perturbări. Episoadele eligibile suplimentare pentru aceeași perturbare sunt repetări și se raportează separat. Cele fără asociere sunt episoade false în raport cu referința utilizată. Această convenție privește detectarea unor evenimente noi; indicatorii pe minute descriu separat acoperirea stării perturbate.

În literatura seriilor temporale, evaluarea poate considera intervale, nu numai momente izolate. Regula de asociere de mai sus este alegerea explicită a lucrării, nu o consecință obligatorie a acelei surse. Fereastra de toleranță privește asocierea începutului alertei; nu șterge automat minutele de alertă din afara perturbării.

Tabelul 4. Rezultatele exemplului pe cele 15 minute

Indicator	Varianta A	Varianta B
Perturbări detectate din una	0	1
Episoade false	1	0
Întârziere pentru detectări corecte	Nedefinită	2 minute
Minute de alertă în afara perturbării	4	2
Minute cu stare afișată de regulă	15	8
Disponibilitatea evaluării B	Nu se aplică aceleași verificări.	8/15 = 53,3%

Cele patru minute de alertă falsă pentru A sunt 5, 6, 11 și 12. Pentru B sunt minutele 11 și 12, datorate regulii de închidere după trei observații normale. B este disponibilă în minutul 2 și în minutele 8–14, în total opt minute. A afișează o stare în toate minutele, dar acest lucru nu dovedește că datele sunt utilizabile. Valorile din tabel descriu exclusiv exemplul construit și nu estimează frecvența reală a erorilor sau superioritatea generală a variantei B.

5. EVALUAREA PE UN SET MAI MARE DE DATE

Pentru validare, administrația are nevoie de intervale normale și de perturbări confirmate independent. Se păstrează separat etichetele evenimentelor reale și evidența defectelor de date. Faptul că o verificare respinge o observație nu dovedește, prin el însuși, că observația era eronată. Calitatea filtrării se examinează și prin măsurări valide respinse și defecte acceptate.

Rata de detectare este numărul perturbărilor detectate împărțit la numărul total de perturbări de referință. Precizia episoadelor este numărul episoadelor asociate corect, inclusiv repetările raportate distinct, împărțit la numărul total de episoade. Pentru a preveni interpretările favorabile produse de fragmentare, se raportează obligatoriu și numărul repetărilor. Întârzierea medie se calculează numai pentru detectările eligibile, folosind momentul efectiv al deciziei, nu momentul unui mesaj sosit ulterior.

Se raportează episoadele false pe stație și pe oră, precum și minutele de alertă în afara intervalelor perturbate. Pentru intervale discrete cu pas de un minut, fiecare minut etichetat contribuie cu o unitate la durată. Disponibilitatea este proporția minutelor în care cerințele evaluării sunt îndeplinite. Se indică separat și proporția minutelor perturbate fără evaluare; rata de detectare nu se calculează numai pe intervalele în care sistemul a funcționat.

Dacă nu există perturbări de referință, rata de detectare este nedefinită. Dacă nu există alerte, precizia este nedefinită. Dacă nu există detectări eligibile, întârzierea medie este nedefinită. Aceste situații nu se înlocuiesc arbitrar cu zero sau cu performanță perfectă. În exemplul anterior, rata de detectare este 0 pentru A și 1 pentru B, dar un singur eveniment nu permite generalizarea acestor valori.

Compararea parametrilor se face pe aceleaşi zile, staţii şi evenimente, pentru a limita influenţa schimbării condiţiilor de trafic. Se analizează diferenţa dintre variante pentru fiecare zi sau grup de observaţii şi se estimează incertitudinea ţinând seama de dependenţa temporală. O diferenţă mică nu poate fi declarată lipsită de efect doar pentru că se află în intervalul variaţiei altor rulări independente. Parametrii se calibrează pe un set de date şi se evaluează ulterior pe un set distinct.

6. ADAPTAREA ŞI UTILIZAREA DE CĂTRE ADMINISTRAŢII

Administraţia poate utiliza cadrul după stabilirea cerinţelor operaţionale şi verificarea semnificaţiei câmpurilor furnizate de echipamente. O regulă pentru intervale de un minut nu se transferă nemodificat la măsurări la cinci minute. Trei observaţii reprezintă durate diferite în cele două cazuri. Cerinţele se exprimă atât ca număr de observaţii, cât şi ca timp maxim acceptat.

Tabelul 5. Parametri care trebuie stabiliţi înaintea utilizării

Element	Decizia administraţiei
Date şi timp	Unităţi, interval de agregare, ceasuri sincronizate şi tratarea mesajelor întârziate.
Cerinţe de calitate	Completitudine, vechime maximă, domenii plauzibile şi toleranţe la repetare.
Regula de alertare	Profil de referinţă, prag de abatere, durată de confirmare şi condiţie de închidere.
Date suspecte şi lipsă	Condiţii de utilizare cu rezerve, confirmare independentă şi revenire după întrerupere.
Evaluarea performanţei	Evenimente de referinţă, asociere, toleranţe, repetări şi indicatori raportaţi.
Exploatare şi resurse	Responsabili, timp de răspuns, mentenanţă, arhivare şi costul verificărilor.

La primirea unei alerte pe date utilizabile, operatorul poate verifica imaginile şi informaţiile altor servicii. Dacă datele sunt suspecte sau evaluarea este indisponibilă, sistemul semnalează separat necesitatea verificării tehnice. Măsurile de management al traficului se aleg după confirmarea şi evaluarea situaţiei, potrivit procedurilor administraţiei; alerta automată nu stabileşte singură intervenţia necesară.

Evaluarea economică se poate realiza după definirea nivelului de serviciu urmărit. Se estimează costurile de integrare, comunicaţii, mentenanţă şi verificare de către operatori, pe aceeaşi perioadă şi bază de preţuri. Un filtru mai strict poate reduce informaţia disponibilă şi poate creşte nevoia de confirmare.

Alegerea pragurilor trebuie să reflecte acest compromis, fără atribuirea unor economii sau beneficii de siguranță care nu au fost măsurate.

Implementarea poate începe printr-o perioadă de observare în care alertele sunt înregistrate și comparate cu verificările operatorilor. Se urmăresc atât alertele corecte, cât și evenimentele omise, timpii de indisponibilitate și cauzele acestora. Configurațiile se păstrează cu număr de versiune, astfel încât rezultatele din perioade diferite să nu fie comparate fără a cunoaște schimbările regulilor.

Analiza dezvoltării ITS în România realizată de Pavăl [6] discută integrarea colectării datelor, a comunicațiilor și a centrelor de management, precum și dificultățile legate de calitatea datelor și interoperabilitate. Procedura din prezentul ghid detaliază o problemă operațională din acest context: condițiile în care datele primite pot susține o alertă curentă și modul de evaluare a acesteia. Referința oferă contextul implementării, fără a valida numeric pragurile sau exemplul demonstrativ.

7. LIMITE ȘI CONCLUZII

Procedura propusă tratează calitatea datelor ca parte a deciziei operaționale. O alertă trebuie interpretată împreună cu actualitatea și utilizabilitatea observațiilor care au produs-o, iar absența unei evaluări trebuie păstrată distinct de absența unei anomalii. Contribuția metodologică este asocierea dintre verificarea datelor, starea afișată operatorului și regula prin care se măsoară performanța detectării.

Controlul datelor introduce un compromis care trebuie măsurat, nu presupus favorabil. În exemplu, B reduce minutele de alertă din afara perturbării de la patru la două, dar permite evaluarea în numai opt dintre cele 15 minute. Excluderea este o alegere demonstrativă; o conversie verificată a unității ar putea recupera observațiile. Prin urmare, filtrarea mai strictă nu trebuie echivalată automat cu o performanță mai bună, iar comparația trebuie să includă evenimentele omise, indisponibilitatea și întârzierea.

Pentru administrații, rezultă necesitatea unui nivel de serviciu definit înaintea configurării. Acesta trebuie să precizeze vechimea acceptată a datelor, continuitatea cerută pentru decizie și timpul de confirmare a unei alerte. Pragurile trebuie corelate cu tehnologia detectorului și intervalul de agregare. Valorile suspecte se examinează separat de erorile certe, astfel încât o verificare destinată depistării defectelor să nu elimine sistematic situații reale de congestie.

Validarea pe teren ar trebui să folosească două evidențe independente: perturbările de trafic confirmate și defectele cunoscute ale măsurării sau transmisiei. Sunt necesare raportarea măsurărilor valide respinse, a defectelor acceptate, a episoadelor repetate și a minutelor perturbate fără evaluare. Configurațiile se compară pe aceleași zile și evenimente, analizând diferențele

pe perechi și dependența temporală. Separarea datelor de calibrare de cele de evaluare este necesară pentru a examina transferul regulilor la condiții noi.

Lucrarea oferă un ghid și o demonstrație deterministă la o stație, nu o estimare a performanței unei rețele ITS. Extinderea justificată presupune testarea pe stații și tehnologii diferite, în congestie, vreme nefavorabilă și întreruperi de comunicații, cu înregistrarea momentului efectiv al fiecărei decizii. După această etapă, cadrul poate susține cerințe de exploatare și mentenanță verificabile. Beneficiile asupra siguranței și economiile rămân obiective de evaluat separat, fără a fi deduse numai din numărul alertelor.

BIBLIOGRAFIE

[1]. S. TURNER. *Defining and Measuring Traffic Data Quality: White Paper on Recommended Approaches.* Transportation Research Record, **1870**(1), pp. **62–69**, **2004**. doi:10.3141/1870-08.

[2]. R. E. TUROCHY, B. L. SMITH. *New Procedure for Detector Data Screening in Traffic Management Systems.* Transportation Research Record, **1727**(1), pp. **127–131**, **2000**. doi:10.3141/1727-16.

[3]. C. CHEN, J. KWON, J. RICE, A. SKABARDONIS, P. VARAIYA. *Detecting Errors and Imputing Missing Data for Single-Loop Surveillance Systems.* Transportation Research Record, **1855**(1), pp. **160–167**, **2003**. doi:10.3141/1855-20.

[4]. O. ELSAHLY, A. ABDELFATAH. *A Systematic Review of Traffic Incident Detection Algorithms.* Sustainability, **14**(22), article **14859**, **2022**. doi:10.3390/su142214859.

[5]. N. TATBUL, T. J. LEE, S. ZDONIK, M. ALAM, J. GOTTSCHLICH. *Precision and Recall for Time Series.* Advances in Neural Information Processing Systems **31**, pp. **1920–1930**, **2018**. https://arxiv.org/abs/1803.03639

[6]. F.-F. PAVĂL. *Enhancing Road Safety in Romania through Intelligent Transport Systems (ITS).* In: Proceedings of the 9th International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA 2026, Bol, Croatia, 27–30 May **2026**, pp. **823–832**. doi:10.5592/CO/CETRA.2026.2037.

PRIORITIZAREA INTERVENȚIILOR DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ – GHID METODOLOGIC PENTRU ADMINISTRAȚIILE RUTIERE

Pavăl Flavius-Florin, conf.univ.dr.ing., Director Adjunct Siguranța Circulației și ITS din cadrul Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere (C.N.A.I.R.), Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Construcții și Geodezie, e-mail: flavius.paval@iit.utm.md, pavalflavius@yahoo.com

Rezumat

Lucrarea propune un cadru metodologic pentru stabilirea ordinii de realizare a intervențiilor de siguranță rutieră. Cadrul este conceput ca un ghid adaptabil: fiecare administrație își definește obiectivele, indicatorii, limitele dintre nivelurile de evaluare, ponderile și valorile financiare înaintea aplicării. Sunt explicate șase criterii orientative privind gravitatea problemei, riscul, utilizatorii vulnerabili, potrivirea soluției, costul și pregătirea proiectului. Pentru ordonarea intervențiilor sunt prezentate două opțiuni: un punctaj total și o procedură care stabilește mai întâi clase de necesitate. Un exemplu ipotetic arată cum se calculează punctajele și de ce cele două opțiuni pot conduce la ordini diferite. Tratarea informației lipsă este ilustrată printr-un calcul simplu, care arată când sunt necesare date suplimentare. Procedura poate sprijini elaborarea programelor de investiții după adaptarea parametrilor la rețeaua administrată și la bugetul disponibil. Exemplele nu reprezintă proiecte reale, iar valorile propuse nu sunt praguri obligatorii sau validate pentru toate administrațiile.

Cuvinte cheie: siguranță rutieră, administrații rutiere, prioritizarea intervențiilor, analiză multicriterială, programarea investițiilor.

Abstract

This paper proposes a methodological framework for prioritising road safety interventions. It is intended as an adaptable guide: each road administration defines its objectives, indicators, scoring thresholds, weights and financial assumptions before application. Six illustrative criteria address the severity of the problem, relative risk, vulnerable road users, suitability of the proposed treatment, cost and project readiness. Two ranking options are explained: an overall weighted score and a procedure that first assigns interventions to need classes. A hypothetical example shows how scores are calculated and why the two options may produce different priorities. A separate worked example explains how missing information can affect a decision and when additional data should be collected. The framework can support investment programming once its parameters have been adapted to the managed network and available budget. The examples do not represent real projects, and the suggested values are neither mandatory thresholds nor universally validated parameters.

Keywords: road safety, road administrations, intervention prioritisation, multicriteria analysis, investment programming.

1. SCOPUL ŞI DOMENIUL DE UTILIZARE

Administraţiile rutiere au frecvent mai multe intervenţii necesare decât pot finanţa şi pregăti într-un singur an sau într-o perioadă scurtă de timp. Pentru alegerea ordinii de realizare trebuie analizate atât problema de siguranţă, cât şi soluţia propusă şi resursele disponibile. Un proiect ieftin şi uşor de executat poate fi oportun, dar aceste caracteristici nu arată singure cât de mare este problema pe care o rezolvă.

Cadrul european de gestionare a siguranţei infrastructurii leagă evaluarea reţelei de identificarea riscurilor şi de prioritizarea acţiunilor în domeniul său de aplicare, iar analiza multicriterială permite examinarea unei intervenţii din mai multe puncte de vedere. Literatura de specialitate include aplicaţii pentru ordonarea intersecţiilor şi subliniază necesitatea verificării stabilităţii rezultatelor, iar alegerea soluţiilor trebuie susţinută şi prin dovezi privind efectele lor asupra siguranţei.

Lucrarea oferă un ghid metodologic pentru transformarea acestor informaţii într-o ordine de intervenţie explicabilă. Administraţiile pot utiliza cadrul după ce îşi stabilesc şi documentează indicatorii, regulile de punctare, ponderile şi baza financiară. Cele şase criterii şi valorile numerice prezentate sunt exemple de configurare. Ele pot fi adaptate reţelelor naţionale, regionale sau locale, fără a presupune că aceeaşi grilă este potrivită în toate situaţiile.

Procedura sprijină alegerea între intervenţii planificate. Remedierea unui pericol iminent şi măsurile care trebuie realizate pentru respectarea unor obligaţii aplicabile se tratează distinct, înaintea clasamentului. Ghidul nu înlocuieşte proiectarea, verificarea tehnică a soluţiilor sau aprobarea programului de investiţii de către persoanele competente.

2. TERMENII ŞI PREGĂTIREA EVALUĂRII

Prin intervenţie se înţelege aici un pachet de măsuri pentru un sector sau o intersecţie: de exemplu, o traversare pietonală amenajată împreună cu iluminat şi măsuri de reducere a vitezei. Zona analizată trebuie delimitată astfel încât accidentele, traficul şi costul să se refere la acelaşi amplasament. Tabelul 1 explică termenii folosiţi în continuare.

Tabelul 1. Termenii utilizaţi în evaluare

Termen	Semnificație	Exemplu
Criteriu	Aspectul pe care administrația dorește să îl examineze.	Gravitatea problemei de siguranță.
Indicator	Mărimea măsurată sau calculată pentru acel criteriu.	Numărul persoanelor decedate și rănite grav într-o perioadă.
Prag	Valoarea care separă două niveluri de evaluare.	Limita de cost dintre punctajele 3 și 4.
Punctaj	Valoarea atribuită după compararea indicatorului cu regulile grilei.	4 puncte din maximum 5.
Pondere	Coeficientul care stabilește contribuția criteriului la calcul.	25% pentru gravitatea problemei.
Indice și rang	Indicele rezumă mai multe punctaje; rangul arată poziția în listă.	Indice total de 76 din 100; rangul 1 în grupul comparat.

Înaintea punctării se stabilește ce se compară. Sunt preferabile grupuri de intervenţii cu funcție și scară apropiate, în contexte rutiere comparabile. Un pasaj major și o lucrare punctuală de semnalizare nu ar trebui puse automat în aceeași listă. Aceeași perioadă de accidente, definiții consecvente ale victimelor și costuri exprimate pe aceeași bază sunt condiții pentru o comparație utilă.

Se recomandă o fișă pentru fiecare intervenție, care să cuprindă amplasamentul, problema identificată, măsura propusă, indicatorii disponibili, sursa și data lor, costul estimat și starea documentației. Lipsurile se marchează explicit. Un câmp necompletat nu înseamnă absența accidentelor, a pietonilor sau a costurilor.

3. ALEGEREA CRITERIILOR ŞI A PARAMETRILOR

3.1. O grilă orientativă cu şase criterii

Tabelul 2 propune o structură de pornire. C1–C3 răspund problemei cu privire la amplitudinea necesității de intervenție, iar C4–C6 arată dacă soluția este potrivită și condițiile în care poate fi realizată. Numărul criteriilor poate fi modificat, cu păstrarea explicației pentru fiecare alegere și cu evitarea numărării repetate a aceleiași probleme.

Tabelul 2. Criterii orientative pentru administrațiile rutiere

Criteriu	Întrebarea de evaluare	Indicatori posibili
C1 Gravitatea problemei	Cât de severe sunt consecințele accidentelor?	Persoane decedate și rănite grav; un indice de severitate, dacă este justificat.
C2 Riscul în raport cu traficul	Este riscul ridicat și după luarea în calcul a volumului de trafic?	Rata accidentelor cu victime, comparată cu sectoare sau intersecții similare.
C3 Utilizatori vulnerabili	Există pietoni, bicicliști sau alți utilizatori vulnerabili expuși?	Victime, fluxuri de utilizatori, școli, stații și nevoi de traversare.
C4 Potrivirea soluției	Măsura răspunde problemei și există dovezi că poate avea efect?	Tipurile de accidente vizate, observații în teren și studii aplicabile.
C5 Costul intervenției	Ce resurse sunt necesare pentru realizare?	Cost estimat pe o bază financiară comună; costuri de exploatare dacă sunt incluse.
C6 Pregătirea proiectului	Cât de aproape este intervenția de execuție?	Documentații, avize, teren disponibil și condiții de contractare.

Fiecare indicator se transformă într-un punctaj pe aceeași scală, de exemplu 0–5. Un punctaj mai mare trebuie să aibă mereu un sens favorabil prioritizării. Astfel, o nevoie mai mare poate primi mai multe puncte la C1–C3, o soluție mai bine susținută la C4 și un proiect mai pregătit la C6. Dacă se urmărește încadrarea în resurse limitate, un cost mai mic poate primi mai multe puncte la C5. Această alegere trebuie declarată, deoarece favorizează intervențiile ieftine.

Pragurile se stabilesc după examinarea datelor rețelei. Dacă aproape toate intervențiile primesc același punctaj la un criteriu, acel criteriu nu le mai diferențiază, chiar dacă are o pondere mare. La C1 și C2 trebuie examinată suprapunerea: ambele pot utiliza accidentele, dar primul urmărește consecințele, iar al doilea ține seama și de trafic. Lipsa accidentelor înregistrate nu exclude o problemă preventivă identificată prin inspecție.

La C4 se precizează ce înseamnă un punctaj acceptabil. De exemplu, 0 poate indica o soluție insuficient justificată, 3 o potrivire susținută rezonabil și 5 o potrivire bine documentată. Nivelurile intermediare trebuie descrise în grila administrației. Studiile din alte țări se interpretează în raport cu tipul drumului, viteza și condițiile locale; existența lor nu garantează același efect pe orice amplasament.

Pregătirea proiectului, respectiv maturitatea acestuia, poate fi descrisă prin cinci trepte: 1 – idee sau temă; 2 – documentație în elaborare; 3 – documentație tehnico-economică aprobată; 4 – proiect tehnic aprobat, cu unele condiții de

implementare rămase; 5 – intervenție care poate fi comandată, fără condiții esențiale nerezolvate. Treptele se adaptează procedurilor administrației.

3.2. Configurarea de către administrație

Parametrii sunt valorile și regulile cu care funcționează metoda. Tabelul 3 arată ce trebuie stabilit înainte de evaluare. Configurarea și modificările ulterioare se consemnează într-o notă metodologică, astfel încât aceeași intervenție să poată fi evaluată consecvent de persoane diferite.

Tabelul 3. Deciziile necesare înaintea aplicării

Element	Ce stabilește administrația
Obiectiv și grup de comparație	Tipurile de intervenții, rețeaua vizată, perioada programului și situațiile tratate separat.
Indicatori și date	Definiția fiecărui indicator, unitatea, perioada, sursa și verificările informațiilor.
Scală și praguri	Regula de atribuire a punctajelor și modul de tratare a valorilor aflate exact la limită.
Ponderi	Contribuția fiecărui criteriu, justificată prin obiective și discutată cu responsabilii tehnici și financiari.
Bază financiară	Moneda, anul prețurilor, includerea sau excluderea TVA și cheltuielile luate în calcul.
Resurse și programare	Bugetul, durata lucrărilor, capacitatea de pregătire și eventualele dependențe dintre proiecte.
Reguli de decizie	Condițiile minime, clasele de prioritate și departajarea punctajelor egale.
Date lipsă și revizuire	Cine completează informația, ce decizii rămân provizorii și când se actualizează grila.

Verificarea efectului ponderilor asupra rezultatului face parte din analiza unui indice compus. Ponderile se stabilesc împreună cu scala. O pondere de 25% arată contribuția unei variații de punctaj în grila aleasă; nu reprezintă o importanță universală a criteriului. Pentru exemplul din lucrare se folosesc 25%, 15%, 15%, 25%, 10% și 10% pentru C1–C6. Totalul este 100%. O administrație poate adopta alte ponderi, după justificare și verificarea efectului asupra ordinii intervențiilor.

3.3. Stabilirea valorilor financiare

Costurile trebuie raportate la aceeași unitate de intervenție și la același nivel al prețurilor. Administrația precizează dacă folosește numai investiția inițială sau și exploatarea și întreținerea pe o perioadă comună. Prețurile unitare

provin din surse documentate, iar estimările se actualizează înaintea angajării fondurilor. Un proiect mai ieftin nu este automat mai eficient: eficiența cere și estimarea efectului obținut.

Ca simplu exemplu, costuri sub 0,25 milioane lei pot primi 5 puncte, cele de la 0,25 la sub 0,50 milioane 4 puncte, de la 0,50 la sub 1 milion 3 puncte, de la 1 la sub 2,5 milioane 2 puncte, iar de la 2,5 la 5 milioane inclusiv 1 punct. Intervențiile de peste 5 milioane pot fi analizate într-un grup distinct. Aceste limite sunt ipotetice; administrația le înlocuiește cu intervale potrivite portofoliului și resurselor proprii.

Costul social exprimă în bani consecințele accidentelor asupra persoanelor și societății; nu este o cheltuială plătită integral de administrația rutieră. Dacă administrația rutieră folosește asemenea valori pentru ponderarea severității, va documenta sursa, anul și unitatea de raportare. Un cost raportat la accident nu poate fi utilizat automat ca valoare pe persoană. Raportul dintre valorile adoptate poate servi drept convenție de severitate, fără a reprezenta numărul de vieți salvate sau a transforma clasamentul într-o analiză cost–beneficiu.

4. CUM SE STABILEȘTE ORDINEA INTERVENȚIILOR

4.1. Varianta cu punctaj total

Prima opțiune însumează contribuțiile celor șase criterii. Fiecare punctaj se înmulțește cu ponderea sa. Dacă punctajele sunt între 0 și 5, iar ponderile sunt exprimate în procente și însumează 100, suma produselor se împarte la 5. Se obține un indice între 0 și 100:

$$\text{Indice total} = (\Sigma\ \text{pondere} \times \text{punctaj})/5 \quad (1)$$

Pentru o intervenție cu punctajele 4, 5, 3, 4, 2 și 4, folosind ponderile din secțiunea 3.2, calculul este (25×4 + 15×5 + 15×3 + 25×4 + 10×2 + 10×4)/5 = 76. Valoarea 76 ajută la compararea intervențiilor. Ea nu înseamnă 76% reducere a accidentelor sau o probabilitate de succes de 76%.

Intervențiile se ordonează descrescător după indice. Avantajul este simplitatea. Limita este că un punctaj mic poate fi compensat de punctaje mari la alte criterii: de exemplu, costul redus și pregătirea bună pot ridica o soluție a cărei justificare tehnică este insuficientă. Dacă administrația dorește să evite această situație, introduce condiții minime sau utilizează varianta următoare.

4.2. Varianta cu clase de necesitate

A doua opțiune separă două întrebări. Mai întâi se stabilește cât de necesară este intervenția, folosind C1–C3. Apoi se compară potrivirea soluției și

condițiile de realizare, folosind C4–C6. Pentru fiecare grup se calculează procentul din punctajul maxim posibil al acelui grup, păstrând ponderile.

În exemplul anterior, contribuția C1–C3 este 25×4 + 15×5 + 15×3 = 220. Maximul grupului este 5×(25+15+15) = 275. Indicele necesității este 220/275×100 = 80. Pentru C4–C6, contribuția este 160 dintr-un maxim de 225, deci indicele privind soluția și implementarea este aproximativ 71,1. Cei doi indici se interpretează împreună, fără a confunda nevoia cu ușurința executării.

Administrația poate defini, de exemplu, necesitate ridicată de la 60 din 100, moderată de la 40 la sub 60 și redusă sub 40. În fiecare clasă, intervențiile se ordonează după indicele C4–C6. La egalitate se poate utiliza necesitatea, apoi un criteriu de departajare declarat. O limită minimă pentru C4, de exemplu 2 din 5, poate impune reanalizarea soluției înaintea finanțării.

Limitele 60, 40 și 2 sunt exemple de configurare, nu valori recomandate pentru orice rețea. Trecerea de la o clasă la alta poate schimba mult ordinea, chiar la o diferență mică de punctaj. De aceea se verifică separat intervențiile apropiate de aceste limite. Varianta pe clase este utilă dacă administrația dorește ca o intervenție cu necesitate ridicată să fie analizată înaintea uneia cu necesitate moderată.

4.3. Exemplu de aplicare

Tabelul 4 utilizează patru pachete ipotetice. Punctajele sunt date numai pentru explicarea calculului, în ordinea C1–C6. Costurile fără TVA sunt 1,070 milioane lei pentru A, 0,335 pentru B, 0,228 pentru C și 0,220 pentru D; acestea conduc la punctajele C5 după intervalele exemplificative din secțiunea 3.3. Se presupune că administrația a verificat comparabilitatea pachetelor și justificarea punctajelor.

Tabelul 4. Punctajele și rezultatele celor patru pachete ipotetice

Pachet	C1–C6	Indice 0–100	Nevoie 0–100	Soluție și realizare 0–100	Rezultat prin clase
A Calmare a traficului	4 / 5 / 3 / 4 / 2 / 4	76	80	71,1	Necesitate ridicată; locul 2.
B Ghidaj optic	5 / 2 / 4 / 0 / 4 / 5	61	78,2	40	Soluție de reanalizat: C4 = 0.
C Semnalizare de avertizare	4 / 4 / 0 / 5 / 5 / 4	75	58,2	95,6	Necesitate moderată; locul 3.
D Pachet combinat	4 / 2 / 3 / 5 / 5 / 2	74	63,6	86,7	Necesitate ridicată; locul 1.

Prin indicele total, ordinea este A, C, D, B. Prin clase, D și A intră în grupa cu necesitate ridicată, iar D este primul deoarece are condiții mai favorabile privind soluția și realizarea. C rămâne după acestea, în grupa moderată. La B, problema de siguranță este importantă, însă soluția propusă necesită reanalizare; amplasamentul nu este considerat lipsit de prioritate. Exemplul arată efectul regulii alese, fără a demonstra superioritatea generală a unei variante.

5. CUM SE PROCEDEAZĂ CÂND LIPSESC DATE

Când un indicator nu este cunoscut, atribuirea punctajului zero ar confunda lipsa informației cu o situație favorabilă sau nefavorabilă deja constatată. Administrația rutieră poate solicita completarea datelor și poate păstra evaluarea provizorie până atunci. Pentru o analiză preliminară poate fi utilizat și un punctaj temporar, justificat și marcat, fără a-l prezenta drept valoare măsurată.

Un test simplu constă în refacerea calculului cu cea mai mică și cea mai mare valoare plauzibilă a punctajului necunoscut. Celelalte informații rămân neschimbate. Se urmărește dacă intervenția trece înaintea sau în urma unui proiect aflat la limita finanțării. Această verificare este numită analiză de sensibilitate: arată cât de mult depinde decizia de o presupunere.

Tabelul 5 prezintă un exemplu separat de cele patru pachete anterioare. La intervenția E se cunosc C1 = 3, C2 = 5, C4 = 3, C5 = 1 și C6 = 5, dar lipsește C3. Existența unor generatori de trafic pietonal justifică deja minimum 2 puncte; după completarea informației, punctajul ar putea ajunge la 5. Cu ponderile din secțiunea 3.2, criteriile cunoscute aduc 57 de puncte la indicele total, iar fiecare punct acordat la C3 adaugă încă 3. Pentru comparație se consideră o altă intervenție cu indicele fix de 68.

Tabelul 5. Cum poate schimba informația lipsă ordinea finanțării

Situația analizată	Calculul indicelui total	Ce înseamnă pentru decizie
C3 primește minimum 2 puncte.	57 + 3×2 = 63	E se află în urma intervenției cu indicele 68.
Se folosește provizoriu C3 = 3.	57 + 3×3 = 66	E rămâne în urmă, dar poziția se bazează pe o presupunere.
Datele suplimentare ar justifica C3 = 5.	57 + 3×5 = 72	E ar trece înaintea intervenției cu indicele 68.

Concluzia tabelului este că informația despre utilizatorii vulnerabili poate schimba ordinea celor două intervenții. Înaintea alegerii între ele se recomandă

completarea datelor, nu adoptarea automată a punctajului provizoriu. Valorile 63 și 72 arată două rezultate posibile ale calculului; nu sunt poziții în clasament și nu reprezintă procente de reducere a accidentelor.

Dacă schimbarea punctajului necunoscut nu modifică decizia concretă, administrația poate continua analiza preliminară, consemnând incertitudinea. Dacă sunt mai multe informații lipsă, modificarea lor pe rând nu arată toate efectele posibile; pentru intervențiile apropiate de limita finanțării se verifică și combinații plauzibile. Minimul și maximul trebuie să respecte ceea ce se cunoaște deja despre amplasament.

6. UTILIZAREA CLASAMENTULUI ÎN PROGRAMUL DE INVESTIȚII

Clasamentul reprezintă ordinea examinării intervențiilor; programul de investiții este lista care poate fi realizată efectiv. Pentru fiecare intervenție se verifică încadrarea în buget, pregătirea documentației, condițiile de execuție și dependențele față de alte lucrări. Un proiect poate avea prioritate mare, dar poate depăși resursele anului curent. O intervenție aflată mai jos poate începea în bugetul rămas, fără ca nevoia ei să fi devenit mai mare.

O regulă simplă este parcurgerea listei în ordinea stabilită și includerea proiectelor care încap în buget. Dacă un proiect este omis din motive financiare sau tehnice, motivul se consemnează, iar necesitatea lui rămâne vizibilă. O asemenea regulă nu garantează beneficiul total maxim; pentru acesta sunt necesare estimări ale efectelor și o analiză de selecție mai detaliată.

Înaintea aprobării se recomandă verificarea punctajelor de către o a doua persoană sau echipă și examinarea câtorva variante de ponderare. Dacă o schimbare mică a ponderilor mută o intervenție de la începutul la sfârșitul listei, decizia trebuie explicată prin criteriile care au produs schimbarea. Acest control este mai util decât prezentarea unui indice cu multe zecimale.

Înainte de aplicare, grila se testează pe un grup de intervenții pentru care există informații suficiente, pentru a verifica dacă punctajele reflectă diferențele dintre acestea. Ulterior, grila se actualizează în funcție de evoluția rețelei, a obiectivelor administrației și a costurilor. Orice modificare trebuie justificată și aplicată unitar tuturor intervențiilor comparate. Monitorizarea rezultatelor după execuție permite îmbunătățirea treptată a criteriilor de evaluare și a alegerii soluțiilor.

Exemple de intervenții realizate în România sunt prezentate de Pavăl și Bricicaru [7], care analizează soluții-pilot precum parapetele cu rulouri, atenuatorii de impact, sectoarele 2+1 și iluminarea sectoarelor periculoase. Varietatea acestor soluții ilustrează necesitatea unei evaluări care să țină seama atât de problema de siguranță, cât și de condițiile de implementare. Experiența descrisă poate sprijini identificarea măsurilor potrivite, însă aplicarea lor pe alte

amplasamente și stabilirea punctajelor în grila de prioritizare necesită o analiză a condițiilor locale.

7. CONCLUZII

Cadrul propus organizează prioritizarea ca o succesiune de decizii verificabile: identificarea nevoii, justificarea soluției și programarea în raport cu resursele. Contribuția metodologică este separarea acestor decizii, astfel încât avantajele financiare sau de pregătire să nu ascundă o justificare tehnică insuficientă. Administrațiile rutiere îl pot utiliza după definirea indicatorilor, pragurilor, ponderilor și bazei financiare, într-un grup de intervenții comparabile. Exemplul arată că regula de agregare exprimă o opțiune de politică investițională. Punctajul total permite compensarea între criterii, în timp ce ordonarea pe clase acordă întâietate necesității.

Aplicarea instituțională cere stabilirea regulilor înaintea punctării, verificarea de către evaluatori diferiți și păstrarea versiunii grilei folosite la aprobare. Modificările motivate de date sau obiective noi trebuie aplicate tuturor intervențiilor din aceeași comparație. În acest mod, clasamentul poate fi urmărit până la sursele și alegerile care l-au produs, iar o abatere de la ordinea sa poate fi explicată prin buget, dependențe tehnice sau alte constrângeri documentate.

Valoarea practică a metodei depinde și de delimitarea rolului financiar. Punctarea favorabilă a unui cost redus exprimă o preferință de programare; nu demonstrează eficiența economică sau reducerea maximă a accidentelor. Selecția unui portofoliu pentru un beneficiu total urmărit ar necesita estimarea efectelor, costuri pe o perioadă comună și tratarea dependențelor dintre proiecte. Clasamentul rămâne un instrument de sprijin, iar motivarea programului de investiții trebuie păstrată distinct.

Validarea ulterioară ar trebui să urmărească acordul dintre evaluatori, stabilitatea grupului finanțabil și modificările produse de actualizarea datelor. O etapă separată trebuie să examineze efectele intervențiilor executate, folosind perioade și condiții de comparație adecvate. Exemplele ipotetice verifică logica procedurii, fără a valida pragurile sau eficacitatea proiectelor reale. Legarea evaluării inițiale de monitorizarea după implementare poate transforma ghidul într-o procedură care se îmbunătățește pe baza experienței administrației.

BIBLIOGRAFIE

[1]. PARLAMENTUL EUROPEAN ȘI CONSILIUL UNIUNII EUROPENE. *Directiva (UE) 2019/1936 de modificare a Directivei 2008/96/CE privind gestionarea siguranței infrastructurii rutiere.* JO L 305, pp. 1–16. **2019.** https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1936/oj

[2]. NTUA, UNIVERSITY OF ZAGREB, FRED ENGINEERING. *Network Wide Road Safety Assessment: Methodology and Implementation Handbook.* European Commission, DG MOVE, Luxembourg. **2023.** https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-11/NWA-Handbook8.pdf

[3]. J. S. DODGSON, M. SPACKMAN, A. PEARMAN, L. D. PHILLIPS. *Multi-criteria analysis: a manual.* Department for Communities and Local Government, London. **2009.** ISBN 978-1-4098-1023-0

[4]. G. FANCELLO, M. CARTA, P. FADDA. *Road intersections ranking for road safety improvement: Comparative analysis of multi-criteria decision making methods.* Transport Policy, **80**, pp. **188–196**. **2019.** doi:10.1016/j.tranpol.2018.04.007

[5]. B. TURNER, S. JOB, S. MITRA. *Guide for Road Safety Interventions: Evidence of What Works and What Does Not Work.* World Bank, Washington, DC. **2021.** http://hdl.handle.net/10986/35176

[6]. OECD, EUROPEAN UNION, EC-JRC. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide.* OECD Publishing, Paris. **2008.** doi:10.1787/9789264043466-en

[7]. F.-F. PAVĂL, I. BRICICARU. *Improving Road Safety on the National Road Network in Romania through Pilot Solutions.* Journal of Engineering Science, **30**(2), pp. **59–71**, **2023**. doi:10.52326/jes.utm.2023.30(2).05.

EVALUAREA POTENȚIALULUI DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A SIGURANȚEI RUTIERE PE DRUMURILE NAȚIONALE DN1–DN7

Petcu Mihai Dragoş, asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: mihai-dragos.petcu@phd.utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro

Rezumat

Siguranța rutieră este rezultatul interacțiunii dintre utilizator, vehicul, infrastructură și condițiile de exploatare, iar identificarea sectoarelor asupra cărora intervențiile pot produce îmbunătățiri semnificative reprezintă o componentă importantă a managementului proactiv al infrastructurii rutiere. Lucrarea prezintă aplicarea indicatorului de evaluare a Potențialului de Îmbunătățire (Potential for Improvement – PI) aplicată drumurilor naționale DN1–DN7 din România. Analiza utilizează date privind accidentele rutiere înregistrate în perioada 2021–2024 și informații referitoare la caracteristicile și starea infrastructurii rutiere. Accidentele sunt analizate în raport cu geometria traseului, declivitatea și condițiile de aderență, iar indicatorul PI este utilizat pentru compararea performanței pozițiilor kilometrice cu nivelul de referință al rețelei analizate. Rezultatele evidențiază o distribuție neuniformă a valorilor PI și permit identificarea pozițiilor kilometrice cu potențial ridicat de îmbunătățire. Analiza realizată oferă un instrument cantitativ pentru identificarea și prioritizarea sectoarelor asupra cărora pot fi orientate intervențiile de siguranță rutieră.

Cuvinte cheie: siguranță rutieră; infrastructură rutieră; accidente rutiere; Potențial de Îmbunătățire; PI; prioritizarea intervențiilor

Abstract

Road safety results from the interaction between road users, vehicles, infrastructure, and operating conditions, while identifying road sections where interventions may lead to significant safety improvements represents an important component of proactive road infrastructure management. This paper presents an application of the indicator for assessing the Potential for Improvement (PI) applied to Romanian national roads DN1–DN7. The analysis is based on road crash data recorded between 2021 and 2024 and on information regarding road infrastructure characteristics and condition. Crashes are analyzed in relation to road geometry,

longitudinal gradient, and pavement surface conditions, while the PI indicator is used to compare the performance of individual kilometer locations against the reference level of the analyzed network. The results reveal a non-uniform distribution of PI values and enable the identification of kilometer locations with a high potential for improvement. The analysis provides a quantitative tool for identifying and prioritizing road sections where road safety interventions should be considered.

Keywords: road safety; road infrastructure; road crashes; Potential for Improvement; PI; intervention prioritization

1. INTRODUCERE

Siguranța rutieră reprezintă una dintre provocările majore ale sistemelor moderne de transport, cu implicații directe asupra sănătății publice, mobilității și dezvoltării durabile. La nivel mondial, accidentele rutiere generează anual aproximativ 1,19 milioane de decese, iar reducerea numărului de persoane decedate și rănite grav constituie unul dintre obiectivele prioritare stabilite pentru perioada 2021–2030 [1], [2]. România continuă să se situeze printre statele Uniunii Europene cu un nivel ridicat al mortalității rutiere, ceea ce evidențiază necesitatea consolidării măsurilor de prevenire și a managementului siguranței infrastructurii rutiere [3], [4].

Abordările actuale privind siguranța rutieră urmăresc trecerea de la intervențiile predominant reactive, bazate pe analiza accidentelor deja produse, către un management proactiv, orientat spre identificarea și tratarea factorilor care pot contribui la producerea sau agravarea consecințelor accidentelor [5], [6]. Această orientare este în concordanță cu principiile Sistemului Sigur (Safe System), conform cărora responsabilitatea pentru siguranța circulației este distribuită între utilizatorii drumului, vehicule, infrastructură și managementul sistemului de transport [7], [8]. În cadrul acestei abordări, infrastructura rutieră are un rol important, prin caracteristicile geometrice ale traseului, condițiile de vizibilitate, starea suprafeței părții carosabile și modul în care acestea influențează condițiile de circulație. Evaluarea siguranței infrastructurii rutiere presupune, prin urmare, analiza integrată a acestor caracteristici și corelarea lor cu distribuția accidentelor rutiere [9], [10], [11].

Analiza accidentelor nu poate fi însă limitată la identificarea sectoarelor pe care s-a înregistrat un număr ridicat de evenimente. Frecvența accidentelor poate prezenta variații importante în timp și spațiu, iar interpretarea rezultatelor trebuie

realizată ținând seama de particularitățile infrastructurii rutiere și de condițiile de exploatare [12], [13]. Din această perspectivă, utilizarea indicatorilor de performanță și a abordărilor comparative la nivel de rețea poate contribui la identificarea sectoarelor care necesită o analiză prioritară [14], [15].

Analizele efectuate anterior pentru drumurile naționale DN1–DN7, pe baza accidentelor înregistrate în perioada 2021–2024, au evidențiat diferențe între drumurile analizate în ceea ce privește distribuția accidentelor în raport cu geometria traseului, declivitatea și starea suprafeței părții carosabile [16]. Aceste rezultate constituie punctul de plecare pentru o evaluare comparativă la nivelul rețelei, orientată către identificarea pozițiilor kilometrice pentru care există un potențial mai ridicat de îmbunătățire a siguranței rutiere.

În acest scop, în cadrul cercetării a fost utilizat indicatorul Potential for Improvement (PI), prin raportarea performanței de siguranță corespunzătoare pozițiilor kilometrice analizate la un nivel de referință comun. Aplicarea indicatorului permite evidențierea diferențelor de performanță în cadrul rețelei și identificarea pozițiilor care pot fi analizate cu prioritate, în concordanță cu principiile evaluării proactive și sistemice a siguranței rutiere [17], [18], [19].

Obiectivul lucrării îl reprezintă evaluarea Potențialului de Îmbunătățire a siguranței rutiere pe drumurile naționale DN1–DN7, prin analiza datelor privind accidentele rutiere și a caracteristicilor infrastructurii, calculul indicatorului PI și identificarea pozițiilor kilometrice cu valori ridicate ale acestuia. Rezultatele urmăresc să ofere un suport cantitativ pentru identificarea sectoarelor care necesită investigații detaliate și pentru fundamentarea procesului de prioritizare a intervențiilor de siguranță rutieră.

2. BAZA DE DATE ȘI MODUL DE ANALIZĂ

Analiza a fost realizată pentru drumurile naționale DN1–DN7, utilizând două categorii principale de date: informații privind accidentele rutiere și date referitoare la caracteristicile și starea infrastructurii rutiere. Datele privind accidentele, furnizate de Inspectoratul General al Poliției Române – Direcția Rutieră, acoperă perioada 2021–2024, iar informațiile privind starea infrastructurii, furnizate de Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică (CESTRIN), corespund anului 2023. Rețeaua de drumuri naționale analizată este prezentată în Figura 1 [20].

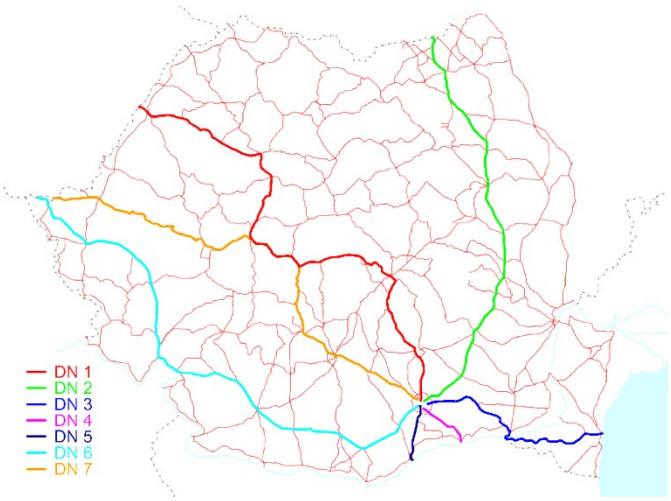


Figura 1. Rețeaua drumurilor naționale DN1–DN7 analizată [20]

Rețeaua analizată cuprinde drumuri naționale cu trasee și caracteristici geometrice diferite, ceea ce permite evaluarea indicatorului PI în condiții variate de infrastructură. Considerarea unitară a drumurilor DN1–DN7 asigură cadrul necesar pentru raportarea pozițiilor kilometrice la un nivel de referință comun și pentru compararea performanței de siguranță în cadrul rețelei analizate.

Baza de date privind accidentele cuprinde informații referitoare la poziția kilometrică, caracteristica geometrică a drumului, declivitate, starea suprafeței părții carosabile, condițiile meteorologice și cauza principală a producerii accidentului. Pentru fiecare drum național, datele au fost prelucrate și centralizate la nivelul pozițiilor kilometrice, utilizând o clasificare unitară care permite compararea rezultatelor între drumurile analizate [16].

Datele privind infrastructura rutieră au inclus deflexiunea caracteristică, indicatorii de rugozitate GN și HS, indicele de planeitate IRI și calificativul stării de degradare a îmbrăcăminții rutiere. Informațiile au fost corelate spațial cu pozițiile kilometrice ale accidentelor, în scopul analizării distribuției acestora în raport cu caracteristicile și starea infrastructurii. Corelarea are un caracter descriptiv și nu presupune existența unei relații directe de cauzalitate între o anumită caracteristică a drumului și producerea accidentelor.

Într-o primă etapă, a fost analizată distribuția accidentelor în raport cu principalele caracteristici ale infrastructurii rutiere și condițiile de circulație. Rezultatele au fost exprimate ca procent din numărul total de accidente înregistrate pe fiecare drum, fiind urmărite în principal geometria traseului în plan, declivitatea și starea suprafeței părții carosabile [16]. Această analiză constituie baza pentru evaluarea comparativă ulterioară a performanței de siguranță la nivelul pozițiilor kilometrice.

Pentru această evaluare a fost utilizat indicatorul Potential for Improvement (PI). Conceptul PI este utilizat în managementul siguranței rutiere pentru evidențierea diferențelor dintre performanța observată și un nivel de referință, oferind suport pentru identificarea sectoarelor care necesită o analiză prioritară [5], [17], [19].

În cadrul cercetării, nivelul de referință a fost stabilit pe baza performanței globale a rețelei DN1–DN7, fiind considerate pozițiile kilometrice pentru care au fost disponibile date complete și comparabile. Utilizarea unei referințe comune permite compararea unitară a pozițiilor kilometrice și evidențierea abaterilor față de performanța de ansamblu a rețelei analizate.

Pentru fiecare poziție kilometrică „i”, indicatorul PI a fost determinat cu relația (1), utilizată în cercetarea doctorală [20]:

$$PI_i = I_i - I_{ref} \quad (1)$$

unde: PI_i = Potențialul de Îmbunătățire corespunzător poziției kilometrice „i”;

I_i – valoarea indicatorului de siguranță corespunzător poziției kilometrice „i”;

I_{ref} – valoarea de referință stabilită pentru rețeaua analizată.

Valorile PI > 0 indică o performanță de siguranță inferioară nivelului de referință și, implicit, existența unui potențial de îmbunătățire, în timp ce valorile PI < 0 caracterizează pozițiile cu o performanță mai bună decât referința. Această modalitate de evaluare permite trecerea de la analiza exclusivă a frecvenței accidentelor la compararea performanței pozițiilor kilometrice în cadrul aceleiași rețele, în concordanță cu principiile utilizării indicatorilor de performanță în managementul siguranței rutiere [14], [15], [19].

În etapa următoare, valorile PI au fost analizate atât pentru fiecare drum național, cât și în raport cu starea suprafeței părții carosabile: uscată sau umedă și configurația geometrică a traseului. Scopul acestei analize a fost identificarea pozițiilor kilometrice cu valori ridicate ale PI și evidențierea sectoarelor care pot necesita investigații suplimentare în vederea prioritizării intervențiilor.

Indicatorul PI este utilizat, în acest context, ca instrument de evaluare comparativă și de screening la nivel de rețea. O valoare ridicată a PI nu conduce, în mod automat, la stabilirea unei anumite măsuri de intervenție, aceasta necesitând analiza suplimentară a caracteristicilor locale ale infrastructurii, a condițiilor de exploatare, precum și a fezabilității măsurilor propuse [17], [18].

3. ANALIZA ACCIDENTELOR ÎN RAPORT CU CARACTERISTICILE INFRASTRUCTURII RUTIERE

Analiza distribuției accidentelor rutiere pe drumurile naționale DN1–DN7 a urmărit identificarea principalelor particularități asociate caracteristicilor infrastructurii și condițiilor de circulație. Rezultatele au fost exprimate ca procent din numărul total de accidente înregistrate în perioada 2021–2024, utilizând aceeași clasificare pentru toate drumurile analizate [16]. Analiza are un caracter descriptiv și constituie baza pentru evaluarea ulterioară a Potențialului de Îmbunătățire.

Distribuția accidentelor în funcție de caracteristica geometrică a traseului pentru DN1–DN7 este prezentată comparativ în Figura 2.

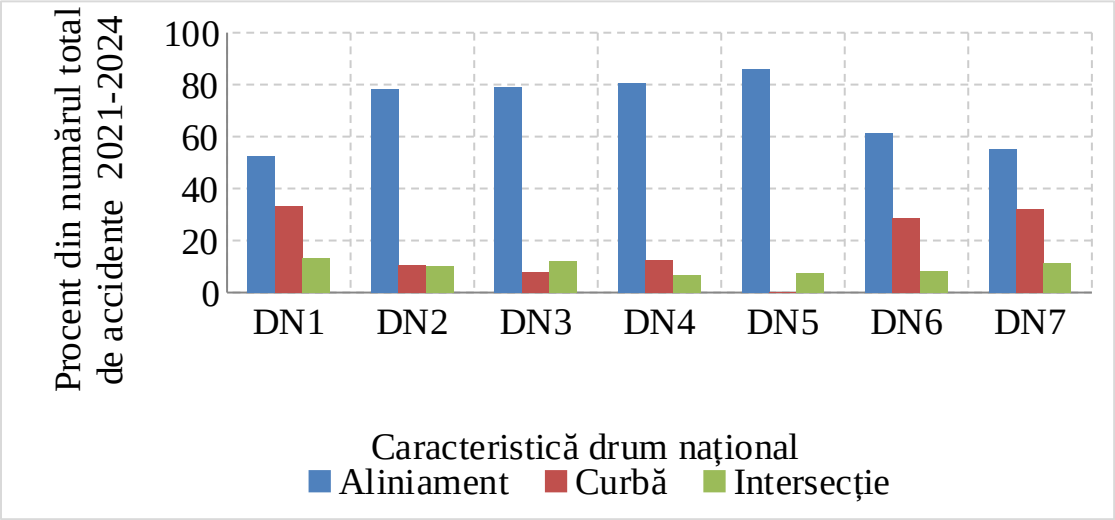


Figura 2. Distribuția accidentelor rutiere în funcție de caracteristica geometrică a drumului național, DN1–DN7, 2021–2024

În raport cu geometria traseului în plan, accidentele sunt înregistrate predominant pe sectoarele în aliniament pentru toate drumurile analizate. Ponderea acestora variază de la 52,6% pe DN1 și 55,2% pe DN7 până la 86,1% pe DN5. Curbele au o pondere mai importantă pe DN1, DN6 și DN7, unde reprezintă 33,1%, 28,6% și, respectiv, 32,3% din totalul accidentelor.

Accidentele înregistrate în intersecții prezintă, de asemenea, ponderi diferite între drumurile analizate, cele mai ridicate valori fiind observate pe DN1, DN3 și DN7, reprezentând aproximativ 12–14% din totalul accidentelor.

Figura 2 evidențiază diferențe între drumurile analizate, dar și predominanța accidentelor înregistrate pe sectoarele în aliniament. Ponderea mai ridicată a accidentelor în curbe pe DN1, DN6 și DN7 trebuie analizată în raport cu

particularitățile geometrice ale acestor trasee. Distribuțiile prezentate nu permit însă aprecierea directă a riscului asociat fiecărei configurații, deoarece nu includ expunerea corespunzătoare lungimii diferitelor tipuri de sectoare și volumelor de trafic.

În ceea ce privește declivitatea drumului, accidentele sunt înregistrate predominant pe sectoarele cu declivitate redusă (≤1%). Ponderea acestora variază între 84,9% pe DN7 și 99,1% pe DN3. Pe DN1, DN6 și DN7 sunt înregistrate și accidente pe sectoarele în rampă sau pantă, însă ponderile acestora sunt considerabil mai reduse. Pe DN7, de exemplu, pantele reprezintă 7,6%, iar rampele 7,4% din accidentele înregistrate.

Distribuția comparativă pentru condițiile de suprafață uscată și umedă este prezentată în Figura 3.

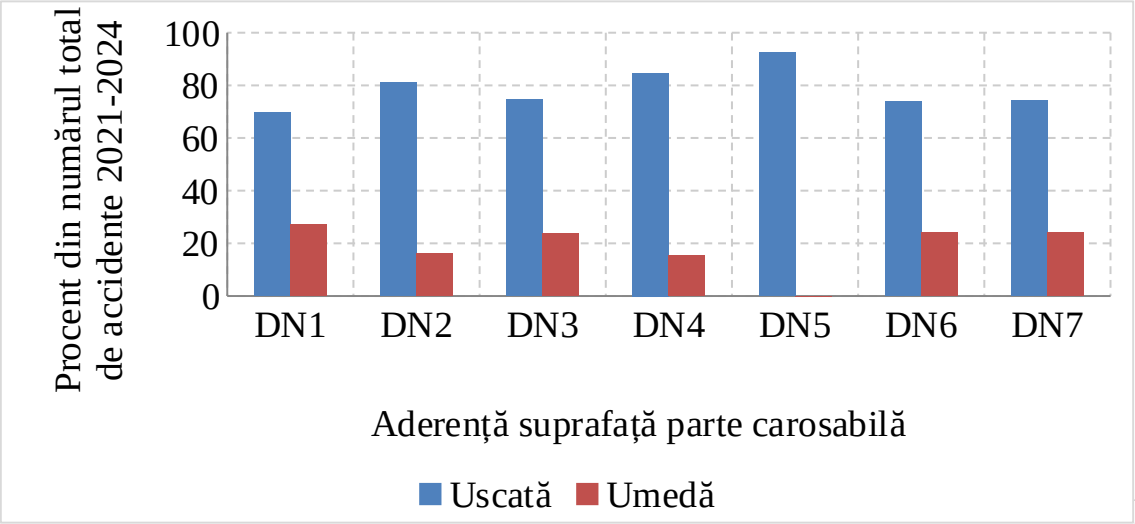


Figura 3. Distribuția accidentelor rutiere în funcție de starea suprafeței părții carosabile pe DN1–DN7, 2021–2024. Prelucrare proprie pe baza datelor din [20]

În raport cu starea suprafeței părții carosabile, accidentele sunt înregistrate preponderent în condiții de suprafață uscată. Acestea reprezintă 69,8% pe DN1, 81,0% pe DN2, 74,6% pe DN3 și 84,7% pe DN4, în timp ce pentru suprafața umedă ponderile corespunzătoare sunt 27,1%, 16,2%, 23,7% și, respectiv, 15,3%. Pe DN6 și DN7, accidentele produse pe suprafață umedă reprezintă 24,1%, respectiv 24,2% din total.

După cum se observă în Figura 3, accidentele înregistrate pe suprafață carosabilă uscată au o pondere majoritară pe toate drumurile analizate, în timp ce accidentele produse pe suprafață umedă prezintă ponderi mai reduse, cu variații de la un drum la altul. Aceste diferențe trebuie interpretate ținând seama de

frecvența condițiilor de suprafață uscată și umedă, precum și de expunerea la trafic, întrucât distribuția accidentelor nu permite, prin ea însăși, evaluarea comparativă a riscului asociat celor două condiții de rulare.

În ansamblu, rezultatele arată că accidentele sunt mai frecvent înregistrate pe aliniamente, pe sectoarele cu declivitate redusă și în condiții de suprafață uscată. Acest rezultat nu trebuie interpretat ca o demonstrație a unui risc intrinsec mai ridicat al acestor condiții, deoarece distribuția accidentelor este influențată inclusiv de ponderea și expunerea asociate fiecărei categorii analizate. În schimb, diferențele constatate între DN1–DN7 evidențiază necesitatea unei evaluări comparative la nivelul pozițiilor kilometrice, care să depășească simpla analiză a ponderii accidentelor.

În acest scop, în etapa următoare este utilizat indicatorul Potential for Improvement (PI), prin care performanța pozițiilor kilometrice este raportată la nivelul de referință al rețelei analizate, în vederea identificării sectoarelor cu un potențial mai ridicat de îmbunătățire.

4. EVALUAREA POTENȚIALULUI DE ÎMBUNĂTĂȚIRE PE DN1–DN7

Evaluarea Potențialului de Îmbunătățire a siguranței rutiere pe drumurile naționale DN1–DN7 a fost realizată prin aplicarea indicatorului PI la nivelul pozițiilor kilometrice analizate [20]. Spre deosebire de analiza descriptivă a accidentelor, prezentată în capitolul anterior, utilizarea indicatorului PI permite compararea frecvenței accidentelor înregistrate la fiecare poziție kilometrică cu nivelul de referință stabilit pentru rețeaua analizată.

Rezultatele au fost examinate atât la nivelul fiecărui drum național, cât și în raport cu starea suprafeței părții carosabile și configurația geometrică a traseului. Analiza urmărește evidențierea distribuției valorilor PI și identificarea pozițiilor kilometrice care necesită investigații suplimentare în vederea îmbunătățirii siguranței rutiere.

4.1. Distribuția indicatorului PI la nivelul rețelei analizate

Distribuția indicatorului PI evidențiază diferențe între pozițiile kilometrice ale drumurilor naționale DN1–DN7. Majoritatea pozițiilor analizate prezintă valori negative ale indicatorului, situate frecvent în intervalul aproximativ −3…0, ceea ce indică o frecvență a accidentelor inferioară nivelului de referință stabilit pentru rețeaua analizată. Valorile pozitive sunt înregistrate la un număr mai redus

de poziții kilometrice, fiind distribuite neuniform de-a lungul traseelor. În unele cazuri, depășirile nivelului de referință sunt moderate, în timp ce în alte amplasamente sunt identificate valori PI ridicate, care evidențiază un potențial mai important de îmbunătățire a siguranței rutiere.

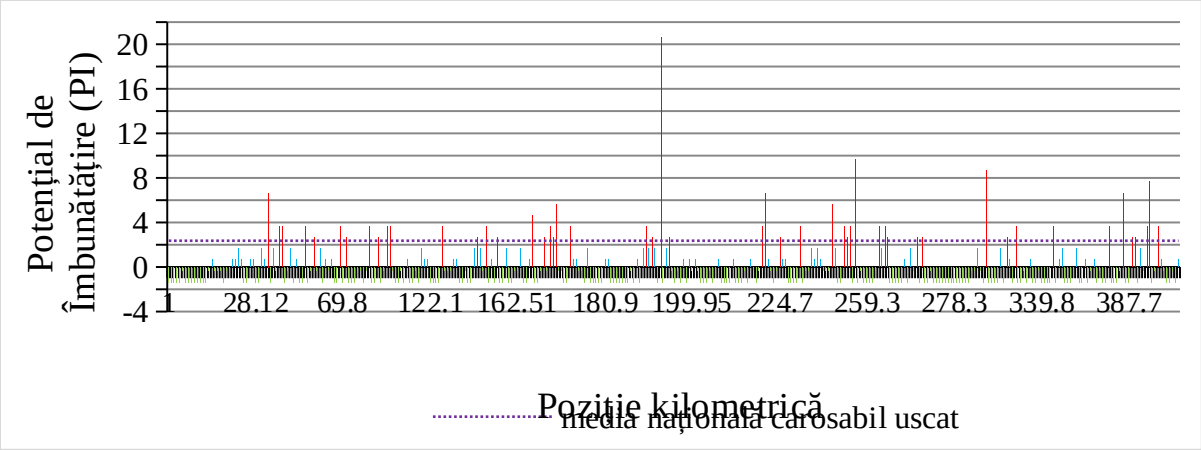
Caracterul localizat al acestor depășiri arată că performanța de siguranță nu este uniformă pe întreaga lungime a drumurilor analizate. În consecință, evaluarea la nivelul pozițiilor kilometrice permite identificarea unor amplasamente care necesită o analiză prioritară, fără a presupune existența unor deficiențe generalizate la nivelul întregului traseu.

4.2. Analiza indicatorului PI în raport cu starea suprafeței părții carosabile

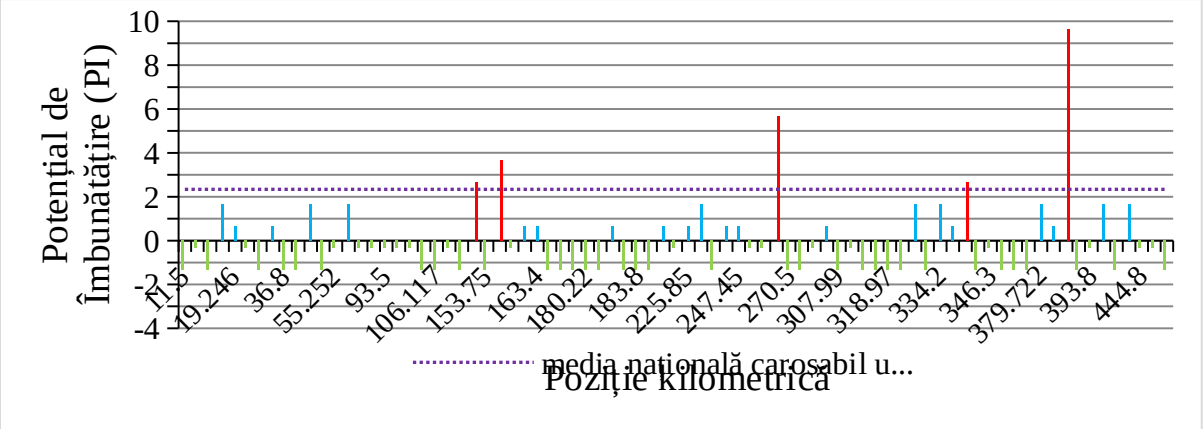
Analiza indicatorului PI în raport cu starea suprafeței părții carosabile a fost realizată pentru toate drumurile naționale DN1–DN7, fiind examinate distinct condițiile de suprafață uscată și umedă.

Rezultatele evidențiază faptul că, în ambele condiții analizate, majoritatea pozițiilor kilometrice prezintă valori PI negative sau apropiate de zero. Totuși, sunt identificate și depășiri pozitive ale nivelului de referință, a căror amplitudine și localizare diferă între drumurile analizate.

Pentru ilustrarea rezultatelor au fost selectate distribuțiile corespunzătoare DN2, acestea evidențiind diferențe între valorile și localizarea depășirilor nivelului de referință în cele două condiții analizate. Rezultatele pentru celelalte drumuri au fost incluse în analiza comparativă, fără a fi reprezentate grafic individual în cadrul lucrării. Distribuția indicatorului PI pentru DN2, în condiții de suprafață carosabilă umedă și uscată, este prezentată în Figura 4.



a)



b)

Figura 4. Distribuția indicatorului PI în funcție de poziția kilometrică pe DN2, pentru suprafața carosabilă umedă (a) și uscată (b) [20]

Figura 4 evidențiază diferențe între distribuțiile valorilor PI corespunzătoare celor două stări ale suprafeței părții carosabile. În condiții de suprafață umedă, depășirile nivelului de referință sunt mai puțin numeroase și apar în poziții kilometrice distincte, în timp ce pentru suprafața uscată se observă mai multe depășiri, inclusiv valori pozitive ridicate.

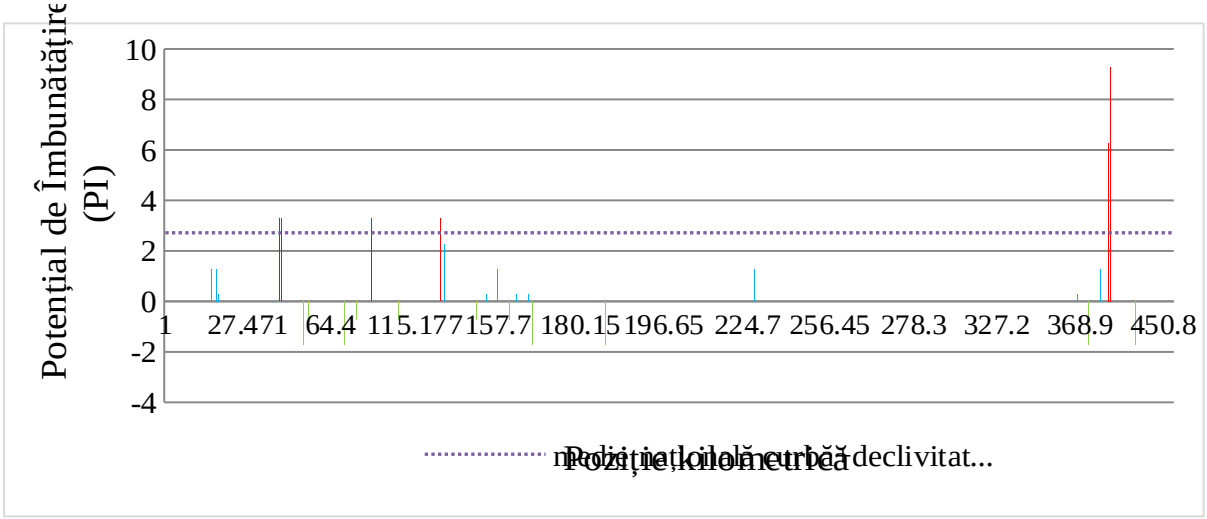
Aceste rezultate evidențiază importanța analizării distincte a condițiilor de rulare. Totodată, pozițiile kilometrice cu valori PI ridicate nu coincid în mod necesar între cele două situații, ceea ce justifică examinarea individuală a amplasamentelor identificate. Diferențele dintre distribuții nu permit însă concluzia că una dintre stările suprafeței părții carosabile determină, în mod general, un nivel de risc mai ridicat.

4.3. Analiza indicatorului PI în raport cu configurația geometrică a traseului

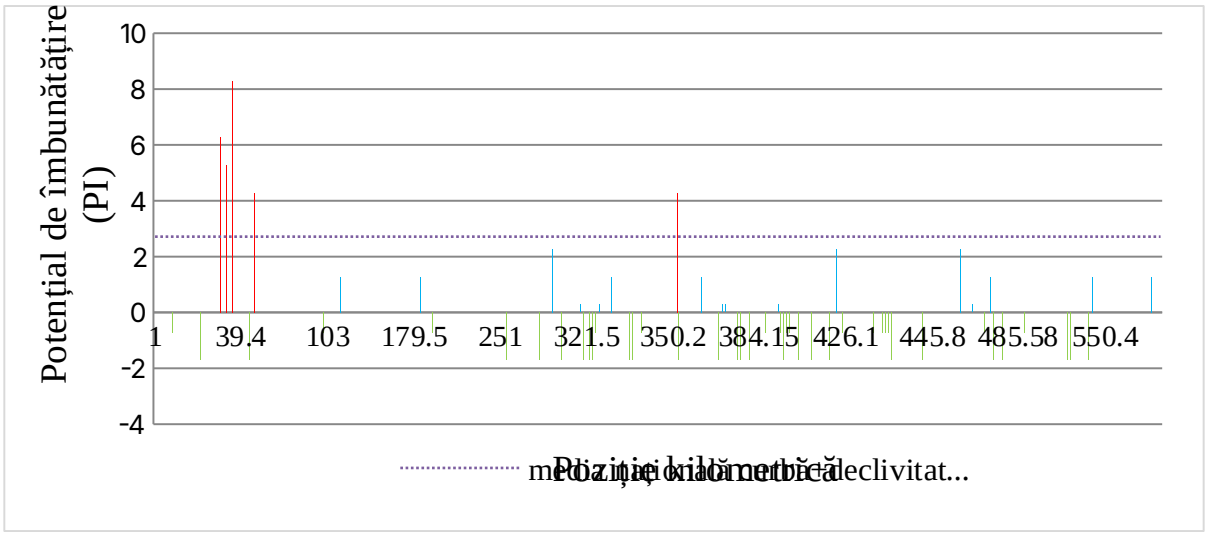
Pentru evaluarea distribuției indicatorului PI în raport cu geometria traseului au fost analizate trei configurații: curbă asociată cu declivitate ≤1%, curbă în rampă și curbă în pantă. Analiza urmărește evidențierea pozițiilor kilometrice cu valori pozitive ale indicatorului și a diferențelor dintre configurațiile geometrice considerate.

Rezultatele arată că depășirile nivelului de referință sunt identificate frecvent în cazul configurației curbă asociată cu declivitate ≤1%, în special pe anumite drumuri naționale. Distribuția acestora diferă de la un traseu la altul, fiind caracterizată prin valori pozitive înregistrate la poziții kilometrice distincte.

Pentru ilustrarea acestei distribuții au fost selectate rezultatele corespunzătoare DN2 și DN6, unde sunt evidențiate mai multe poziții kilometrice cu valori PI pozitive pentru configurația analizată. Cele două exemple permit observarea caracterului neuniform al depășirilor nivelului de referință, fără a presupune că aceeași distribuție este caracteristică tuturor drumurilor DN1–DN7. Rezultatele sunt prezentate în Figura 5.



a)



b)

Figura 5. Distribuția indicatorului PI pentru configurația curbă asociată cu declivitate ≤1%, pe DN2 (a) și DN6 (b) [20]

După cum se observă în Figura 5, în ambele cazuri sunt identificate poziții kilometrice cu valori PI pozitive, însă amplitudinea și distribuția acestora diferă. Depășirile nivelului de referință apar în amplasamente distincte și nu caracterizează în mod uniform întreaga lungime a traseelor analizate.

În cazul configurațiilor curbă–rampă și curbă–pantă, depășirile pozitive sunt mai puțin frecvente în graficele analizate, dar pot apărea valori ridicate în anumite poziții kilometrice. Totodată, nu toate cele trei configurații geometrice sunt reprezentate pe fiecare dintre drumurile DN1–DN7, ceea ce limitează posibilitatea realizării unor comparații directe între toate traseele.

Rezultatele evidențiază necesitatea interpretării indicatorului PI în raport cu particularitățile geometrice ale fiecărui amplasament. Prezența unor valori ridicate indică oportunitatea investigării detaliate a condițiilor locale, inclusiv a geometriei traseului, vizibilității și caracteristicilor suprafeței părții carosabile, fără a demonstra, prin ea însăși, existența unei relații directe de cauzalitate între configurația geometrică și producerea accidentelor.

În ansamblu, evaluarea indicatorului PI evidențiază o distribuție neuniformă a Potențialului de Îmbunătățire la nivelul drumurilor naționale DN1–DN7. Valorile ridicate sunt asociate unor poziții kilometrice distincte, iar identificarea acestora constituie baza pentru etapa următoare, orientată către prioritizarea investigațiilor și fundamentarea eventualelor intervenții de siguranță rutieră.

5. PRIORITIZAREA INTERVENȚIILOR

Rezultatele evaluării Potențialului de Îmbunătățire a siguranței rutiere constituie un instrument de sprijin pentru identificarea pozițiilor kilometrice care necesită investigații suplimentare și pentru stabilirea priorităților de intervenție la nivelul rețelei DN1–DN7.

Prioritizarea se bazează pe valorile indicatorului PI, prin raportarea frecvenței accidentelor înregistrate la nivelul fiecărei poziții kilometrice la nivelul de referință al rețelei analizate. În acest context, valorile pozitive indică poziții cu o performanță de siguranță inferioară nivelului de referință, iar valorile pozitive ridicate evidențiază amplasamente care justifică o atenție prioritară.

Pentru interpretarea rezultatelor au fost considerate trei categorii: valori PI negative, corespunzătoare pozițiilor care nu depășesc referința rețelei; valori PI pozitive, dar inferioare pragului suplimentar de clasificare reprezentat de media PI utilizată în analiză; și valori PI care depășesc acest prag. Valoarea PI = 0 indică egalitatea cu nivelul de referință al indicatorului de siguranță, în timp ce pragul suplimentar permite ierarhizarea amplitudinii depășirilor.

Aplicarea acestei clasificări la nivelul drumurilor DN1–DN7 evidențiază faptul că pozițiile cu valori PI ridicate sunt distribuite neuniform, fiind

concentrate în anumite amplasamente. În consecință, prioritizarea nu trebuie realizată exclusiv în funcţie de numărul total de accidente înregistrate pe fiecare drum, ci prin examinarea diferențelor de performanță identificate la nivelul poziţiilor kilometrice.

Pentru evidențierea rezultatelor la nivelul întregii rețele, în Tabelul 1 sunt prezentate pozițiile kilometrice cu valorile maxime ale indicatorului PI identificate pentru fiecare dintre drumurile naționale DN1–DN7, pe baza rezultatelor cercetării doctorale [20].

Tabelul 1. Poziţiile kilometrice cu Potenţial de Îmbunătăţire ridicat pe DN1–DN7 [20]

Drum	Poziție kilometrică	PI maxim	Accidente 2021–2024	Geometrie dominantă
DN1	km 468+438	14,62	17	Curbă
DN2	km 192+450	20,62	23	Aliniament
DN3	km 167+000	7,62	10	Aliniament
DN4	km 18+200	5,62	8	Aliniament și intersecție
DN5	km 27+400	5,62	8	Aliniament
DN6	km 34+900	8,62	11	Curbă
DN7	km 175+800	11,62	14	Aliniament și curbă

Datele din Tabelul 1 evidențiază faptul că valoarea maximă a indicatorului PI a fost înregistrată pe DN2, la km 192+450, urmată de DN1, la km 468+438, și DN7, la km 175+800. Aceste poziții reprezintă amplasamente prioritare pentru investigații detaliate, având în vedere diferențele importante față de nivelul de referință al rețelei analizate.

Totodată, valorile ridicate ale indicatorului PI nu sunt asociate exclusiv cu o anumită configurație geometrică. Pozițiile identificate includ atât curbe, cât și aliniamente sau zone de intersecție, ceea ce evidențiază necesitatea examinării condițiilor specifice fiecărui amplasament.

În cazul pozițiilor situate în curbe, investigațiile ulterioare pot urmări caracteristicile geometrice, condițiile de vizibilitate, semnalizarea și aderența suprafeței părții carosabile. Pentru pozițiile situate pe aliniamente sau în apropierea intersecțiilor, analiza poate fi orientată către organizarea circulației, accesurile laterale, vitezele de deplasare și condițiile de vizibilitate.

În funcție de deficiențele confirmate prin investigațiile detaliate, pot fi avute în vedere măsuri precum îmbunătățirea semnalizării și marcajelor rutiere,

introducerea elementelor de ghidare optică, creşterea aderenţei suprafeţei părţii carosabile, reorganizarea acceselor sau realizarea unor corecţii geometrice locale. Alegerea intervenţiilor trebuie fundamentată prin evaluarea condiţiilor din teren, a caracteristicilor traficului şi a eficienţei estimate a măsurilor propuse [5], [18].

Prin urmare, indicatorul PI permite stabilirea unei ordini preliminare de prioritate, dar nu constituie, în mod independent, o justificare suficientă pentru adoptarea unei anumite soluţii tehnice. Rezultatele sale trebuie corelate cu investigaţii de siguranţă rutieră, date privind expunerea la trafic şi evaluări tehnico-economice, astfel încât intervenţiile să fie adaptate particularităţilor fiecărui amplasament.

În acest mod, evaluarea Potenţialului de Îmbunătăţire contribuie la orientarea resurselor disponibile către poziţiile kilometrice care necesită atenţie prioritară şi oferă un suport cantitativ pentru managementul siguranţei infrastructurii rutiere.

6. CONCLUZII

Cercetarea prezentată a urmărit evaluarea Potenţialului de Îmbunătăţire a siguranţei rutiere pe drumurile naţionale DN1–DN7, prin corelarea datelor privind accidentele rutiere înregistrate în perioada 2021–2024 cu caracteristicile infrastructurii şi prin aplicarea indicatorului Potenţialului de Îmbunătăţire (PI).

Analiza accidentelor în raport cu geometria traseului, declivitatea şi starea suprafeţei părţii carosabile a evidenţiat diferenţe între drumurile analizate, confirmând caracterul neuniform al distribuţiei evenimentelor rutiere. Rezultatele arată că accidentele sunt înregistrate în condiţii variate de infrastructură şi exploatare, ceea ce evidenţiază necesitatea unei evaluări integrate, care să nu se limiteze la identificarea anumitor configuraţii geometrice sau condiţii de rulare.

Aplicarea indicatorului PI a permis evidenţierea diferenţelor de performanţă a siguranţei rutiere la nivelul poziţiilor kilometrice, prin raportarea acestora la un nivel de referinţă comun, stabilit pentru reţeaua analizată. Majoritatea poziţiilor kilometrice au prezentat valori negative ale indicatorului, în timp ce valorile pozitive ridicate au fost concentrate în amplasamente distincte, indicând un potenţial de îmbunătăţire localizat.

Analiza diferenţiată în funcţie de starea suprafeţei părţii carosabile a evidenţiat variaţii ale amplitudinii şi localizării valorilor PI în condiţii de suprafaţă uscată şi umedă. De asemenea, evaluarea în raport cu geometria traseului a identificat valori ridicate ale indicatorului atât în curbe, cât şi în alte

configuraţii geometrice, fără a evidenţia o asociere exclusivă între valorile PI ridicate şi o anumită caracteristică a infrastructurii.

La nivelul reţelei DN1–DN7, cele mai ridicate valori ale indicatorului PI au fost identificate pe DN2, la km 192+450 (PI = 20,62), DN1, la km 468+438 (PI = 14,62), şi DN7, la km 175+800 (PI = 11,62). Aceste rezultate evidenţiază utilitatea indicatorului pentru identificarea poziţiilor kilometrice care necesită investigaţii prioritare şi pentru orientarea procesului de evaluare a siguranţei rutiere către amplasamentele cu cele mai importante depăşiri ale nivelului de referinţă.

Principala contribuţie a cercetării constă în aplicarea unei evaluări comparative unitare la nivelul reţelei DN1–DN7, prin integrarea datelor privind accidentele şi caracteristicile infrastructurii în analiza indicatorului PI. Rezultatele oferă un suport cantitativ pentru identificarea poziţiilor kilometrice cu potenţial ridicat de îmbunătăţire şi pentru fundamentarea unei ierarhizări preliminare a investigaţiilor de siguranţă rutieră.

Totodată, interpretarea indicatorului PI trebuie realizată ţinând seama de limitele analizei. Valorile ridicate ale acestuia nu demonstrează existenţa unei relaţii directe de cauzalitate între caracteristicile infrastructurii şi producerea accidentelor şi nu justifică, în mod independent, adoptarea unor soluţii tehnice. Stabilirea intervenţiilor necesită completarea evaluării cu investigaţii detaliate în teren, analiza expunerii la trafic şi examinarea condiţiilor locale de circulaţie.

În concluzie, utilizarea indicatorului Potential for Improvement reprezintă o abordare utilă pentru evaluarea comparativă a performanţei de siguranţă rutieră şi pentru orientarea procesului de prioritizare a intervenţiilor. Aplicarea acestuia la nivelul drumurilor naţionale DN1–DN7 evidenţiază posibilitatea utilizării rezultatelor în cadrul unui management al siguranţei infrastructurii rutiere bazat pe identificarea sistematică a amplasamentelor care necesită investigaţii şi măsuri de îmbunătăţire.

BIBLIOGRAFIE

[1]. World Health Organization (WHO), „*Global Status Report on Road Safety 2023”*, Geneva, **2023**.

[2]. United Nations, „*Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021–2030”*, New York, **2021**.

[3]. European Commission, „*Road Safety Statistics 2024”*, Brussels, **2024**.

[4]. European Transport Safety Council (ETSC), „*PIN Annual Report 2024”*, Brussels, **2024**.

[5]. PIARC (World Road Association), „*Road Safety Manual”*, 4th Edition, Paris, **2025**.

[6]. PIARC (World Road Association), „*Road Safety Management Manual”*, Paris, **2019**.

[7]. OECD, „*Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach”*, Paris, **2008**.

[8]. European Commission, „*EU Road Safety Policy Framework 2021–2030 – Next Steps Towards “Vision Zero””*, Brussels, **202**1.

[9]. OECD, „*Safe Roads Infrastructure”*, Paris, **2019**.

[10]. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), „*Highway Safety Manual, 2nd Edition”*, Washington, D.C., **2018**.

[11]. Federal Highway Administration (FHWA), „*Roadway Safety Fundamentals, U.S. Department of Transportation”*, Washington, D.C., **2020**.

[12]. Hauer, E., „*The statistical nature of road accidents, Accident Analysis & Prevention”*, vol. 16, no. 3, pp. 215–226, **1984**.

[13]. Hauer, E., „*Regression-to-the-mean in road safety, Accident Analysis & Prevention”*, vol. 29, no. 4, pp. 397–402, **1997**.

[14]. European Commission, „*Road Safety Performance Indicators – Theory and Practice”*, Brussels, **2017**.

[15]. Elvik, R., „*A framework for safety performance indicators, Accident Analysis & Prevention”*, vol. 40, pp. 112–120, **2008**.

[16]. Petcu, M. D., Răcănel, C., Ioniță, Ș., Sandu, R., „*Correlation of Road Crashes with Road Characteristics”*, Romanian Journal of Transport Infrastructure, vol. 14, no. 2, pp. 1–20, **2025**. DOI: 10.2478/rjti-2025-0012.

[17]. PIARC, „*Risk Management in Road Safety”*, Paris, **2010**.

[18]. Federal Highway Administration (FHWA), „*Systemic Safety Project Selection Tool”*, Washington, D.C., **2017**.

[19]. OECD/International Transport Forum (ITF), „*Using Safety Performance Indicators to Improve Road Safety”*, Paris, **2008**.

[20]. Petcu, M. D., „*Analiza influenței infrastructurii rutiere de transport în producerea accidentelor rutiere”*, teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, București, **2026**.

INFLUENȚA ULEIULUI ALIMENTAR UZAT ASUPRA CARACTERISTICILOR FIZICE ALE BITUMULUI ÎMBĂTRÂNIT

Radu Lidia, șef lucr.univ.dr.chim., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: lidia.radu@utcb.ro
Răcănel Carmen, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: carmen.racanel@utcb.ro
Saca Nastasia, conf.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: nastasia.saca@utcb.ro
Alboiu Felicia, șef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Drumuri, Căi Ferate şi Materiale de Construcţii, e-mail: felicia.alboiu@utcb.ro

Rezumat

Această lucrare studiază potențialul utilizării uleiului alimentar uzat la rejuvenarea bitumului îmbătrânit. Analizele experimentale au fost efectuate pe bitum virgin, bitum îmbătrânit şi bitum îmbătrânit modificat prin adăugarea de ulei alimentar uzat în proporţii masice de 5%, 10% şi 15%. Rezultatele obţinute indică o îmbunătățire a penetrației bitumului îmbătrânit, în limitele clasei 50/70, prin adăugarea a 5% ulei alimentar uzat. De asemenea, s-a observat o înmuiere excesivă a liantului, evidențiată prin scăderea punctului de înmuiere la 39 °C şi obținerea unui indice de penetrație de −3,8. Mărirea proporției de ulei uzat a determinat creşterea penetrației şi scăderea punctului de înmuiere a bitumului îmbătrânit. Aceste rezultate evidențiază importanța optimizării dozajului de ulei uzat pentru rejuvenarea bitumului îmbătrânit, evitând modificări nedorite ale proprietăților liantului.

Cuvinte cheie: ulei alimentar uzat, bitum îmbătrânit, rejuvenare.

Abstract

This study investigates how the use of waste cooking oil contributes to the rejuvenation of bitumen. The tests were conducted on virgin bitumen, aged bitumen, and aged bitumen containing waste cooking oil at mass proportions of 5%, 10%, and 15%. The results obtained indicate an improvement in the penetration of aged bitumen, bringing it within the limits of the 50/70 penetration grade, following the addition of 5% waste cooking oil. Furthermore, the addition of waste cooking oil to the aged bitumen resulted in excessive softening, as evidenced by a decrease in the softening point to 39 °C and a change in the penetration index to −3.8. Increasing the proportion of waste cooking oil resulted in an increase in penetration and a decrease in the softening point of the aged bitumen. These

results highlight the importance of optimizing the waste cooking oil content to rejuvenate aged bitumen while avoiding undesirable changes in the binder properties.

Keywords: waste cooking oil, aged bitumen, rejuvenation.

1. INTRODUCERE

O prioritate, la nivel mondial, o constituie economia circulară. Unul dintre elementele principale ale acestui concept este transformarea deșeurilor în materii prime secundare pentru protecția mediului și conservarea resurselor. România trece în momentul de față printr-o perioadă de tranziție către o economie circulară, dar și de dezvoltare și relansare a economiei. Unul dintre sectoarele importante în acest sens îl reprezintă dezvoltarea calității drumurilor [1]. Îmbătrânirea bitumului reprezintă una dintre principalele limitări ale utilizării unor cantități ridicate de asfalt recuperat (RAP), deoarece procesele termo-oxidative determină creșterea rigidității liantului, reducerea penetrabilității și modificarea echilibrului dintre fracțiunile sale SARA (saturate, aromatice, rășini și asfaltene). Astfel, folosirea unor agenți de rejuvenare devine esențială pentru restabilirea proprietăților bitumului îmbătrânit și pentru creșterea gradului de reciclare a materialelor asfaltice.

Pentru acest scop, un deșeu cu potențial ridicat de valorificare îl reprezintă uleiurile alimentare uzate, ca resurse regenerabile, fiind considerate o alternativă sustenabilă la rejuvenatorii convenționali. Cantitatea globală de uleiuri uzate este 20–32% din consumul total de ulei vegetal (41–47 Mt/an) [2]. Conform Planului Național de Gestionare a Deșeurilor, cantitățile de ulei alimentar uzat, raportate la nivel național în perioada 2020-2022 (Tabelul 1), arată o creștere a cantității generate de aproximativ 80% [3].

Tabelul 1. Cantități de ulei alimentar uzat la nivel național (sursa ANMAP)

Anul	2020	2021	2022
Generate (tone)	12.778,19	18.156,25	23.226,22
Valorificate (tone)	5.192,68	8.683,20	245,90
Exportate (tone)	7.215,78	8.756,40	19.988,50
Eliminate prin incinerare (tone)	23,67	19,04	8,70

Utilizarea acestor deșeuri ca aditivi pentru întinerirea bitumului (rejuvenatori) are la bază costul redus, disponibilitatea mare și, cel mai important, îmbunătățirea caracteristicilor acestuia [4-7].

Compoziția uleiurilor vegetale în acizi grași nesaturați permite restabilirea proporției de fracții saturate și aromate, respectiv reducerea proporției de asfaltene din bitumul îmbătrânit [8].

Adăugarea uleiului alimentar uzat poate readuce penetrația, punctul de înmuiere și vâscozitatea bitumului îmbătrânit către valorile bitumului original, eficiența fiind dependentă de tipul de liant și de dozajul uleiului [9-11]. De asemenea, pot reduce conținutul relativ de asfaltene și intensitatea grupărilor oxidate asociate cu indicii de carbonil și sulfoxid, ceea ce indică o posibilă contribuție la recuperarea structurii chimice a liantului îmbătrânit. Aceste rezultate susțin ideea că eficiența unui rejuvenator nu trebuie evaluată exclusiv prin modificarea penetrării sau a vâscozității, ci și prin capacitatea sa de a restabili structura moleculară și echilibrul coloidal perturbate în timpul îmbătrânirii [12-14].

În acest context, s-a studiat valorificarea uleiului alimentar uzat în realizarea de noi produse, și anume bitum modificat, în scopul îmbunătățirii caracteristicilor acestuia.

2. MATERIALE ŞI METODE

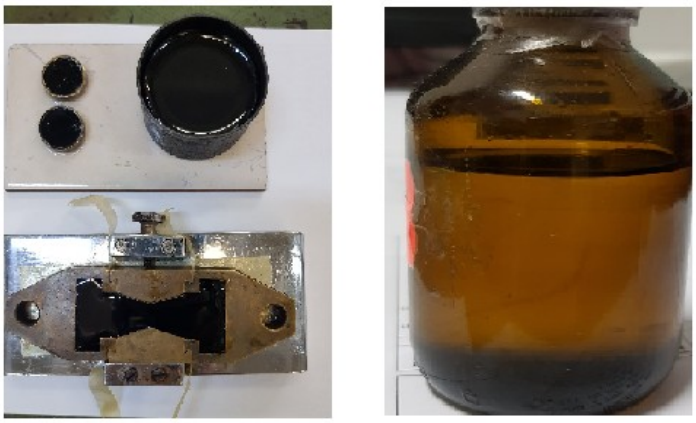
2.1. Materiale

Bitumul utilizat 50/70 (Rompetrol) a fost furnizat de Laboratorul de Drumuri din cadrul Centrului de cercetare Drumuri și aeroporturi. S-a ales acest tip de bitum, deoarece se poate utiliza pentru [15]:
- mixturi asfaltice puse în operă, atât în zone reci, cât și în zone calde;
- mixturi stabilizate MAS, indiferent de zonă.

Bitumul îmbătrânit s-a obținut din 50/70 prin metoda RTFOT (rolling thin film oven test), în Laboratorul de Drumuri din cadrul Centrului de cercetare Drumuri și aeroporturi, UTCB.

Uleiul alimentar uzat, colectat din surse proprii, a rezultat din ulei de floarea soarelui.

Materialele utilizate în partea experimentală sunt prezentate în Figura 1.



a. b.

Figura 1. Materiale folosite: a. bitum; b. ulei alimentar uzat

Bitumul modificat s-a obținut prin amestecarea bitumului îmbătrânit cu ulei alimentar uzat cu un agitator magnetic cu încălzire (Figura 2). Temperatura bitumului în timpul amestecării a fost menținută la 138 °C, timpul de amestecare fiind de 30 min, la 410 rpm.



Figura 2. Obținerea probelor

Pentru a aprecia influența rejuvenatorului asupra caracteristicilor bitumului îmbătrânit (notat B), uleiul alimentar uzat a fost adăugat în diferite proporții masice în raport cu masa de bitum îmbătrânit. Compozițiile sunt prezentate în Tabelul 2. Rezultatele experimentale obținute pentru bitumul modificat au fost comparate cu caracteristicile bitumului virgin (notat B0) pe baza cerințelor impuse prin standard [16].

Tabelul 2. Compoziții analizate

Notație	Rejuvenator (% masic față de masa de bitum)
B0	0
B	0
B5	5
B10	10
B15	15

2.2. Metode de încercare a bitumului

Îmbătrânirea tehnologică RTFOT

În timpul preparării mixturii asfaltice, prin amestecarea bitumului încălzit cu agregatele fierbinți, liantul este supus la temperaturi ridicate și contactului cu aerul, formând o peliculă subțire pe suprafața agregatului.

Comportarea bitumului în aceste condiții este simulată prin încălzirea într-o etuvă a unui film de bitum, aflat în mișcare continuă și expus unui flux de aer, în condiții prestabilite (85 minute, 163 °C, debit aer 4 l/min.). Una dintre metodele folosite pentru simularea îmbătrânirii tehnologice este metoda RTFOT (rolling thin film oven test) [17]. Determinarea se realizează cu aparatura prezentată în Figura 3 a, b și c.



a. b. c.

Figura 3. Aparatura utilizată pentru RTFOT: a. pregătire bitum; b. etuva cu aer cald; c. probe bitum îmbătrânit

După îmbătrânirea tehnologică RTFOT, asupra bitumului se fac următoarele încercări pentru a se determina modificarea proprietăților acestuia [18]:

- Penetrația reziduală reprezintă reducerea în procente a penetrației bitumului după îmbătrânire. Se admite penetrația bitumului inițial ca 100%.
- Creșterea punctului de înmuiere este diferența dintre punctul de înmuiere al bitumului îmbătrânit RTFOT și punctul de înmuiere al bitumului virgin.
- Modificarea masei după îmbătrânire (valoare absolută) este diferența dintre masa probei de bitum virgin și masa aceleiași probe după efectuarea testului RTFOT [17].

Penetrația (P_{25}) este o măsură a consistenței bitumului, exprimată convențional prin adâncimea de pătrundere verticală în bitum (în zecimi de mm), a unui ac de oțel normalizat, în condiții stabilite: temperatură de 25 °C, încărcare de 100 g, timp de 5 secunde [19].

Încercarea stă la baza clasificării bitumurilor pe grade de penetraţie standard (ex. 50/70, 60/80, 80/100). Determinarea a fost realizată cu penetrometrul din Figura 4.



Figura 4. Aparat pentru determinarea penetrației cu ac (Laboratorul de Drumuri din cadrul Centrului de cercetare Drumuri şi aeroporturi)

Punctul de înmuiere (t_{IB}) reprezintă temperatura la care o probă de bitum încălzită în mod controlat, introdusă într-un inel şi care susține o bilă, se înmoaie suficient ca bila să coboare pe o distanță de 25 mm ± 0,4 mm [20]. Determinarea a fost realizată cu aparatul din Figura 5. Această încercare permite determinarea temperaturii convenționale la care bitumul atinge consistența stabilită [18].



Figura 5. Aparat pentru determinarea punctului de înmuiere (Laboratorul de Drumuri din cadrul Centrului de cercetare Drumuri şi aeroporturi)

Ductilitatea (D_{25}) (încercarea la tracțiune) apreciază plasticitatea bitumului. Determinarea constă în stabilirea alungirii maxime până la rupere a unei probe de bitum supusă întinderii cu o viteză constantă (5±0,25 cm/min), la temperatura de determinare (25, 10, 5 °C) [21]. Determinarea a fost realizată cu ductilometrul prezentat în Figura 6. Pentru a rezista la solicitări mecanice de tracțiune şi la contracții sau dilatații datorate temperaturii, se recomandă ca bitumul să fie cât mai ductil.



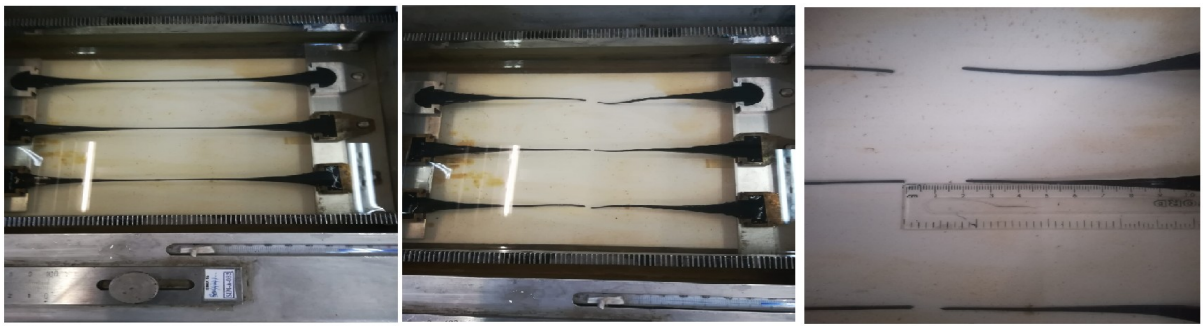
Figura 6. Aparat pentru determinarea ductilității (Laboratorul de Drumuri din cadrul Centrului de cercetare Drumuri și aeroporturi)

Revenirea elastică (R_E %) este o încercare convențională a bitumului modificat cu polimeri. În cadrul acestei cercetări a fost utilizată această încercare și pentru bitumul modificat cu ulei alimentar uzat pentru aprecierea proprietăților elastice. Modul de lucru este redat în Figura 7. Această determinare exprimă convențional elasticitatea bitumului prin măsurarea distanței dintre capetele probei întinse și tăiate în condiții stabilite [22].

$$R_E = \frac{d}{L} \cdot 100\ [\%] \tag{1}$$

unde: d = distanța dintre capetele probei tăiate, mm;

L = întinderea probei, de obicei 200 mm (poate fi o lungime mai mică în cazul ruperii premature a probei).



a. b. c.

Figura 7. Revenirea elastică: a. întinderea probei; b. tăierea probei; c. măsurarea distanței dintre capetele probei tăiate

Indicele de penetrație (Ip) este o măsură a sensibilității termice a bitumului. Se calculează cu valorile cunoscute ale penetrației (P_{25}) și punctului de înmuiere (t_{IB}) [16].

$$I_p = \frac{20 \cdot t_{IB} + 500 \cdot lgP_{25} - 1952}{t_{IB} - 50 \cdot lgP_{25} + 120} \tag{2}$$

unde: t_{IB} = punct de înmuiere, °C;
lg P_{25} = logaritm zecimal din valoarea penetrației la 25 °C.

3. REZULTATE OBȚINUTE

Caracteristicile bitumului după îmbătrânirea tehnologică RTFOT se încadrează în cerințele standard și sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabelul 3. Caracteristicile bitumului după RTFOT

Caracteristică	**Valoare**	**Cerințe conform SR EN 12591:2009**
Penetrația reziduală (%)	57	≥ 50
Creșterea punctului de înmuiere (°C)	7,5	≤ 9
Modificarea masei după îmbătrânire (valoare absolută) (%)	0,005	≤ 0,5

Rezultatele experimentale obținute pe baza testării caracteristicilor probelor de bitum studiate sunt prezentate în Tabelul 4.

Tabelul 4. Caracteristicile probelor analizate

Caracteristică	**Probă**					**Cerințe conform SR EN 12591:2009**
	B0	B	B5	B10	B15	
P_{25} (0,1 mm)	52,2	30	68,6	170	214	50–70
t_{IB} (°C)	46	53,5	39	34	*	46–54
D_{25} (cm)	>100	>100	50	96	*	>100
R_E (%)	10,5	10	1,5	2,25	*	
Ip	−2,2	−1,4	−3,8	−3,7	*	−1,5 … +0,7

*Nu s-a putut determina. Bitumul curge.

Rezultatele experimentale evidențiază modificarea semnificativă a proprietăților bitumului îmbătrânit prin adaosul de ulei alimentar uzat, efectul fiind dependent de dozajul utilizat.

Comparativ cu bitumul îmbătrânit B, care prezintă o penetrație de 30 (0,1 mm) și un punct de înmuiere de 53,5 °C, adaosul de 5% ulei alimentar uzat (B5) determină creșterea penetrației la 68,6 (0,1 mm) și reducerea punctului de înmuiere la 39 °C, ceea ce indică diminuarea rigidității și obținerea unui efect de rejuvenare. Pentru proba B10, penetrația crește la 170 (0,1 mm), iar punctul de înmuiere scade la 34 °C, fapt ce sugerează o înmuiere pronunțată a liantului. În cazul probei B15, penetrația atinge 214 (0,1 mm), indicând o înmuiere accentuată. Creșterea valorilor acestor proprietăți a prezentat o tendință liniară, cu un coeficient de determinare $R^2 = 0,96$. Conform standardului SR EN 12591 [16], penetrația la 25 °C pentru bitumul 50/70 trebuie să se situeze în intervalul 50–70 (0,1 mm). Prin urmare, doar proporția de 5% ulei uzat adăugat în bitumul îmbătrânit a îmbunătățit penetrația, valoarea încadrându-se în intervalul admis. De asemenea, standardul SR EN 12591 [16] prevede ca punctul de înmuiere al

bitumului 50/70 să se situeze în intervalul 46–54 °C. Prin urmare, adăugarea de ulei nu influențează pozitiv această caracteristică a bitumului [23, 24].

În ceea ce privește ductilitatea, valorile de 50 cm pentru B5 și 96 cm pentru B10 arată o modificare față de bitumul îmbătrânit, pentru care s-a înregistrat o valoare de peste 100 cm. Aceste rezultate trebuie corelate cu celelalte caracteristici.

Revenirea elastică a scăzut, ceea ce arată că, prin adăugarea uleiului uzat, înmuierea nu este însoțită de o îmbunătățire a recuperării elastice, prin comparație cu restabilirea penetrației bitumului îmbătrânit [11].

Indicele de penetrație calculat pe baza valorilor măsurate ale penetrației și ale punctului de înmuiere arată că adăugarea uleiului alimentar uzat la bitumul îmbătrânit a determinat scăderea valorii de la −1,4 la −3,8. Această evoluție indică o creștere a sensibilității termice aparente a liantului modificat. Rezultatele sugerează că, deși uleiul alimentar uzat a restabilit penetrația, a modificat relația dintre consistența liantului la 25 °C și comportarea sa la încălzire [9, 11, 25].

Prin urmare, rezultatele sugerează că uleiul alimentar uzat poate contribui la restabilirea consistenței bitumului îmbătrânit, dar utilizarea în cantitate mai mare de 5% conduce la o înmuiere excesivă. Astfel, pe baza proprietăților analizate, dozajul optim trebuie stabilit prin evaluarea simultană a penetrației, temperaturii de înmuiere, ductilității și comportării termice, în raport cu cerințele aplicabile.

4. CONCLUZII

Din analiza rezultatelor obținute experimental și pe baza cerințelor impuse bitumului pentru aplicații rutiere se poate concluziona:

1. Uleiul alimentar uzat adăugat în proporție de 5% a îmbunătățit penetrația bitumului îmbătrânit, în limitele clasei 50/70.
2. Adăugarea uleiului la bitumul îmbătrânit a determinat o înmuiere excesivă, evidențiată prin scăderea punctului de înmuiere la 39 °C și modificarea indicelui de penetrație la −3,8.
3. Eficiența rejuvenării nu poate fi evaluată exclusiv prin penetrație, deoarece ductilitatea nu s-a îmbunătățit, iar revenirea elastică a scăzut. Prin urmare, este necesară optimizarea dozajului de ulei, folosind mai multe caracteristici ale liantului.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *“Tehnologie integrată de preparare a mixturilor asfaltice compozite ecologice cu adaos de compuși obținuți prin prelucrarea deșeurilor industriale, pentru realizarea de structuri rutiere performante”*, Contract PN-II-PT-PCCA-2013-4-0056, UTCB nr. 146/**2014**.

[2]. A. ORJUELA, J. CLARK: *“Green chemicals from used cooking oils: Trends, challenges, and opportunities”*, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, **26**, 100369, **2020**.

[3]. *Planul Național de Gestionare a Deșeurilor*. https://mmediu.ro/storage/2026/01/Draft-PNGD_rev.pdf

[4]. H. LUO, X. HUANG, R. TIAN, J. HUANG, B. ZHENG, D. WANG, B. LIU: *“Analysis of relationship between component changes and performance degradation of waste-oil-rejuvenated asphalt”*, Construction and Building Materials, **297**, 123777, **2021**.

[5]. Ö. E. YAMAÇ, M. YILMAZ, E. YALÇIN, B. V. KÖK, J. NORAMBUENA-CONTRERAS, A. GARCIA: *“Self-healing of asphalt mastic using capsules containing waste oils”*, Construction and Building Materials, **270**, 121417, **2021**.

[6]. V. E. UZ, İ. GÖKALP: *“Sustainable recovery of waste vegetable cooking oil and aged bitumen: Optimized modification for short and long term aging cases”*, Waste Management, **110**, 1–9, **2020**.

[7]. D. OLDHAM, A. RAJIB, K. P. R. DANDAMUDI, Y. LIU, S. DENG, E. H. FINI: *“Transesterification of waste cooking oil to produce a sustainable rejuvenator for aged asphalt”*, Resources, Conservation and Recycling, **168**, 105297, **2021**.

[8]. S. MATOLIA, G. GUDURU, B. GOTTUMUKKALA, K. KUNA: *“An investigation into the influence of aging and rejuvenation on surface free energy components and chemical composition of bitumen”*, Construction and Building Materials, **245**, 118378, **2020**.

[9]. H. ASLI, E. AHMADINIA, M. ZARGAR, M. R. KARIM: *“Investigation on physical properties of waste cooking oil–rejuvenated bitumen binder”*, Construction and Building Materials, **37**, **398–405**, **2012**.

[10]. D. ZHANG, M. CHEN, S. WU, J. LIU, S. AMIRKHANIAN: *“Analysis of the relationships between waste cooking oil qualities and rejuvenated asphalt properties”*, Materials, **10**(5), 508, **2017**.

[11]. M. ZARGAR, E. AHMADINIA, H. ASLI, M. R. KARIM: *“Physical, chemical and rheological properties of waste edible vegetable oil rejuvenated asphalt binders”*, Construction and Building Materials, **66**, **286–298**, **2014**.

[12]. M. ZAHOOR, S. NIZAMUDDIN, S. MADAPUSI, F. GIUSTOZZI: *“Sustainable*

asphalt rejuvenation using waste cooking oil: A comprehensive review”, Journal of Cleaner Production, **278**, 123304, **2021**.

[13]. S. YAN, Q. DONG, X. CHEN, C. ZHOU, S. DONG, X. GU: *“Application of waste oil in asphalt rejuvenation and modification: A comprehensive review”*, Construction and Building Materials, **340**, 127784, **2022**.

[14]. H. LI, Z. FENG, A. T. AHMED, M. YOMBAH, C. CUI, G. ZHAO, P. GUO, Y. SHENG: *“Repurposing waste oils into cleaner aged asphalt pavement materials: A critical review”*, Journal of Cleaner Production, **334**, 130230, **2022**.

[15]. AND 605: *“Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald. Condiții tehnice de proiectare, preparare și punere în operă a mixturilor asfaltice”*, **2016**.

[16]. SR EN 12591: *“Bitum și lianți bituminoși. Specificații pentru bitumuri rutiere”*, **2009**.

[17]. SR EN 12607-1: *“Bitum și lianți bituminoși. Determinarea rezistenței la întărire sub efectul căldurii și aerului. Partea 1: Metoda RTFOT”*, **2015**.

[18]. ORLEN ASFALT: *“Ghidul bitumurilor”*, **2013**.

[19]. SR EN 1426: *“Bitum și lianți bituminoși. Determinarea penetrației cu acul”*, **2015**.

[20]. SR EN 1427: *“Bitum și lianți bituminoși. Determinarea punctului de înmuiere. Metoda cu inel și bilă”*, **2015**.

[21]. SR EN 61: *“Bitum. Determinarea ductilității”*, **1997**.

[22]. SR EN 13398: *“Bitum și lianți bituminoși. Determinarea revenirii elastice a bitumului modificat”*, **2017**.

[23]. P. S. LIN, T. L. WU, C. W. CHANG, B. Y. CHOU: *“Effects of recycling agents on aged asphalt binders and reclaimed asphalt concrete”*, Materials and Structures, **44**, **911–921**, **2011**.

[24]. A. DONY, J. COLIN, D. BRUNEAU, I. DROUADAINE, J. NAVARO: *“Reclaimed asphalt concretes with high recycling rates: Changes in reclaimed binder properties according to rejuvenating agent”*, Construction and Building Materials, **41**, **175–181**, **2013**.

[25]. C. ROMANESCU, C. RĂCĂNEL: *“Reologia liantilor bituminoși și a mixturilor asfaltice”*, București, **2003**.

STAREA DE EFORTURI ȘI DEFORMAȚII ÎN STRUCTURA RUTIERĂ FLEXIBILĂ, SEMIRIGIDĂ ȘI RIGIDĂ – STUDIU DE CAZ: ÎNCĂRCAREA CU OSIA STANDARD DE 11,5 T, OSIA TANDEM DE 20 T, OSIA TRIDEM DE 24 T

Rey Liviu-Doru, ing., șef Serviciul GIS și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Ioniță Ștefan, dr.ing., Director Executiv, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Pâtiu Sorin, drd.ing., Director Direcția Inginerie și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Progresul sistemelor de calcul și dezvoltarea capabilităților software moderne permit o analiză mult mai detaliată a problematicii aferente dimensionării structurilor rutiere. Prezenta lucrare își propune să investigheze durabilitatea structurilor rutiere prin efectuarea unei analize comparative asupra stării de eforturi în structurile rutiere flexibile, semirigide și rigide, supuse încărcărilor generate de osia standard de 11,5 t, osia tandem de 20 t și osia tridem de 24 t. Pentru realizarea calculelor a fost utilizat software-ul CESAR–LCPC (3D), un instrument de modelare numerică bazat pe Metoda Elementelor Finite (MEF), care permite reprezentarea interacțiunii dintre straturile structurii rutiere și determinarea câmpurilor de eforturi și deplasări corespunzătoare.

Cuvinte cheie: metoda elementelor finite (MEF), structură rutieră flexibilă, structură rutieră semirigidă, osia standard 11,5 t, osia tandem 20 t, osia tridem 24 t.

Abstract

Advances in computational systems and modern software capabilities enable a considerably more detailed analysis of issues related to pavement structural design. The present study investigates the durability of pavement structures by performing a comparative assessment of stress states within flexible, semi-rigid, and rigid pavement systems subjected to loading from the standard 11.5 t axle, the 20 t tandem axle, and the 24 t tridem axle. Numerical analyses were conducted using the CESAR–LCPC (3D) software, a finite element–based modeling tool that facilitates the simulation of layer interaction and the evaluation of stress and displacement fields throughout the pavement structure.

Keywords: finite element method (FEM), flexible pavement structure, semi-rigid pavement structure, 11.5-tonne standard axle, 20-tonne tandem axle, 24-tonne tridem axle

1. INTRODUCERE

Obiectivul dimensionării structurii rutiere este alegerea materialelor adecvate, împreună cu grosimile corespunzătoare, pentru stabilirea unei structuri rutiere optime. Aceasta trebuie să asigure preluarea încărcărilor din trafic pe perioada de perspectivă stabilită, la un cost de execuție și întreținere minim. Structurile rutiere uzuale pot fi flexibile, semirigide sau rigide. Alegerea structurii rutiere optime se realizează printr-o analiză economică, care ia în considerare costurile de execuție, avantajele din perioada de exploatare, costurile de întreținere și frecvența lucrărilor de intervenție.

2. STRUCTURI RUTIERE ANALIZATE

În conformitate cu structurile rutiere uzuale, au fost analizate trei structuri rutiere pentru care s-a urmărit obținerea unei capacități portante similare, caracterizate prin deflexiunea calculată cu ajutorul software-ului ALIZE-LCPC, având următoarele alcătuiri:

Tabelul 1. Structura rutieră flexibilă

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0,35
2	binder	6	3000	0,35
3	strat de bază	15	5000	0,35
4	strat superior de fundație din piatră spartă	35	500	0,27
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0,27
6	teren de fundare P5	semifinit	70	0,42

* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD 177-2001. $E_{bal} = 0,20 \times h_{bal}^{0,45} \times E_p = 0,20 \times 300^{0,45} \times 70 = 182$ MPa

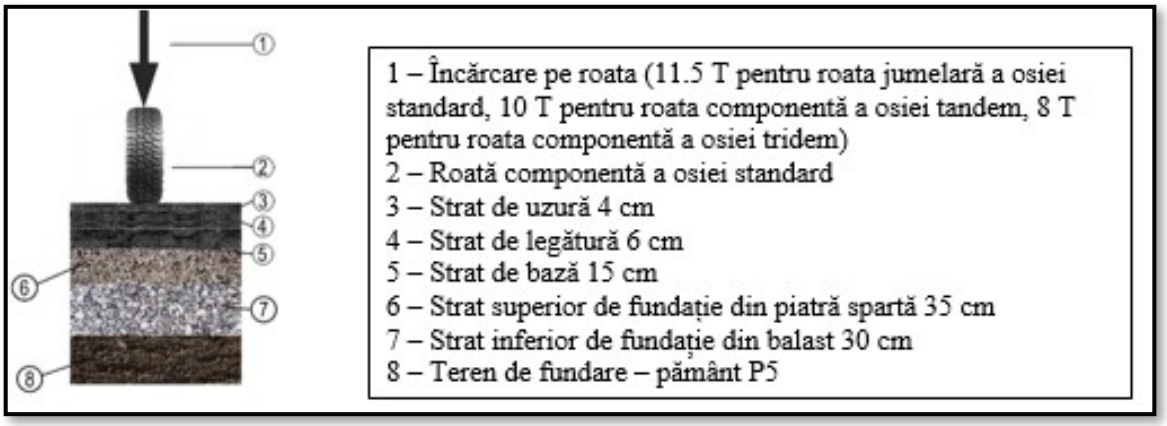


Figura 1. Structura rutieră flexibilă analizată

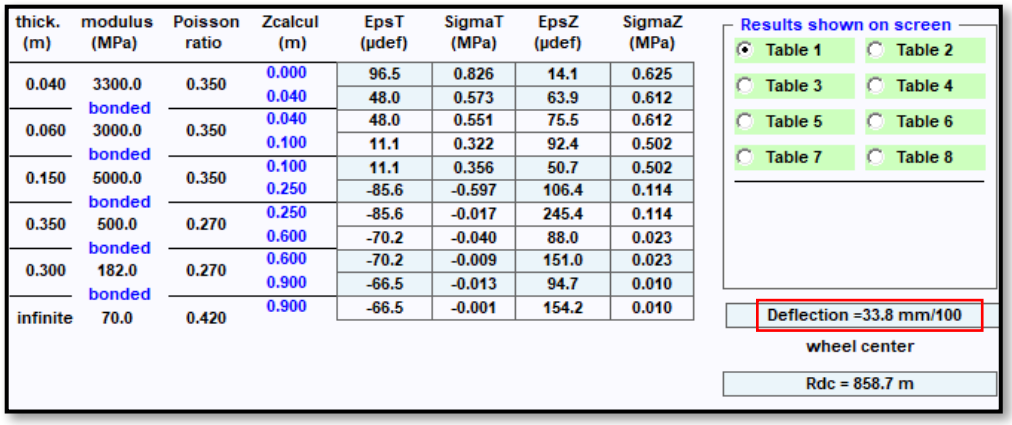


Figura 2. Rezultatul deflexiunii pentru structura rutieră flexibilă analizată

Tabelul 2. Structura rutieră semirigidă

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0,35
2	binder	6	3000	0,35
3	strat de bază	9	5000	0,35
4	strat superior de fundație din balast stabilizat cu lianți hidraulici	34	1000	0,25
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0,27
6	teren de fundare P5	semifinit	70	0,42

* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD 177-2001. $E_{bal} = 0,20 \times h_{bal}^{0,45} \times E_p = 0,20 \times 300^{0,45} \times 70 = 182$ MPa

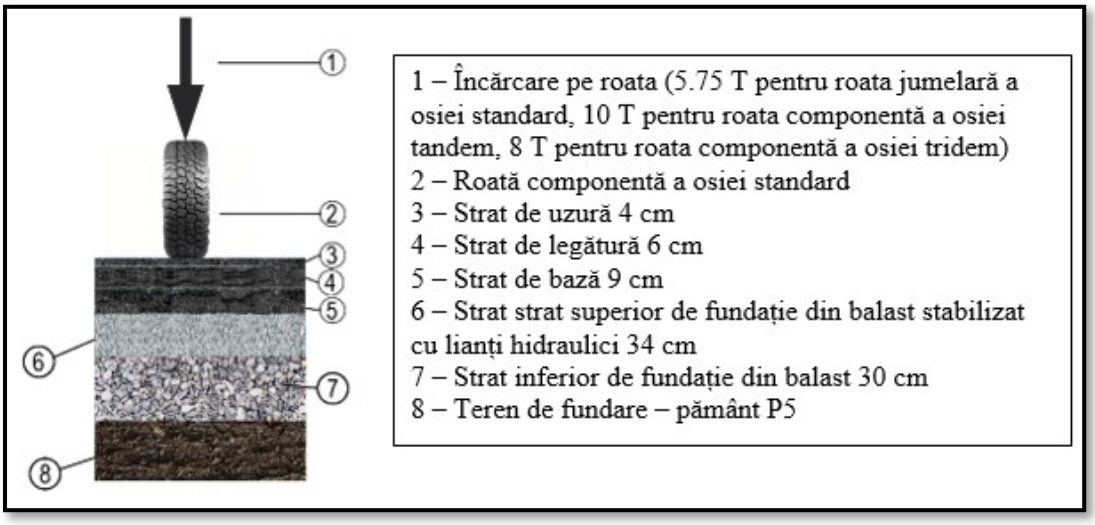


Figura 3. Structura rutieră semirigidă analizată

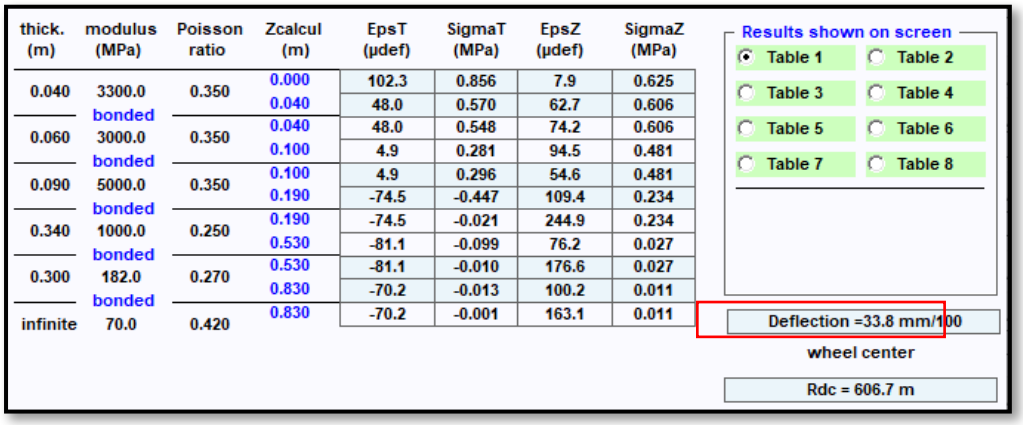


Figura 4. Rezultatul deflexiunii pentru structura rutieră semirigidă analizată

Tabelul 3. Structura rutieră rigidă

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	dala din beton de ciment	18	30000	0,15
2	strat de fundație din balast	30	182	0,27
3	teren de fundare P5	semifinit	70	0,42

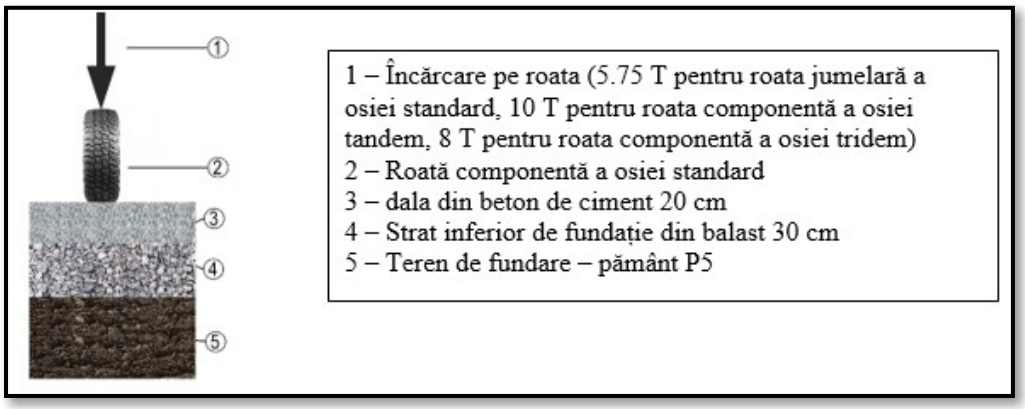


Figura 5. Structura rutieră rigidă analizată

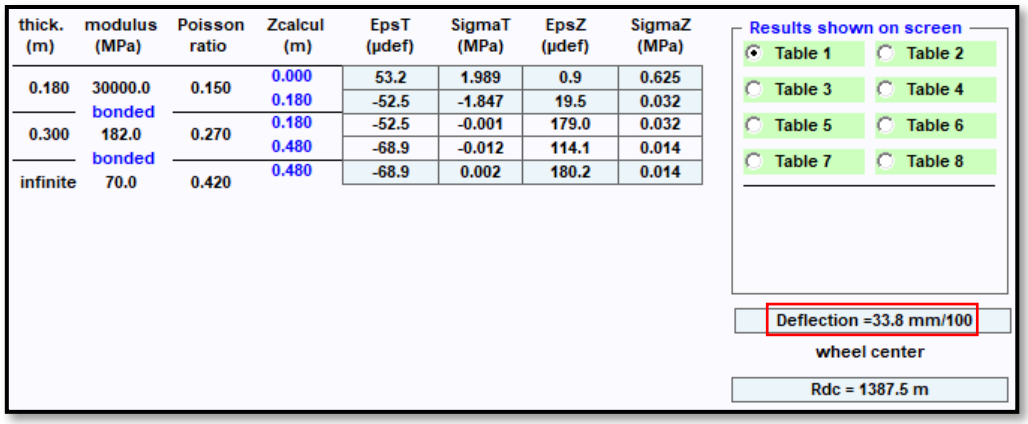


Figura 6. Rezultatul deflexiunii pentru structura rutieră rigidă analizată

Au fost realizate calcule utilizând software-ul CESAR – LCPC (3D), care este bazat pe Metoda Elementelor Finite (MEF). Acest software permite modelarea interacţiunii dintre straturile structurii rutiere, inclusiv în zona de contact dintre acestea, prin considerarea aderenţei interstrat.

3. ELEMENTE PRIVIND GRADUL DE DETALIERE AL ANALIZEI

Pentru structura rutieră flexibilă şi cea semirigidă a fost utilizat un model cu dimensiunile în plan: 10,6 m lungime şi 4,0 m lățime (o bandă carosabilă marginală). A fost considerată o lățime de 4,0 m, deoarece peste 90% din rețeaua de drumuri din România este reprezentată de drumuri cu o bandă de circulație pe sens. Pentru discretizarea cu elemente finite au fost utilizate elemente finite de volum tetraedrice, cu interpolare cuadratică între noduri.

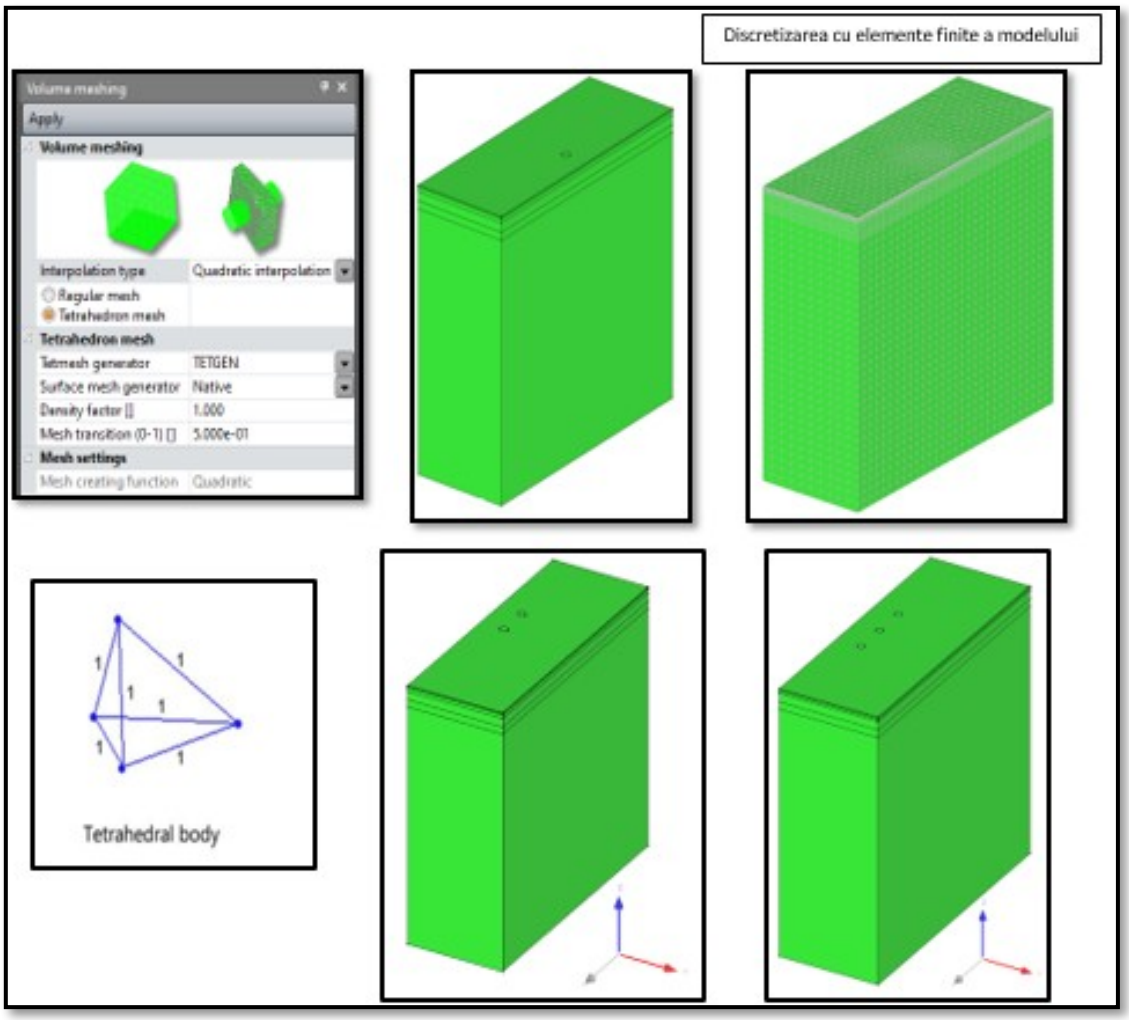


Figura 7. Model utilizat pentru discretizarea structurilor rutiere flexibile și semirigide

Încărcări considerate la nivelul structurii rutiere:

- sarcina pe osie: 115 kN (osia standard), 200 kN (osia tandem), respectiv 240 kN (osia tridem). Se aplică la 1 m distanță de margine;
- presiunea de contact: 0,625 MPa pentru toate tipurile de osii;
- raza suprafeței de contact: 17,1 cm (osia standard), 15,96 cm (osia tandem, cu distanța între axe 1,3 m), 14,27 cm (osia tridem, cu distanța între axe 1,3 m).

Condițiile de rezemare

- Stratul din pământ are blocate la bază (partea inferioară) deplasările pe axa z.
- Stratul de pământ are blocate prin condițiile de rezemare pe contur deplasările după x și y.

Pentru structura rutieră rigidă a fost utilizat un model cu dimensiunile în plan, pentru dala de beton și fundația din balast, de 6,0 m lungime și 3,6 m lățime (o bandă carosabilă marginală). Pentru terenul de fundare, modelul a fost extins cu

5,0 m în toate direcţiile faţă de conturul dalei, fiind considerată o grosime de 10,0 m. Acest model are la bază o serie de calcule proprii, inclusiv calcule privind determinarea zonei de influenţă a încărcărilor. Pentru discretizarea cu elemente finite au fost utilizate elemente finite de volum tetraedrice, cu interpolare cuadratică între noduri.

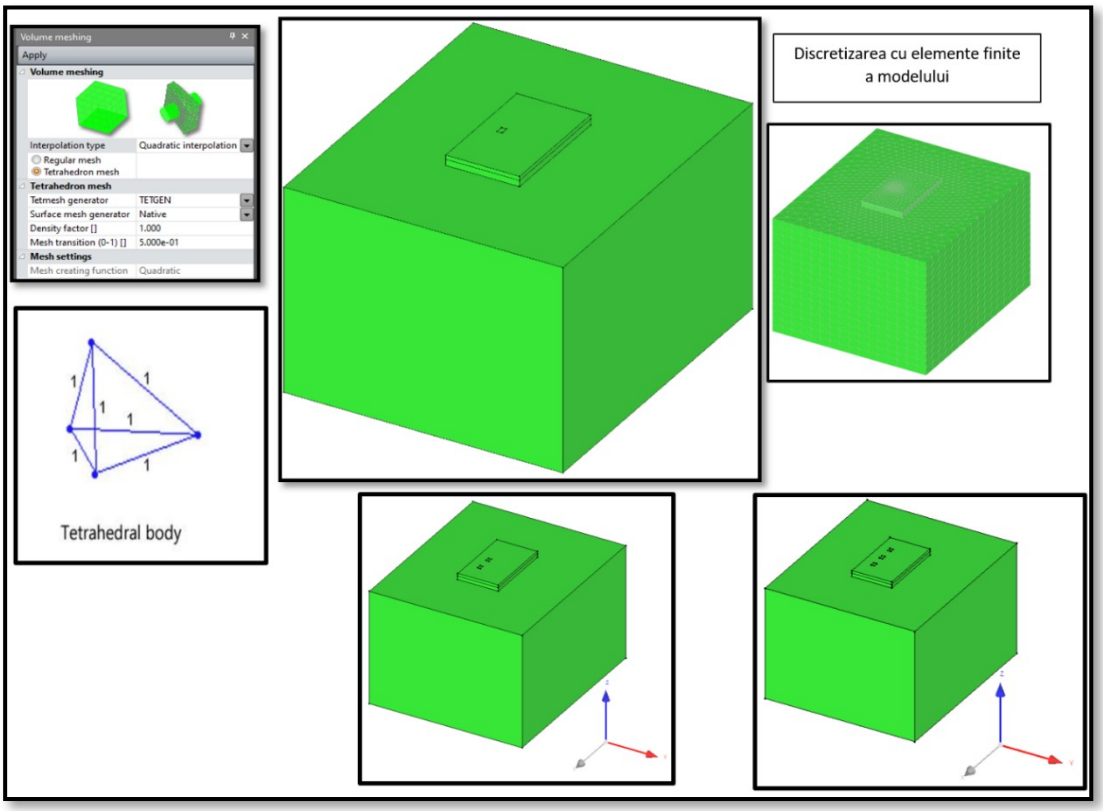


Figura 8. Model utilizat pentru discretizarea structurii rutiere rigide

Încărcări considerate la nivelul structurii rutiere:

- sarcina pe osie: 115 kN (osia standard), 200 kN (osia tandem), respectiv 240 kN (osia tridem). Încărcările sunt aplicate la o distanță de 1 m față de marginea structurii;
- presiunea aplicată pe amprentă: 0,746 MPa (osia standard), 0,649 MPa (osia tandem, cu distanța între axe 1,3 m), respectiv 0,519 MPa (osia tridem, cu distanța între axe 1,3 m);
- suprafața de contact: un dreptunghi de 37 cm × 25 cm (osia standard), două dreptunghiuri de 37 cm × 25 cm (osia tandem), trei dreptunghiuri de 37 cm × 25 cm (osia tridem).

Condiţii de rezemare

- stratul din pământ are blocate la bază (partea inferioară) deplasările pe direcţia axei z.
- stratul de pământ are blocate, prin condițiile de rezemare impuse pe contur, deplasările pe direcţiile x şi y.

4. ANALIZA REZULTATELOR OBȚINUTE ȘI CONCLUZII

Ca urmare a realizării calculelor cu software-ul CESAR LCPC au fost obținute rezultate pentru starea de eforturi și deformații pentru cele nouă modele studiate (a fost realizat câte un model pentru fiecare structură și tip de încărcare).

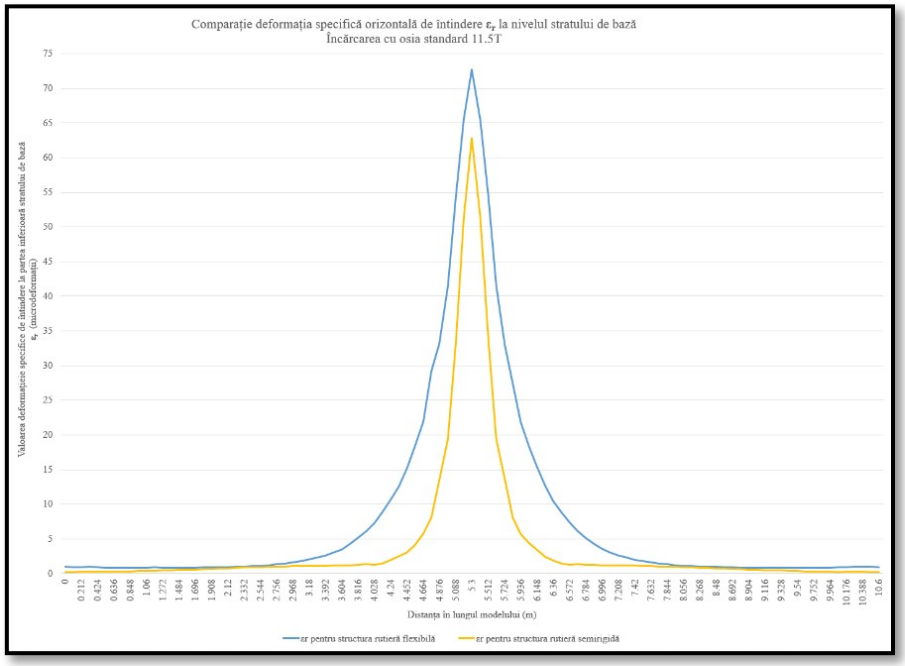


Figura 9. Comparația deformației specifice orizontale de întindere ε_r, la nivelul stratului de bază, la încărcarea cu osia standard 11,5 T

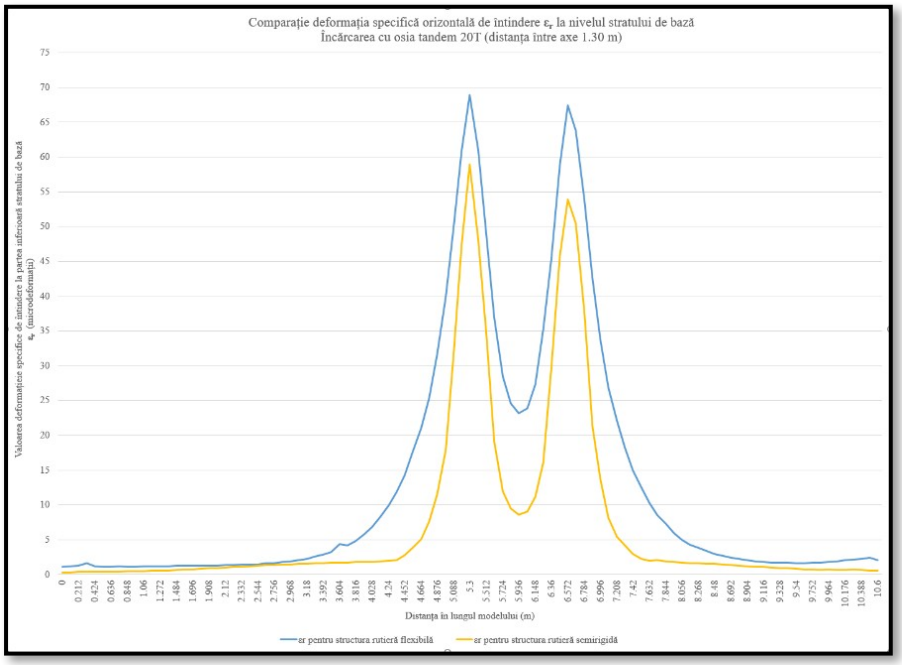


Figura 10. Comparația deformației specifice orizontale de întindere ε_r, la nivelul stratului de bază, la încărcarea cu osia tandem 20 T

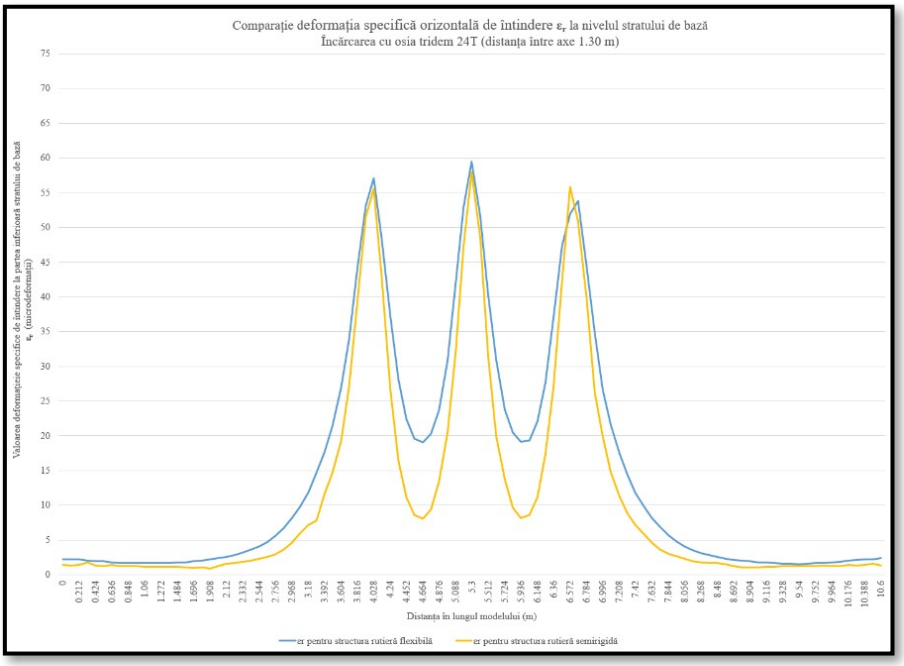


Figura 11. Comparația deformației specifice orizontale de întindere εr, la nivelul stratului de bază, la încărcarea cu osia tridem 24 T

Se observă că pentru toate tipurile de osii (osia standard 115 kN, osia tandem 200 kN, respectiv osia tridem 240 kN), în cazul structurii rutiere semirigide, valoarea deformației specifice orizontale de întindere ε_r la nivelul stratului de bază scade față de cazul structurii rutiere flexibile și astfel putem concluziona că, în cazul structurii semirigide, vom avea o comportare mai bună a straturilor de mixtură, cu condiția ca stratul superior de fundație din balast stabilizat să fie corect executat.

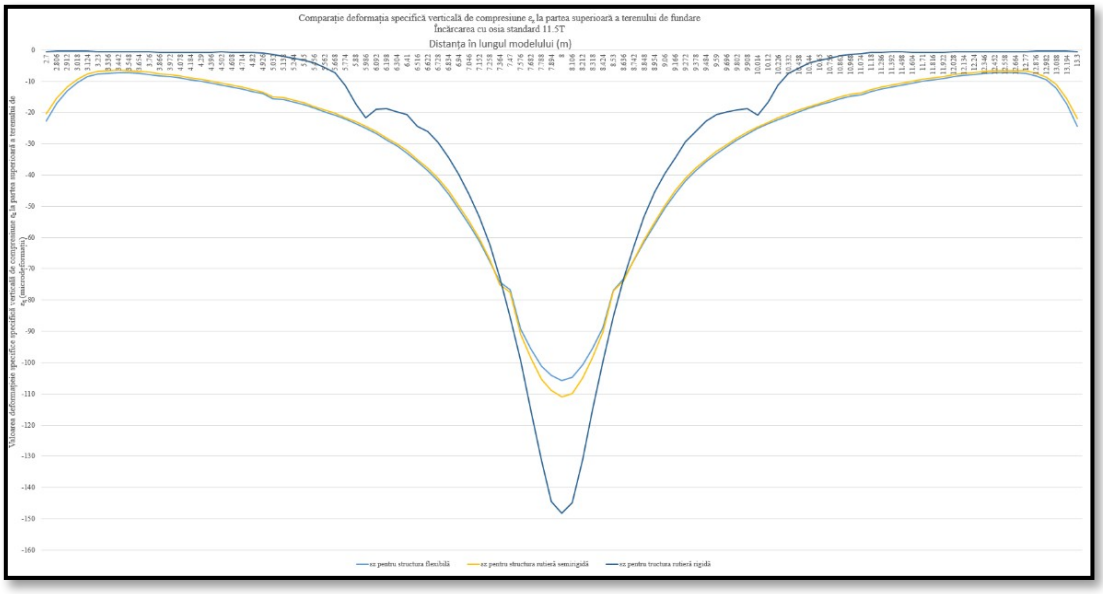


Figura 12. Comparația deformației specifice verticale ε_z, la partea superioară a terenului de fundare, la încărcarea cu osia standard 11,5 T

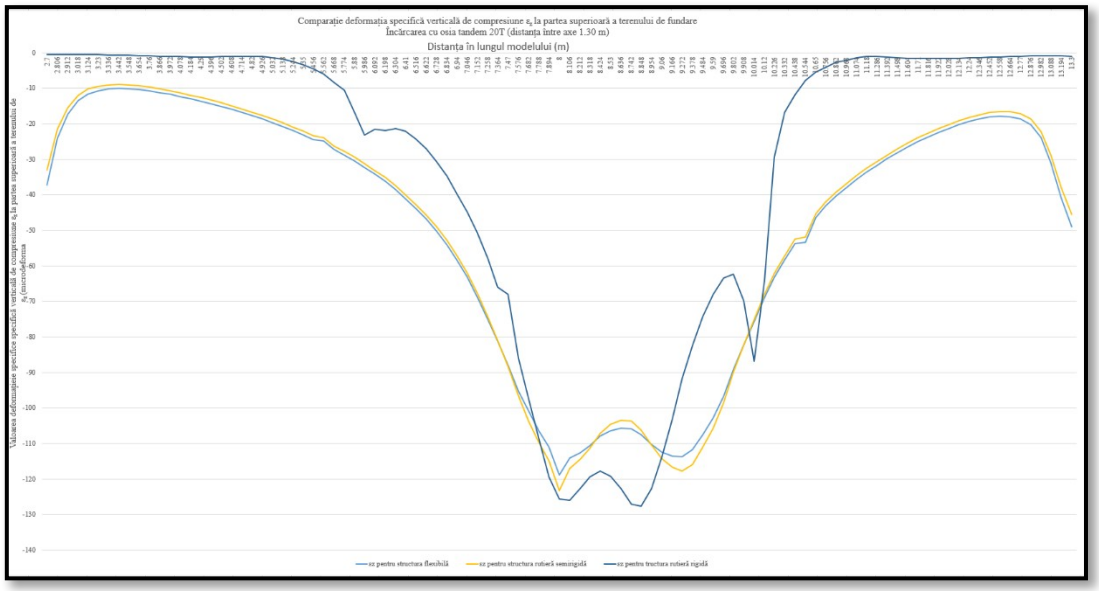


Figura 13. Comparația deformației specifice verticale ε_z, la partea superioară a terenului de fundare, la încărcarea cu osia tandem 20 T (distanța între axe 1,30 m)

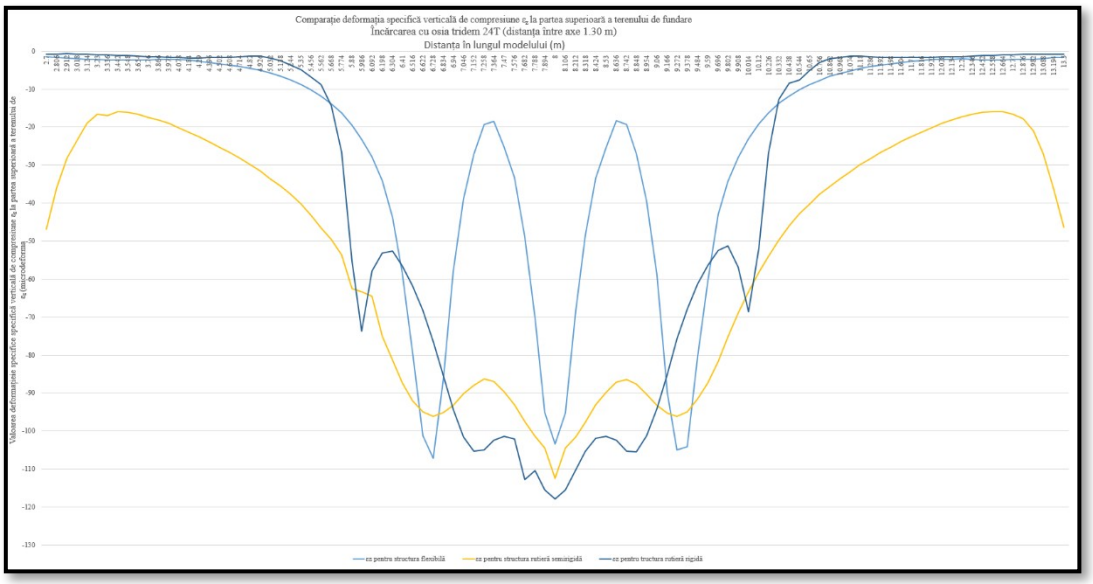


Figura 14. Comparația deformației specifice verticale ε_z, la partea superioară a terenului de fundare, la încărcarea cu osia tridem 24 T (distanța între axe 1,30 m)

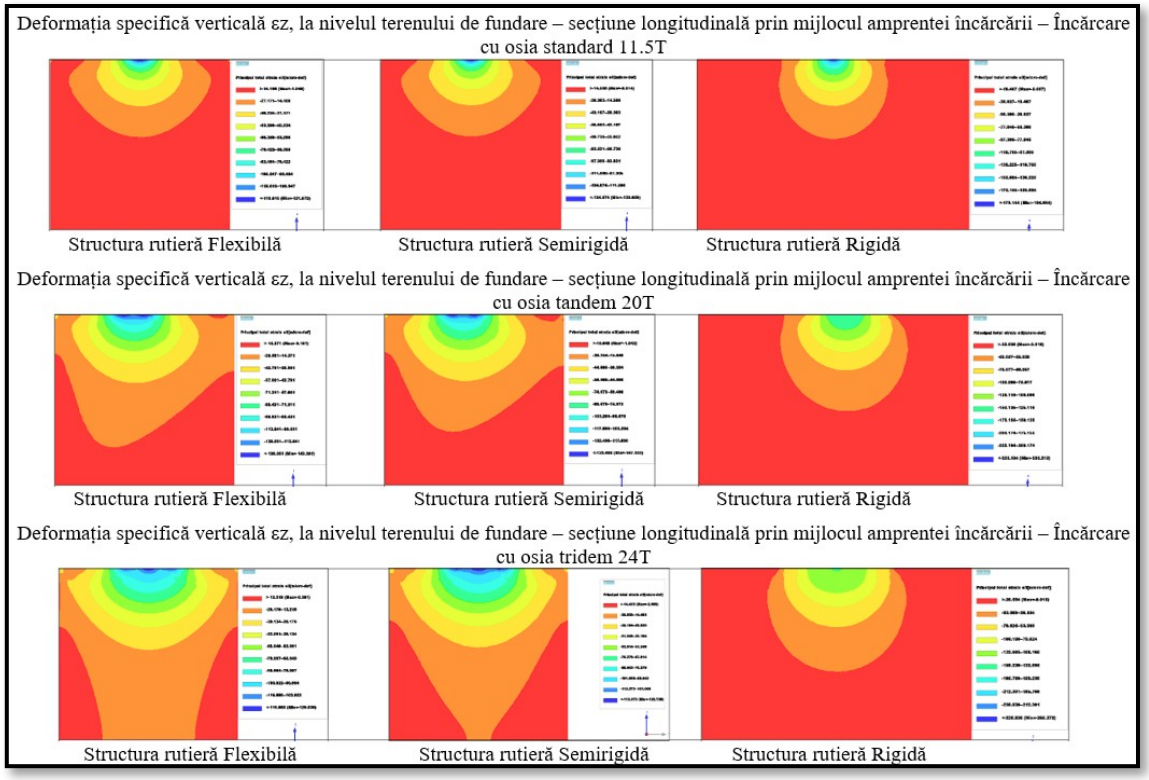


Figura 15. Comparația deformației specifice verticale ε_z

Se observă că pentru toate tipurile de osii (osia standard 115 kN, osia tandem 200 kN, respectiv osia tridem 240 kN), în cazul structurii rutiere semirigide, respectiv rigide, valoarea deformației specifice verticale de compresiune ε_z la partea superioară a terenului de fundare crește.

Având în vedere că s-a pornit de la trei structuri rutiere caracterizate prin deflexiuni similare, iar grosimile straturilor din mixturi asfaltice sunt considerabile în cazul structurilor rutiere semirigide și rigide, se poate concluziona că, pentru valori foarte mari ale traficului, este recomandată adoptarea unei structuri rutiere rigide. O structură rutieră cu performanțe similare, realizată integral din mixturi asfaltice, necesită grosimi mai mari ale straturilor și, implicit, costuri de execuție mai ridicate.

Alegerea unei structuri rutiere optime pleacă de la obiectivul dimensionării structurii rutiere, respectiv de a alege materialele potrivite cu grosimile corespunzătoare pentru stabilirea alcătuirii unei structuri rutiere optime (la un cost de execuție și întreținere minim), care să poată prelua încărcările din trafic pe perioada de perspectivă stabilită.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică),* Indicativ PD 177-**2001**

[2]. *ALIZE LCPC 3D User’s manual, version 1.5***, 2014**

[3]. *CESAR LCPC 3D User’s manual, version 1.2,* **2014**

STAREA DE EFORTURI ȘI DEFORMAȚII ÎN STRUCTURA RUTIERĂ FLEXIBILĂ, SEMIRIGIDĂ – STUDIU DE CAZ: ÎNCĂRCAREA CU UN AUTOVEHICUL CU SEMIREMORCĂ

Rey Liviu-Doru, ing., șef Serviciul GIS și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Ioniță Ștefan, dr.ing., Director Executiv, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro
Pâtiu Sorin, drd.ing., Director Direcția Inginerie și Studii de Teren, CESTRIN, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Progresul sistemelor de calcul și dezvoltarea capabilităților software moderne permit o analiză mult mai detaliată a problematicii aferente dimensionării structurilor rutiere. Prezenta lucrare își propune să investigheze durabilitatea structurilor rutiere prin efectuarea unei analize comparative asupra stării de eforturi din structurile rutiere flexibile și semirigide supuse încărcărilor generate de un autovehicul cu semiremorcă care are în alcătuire osia simplă, osia tandem și osia tridem. Pentru realizarea calculelor a fost utilizat software-ul CESAR–LCPC (3D), un instrument de modelare numerică bazat pe Metoda Elementelor Finite (MEF), care permite reprezentarea interacțiunii dintre straturile structurii rutiere și determinarea câmpurilor de eforturi și deplasări corespunzătoare.

Cuvinte cheie: metoda elementelor finite (MEF), structură rutieră flexibilă, structură rutieră semirigidă, osia tandem, osia tridem.

Abstract

Advances in computing systems and the development of modern software capabilities enable a more detailed analysis of issues related to pavement structure design. This paper aims to investigate the durability of pavement structures by conducting a comparative analysis of the stress state in flexible and semi-rigid pavement structures subjected to loads generated by a tractor-semitrailer vehicle featuring single, tandem, and tridem axle configurations. The calculations were performed using CESAR–LCPC (3D), a numerical modeling software based on the Finite Element Method (FEM), which enables the interaction between pavement layers to be modeled and the corresponding stress and displacement fields to be determined.

Keywords: finite element method (FEM), flexible pavement structure, semi-rigid pavement structure, tandem axle, tridem axle

1. INTRODUCERE

Obiectivul dimensionării structurii rutiere este alegerea materialelor adecvate, împreună cu grosimile corespunzătoare, pentru stabilirea unei structuri

rutiere optime. Aceasta trebuie să asigure preluarea încărcărilor din trafic pe perioada de perspectivă stabilită, la un cost de execuţie şi întreţinere minim. Structurile rutiere uzuale pot fi flexibile, semirigide sau rigide. Alegerea structurii rutiere optime se realizează printr-o analiză economică, care ia în considerare costurile de execuţie, avantajele din perioada de exploatare, costurile de întreţinere şi frecvenţa lucrărilor de intervenţie.

2. STRUCTURI RUTIERE ANALIZATE

Acest studiu de caz prezintă efectul încărcării asupra structurii rutiere produs de un autovehicul cu semiremorcă, alcătuit dintr-un cap tractor cu 3 osii, având masa totală de 21 t, şi o semiremorcă cu 3 osii, având masa totală de 23 t. Pentru realizarea calculului a fost utilizat software-ul CESAR–LCPC (3D), care permite modelarea interacţiunii dintre straturi şi determinarea eforturilor şi deplasărilor cu ajutorul metodei elementelor finite. Caracteristicile structurilor rutiere utilizate sunt prezentate în Tabelul 1 pentru structura rutieră flexibilă, respectiv în Tabelul 2 pentru structura rutieră semirigidă.

Tabelul 1. Structura rutieră flexibilă

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0,35
2	strat de legătură	6	3000	0,35
3	strat de bază	8	5000	0,35
4	strat superior de fundaţie din piatră spartă	25	500	0,27
5	strat inferior de fundaţie din balast	30	182*	0,27
6	Teren de fundare – pământ P5	100	70	0,42

* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD 177-2001. $E_{bal} = 0,20 \times h_{bal}^{0,45} \times E_p = 0,20 \times 300^{0,45} \times 70 = 182$ MPa

Tabelul 2. Structura rutieră semirigidă

Nr. crt.	Denumire strat	Grosime [cm]	Modul de elasticitate dinamic [MPa]	Coeficientul lui Poisson
1	strat de uzură	4	3300	0,35
2	strat de legătură	6	3000	0,35

3	strat de bază	8	5000	0,35
4	strat superior de fundație din agregate naturale stabilizate cu liant hidraulic	25	1000	0,25
5	strat inferior de fundație din balast	30	182*	0,27
6	Teren de fundare – pământ P5	100	70	0,42

* – modulul de elasticitate dinamic a fost calculat conform punctului 6.3. din normativul PD 177-2001. $E_{bal} = 0,20 \times h_{bal}^{0,45} \times E_p = 0,20 \times 300^{0,45} \times 70 = 182$ MPa

Pentru modelarea solicitării roții există patru parametri importanți care influențează rezultatele obținute. Acești parametri sunt: încărcarea pe osie/roată, presiunea de contact (presiunea de umflare), raza amprentei suprafeței echivalente de contact și distanța dintre roți.

Presiunea de contact (presiunea de umflare) diferă în funcție de tipul și dimensiunile pneului. Pentru calcul a fost considerată o presiune medie de 0,625 MN/m², rezultând, în funcție de încărcare, o amprentă circulară cu raza de 0,1345 m pentru roata simplă a capului tractor, o amprentă circulară cu raza de 0,1326 m pentru roțile jumelate ce alcătuiesc osia tandem a capului tractor, respectiv o amprentă circulară cu raza de 0,1357 m pentru roțile simple ce alcătuiesc osia tridem a semiremorcii.

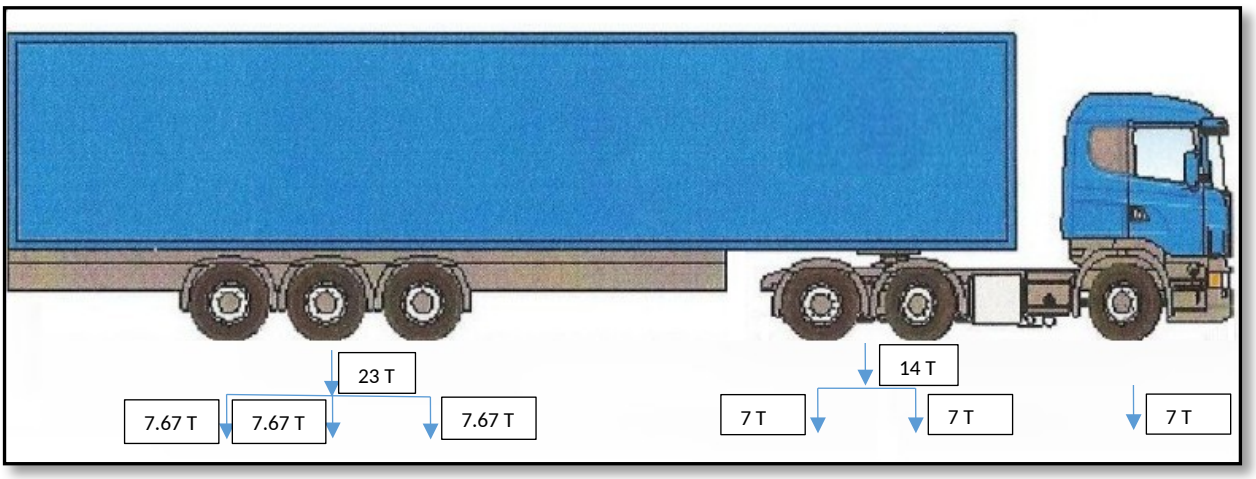


Figura 1. Autovehicul cu semiremorcă considerat pentru studiu

3. ELEMENTE PRIVIND GRADUL DE DETALIERE AL ANALIZEI

Pentru realizarea calculului a fost utilizat un model care constă în reprezentarea structurii rutiere sub forma unui paralelipiped, având la bază un dreptunghi cu dimensiunile 18,65 m × 7,00 m și o înălțime de 10,00 m pentru terenul de fundare. Peste acesta au fost așezate paralelipipede cu înălțimi corespunzătoare grosimii fiecărui strat din alcătuirea structurii.

Încărcarea a fost aplicată static, sub forma unei presiuni uniform distribuite pe amprenta roții, cu valoarea de 0,625 MPa. Primul șir de roți a fost amplasat la

1,00 m de marginea modelului, iar cel de-al doilea la o distanţă corespunzătoare, conform caracteristicilor autovehiculului.

Pentru discretizarea structurii au fost utilizate elemente finite de tip tetraedru, rezultând un număr de 204.709 noduri şi 147.992 elemente de volum de tip tetraedru.

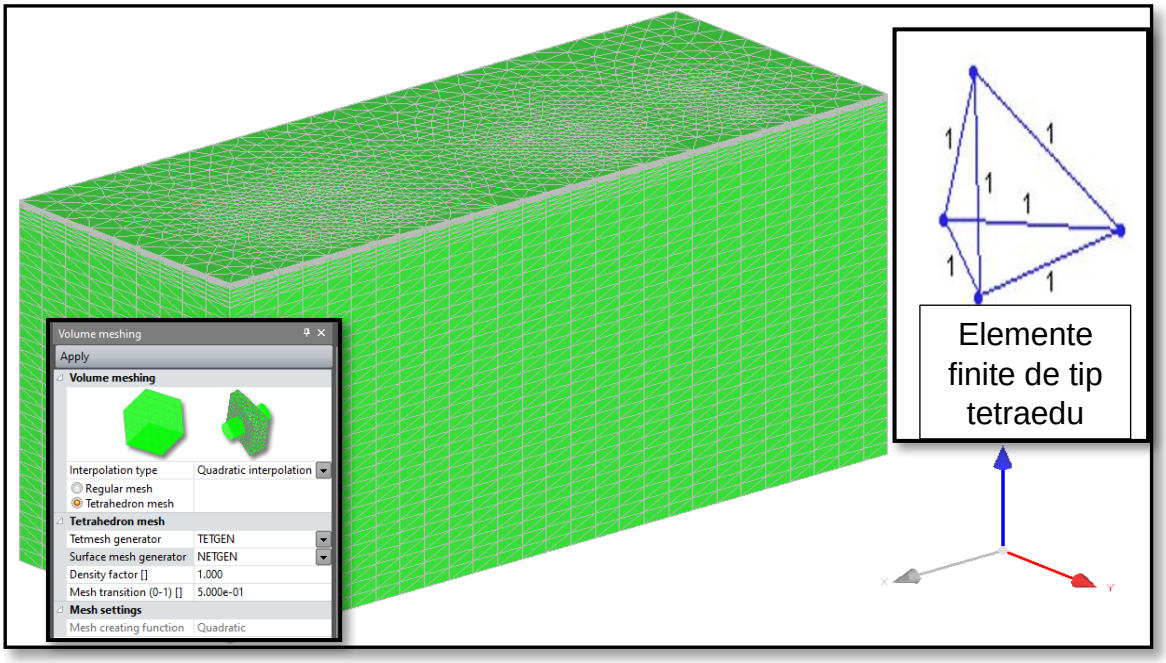


Figura 2. Model 3D utilizat pentru studiu

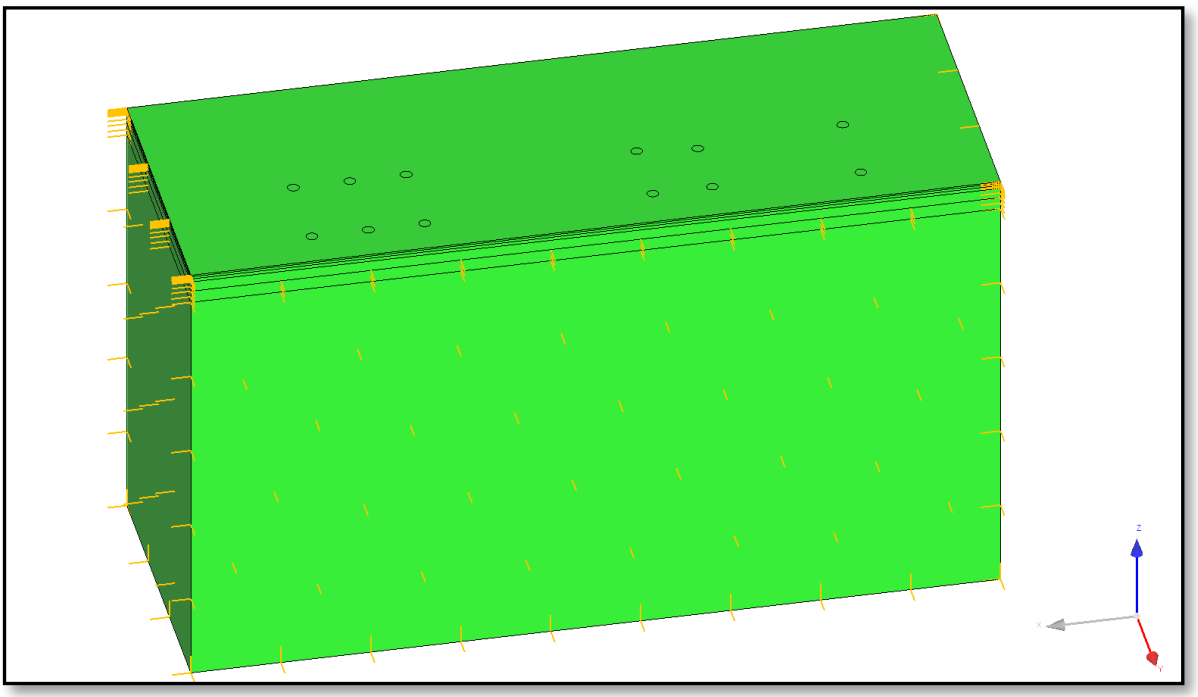


Figura 3. Condiţii de rezemare utilizate pentru studiu

Condițiile de rezemare aplicate au constat în blocarea deplasărilor perpendiculare pe planurile laterale, inclusiv la baza stratului de pământ, cu excepția straturilor de mixturi asfaltice și a stratului superior de fundație pe latura pe care roțile sunt amplasate la 1,0 m de margine.

4. ANALIZA REZULTATELOR OBȚINUTE ȘI CONCLUZII

Ca urmare a realizării calculelor cu software-ul CESAR LCPC au fost obținute rezultate pentru starea de eforturi și deformații pentru cele nouă modele studiate (a fost realizat câte un model pentru fiecare structură și tip de încărcare).

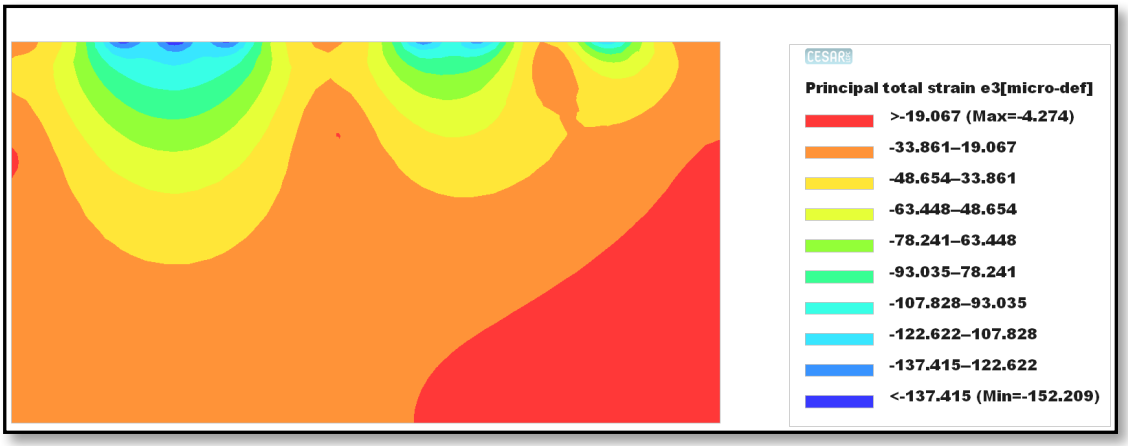


Figura 4. Deformația specifică verticală de compresiune ε_z a terenului de fundare – model aferent structurii rutiere flexibile
(secțiune longitudinală prin roțile dinspre acostament)

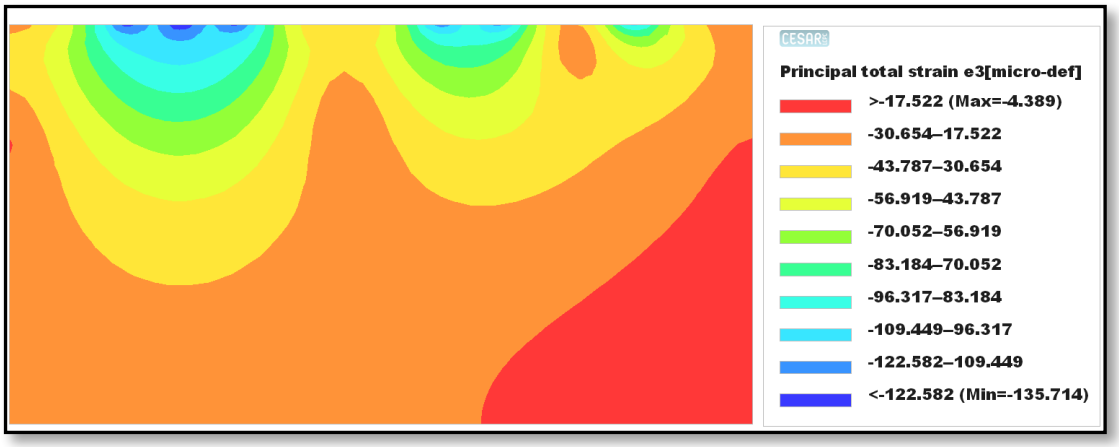


Figura 5. Deformația specifică verticală de compresiune ε_z a terenului de fundare – model aferent structurii rutiere semirigide
(secțiune longitudinală prin roțile dinspre acostament)

Din analiza diagramelor de deformație specifică verticală de compresiune ε_z a terenului de fundare, în secțiune longitudinală prin roțile dinspre acostament,

se poate trage concluzia că efectul osiei tridem se transmite pe o adâncime mai mare decât în cazul osiei tandem, pentru ambele structuri rutiere analizate.

Pentru structura rutieră semirigidă se observă o reducere a deformației specifice verticale de compresiune ε_z la nivelul terenului de fundare, precum și o reducere a valorilor deformației specifice orizontale de întindere ε_r la nivelul inferior al stratului de bază.

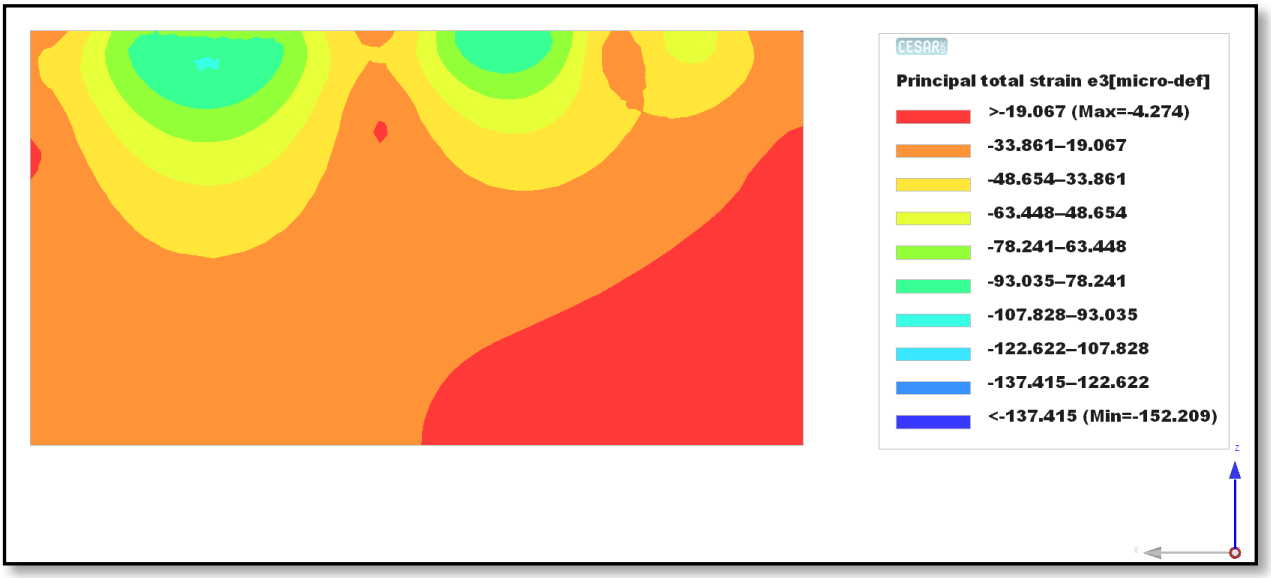


Figura 6. Deformația specifică verticală de compresiune ε_z a terenului de fundare – model aferent structurii rutiere flexibile (secțiune longitudinală prin axa autovehiculului)

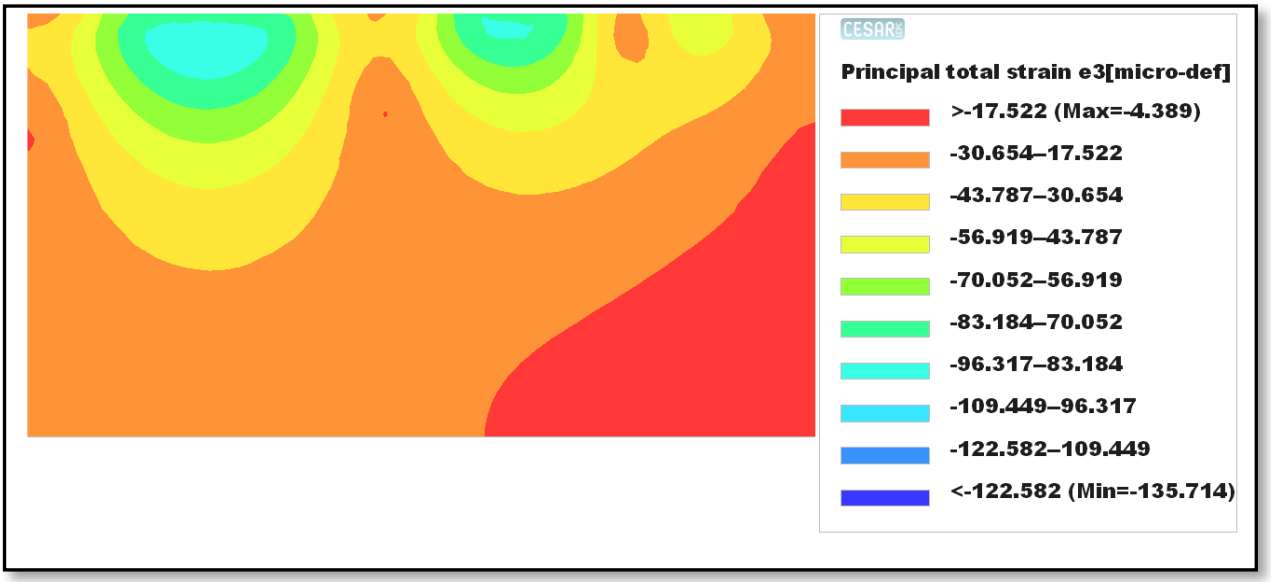


Figura 7. Deformația specifică verticală de compresiune ε_z a terenului de fundare – model aferent structurii rutiere semirigide (secțiune longitudinală prin axa autovehiculului)

Analizând rezultatele prezentate, se poate observa modul diferit în care cele două structuri rutiere răspund la încărcarea produsă de un autovehicul cu semiremorcă. Diferențele apar datorită rigidității mai mari a stratului de agregate naturale stabilizate cu lianți hidraulici, ceea ce conduce la creșterea suprafeței pe care se transmit încărcările către terenul de fundare și, implicit, la reducerea deformației specifice verticale de compresiune ε_z la nivelul acestuia, precum și la reducerea valorilor deformației specifice orizontale de întindere ε_r la nivelul inferior al stratului de bază.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică),* Indicativ PD 177-**2001**

[2]. *ALIZE LCPC 3D User’s manual, version 1.5***, 2014**

[3]. *CESAR LCPC 3D User’s manual*, *version 1.2*, **2014**

INTEGRAREA RESTRICȚIILOR DE VITEZĂ ÎN EVALUAREA EFICIENȚEI ENERGETICE A SERVICIILOR FEROVIARE METROPOLITANE

Roşeanu Ştefan, drd., Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București, stefan.roseanu@stud.mec.upb.ro
Nică Ioan Flaviu, asist.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, flaviu.nica@utcb.ro

Rezumat

Articolul propune un cadru preliminar pentru integrarea restricțiilor de viteză în evaluarea efectelor energetice și operaționale ale intervențiilor asupra infrastructurii feroviare metropolitane. Metoda combină o tipologie operațional-energetică, o procedură comparativă în șase pași, un set minim de date și un protocol de validare; scenariile de referință și de intervenție sunt comparate la aceeași prestație prin bilanțul energiei nete și indicatori specifici. Contribuția constă în trasabilitatea trecerii de la identificarea mecanismului dominant la modelare și verificare. Exemplul ipotetic aplică relațiile energetice și arată că efectul estimat depinde de masa trenului, severitatea restricției, regenerarea și randamentul tracțiunii. Cadrul sprijină prioritizarea investigațiilor, nu declararea anticipată a economiilor sau selectarea automată a lucrărilor; validarea necesită modelarea întregului profil și măsurători sincronizate înainte și după intervenție.

Cuvinte cheie: infrastructură feroviară, restricții de viteză, eficiență energetică, profil de mers, tren metropolitan, monitorizare

Abstract

This article proposes a preliminary framework for integrating speed restrictions into the assessment of the energy and operational effects of interventions on metropolitan railway infrastructure. The method combines an operational and energy-related typology, a six-step comparative procedure, a minimum dataset, and a validation protocol; it compares reference and intervention scenarios at equivalent transport output using the net-energy balance and specific indicators. Its contribution is a traceable progression from identifying the dominant mechanism to modelling and verification. The hypothetical example applies the energy relations and shows that the estimated effect depends on train mass, restriction severity, regenerative braking and traction efficiency. The framework supports prioritising investigations rather than claiming savings in advance or automatically selecting works;

validation requires modelling the complete speed profile and synchronised measurements before and after the intervention.

Keywords: railway infrastructure, speed restrictions, energy efficiency, speed profile, metropolitan rail, monitoring

1. INTRODUCERE

Serviciile feroviare metropolitane impun opriri dese, frecvență ridicată și mers robust; restricțiile pot introduce cicluri suplimentare de frânare–accelerare, influențate de amplasare, profil, masă, tracțiune, receptivitatea rețelei și de graficul [1–5, 12]. Cercetarea integrează poziția, lungimea și severitatea lor într-o evaluare dependentă de serviciu și de materialul rulant. Contribuția combină tipologia, procedura în șase pași, setul minim de date și validarea într-un instrument reproductibil care separă efectele energetice și operaționale și indică investigațiile necesare.

2. FUNDAMENTE ENERGETICE ȘI OPERAȚIONALE

Tracțiunea acoperă rezistențele, accelerarea, declivitățile și curbele [1, 3–5], iar energia netă rezultă din bilanțul energiei absorbite, regenerării și a energiei auxiliare [1, 2, 13–15]. Frânarea suplimentară disipează sau recuperează parțial energia cinetică, care este reintrodusă la reaccelerare; energia mecanică diferă de energia netă la pantograf [1, 2, 12]. Degradarea căii poate determina restricții [6–9], cu efect dependent de traseu și vehicul; operațional, timpul, cadența și conflictele impun raportarea separată a energiei, a frecvenței și a capacității [10, 12].

3. TIPOLOGIA RESTRICȚIILOR DE VITEZĂ

Tabelul 1 clasifică restricțiile individuale sau grupate după poziție, viteze, lungime, distanța la opriri, profil, curbe, semnalizare și relația cu alte trase, indicând mecanismul și datele necesare [1–5, 10, 12].

Tabelul 1. Tipologia operațional-energetică a restricțiilor

Tip	Caracterizare	Efect probabil	Verificare necesară
Aproape de oprire	Suprapunere cu frânarea comercială	Impact energetic redus; efect temporal posibil	Distanța la peron; curba de frânare
Izolată în sector constant	Limitare între sectoare cu viteză superioară	Ciclu suplimentar frânare–accelerare	Profil de viteză, masă, regenerare
Succesiune de restricții	Limitări apropiate fără revenire completă	Efect neliniar; conducere dependentă de ansamblu	Modelarea sectorului complet
Pe declivitate	Restricție pe urcare sau coborâre	Interacțiune cu energia potențială	Profil longitudinal; sens de mers
În nod sau bifurcație	Macazuri, semnalizare sau trase conflictuale	Impact asupra capacității și regularității	Grafic, intervale, rute conflictuale
Temporară și variabilă	Durată sau limită variabilă	Comparabilitate redusă a datelor	Istoric și versiunea datelor

4. METODOLOGIA DE EVALUARE

Metoda este comparativă și se aplică la aceeași relație feroviară. Scenariul de referință descrie infrastructura și exploatarea cu restricția existentă, iar scenariul de intervenție descrie parametrul restaurat sau soluția propusă. Pentru a izola efectul infrastructurii, se mențin, pe cât posibil, același material rulant, aceeași compunere, aceleași opriri, aceeași perioadă de analiză, același volum de circulație și aceleași reguli de tratare a serviciilor auxiliare [1, 10, 12].

Procedura este organizată în șase pași succesivi, de la delimitarea obiectului analizei până la verificarea robusteții rezultatelor, conform Tabelului 2.

Tabelul 2. Schema metodologică în șase pași

Pas	Etapă	Rezultat	Criteriu de trecere
1	Delimitarea sectorului și localizarea restricției	Sector, sens și unitate de analiză definite	Poziții, viteze și relația cu opririle sunt documentate
2	Construirea profilurilor de viteză fezabile	Profiluri comparabile pentru referință și intervenție	Sunt respectate infrastructura, tracțiunea, frânarea și opririle
3	Estimarea efectelor asupra timpului, energiei și regenerării	Diferențe preliminare cuantificate separat	Limita sistemului, unitățile și ipotezele sunt identice
4	Verificarea efectelor asupra traselor și regularității	Impactul operațional și conflictele sunt identificate	Graficul rămâne fezabil și indicatorii operaționali sunt raportați
5	Compararea energiei măsurate sau modelate	Diferență energetică normalizată între scenarii	Cursele, prestația și tratarea auxiliarelor sunt comparabile
6	Analiza sensibilității și validarea rezultatelor	Intervale, factori dominanți și nivel de încredere	Concluzia rămâne stabilă sau este declarată preliminară

Energia mecanică pozitivă la roată poate fi estimată prin integrarea puterii pozitive determinate de rezistența de bază, termenul inerțial, declivitatea și rezistența în curbe [3–5]. Evaluarea operațională utilizează timpul de parcurs, abaterea față de grafic, marja de regularizare și, dacă este cazul, numărul de trenuri pe oră. Evaluarea energetică utilizează energia netă pe cursă și consumul specific în kWh/tren-km. Indicatorii raportați la loc-km sau călător-km sunt necesari atunci când scenariile modifică oferta sau încărcarea [1, 10, 12].

O intervenție este considerată evaluabilă energetic numai dacă energia și prestația sunt stabilite pentru același ansamblu de curse și aceeași perioadă, iar energia absorbită, energia regenerată, restituită și acceptată de rețea, precum și consumurile auxiliare sunt tratate în același contur de bilanț. Rezultatele modelate înainte de intervenție nu trebuie prezentate ca economii confirmate. Confirmarea necesită măsurători comparabile după realizarea lucrărilor [1, 2, 10, 12–14].

4.1. Formularea indicatorilor energetici

Calculul se realizează pentru aceeași limită de sistem, același ansamblu de curse și aceeași perioadă atât în scenariul de referință, cât și în scenariul de intervenție. Pentru tracțiunea electrică, energia netă preluată din rețea se determină prin relația:

$$E_{net} = E_{|,|tr} - E_{reg} + E_{aux,sep} \quad (1)$$

unde: E_{net} – energia electrică netă preluată din rețeaua de alimentare pentru tracțiune și servicii auxiliare, exprimată în kWh;

$E_{|,|tr}$ – energia electrică absorbită din rețea exclusiv de lanțul de tracțiune, exprimată în kWh;

E_{reg} – energia restituită efectiv și acceptată de rețea, exprimată în kWh;

$E_{aux,sep}$ – energia consumată de serviciile auxiliare, măsurată separat, exprimată în kWh. Dacă $E_{|,|tr}$ este măsurată la pantograf și include serviciile auxiliare, se adoptă $E_{aux,sep}$ = 0, pentru a evita dublarea contabilizării [1, 2, 13–15].

Pentru compararea scenariilor, energia netă se normalizează prin împărțirea cu prestația corespunzătoare. Se utilizează următorii indicatori:

$$e_{tr-km} = \frac{E_{net}}{D_{tren}} \quad (2a)$$

$$e_{loc-km} = \frac{E_{net}}{D_{loc}} \quad (2b)$$

în timp ce

$$D_{loc} = \sum_j C_j \cdot d_j \quad (2b.1)$$

$$e_{căl-km} = \frac{E_{net}}{D_{căl}} \quad (2c)$$

în timp ce

$$D_{căl} = \sum_j N_j \cdot d_j \quad (2c.1)$$

unde: e_{tr-km} – consumul specific de energie electrică netă raportat la volumul de circulație al trenurilor, exprimat în kWh/tren-km;

e_{loc-km} – consumul specific de energie electrică netă raportat la capacitatea oferită, exprimat în kWh/loc-km;

$e_{căl-km}$ – consumul specific de energie electrică netă raportat la prestația efectivă a călătorilor, exprimat în kWh/călător-km;

D_{tren} – volumul de circulație al trenurilor, egal cu suma distanțelor parcurse de toate cursele incluse în perioada analizată, exprimat în tren-km;

D_{loc} – capacitatea oferită raportată la distanță, calculată prin însumarea produselor dintre capacitatea oferită și distanța parcursă pentru fiecare cursă sau tronson omogen, exprimată în loc-km;

C_j – capacitatea oferită de tren pe cursa sau tronsonul j, exprimată în locuri;

d_j – distanța parcursă pe cursa sau tronsonul j, exprimată în km;

$D_{căl}$ – prestația efectivă a călătorilor, calculată prin însumarea produselor dintre numărul călătorilor transportați și distanța parcursă de aceștia pe fiecare tronson, exprimată în călător-km;

N_j – numărul de călători prezenți în tren pe tronsonul j, exprimat în călători;

j – indicele unității de calcul — cursă sau tronson omogen — utilizat consecvent în suma respectivă.

Indicatorul e_{tr-km} este obligatoriu pentru compararea energetică de bază; e_{loc-km} și $e_{căl-km}$ se adaugă atunci când oferta sau încărcarea diferă între scenarii [1, 12].

Efectul energetic al intervenției se exprimă atât în valoare absolută, cât și relativă, după aducerea scenariului de referință la aceeași prestație:

$$\Delta E_{net} = E_{net,ref,c} - E_{net,\int ¿¿} \quad (3)$$

$$r_E = 100 \cdot \frac{\Delta E_{net}}{E_{net,ref,c}} \quad (4)$$

$$E_{net,ref,c} = e_{tr-km,ref} \cdot D_{tren,\int ¿¿} \quad (5)$$

unde: ΔE_{net} – economia de energie electrică netă obținută în scenariul de intervenție față de scenariul de referință corectat la aceeași prestație, exprimată în kWh pentru perioada analizată; o valoare pozitivă indică reducerea consumului;

$E_{net,ref,c}$ – energia electrică netă a scenariului de referință, corectată la volumul de circulație al scenariului de intervenție și determinată pentru aceeași perioadă, exprimată în kWh;

$E_{net,\int ¿¿}$ – energia electrică netă a scenariului cu intervenție, determinată pentru perioada și prestația analizate, exprimată în kWh;

r_E – reducerea relativă a consumului de energie electrică netă în scenariul de intervenție față de scenariul de referință corectat, exprimată în %; o valoare pozitivă indică o reducere, iar una negativă indică o creștere;

$e_{tr-km,ref}$ – consumul specific al scenariului de referință, calculat conform relației (2a), exprimat în kWh/tren-km;

$D_{tren,\int ¿¿}$ – volumul de circulație al trenurilor din scenariul de intervenție, egal cu suma distanțelor parcurse de cursele incluse în perioada analizată, exprimat în tren-km.

Prin convenție, valorile pozitive ale ΔE_{net} și r_E indică o reducere a consumului, iar valorile negative indică o creștere.

Pentru verificarea fizică a modelului de mers, energia mecanică pozitivă furnizată la roată poate fi estimată prin:

$$E_{mec,+¿¿=\frac{1}{3,6\cdot 10^6}\cdot \int max\{0,[F_r(v)¿+m_{ef}\cdot a+m\cdot g\cdot i+F_c]\cdot v\}\cdot dt¿¿}$$

(6)

unde: $E_{mec,+¿¿}$ – energia mecanică pozitivă furnizată la roată în intervalul analizat, exprimată în kWh;

$F_r(v)$ – rezistența de bază pe cale dreaptă și în palier, exprimată în N;

m_{ef} – masa efectivă utilizată exclusiv pentru termenul inerțial, exprimată în kg, cu $m_{ef} = m \cdot (1 + \kappa)$, unde κ este coeficientul echivalent adimensional al maselor rotative;

a – accelerația longitudinală, exprimată în m/s²;

m – masa fizică totală a trenului, utilizată pentru calcularea rezistenței datorate declivității, exprimată în kg;

g – accelerația gravitațională, exprimată în m/s²; uzual g = 9,81 m/s²;

i – declivitatea adimensională, exprimată în m/m și considerată pozitivă la urcare; pentru declivități mici, $m \cdot g \cdot i$ aproximează $m \cdot g \cdot \sin \alpha$;

i – rezistența în curbe, dacă nu este inclusă în $F_r(v)$, exprimată în N;

v – viteza trenului, exprimată în m/s;

t – timpul, exprimat în s.

În convenția de calcul adoptată, termenii $F_r(v)$, $m_{ef}\cdot a$, $m\cdot g\cdot i$ și $m\cdot g\cdot i$ au unitatea N; înmulțirea cu v conduce la W, iar integrarea în timp produce J. Împărțirea la $3,6 \cdot 10^6$ transformă rezultatul în kWh, iar operatorul max{0, …} reține numai puterea mecanică pozitivă asociată tracțiunii [3–5].

$E_{mec,+¿¿}$ nu este echivalentă cu E_{net}. Conversia necesită randamente calibrate ale lanțului de tracțiune, modelarea separată a frânării regenerative și tratarea consumurilor auxiliare. În consecință, indicatorii de eficiență se raportează în

principal la energia electrică măsurată, iar relația mecanică servește la simulare și controlul plauzibilității [1–5, 12–15].

În această metodologie, „eficiența energetică” este operaționalizată prin consumurile specifice e_{tr-km}, e_{loc-km} și $e_{căl-km}$ și prin reducerea r_E; nu reprezintă randamentul termodinamic al vehiculului. O valoare mai mică a consumului specific indică o performanță energetică mai bună numai pentru scenarii comparabile.

Pentru cuantificarea energiei cinetice asociate reducerii vitezei de la v_1 la v_2 se utilizează relația:

$$\Delta E_c = \frac{0,5 \cdot m_{ef} \cdot \left(v_1^{\,2} - v_2^{\,2} \right)}{3,6 \cdot 10^6} \qquad (7)$$

unde: ΔE_c – diferența de energie cinetică, exprimată în kWh;
v_1 – viteza înaintea reducerii, exprimată în m/s;
v_2 – viteza după reducere, exprimată în m/s.

Factorul 3,6 · 10^6 transformă energia din J în kWh, iar relația se aplică pentru $v_1 \geq v_2$.

Verificarea dimensională arată că relațiile (1), (3) și (5) produc energie în kWh; relațiile (2a)–(2c) produc consumuri specifice, iar relațiile (2b.1) și (2c.1) produc prestații în loc-km și, respectiv, călător-km. Relația (4) este adimensională și se exprimă în procente, iar relațiile (6) și (7) transformă energia mecanică din J în kWh prin factorul 3,6 · 10^6. Convenția semnelor este unitară: $E_{|,|tr}$, E_{reg} și $E_{aux,sep}$ sunt mărimi pozitive, E_{reg} se scade în bilanț, i este pozitivă la urcare, iar ΔE_{net} pozitivă indică economie de energie. Setul minim de date necesar aplicării este prezentat în Tabelul 3 [1–5, 10–14].

Tabelul 3. Setul minim de date pentru evaluare

Domeniu	Date	Sursă
Infrastructură	Poziții kilometrice, viteze, lungimi, declivități, curbe, macazuri	Date de rețea și măsurători ale căii
Restricții	Cauză, început, sfârșit, valoare, durată și versiune	Registrul administratorului infrastructurii
Vehicul	Masă, putere, curbe de tracțiune și frânare, randamente, auxiliare	Specificație și model calibrat
Circulație	Viteză, poziție, timp, opriri, întârzieri și sens	GNSS, odometru și jurnal de circulație
Energie	Energie absorbită, energie regenerată, restituită și acceptată de rețea, precum și consum auxiliar	Contor bidirecțional și sistemul vehiculului
Context	Temperatură, încărcare, incidente și comenzi de exploatare	Sisteme operaționale și meteorologice

Tabelul 3 încheie etapa de definire a datelor și a condițiilor de comparabilitate. Secțiunea următoare aplică relațiile (1)–(7) unui exemplu ipotetic, pentru a arăta cum se trece de la profilul restricției și bilanțul energetic la indicatorii normalizați și la verificarea mecanică.

5. EXEMPLU IPOTETIC

Se analizează un sector ipotetic, de 10 km, parcurs de aceeași ramă electrică, în două scenarii. Trenul are 300 de locuri, 150 de călători echivalenți și masa efectivă m_{ef} = 160 t. În scenariul de referință, o restricție izolată impune ciclul 100–40–100 km/h; în scenariul de intervenție, restricția este eliminată. Datele sintetice sunt: $E_{|,|tr}$ = 126,30 kWh, E_{reg} = 18,00 kWh, $E_{|,|\int ¿¿}$ = 116,00 kWh și $E_{reg,\int ¿¿}$ = 16,00 kWh; energia auxiliară este inclusă în $E_{|,|tr}$, deci $E_{aux,sep}$= 0.

Statutul ipotezelor. Masa, capacitatea și vitezele sunt adoptate ca valori ilustrative de ordin de mărime pentru o ramă electrică metropolitană, dar valorile energetice și coeficienții utilizați sunt exclusiv sintetici, nu măsurați. Exemplul verifică aplicarea relațiilor și sensibilitatea mecanismului; nu estimează consumul unui vehicul sau al unui traseu real.

Calculul indicatorilor electrici, relațiile (1)–(5). Exemplul aplică partea cantitativă a pașilor 3 și 5 din schema metodologică, după definirea ipotetică a sectorului și a profilurilor din pașii 1 și 2.

Rezultă

$E_{net,ref}$ = 126,30 − 18,00 = 108,30 kWh (8)

$E_{net,\int ¿¿}$ = 116,00 − 16,00 = 100,00 kWh (9)

Pentru 10 tren-km, 3.000 loc-km și 1.500 călător-km, consumurile sunt de 10,83 față de 10,00 kWh/tren-km, 0,0361 față de 0,0333 kWh/loc-km și 0,0722 față de 0,0667 kWh/călător-km.

Cum prestația este identică, $E_{net,ref}, c$ = 108,30 kWh, iar ΔE_{net} = 8,30 kWh și r_E = 7,66%; semnul pozitiv indică economie de energie.

Verificarea mecanică, relația (6). Aceasta controlează plauzibilitatea energetică a profilului construit, fără a înlocui comparația electrică.

Pentru izolarea ciclului suplimentar se consideră

i = 0, F_c = 0

și se neglijează lucrul rezistenței de bază pe durata reaccelerării.

În substituție se adoptă $F_r(v)$ = 0 N, deoarece lucrul rezistenței de bază este neglijat în verificarea simplificată; m_{ef} = 160.000 kg; i = 0 m/m; g = 9,81 m/s²; F_c = 0 N; v variază de la 40 la 100 km/h, adică de la 40/3,6 la 100/3,6 m/s; iar integrala ∫a · v dt este evaluată ca ($v_1^2 - v_2^2$)/2. Masa fizică m nu influențează rezultatul, deoarece termenul mgi este nul pentru i = 0.

$$E_{mec,+¿} = \frac{\int max[0;(0+160.000\cdot a+m\cdot 9,81\cdot 0+0)\cdot v]\,dt}{3,6\cdot 10^6} = \frac{\int 160.000\cdot a\cdot v\,dt}{3,6\cdot 10^6} = \frac{0,5\cdot 160.000\cdot[\left(\frac{100}{3,6}\right)^2\cdot\left(\frac{40}{3,6}\right)^2]}{3.600.000} \approx 14,40\,kWh¿$$

(10)

Valoarea reprezintă energia mecanică la roată necesară revenirii de la 40 la 100 km/h.

Controlul prin energia cinetică, relația (7). Calculul oferă o verificare independentă a componentei inerțiale în ipotezele simplificate.

Aplicând relația (7) aceluiași ciclu, se obține:

Cu m_{ef} = 160.000 kg, v_1 = 27,78 m/s și v_2 = 11,11 m/s, rezultă

Valorile vitezelor sunt afișate rotunjit la două zecimale; calculul din relația (11) utilizează conversiile nerotunjite 100/3,6 m/s și 40/3,6 m/s.

$$\Delta E_c = \frac{0,5\cdot 160.000\cdot[(\frac{100}{3,6})^2 - (\frac{40}{3,6})^2]}{3,6\cdot 10^6} = \frac{51.851.851,85}{3.600.00} \approx 14,40\,kWh \quad (11)$$

Relațiile (10) și (11) produc aceeași valoare deoarece, pentru $F_r(v)$ = 0, i = 0 și F_c = 0, relația (6) se reduce la

$$\int m_{ef}\cdot a\cdot v\,d = \frac{m_{ef}\cdot(v_1^2 - v_2^2)}{2} \quad (12)$$

adică exact diferența de energie cinetică din relația (7). Egalitatea este valabilă numai pentru verificarea simplificată; într-un model complet, rezistențele la înaintare, declivitatea și curbele adaugă un efect mecanic.

Pentru o fracție ipotetică regenerată și acceptată de 60%, energia recuperată este de 8,64 kWh, iar la un randament ipotetic de tracțiune de 85%, energia necesară pentru reaccelerare este de 16,95 kWh. Diferența de 8,30 kWh este calculată din valorile nerotunjite; scăderea valorilor afișate la 8,31 kWh se datorează doar rotunjirii. Concordanța cu ΔE_{net} rezultă din ipotezele exemplului, nu constituie o validare empirică și nu permite deducerea energiei electrice nete doar din energia cinetică. Intrările și rezultatele sunt sintetizate în Tabelul 4.

Tabelul 4. Sinteza intrărilor și rezultatelor exemplului ipotetic

Mărime	Unitate	Referință	Intervenție
Lungimea sectorului	km	10	10
Capacitate / încărcare echivalentă	locuri / călători	300 / 150	300 / 150
m_{ef}	t	160	160
Regim de viteză	km/h	100–40–100	fără ciclul suplimentar
E_{abs}	kWh	126,30	116,00
E_{reg}	kWh	18,00	16,00
E_{net}	kWh	108,30	100,00
$e_{tr\text{-}km}$	kWh/tren-km	10,83	10,00
$e_{loc\text{-}km}$ / $e_{căl\text{-}km}$	kWh/loc-km / kWh/călător-km	0,0361 / 0,0722	0,0333 / 0,0667
ΔE_{net} / r_E	kWh / %	—	8,30 / 7,66
$E_{mec,+}$ aferent ciclului suplimentar	kWh	14,40	0

Notă: toate valorile sunt ipotetice; diferența nulă din ultima celulă se referă numai la ciclul suplimentar eliminat, nu la energia mecanică totală a cursei.

Sensibilitatea rezultatului. Diferența energetică netă simplificată de 8,30 kWh variază între 7,27–9,34 kWh pentru m_{ef}= 140–180 t; 6,33–8,99 kWh pentru viteza restricționată de 60–30 km/h; 5,42–11,18 kWh pentru o fracție regenerată și acceptată de 80–40%; și 7,36–9,36 kWh pentru randamentul de tracțiune de 90–80%. Receptivitatea rețelei, severitatea restricției și masa efectivă sunt, prin urmare, ipoteze critice.

Tabelul 5. Sensibilitatea mecanismului la amplasare şi regenerare

Variantă	Condiție	Interpretare
A	Restricție izolată; revenire completă la 100 km/h	Ciclu complet; impact energetic potențial ridicat
B	Restricție înaintea unei opriri comerciale	Frânarea se poate suprapune opririi; impact incremental redus
C	Rețea nereceptivă la regenerare	Mai multă energie disipată; diferență netă mai mare
D	A doua restricție apropiată	Accelerarea completă poate fi evitată; este necesară modelarea ansamblului

Notă: variantele A–D sunt situații calitative de sensibilitate; ele nu reprezintă măsurători, scenarii exhaustive sau estimări pentru un traseu real.

Tabelul 5 arată că poziția față de oprirea comercială, succesiunea restricțiilor şi receptivitatea rețelei pot schimba substanțial rezultatul. Pentru aplicare reală, profilul de viteză se modelează separat în fiecare scenariu, conversia mecanic–electric se calibrează, iar rezultatul se verifică prin măsurători sincronizate ale energiei absorbite şi ale energiei regenerate, restituite şi acceptate de rețea. Aceste cerințe de verificare sunt transformate în reguli de colectare, validare și comparare a datelor în secțiunea 6 [1–5, 10, 12–15].

6. MONITORIZARE ŞI CONTROLUL CALITĂȚII

Protocolul de validare trebuie să sincronizeze măsurătorile energiei absorbite şi ale energiei regenerate, restituite şi acceptate de rețea cu înregistrările poziției, vitezei, accelerației, sensului de mers, masei estimate, temperaturii, funcționării climatizării, opririlor şi întârzierilor. Unitatea de bază este cursa identificată unic. Agregarea lunară sau anuală se realizează numai după verificarea integrității înregistrărilor şi a corespondenței dintre energie şi prestație [1, 2, 13–15].

Perioada de observare trebuie să includă zile şi intervale reprezentative. Cursele cu defecte de contor, tractări, opriri tehnice neplanificate, abateri majore de traseu sau restricții diferite de cele declarate se exclud sau se marchează separat. Pentru fiecare scenariu se raportează numărul curselor valide, media, mediana, abaterea standard şi intervalul de încredere [1, 10].

Comparația înainte–după este validă numai dacă efectul intervenției asupra infrastructurii poate fi separat de modificările materialului rulant, ale graficului, ale numărului de opriri şi ale nivelului de serviciu. Sunt preferabile cursele

pereche desfășurate în condiții similare sau un model statistic care controlează masa, temperatura, timpul de parcurs, numărul de opriri, întârzierile și consumurile auxiliare. Astfel, se reduce riscul de a atribui intervenției asupra infrastructurii variații determinate de exploatare [1, 10, 12].

Pentru România, datele de rețea, declivitățile și limitările de capacitate pot susține delimitarea sectoarelor și construirea scenariilor [11]. Aceste documente nu înlocuiesc însă măsurătorile energetice la nivelul trenului și nici modelarea calibrată a profilului de mers.

7. DISCUȚII ȘI LIMITELE CERCETĂRII

Cadrul diferențiază restricțiile cu un impact energetic probabil minor de cele care introduc un ciclu suplimentar complet. Modelarea trebuie să acorde prioritate limitărilor izolate, îndepărtate de opriri, cu diferențe mari de viteză și trafic frecvent; în noduri, beneficiul dominant poate fi capacitatea sau regularitatea [1–5, 10, 12]. Rezultatele se interpretează împreună cu costul, durata, riscul tehnic și siguranța, deoarece o lucrare nu poate fi justificată exclusiv prin energia unui ciclu de viteză [1, 10, 12].

Noutatea constă în transformarea poziției, severității, lungimii, declivității și relației cu alte limitări într-o succesiune verificabilă: tipologia indică mecanismul, schema în șase pași stabilește rezultatele și criteriile, setul minim precizează datele, iar protocolul separă estimarea preliminară de concluzia confirmată. Cadrul sprijină prioritizarea modelării și raportarea distinctă a energiei, timpului, regularității și capacității, nu estimarea unei economii universale sau validarea unei intervenții concrete.

Eliminarea restricției nu garantează reducerea consumului: viteza disponibilă poate crește rezistențele și puterea, iar beneficiul depinde de ciclul eliminat, de stilul de conducere și de recuperare [1–5, 12]. Exemplul este ipotetic, fără măsurători sau un model calibrat; timpul și regularitatea nu sunt cuantificate, conversia folosește coeficienți globali, iar valorile nu reprezintă consumul unei curse, economia unei investiții sau energie recuperabilă confirmată.

Validarea necesită testarea tipologiei pe restricții documentate, vehicule cu contoare și curse comparabile. Cercetările viitoare trebuie să trateze restricțiile succesive, semnalizarea, conducerea economică, receptivitatea rețelei și interacțiunea energie–capacitate.

8. CONCLUZII

Restricţiile de viteză leagă măsurabil starea infrastructurii, profilul de mers şi performanţa serviciului; mecanismul dominant depinde de poziția față de opriri, lungimea, vitezele adiacente, declivitatea, succesiunea limitărilor, masa trenului, regenerarea și graficul [1–5, 10, 12]. Cadrul propus integrează tipologia operațional-energetică, procedura comparativă în șase pași, setul minim de date și protocolul de validare, asigurând trasabilitatea de la identificarea mecanismului până la modelare şi verificare.

Exemplul aplică relațiile energetice şi verifică, în ipoteze simplificate, componenta inerțială a ciclului de frânare–accelerare, evidențiind separarea energiei mecanice la roată de energia electrică la pantograf. Eliminarea unei restricții poate îmbunătăți timpul și regularitatea fără a reduce automat consumul; o concluzie energetică necesită modelarea întregului profil şi măsurători sincronizate înainte şi după intervenție. Metoda servește prioritizării investigațiilor, nu declarării anticipate a economiilor sau selectării automate a lucrărilor [1, 2, 10, 12–15].

BIBLIOGRAFIE

[1]. SYSTEM PILLAR CONSORTIUM – TASK 1, UIC şi UNIFE, *Energy saving in Rail: Consumption assessment, efficiency improvement and saving strategies – overview report*, versiunea 14 martie 2024, Bruxelles, 2024. Disponibil la: https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2024/07/ERSIPB-EDSIPB-B-S2R-219-01_-_20240314_Energy_saving_measures_in_rail_report_changes__2_.pdf (consultat la 19 octombrie 2026).

[2]. ZHAO, N., TIAN, Z., HILLMANSEN, S., CHEN, L., ROBERTS, C. şi GAO, S., *Timetable Optimization and Trial Test for Regenerative Braking Energy Utilization in Rapid Transit Systems*, „Energies”, vol. 15, nr. 13, art. 4879, 2022. Disponibil la: https://doi.org/10.3390/en15134879 (consultat la 19 octombrie 2026).

[3]. RANGELOV, V.N., *Gradient Modelling with Calibrated Train Performance Models*, în *Computers in Railways XIII*, „WIT Transactions on the Built Environment”, vol. 127, pp. 123–134, 2012. Disponibil la: https://doi.org/10.2495/CR120111 (consultat la 19 octombrie 2026).

[4]. HODÁS, S. şi PULTZNEROVÁ, A., *Reducing Energy Consumption in the Design of Railway Lines – Compensated Curve of the Vertical Track Gradient*, „Civil and Environmental Engineering”, vol. 18, nr. 1, pp. 29–38, 2022. Disponibil la: https://doi.org/10.2478/cee-2022-0003 (consultat la 19 octombrie 2026).

[5]. BOSQUET, R., VANDANJON, P.-O., GAUTIER, M., COIRET, A. şi CAZIER, O., *Influence of Railway Gradient on Energy Efficiency of High-Speed Train*, lucrare prezentată la Transport Research Arena 2014, Paris, 2014. Disponibil la: https://hal.science/hal-04312233 (consultată la 10 octombrie 2026).

[6]. EHRHART, U., KNABL, D. şi MARSCHNIG, S., *Track Deterioration Model—State of the Art and Research Potentials*, „Infrastructures”, vol. 9, nr. 5, art. 86, 2024. Disponibil la: https://doi.org/10.3390/infrastructures9050086 (consultat la 19 octombrie 2026).

[7]. AN, R., JIA, L., TANG, Y., TIAN, Y. şi WANG, Z., *Railway Track Tamping Maintenance Cycle Prediction Model Based on Power-Time-Transformed Wiener Process*, „Applied Sciences”, vol. 14, nr. 13, art. 5867, 2024. Disponibil la: https://doi.org/10.3390/app14135867 (consultat la 20 octombrie 2026).

[8]. CIOTLĂUȘ, M., MARCIAN, D., DANCIU, A.D., MARUȘCEAC, V., DRAGOMIR, M.L. şi PAU, G., *In Situ Assessment of Track Geometry Degradation and Defect Scoring for Maintenance Prioritization: A Case Study on a Railway Section Line M300, Romania*, „Infrastructures”, vol. 11, nr. 8, art. 284, 2026. Disponibil la: https://doi.org/10.3390/infrastructures11080284 (consultat la 19 octombrie 2026).

[9]. VALE, C. şi SIMÕES, M.L., *Prediction of Railway Track Condition for Preventive Maintenance by Using a Data-Driven Approach*, „Infrastructures”, vol. 7, nr. 3, art. 34, 2022. Disponibil la: https://doi.org/10.3390/infrastructures7030034 (consultat la 19 octombrie 2026).

[10]. DENG, L., TANG, S., CHEN, M., ZHANG, Y., TIAN, Y. şi CHEN, Q., *Energy-Efficient Optimization Method for Timetable Adjusting in Urban Rail Transit*, „Mathematics”, vol. 13, nr. 13, art. 2119, 2025. Disponibil la: https://doi.org/10.3390/math13132119 (consultat la 19 octombrie 2026).

[11]. COMPANIA NAȚIONALĂ DE CĂI FERATE „C.F.R.” – S.A., *Documentul de referință al rețelei C.F.R. 2027 – proiect*, versiunea 16.0.0, actualizată la 30 septembrie 2026, împreună cu anexele, București, 2026. Disponibil la: https://cfr.ro/download-drr-2027-network-statement/; documentul principal: https://cfr.ro/files/ddr/RO%202027/PROIECT%20DRR%202027.pdf (consultat la 10 octombrie 2026).

[12]. SCHEEPMAKER, G.M., GOVERDE, R.M.P. şi KROON, L.G., *Review of Energy-Efficient Train Control and Timetabling*, „European Journal of Operational Research”, vol. 257, nr. 2, pp. 355–376, 2017. Disponibil la: https://repository.tudelft.nl/record/uuid:d8868c77-1167-4d80-82ed-c84d0a976a26 (consultat la 20 octombrie 2026).

[13]. EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS, *Study on the Implementation of On-ground Energy Data Collecting Systems in the EU Railway System*, Publications Office of the European Union, Luxemburg, 2026, ISBN 978-92-9477-553-5, DOI: 10.2821/9961303. Disponibil la: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/2026-03/study%20on%20the%20implementation%20of%20on-ground%20energy%20data-tr0125002enn.pdf (consultat la 20 octombrie 2026).

[14]. ERESS, *Guidelines for Qualitative Measurement and Settlement of Energy: Conformity Assessment Guidelines*, versiunea 2.0, 2023. Disponibil la: https://eress.eu/media/fy4nw1l5/conformity-assessment-guidelines-2023_v20_eress-forum_web.pdf (consultat la 20 octombrie 2026).

[15]. FISCHER, S., *Acceleration and Regenerative Braking Energy of Electric Trains: A Review for Energy-Management Decision Making*, „Decision Making Advances”, vol. 4, nr. 1, pp. 228–256, 2026. Disponibil la: https://doi.org/10.31181/dma412026186 (consultat la 10 octombrie 2026).

STABILIREA ÎNCĂRCĂRII DE PROBĂ ŞI A DEPLASĂRILOR TEORETICE PENTRU ÎNCERCAREA PE TEREN A PODULUI ÎN ARC AL PASAJULUI SUPRATERAN MIHAI BRAVU – SPLAIUL UNIRII

Stănescu Răzvan Marian, şef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Construcţii Civile, Industriale şi Agricole, Departamentul de Mecanica Structurilor, e-mail: razvan.stanescu@utcb.ro
Stan Oana Mihaela, şef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Construcţii Civile, Industriale şi Agricole, Departamentul de Mecanica Structurilor, e-mail: oana.stan@utcb.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă etapa de calcul a proiectului de încercare pe teren a podului în arc cu tablier suspendat, cu deschiderea de 103,30 m, din cadrul pasajului suprateran Mihai Bravu – Splaiul Unirii din București. Structura a fost modelată cu elemente finite în programul LUSAS, utilizând elemente de tip grindă pentru arce, grinzi longitudinale şi antretoaze, elemente de tip bară pentru tiranți și elemente de tip placă (shell) pentru placa de beton. Pe baza eforturilor secționale produse de modelul de încărcare LM1 din SR EN 1991-2:2005 a fost stabilit un convoi de probă format din cinci autovehicule cu patru osii (masa totală de 208 t), poziționat în trei secțiuni caracteristice: la mijlocul, la sfertul şi la optimea deschiderii. Eficiența statică a încărcării de probă, determinată conform STAS 12504-86 atât prin momente încovoietoare, cât şi prin eforturi unitare în grinzile longitudinale, are valori cuprinse între 0,818 şi 0,886, respectând condiția Es ≥ 0,80. Au fost calculate deplasările verticale teoretice în punctele de măsurare, valoarea maximă (34,6 mm) fiind obținută pentru încărcarea asimetrică de la sfertul deschiderii, cu mult sub săgeata admisibilă L/800 = 129 mm. Rezultatele evidențiază sensibilitatea arcului la încărcările asimetrice şi constituie baza de comparație pentru valorile măsurate la încercare.

Cuvinte cheie: pod în arc, încercare pe teren, încărcare de probă, eficienţă statică, modelare cu elemente finite

Abstract

The paper presents the computational stage of the in-situ load test design for the 103.30 m span tied-arch bridge of the Mihai Bravu – Splaiul Unirii overpass in Bucharest. The structure was modelled with finite elements in LUSAS, using beam elements for the arches, longitudinal girders and cross-girders, bar elements for the hangers and shell elements for the concrete deck slab. Based on the sectional forces produced by load model LM1 of EN 1991-2, a test convoy of five four-axle trucks (208 t in total) was defined and placed in three characteristic positions: at mid-span, quarter-span and one-eighth of the span. The static efficiency of the test load, computed according to the Romanian standard STAS 12504-86 from both bending moments and stresses in the longitudinal girders, ranges between 0.818 and 0.886, satisfying the requirement Es ≥ 0.80. The theoretical vertical displacements at the measuring points were

calculated; the maximum value (34.6 mm) results from the asymmetric quarter-span loading and is well below the allowable deflection L/800 = 129 mm. The results highlight the sensitivity of the arch to asymmetric loading and provide the reference values for the measurements carried out during the test.

Keywords: arch bridge, load testing, proof load, static efficiency, finite element modelling

1. INTRODUCERE

Încercarea pe teren a podurilor noi, înainte de darea lor în exploatare, are scopul de a verifica faptul că structura executată se comportă în concordanţă cu ipotezele de proiectare. Prin încercarea statică se compară deplasările şi deformaţiile specifice măsurate sub o încărcare de probă cunoscută cu valorile teoretice obţinute prin calcul, urmărindu-se totodată caracterul elastic al răspunsului structurii [2], [5].

Încărcarea de probă trebuie să producă în elementele structurale eforturi apropiate de cele din încărcările de proiectare, fără a le depăși. Echivalența dintre cele două încărcări se exprimă prin coeficientul de eficiență statică definit în STAS 12504-86 [2]. Deoarece podurile actuale se proiectează pe baza modelelor de încărcare din SR EN 1991-2:2005 [1], în timp ce încercarea se realizează cu autovehicule reale, stabilirea convoiului de probă necesită un calcul dedicat pe un model numeric al structurii.

Lucrarea prezintă acest calcul pentru podul în arc cu tablier suspendat din cadrul pasajului suprateran Mihai Bravu – Splaiul Unirii din București. Obiectivele urmărite au fost: (i) determinarea eforturilor secţionale maxime din modelul de încărcare LM1; (ii) stabilirea convoiului de probă (număr de autovehicule, încărcări pe osie şi poziţiile pe pod) astfel încât eficienţa statică să fie cel puţin 0,80; (iii) determinarea deplasărilor verticale teoretice în punctele de măsurare stabilite pentru încercare.

2. STRUCTURA ANALIZATĂ ŞI MODELUL NUMERIC

2.1. Descrierea structurii

Suprastructura este un pod în arc cu tablier suspendat, cu deschiderea de calcul L = 103,30 m. Cele două arce metalice, cu secţiune casetată variabilă în lungul deschiderii, susţin tablierul prin intermediul a câte zece tiranţi cu secţiune circulară, dispuşi la distanţa de 8,70 m; panourile de capăt au lungimea de 12,50 m. Tablierul este alcătuit din două grinzi principale longitudinale metalice, antretoaze de capăt şi curente şi o placă de beton armat de 25 cm grosime. Lăţimea totală a tablierului este de 16,00 m, din care partea carosabilă are 13,00 m, iar trotuarele câte 1,50 m. Săgeata arcelor este de 14,60 m. Arcele, grinzile

longitudinale şi antretoazele sunt realizate din oţel marca S355, iar placa de beton din beton clasa C35/45.

2.2. Modelul de calcul cu elemente finite

Modelarea a fost realizată cu programul LUSAS Finite Element Analysis [4]. Grinzile longitudinale, antretoazele şi arcele au fost discretizate cu elemente finite unidimensionale de tip grindă, tiranții cu elemente unidimensionale de tip bară, iar placa de beton cu elemente finite bidimensionale de tip „shell” (Figura 1).

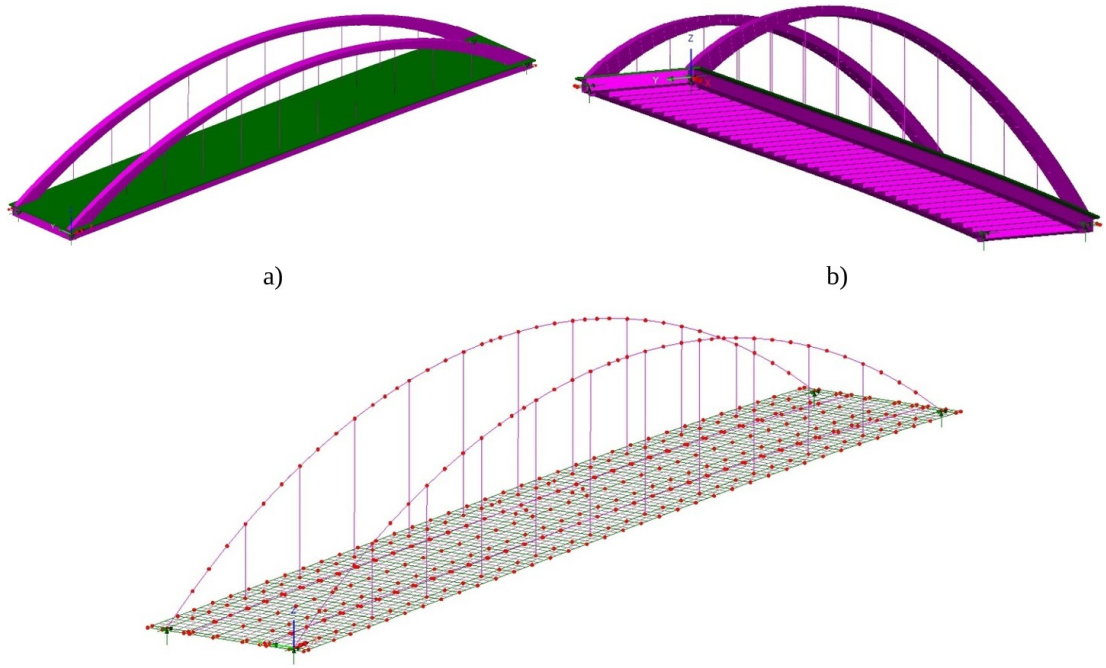


Figura 1. Modelul de calcul al structurii: a) vedere de ansamblu; b) vedere a tablierului dinspre intrados (grinzi longitudinale şi antretoaze); c) discretizarea în elemente finite

Infrastructurile nu au fost incluse în schema statică, considerându-se că acestea nu influențează semnificativ răspunsul vertical al suprastructurii, în eforturi şi deplasări; arcele au fost considerate rezemate articulat. Variaţia secțiunii transversale a arcelor a fost redată prin împărțirea fiecărui arc în 38 de tronsoane de secțiune constantă (Figura 2). În lungul arcelor există trei tipuri de secțiuni casetate (Figura 3, a), iar grinzile longitudinale au două tipuri de secțiuni: una în zona de îmbinare cu arcul şi una curentă (Figura 3, b).

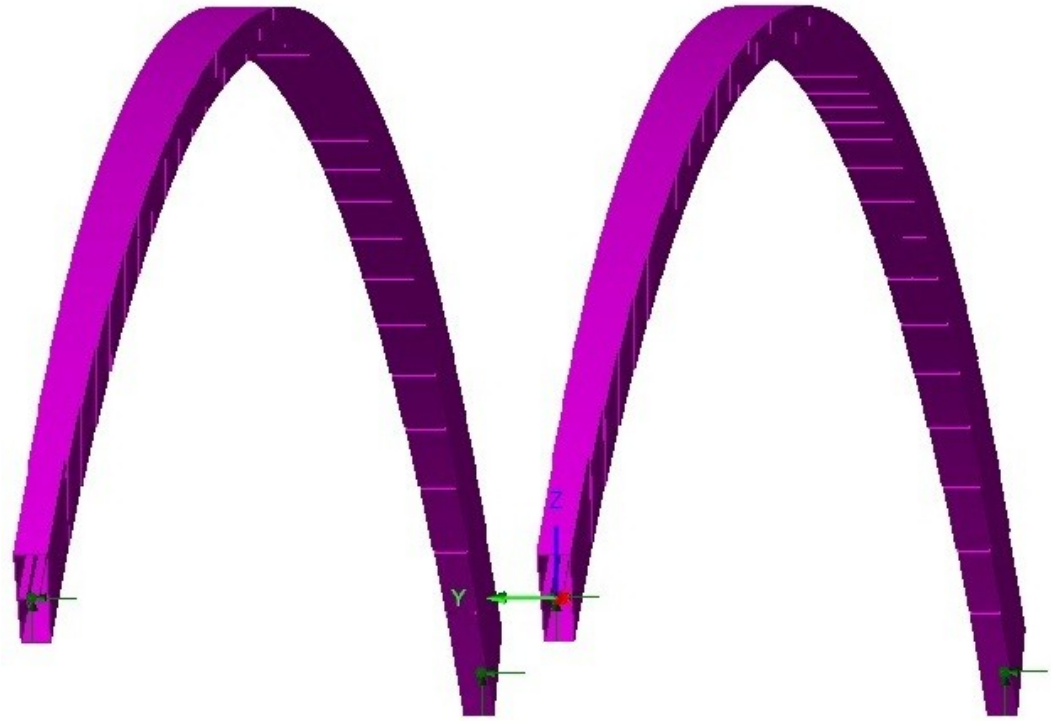


Figura 2. Variația secțiunii transversale a arcelor în lungul deschiderii

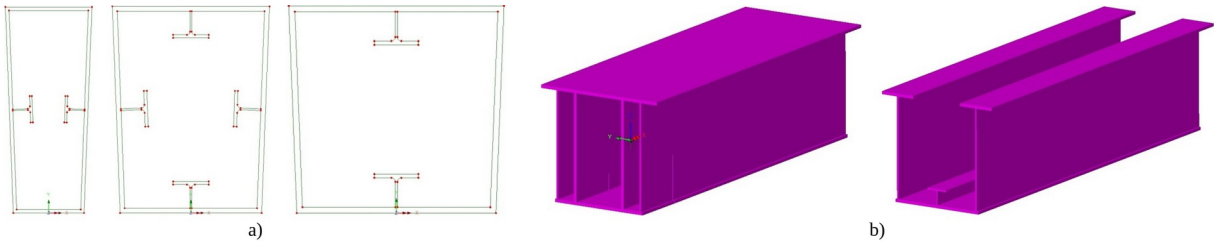
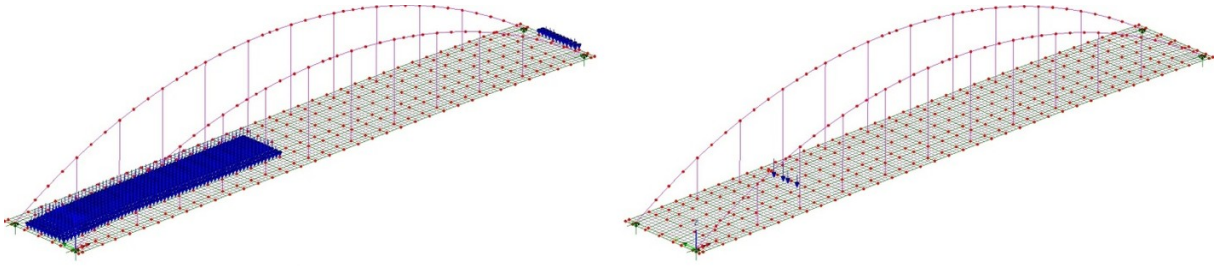


Figura 3. Secțiuni transversale: a) tipurile de secțiuni ale arcelor; b) grinda longitudinală în zona de îmbinare cu arcul și în zona curentă

3. STABILIREA ÎNCĂRCĂRII DE PROBĂ

3.1. Eforturile din încărcarea de proiectare

Încărcarea de proiectare a fost reprezentată de modelul de încărcare LM1 din SR EN 1991-2:2005 [1], alcătuit din sistemul de osii tandem (TS) și încărcarea uniform distribuită (UDL), dispuse pe benzile convenționale ale părții carosabile de 13,00 m. Prin analiză statică liniară au fost determinate pozițiile LM1 care conduc la eforturile maxime în grinda longitudinală în trei secțiuni caracteristice: la mijlocul (L/2), la sfertul (L/4) și la optimea (L/8) deschiderii. Pentru fiecare poziție au fost extrase momentul încovoietor maxim M_z și efortul unitar normal maxim σ_x în grinda longitudinală. Figura 4 prezintă, ca exemplu, dispunerea LM1 pentru poziția de la sfertul deschiderii.



a) b)

Figura 4. Dispunerea modelului LM1 pentru efortul maxim la sfertul deschiderii: a) încărcarea UDL; b) sistemul de osii tandem TS

3.2. Convoiul de probă şi poziţiile de încărcare

Pe baza eforturilor din LM1 s-a stabilit un convoi de probă alcătuit din autovehicule ASTRA cu patru osii (Figura 5, Tabelul 1). Distanţele dintre osii sunt de 1,76 m, 2,34 m şi 1,40 m, iar distanţa liberă dintre autovehiculele succesive ale unei benzi este de 0,49 m.

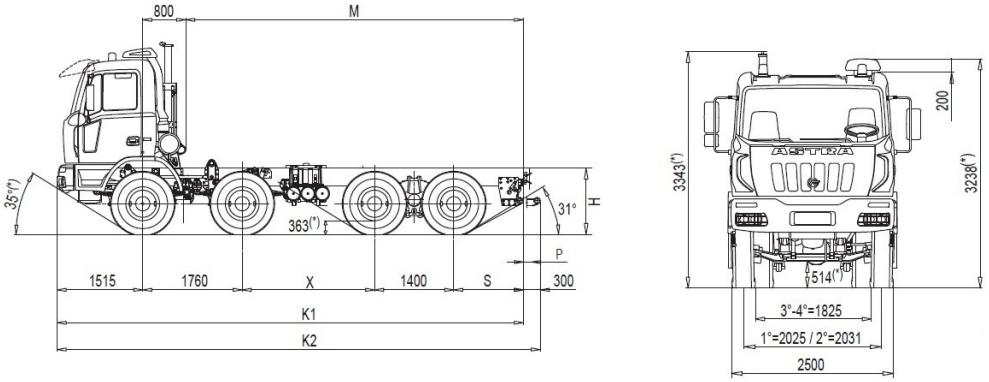


Figura 5. Autovehiculul ASTRA cu patru osii utilizat pentru încărcarea de probă

Tabelul 1. Caracteristicile autovehiculelor de probă

Autovehicul	Număr	Osii faţă [t/osie]	Osii spate [t/osie]	Masa totală [t]
ASTRA 42 t	4	2 × 7	2 × 14	42
ASTRA 40 t	1	2 × 7	2 × 13	40
Total convoi	5	–	–	208

Au fost analizate trei poziţii ale convoiului, corespunzătoare secţiunilor în care au fost determinate eforturile maxime din LM1: poziţia 1 – la mijlocul deschiderii, poziţia 2 – la sfertul deschiderii şi poziţia 3 – la optimea deschiderii. În poziţiile 1 şi 2 autovehiculele sunt dispuse pe două benzi (trei pe banda 1 şi două pe banda 2), iar în poziţia 3 câte două pe fiecare bandă. Dispunerile convoiului de probă pentru cele trei poziţii sunt prezentate în Figurile 6, 7 şi 8.

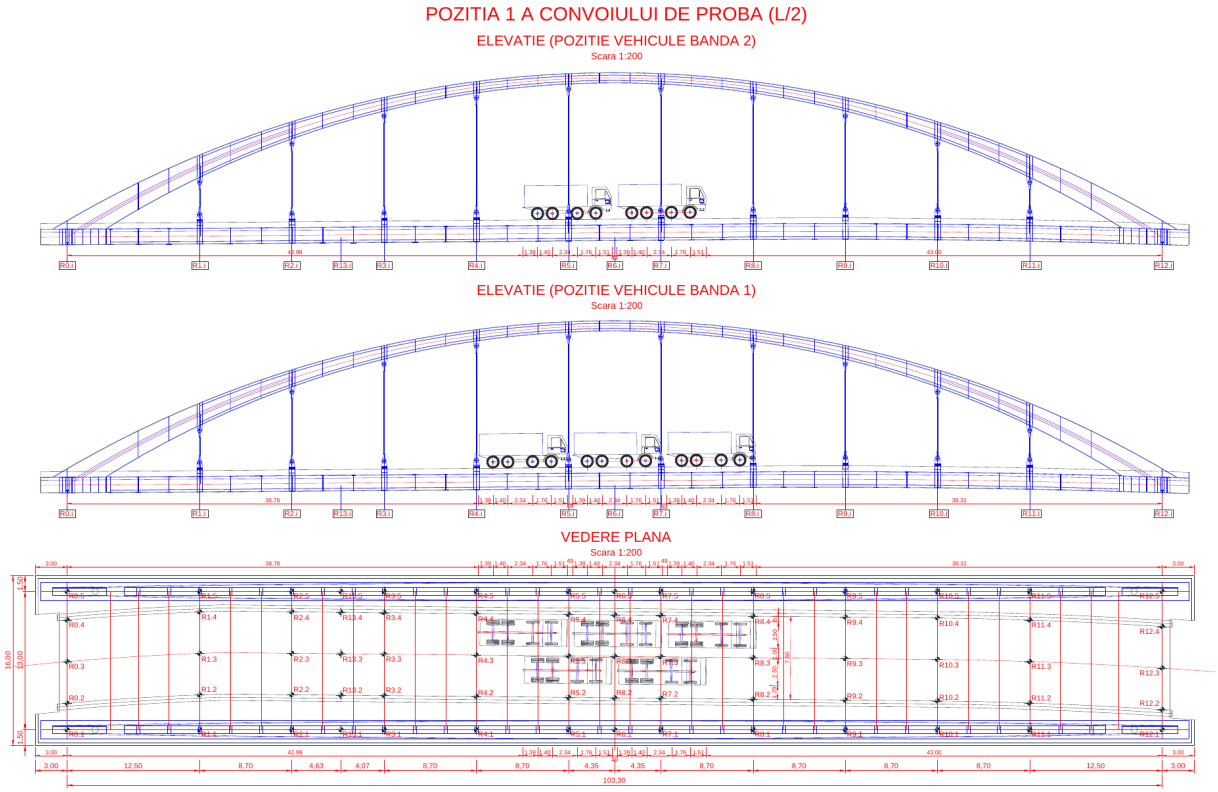


Figura 6. Poziția 1 a convoiului de probă (L/2): elevații pe cele două benzi și vedere în plan

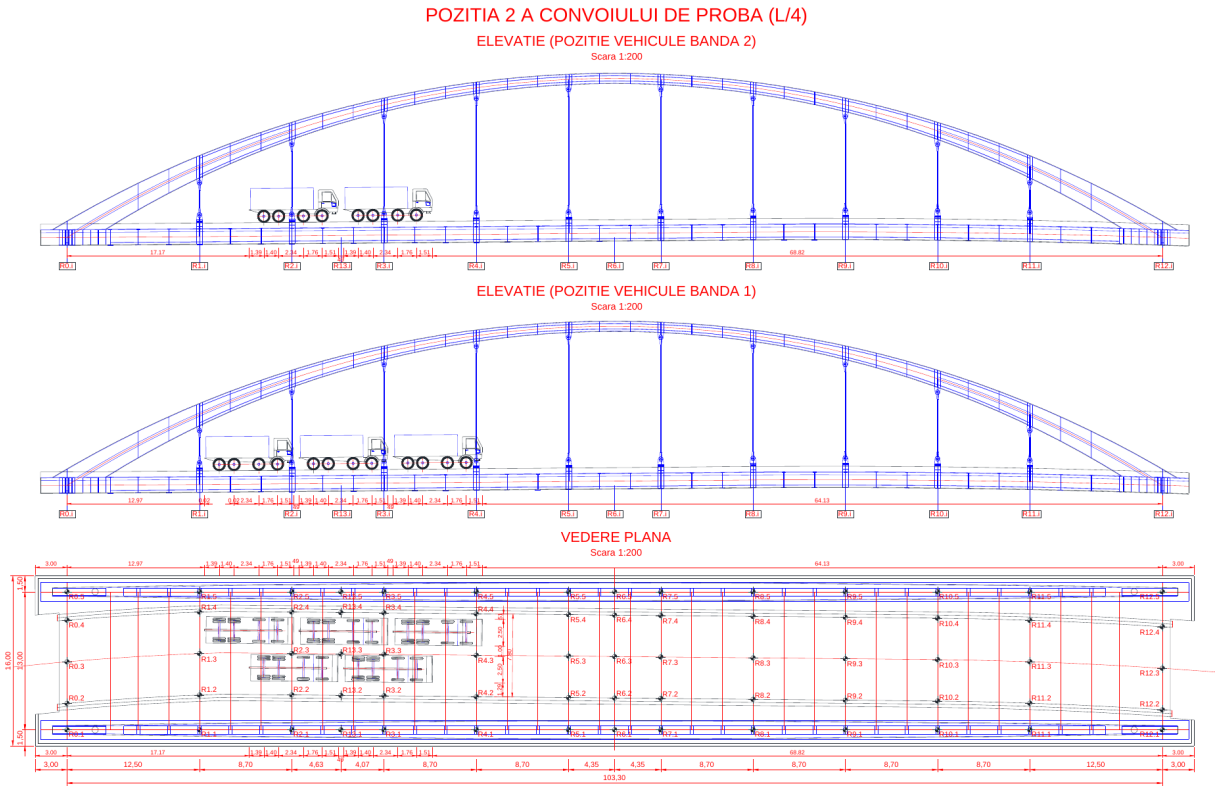


Figura 7. Poziția 2 a convoiului de probă (L/4): elevații pe cele două benzi și vedere în plan

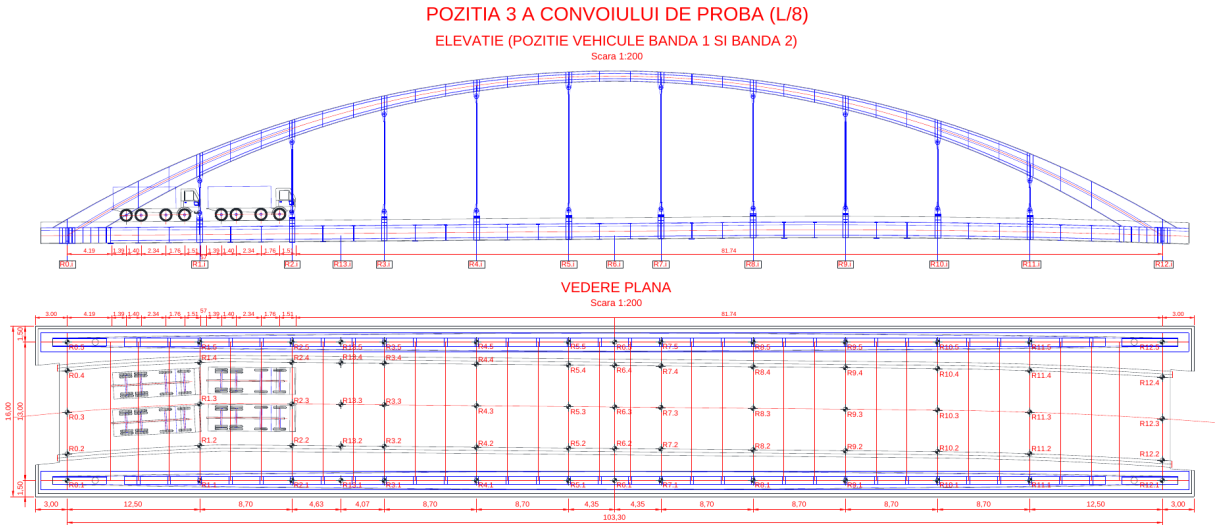


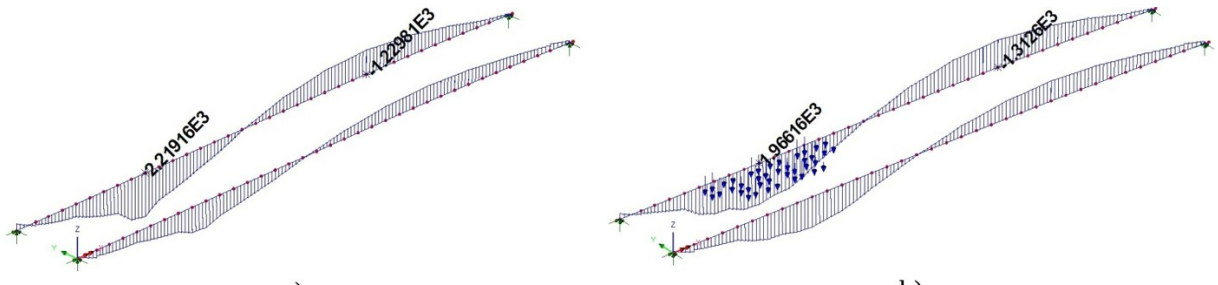
Figura 8. Poziția 3 a convoiului de probă (L/8): elevație și vedere în plan

3.3. Eficiența statică a încărcării de probă

Conform STAS 12504-86 [2], eficiența statică a încărcării de probă se definește ca raportul dintre efortul produs de încărcarea de probă și efortul corespunzător din încărcarea de proiectare, în aceeași secțiune:

$$E_s = \frac{S_{proba}}{S_{LM1}} \tag{1}$$

unde S_{proba} este efortul secțional (momentul încovoietor sau efortul unitar) produs de convoiul de probă, iar S_{LM1} este efortul corespunzător din modelul de încărcare LM1. Eficiența statică a fost calculată pentru fiecare poziție, atât prin momente încovoietoare, cât și prin eforturi unitare (Tabelul 2). Figura 9 compară diagramele de moment încovoietor din grinzile longitudinale pentru poziția 2.



a) b)

Figura 9. Momentul încovoietor M_z în grinzile longitudinale pentru poziția 2: a) din LM1; b) din convoiul de probă

Tabelul 2. Eforturi maxime în grinda longitudinală și eficiența statică

Poziția	M_{LM1} [kNm]	M_{proba} [kNm]	E_s (M)	σ_{LM1} [MPa]	σ_{proba} [MPa]	E_s (σ)
1 (L/2)	1558,28	1301,97	0,836	30,78	25,16	0,818
2 (L/4)	2219,16	1966,16	0,886	43,90	38,15	0,869
3 (L/8)	1563,46	1346,90	0,861	30,55	26,11	0,855

În toate cele trei poziții este îndeplinită condiția $E_s \geq 0,80$, iar valorile subunitare arată că încărcarea de probă nu depășește efectele încărcării de proiectare. Eforturile unitare maxime din convoiul de probă se situează sub valorile admise de normele în vigoare. Se remarcă faptul că eforturile maxime, atât din LM1, cât și din convoiul de probă, apar pentru încărcarea de la sfertul deschiderii, momentul din LM1 fiind cu circa 42 % mai mare decât cel pentru încărcarea centrică. Acest rezultat reflectă comportarea specifică a podurilor în arc, pentru care încărcările asimetrice sunt determinante pentru încovoierea grinzilor de rigidizare.

4. DEPLASĂRILE TEORETICE ALE STRUCTURII

4.1. Punctele de măsurare

Stațiile de măsurare a deplasărilor au fost stabilite conform STAS 12504-86 [2]. Deplasările verticale se măsoară în secțiunile de reazem, la mijlocul și la sfertul deschiderii și în secțiunile transversale din dreptul tiranților (secțiunile R0…R13). În fiecare secțiune sunt prevăzute cinci puncte ($R_{k,1}$…$R_{k,5}$): în axele celor două grinzi longitudinale, în axul căii și la marginile părții carosabile (Figura 10).

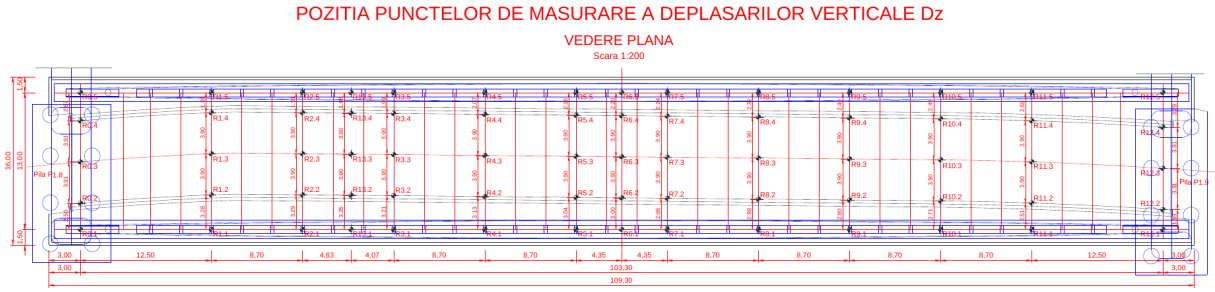


Figura 10. Pozițiile punctelor de măsurare a deplasărilor verticale Dz (vedere în plan)

4.2. Deplasările verticale calculate

Deformatele structurii sub cele trei poziții ale convoiului de probă sunt prezentate în Figura 11, iar variația deplasărilor verticale în lungul grinzii

longitudinale amonte, în secțiunile din dreptul tiranților, este reprezentată în Figura 12. Valorile maxime sunt sintetizate în Tabelul 3.

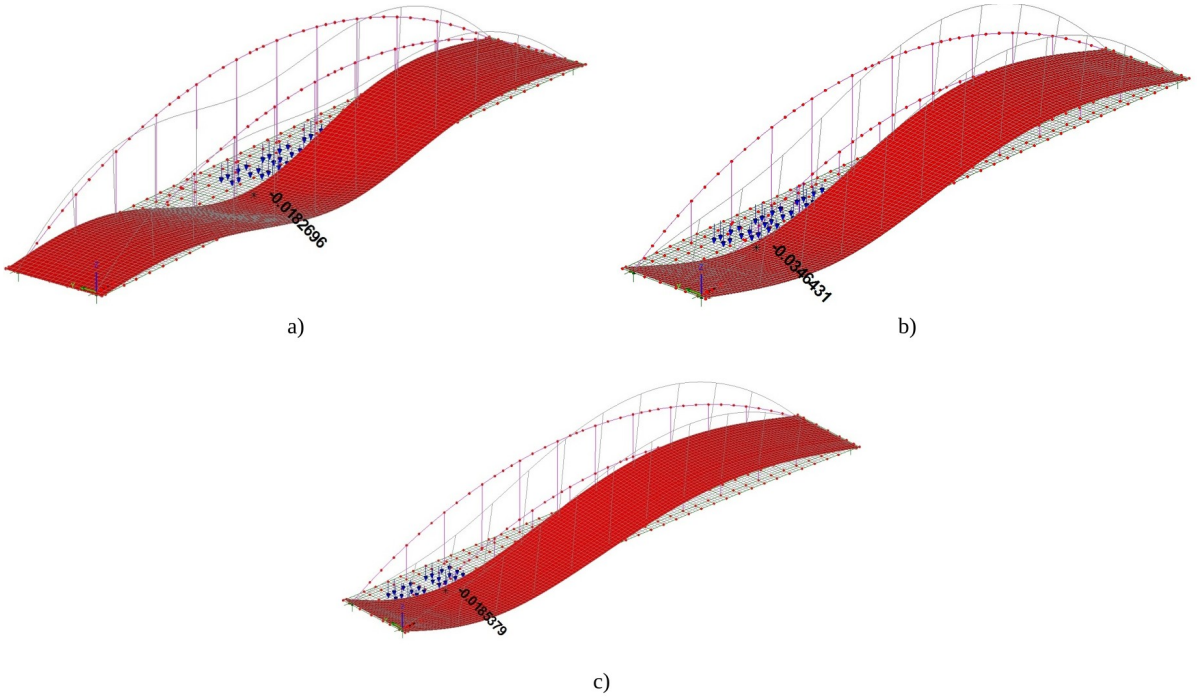


Figura 11. Deformata structurii și deplasarea verticală maximă Dz [m] din convoiul de probă: a) poziția 1; b) poziția 2; c) poziția 3

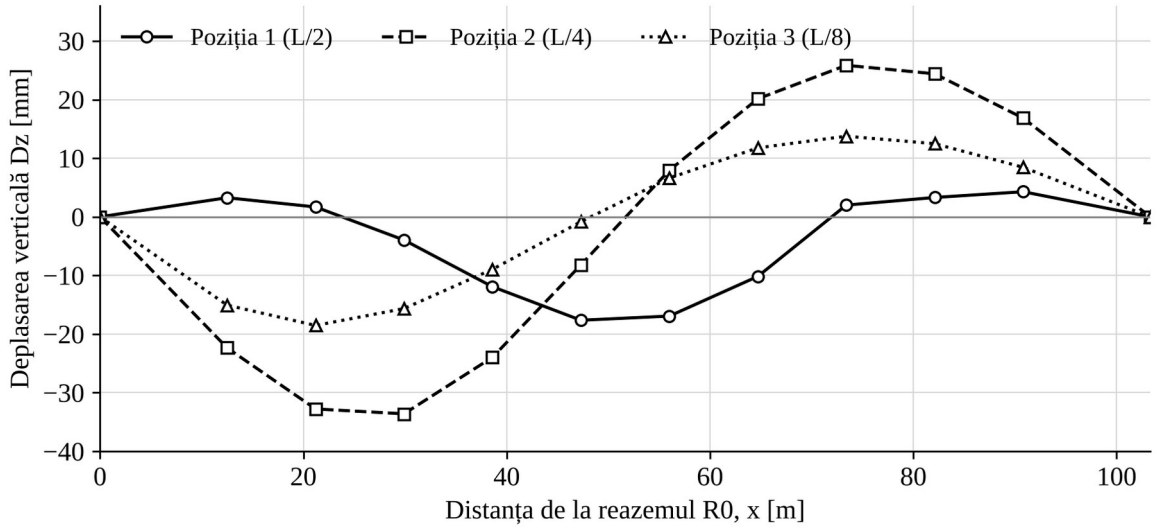


Figura 12. Deplasările verticale Dz ale grinzii longitudinale amonte în secțiunile din dreptul tiranților

Verificarea rigidității s-a făcut prin compararea săgeții maxime calculate cu săgeata admisibilă pentru podurile de șosea:

$$f_{calc} < f_{adm} = \frac{L}{800} = \frac{103,30\,m}{800} = 0,129\,m \qquad (2)$$

Tabelul 3. Deplasări verticale maxime din convoiul de probă

Poziţia	Dz max (coborâre) [mm]	Dz max (ridicare, grinda amonte) [mm]	L / f	f / f_{adm}
1 (L/2)	18,27	4,28	≈ 5650	0,14
2 (L/4)	34,64	25,85	≈ 2980	0,27
3 (L/8)	18,54	13,75	≈ 5570	0,14

Condiţia (2) este îndeplinită pentru toate poziţiile, deplasarea maximă reprezentând cel mult 27 % din valoarea admisibilă. Forma deformatelor confirmă comportarea de ansamblu observată la eforturi: încărcarea centrică (poziția 1) produce o deformată aproximativ simetrică, cu ridicări mici în zonele de capăt, în timp ce încărcările excentrice (poziţiile 2 şi 3) produc o deformată antisimetrică, cu coborâre în semideschiderea încărcată şi ridicare importantă în cea descărcată (până la 25,85 mm pentru poziția 2). Valorile calculate în fiecare punct $R_{k,i}$ constituie valorile de referinţă cu care se vor compara deplasările măsurate la încercare.

5. CONCLUZII

Calculul prezentat a permis stabilirea încărcării de probă pentru podul în arc cu deschiderea de 103,30 m din cadrul pasajului suprateran Mihai Bravu – Splaiul Unirii, pe baza modelului de încărcare LM1 din SR EN 1991-2:2005 şi a criteriului de eficienţă statică din STAS 12504-86.

Convoiul de probă, alcătuit din cinci autovehicule cu patru osii (208 t), conduce la eficienţe statice cuprinse între 0,818 şi 0,886, deci în limitele care asigură o încărcare reprezentativă fără depăşirea efectelor de proiectare. Evaluarea eficienţei atât prin momente încovoietoare, cât şi prin eforturi unitare oferă o verificare dublă, diferenţele dintre cele două valori fiind sub 0,02.

Încărcarea asimetrică de la sfertul deschiderii este determinantă atât pentru eforturile din grinzile longitudinale, cât şi pentru deplasări: săgeata maximă calculată, de 34,64 mm (≈ L/2980), este de aproape două ori mai mare decât cea din încărcarea centrică. Din punct de vedere practic, programul de încercare a podurilor în arc trebuie să includă obligatoriu poziţii asimetrice ale convoiului, iar punctele de măsurare trebuie să acopere şi semideschiderea descărcată, unde apar ridicări semnificative.

Deplasările teoretice determinate în punctele de măsurare constituie baza de comparaţie pentru interpretarea rezultatelor încercării statice.

BIBLIOGRAFIE

[1]. SR EN 1991-2:2005: *„Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”*, ASRO, București, **2005**.

[2]. STAS 12504-86: *„Poduri de cale ferată, de șosea și pasarele. Încercarea suprastructurilor cu acțiuni de probă”*, Institutul Român de Standardizare, București, **1986**.

[3]. SR EN 1990:2004: *„Eurocod: Bazele proiectării structurilor”*, ASRO, București, **2004**.

[4]. LUSAS: *„LUSAS Modeller – Theory Manual”*, Finite Element Analysis Ltd., Kingston upon Thames, Marea Britanie, **[[anul versiunii]]**.

[5]. C. GHEORGHE, C.O. DIMA, N.M. ENE: *„Static and Dynamic Testing of Road Bridge Superstructures”*, Conference Proceedings of the Academy of Romanian Scientists PRODUCTICA, vol. **10**, nr. 1, pp. **41–50**, **2018**.

DE CE O CALE FERATĂ CONSTRUITĂ ACUM PESTE 100 DE ANI ÎNCĂ NE DICTEAZĂ PROIECTELE DE ASTĂZI?

PRISĂCARU Marian Bogdan, ing., Expert material rulant/student FCFDP Anul 4, Bomap Engineering SRL, e-mail: marianbogdanprisacaru@gmail.com
STOIAN Mihai-Liviu, ing., Coordonator departament cale ferată și drumuri, Consis Proiect SRL, e-mail: stoianmihailiviu@gmail.com

Rezumat

Rețeaua feroviară din România s-a format, în linii mari, între 1854 și primele decenii ale secolului al XX-lea. De atunci, suprastructura căii, materialul rulant, instalațiile de siguranța circulației și instrumentele de proiectare au parcurs mai multe generații tehnologice, însă traseul – poziția liniei în teritoriu, razele curbelor, declivitățile, traversarea văilor și amplasarea stațiilor – a rămas în numeroase cazuri neschimbat. Lucrarea analizează această „inerție a traseului” și consecințele ei asupra proiectelor actuale de modernizare, pornind de la istoria primelor linii, inclusiv a liniei Buzău–Mărășești (1881), prima realizată de ingineri români, și de la tratatele românești de specialitate din 1960. Sunt comparate duratele de serviciu ale principalelor componente ale infrastructurii și se arată, pe baza relației dintre viteză, rază, supraînălțare și insuficiența de supraînălțare, de ce creșterea vitezei de la 80–120 km/h la 160 km/h transformă frecvent o lucrare de reabilitare într-una de traseu nou. Sunt discutate trei situații recente din rețeaua CFR: varianta Ilia–Mintia de pe linia Arad–Simeria, secțiunea Apața–Cața de pe linia Brașov–Sighișoara și linia București Nord–Craiova, a cărei geometrie în plan păstrează o rezervă de viteză. Pe această bază se propun criterii pentru alegerea între păstrarea traseului existent, corecția locală și varianta nouă. În contextul aniversării a 145 de ani de învățământ tehnic în domeniul infrastructurii transporturilor, lucrarea subliniază că deciziile de traseu au o durată de viață mai mare decât orice tehnologie sau normativ și că judecata inginerească rămâne resursa centrală a proiectării feroviare.

Cuvinte cheie: traseu feroviar, modernizare, geometria căii, supraînălțare, viteză de circulație, variantă de traseu, TEN-T, istoria căilor ferate

Abstract

Most of Romania’s railway network was laid out between 1854 and the early twentieth century, starting with lines such as Buzău–Mărășești (1881), the first designed and built by Romanian engineers. Track components, rolling stock, signalling and design tools have since gone through several technological generations, yet the alignment itself – the position of the line, curve radii, gradients, river crossings and station locations – has often remained unchanged. The paper examines this “inertia of the alignment” and its consequences for current upgrading projects. Service lives of the main infrastructure components are compared and the relation between speed, radius, cant and cant deficiency is used to show why raising line speed from 80–120 km/h to 160 km/h frequently turns a rehabilitation into a realignment. Three recent cases on the CFR network are discussed: the Ilia–Mintia realignment, the Apața–Cața section of the Brașov–Sighișoara line and the București Nord–Craiova line. Decision criteria between

upgrading the existing alignment, local correction and new construction are proposed. On the occasion of 145 years of engineering education in transport infrastructure, the paper argues that alignment decisions outlive any technology or standard, and that engineering judgement remains central to railway design.

Keywords: railway alignment, upgrading, track geometry, cant, line speed, realignment, TEN-T, railway history

1. INTRODUCERE

Calea ferată are o particularitate care o deosebește de multe alte sisteme tehnice: este, în același timp, o infrastructură de foarte lungă durată și un sistem extrem de sensibil la geometrie. O locomotivă este înlocuită după câteva decenii, instalațiile de semnalizare trec printr-o nouă generație tehnologică la fiecare 20–30 de ani, iar suprastructura căii poate fi reînnoită de mai multe ori pe același amplasament. Traseul poate rămâne însă practic neschimbat timp de un secol sau chiar mai mult.

Dimensiunea patrimoniului moștenit este considerabilă. Rețeaua administrată de CNCF „CFR” SA are o lungime nedesfășurată de 10.615 km, din care 2.919 km sunt linii duble și 4.031 km linii electrificate, și o lungime desfășurată de 19.629 km. Pe rețea se află 17.694 de poduri și podețe și 188 de tuneluri, cu o lungime totală de 64 km [2]. La această scară, modernizarea nu poate însemna înlocuirea rețelei cu una nouă. În majoritatea situațiilor, proiectantul pornește de la ce există și trebuie să stabilească cât din infrastructura istorică poate fi păstrat, cât poate fi adaptat și unde este necesară o soluție nouă.

Lucrarea urmărește să explice de ce traseul este componenta cu cea mai mare inerție a unei căi ferate, să cuantifice legătura dintre viteză și geometria în plan, să discute trei proiecte recente din rețeaua CFR și să propună criterii pentru decizia dintre linia existentă și traseul nou. Teza lucrării este că infrastructura feroviară modernă a României este, în bună măsură, rezultatul unui dialog între deciziile inginerești ale secolului al XIX-lea și cerințele tehnice ale secolului al XXI-lea.

2. CONTEXT ISTORIC: TRASEE GÂNDITE PENTRU ALTE CERINȚE

2.1. Primele linii și traseele concesiunilor

Prima linie de cale ferată de pe teritoriul actual al României, Oravița–Baziaș, a fost deschisă în 1854, sub administrație habsburgică, în principal pentru transportul cărbunelui către portul dunărean Baziaș [1]. La 25 octombrie 1858 a fost dată în folosință linia Szolnok–Békéscsaba–Arad. Proiectul inițial ocolea Békéscsaba, dar traseul a fost modificat la insistența orășenilor, care au oferit

inclusiv cinci milioane de cărămizi pentru clădirea gării [17]. La 22 decembrie 1868 a fost inaugurată linia Arad–Alba Iulia, de 211 km, pe valea Mureșului. Primul tren a parcurs distanța în 8 ore și 45 de minute [4], adică cu o viteză comercială medie de circa 24 km/h. La 31 octombrie 1869 a intrat în exploatare linia București Filaret–Giurgiu, prima construită sub administrație românească [1].

În 1879 existau în țară 1230 km de cale ferată, dintre care numai liniile București–Giurgiu (64 km) și Iași–Ungheni (21 km) erau exploatate de stat, restul de 1145 km fiind concesionați unor consorții străine [15]. Concesionarii, interesați de un cost de construcție cât mai mic, au adoptat pe unele linii declivități prea mari și raze de curbură prea mici, care au „strangulat” ulterior traficul. Pe linia Barboși–Tecuci traseul a trebuit înlocuit încă din 1882, pe 30 km, printr-o variantă care să evite întreruperile anuale cauzate de inundațiile Siretului. Pe linia Pitești–Craiova traseul a fost părăsit pe porțiuni de câțiva kilometri, pentru a evita terenurile instabile, iar traseul liniei Cernavodă–Constanța a fost atât de nefavorabil încât a fost aproape complet abandonat în favoarea unei linii noi [15]. Variantele de traseu sunt, așadar, la fel de vechi ca rețeaua însăși. Ritmul de construcție explică moștenirea de astăzi: între 1867 și 1878 s-au construit 1378 km (125 km/an), între 1878 și 1916 încă 2583 km (68 km/an), iar între 1916 și 1944 numai 733 km (26 km/an) [15]. Cea mai mare parte a traseelor actuale a fost, prin urmare, fixată înainte de Primul Război Mondial.

2.2. Buzău–Mărășești, 1881: primul traseu românesc

După răscumpărarea rețelei de către statul român, la 11/23 aprilie 1880 a fost înființată Direcțiunea Princiară a Căilor Ferate Române [1]. Construcția liniei Buzău–Mărășești fusese autorizată prin Legea nr. 591/1879, iar la 3 septembrie 1879 s-a înființat Direcțiunea căii ferate Buzău–Mărășești, prima unitate de construcții feroviare a statului român și prima linie proiectată și construită integral de specialiști români [5], condusă de inginerul inspector general Dimitrie Frunză, alături de 22 de tineri ingineri români. Studiile au început la 1 mai 1879, lucrările la 15 noiembrie 1879, circulația s-a deschis la 1 iunie 1881, iar inaugurarea oficială a avut loc la 18 octombrie 1881 [16]. Linia, de circa 90 km, traversa opt râuri, cu aproape 1,5 km de poduri, și a costat 93.214 lei aur/km, față de circa 306.000 lei aur/km cât reveneau în medie liniile concesionarilor [15], [16]. Traseul a fost „bine ales, cu multe aliniamente, dintre care cel mai lung avea 18 km” [16].

Economia s-a făcut însă pe seama structurilor. Cele opt poduri mari și alte 77 de poduri și podețe au fost executate provizoriu din lemn, iar la mai puțin de 20 de ani de la punerea în funcțiune G. I. Duca, director general al CFR, califica linia drept „rudimentară”. Serviciul de Poduri înființat în 1883 sub conducerea lui Anghel Saligny a înlocuit, între 1884 și 1892, podurile de lemn cu poduri din fier

și zidărie, însumând circa 1100 m. Linia a fost dublată în 1940–1942 și face astăzi parte din Magistrala 500 București–Suceava [16]. În mai puțin de un secol s-au schimbat podurile, balastul, clădirile și numărul de căi, dar axa aleasă în 1879 a rămas axa magistralei: este cea mai clară ilustrare a tezei acestei lucrări.

Anul 1881 are și o semnificație instituțională. În seara inaugurării, inginerii prezenți au hotărât înființarea Societății Politehnice, al cărei prim președinte a fost ales, la 6 decembrie 1881, chiar Dimitrie Frunză [16]. Tot în 1881, Gheorghe Duca a fost numit director al Școlii de Poduri și Șosele din București și a reorganizat-o din temelii: reguli noi de admitere și de promovare, un an pregătitor, practică obligatorie și un ciclu de cinci ani de studii [6]. Rețeaua feroviară și școala românească de inginerie a infrastructurii s-au format împreună. Din acest moment își numără tradiția cei 145 de ani de învățământ tehnic aniversați în 2026 (Figura 1).

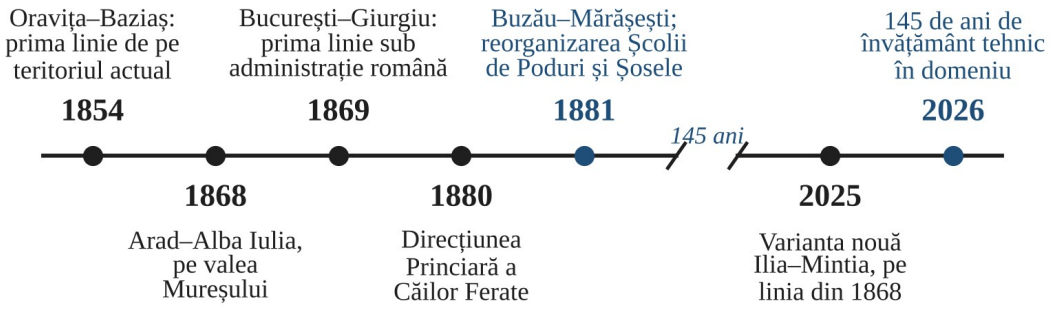


Figura 1. Repere în formarea rețelei feroviare și a învățământului tehnic de specialitate (după [1], [4], [6], [11], [16])

Liniile acestei perioade au fost trasate pentru tracțiune cu abur, viteze reduse, sarcini mici pe osie și terasamente executate în mare parte manual [3]. Era rațional ca traseul să urmărească văile și curbele de nivel, să evite traversările costisitoare ale râurilor și să reducă la minimum săpăturile, tunelurile și viaductele. Aceste criterii au generat însă curbe de rază mică și trasee mai lungi decât distanța directă, care au devenit, peste un secol, principalele limitări ale vitezei.

3. TRASEUL – COMPONENTA CU CEA MAI MARE INERȚIE

3.1. Durate de serviciu foarte diferite

Elementele unei căi ferate îmbătrânesc în ritmuri foarte diferite. Suprastructura este concepută pentru a fi întreținută și înlocuită: șinele, prinderile, traversele și prisma de piatră spartă se reînnoiesc succesiv, la intervale care depind

de tonajul trecut și de calitatea întreținerii [9]. Instalațiile de semnalizare și telecomunicații au cicluri tehnologice și mai scurte. Ca ordine de mărime, instalațiile se înlocuiesc după 15–30 de ani, șinele după 20–40 de ani și traversele din beton după 30–50 de ani, în timp ce podurile au durate de serviciu de ordinul secolului, iar terasamentele și tunelurile pot rămâne în exploatare și mai mult.

Traseul se află la capătul acestei scări. Spre deosebire de celelalte componente, el nu are o durată de serviciu propriu-zisă: nu se uzează, ci este moștenit. Linia Arad–Alba Iulia a fost exploatată pe traseul din 1868 aproape 157 de ani, până la deschiderea variantei Ilia–Mintia, în noiembrie 2025 [11].

3.2. Inerția teritorială

Un traseu feroviar este rezultatul unui compromis între relief, declivitățile admisibile, razele curbelor, traversarea apelor, poziția localităților, accesul la stații, volumele de terasamente și costul lucrărilor de artă. Odată materializat în teren, acest compromis capătă o inerție considerabilă. În jurul căii apar localități, drumuri, rețele de utilități, proprietăți și activități economice. După câteva decenii, deplasarea axei cu numai câteva zeci de metri poate genera exproprieri, devieri de rețele, refacerea trecerilor la nivel și reconstrucția lucrărilor de artă, adică efecte care depășesc cu mult disciplina „cale”.

Păstrarea amplasamentului nu garantează însă păstrarea capacității portante. Un rambleu realizat în urmă cu un secol poate constitui și astăzi corpul principal al platformei, dar investigațiile geotehnice, verificarea drenajului și evaluarea comportării terasamentelor pot impune lucrări substanțiale chiar și acolo unde axa căii rămâne neschimbată. Inerția traseului este, prin urmare, o inerție de amplasament, nu una de structură.

4. GEOMETRIE ȘI VITEZĂ: DE CE CURBA DICTEAZĂ PROIECTUL

4.1. Relația dintre viteză, rază și supraînălțare

Într-o curbă de rază R, parcursă cu viteza V, supraînălțarea care ar compensa integral accelerația centrifugă (supraînălțarea de echilibru) este, pentru ecartamentul normal, cu distanța dintre axele șinelor de aproximativ 1500 mm [9], [15]:

$$h_{eq} = 11{,}8 \cdot \frac{V^2}{R} \qquad (1)$$

unde h_{eq} este exprimată în mm, V în km/h și R în m. În exploatare, supraînălțarea efectivă h este mai mică decât cea de echilibru, iar diferența $I = h_{eq} - h$, numită insuficiență de supraînălțare, este limitată din considerente de confort și siguranță. Din relația (1) rezultă viteza maximă admisă într-o curbă existentă și raza minimă necesară pentru o viteză impusă:

$$V_{max} = \sqrt{\frac{R \cdot (h + I)}{11,8}} \quad (2)$$

$$R_{min} = \frac{11,8 \cdot V^2}{h + I} \quad (3)$$

Specificația tehnică de interoperabilitate pentru subsistemul infrastructură (TSI INF) limitează supraînălțarea de proiectare, pe calea cu prismă de piatră spartă, la 160 mm pentru liniile cu trafic mixt sau de marfă și la 180 mm pentru liniile de călători. Insuficiența de supraînălțare este limitată la 153 mm pentru locomotive și vagoane de călători, la viteze de până la 160 km/h, și la 130 mm pentru vagoanele de marfă [7]. În practica națională de proiectare se aplică și prevederile Instrucției nr. 314/1989 [8] și ale SR EN 13803 [10].

Aceste limite au crescut considerabil în timp. În 1960, instrucțiile CFR admiteau o supraînălțare maximă de 115 mm și o lipsă de supraînălțare de 55 mm, de unde rezulta pentru curbele cu supraînălțare formula de exploatare $V_{max} = 3,8\sqrt{R}$, iar accelerația transversală neechilibrată era limitată la ±0,60 m/s² [18]. Vasiliu semnala că alte administrații admiteau 130–180 mm și propunea ca, cel puțin pe liniile principale cu șine tip 49, CFR să adopte 150 mm, „efectul direct fiind sporirea vitezelor de circulație în curbe” [18]. Încă din 1960, autorul anticipa că cerințele economice „vor impune ca și la C.F.R. să se adopte în curând viteze de circulație sporite” [18]: problema discutată astăzi este, în esență, aceeași.

Tabelul 1 prezintă razele minime obținute cu relația (3) pentru trei ipoteze: valorile CFR din 1960 (h = 115 mm, I = 55 mm), o ipoteză moderată (h = 150 mm, I = 100 mm), apropiată de valorile uzuale pe liniile cu trafic mixt, și una care utilizează limitele TSI INF (h = 160 mm, I = 153 mm).

Tabelul 1. Raza minimă a curbei în funcție de viteză, calculată cu relația (3)

Ipoteza	80 km/h	100 km/h	120 km/h	160 km/h	200 km/h
h + I = 170 mm (115 + 55; CFR 1960)	444 m	694 m	1000 m	1777 m	2776 m
h + I = 250 mm (150 + 100)	302 m	472 m	680 m	1208 m	1888 m
h + I = 313 mm (160 + 153)	241 m	377 m	543 m	965 m	1508 m

Raza minimă crește cu pătratul vitezei. Trecerea de la 100 km/h la 160 km/h înseamnă o rază de 2,56 ori mai mare. O curbă de 500 m, frecventă pe traseele istorice de vale, permitea în 1960 circa 85 km/h; conform relației (2), aceeași curbă permite astăzi circa 103 km/h în ipoteza moderată și circa 115 km/h la limitele TSI. Curba a „câștigat” 20–30 km/h numai prin evoluția materialelor, a întreținerii și a normelor, fără nicio lucrare de traseu, dar nu poate ajunge la 160 km/h. Pentru 160 km/h sunt necesare 965–1208 m. Diferența nu poate fi acoperită

prin ajustarea supraînălțării, ci numai printr-o altă curbă, deci printr-o deplasare a axei de ordinul zecilor de metri.

Traficul mixt restrânge și mai mult spațiul de soluții. Aceeași curbă este parcursă de trenuri de călători cu 160 km/h și de trenuri de marfă cu 80–100 km/h. Pentru trenul lent, supraînălțarea efectivă depășește supraînălțarea de echilibru, iar acest exces este la rândul lui limitat, din cauza încărcării suplimentare a firului interior și a uzurii. Supraînălțarea nu poate fi deci aleasă oricât de mare, iar suma $+ I$ utilizabilă este limitată din ambele direcții. De aceea, liniile cu trafic mixt necesită raze mai mari decât liniile dedicate exclusiv călătorilor.

4.2. Racordările și deplasarea axei

Chiar acolo unde raza existentă este suficientă, creșterea vitezei impune racordări de tranziție mai lungi, deoarece lungimea acestora crește cu viteza și cu supraînălțarea. Introducerea unei clotoide mai lungi între aliniament și arcul de cerc presupune deplasarea arcului spre interiorul curbei (ripare) cu mărimea [15]:

$$p \approx \frac{L^2}{24 \cdot R} \tag{4}$$

unde L este lungimea racordării, iar R raza arcului de cerc. Pentru $R = 1200$ m, o racordare de 60 m produce $p \approx 0{,}13$ m, iar una de 150 m produce $p \approx 0{,}78$ m. O deplasare a axei de circa 0,65 m pare nesemnificativă la scara traseului, dar poate afecta stâlpii liniei de contact, marginea peroanelor, gabaritul pe poduri și lățimea platformei. Astfel, o limitare aparent geometrică devine o problemă multidisciplinară. De aceea, rectificarea curbelor existente pornește întotdeauna de la ridicarea topografică precisă a curbei din teren și de la calculul ripărilor punct cu punct, metode sistematizate în literatura românească încă din 1960 [15], [18].

5. TREI SITUAȚII RECENTE DIN REȚEAUA CFR

Proiectele de modernizare a rețelei TEN-T din România urmăresc, în general, 160 km/h pentru călători și 120 km/h pentru marfă. Tabelul 2 arată cum se răspunde acestei cerințe pe trasee istorice foarte diferite.

Tabelul 2. Comparație între trei proiecte recente de modernizare

Element	Ilia–Mintia	Apața–Cața	București Nord–Craiova
Linia	Arad–Simeria (TEN-T, axa prioritară 22)	Brașov–Sighișoara, secțiunea 2	Magistrala 100
Situația inițială	traseu din 1868, pe valea Mureșului	43,95 km; viteză de proiectare existentă max. 120 km/h	traseu de câmpie; declivități max. 6‰ și 8,3‰

Element	Ilia–Mintia	Apața–Cața	București Nord–Craiova
Soluția	variantă nouă de 5,885 km, cu 1,216 km mai scurtă; 3 poduri peste Mureș (1,3 km)	28,2 km; 10,03 km linie nouă; 12,06 km în tuneluri; 6 viaducte	modernizare pe traseul existent, 204 km
Viteza vizată	160 / 120 km/h	160 km/h	160 km/h; geometria în plan permite 200 km/h
Stadiu	deschisă circulației în noiembrie 2025	în execuție (contract semnat în 2020)	indicatori avizați în februarie 2025
Sursa	[11]	[12]	[13]

5.1. Ilia–Mintia: traseul istoric depășit de cerință

Pe tronsonul Gurasada–Simeria, pentru atingerea vitezei de 160 km/h a fost realizată între Ilia și Mintia o variantă nouă de 5,885 km, cu 1,216 km mai scurtă decât traseul anterior. Varianta include trei poduri feroviare peste Mureș, cu lungimi de 384 m, 435 m și 486 m. Contractul pentru întregul tronson cuprinde 40,88 km de cale modernizată, 17 poduri și 27 de podețe [11]. Traseul din 1868 urmărea malul râului. Varianta nouă îl traversează de trei ori, pentru că astăzi un pod costă mai puțin decât o restricție de viteză permanentă (Figura 2). Cazul arată limpede că, atunci când geometria istorică nu mai poate răspunde rezonabil cerințelor, proiectul încetează să fie o reabilitare și devine, local, construcție de infrastructură nouă.

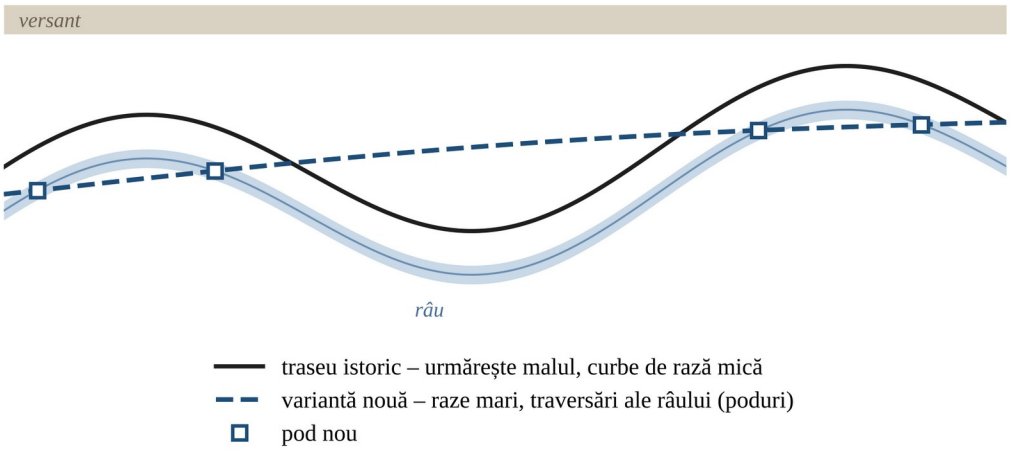


Figura 2. Logica unei variante de traseu pe o vale: traseul istoric urmărește malul, varianta nouă traversează râul (reprezentare schematică, fără corespondență cu un amplasament real)

5.2. Apața–Cața: inversarea criteriilor din secolul al XIX-lea

Pe linia Brașov–Sighișoara, secțiunea Apața–Cața are pe traseul existent 43,95 km și o viteză de proiectare de cel mult 120 km/h. Proiectul de modernizare reduce lungimea la 28,2 km, adică cu circa 15,75 km sau 36%. Soluția cuprinde 10,03 km de linie nouă, două perechi de tuneluri cale simplă, Ormeniș (6,916 km) și Homorod (5,144 km), însumând 12,06 km de linie în tunel, precum și șase viaducte [12]. Traseul istoric ocolea relieful pentru că tunelul era, în epoca sa, resursa cea mai scumpă. Traseul nou străpunge relieful pentru că astăzi timpul de parcurs, capacitatea și costul întreținerii pe durata de viață cântăresc mai mult. Este, practic, o inversare a criteriilor de optimizare care au stat la baza traseului inițial, anticipată de literatura de specialitate, care menționa înlocuirea liniilor de culme cu variante prin tuneluri de bază [15].

5.3. București Nord–Craiova: rezerva unui traseu favorabil

La polul opus se află linia București Nord–Craiova, de 204 km, cu declivități maxime de 6‰ și 8,3‰ pe cele două subsecțiuni. Pentru modernizarea la 160 km/h, CFR SA precizează că elementele geometrice ale traseului în plan pot permite creșterea ulterioară a vitezei la 200 km/h [13]. Posibilitatea geometrică nu trebuie confundată cu o viteză aprobată sau realizată, deoarece aceasta depinde și de suprastructură, de instalații, de materialul rulant și de condițiile de exploatare. Cazul arată însă că un traseu bine ales poate păstra rezerve de performanță după mai multe generații tehnologice.

6. MODERNIZAREA NU ÎNSEAMNĂ NUMAI VITEZĂ

O infrastructură modernă trebuie să ofere simultan capacitate, siguranță, disponibilitate, accesibilitate, interoperabilitate și costuri de întreținere sustenabile; pentru traficul de marfă, lungimea utilă a liniilor din stații, sarcina pe osie și gabaritul pot conta la fel de mult ca viteza. Lucrările din stațiile Feteşti și Ciulnița, pe 18,85 km de cale, ilustrează această abordare de sistem. Proiectul vizează 160 km/h pe liniile directe, sarcina pe osie de 22,5 t, lungimi utile ale liniilor din stații de cel puțin 750 m, gabaritul de încărcare C, sistemul ERTMS (ETCS nivel 2 și GSM-R), modernizarea electrificării la 25 kV și înălțarea peroanelor la standardele europene [14]. O cale ferată modernă nu este, așadar, o cale veche pe care trenul circulă mai repede, ci un ansamblu ale cărui subsisteme trebuie să funcționeze coerent. Multe dintre acestea, de exemplu lungimea liniilor din stații sau gabaritul pe poduri și în tuneluri, sunt la rândul lor condiționate de amplasamentul istoric.

7. LINIA EXISTENTĂ SAU TRASEU NOU? CRITERII DE DECIZIE

Nu există un răspuns universal la întrebarea până unde merită modernizat un traseu istoric. Păstrarea traseului valorifică investițiile existente, reduce ocuparea de teren nou și menține relația cu localitățile deservite, dar poate perpetua restricții de viteză și impune lucrări îndelungate sub circulație. Un traseu nou oferă libertate geometrică, dar presupune exproprieri, lucrări de artă, impact de mediu și investiții inițiale mari. Lefterescu observa, încă din 1960, că o variantă se înscrie de regulă în condiții de teren mai grele decât linia inițială, deoarece „locurile de amplasare mai ușoară au fost alese” încă de la construcția liniei, iar posibilitățile de înscriere sunt mai limitate decât la o linie nouă atunci când o serie de puncte sunt obligate [15]. El distingea variantele apropiate, care folosesc terenurile învecinate liniei existente, de variantele largi sau ocolitoare, care urmăresc condiții topografice și geologice mai favorabile [15]. Pe baza celor discutate, decizia poate fi structurată după următoarele criterii:

– *performanța realizabilă*: viteza la care geometria existentă poate fi adusă fără deplasări majore ale axei, verificată cu relațiile (2) și (4);

– *starea infrastructurii*: capacitatea portantă a terasamentelor, starea drenajului și a lucrărilor de artă, care pot impune reconstrucția chiar și pe amplasamentul existent;

– *costul pe durata de viață*: investiția, întreținerea, restricțiile perpetuate și intervențiile repetate, nu numai costul inițial;

– *perturbarea exploatării*: lucrări sub circulație, cu închideri succesive, comparativ cu o variantă construită separat și racordată la final;

– *impactul teritorial*: exproprieri, mediu, relația cu localitățile și accesul la stații;

– *rezerva pentru viitor*: posibilitatea de a prelua viteze, sarcini sau lungimi de tren mai mari fără o nouă reconstrucție.

În practică, soluția optimă este frecvent una hibridă: păstrarea sectoarelor cu geometrie favorabilă și realizarea unor variante locale acolo unde constrângerile existente produc pierderi disproporționate de performanță. Cea mai scurtă sau cea mai rapidă variantă nu este automat cea mai bună. Calea ferată trebuie să deservească teritorii, nu doar să le traverseze.

8. DE LA PLANȘETĂ LA MODELUL DIGITAL: ACEEAȘI PROBLEMĂ INGINEREASCĂ

Ridicările topografice clasice, calculele manuale de trasare și planșele desenate au fost înlocuite de scanare laser, modele digitale ale terenului, proiectare parametrică și coordonare în modele informaționale, care permit analiza rapidă a zeci de variante. Digitalizarea nu modifică însă natura problemei: software-ul poate verifica relațiile (1)–(4), dar alegerea soluției rămâne o judecată

inginerească asupra terenului, apei, structurilor, exploatării şi costului. Inginerii anilor 1860–1880 nu puteau anticipa ERTMS sau reţeaua TEN-T, dar au rezolvat aceleaşi probleme de geometrie, teren şi structură, iar unele dintre soluţiile lor permit şi astăzi 160 km/h. La fel, nu putem anticipa cerinţele de peste un secol, dar putem proiecta astfel încât soluţiile de azi să nu devină prea repede constrângerile de mâine. Faptul că şcoala de inginerie a infrastructurii şi prima linie românească au pornit în acelaşi an, 1881, face din această continuitate, pentru comunitatea FCFDP, o responsabilitate asumată de 145 de ani.

9. CONCLUZII

Analiza conduce la următoarele concluzii:

– traseul este componenta cu cea mai mare inerţie a unei căi ferate: celelalte componente se înlocuiesc ciclic, în timp ce traseul este moştenit şi condiţionează toate intervenţiile ulterioare; pe linia Buzău–Mărăşeşti, podurile, prisma căii şi numărul de linii s-au schimbat, dar axa aleasă în 1879 a rămas axa magistralei;

– raza minimă creşte cu pătratul vitezei, astfel încât trecerea de la 100 la 160 km/h cere raze de circa 2,5 ori mai mari; evoluţia normelor de supraînălţare de după 1960 a adus câştiguri de 20–30 km/h pe aceleaşi curbe, dar pe traseele istorice de vale cerinţa de 160 km/h nu poate fi satisfăcută fără deplasarea axei sau variante noi;

– cazurile Ilia–Mintia şi Apaţa–Caţa arată că, dincolo de un anumit prag, modernizarea devine construcţie nouă şi că criteriile de optimizare ale secolului al XIX-lea, minimizarea lucrărilor de artă, sunt astăzi inversate; cazul Bucureşti Nord–Craiova arată, dimpotrivă, că un traseu favorabil poate păstra rezerve de viteză după peste un secol;

– decizia dintre linia existentă şi traseul nou trebuie fundamentată pe performanţa realizabilă, starea infrastructurii, costul pe durata de viaţă, perturbarea exploatării, impactul teritorial şi rezerva pentru viitor, nu numai pe investiţia iniţială;

– deoarece deciziile de traseu durează mai mult decât orice tehnologie sau normativ, proiectele actuale ar trebui să lase, acolo unde costul suplimentar este rezonabil, rezerve geometrice pentru cerinţe care astăzi nu pot fi anticipate.

Tehnologia se schimbă repede, iar infrastructura mult mai încet. Tocmai de aceea, cea mai importantă resursă a proiectării feroviare rămâne judecata inginerească, cea pe care şcoala de căi ferate, drumuri şi poduri o formează de 145 de ani.

BIBLIOGRAFIE

[1]. O. UDRIȘTE: *„140 de ani de la înființarea Direcției Princiare a Căilor Ferate Române, prilej de reflecție asupra situației actuale”*, Univers Ingineresc, AGIR, nr. **8**/**2020**, www.agir.ro.

[2]. CNCF „CFR” SA: *„Anexa 1 la Raportul administratorilor 2024 – Declarația nefinanciară”*, București, **2025**, www.cfr.ro.

[3]. D. IORDĂNESCU, C. GEORGESCU: *„Construcții pentru transporturi în România 1881–1981”*, vol. I, Centrala de Construcții Căi Ferate, București, **1986**.

[4]. ALBA24: *„Cum a ajuns «carul de foc» la Alba Iulia acum 145 de ani. Primul drum de fier din Transilvania”*, Alba Iulia, **2013**, www.alba24.ro.

[5]. CFR CĂLĂTORI: *„140 years from the first railway built entirely by Romanian engineers”*, București, **2021**, www.cfrcalatori.ro.

[6]. AGIR: *„Gheorghe Duca (1847–1899), reformator al învățământului politehnic (1881), membru fondator al Societății Politehnice”*, Univers Ingineresc, nr. **19**/**2007**, www.agir.ro.

[7]. COMISIA EUROPEANĂ: *„Regulamentul (UE) nr. 1299/2014 privind specificația tehnică de interoperabilitate pentru subsistemul «infrastructură» al sistemului feroviar din Uniunea Europeană”*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 356, **2014**, cu modificările ulterioare.

[8]. MINISTERUL TRANSPORTURILOR: *„Instrucția nr. 314/1989 de norme și toleranțe pentru construcția și întreținerea căii – liniile cu ecartament normal”*, București, **1989**.

[9]. C. ESVELD: *„Modern Railway Track”*, ediția a 2-a, MRT-Productions, Zaltbommel, **2001**.

[10]. ASRO: *„SR EN 13803 Aplicații feroviare. Cale. Parametri de proiectare ai traseului căii. Ecartamente de 1435 mm și mai mari”*, București, **2017**.

[11]. CNCF „CFR” SA: *„CFR SA deschide circulația feroviară pe noua variantă de traseu construită între stațiile Ilia și Mintia”*, comunicat, 10 noiembrie **2025**, www.cfr.ro.

[12]. CNCF „CFR” SA: *„Modernizarea liniei de cale ferată Brașov–Sighișoara, Secțiunea 2 Apața–Cața – prezentare”*, București, **2026**, www.cfr.ro.

[13]. CNCF „CFR” SA: *„Modernizarea liniei de cale ferată București Nord–Craiova a fost avizată de Consiliul Interministerial”*, comunicat, 6 februarie **2025**, www.cfr.ro.

[14]. CNCF „CFR” SA: *„Proiecte PT – Stadiu implementare Fetești–Ciulnița”*, www.cfr.ro, accesat octombrie **2026**.

[15]. D. M. LEFTERESCU: *„Trasee de linii ferate. Studiul și proiectarea lor”*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, București, **1960**.

[16]. M. MANOLACHE: *„Prima lucrare de cale ferată realizată de către ingineri români – linia Buzău–Mărășești, 18 octombrie 1881”*, prezentare, Biblioteca Națională a României, Serviciul Colecții Speciale, București, **2021**.

[17]. S. SABĂU, E. CSOBAI: *„Gări și tradiții populare – trasee culturale transfrontaliere pe calea ferată”*, Complexul Muzeal Arad, Arad, **2005**.

[18]. I. VASILIU: *„Curbe de cale ferată”*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, București, **1960**.

PLATFORMA RODOP.RO – INSTRUMENT WEB PENTRU CALCULUL STRUCTURAL ŞI ECONOMIC AL PROIECTELOR DE DRUMURI

Surducan Alina, ing., Holcim România S.A., e-mail: alina.surducan@holcim.com
Gheorghe Anca, ing., Holcim România S.A., e-mail: anca.gheorghe@holcim.com
Gal Monica, ing., Holcim România S.A., e-mail: adelamonica.gal@holcim.com
Dârgău Adrian, ing., Holcim România S.A., e-mail: adrian.dargau@holcim.com
Zghibarcea Ștefan, ing., Holcim România S.A., e-mail: stefan.zghibarcea@holcim.com

Rezumat

Platforma RoDOp (Roads Design And Optimisation), un proiect dezvoltat de Holcim, reprezintă un instrument web prin care orice persoană interesată poate efectua calculul structural și economic pentru proiectele de drumuri. Aplicația se adresează către trei tipuri principale de utilizatori: firme de proiectare, firme de execuție și furnizori de materiale. Prin integrarea hărților climatice interactive și a bazei de date cu materiale de construcție, platforma permite dimensionarea și verificarea precisă a structurilor rutiere, oferind în același timp și o evaluare de sustenabilitate privind amprenta de CO_2 a proiectului.

Cuvinte cheie: RoDOp, proiectare drumuri, calcul structural, emisii CO_2, Holcim.

Abstract

The RoDOp (Roads Design And Optimisation) platform, a project developed by Holcim, is a web tool through which anyone interested can perform structural and economic calculations for road projects. The application is addressed to three main types of users: design firms, construction companies, and material suppliers. By integrating interactive climate maps and construction material databases, the platform enables the accurate sizing and verification of road structures, while also providing a sustainability assessment regarding the project's CO_2 footprint.

Keywords: RoDOp, road design, structural calculation, CO_2 emissions, Holcim.

1. CONTEXT TEHNOLOGIC ŞI FUNCȚIONALITĂȚI GENERALE

1.1. Contextul digitalizării în ingineria rutieră

Proiectarea structurilor rutiere moderne impune respectarea strictă a reglementărilor tehnice naționale și europene, urmărindu-se în mod constant echilibrul optim între capacitatea portantă, durabilitatea în exploatare și sustenabilitatea ecologică. În contextul actual, marcat de cerințe riguroase privind

decarbonizarea sectorului de construcții și utilizarea rațională a resurselor naturale, dezvoltarea unor instrumente software accesibile prin intermediul web devine imperativă. Platforma RoDOp (*Roads Design And Optimisation*), dezvoltată sub viziunea strategică a companiei Holcim România („Holcim – partenerul principal pentru construcții sustenabile”), răspunde direct acestor provocări tehnice.

1.2. Publicul țintă și profilul utilizatorilor

Aplicația este structurată pentru a deservi fluxurile de lucru specifice tuturor actorilor implicați în ciclul de viață al unui proiect rutier. La înregistrare, platforma permite configurarea contului în funcție de specificul organizației (Figura 1):

- **Firme de proiectare:** beneficiază de extragerea automată a datelor de intrare de amplasament, biblioteci de materiale normate și motoare de calcul conform normativelor în vigoare;
- **Firme de execuție (Constructori):** au acces la estimări de cantități, grafice de timp bazate pe randamentul utilajelor și optimizări logistice ale aprovizionării;
- **Furnizori de materiale:** își pot înregistra bazele de producție (balastiere, stații de asfalt, fabrici de lianți), devenind vizibili pe hărțile de proximitate ale șantierelor.

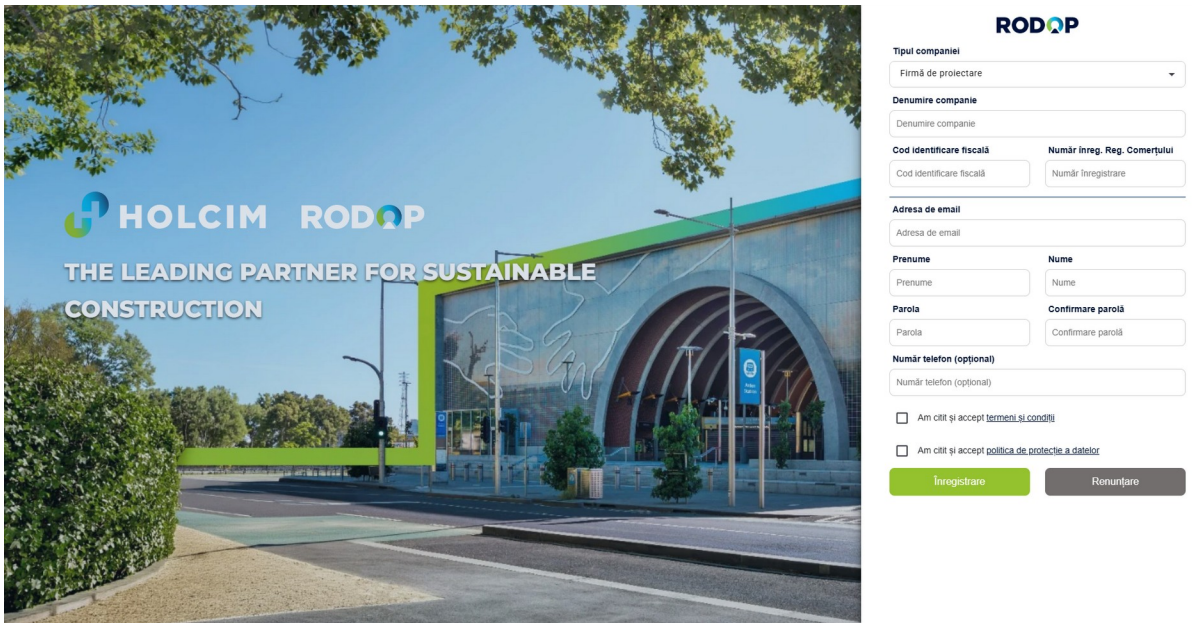


Figura 1. Interfața de înregistrare și selectarea tipologiei companiei în platforma RoDOp

2. MODULUL DE PROIECTE ŞI CALCUL STRUCTURAL

2.1. Hărţi interactive şi determinarea automată a condiţiilor de mediu

Una dintre inovațiile majore aduse de platforma RoDOp constă în integrarea unui sistem GIS interactiv ce acoperă întregul teritoriu al României. Proiectantul nu mai este nevoit să consulte tabele statice sau anexe cartografice tipărite, parametrii de mediu fiind interogaţi automat pe baza coordonatelor geografice. Pentru realizarea rapidă a verificării rezistenţei la îngheţ-dezgheţ a structurii rutiere, respectiv pentru determinarea automată a adâncimii de îngheţ-dezgheţ în pământul de fundație, conform STAS 1709, au fost integrate două straturi cartografice de bază:

1. Harta zonelor climatice de pe teritoriul României (zonele I, II şi III), stabilită pe baza indicelui de umiditate Thornthwaite, I_m (Figura 2).

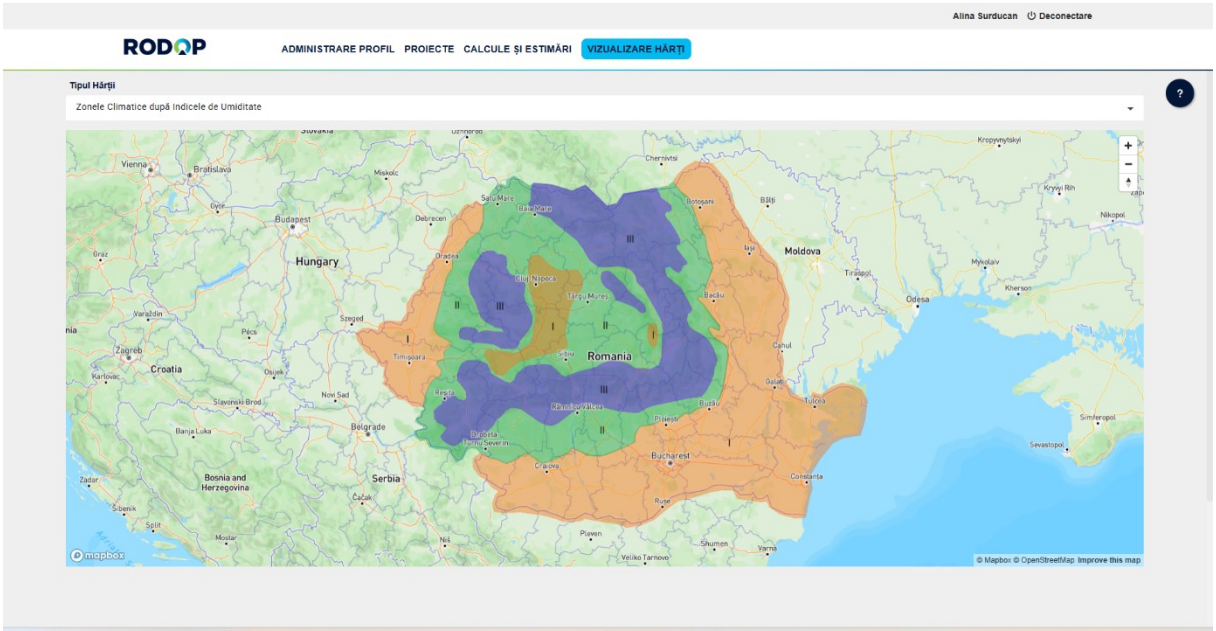


Figura 2. Harta zonelor climatice din România după indicele de umiditate

2. Harta indicelui maxim de îngheţ calculat pe o perioadă multianuală de 30 de ani, parametru critic în calculul adâncimii de îngheţ şi verificarea la acţiunea îngheţ-dezgheţ (Figura 3).

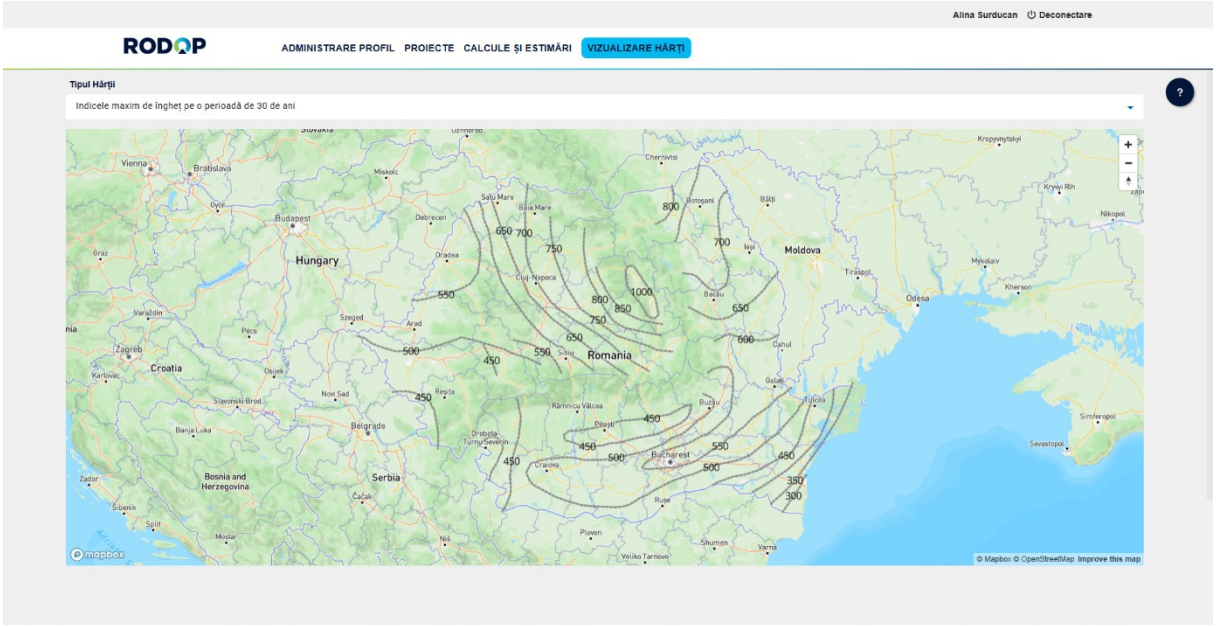


Figura 3. Harta izoliniilor indicelui maxim de îngheț pe 30 de ani

2.2. Modulul de trasare și definire a sectorului de drum

În secțiunea „Proiecte”, inginerul definește geometria traseului prin selectarea punctelor de reper direct pe harta interactivă (Figura 4). Aplicația permite introducerea manuală sau importul fișierelor de coordonate (latitudine și longitudine). Pe baza traseului definit, sistemul extrage lungimea sectorului, unitățile administrativ-teritoriale tranzitate și asociază instantaneu regimul hidrologic și tipul climatic de calcul.

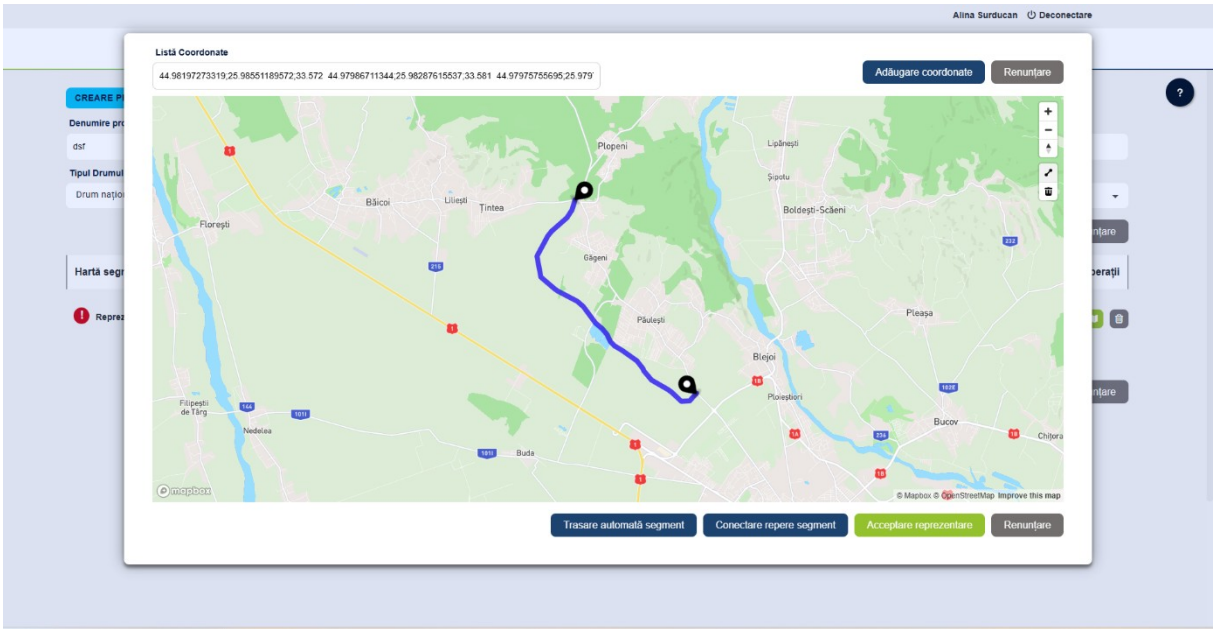


Figura 4. Modulul pentru trasarea interactivă a segmentului de drum

2.3. Configurarea pachetului de straturi din alcătuirea structurii rutiere

Interfața de configurare permite definirea structurii rutiere prin stratificare succesivă, de la patul drumului până la stratul de rulare (Figura 5). Utilizatorul introduce lățimea căii (m), traficul de calcul exprimat în milioane de osii standard (m.o.s.) și tipul pământului de fundare (conform datelor din studiul de trafic, respectiv din studiul geotehnic). Pentru fiecare strat (uzură, legătură, bază, fundație superioară, fundație inferioară, strat de formă), baza de date pune la dispoziție materiale conform normativelor în vigoare, punând accent pe soluții moderne de stabilizare cu lianți hidraulici rutieri. Fiecare material este asociat cu parametrii elastici de calcul: grosimea stratului (h_i), modulul de elasticitate dinamic (E_i, exprimat în MPa) și coeficientul lui Poisson (m_i).

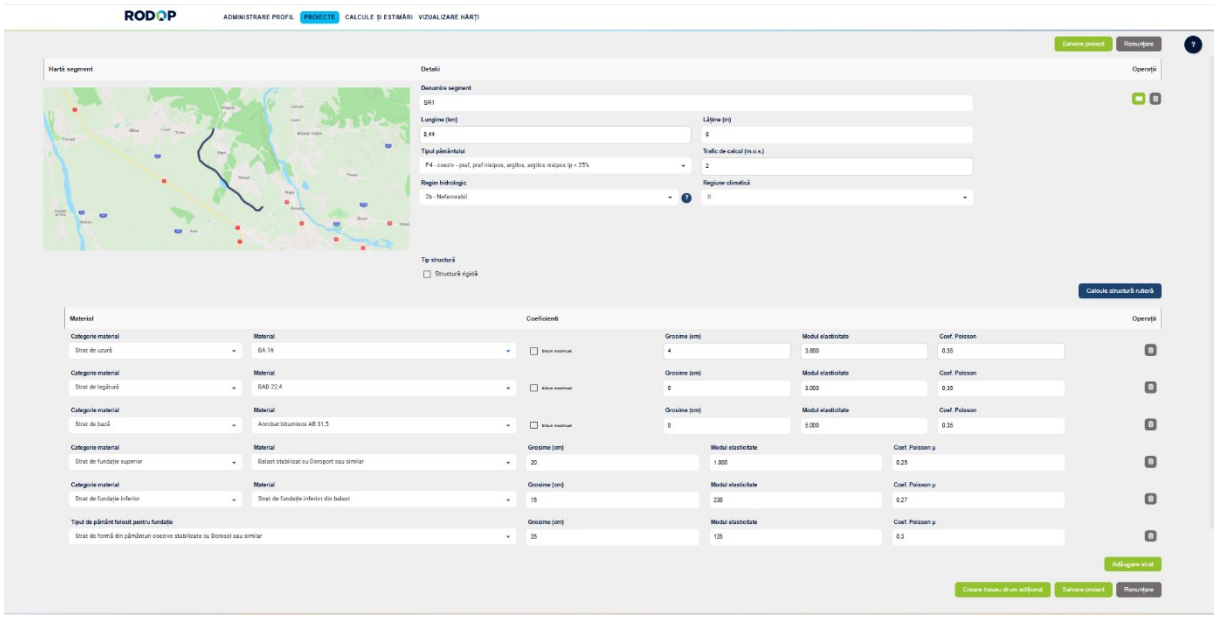


Figura 5. Fereastra de configurare a straturilor rutiere și parametrizarea mecanică a materialelor

Ulterior, platforma execută calcularea și verificarea structurilor la solicitările din trafic și la acțiunea din îngheț-dezgheț (Figura 6). Rezultatele pot fi exportate generând rapoarte detaliate în format PDF și Excel, pe care este inclus direct antetul companiei înregistrate, gata pentru a fi atașate în documentația oficială.

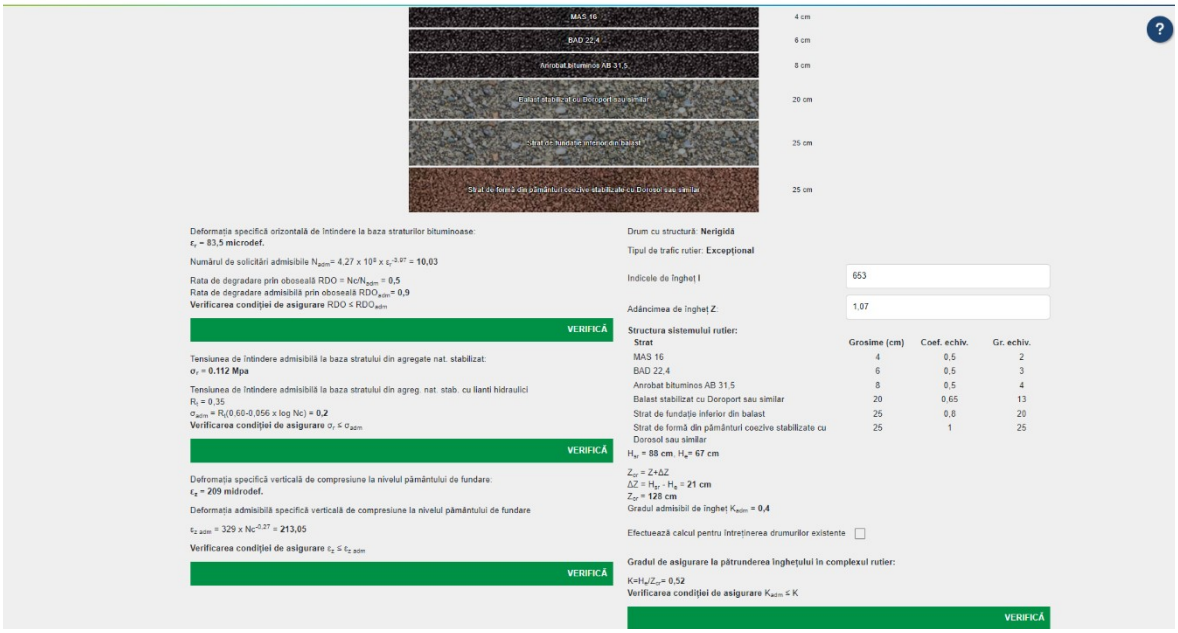


Figura 6. Fereastra de verificare a structurilor la solicitările din trafic și la acțiunea din îngheț-dezgheț

3. MODULUL ECONOMIC, LOGISTICĂ ȘI IMPACT DE MEDIU (CO_2)

3.1. Localizarea furnizorilor și optimizarea distanțelor de transport

Pentru a accesa secțiunea de estimări este obligatorie introducerea unei parole suplimentare, garantând astfel securizarea datelor. Aici, prin localizarea pe hartă a șantierului, aplicația permite selectarea furnizorilor de materiale (ex. balastiere, furnizori de agregate) pe baza distanței de transport. Platforma integrează un motor de rutare logistică ce identifică în timp real cele mai apropiate puncte de aprovizionare în raport cu amplasamentul șantierului (Figura 7). Se calculează distanța exactă de transport (km), utilizatorul putând bifa furnizorii preferați vs. alte surse aflate la distanțe mai mari. Acest calcul stă la baza determinării optime a costurilor de transport și a emisiilor asociate vehiculelor grele de marfă.

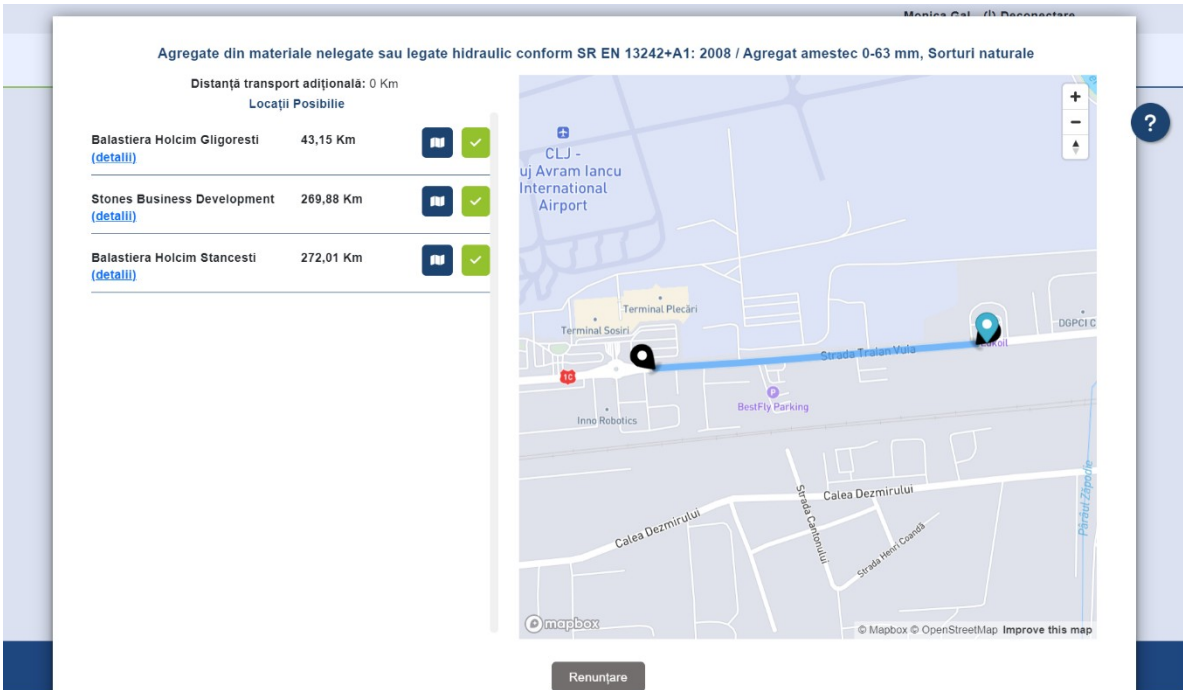


Figura 7. Harta logistică de selectare a furnizorilor de agregate și materiale stabilizate

3.2. Calculul estimativ al costurilor, timpului și amprentei de carbon

Platforma realizează calculul estimativ pentru fiecare strat din structura rutieră vizând trei factori majori (Figura 8):

- costurile (aici utilizatorul va introduce, pe baza ofertelor primite de la furnizori, costuri defalcate pe achiziția de materiale și manopera de punere în operă);
- timpul maxim de realizare;
- amprenta de CO_2 (emisii producere, emisii de la lianți, emisii din transport camion și utilaje).

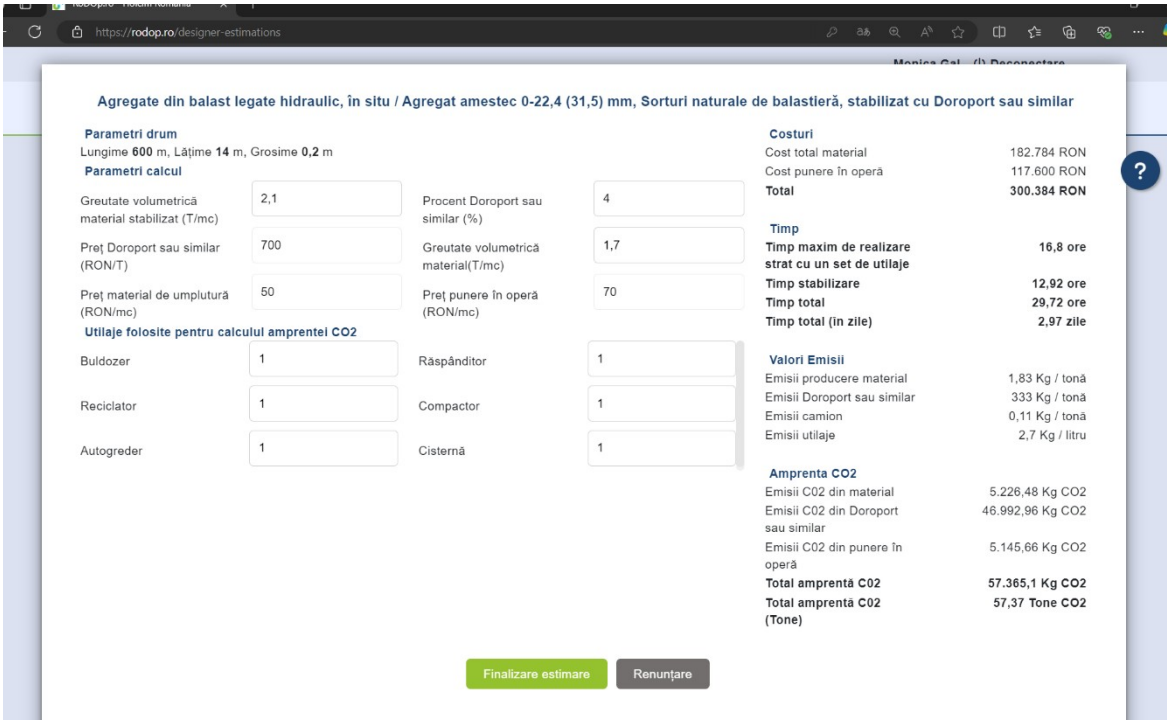


Figura 8. Fereastra de analiză a costului, duratei de execuție și emisiilor de CO_2 per strat

3.3. Evaluarea comparativă

O facilitate avansată a aplicației RoDOp este capacitatea de a genera o evaluare comparativă clară între mai multe tipuri de structuri rutiere propuse simultan (de exemplu: Structură Rutieră Semirigidă, Structură Suplă și Structură Rigidă). Datele sunt afișate prin reprezentări grafice (diagrame cu bare pentru cost și timp de execuție, respectiv vizualizări specifice pentru emisiile de CO_2 exprimate în tone), ajutând echipa să ia cea mai bună decizie din punct de vedere tehnico-economic și sustenabil.

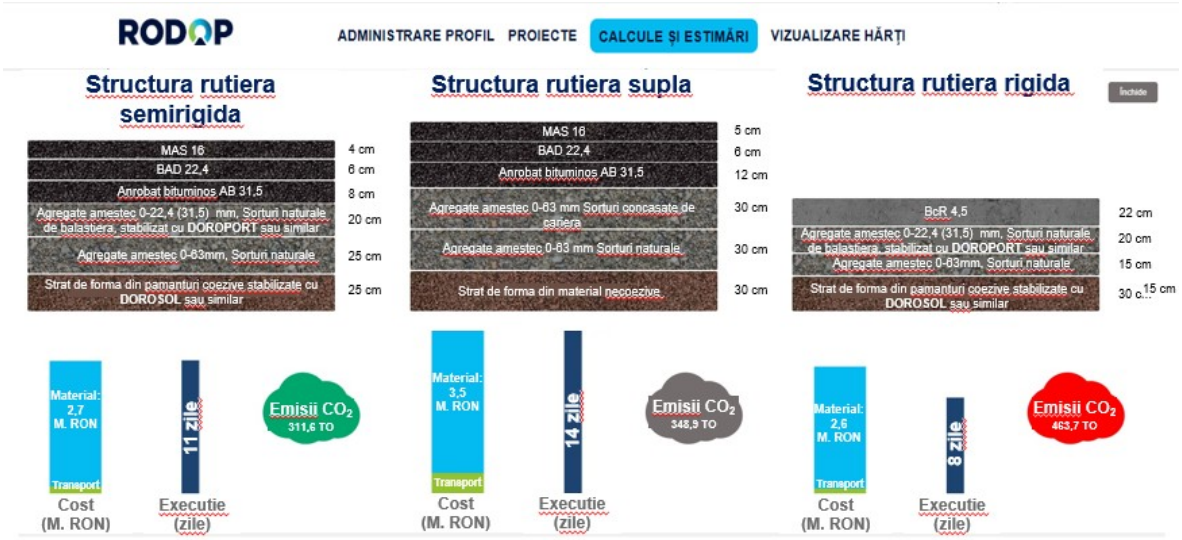


Figura 9. Tabloul comparativ al performanței structurilor rutiere (cost, durată execuție, emisii CO_2)

4. CONCLUZII

Platforma RoDOp aduce un aport semnificativ în digitalizarea și eficientizarea domeniului de proiectare a drumurilor din România. Prin integrarea modulelor de calcul structural precis cu cele de estimare economică și de sustenabilitate (emisii CO_2), soluția dezvoltată de Holcim ajută specialiștii să conceapă proiecte durabile și optimizate.

BIBLIOGRAFIE

[1]. HOLCIM ROMÂNIA: *Prezentare platformă web RoDOp – Roads Design and Optimisation* (Documentație tehnică și suport vizual de prezentare), București, **2024**.
[2]. *Normativ pentru dimensionarea structurilor rutiere suple și semirigide (Metoda analitică)*, C.N.A.I.R., București. *Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple și semirigide (metoda analitică), indicativ PD 177-2001*, Ministerul Transporturilor, București, **2001**.
[3]. *Normativ de dimensionare a structurilor rutiere rigide, indicativ NP 081-2002*, Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului, București, **2002**.
[4]. *Acțiunea fenomenului de îngheț-dezgheț la lucrările de drumuri, STAS 1709/1, 2, 3,* Institutul Român de Standardizare, București.

DEZVOLTAREA ȘI VERIFICAREA FUNCȚIONALĂ A UNUI BRAȚ ROBOTIZAT ADAPTIV CU PATRU GRADE DE LIBERTATE PENTRU OPERAȚII AUXILIARE ÎN CONSTRUCȚII

Tănăsescu Alin Florinel, ing., absolvent al programului de master „Sisteme Mecanice Avansate”, Facultatea de Inginerie Mecanică și Robotică în Construcții, Universitatea Tehnică de Construcții București, București, România, e-mail: tanasescu.alin84@gmail.com

Articolul valorifică rezultate originale provenite din activitățile de cercetare și experiența profesională a autorului, inclusiv din lucrarea de disertație [13], elaborată sub coordonarea științifică a prof. univ. dr. ing. Laurențiu RECE.

Rezumat

Articolul prezintă dezvoltarea și verificarea funcțională a unui braț robotizat cu patru axe acționate, considerate în cadrul studiului drept patru grade de libertate funcționale. Prototipul a fost realizat prin integrarea unei arhitecturi mecanice disponibile public, adaptarea transmisiei bazei, dezvoltarea unei platforme proprii de comandă și implementarea unui software multimodal. Sistemul utilizează o placă compatibilă Arduino Uno R3, trei servomotoare pentru articulațiile principale, un servomotor SG90 pentru efectorul terminal, patru potențiometre, un afișaj LCD și un senzor IR. Termenul „adaptiv” este utilizat într-un sens funcțional limitat, referindu-se la selectarea modurilor de operare, definirea de către operator a secvențelor de poziții și redarea automată a acestora; nu se revendică implementarea unui regulator adaptiv clasic. Contribuțiile proprii includ integrarea mecatronică, transmisia bazei 22/50, software-ul cu 25 de configurații temporare și 20 de configurații permanente, interpolarea sincronă și analiza mecanică, energetică și software. Dovezile foto-video confirmă calitativ mișcarea coordonată și reproducerea secvențelor. Capacitatea de manipulare a unei sarcini de 0,5 kg la raza maximă și adecvarea sursei de alimentare de 5 V/2 A necesită validare instrumentală. Platforma este destinată manipulării auxiliare a obiectelor ușoare în laboratoare și procese asociate construcțiilor, iar integrarea pe o bază mobilă constituie o direcție de dezvoltare viitoare.

Cuvinte cheie: braț robotizat; adaptivitate funcțională; fabricație aditivă; Arduino; construcții; verificare funcțională.

Abstract

This paper presents the development and functional verification of a robotic arm with four actuated axes, treated in this study as four functional degrees of freedom. The prototype was developed by integrating a publicly available mechanical architecture, adapting the base transmission, designing a dedicated control platform, and implementing multimode software. The system uses an Arduino Uno R3-compatible board, three servomotors for the main joints, an SG90 servomotor for the end effector, four potentiometers, an LCD, and an infrared sensor. The term “adaptive” is used in a limited functional sense, referring to operating-mode selection, operator-defined position sequences, and their automatic playback; the implementation of a classical adaptive controller is not claimed. The original contributions include mechatronic integration, a 22/50 base transmission, software supporting 25 temporary and 20 permanent configurations, synchronized interpolation, and mechanical, power-supply, and software analyses. Photographic and video evidence qualitatively confirms coordinated motion and sequence playback. The ability to handle a 0.5 kg payload at maximum reach and the suitability of the 5 V/2 A power supply require instrumental validation. The platform is intended for auxiliary handling of lightweight objects in construction-related laboratories and processes, while integration with a mobile base remains a direction for future development.

Keywords: robotic arm; functional adaptivity; additive manufacturing; Arduino; construction; functional verification.

1. INTRODUCERE

Robotizarea operațiilor de manipulare prezintă un interes tot mai mare în domeniul construcțiilor, atât pentru producția prefabricatelor și activitățile desfășurate în laboratoarele de materiale, cât și pentru operații de inspecție, întreținere și logistică. Spre deosebire de mediile industriale stabile, procesele specifice construcțiilor implică obiecte cu forme și dimensiuni variabile, spații de lucru schimbătoare, praf, vibrații și intervenții umane frecvente. În acest context, platformele robotice modulare, reconfigurabile și cu cost redus pot constitui soluții experimentale utile, care permit dezvoltarea progresivă a funcțiilor fără costul inițial asociat unui robot industrial [1, 12, 14].

Sistemele robotice realizate cu componente imprimate 3D și echipamente electronice accesibile sunt utile pentru cercetare exploratorie, instruire și dezvoltarea de modele funcționale, deoarece permit accesul direct la nivelurile mecanic, electronic și software. Totuși, rigiditatea componentelor polimerice, jocurile transmisiilor, toleranțele de fabricație și utilizarea servomotoarelor din categoria hobby impun o delimitare riguroasă între demonstrarea funcționalității

și validarea cantitativă a performanțelor. Platformele recente TARA și Forte evidențiază faptul că valorile privind precizia, repetabilitatea sau sarcina utilă devin relevante numai atunci când sunt susținute prin protocoale experimentale și prin raportarea completă a condițiilor de testare [7–9].

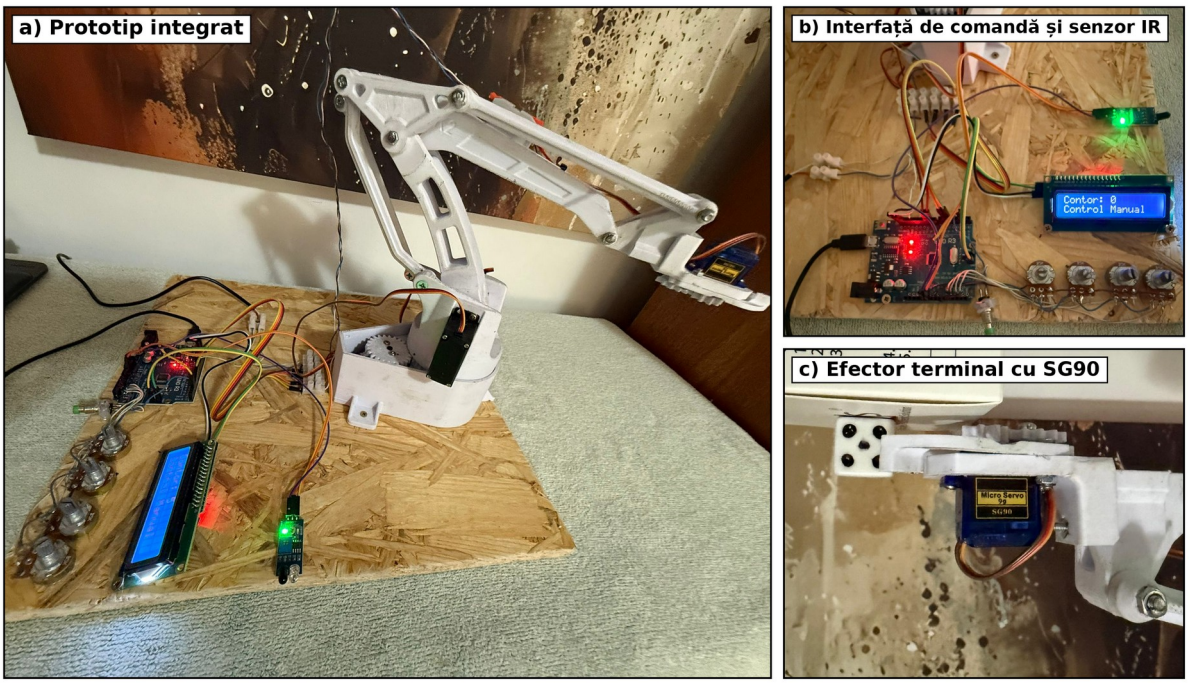


Figura 1. Platforma mecatronică experimentală: a) vedere generală a prototipului integrat; b) subsistemul de comandă și senzorul IR; c) detaliu al efectorului terminal acționat de servomotorul SG90.

1.1. Obiectivul și sensul termenului „adaptiv”

Obiectivul articolului este prezentarea, delimitarea și verificarea funcțională a contribuțiilor tehnice dezvoltate de autor: adaptarea arhitecturii mecanice de referință, dezvoltarea ansamblului CAD și a transmisiei bazei, integrarea componentelor mecanice, electronice și software, implementarea modurilor de operare și evaluarea limitelor funcționale ale prototipului. În titlu, termenul „adaptiv” este utilizat într-un sens funcțional limitat și descrie capacitatea platformei de a comuta între moduri de operare, de a înregistra secvențe definite de operator și de a le reda automat. Senzorul IR este utilizat pentru detectarea și contorizarea trecerii obiectelor prin zona monitorizată, fără a modifica în timp real traiectoria sau parametrii legii de comandă. Controlul adaptiv parametric, bazat pe identificarea dinamicii sistemului și ajustarea

automată a parametrilor de control, reprezintă o direcție viitoare și nu este revendicat ca rezultat al prototipului prezentat.

2. MATERIALE, METODĂ ȘI DELIMITAREA ORIGINALITĂȚII

Arhitectura mecanică de referință utilizată în cadrul proiectului a fost modelul public EEZYbotARM Mk2 [3]. Geometria principală a brațului a fost păstrată, însă ansamblul experimental final a fost dezvoltat de autor prin adaptarea și integrarea componentelor mecanice, electronice și software în raport cu cerințele funcționale ale proiectului. Modelarea și integrarea ansamblului în SolidWorks au urmărit corelarea funcției componentelor cu geometria acestora și cu posibilitățile tehnologice de realizare [15, 16]. Contribuțiile proprii din această etapă au inclus dezvoltarea ansamblului CAD complet, proiectarea transmisiei bazei cu pinion de 22 de dinți și roată condusă de 50 de dinți, configurarea platformei rotative, realizarea plăcii-suport și stabilirea amplasării componentelor electronice. Piesele structurale și roțile dințate au fost fabricate din material termoplastic cu ajutorul unei imprimante Creality Ender-3 V3 SE aparținând facultății. Tipul exact al filamentului și profilul de feliere utilizate nu au fost arhivate și, în consecință, nu sunt raportate în articol [5].

Tabelul 1. Delimitarea contribuției proprii față de arhitectura de referință

Nivel	Element preluat / reper	Contribuție realizată în proiect
Mecanic	Geometria de bază EEZYbotARM Mk2; brațul principal păstrat	Ansamblu CAD complet; bază și suport; transmisie 22/50; integrarea rulmenților, tijelor, șuruburilor și cleștelui.
Electronic	Nu a fost preluată nicio arhitectură electronică de la modelul mecanic de referință.	Arhitectură electronică proprie: placă compatibilă Arduino Uno R3, patru potențiometre, afișaj LCD I²C, senzor IR, distribuția semnalelor și alimentare externă.
Software	Biblioteci software standard disponibile pentru platforma Arduino	Program multimodal propriu: JOYSTICK, INREG, REDARE, DEMO, comenzi seriale, interpolare, filtrare și contorizare.
Validare	Nicio performanță preluată	Asamblare fizică, teste funcționale, probe foto-video și audit ingineresc al sarcinii, energiei și temporizărilor.

2.1. Configurația experimentală

Manipulatorul dispune de patru axe acționate: rotația bazei, mișcarea brațului principal, mișcarea antebrațului și deschiderea–închiderea cleștelui. În

convenţia funcţională adoptată în articol, acestea sunt descrise drept patru grade de libertate funcţionale. Din punct de vedere cinematic, primele trei axe contribuie la poziționarea structurii şi a efectorului terminal, în timp ce a patra acţionare este asociată exclusiv mecanismului de prindere. Articulaţiile principale sunt acţionate de trei servomotoare din categoria hobby, cu cuplu ridicat, aparţinând familiei MG995/MG996R. Având în vedere caracteristicile constructive apropiate ale celor două variante, servomotoarele sunt prezentate în articol la nivel de familie constructivă. Efectorul terminal este acționat de un servomotor de tip SG90. Unitatea de control este realizată cu o placă compatibilă Arduino Uno R3, bazată pe microcontrolerul ATmega328P, prevăzut cu șase intrări analogice, intrări și ieșiri digitale și o memorie EEPROM de 1 kB [4].

Configurația electronică și schema de conectare au fost verificate prin raportare la pinii utilizați efectiv în versiunea finală a programului: D10 pentru mișcarea brațului principal, D5 pentru mișcarea antebrațului, D6 pentru acționarea cleștelui și D9 pentru rotația bazei. Cele patru potențiometre sunt conectate la intrările analogice A0–A3, butonul de comandă la D3, iar senzorul IR la D2. Afișajul LCD 16×2 comunică prin magistrala I²C, la adresa 0x27.

3. PROIECTAREA MECANICĂ ŞI AUDITUL CAPACITĂȚII DE SARCINĂ

Documentația tehnică a ansamblului a fost elaborată prin reprezentarea configurației generale, a dimensiunilor funcționale și a principalelor componente mecanice, în concordanță cu principiile generale de desen tehnic și reprezentare inginerească [18]. Desenul rezultat indică o rază maximă de acțiune de 304 mm, o înălțime maximă de 257 mm și patru axe acționate, dintre care trei sunt destinate poziționării structurii, iar una deschiderii și închiderii cleștelui. Structura imprimată este montată pe o placă din PAL, iar articulațiile utilizează elemente metalice standard: șuruburi, piulițe, rulmenți, bucșe și tije. Această combinație este adecvată unui prototip, dar proprietățile mecanice depind de material, orientarea straturilor și parametrii de imprimare, care nu au fost măsurați în cadrul lucrării.

Integrarea componentelor polimerice cu elementele mecanice standard a necesitat corelarea interfețelor de montaj, verificarea compatibilității geometrice și realizarea unor operații succesive de asamblare, ajustare și verificare funcțională.

Ansamblul general, integrarea componentelor şi documentaţia tehnică prezentate în Figura 2 au fost dezvoltate de autor pentru realizarea şi verificarea funcţională a prototipului, pornind de la arhitectura mecanică de referinţă menţionată anterior.

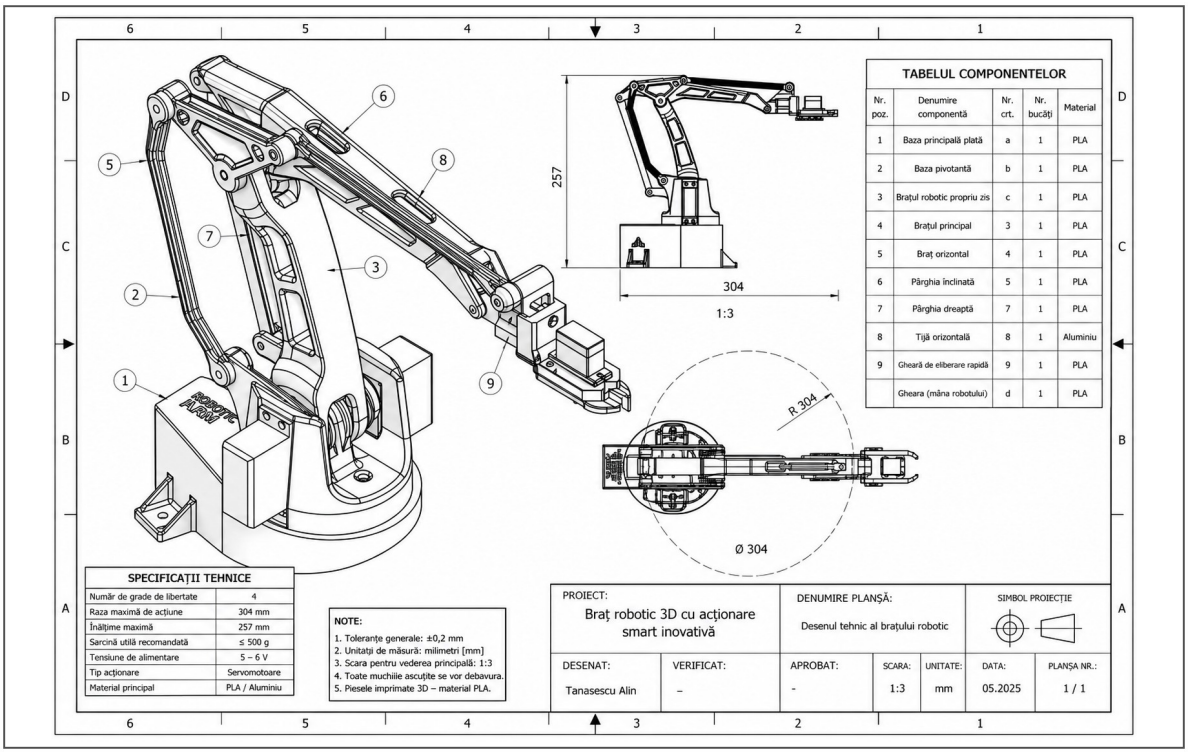


Figura 2. Ansamblul general şi documentaţia tehnică dezvoltate de autor: principalele componente şi anvelopa geometrică proiectată.

Transmisia bazei utilizează un pinion cu $z_1 = 22$ de dinţi şi o roată condusă cu $z_2 = 50$ de dinţi. Raportul geometric este:

$$u = z_2 / z_1 = 50 / 22 = 2{,}273. \quad (1)$$

Pentru modulul m = 1,75 mm, unghiul de presiune 20° şi distanţa dintre axe de 63 mm, gradul de acoperire teoretic calculat este $\varepsilon\alpha = 1{,}668$. Valoarea susţine continuitatea contactului, dar nu cuantifică jocul real al pieselor imprimate. Erorile la inversarea sensului pot proveni din contracţia polimerului, alinierea arborilor, flexibilitatea suportului şi jocul intern al servomotoarelor [1, 2].

Sarcina de 0,5 kg menţionată în desen este o ţintă de proiectare, nu o performanţă certificată. La raza maximă, momentul static produs numai de sarcină este:

$$M = m \cdot g \cdot r = 0{,}5 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}304 = 1{,}49\ N \cdot m \approx 15{,}2\ kgf \cdot cm. \quad (2)$$

Calculul nu include masa brațului, cleștelui și cablurilor. Prin urmare, 0,5 kg la extensia maximă nu trebuie prezentată ca valoare validată. Sarcina admisibilă trebuie stabilită experimental în funcție de rază, poziție și durata ciclului; reducerea 22/50 ajută rotația bazei, dar nu compensează momentul gravitațional din articulațiile verticale.

4. ARHITECTURA ELECTRONICĂ ȘI BILANȚUL ENERGETIC

Lanțul de comandă separă intrările utilizatorului de acționare. Convertorul analog-digital al ATmega328P citește potențiometrele pe 10 biți, iar codul mapează valorile în intervale unghiulare limitate pentru fiecare articulație. Comanda prin Servo.write() reprezintă referința unghiulară transmisă regulatorului intern al servomotorului; ea nu este o măsurare independentă a poziției efectorului.

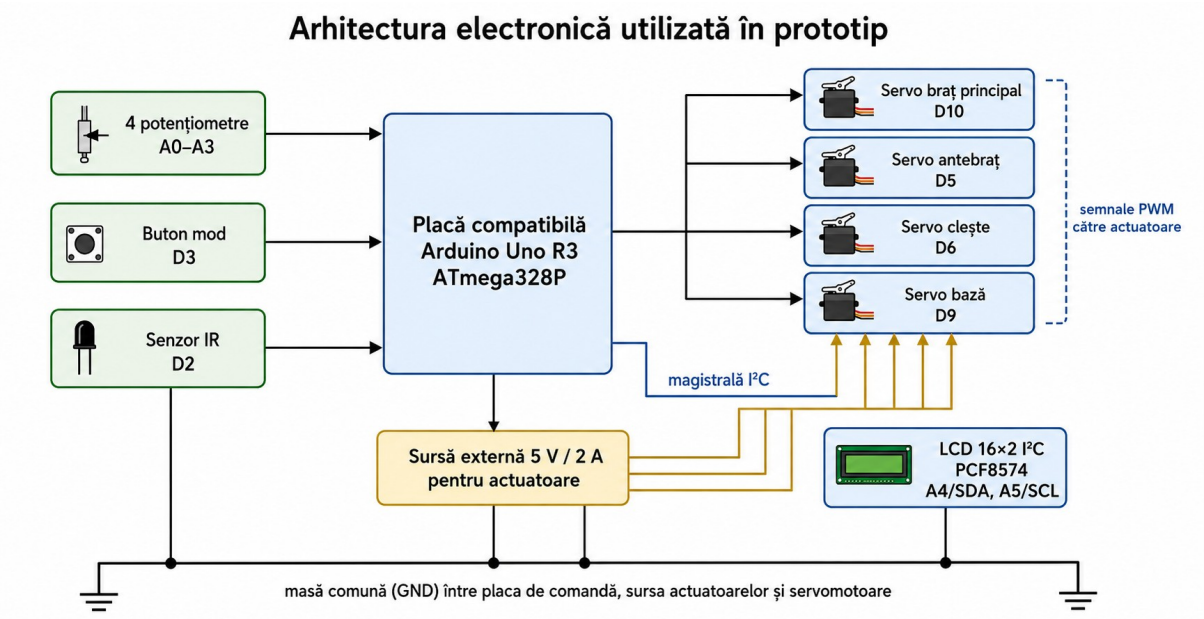


Figura 3. Arhitectura electronică actualizată după codul final: intrări analogice și digitale, ieșiri pentru actuatoare, LCD I²C și alimentare externă cu masă comună.

Servomotoarele nu trebuie alimentate din regulatorul plăcii. Schema recomandată utilizează o sursă stabilizată separată pentru actuatoare și o masă comună cu unitatea logică. Sunt necesare conductoare adecvate, decuplare locală și protecție la scurtcircuit; pentru utilizarea în construcții ar fi obligatorii și oprirea hardware, carcasarea și analiza de risc.

Tabelul 2. Parametri consolidaţi şi nivelul dovezii

Parametru	Valoare utilizată	Nivelul dovezii
Geometrie	4 axe acţionate (3 pentru poziţionare + 1 pentru cleşte); rază 304 mm; înălţime 257 mm	Model CAD şi desen tehnic
Transmisie bază	22/50 dinţi; u = 2,273	Calcul şi modelare
Memorie secvenţe	25 temporare; 20 permanente	Cod final analizat
Durată nominală	≈2,52 s/configuraţie	Calcul din temporizări
Sarcină 0,5 kg	Moment 1,49 N·m la 304 mm	Ţintă; nevalidată experimental

Bilanţul energetic elaborat pentru prototip estimează un consum de 9,75 W în regim uzual şi 14,25 W în regim de vârf. La 5 V rezultă Iuzual = 1,95 A şi Ivârf = 2,85 A. Sursa de 2 A nu oferă rezervă pentru vârful estimat; o valoare nominală mai mare poate fi recomandată numai după măsurarea curentului de blocare şi a căderilor de tensiune. În articol, aceste valori sunt tratate ca estimări inginereşti, nu ca rezultate instrumentale.

5. ARHITECTURA SOFTWARE ŞI ADAPTIVITATEA FUNCŢIONALĂ

Programul final, dezvoltat în Arduino IDE, utilizează bibliotecile Servo, Wire, LiquidCrystal_I2C şi pgmspace. Modurile principale sunt JOYSTICK, INREG şi REDARE, la care se adaugă DEMO pentru un traseu permanent. Interfaţa serială include comenzi pentru schimbarea modului, pornirea redării, oprirea software, revenirea „home”, listarea şi ştergerea secvenţei.

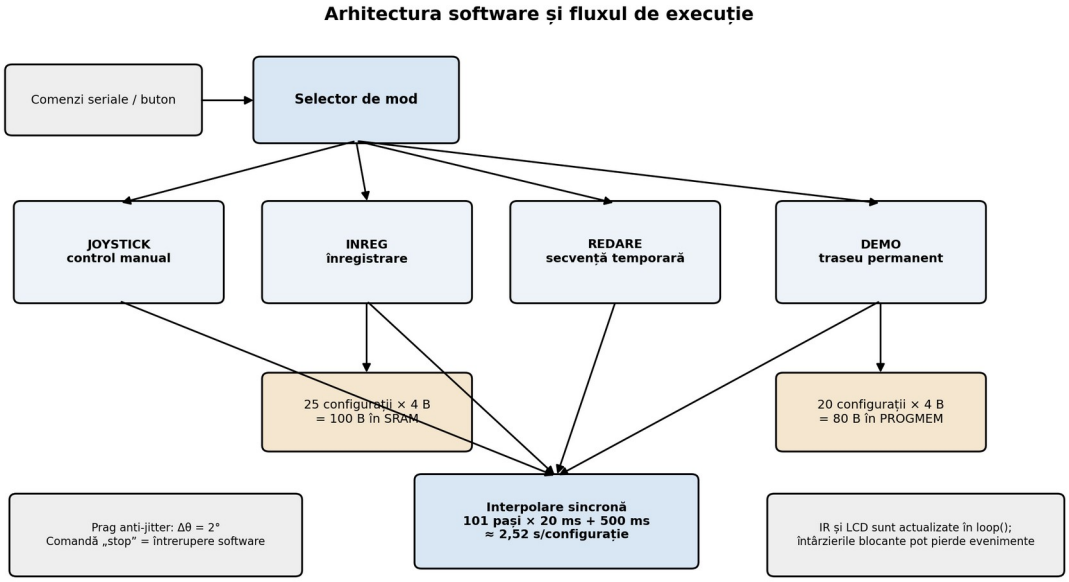


Figura 4. Organizarea programului, stocarea configurațiilor și temporizarea mișcării.

O configurație conține patru unghiuri reprezentate pe câte un octet. Lista introdusă de operator are maximum 25 de configurații, adică aproximativ 100 B în SRAM. Traseul demonstrativ are 20 de configurații, stocate în PROGMEM și repetate de șase ori. Separarea reduce presiunea asupra memoriei RAM și permite păstrarea unei demonstrații la repornire.

În modul manual, comanda este actualizată numai când diferența depășește pragul $\Delta\theta = 2°$. Filtrul reduce jitterul produs de zgomotul analogic, dar introduce o zonă de insensibilitate și nu mărește precizia fizică. Pentru trecerea dintre două configurații se utilizează interpolarea liniară sincronă:

$$\theta_i(k) = \theta_i(0) + (k/100)[\theta_i,\text{țintă} - \theta_i(0)],\ \ k = 0\ldots100. \qquad (3)$$

Cu 101 pași la 20 ms și o pauză de 500 ms, durata nominală este aproximativ 2,52 s/configurație. Implementarea este blocantă: în timpul redării, bucla principală nu actualizează continuu senzorul IR, LCD-ul și comenzile. Comanda „stop” întrerupe software secvența, dar menține servomotoarele alimentate; nu este o oprire de urgență industrială. În etapa viitoare, temporizările trebuie înlocuite cu o mașină de stări bazată pe millis(), iar controlul adaptiv propriu-zis va necesita feedback extern și estimarea variației sarcinii.

6. VERIFICAREA FUNCȚIONALĂ

Verificarea a fost realizată prin observații directe, fotografii și patru secvențe video cu durata totală de aproximativ 191 s. Au fost urmărite pornirea sistemului, afișarea modului, răspunsul la comenzile operatorului, coordonarea articulațiilor, acționarea cleștelui și redarea automată a unei succesiuni. Obiectele utilizate în verificarea funcțională au avut exclusiv rol de repere și sarcini ușoare; acestea nu au fost cântărite și nu au fost utilizate pentru validarea țintei de proiectare de 0,5 kg.

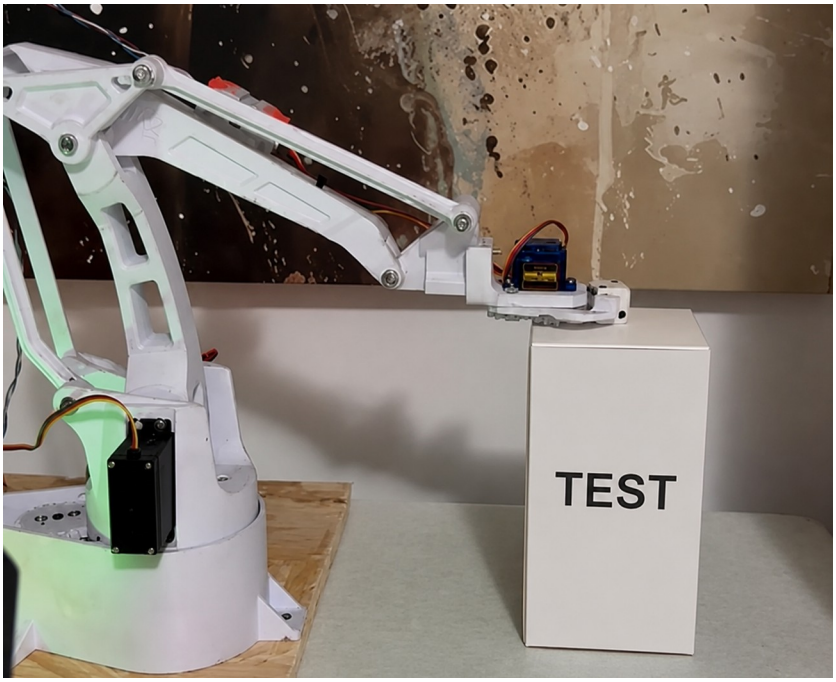


Figura 5. Imagine din verificarea funcțională a prototipului, evidențiind poziționarea efectorului terminal în raport cu obiectul utilizat ca reper.

Tabelul 3. Matricea verificării funcționale

Funcție	Dovadă observată	Concluzie permisă
Control manual	Mișcare la acționarea potențiometrelor; LCD activ	Lanțul intrare-comandă-acționare este funcțional.
Secvență automată	Mai multe configurații executate succesiv	Redarea programată este demonstrată calitativ.
Efector terminal	Deschidere/închidere și apropiere de obiect	SG90 și mecanismul cleștelui funcționează.
Rotație și articulații	Schimbarea coordonată a configurației	Integrarea mecanică și software este funcțională.
Manipulare	Apropiere și poziționare cu intervenții ale operatorului	Nu demonstrează încă un ciclu autonom repetabil.

În modul manual, oscilaţiile mici au fost diminuate prin pragul de 2°. Pentru înregistrare şi redare, corectarea indexării şi sincronizarea cleştelui au îmbunătăţit comportamentul observat. Aceste rezultate confirmă fezabilitatea funcţională a prototipului, însă nu reprezintă o evaluare conform ISO 9283, care presupune criterii şi metode standardizate pentru performanţele roboţilor manipulatori [6].

7. RELEVANȚA PENTRU CONSTRUCȚII ȘI INFRASTRUCTURĂ

Încadrarea în domeniul construcţiilor rezultă din caracterul operaţiei de manipulare auxiliară programabilă şi din posibilitatea integrării sistemului într-un flux de laborator sau de pregătire a componentelor. Relevanţa pentru laboratoarele de infrastructură rutieră este susţinută şi de necesitatea caracterizării controlate a mixturilor asfaltice, pentru care modul de încercare poate influenţa aprecierea comportării acestora în exploatare [17]. Sortarea agregatelor minerale reprezintă un proces tehnologic relevant pentru activităţile asociate infrastructurii de transport [19]. În acest context, după validarea cantitativă, un sistem robotic de această clasă ar putea transfera între posturi apropiate recipiente mici cu agregate, mostre etichetate, senzori, elemente de fixare, epruvete uşoare sau scule de masă. În laborator, reproducerea unei secvenţe programate poate contribui la reducerea variabilităţii introduse de operator; pentru utilizarea pe şantier, mediul necontrolat impune însă integrarea unor senzori suplimentari, a sistemelor de protecţie şi a mobilităţii [10–12, 14].

7.1. Dezvoltare viitoare: integrarea pe platformă mobilă

Montarea pe o platformă mobilă este propusă exclusiv ca dezvoltare viitoare. Mobilitatea ar extinde volumul de lucru şi ar permite apropierea braţului de punctul de operare, dar introduce probleme noi: stabilitatea la răsturnare, localizarea, evitarea obstacolelor, denivelările, vibraţiile şi coordonarea dintre bază şi manipulator. Nu este justificată prezentarea prototipului actual drept robot mobil sau utilaj de şantier.

7.2. Limite şi protocol pentru validarea cantitativă

Limitele principale sunt: materialul şi parametrii de imprimare nu au fost arhivaţi; consumul este estimat; nu există feedback articular extern; sarcina de 0,5

kg nu este validată; secvențele video includ intervenţii umane; iar temporizările blocante pot întârzia evenimentele IR. Aceste limite sunt raportate explicit pentru a nu transforma o demonstraţie funcţională într-o afirmaţie metrologică.

Campania următoare trebuie să includă minimum cinci puncte în spaţiul de lucru şi 30 de reveniri/punct, măsurate cu o cameră calibrată, un comparator sau un sistem de coordonate. Testele se repetă pentru mai multe sarcini şi raze, cu apropiere din ambele sensuri, raportând eroarea medie, abaterea standard, eroarea maximă, durata ciclului şi rata de succes. Tensiunea şi curentul se înregistrează simultan, iar evenimentele IR se compară cu un număr de treceri cunoscut.

Pentru o aplicaţie demonstrativă în construcţii se recomandă un obiect standardizat, de exemplu un recipient etanş sau o piesă cu masă cunoscută, un cleşte dedicat, o zonă de lucru marcată şi cel puţin 30 de cicluri preluare-transfer-depunere fără intervenţie. Datele brute, codul şi configuraţia CAD trebuie arhivate împreună pentru reproducibilitate.

8. DISCUȚII

Valoarea ştiinţifică a platformei nu constă în revendicarea unei precizii industriale, ci în integrarea documentată şi în identificarea limitelor care conduc către o platformă de cercetare. Faţă de soluţia mecanică de referinţă, proiectul adaugă transmisia bazei, suportul comun, interfaţa utilizator, integrarea senzorului şi un program multimodal. Faţă de un produs comercial, avantajele sunt costul redus şi accesul la toate nivelurile sistemului; dezavantajele sunt lipsa calibrării, rigiditatea redusă şi funcţiile de siguranţă insuficiente.

9. CONCLUZII

A fost dezvoltat şi verificat funcţional un braţ robotizat cu patru axe acţionate: trei axe destinate poziţionării structurii şi o axă aferentă efectorului terminal. Prototipul a fost realizat prin adaptarea unei arhitecturi mecanice disponibile public şi prin integrarea unei transmisii de bază 22/50, a unui ansamblu electronic bazat pe Arduino şi a unui program multimodal. Sistemul permite controlul manual, înregistrarea şi redarea configuraţiilor, executarea unui traseu demonstrativ permanent, acţionarea cleştelui, afişarea stării de funcţionare şi contorizarea evenimentelor detectate de senzorul IR.

Analiza codului final a permis stabilirea exactă a parametrilor raportaţi: 25 de configuraţii temporare, 20 de configuraţii permanente, patru octeţi pentru

fiecare configurație și o durată nominală de aproximativ 2,52 s pentru fiecare tranziție, inclusiv timpul de staționare. Verificarea realizată prin observații directe și materiale foto-video confirmă funcționarea coordonată a subsistemelor mecanic, electronic și software, dar nu permite încă declararea preciziei, repetabilității sau sarcinii utile maxime.

Analiza mecanică arată că o sarcină de 0,5 kg amplasată la raza de 304 mm generează un moment static de aproximativ 1,49 N·m, fără a include masa proprie a brațului, a cleștelui și a cablurilor. Analiza energetică indică un curent de vârf estimat de 2,85 A, superior valorii nominale de 2 A a sursei utilizate. Prin urmare, validarea cantitativă, dimensionarea corespunzătoare a alimentării, implementarea temporizării neblocante, integrarea feedbackului extern și realizarea unei opriri hardware reprezintă etape necesare pentru transformarea prototipului într-o platformă de cercetare aplicată. În cadrul articolului, caracterul adaptiv este limitat la selectarea modurilor și reconfigurarea secvențelor de mișcare; controlul adaptiv propriu-zis și integrarea pe o platformă mobilă rămân direcții de dezvoltare viitoare.

MULȚUMIRI

Autorul îi adresează mulțumiri prof. univ. dr. ing. Laurențiu RECE pentru coordonarea științifică, îndrumarea și sprijinul acordate în cadrul activităților de cercetare și al dezvoltării prototipului prezentat în articol. De asemenea, autorul mulțumește Facultății de Inginerie Mecanică și Robotică în Construcții din cadrul Universității Tehnice de Construcții București pentru accesul la resursele utilizate la fabricarea aditivă a componentelor prototipului.

DISPONIBILITATEA DATELOR ȘI DECLARAȚII

Fișierele CAD, codul sursă și materialele foto-video care susțin analiza pot fi puse la dispoziție de către autor, la solicitare rezonabilă. Modelul mecanic utilizat ca punct de plecare este identificat și citat explicit. Autorul declară că nu există conflicte de interese.

BIBLIOGRAFIE

[1]. SICILIANO B., SCIAVICCO L., VILLANI L., ORIOLO G.: *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer, London, **2009**.

[2]. MIRONESCU D.: *Contribuţii privind optimizarea şi corectarea performanţelor funcţionale la unele sisteme robotizate*. Rezumatul tezei de doctorat, Academia Tehnică Militară, Bucureşti, **2006**.

[3]. EEZYBOTARM MK2: *EEZYbotARM Mk2 – 3D Printed Robot*. Instructables, resursă disponibilă public, accesată în iulie **2026**.

[4]. ARDUINO: *UNO R3 Documentation and Technical Specifications*. Arduino Documentation, accesată în iulie **2026**.

[5]. CREALITY: *Ender-3 V3 SE – Official Product Specifications*. Creality, accesată în iulie **2026**.

[6]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *ISO 9283:1998, Manipulating industrial robots – Performance criteria and related test methods*. ISO, Geneva, **1998**.

[7]. KARIMPANAL T. G., CHAMANBAZ M., LI W., JERUZALSKI T., GUPTA A., WILHELM E.: *Adapting Low-Cost Platforms for Robotics Research*. arXiv:1705.07231, **2017**.

[8]. MITRE T. L.: *TARA: A Low-Cost 3D-Printed Robotic Arm for Accessible Robotics Education*. arXiv:2509.01043, **2025**.

[9]. CHEBLY G., LITTLE S., PERERA N., ABEDEEN A., SUZUKI K., KIM D.: *Strong, Accurate, and Low-Cost Robot Manipulator*. arXiv:2507.15693, **2025**.

[10]. PIZZUTO G., WANG H., FAKHRULDEEN H., PENG B., LUCK K. S., COOPER A. I.: *Accelerating Laboratory Automation Through Robot Skill Learning for Sample Scraping*. arXiv:2209.14875, **2022**.

[11]. KATSAMENIS I., BIMPAS M., PROTOPAPADAKIS E. et al.: *Robotic Maintenance of Road Infrastructures: The HERON Project*. arXiv:2205.04164, **2022**.

[12]. PARASCHO S.: *Construction Robotics: From Automation to Collaboration*. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, **6**, **pp. 183–204**, **2023**.

[13]. TĂNĂSESCU A. F.: *Braţ robotic 3D cu acționare smart inovativă – Modul Construcție Mecanică*. Lucrare de disertație, Universitatea Tehnică de Construcții București, **2026**.

[14]. GHARBIA M., CHANG-RICHARDS A., LU Y., ZHONG R. Y., LI H.: *Robotic technologies for on-site building construction: A systematic review*. Journal of Building Engineering, **32**, 101584, **2020**.

[15]. RECE L.: *Ghid și aplicații informatice de proiectare funcțională și tehnologică a formelor pieselor în 3D: grafică informatică, aplicații, exemple comentate și exerciții, design industrial cu SolidWorks*. Matrix Rom, București, **2002**, 112 p., ISBN 973-685-369-1.

[16]. SOARE G., IONESCU T., RECE L.: *Proiectarea funcțională și tehnologică a mașinilor, utilajelor și instalațiilor – Design industrial*. Conspress, București, **2001**, 224 p., ISBN 973-8165-13-X.

[17]. BURLACU A.: *Contribuții privind influența modului de încercare asupra aprecierii comportării mixturilor asfaltice în exploatare*. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, București, **2011**.

[18]. VLASE M., POPOVICI A.-I., SAVANIU M.: *Desen tehnic pentru uzul studenților, vol. 1*. Conspress, București, **2018**, 199 p., ISBN 978-973-100-462-4.

[19]. LEGENDI A., RECE L., FLORESCU V., PIRONEA A. D. B.: *Innovative calculation method of the productivity of vibrating screens used in mineral aggregates sorting*. Romanian Journal of Transport Infrastructure, **vol. 7, nr. 2, pp. 1–13**, **2018**. DOI: 10.2478/rjti-2018-0008.

ANALIZA TRIDIMENSIONALĂ A MEDIULUI GEOGRAFIC ADIACENT FOLOSIND APARATE DE ZBOR FĂRĂ PILOT PENTRU A CONTRIBUI LA CREȘTEREA REZILIENȚEI REȚELELOR RUTIERE ÎN FAȚA HAZARDURILOR NATURALE

Tentiș Mihai, ing., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Pîrlan Cătălina Dana, geograf, CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Haralambe Florin, ing., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Rețeaua rutieră națională aflată în administrarea CNAIR, și nu numai, traversează în multiple situații medii geografice extrem de complexe, cu o largă varietate de particularități specifice. Astfel, putem întâlni pe distanța a doar câteva sute de metri de drum fenomene geografice influențate de multiple subcomponente ale acestei științe (meteorologie, hidrologie, litologie, geologie, intervenție antropică etc.). Cercetarea propusă are ca obiectiv principal prezentarea unui mecanism unitar aplicabil la nivel național pentru analiza tridimensională a particularităților de mediu geografic observate, plecând cu precădere de la produse care conțin informație tridimensională generată prin folosirea aparatelor de zbor fără pilot aflate în dotarea CESTRIN, cu accent pe modelul digital al terenului, modelul digital al suprafețelor și izoliniile generate (curbe de nivel), care pot oferi o imagine foarte clară a modificărilor suprafeței terestre. În acest mod, automatizarea completă sau parțială a analizei seturilor de date menționate mai sus, folosind capacități tehnice deja implementate la nivelul CESTRIN, oferă administratorului rețelei rutiere un instrument digital viabil de prevenție și monitorizare în timp a zonelor cu risc, oferind șansa creșterii rezilienței rețelelor rutiere în fața hazardurilor naturale.

Cuvinte cheie: UAV, model digital al terenului, reziliență rutieră, hazarde naturale, CESTRIN

Abstract

The national road network managed by CNAIR, and beyond, frequently traverses extremely complex geographical environments with a wide variety of specific characteristics. Thus, within a distance of just a few hundred meters of road, one can encounter geographical phenomena influenced by multiple subcomponents of this science (meteorology, hydrology, lithology, geology, anthropogenic intervention, etc.).

The main objective of the proposed research is to present a unitary mechanism applicable at the national level for the three-dimensional analysis of the observed geographical environment features. This approach is based primarily on three-dimensional information products generated using unmanned aerial vehicles (UAVs) operated by CESTRIN, with an emphasis on digital terrain models (DTM), digital surface models (DSM), and generated contour lines, which can provide a highly clear depiction of land surface changes.

In this manner, the full or partial automation of data set analysis – utilizing technical capabilities already implemented within CESTRIN – provides the road network administrator with a viable digital tool for prevention and long-term monitoring of high-risk areas, thereby enhancing the resilience of road networks against natural hazards.

Keywords: UAV, digital terrain model, road resilience, natural hazards, CESTRIN

1. INTRODUCERE

Infrastructura rutieră modernă reprezintă un sistem dinamic ce trebuie să mențină un echilibru permanent între eficiența exploatării economice și nivelul de siguranță structurală în fața factorilor externi. Din punct de vedere geografic, axele rutiere majore traversează areale cu o vulnerabilitate ridicată la fenomene geomorfologice și hidrologice extreme. În acest context, managementul modern al drumurilor impune tranziția de la strategii reactive de remediere a avariilor la mecanisme proactive și predictive de creștere a rezilienței.

Elementul comun și fundamental în monitorizarea acestor riscuri este poziția spațială exactă și geometria tridimensională a formelor de relief adiacente. Tehnologiile geospațiale clasice oferă adesea o imagine statică, însă implementarea aparatelor de zbor fără pilot (UAV) în cadrul fluxurilor de lucru ale Centrului de Studii Tehnice Rutiere și Informatică (CESTRIN) reprezintă soluția optimă pentru scanarea rapidă și de înaltă rezoluție a coridoarelor rutiere. Această lucrare își propune să definească un flux metodologic unitar, capabil să transforme norii de puncte și ortofotoplanurile capturate de drone în indicatori clari, accesibili specialiștilor și factorilor de decizie din cadrul CNAIR, indiferent de terminalul utilizat (desktop, cloud sau dispozitive mobile conectate la internet). Acest flux de lucru pentru analiza elementelor adiacente drumului vine în completarea fluxului de lucru deja stabilit pentru realizarea unui audit de siguranță rutieră, care poate fi observat în figura 1.

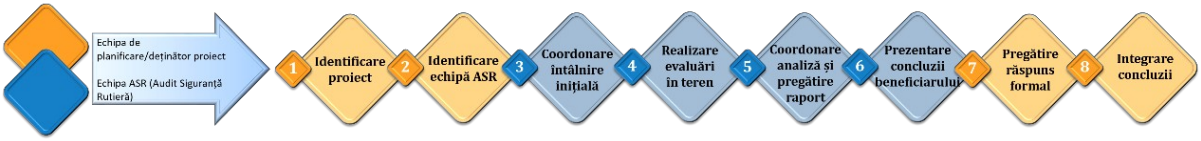


Figura 1. Flux de lucru dezvoltat pentru realizarea unui Audit de Siguranță Rutieră și integrarea datelor 3D [19]

2. METODOLOGIE ŞI FLUXURI ASOCIATE ECHIPAMENTELOR TIP UAV

Abordarea interdisciplinară a rezilienței rutiere necesită integrarea unor seturi de date de tip raster și vector de mare rezoluție. Platformele de procesare fotogrammetrică și geospațială utilizate în cadrul CESTRIN permit generarea automatizată a suportului topografic 3D direct din datele achiziționate din zbor.

2.1. Fluxul de achiziție și generare a datelor 3D

Procesul debutează cu planificarea misiunilor de zbor UAV deasupra sectoarelor rutiere cu risc ridicat. În urma procesării imaginilor aeriene, se generează trei produse digitale fundamentale:

- Modelul Digital al Suprafeței (MDS): include vegetația, clădirile și structurile antropice din proximitatea drumului;

- Modelul Digital al Terenului (MDT): reprezintă relieful nud, obținut prin filtrarea elementelor extranee, servind ca bază matematică pentru calculele hidrologice;

- Izoliniile (curbele de nivel): generate automat la echidistanțe precise, utilizate pentru cartografierea pantelor și identificarea micro-reliefului.

Suplimentar, peste informațiile aeriene se suprapun și informațiile referitoare la accidentele rutiere înregistrate, în acest caz pentru DN 1 – DN 7, anul 2022, așa cum poate fi observat în figura 2.

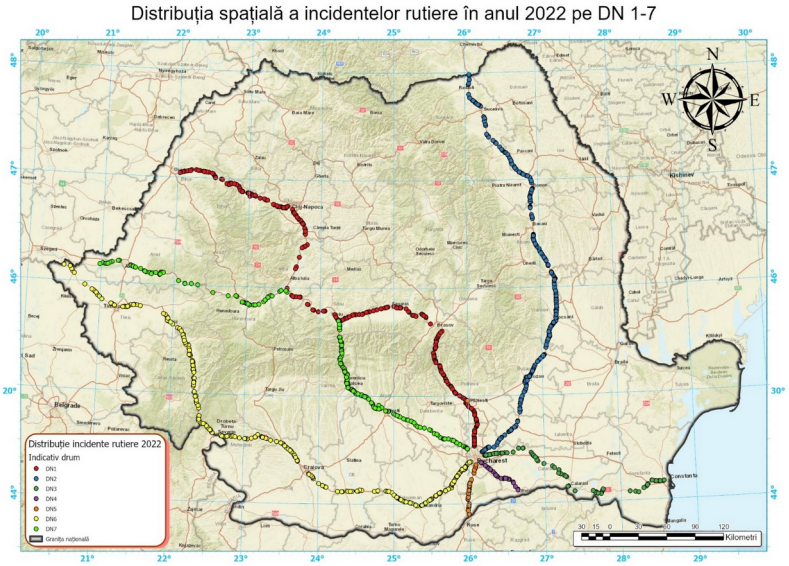


Figura 2. Distribuția spațială a incidentelor rutiere din anul 2022 pe DN1 –DN7

2.2. Conversia datelor şi controlul geometric

Pentru asigurarea interconectivității cu bazele de date naționale și europene, toate seturile de date geografice sunt verificate și transformate în sisteme de proiecție standardizate, așa cum se poate observa în tabelul 1 (WGS84, EPSG 4326 pentru integrarea în platformele cloud utilizate în mod curent). Acolo unde datele inițiale colectate în teren folosesc formate nestandardizate, algoritmii geospațiali asigură corecția geometrică și alinierea precisă cu axul drumului.

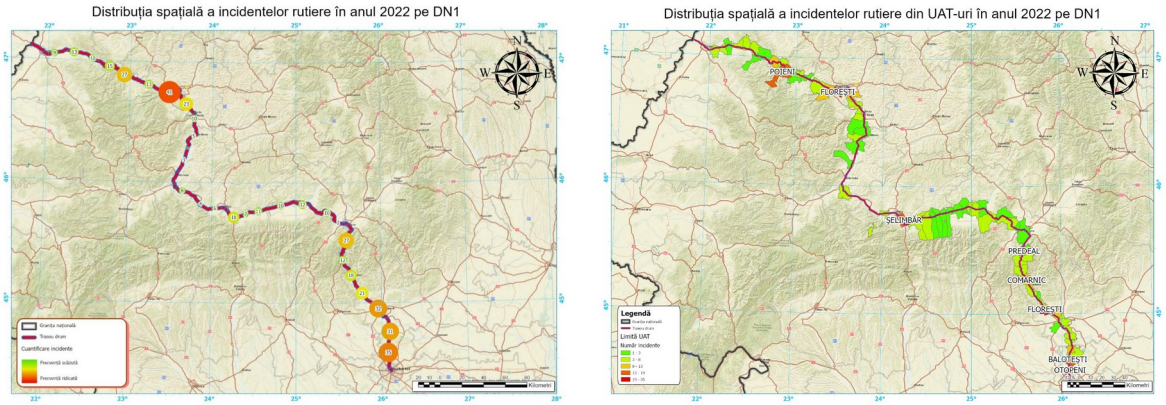
Tabelul 1. Exemplu de conversie a coordonatelor între sistemele de proiecție utilizate [19]

Nr. crt.	lat (original)	long (original)	lat_gis (WGS84)	long_gis (WGS84)
1	023E35.6199	46N04.1138	46.041138	23.356199
2	023E45.8023	46N04.2462	46.042462	23.458023
3	023E32.9858	46N01.7410	46.017410	23.329858
4	023E35.7443	46N04.2673	46.042673	23.357443

3. ANALIZA HAZARDURILOR NATURALE ŞI VULNERABILITATEA INFRASTRUCTURII

Pentru a exemplifica valoarea instrumentelor 3D în evaluarea riscurilor, s-a analizat coridorul adiacent rețelei rutiere principale, un sector caracterizat printr-o complexitate geografică deosebită, reprezentat de drumul național DN 1, așa cum

se poate observa în figura 3, unde se întâlnesc variații altimetrice majore și fenomene hidrologice deosebite. În figura 4 se poate observa distribuția acelorași accidente rutiere la nivelul unităților administrativ-teritoriale, fiind evidențiate localitățile Baloteşti (Ilfov), Floreşti (Prahova), Şelimbăr (Sibiu), Floreşti (Cluj) și Poieni (Sălaj).



Figurile 3, 4. Distribuția incidentelor rutiere înregistrate în anul 2022 pe DN 1 și împărțirea pe unități administrativ-teritoriale [19]

Suplimentar, analizând accidentele rutiere cu minimum un deces consemnat, se constată că la nivelul întregului drum național DN 1 se conturează foarte clar două zone, așa cum poate fi observat în figura 5, care trebuie analizate în detaliu din punctul de vedere al potențialului de producere a hazardului.

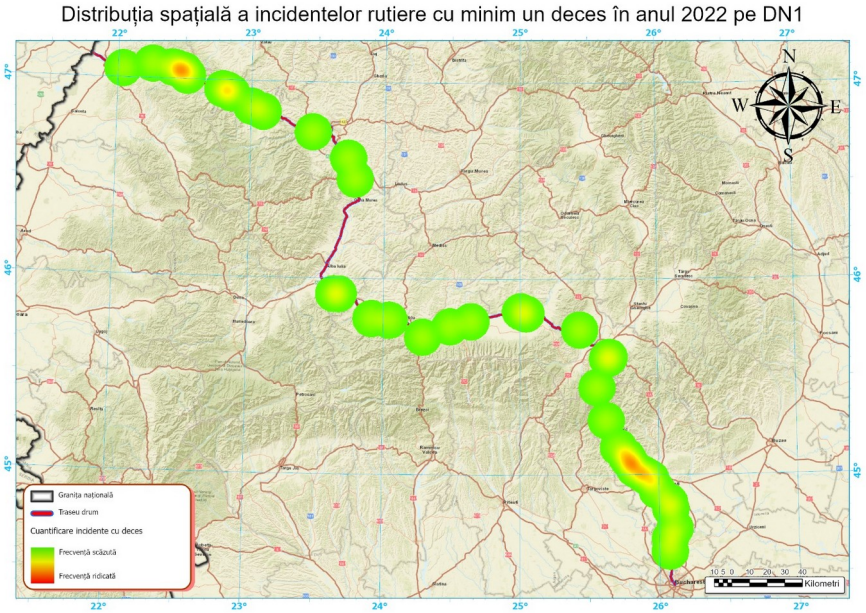
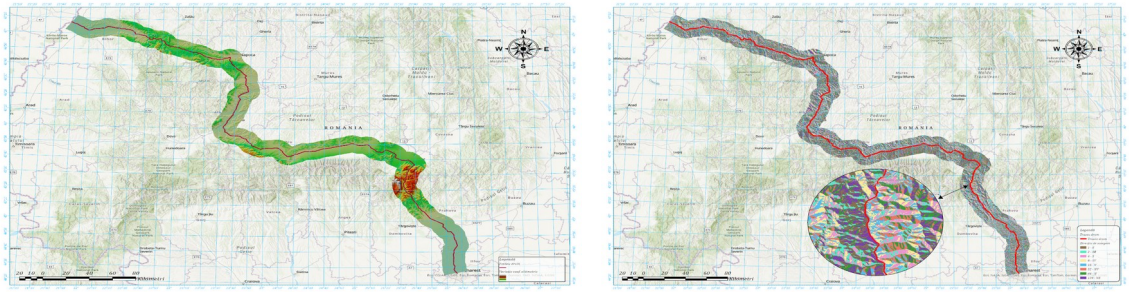


Figura 5. Distribuția incidentelor rutiere cu minimum un deces în anul 2022 pe DN 1 [19]

3.1. Modelarea hidrologică din date UAV şi determinarea zonelor de acumulare

Scurgerile de suprafață cu caracter temporar (torenți, șiroiri accentuate) reprezintă fenomene cu un impact sever asupra durabilității corpului drumului. Folosind MDT-ul de înaltă rezoluție, care poate fi observat în figura 6, s-a aplicat următoarea succesiune de procesare automatizată:

- Sink/Fill: eliminarea imperfecțiunilor și a golurilor artificiale din modelul tridimensional;
- Flow Direction: calcularea direcției vectoriale de scurgere a apei pe fiecare pixel de versant (figura 7);
- Flow Accumulation: identificarea liniilor de concentrare a fluxului de precipitații și delimitarea albiilor temporare (figura 8).



Figurile 6, 7. Reprezentarea modelului digital al terenului pe traseul drumului național DN 1 și determinarea direcțiilor vectoriale de acumulare a scurgerilor de suprafață [19]

Prin conversia raster-vector a zonelor cu acumulare critică, s-a obținut o imagine de ansamblu asupra punctelor de intersecție dintre rețeaua torențială și platforma drumului. Confluențele dintre minimum două văi adiacente drumului în zonele de deal și munte reprezintă sectoarele cu cel mai ridicat risc de viitură și transport de aluviuni (nisip, pietriș, resturi vegetale), elemente care accelerează degradarea stratului de uzură.

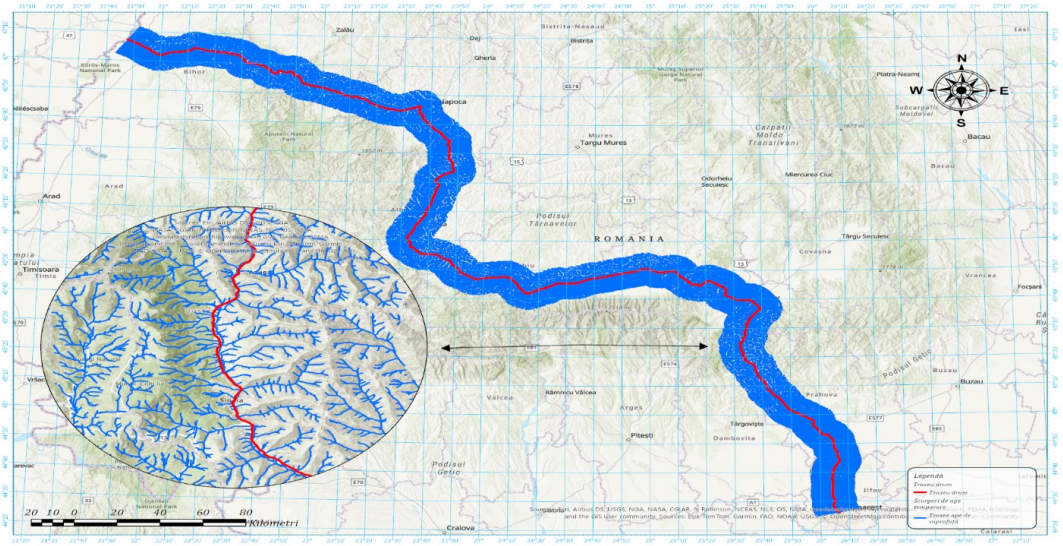


Figura 8. Evidențierea pantelor de scurgere a apelor în funcție de direcția cardinală în zona adiacentă DN 1 [19]

3.2. Analiza elementelor antropice din vecinătatea drumului

Prin tehnica fotogrammetrică bazată pe UAV și utilizarea algoritmilor de segmentare, s-a realizat extragerea automată a amprentelor clădirilor și structurilor rezidențiale pe o rază de până la 500 de metri de axul drumului (figura 9). Această suprapunere cartografică permite administratorului drumului să evalueze nu doar riscul fizic asupra îmbrăcăminții rutiere, ci și impactul propagării hazardurilor generate antropic asupra comunităților locale și a zonelor construite conectate direct la coridorul de transport.



Figura 9. Amplasarea incidentelor rutiere în contextul potențialului impact social [19]

4. CREȘTEREA REZILIENȚEI REȚELEI RUTIERE PRIN AUTOMATIZARE

Scopul final al implementării tehnologiilor de zbor fără pilot la nivelul CESTRIN este generarea unui instrument digital viabil de prevenție și monitorizare în timp.

Prin mutarea procesării acestor seturi masive de date (seturi de date vectoriale și rastere 3D) de pe stațiile de lucru locale către platforme cloud specializate, CESTRIN poate asigura actualizarea analizelor geostatistice la o frecvență ridicată. Astfel, folosind și aplicațiile web dedicate distribuirii rezultatelor cercetării, specialiștii din teren și echipele de management pot vizualiza direct pe hărți interactive zonele unde indicatorii geomorfologici, cum ar fi torenții sau procesele de șiroire, depășesc pragurile de siguranță.

5. CONCLUZII

Studiul demonstrează că utilizarea aparatelor de zbor fără pilot (UAV) din dotarea CESTRIN, combinată cu automatizarea procesării datelor tridimensionale (MDT, MDS, curbe de nivel), oferă o metodologie științifică unitară și robustă pentru evaluarea vulnerabilităților rețelei rutiere naționale. Interconectarea datelor 3D cu platformele cloud accelerează procesul decizional, permițând CNAIR trecerea la o analiză și întreținere predictivă cu un grad ridicat de eficiență.

BIBLIOGRAFIE

[1]. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA): *Road Safety Audit Guidelines*, Publication No. FHWA-SA-06-06, Exhibit 4.1 – Road Safety Audit Process, p. **31–44**, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, **2006**. Disponibil la: https://highways.dot.gov/ [accesat la 29.06.2026].

[2]. I. BOLD: *Organizarea teritoriului – Noțiune, Metodologie, Eficiență*, Editura Ceres, București, **1973**.

[3]. I. BOLD: *Organizarea și amenajarea teritoriului*, în volumul România 2020, Editura Conspress, București, **1998**.

[4]. M. BOTEZ, MARIANA CELAC: *Sistemele spațiului amenajat: modelare, optimizare, previziune*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, **1980**.

[5]. Y.-Y. CHIU, N. RAINA, H.-E. CHEN: *Evolution of Flood Defense Strategies: Toward Nature-Based Solutions*, Environments, vol. **9**, nr. 1, art. **2**, **2022**. https://doi.org/10.3390/environments9010002

[6]. V. CRĂCIUNESCU: *eHarta: Planurile Directoare de Tragere*, geo-spatial.org, **2010**. Disponibil la: http://www.geo-spatial.org/articole/eHarta-work-planurile-de-tragere

[7]. V. CUCU, I. IANOȘ: *Sisteme de așezări și strategia organizării lor*, Terra, nr. **3–4**, **1988**.

[8]. M. G. ELORZA: *Geomorfología*, Editura Pearson, Zaragoza, **2010**.

[9]. G. ERDELI: *Forme de organizare administrativ-teritoriale ale spațiului geografic românesc*, Comunicări de Geografie, Editura Universității din București, **1997**.

[10]. G. FRENȚ, N. NICA: *Dezvoltarea regională și amenajarea teritoriului – componentă a strategiei tranziției la economia de piață*, Institutul de Prognoză Economică, CIDE, **1992**.

[11]. W. GIBSON: *Probabilistic methods for slope analysis and design*, Australian Geomechanics, vol. **46**, nr. 3, septembrie **2011**.

[12]. M. GRIGORE: *Reprezentarea grafică și cartografică a formelor de relief*, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, **1979**.

[13]. A. R. HUETE: *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*, Remote Sensing of Environment, vol. **25**, nr. 3, p. **295–309**, **1988**.

[14]. I. IANOȘ: *Sisteme teritoriale – o abordare geografică*, Editura Tehnică, București, **2000**.

[15]. MARIA LAZĂR, F. FAUR: *Stability and arrangement of slopes. Examples of calculation*, **2015**.

[16]. J. PAQUETTE, J. LOWRY: *Flood hazard modelling and risk assessment in the Nadi River Basin, Fiji, using GIS and MCDA*, The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences, **2012**.

[17]. G. POPESCU: *Sisteme interactive de modelare a informației fotogrammetrice*.

[18]. A. STANCIU, I. LUNGU: *Fundații – Fizica și mecanica pământurilor*, Editura Tehnică, București, **2006**.

[19]. M. TENTIȘ, A. BURLACU, C. RĂCĂNEL, H. POP, A. ROȘIORU: *Analysis of the component elements of traffic safety using geospatial tools*, Romanian Journal of Transport Infrastructure, vol. **14**, p. **1–18**, **2026**. doi:10.2478/rjti-2025-0015

AUTOMATIZAREA FLUXURILOR DE DATE UTILE ÎN ADMINISTRAREA INFRASTRUCTURII RUTIERE FOLOSIND SCANAREA TRIDIMENSIONALĂ MOBILĂ

Tentiș Mihai, ing., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Ciobotaru Ingrid Elena, geograf, CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Coteanu Diana Mădălina, geograf, CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

Lucrarea propusă are în vedere prezentarea unor fluxuri de lucru complete și validate, atât la birou, cât și în teren, pornind de la etapa planificării colectării de date și continuând cu colectarea propriu-zisă, aplicarea corecțiilor de traiectorie pentru obținerea preciziei centimetrice pe toate cele trei axe de coordonate (latitudine, longitudine și altitudine), procesarea primară a datelor brute, obținerea de geometrii vectoriale cu cote și suprafețe și transferul informației într-o bază de date centralizată cu profil geospațial (GIS), accesibilă tuturor utilizatorilor cu drepturi specifice. Detaliind fluxul de lucru, cercetarea s-a concentrat pe obținerea automată a unor elemente care sunt parte integrantă a infrastructurii rutiere, cum ar fi parapetele rutiere, stâlpii de iluminat sau cei aflați în vecinătatea sistemului rutier, suprafața de asfalt, profilele longitudinale și transversale de precizie, pe crearea unui instrument de analiză detaliată a cotelor aparținând fronturilor construite din zonele locuite traversate de infrastructura rutieră și pe crearea unor seturi de date de bază, în standard internațional, care pot fi folosite pentru gestionarea eficientă a modelărilor referitoare la poluarea fonică existentă la nivelul rețelei rutiere naționale. Scopul final al aplicării acestui tip de fluxuri de lucru bazate pe scanare laser tridimensională (cunoscută sub acronimul LiDAR) îl reprezintă dezvoltarea capacității operaționale a administratorului rețelei rutiere de a-și realiza independent și imparțial propriile seturi de date cu utilizare multiplă, care se vor adăuga Bazei de Date Tehnice Rutiere naționale și care vor putea fi consultate la nivelul CNAIR S.A. de către specialiștii desemnați.

Cuvinte cheie: GIS, LiDAR, automatizare, precizie, administrare

Abstract

The proposed work aims to present complete and validated workflows both in the office and in the field, starting from the data collection planning stage and continuing with the actual data collection, the application of trajectory corrections to achieve centimeter-level accuracy

across all three coordinate axes (latitude, longitude, and altitude), the primary processing of raw data, the extraction of 3D vector geometries and surfaces, and the transfer of information into a centralized geospatial database (GIS) accessible to all users with specific rights. Specifically, the research on the proposed subject focused on the automated extraction of elements that are an integral part of the road infrastructure, such as road guardrails, light poles or poles in the vicinity of the road network, the asphalt surface, high-precision longitudinal and cross-sectional profiles, the creation of a tool for detailed analysis of elevations belonging to built fronts in residential areas crossed by road infrastructure, and the creation of baseline datasets in compliance with international standards, which can be used for the efficient management of modeling related to existing noise pollution across the national road network. The ultimate goal of implementing these workflows based on three-dimensional laser scanning (known by the acronym LiDAR) is to develop the operational capacity of the road network administrator to independently and impartially build its own multi-use datasets, which will be added to the National Road Technical Database and will be available for consultation within CNAIR S.A. by designated specialists.

Keywords: GIS, LiDAR, automation, accuracy, administration

1. INTRODUCERE

Infrastructura rutieră constituie un element esențial al sistemului de transport, aducând o contribuție la mobilitatea populației, conectivitatea teritorială și dezvoltarea economică. Administrarea corectă și eficientă a acesteia presupune existența unor informații actualizate cu privire la caracteristicile fizice ale drumurilor, starea infrastructurii rutiere, elementele de siguranță și evoluția acestora pe parcursul ciclurilor lor de viață.

Procesul de digitalizare din sectorul construcțiilor și infrastructurii a generat apariția unor noi abordări privind colectarea, procesarea și valorificarea informațiilor. Conform Ghidului privind utilizarea instrumentelor BIM în generarea și gestionarea datelor digitale aferente construcțiilor (RTC 9 – 2022), managementul informațiilor constituie un proces continuu care urmărește generarea, administrarea și folosirea datelor digitale pe întregul ciclu de viață al elementului de infrastructură. Prin urmare, informațiile nu mai sunt privite doar ca rezultate, ci ca resurse strategice necesare pentru planificare, monitorizare și luarea deciziilor [1].

În ultimii ani, tehnologiile de scanare tridimensională au cunoscut o dezvoltare considerabilă, oferind posibilitatea realizării unor reprezentări digitale mult mai detaliate ale mediului rutier. Scanarea laser mobilă (MLS) s-a dovedit

deosebit de eficientă pe coridoarele de transport, reducând semnificativ timpul de achiziție a datelor față de metodele clasice de măsurare, fără a fi necesară închiderea circulației [2]. Integrarea norilor de puncte în procesul de inventariere rutieră permite totodată documentarea detaliată a suprafeței de rulare și a elementelor acesteia, inclusiv identificarea unor degradări precum fisurile [3]. Automatizarea extracției elementelor rutiere liniare și punctuale (marcaje, stâlpi, indicatoare) direct din datele LiDAR reduce volumul de muncă asociat digitizării manuale tradiționale [4], contribuind astfel la generarea unor baze de date tridimensionale complexe de precizie. Precizia acestor sisteme depinde în mare măsură de calitatea traiectoriei determinate prin integrarea datelor GNSS și inerțiale (IMU), aspect cu atât mai important în zonele cu geometrii complexe, precum rampele și pasajele, unde recepția semnalului satelitar poate fi obstrucționată [5]. Totodată, includerea datelor rezultate în baze de date unificate, actualizate pe parcursul ciclului de viață al infrastructurii, sprijină procesul de luare a deciziilor în administrarea și întreținerea curentă a drumurilor [2]. Precizia mare a datelor, viteza de colectare și posibilitatea actualizării frecvente a informațiilor fac din scanarea tridimensională (LiDAR) o soluție importantă pentru gestionarea modernă a rețelelor de transport [6].

Scopul acestui articol este de a analiza modul în care scanarea tridimensională mobilă poate contribui la automatizarea fluxurilor de date utilizate în gestionarea infrastructurii rutiere, evidențiind principalele avantaje, etapele de procesare și posibilitățile de valorificare a informațiilor rezultate în activitățile de administrare a infrastructurii rutiere.

2. AMPLASAREA ȘI CADRUL NATURAL

Arealul analizat este reprezentat de nodul rutier al Autostrăzii A0 situat între drumurile naționale DN1 și DN2, în partea de nord a Municipiului București, pe teritoriul administrativ al județului Ilfov. Zona de studiu este localizată în proximitatea Aeroportului Internațional Henri Coandă și constituie unul dintre cele mai importante puncte de conectivitate ale infrastructurii rutiere din zona metropolitană a Capitalei.

Nodul rutier face parte din sistemul de centură modernizat al Municipiului București, având rolul de a asigura legătura dintre principalele axe de transport naționale și regionale. Prin poziția sa strategică, acesta facilitează redistribuirea fluxurilor de trafic și contribuie la reducerea congestionării rețelei rutiere din interiorul orașului. Evaluarea postconstrucție, inclusiv din perspectivă geotehnică

și morfologică, a acestor sectoare critice de autostradă este sprijinită direct de profilele transversale de înaltă precizie, care pot fi extrase automat din norii de puncte obținuți prin scanare laser mobilă [7].

Din punct de vedere geografic, arealul de studiu este amplasat în sectorul central al Câmpiei Române, în cadrul subunității cunoscute sub denumirea de Câmpia Vlăsiei. Relieful este caracterizat prin altitudini reduse și diferențe de nivel nesemnificative, aspect favorabil dezvoltării infrastructurii de transport. Valorile altitudinale se situează, în general, între 80 și 100 m, iar pantele terenului sunt reduse, permițând amenajarea unor lucrări de infrastructură de mare amploare.

Din punct de vedere climatic, zona se încadrează în climatul temperat-continental de câmpie, caracterizat prin veri calde și ierni relativ reci. Temperatura medie anuală depășește 10°C, iar cantitățile medii anuale de precipitații se situează în jurul valorii de 550–600 mm. Aceste condiții influențează procesele de exploatare și întreținere a infrastructurii rutiere, în special în perioadele cu fenomene meteorologice extreme.

Rețeaua hidrografică este reprezentată de cursuri de apă cu caracter permanent și temporar aparținând bazinului hidrografic al râului Colentina, precum și de numeroase canale de desecare specifice zonelor de câmpie. Din punct de vedere geotehnic, predomină depozitele sedimentare cuaternare alcătuite din argile, nisipuri și pietrișuri, care oferă condiții favorabile dezvoltării infrastructurii rutiere, cu respectarea măsurilor specifice de fundare și drenaj.

Importanța arealului analizat rezultă atât din poziția sa în cadrul rețelei naționale de transport, cât și din complexitatea elementelor de infrastructură existente, aspecte care îl recomandă pentru evaluarea posibilităților de utilizare a scanării tridimensionale mobile în procesul de colectare și automatizare a fluxurilor de date necesare administrării infrastructurii rutiere.

Arealul de studiu este amplasat în partea de nord a Municipiului București, pe teritoriul județului Ilfov, și include două dintre cele mai importante noduri rutiere ale sectorului nordic al Autostrăzii A0: intersecția A0–DN1–DN2 și intersecția A0–A3. Aceste noduri fac parte din infrastructura strategică de transport dezvoltată pentru preluarea și redistribuirea fluxurilor de trafic din zona metropolitană a Municipiului București.

Intersecția A0 cu DN1 și DN2 asigură conectivitatea dintre autostrada de centură și două dintre cele mai importante drumuri naționale din România. DN1 realizează legătura dintre București și centrul țării prin Ploiești și Brașov, în timp ce DN2 reprezintă principala axă rutieră care conectează capitala cu regiunea

Moldovei. Prin intermediul acestui nod sunt preluate volume importante de trafic local, regional și național.

De asemenea, nodul rutier dintre Autostrada A0 și Autostrada A3 reprezintă un punct de conectivitate major în cadrul rețelei de transport naționale. Autostrada A3 asigură legătura dintre București și zona centrală și nord-vestică a României, constituind unul dintre cele mai importante coridoare rutiere aflate în dezvoltare. Conectarea acesteia cu Autostrada A0 permite redistribuirea fluxurilor de trafic în jurul capitalei și facilitează accesul către principalele direcții de transport fără traversarea zonelor urbane aglomerate.

Complexitatea geometrică a acestor noduri rutiere, caracterizate prin bretele de acces, pasaje, rampe și multiple relații de trafic, oferă condiții favorabile pentru evaluarea metodelor moderne de colectare și procesare a datelor spațiale. Din acest motiv, zona a fost selectată ca areal de studiu pentru analiza posibilităților de automatizare a fluxurilor de date utilizate în administrarea infrastructurii rutiere.

3. METODOLOGIE

Colectarea datelor a fost realizată cu ajutorul unui sistem de scanare tridimensională mobilă montat pe un autovehicul specializat. Arealul de studiu a fost reprezentat de nodul rutier al Autostrăzii A0 la intersecția cu A3, fiind un sector caracterizat printr-o infrastructură complexă și prin prezența unor elemente de interes pentru administrarea rețelei rutiere.

Colectarea datelor a fost realizată în regim dinamic, prin deplasarea vehiculului pe traseele aferente nodului rutier evidențiat în figura 1. În timpul procesului au fost înregistrate simultan informații spațiale și imagini ale mediului rutier, de unde a rezultat un set de date georeferențiate utilizate în procesul ulterior de analiză și modelare. Alegerea acestei zone a urmărit evaluarea posibilităților de utilizare a datelor rezultate în procesele de administrare și monitorizare a infrastructurii rutiere.

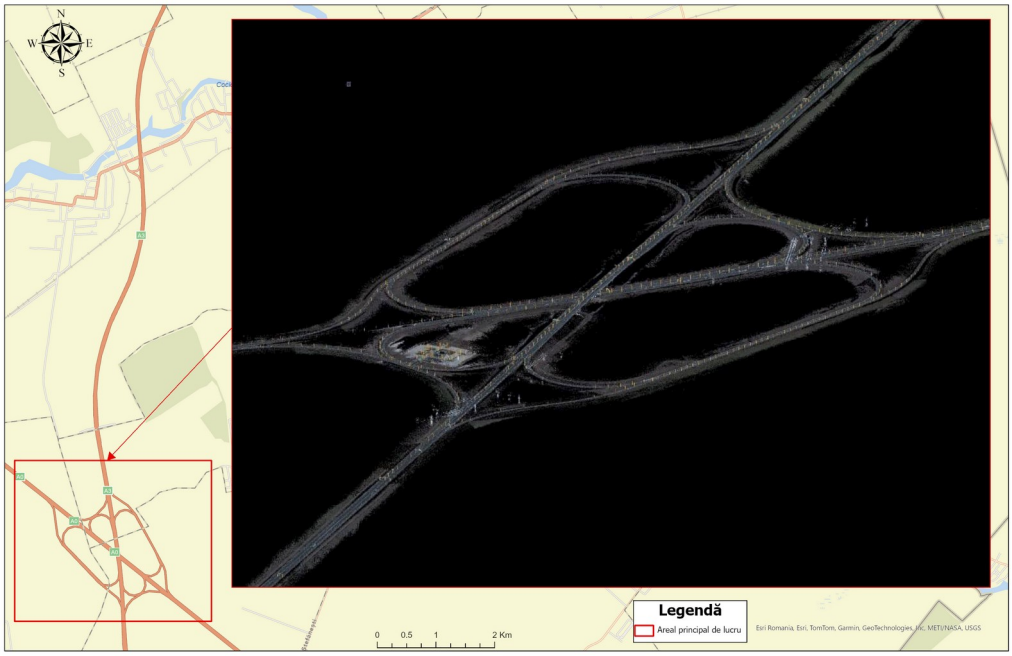


Figura 1. Poziționarea geografică și perspectiva tridimensională a obiectivului studiat

Sursa: Date laser tridimensionale colectate cu echipament pus la dispoziția CESTRIN

În urma finalizării procesului de colectare, datele au fost procesate într-o etapă de compensare a traiectoriei. Prin această operațiune se poate determina cu precizie poziția și orientarea sistemului de scanare pe întreaga durată a deplasării. În cadrul procesului sunt integrate toate informațiile provenite de la sistemele de poziționare și navigație, conturându-se o traiectorie continuă și coerentă a vehiculului.

După determinarea traiectoriei, datele brute au fost procesate pentru generarea norului de puncte tridimensional. Procesul a inclus asocierea coordonatelor spațiale cu măsurătorile efectuate și eliminarea eventualelor înregistrări eronate rezultate în timpul achiziției.

Norul de puncte rezultat reprezintă o descriere tridimensională detaliată a infrastructurii rutiere și a elementelor existente în zona analizată, așa cum poate fi observat în figura 2. Acesta constituie baza pentru extragerea informațiilor necesare administrării infrastructurii, precum geometria carosabilului, elementele de siguranță rutieră, indicatoarele și alte obiecte de interes.

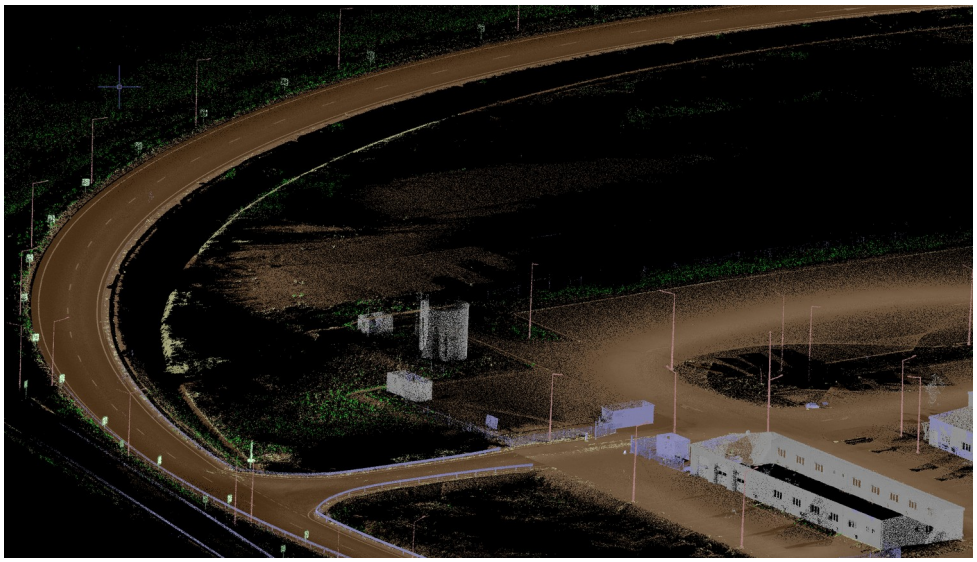


Figura 2. Eșantion de informații tridimensionale cu precizie centimetrică
Sursa: Date laser tridimensionale colectate cu echipament pus la dispoziția CESTRIN

Pe baza norului de puncte procesat au fost clasificate automat și extrase diverse elemente aparținând infrastructurii rutiere, care au fost transferate către baze de date cartografice integrate. Suplimentar, modelul rezultat oferă o reprezentare digitală a suprafeței analizate și poate fi utilizat pentru efectuarea măsurătorilor, analizelor spațiale și actualizarea bazelor de date necesare administrării infrastructurii rutiere.

Calitatea datelor rezultate poate fi influențată de o serie de factori care generează erori în procesul de achiziție și procesare. Printre aceștia se numără pierderea temporară a semnalului de poziționare, condițiile atmosferice nefavorabile, viteza de deplasare a vehiculului, existența obstacolelor care limitează vizibilitatea senzorilor și erorile asociate procesului de compensare a traiectoriei.

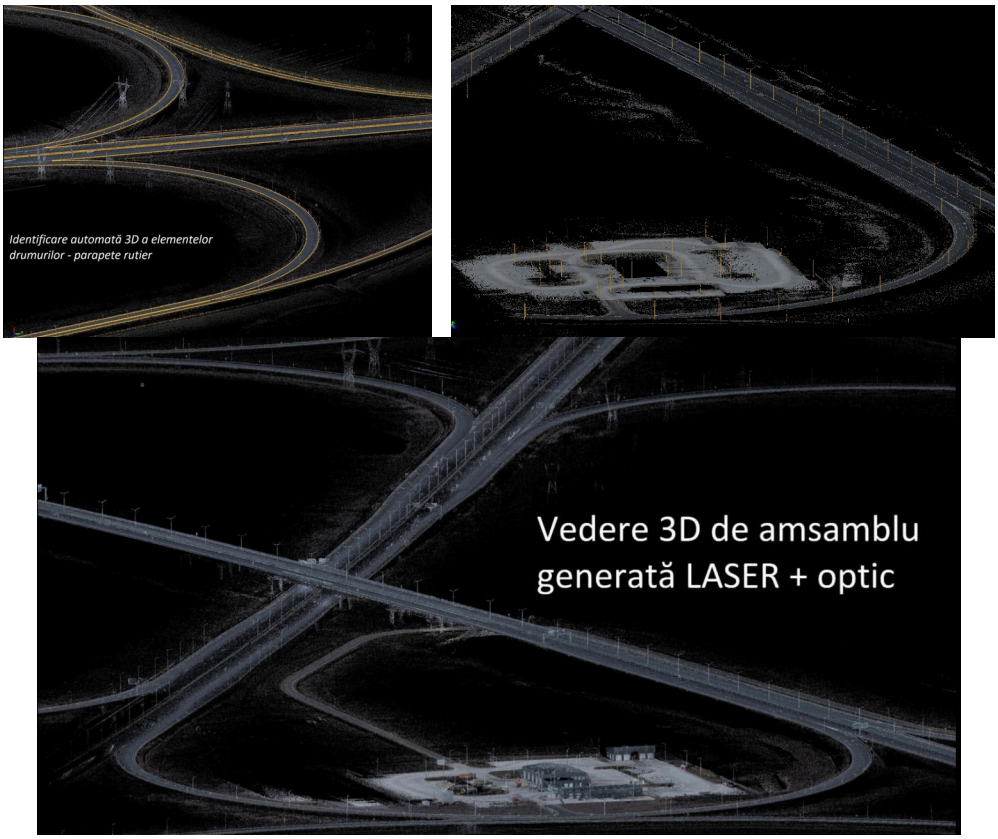
De asemenea, densitatea neuniformă a punctelor și prezența obiectelor aflate în mișcare pot afecta precizia modelului tridimensional. Identificarea și corectarea acestor erori reprezintă o etapă importantă pentru asigurarea calității produselor finale și pentru utilizarea acestora în procesele de administrare a infrastructurii rutiere.

4. REZULTATELE CERCETĂRII

Folosind instrumente software de specialitate, au putut fi clasificate, filtrate și extrase cu ușurință elemente componente ale infrastructurii rutiere, cum ar fi stâlpii de iluminat și parapetele rutiere. A fost realizată și o aplicație web

accesibilă publicului la adresa https://arcg.is/qGOG80, pentru a evidenția capacitățile interactive de măsurare tridimensională pe baza informațiilor obținute în urma scanării laser de precizie.

În figurile 3, 4 și 5 se poate observa vederea de ansamblu a evidențierii particulare a elementelor, precum și o perspectivă tridimensională a întregului obiectiv, colorată pe baza imaginilor panoramice înregistrate de senzorii optici ai echipamentului.



Figurile 3–5. Evidențierea automată a parapetelor rutiere și a stâlpilor de iluminat și perspectiva de ansamblu tridimensională asupra nodului rutier
Sursa: Date laser tridimensionale colectate cu echipament pus la dispoziția CESTRIN

Ulterior identificării automate a elementelor geometrice, au fost generate geometrii vectoriale care au fost transpuse în format geospațial, folosind tipurile și formatele de fișiere standard acceptate, și care, prin proceduri semiautomate, pot deveni fluxuri de date pentru actualizarea altor proiecte mai ample, cum este „Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere”. În figura 6 pot fi observate toate elementele geometrice de tip punct generate pornind de la proiecția la sol a grupurilor de puncte determinate laser, care au fost clasificate automat în

categoria stâlpi de iluminat şi preluate în baza de date cartografică tridimensională.



Figura 6. Exemplu de identificare automată şi transfer către baze de date cartografice tridimensionale a elementelor de tip punct

În cele din urmă, acordând o importanţă deosebită întregului proces de automatizare a fluxului de date util pentru administrarea rețelei rutiere, s-a reușit generarea de profile transversale pornind de la un plan vertical de secționare a norului de puncte, în care sunt stabilite punctele de inflexiune care trebuie urmate între două planuri verticale cu echidistanţă definită. Folosind acest tip de generare geometrică bazată pe nor de puncte cu proprietăți similare, s-a reușit poziționarea semiautomată pe hartă a parapetului rutier, dar și a marginii stratului de uzură, precum și evidențierea facilă a rigolei de scurgere a apelor pluviale. În figura 7 se poate observa secvența de generare a profilului transversal și rezultatul, format din polilinii tridimensionale compatibile pentru a fi incluse într-un sistem informaţional geografic (GIS).

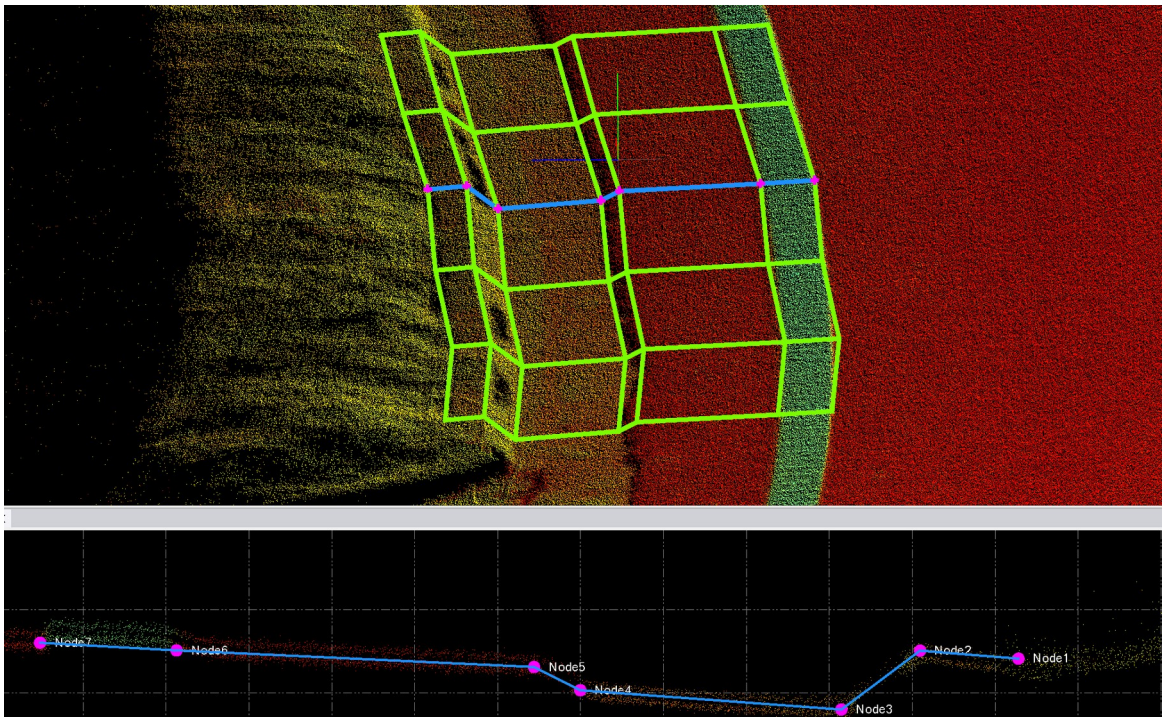


Figura 7. Exemplu de marcare a punctelor de inflexiune în profil transversal și generare automată a profilelor la o distanță definită

5. CONCLUZII

Cercetarea de față a demonstrat viabilitatea, precizia și eficiența implementării fluxurilor de lucru automatizate bazate pe scanarea tridimensională mobilă (LiDAR) pentru administrarea modernă a infrastructurii rutiere din România. Prin intermediul metodologiei propuse și testate în cadrul nodurilor rutiere strategice ale Autostrăzii A0 (intersecțiile A0–DN1–DN2 și A0–A3), s-a validat un model complet de bune practici care acoperă integral etapele de planificare, colectare dinamică, compensare a traiectoriei și procesare avansată a datelor spațiale brute. Rezultatele obținute confirmă faptul că tehnologia Mobile Laser Scanning asigură o precizie centimetrică tridimensională indispensabilă rigorilor tehnice actuale.

Unul dintre cele mai importante rezultate ale acestei lucrări îl reprezintă capacitatea de clasificare și extracție automată a elementelor critice de infrastructură. Identificarea semiautomată a stâlpilor de iluminat și a parapetelor rutiere, precum și delimitarea precisă a marginilor stratului de uzură și a rigolelor de scurgere a apelor pluviale, dovedesc trecerea de la metodele clasice, consumatoare de timp și expuse erorilor umane, la procese digitale inteligente. Generarea automată a profilelor longitudinale și transversale la distanțe

(echidistanțe) predefinite reprezintă un salt calitativ major pentru ingineria rutieră, oferind modele matematice fidele ale realității din teren, direct sub formă de polilinii 3D nativ compatibile cu sistemele informaționale geografice (GIS).

Din punct de vedere practic și instituțional, aplicabilitatea directă a acestor fluxuri de date susține nemijlocit proiectul național de „Implementare a Bazei de Date Tehnice Rutiere”. Această abordare oferă Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere (CNAIR) un instrument de lucru independent, imparțial și extrem de rapid pentru actualizarea inventarului patrimonial. Datele centralizate nu doar că optimizează managementul activelor, dar servesc și ca fundament standardizat internațional pentru modelări complexe, cum ar fi hărțile strategice de zgomot și analiza poluării fonice din zonele rezidențiale periurbane.

Mai mult, dezvoltarea și publicarea aplicației web interactive de măsurare 3D demonstrează că datele geospațiale de înaltă rezoluție pot fi democratizate și puse la dispoziția specialiștilor într-un format vizual accesibil, eliminând barierele software-urilor comerciale rigide. În ciuda provocărilor operaționale identificate, cum sunt pierderile temporare de semnal GNSS sau densitățile neuniforme cauzate de elementele în mișcare, calitatea produsului cartografic final rămâne net superioară metodelor convenționale. În concluzie, adoptarea pe scară largă a scanării laser mobile reprezintă pilonul fundamental al transformării digitale în administrarea drumurilor naționale și a autostrăzilor, garantând siguranță, eficiență economică și sustenabilitate pe întregul ciclu de viață al infrastructurii.

BIBLIOGRAFIE

[1]. MINISTERUL DEZVOLTĂRII, LUCRĂRILOR PUBLICE ȘI ADMINISTRAȚIEI: *Ghid privind utilizarea instrumentelor BIM în generarea și gestionarea datelor digitale aferente construcțiilor (RTC 9 – 2022)*, București, **2022**, p. **17, 19**.

[2]. K. WILLIAMS, M. J. OLSEN, G. V. ROE, C. GLENNIE: *Synthesis of Transportation Applications of Mobile LIDAR*, Remote Sensing, vol. **5**, nr. 9, p. **4652–4692**, **2013**. https://doi.org/10.3390/rs5094652

[3]. H. GUAN, J. LI, S. CAO, Y. YU: *Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review*, International Journal of Image and Data Fusion, vol. **7**, nr. 3, p. **219–242**, **2016**. https://doi.org/10.1080/19479832.2016.1188860

[4]. L. MA, Y. LI, J. LI, C. WANG, R. WANG, M. A. CHAPMAN: *Mobile Laser Scanned Point-Clouds for Road Object Detection and Extraction: A Review*, Remote Sensing, vol. **10**, nr. 10, art. **1531**, **2018**. https://doi.org/10.3390/rs10101531

[5]. I. PUENTE, H. GONZÁLEZ-JORGE, J. MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, P. ARIAS: *Review of mobile mapping and surveying technologies*, Measurement, vol. **46**, nr. 7, p. **2127–2145**, **2013**. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.03.006

[6]. M. ELHASHASH, H. ALBANWAN, R. QIN: *A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications*, Sensors, vol. **22**, nr. 11, art. **4262**, **2022**. https://doi.org/10.3390/s22114262

[7]. A. HOLGADO-BARCO, B. RIVEIRO, D. GONZÁLEZ-AGUILERA, P. ARIAS: *Automatic Inventory of Road Cross-Sections from Mobile Laser Scanning System*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. **32**, nr. 1, p. **3–17**, **2017**. https://doi.org/10.1111/mice.12213

EXTRAGEREA ŞI CLASIFICAREA AUTOMATĂ A SEMNALIZĂRII RUTIERE VERTICALE FOLOSIND PROCEDURA DE SCANARE MOBILĂ TRIDIMENSIONALĂ

Studiu de caz: Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere

Tentiş Mihai, ing., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Florea Andreea-Livia, dr.chim., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

CESTRIN S.A., prin intermediul Direcţiei Laborator Drumuri şi Direcţiei Inginerie şi Studii de Teren, continuă demersul implementării celor mai noi tehnologii cu scopul creşterii volumelor de date pe care CNAIR S.A., administratorul reţelei de autostrăzi, drumuri expres şi drumuri naţionale, le va avea la dispoziţie în procesul complex de planificare a întreţinerii şi/sau utilizării reţelei. Semnalizarea rutieră verticală reprezintă unul dintre elementele fundamentale ale infrastructurii de siguranţă rutieră, având un rol esenţial în reglementarea, avertizarea şi orientarea participanţilor la trafic. Indicatoarele rutiere contribuie direct la prevenirea accidentelor prin transmiterea unor informaţii clare şi accesibile privind restricţiile de circulaţie, limitele de viteză, priorităţile de trecere, pericolele existente şi condiţiile specifice fiecărui sector de drum. În contextul administrării reţelei de drumuri naţionale şi autostrăzi din România, inventarierea şi monitorizarea permanentă a semnalizării verticale reprezintă activităţi indispensabile pentru fundamentarea măsurilor de creştere a siguranţei circulaţiei. Un progres tehnologic important în acest domeniu îl reprezintă utilizarea în premieră la nivel naţional a sistemului mobil de cartografiere 3DT Scanfly DUO, care permite colectarea datelor geospaţiale prin integrarea tehnologiei LiDAR cu imagini panoramice de înaltă rezoluţie şi sisteme de poziţionare GNSS/INS. Odată cu parcurgerea reţelei rutiere, echipamentul generează nori de puncte tridimensionali şi imagini georeferenţiate, oferind o reprezentare digitală detaliată a infrastructurii şi a elementelor de semnalizare existente. Pentru datele rezultate din acest proces s-au stabilit fluxuri de lucru de transfer către schema de date implementată în cadrul proiectului cartografic (reprezentat printr-un sistem informaţional geografic dedicat) „Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere”, iar prin integrarea în baza de date geospaţială a poziţiei fiecărui indicator, a categoriei şi semnificaţiei acestuia, a sectorului de drum aferent şi a informaţiilor vizuale asociate, se creează premisele unei evidenţe tehnice unitare, actualizabile şi verificabile. În concluzie, integrarea tehnologiilor LiDAR, a identificării automate şi a sistemelor informaţionale geografice transformă inventarierea semnalizării verticale dintr-o activitate predominant manuală într-un proces digital, sistematic şi eficient. Proiectul „Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere” contribuie astfel la modernizarea managementului infrastructurii administrate de CNAIR, fiind

astfel dezvoltate instrumente facile pentru monitorizarea patrimoniului rutier, fundamentarea deciziilor tehnice şi susținerea măsurilor destinate reducerii numărului şi gravității accidentelor de circulație.

Cuvinte cheie: GIS, LiDAR, semnalizare, tridimensional, integrare

Abstract

CESTRIN S.A., through its Road Laboratory Directorate and Engineering and Field Survey Directorate, continues its efforts to implement state-of-the-art technologies aimed at increasing the volume and quality of data available to CNAIR S.A., the authority responsible for managing Romania’s motorway, expressway, and national road networks. These data support the complex processes involved in planning road maintenance activities and managing the use of the road network. Vertical road signage represents a fundamental component of road safety infrastructure, playing an essential role in regulating, warning, and guiding road users. Traffic signs contribute directly to accident prevention by providing clear and accessible information regarding traffic restrictions, speed limits, right-of-way rules, potential hazards, and the specific conditions associated with individual road sections. Within the framework of managing Romania’s national road and motorway networks, the systematic inventory and continuous monitoring of vertical road signage are essential activities for developing and substantiating measures aimed at improving road safety. A significant technological advancement in this field is the introduction, for the first time at the national level, of the 3DT Scanfly DUO mobile mapping system, which enables the acquisition of geospatial data by integrating LiDAR technology, high-resolution panoramic imagery, and GNSS/INS positioning systems. As the system surveys the road network, it generates three-dimensional point clouds and georeferenced imagery, providing a detailed digital representation of road infrastructure and existing traffic signage elements. Dedicated workflows have been established and standardized to transfer the resulting data into the database schema developed within the GIS-based project entitled “Implementation of the Road Technical Database”. By integrating the geographical position of each traffic sign, its category and meaning, the corresponding road section, and associated visual information into a centralized geospatial database, the project establishes the foundation for a consistent, updatable, and verifiable technical inventory of road infrastructure assets. In conclusion, the integration of LiDAR technologies, automated traffic sign detection and identification, and Geographic Information Systems (GIS) transforms vertical road signage inventory management from a predominantly manual activity into a systematic, efficient, and digitally driven process. The “Implementation of the Road Technical Database” project thus contributes to the modernization of road infrastructure management within CNAIR S.A. by providing accessible and effective tools for monitoring road infrastructure assets, supporting evidence-based technical decision-making, and facilitating the implementation of measures aimed at reducing both the frequency and severity of road traffic accidents.

Keywords: GIS, LiDAR, signalling, three-dimensional, integration

1. INTRODUCERE ŞI CONTEXT INTERNAȚIONAL

Digitalizarea infrastructurii rutiere şi dezvoltarea sistemelor inteligente de transport (Intelligent Transportation Systems – ITS) reprezintă direcţii importante ale cercetării internaţionale, în contextul necesităţii creşterii siguranţei circulaţiei şi eficientizării administrării reţelelor de drumuri. Un domeniu de interes îl constituie identificarea, extragerea şi clasificarea automată a semnalizării rutiere verticale, având în vedere rolul indicatoarelor în reglementarea circulaţiei, avertizarea participanţilor la trafic şi prevenirea accidentelor.

La nivel internaţional, metodele tradiţionale de inventariere, bazate pe inspecţii vizuale şi colectarea manuală a informaţiilor, sunt completate sau înlocuite progresiv de tehnologii avansate de cartografiere mobilă. Acestea integrează scanarea laser mobilă (Mobile Laser Scanning – MLS), sistemele GNSS/INS şi imagistica digitală de înaltă rezoluţie, permiţând colectarea simultană a informaţiilor geometrice şi vizuale. Integrarea algoritmilor de inteligenţă artificială şi învăţare profundă (Deep Learning) facilitează automatizarea proceselor de identificare şi clasificare a elementelor infrastructurii rutiere.

Pu şi colaboratorii [1] au demonstrat posibilitatea recunoaşterii automate a structurilor rutiere utilizând nori de puncte tridimensionali obţinuţi prin scanare laser mobilă. Cercetarea a evidenţiat potenţialul caracteristicilor geometrice şi spaţiale pentru identificarea indicatoarelor rutiere şi a altor elemente ale infrastructurii, constituind o referinţă pentru dezvoltarea metodologiilor moderne de inventariere.

Ulterior, Soilán şi colaboratorii [2] au propus o metodologie integrată de detectare a indicatoarelor prin combinarea informaţiilor LiDAR cu imaginile digitale. Cercetarea, realizată pe sectoare rutiere şi urbane din Spania, a demonstrat eficienţa utilizării proprietăţilor geometrice şi radiometrice ale norilor de puncte pentru localizarea indicatoarelor, urmată de utilizarea informaţiilor vizuale pentru clasificarea acestora. Rezultatele au evidenţiat o rată de regăsire apropiată de 98%, confirmând potenţialul scanării mobile pentru inventarierea semnalizării verticale.

Arcos-García şi colaboratorii [3] au extins această abordare prin integrarea algoritmilor de învăţare profundă, utilizând complementar date LiDAR şi reţele neuronale convoluţionale (Convolutional Neural Networks – CNN). Metodologia a evidenţiat avantajele identificării indicatoarelor pe baza caracteristicilor retroreflectorizante, urmată de clasificarea semantică pe baza imaginilor digitale.

În mod complementar, Yang și colaboratorii [4] au demonstrat importanța analizei caracteristicilor geometrice și contextuale ale norilor de puncte pentru recunoașterea automată a elementelor infrastructurii rutiere, evidențiind dificultățile determinate de densitatea variabilă a punctelor și de obturarea parțială a obiectelor.

Aplicabilitatea operațională a acestor tehnologii a fost analizată de Gargoum și colaboratorii [5], care au dezvoltat o metodologie de extragere automată a indicatoarelor rutiere utilizând date LiDAR colectate în Canada. Rezultatele experimentale au indicat rate de succes cuprinse între 93% și 100%, în condițiile sectoarelor analizate. Într-un studiu ulterior, Gargoum și El-Basyouny [6] au evaluat influența densității norilor de puncte asupra performanței detecției, demonstrând posibilitatea optimizării volumelor de date fără afectarea semnificativă a rezultatelor pentru anumite categorii de indicatoare.

Javanmardi și colaboratorii [7] au investigat identificarea automată a indicatoarelor și a stâlpilor de iluminat, evidențiind posibilitatea utilizării acelorași date tridimensionale pentru inventarierea mai multor categorii de elemente rutiere. Această abordare susține dezvoltarea unor baze de date tehnice integrate, în care informațiile rezultate din scanarea mobilă pot fi valorificate simultan pentru diferite componente ale infrastructurii.

Progresele în domeniul inteligenței artificiale au determinat dezvoltarea unor metodologii de clasificare bazate pe rețele neuronale profunde. Tabernik și Skočaj [8] au propus un sistem de detectare și recunoaștere a indicatoarelor utilizând arhitecturi Deep Learning, capabil să gestioneze 200 de categorii distincte. Cercetarea a evidențiat performanțe ridicate de clasificare și necesitatea utilizării unor baze de date de antrenare reprezentative pentru diversitatea semnalizării rutiere.

Gouda și colaboratorii [9] au analizat utilizarea arhitecturilor de învățare profundă aplicate direct norilor de puncte LiDAR, demonstrând avantajele extragerii automate a caracteristicilor geometrice pentru identificarea indicatoarelor amplasate pe drumurile rurale. În paralel, Qiu și colaboratorii [10] au investigat utilizarea unor sisteme mobile de cartografiere cu cost redus, evidențiind posibilitatea extinderii tehnologiilor tridimensionale către aplicații de inventariere și administrare digitală a infrastructurii.

Din perspectiva managementului rutier, sinteza realizată de Gargoum și El-Basyouny [11] evidențiază faptul că tehnologiile LiDAR permit extragerea unui volum considerabil de informații privind geometria drumurilor și caracteristicile elementelor infrastructurii. Integrarea acestor informații în sisteme

informaţionale geografice (GIS) facilitează constituirea unor inventare digitale georeferenţiate, actualizabile şi utilizabile pentru analiza şi fundamentarea deciziilor tehnice.

Analiza cercetărilor internaţionale evidenţiază astfel evoluţia de la identificarea indicatoarelor pe baza proprietăţilor geometrice şi radiometrice către sisteme integrate de detectare şi clasificare semantică, fundamentate pe fuziunea datelor LiDAR, a imaginilor digitale şi a algoritmilor de inteligenţă artificială. Totuşi, aplicarea acestor tehnologii la nivelul unor reţele rutiere extinse presupune în continuare provocări privind calitatea datelor, diversitatea indicatoarelor, acurateţea clasificării şi integrarea informaţiilor în bazele de date tehnice existente.

În acest context, utilizarea sistemului mobil de scanare tridimensională mobilă pentru identificarea şi clasificarea automată a semnalizării verticale, urmată de integrarea rezultatelor în sistemul GIS aferent proiectului „Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere”, se înscrie în direcţiile actuale ale cercetării internaţionale. Abordarea propusă contribuie la dezvoltarea unui inventar geospaţial centralizat al indicatoarelor rutiere şi la modernizarea proceselor de administrare a infrastructurii, oferind suport pentru fundamentarea deciziilor tehnice şi implementarea măsurilor destinate creşterii siguranţei circulaţiei.

2. CONTEXT NAȚIONAL

În România, modernizarea proceselor de administrare a infrastructurii rutiere şi integrarea tehnologiilor geospaţiale reprezintă direcţii importante pentru creşterea siguranţei circulaţiei şi eficientizarea activităţilor de monitorizare a reţelei de drumuri. Necesitatea acestor demersuri este fundamentată de nivelul ridicat al accidentelor rutiere şi de importanţa identificării factorilor de risc asociaţi caracteristicilor infrastructurii, inclusiv semnalizării verticale, geometriei drumurilor şi condiţiilor de circulaţie.

Cioca şi Ivascu [12] au analizat evoluţia accidentelor rutiere din România în perioada 2012–2016, evidenţiind influenţa cumulată a caracteristicilor infrastructurii, condiţiilor de circulaţie şi factorilor umani asupra siguranţei traficului. Cercetarea subliniază necesitatea utilizării unor indicatori de risc şi a unor baze de date integrate pentru fundamentarea măsurilor preventive. Această abordare susţine dezvoltarea instrumentelor digitale destinate inventarierii şi monitorizării elementelor infrastructurii rutiere.

Un progres important în utilizarea tehnologiilor GIS la nivel național este evidențiat de Bilașco și Man [13], care au dezvoltat un model de analiză spațială a accidentelor rutiere din România, utilizând metoda Analytic Hierarchy Process (AHP). Cercetarea a integrat informații georeferențiate privind accidentele, caracteristicile rețelei rutiere, restricțiile de circulație și elementele de semnalizare, demonstrând utilitatea bazelor de date geospațiale pentru identificarea zonelor cu risc ridicat. Rezultatele confirmă importanța corelării caracteristicilor infrastructurii cu distribuția spațială a accidentelor, în vederea prioritizării intervențiilor de siguranță rutieră.

Din perspectiva relației dintre infrastructură și comportamentul conducătorilor auto, Dumitrașcu [14] a analizat influența configurației drumurilor asupra producerii și gravității accidentelor, utilizând simulări ale unor scenarii de circulație. Studiul evidențiază necesitatea evaluării integrate a caracteristicilor geometrice și funcționale ale infrastructurii, inclusiv a condițiilor care influențează percepția și reacția conducătorilor auto. În acest context, existența unei evidențe tehnice actualizate a indicatoarelor rutiere constituie o componentă relevantă pentru evaluarea condițiilor de circulație și identificarea potențialelor deficiențe de semnalizare.

Cercetările naționale recente evidențiază, de asemenea, importanța valorificării bazelor de date administrative și a instrumentelor analitice pentru evaluarea siguranței rutiere. Tataru și colaboratorii [15] au analizat informații privind accidentele din România în perioada 2023–2025, utilizând metode de grupare a evenimentelor în funcție de gravitate și contextul producerii acestora. Studiul susține utilitatea abordărilor bazate pe date pentru identificarea tiparelor de risc și orientarea intervențiilor în domeniul siguranței circulației.

În paralel, cercetările privind analiza spațiotemporală a accidentelor din România [16] evidențiază posibilitatea corelării informațiilor provenite din surse administrative diferite prin intermediul sistemelor GIS. Această direcție metodologică este relevantă pentru dezvoltarea unor baze de date care reunesc caracteristicile infrastructurii, informațiile privind circulația și localizarea evenimentelor rutiere.

În acest context, implementarea la nivelul CESTRIN a tehnologiei de scanare mobilă tridimensională 3DT Scanfly DUO, împreună cu procedurile de identificare și clasificare automată a semnalizării rutiere verticale, reprezintă o direcție aplicativă de modernizare a inventarierii infrastructurii administrate de CNAIR S.A. Integrarea informațiilor rezultate în sistemul GIS aferent proiectului „Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere” permite structurarea unui

inventar digital georeferențiat, cu informații privind poziția, categoria și semnificația indicatoarelor, precum și asocierea acestora cu imaginile și datele tridimensionale colectate în teren.

Prin corelarea acestor informații cu geometria rețelei rutiere, restricțiile de circulație și localizarea accidentelor, sistemul GIS poate constitui un instrument pentru identificarea neconformităților, prioritizarea intervențiilor și fundamentarea deciziilor tehnice. Astfel, aplicarea tehnologiilor LiDAR și a algoritmilor de clasificare automată contribuie la trecerea de la inventarierea predominant manuală către un proces digital, reproductibil și actualizabil, aliniat direcțiilor actuale de dezvoltare a managementului infrastructurii rutiere.

3. METODOLOGIE

Pentru conectarea permanentă la fluxurile tehnologice ale domeniului de activitate, tehnologia descrisă în capitolele anterioare se află la acest moment și în dotarea CESTRIN. Tehnologia permite inventarierea și evaluarea infrastructurii rutiere printr-un flux tehnologic care integrează instalarea echipamentelor pe vehicul, achiziția sincronizată a datelor LiDAR și GNSS/INS, corectarea traiectoriei, generarea norilor de puncte georeferențiați, identificarea automată a elementelor de infrastructură și transferul informațiilor într-o bază de date geospațială compatibilă cu platforma Esri ArcGIS. Pentru operarea acestei tehnologii avansate de cartografiere mobilă (Mobile Mapping System – MMS), destinată colectării integrate a datelor geospațiale tridimensionale și a imaginilor panoramice de înaltă rezoluție, a fost stabilit un flux de lucru consolidat bazat pe 5 etape distincte.

a. Instalarea și configurarea sistemului pe vehicul

Prima etapă a fluxului tehnologic constă în montarea sistemului de mobile mapping pe un vehicul destinat activităților de colectare a datelor. Echipamentul este instalat pe plafonul acestuia, prin intermediul unui suport specializat care asigură fixarea rigidă și stabilitatea ansamblului în timpul deplasării. Sistemul integrează două scanere LiDAR, o unitate de navigație inerțială, receptoare GNSS și o cameră panoramică, cu o configurație de 72 MP.

Montarea presupune poziționarea și fixarea mecanică a echipamentului, conectarea alimentării electrice și a sistemului de comunicații, precum și verificarea conexiunilor stabile de semnal dintre senzori și unitatea de stocare. O

atenţie deosebită este acordată verificării constante a parametrilor geometrici de calibrare, inclusiv relaţiilor spaţiale dintre antenele GNSS, unitatea inerţială, scanerele LiDAR şi camera panoramică (poziția determinată a antenelor raportat la unitatea centrală). Aceste relaţii sunt esenţiale pentru georeferenţierea corectă a datelor colectate.

b. Achiziţia datelor utilizând aplicaţia de bord

Colectarea informaţiilor geospaţiale este realizată prin intermediul aplicaţiei SmartSurvey, care permite configurarea, controlul şi monitorizarea în timp real a sistemului de cartografie mobilă cu o atenţie sporită asupra spaţiului de stocare şi a stabilităţii senzorilor de poziţionare şi deplasare inerţială.

Anterior începerii campaniei de măsurători, operatorul configurează parametrii de achiziţie şi poate importa traseele planificate în format KML, pentru urmărirea acoperirii teritoriale. Aplicaţia oferă informaţii referitoare la funcţionarea unităţii GNSS/INS, a scanerelor LiDAR şi a camerei panoramice, precum şi la resursele disponibile. În timpul deplasării vehiculului, cele două scanere LiDAR înregistrează informaţii tridimensionale privind geometria drumului şi a elementelor din vecinătatea acestuia, în timp ce camera panoramică achiziţionează imagini sincronizate cu poziţia vehiculului. Aplicaţia de bord permite vizualizarea în timp real a norului de puncte, verificarea imaginilor şi monitorizarea traseului parcurs, facilitând identificarea eventualelor întreruperi sau zone insuficient acoperite.

La finalul fiecărei sesiuni, datele colectate sunt salvate şi organizate pe campanii şi sectoare de drum, păstrând corespondenţa dintre informaţiile LiDAR, imaginile panoramice şi înregistrările de navigaţie.

c. Corecţia şi optimizarea traiectoriei prin IN-Fusion PP-RTX

După încheierea achiziţiei, datele de navigaţie sunt supuse post-procesării pentru determinarea unei traiectorii cât mai precise a vehiculului. Această etapă la nivelul CESTRIN utilizează tehnologia de corecţie pe baza staţiilor permanente virtuale generate folosind direct semnal satelitar, care combină observaţiile GNSS cu măsurătorile unităţii inerţiale şi corecţiile preluate. Metoda permite estimarea postprocesată a poziţiei şi orientării sistemului, fără necesitatea utilizării unei staţii GNSS de referinţă locale. Prin integrarea informaţiilor satelitare şi inerţiale sunt determinate poziţia, direcţia de deplasare şi unghiurile

de orientare ale platformei mobile, necesare georeferențierii directe a măsurătorilor LiDAR.

Rezultatul procesării îl constituie o traiectorie optimizată, de tip Smoothed Best Estimate of Trajectory – SBET, împreună cu informațiile privind calitatea rezultată. Precizia obținută depinde de condițiile de recepție GNSS, durata observațiilor și continuitatea semnalului, fiind necesară verificarea atentă a sectoarelor afectate de clădiri, vegetație densă sau alte obstacole.

d. Generarea și procesarea primară a norului de puncte în platformă software dedicată

Traiectoria corectată de la punctul c. este utilizată ulterior în aplicația disponibilă odată cu achiziția echipamentului de cartografie mobilă, pentru georeferențierea măsurătorilor înregistrate de cele două scanere și generarea norului de puncte tridimensional.

Procesarea presupune importarea datelor brute, asocierea acestora cu informațiile de navigație, aplicarea parametrilor de calibrare și transformarea măsurătorilor în coordonate geografice sau proiectate. Sunt realizate operațiuni de verificare a suprapunerii scanărilor, ajustare a benzilor de măsurare (strip alignment), filtrare și optimizare a norului de puncte.

Aplicația permite, de asemenea, integrarea informațiilor RGB provenite din imaginile panoramice, obținându-se un model tridimensional colorizat al infrastructurii investigate. Rezultatele sunt verificate în mediile de vizualizare 2D și 3D, urmărindu-se continuitatea datelor, corectitudinea poziționării și eventualele diferențe între trecerile succesive.

Norii de puncte rezultați sunt exportați în formate standard, inclusiv pentru utilizarea ulterioară în aplicații GIS și în software specializat de analiză tridimensională.

e. Extragerea automată a elementelor de infrastructură rutieră și integrarea în baze de date cartografice

În etapa finală a fluxului tehnologic, datele LiDAR și imaginile panoramice georeferențiate sunt prelucrate în a doua platformă software specializată, prin utilizarea modulelor specializate de generare axă drum și extragere semnalizare verticală.

Funcţionalitatea de generare axă drum permite generarea geometriei vectoriale a axului drumului, utilizând datele geospațiale rezultate din campaniile de măsurători. Axele generate constituie elemente de referinţă pentru reprezentarea reţelei rutiere şi sunt utilizate ulterior în aplicaţii GIS pentru analize spaţiale, segmentarea reţelei şi corelarea elementelor de infrastructură cu sectoarele de drum investigate.

Funcţionalitatea de extragere a semnalizării rutiere verticale permite identificarea şi extragerea automată a indicatoarelor rutiere din datele colectate, utilizând algoritmi de detecţie şi procesare a imaginilor în combinaţie cu coeficientul de reflectivitate înregistrat de fasciculele laser care constituie norul de puncte. Pentru fiecare indicator identificat pot fi asociate informaţii privind poziţia geografică, categoria sau clasa indicatorului, precum şi referinţe către imaginile panoramice corespunzătoare, în funcţie de posibilităţile versiunii software utilizate.

Rezultatele extragerii automate sunt verificate şi validate prin analiza imaginilor panoramice şi a norilor de puncte tridimensionali, în scopul identificării eventualelor erori de detecţie, eliminării înregistrărilor duplicate şi corectării atributelor asociate obiectelor.

Datele rezultate sunt pregătite pentru integrarea în baze de date cartografice, prin export direct, pe o structură tabelară predefinită de utilizator. Axele drumurilor sunt organizate în clase de obiecte de tip polilinie (Polyline), iar indicatoarele rutiere în clase de obiecte de tip punct (Point), cu atribute descriptive şi identificatori unici.

Integrarea rezultatelor în arhitectura de cartografie digitală a CESTRIN permite dezvoltarea şi actualizarea inventarului digital al infrastructurii rutiere, corelarea amplasamentelor indicatoarelor cu reţeaua de drumuri şi realizarea analizelor geospaţiale necesare activităţilor de administrare, monitorizare şi îmbunătăţire a siguranţei circulaţiei.

Prin urmare, fluxul tehnologic este orientat la nivelul acestui studiu aplicat către două rezultate cartografice principale: generarea axelor vectoriale ale drumurilor şi inventarierea georeferenţiată a indicatoarelor rutiere, ambele putând fi integrate într-o bază de date geospaţială unitară.

4. REZULTATELE CERCETĂRII

Aplicând metodologia descrisă în capitolul 3, s-a reuşit constituirea într-un timp scurt a unei baze de date cu informaţii tridimensionale obţinute din scanarea

laser tridimensională continuă de aproximativ 30 TB (30.000 GB), constatând un volum mediu de informație constituit din date brute + date procesate de aproximativ 10 GB / kilometru de drum cu o singură trecere. Acestui volum impresionant de date i se adaugă peste 15.000 de indicatoare rutiere identificate pe aproximativ 1.700 kilometri de drum parcurși. În figura numărul 1 se poate observa distribuția spațială a sectoarelor de drum parcurse, cu mențiunea foarte importantă că pe anumite tronsoane de drum asociate s-au realizat mai multe treceri.

Distribuția spațială a sectoarelor de drum acoperite cu scanare laser tridimensională

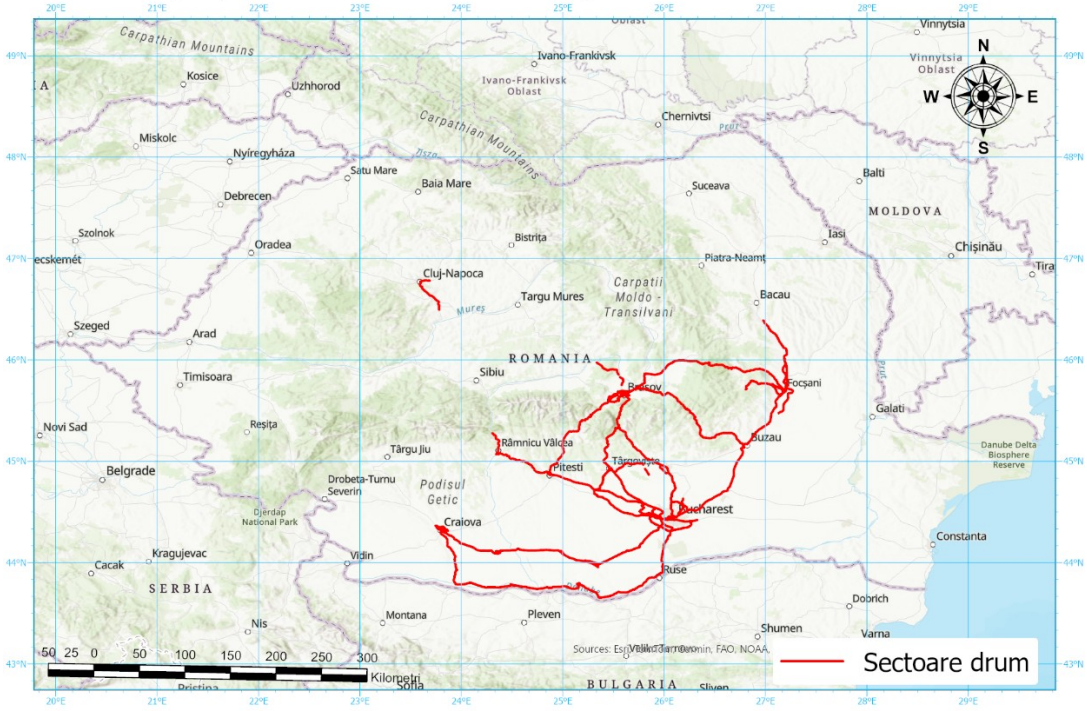


Figura 1. Distribuția spațială a sectoarelor acoperite de scanare laser tridimensională mobilă

Bazele de date rezultate au putut fi grupate în funcție de lungimea tronsonului de drum scanat, rezultând 5 clase principale. La acest moment cele mai multe baze de date sunt cuprinse în intervalul 0–24 km, dar pe măsură ce se acoperă noi drumuri ponderea se schimbă către baze de date cuprinse în intervalul 50–70 km lungime. O prezentare mai detaliată a grupării bazelor de date poate fi observată în figura numărul 2.

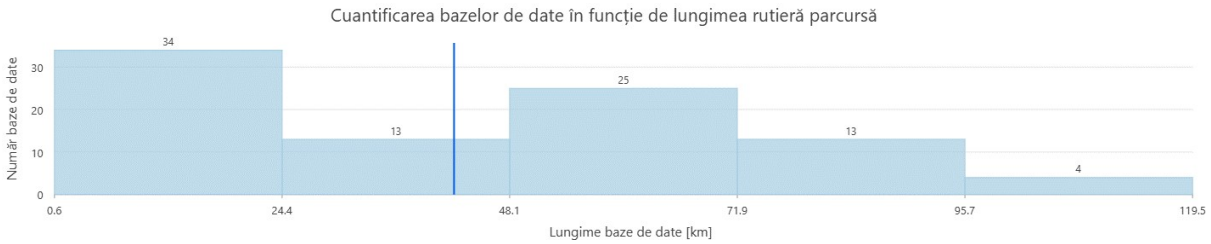


Figura 2. Cuantificarea bazelor de date în funcţie de lungimea rutieră parcursă

La acest moment din bazele de date au fost extrase indicatoare rutiere cu amplasare georeferențiată direct, iar ca urmare a transpunerii lor în mediul cartografic instituțional informația a putut fi partajată cu toți factorii decizionali implicați pe acest subiect la nivelul CNAIR S.A. Un exemplu din această interfață de lucru poate fi observat în figura numărul 3.

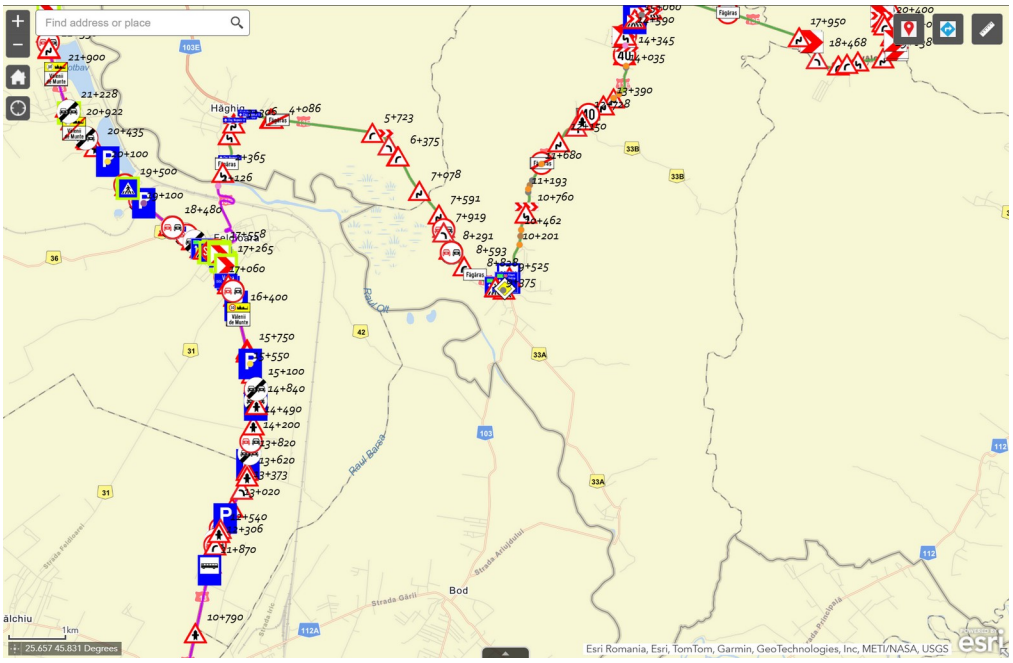


Figura 3. Exemplu de integrare şi afişare informații despre semnalizarea rutieră verticală

Un alt rezultat notabil reprezintă și crearea premiselor tehnice pentru constituirea propriului serviciu de date cartografice compus din capturile optice colectate la o poziție geografică finită, similar altor servicii de vizualizare 3D dinamică la nivelul rețelei de drumuri. Prin preluarea și integrarea unei capturi optice la fiecare 5 metri parcurși de autovehicul se obține un grad de acoperire de peste 95% asupra rețelei rutiere, iar la nivelul acestor imagini tridimensionale pot fi realizate determinări de distanță, înălțime, suprafață sau determinare coordonate geografice acolo unde există un punct de interes.

5. CONCLUZII ŞI PERSPECTIVE VIITOARE

Studiul evidenţiază aplicabilitatea scanării mobile tridimensionale pentru inventarierea semnalizării rutiere verticale şi integrarea acesteia în proiectul „Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere”. Utilizarea sistemului de cartografie mobilă, prin asocierea datelor LiDAR cu imaginile panoramice şi informaţiile de poziţionare GNSS/INS, permite constituirea unei reprezentări georeferenţiate a infrastructurii. Fluxul prezentat asigură continuitatea dintre colectarea datelor, corectarea traiectoriei, procesarea norilor de puncte, extragerea indicatoarelor şi integrarea rezultatelor în sistemul GIS instituţional existent, adaptat deja la activitate interdepartamentală internă şi interinstituţională.

Rezultatele obţinute, respectiv aproximativ 30 TB de date şi peste 15.000 de indicatoare identificate pe aproximativ 1.700 km de drum parcurşi, evidenţiază amploarea inventarului constituit şi potenţialul de extindere a metodologiei.

Generarea axelor drumurilor şi asocierea indicatoarelor cu poziţia geografică şi informaţiile descriptive creează o bază unitară pentru consultarea, verificarea şi actualizarea patrimoniului rutier. Integrarea în mediul cartografic instituţional facilitează accesul factorilor decizionali la informaţii relevante pentru planificarea întreţinerii şi prioritizarea intervenţiilor.

Calitatea inventarului depinde însă de precizia traiectoriei, calibrarea senzorilor, continuitatea achiziţiei şi validarea rezultatelor automate. Verificarea pe baza imaginilor panoramice şi a norilor de puncte rămâne necesară pentru corectarea clasificărilor, eliminarea duplicatelor şi identificarea obiectelor omise. Datele prezentate susţin fezabilitatea operaţională a fluxului, fără a permite, în această etapă, cuantificarea completă a acurateţei detecţiei şi clasificării sau a efectului asupra reducerii accidentelor.

O direcţie viitoare de dezvoltare o constituie realizarea unei aplicaţii web de tip Enterprise/Instituţional, destinată consultării integrate a imaginilor panoramice, a norilor de puncte şi a inventarului semnalizării verticale. Aplicaţia ar urma să permită selectarea unui sector de drum sau a unui indicator şi accesarea corelată a poziţiei pe hartă, a panoramei corespunzătoare şi a reprezentării tridimensionale. Asocierea acestor informaţii prin identificatori şi referinţe spaţiale comune ar facilita verificarea amplasamentelor şi examinarea contextului rutier direct din interfaţa web.

Dezvoltarea aplicației va trebui să urmărească navigarea sincronizată între reprezentările disponibile, filtrarea indicatoarelor după categorie și sector, consultarea atributelor și înregistrarea observațiilor pentru validare. Integrarea campaniilor succesive ar permite compararea situației din teren la momente diferite și evidențierea modificărilor inventarului. Având în vedere volumele foarte mari de date raportate, implementarea va necesita organizarea pe sectoare, optimizarea datelor pentru vizualizare web, dimensionarea resurselor de stocare și testarea performanței, împreună cu stabilirea drepturilor de acces și a procedurilor de actualizare.

Prin aceste dezvoltări, rezultatele scanării mobile vor putea fi valorificate într-un instrument comun de lucru pentru specialiștii CESTRIN, structurile CNAIR și alți parteneri instituționali externi. Corelarea ulterioară a inventarului cu informații privind accidentele, restricțiile și intervențiile de întreținere ar susține evaluarea integrată a infrastructurii și fundamentarea măsurilor de siguranță rutieră. Perspectiva urmărită este transformarea datelor colectate într-o evidență tehnică accesibilă, verificabilă și actualizată periodic, utilizabilă în administrarea rețelei rutiere.

BIBLIOGRAFIE

[1]. PU, S. & RUTZINGER, MARTIN & VOSSELMAN, GEORGE & OUDE ELBERINK, SANDER. (**2011**). *Recognising basic structures from mobile laser scanning data for road inventory studies*. Photogrammetry & Remote Sensing. 66. 528–539.

[2]. SOILÁN, MARIO & RIVEIRO, B. & MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, JOAQUIN & ARIAS, PEDRO. (**2016**). *Traffic sign detection in MLS acquired point clouds for geometric and image-based semantic inventory*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 114. 92–101. 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.019.

[3]. ARCOS-GARCÍA Á, SOILÁN M, ÁLVAREZ-GARCÍA JA, RIVEIRO B. *Exploiting synergies of mobile mapping sensors and deep learning for traffic sign recognition systems*. Expert Syst Appl. **2017**;89:286–95.

[4]. YANG, BISHENG & LIU, YUAN & LIANG, FUXUN & DONG, ZHEN. (**2016**). *USING MOBILE LASER SCANNING DATA FOR FEATURES EXTRACTION OF HIGH ACCURACY DRIVING MAPS*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLI-B3. 433–439. 10.5194/isprs-archives-XLI-B3-433-2016.

[5]. GARGOUM, S., EL-BASYOUNY, K., SABBAGH, J., & FROESE, K. (**2017**). *Automated Highway Sign Extraction Using Lidar Data*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2643(1), 1–8. https://doi.org/10.3141/2643-01

[6]. GARGOUM, SULIMAN & EL-BASYOUNY, KARIM. (**2019**). *Effects of LiDAR Point Density on Extraction of Traffic Signs: A Sensitivity Study*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2673. 41–51. 10.1177/0361198118822295.

[7]. JAVANMARDI, M., SONG, Z. and QI, X. (**2019**), *Automated traffic sign and light pole detection in mobile LiDAR scanning data*. IET Intell. Transp. Syst., 13: 803–815. https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5360

[8]. TABERNIK, DOMEN. (**2019**). *Deep Learning for Large-Scale Traffic-Sign Detection and Recognition*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 21. 1427–1440. 10.1109/TITS.2019.2913588.

[9]. GOUDA M, EPP A, TILROE R, EL-BASYOUNY K. *Traffic sign extraction using deep hierarchical feature learning and mobile light detection and ranging (LiDAR) data on rural highways*. J Intell Transp Syst. **2023**;27(5):643–664. doi:10.1080/15472450.2022.2074792.

[10]. QIU Z, MARTÍNEZ-SÁNCHEZ J, MANUEL BREA V, LÓPEZ P, ARIAS P. *Low-cost mobile mapping system solution for traffic sign segmentation using Azure Kinect*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. **2022** Aug 1;112. doi: 10.1016/j.jag.2022.102895

[11]. GARGOUM S, SHALKAMY A, EL-BASYOUNY K. *Aggregate spatial analysis of design reliability to sight distance requirements: assessing reliability of transportation infrastructure on a network level*. J Infrastruct Syst. **2022**;28(2):04022003. doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000673.

[12]. CIOCA LI, IVASCU L. *Risk indicators and road accident analysis for the period 2012–2016*. Sustainability. **2017**;9(9):1530. doi: 10.3390/su9091530.

[13]. BILAȘCO Ș, MAN TC. *GIS-based spatial analysis model for assessing impact and cumulative risk in road traffic accidents via Analytic Hierarchy Process (AHP)—Case Study: Romania*. Applied Sciences. **2024**;14(6):2643. doi: 10.3390/app14062643.

[14]. DUMITRASCU DI. *Influence of road infrastructure design over the traffic accidents: A simulated case study*. Infrastructures. **2024**;9(9):154. doi: 10.3390/infrastructures9090154.

[15]. TATARU D, BUDZYŃSKI A, TATARU AC. *Improving road and vehicle safety through administrative register data: Sustainable road safety analytics for Romania (2023–2025) via dual severity and context clustering*. Sustainability. **2026**;18(13):6853. doi: 10.3390/su18136853.

[16]. COȘCIUG A, CIOBANU SM, BENEDEK J. *The safety of transnational imported second-hand cars: A case study on vehicle-to-vehicle crashes in Romania*. Sustainability. **2017**;9(12):2380. doi: 10.3390/su9122380

UTILIZAREA BIM ÎN EFICIENTIZAREA ACTIVITĂȚILOR DE ADMINISTRARE ŞI DEZVOLTARE A INFRASTRUCTURII RUTIERE

Studiu de caz: Implementarea realităţii virtuale tridimensionale

Tentiş Mihai, ing., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Braşov Teodor Gabriel, ing., CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică, e-mail: office@cestrin.ro
Rădulescu Anca, geograf, CESTRIN – Centrul de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică, e-mail: office@cestrin.ro

Rezumat

CESTRIN S.A., prin intermediul Direcției Inginerie și Studii de Teren, continuă adaptarea permanentă a fluxurilor de lucru și de analiză pentru a urmări constant pregătirea activă pentru trecerea completă la noile standarde în domeniul transporturilor rutiere, atât din perspectiva proiectării, cât și din perspectiva construirii, exploatării și întreținerii infrastructurii rutiere de importanță națională. Într-un context general dominat de transformarea digitală, care poate fi considerată fără mari eforturi și justificări ca fiind cel puțin cvadridimensională prin introducerea celei de-a patra dimensiuni din perspectiva referinței temporale a seturilor de date, standardizarea bazelor de date într-un format internațional acceptat devine elementul firesc care va domina evoluția următorilor ani. Astfel, la nivelul CESTRIN S.A. se fac constant pași concreți în ceea ce privește dotarea tehnică, asigurarea capacităților software, a mediului de lucru și a instruirii adecvate încă dinainte de anul 2020, având în vedere dezvoltarea permanentă a capacității de a gestiona o singură bază de date unitară, care să gestioneze concomitent parametrii dimensionali ai seturilor de date, cât și caracterul temporal al acestora, indiferent de specificul activității fiecărei echipe de specialiști. Plecând de la principiul simplu al interoperabilității, s-au dezvoltat și definitivat fluxuri de lucru clare pentru implementarea utilizării realității virtuale tridimensionale ca tehnologie de vârf, atât în etapa de proiectare, cât și în cea de urmărire a execuției sau de analiză a elementelor construite postexecuție. Pentru a putea valida corespunzător fluxurile de lucru necesare operaționalizării tehnologiei folosite pentru utilizarea realității virtuale tridimensionale, s-a pornit de la seturi de date standardizate în formate larg utilizate la nivelul întregului domeniu ocupațional, preponderent de tip CAD, care, prin ajustări specifice, au fost transpuse în format geospațial tridimensional, integrat ulterior într-un mediu de lucru de tip cloud, cu acces concomitent multi-utilizator.

Cuvinte cheie: GIS, BIM, standardizare, tridimensional, interoperabilitate

Abstract

CESTRIN S.A., through the Engineering and Field Studies Directorate, continues to constantly adapt its workflows and analysis to actively prepare for the complete transition to new standards in the road transport sector. This applies both from a design perspective and from the standpoint of constructing, operating, and maintaining road infrastructure of national importance. In a general context dominated by digital transformation – which can easily be considered four-dimensional due to the introduction of the fourth dimension via the temporal reference of data sets – the standardization of databases into an internationally accepted format becomes the natural element that will dominate evolution in the coming years. Accordingly, CESTRIN S.A. has been consistently taking concrete steps regarding technical equipment, software capabilities, working environments, and adequate training since before 2020. This is aimed at continuously developing the capacity to manage a single, unified database capable of simultaneously handling both the dimensional parameters of data sets and their temporal character, regardless of the specific field of activity of each specialist team. Based on the simple principle of interoperability, clear workflows have been developed and finalized to implement the use of three-dimensional virtual reality as a cutting-edge technology. This is applied in the design phase, during construction monitoring, and for analysing post-execution built elements. To properly validate the workflows required to operationalize this 3D virtual reality technology, the process started with standardized data sets in formats widely used across the entire occupational field – predominantly CAD type. Through specific adjustments, these were translated into a three-dimensional geospatial format and subsequently integrated into a multi-user, simultaneous-access cloud working environment.

Keywords: GIS, BIM, standardization, three-dimensional, interoperability

1. INTRODUCERE ŞI CONTEXT INTERNAȚIONAL

Conform standardelor internaționale de referință, în special seria ISO 19650, și literaturii academice de specialitate, BIM (Building Information Modeling) are o definiție tripartită, fiind analizat ca un proces, ca un produs și ca un sistem de management al informației [1]. Definiția oficială stipulează că BIM reprezintă utilizarea unei reprezentări digitale partajate a unui activ construit (clădire, drum, pod sau rețea de utilități), cu scopul de a facilita procesele de proiectare, execuție și exploatare, formând o bază de încredere pentru luarea deciziilor pe parcursul întregului său ciclu de viață [1, 2].

Pentru a înțelege complexitatea sa structurală, conceptul este integrat pe trei dimensiuni operaționale:

- Procesul (Modeling): ansamblul de metode, fluxuri de lucru și politici prin care echipe multidisciplinare generează și schimbă date în mod colaborativ [3];

- Produsul (Model): livrabilul reprezentat de modelul digital tridimensional interconectat cu baze de date, care conține atât geometria obiectelor, cât și atribute alfanumerice (materiale, costuri, fișe tehnice) [2];

- Gestiunea informației (Information Management): funcția critică ce asigură o „sursă unică de adevăr” (Single Source of Truth) printr-un Mediu Comun de Date (CDE), permițând evoluția informației de la faza de idee până la postutilizare [4].

Arhitectura modernă a BIM se extinde dincolo de geometria spațială 3D, fiind structurată pe dimensiuni de date: planificarea temporală a lucrărilor sau dimensiunea 4D, estimările bugetare și extrasele de cantități automate în dimensiunea 5D, analiza sustenabilității în 6D și managementul activului pe termen lung (Facility Management) în dimensiunea 7D [5]. Prin urmare, BIM nu reprezintă un simplu software comercial, ci o metodologie de lucru digitală care înlocuiește livrabilele clasice cu un prototip digital inteligent [6].

La nivel mondial, BIM nu mai este perceput doar ca o simplă tehnologie de modelare parametrică, ci ca o paradigmă colaborativă integrată, definită prin procese, tehnologii și politici destinate să gestioneze informațiile digitale pe întreg ciclul de viață al unui activ [3]. Această metodologie se bazează pe standarde deschise de date, precum IFC, care asigură interoperabilitatea între diferite platforme software, transformând fluxurile tradiționale de lucru în ecosisteme informaționale unitare [7]. Deși inițial a fost dezvoltată pentru sectorul construcțiilor civile verticale, complexitatea rețelelor moderne de transport a impus extinderea acestui concept către infrastructura liniară (Horizontal BIM).

În acest context, Asociația Mondială a Drumurilor (PIARC) a analizat la nivel internațional stadiul digitalizării și al utilizării BIM în managementul activelor rutiere. Raportul tehnic PIARC arată că digitalizarea gestionării activelor rutiere este deja avansată, însă adoptarea BIM pentru drumuri are încă un drum lung de parcurs, mai ales pentru infrastructura existentă și pentru fazele de întreținere și conservare, subliniind necesitatea de a defini rolul BIM în acest domeniu [8]. Totodată, integrarea în modelele BIM a unor cerințe specifice drumurilor, precum principiile auditului de siguranță rutieră aplicate sistemelor de reținere, poate îmbunătăți calitatea proiectării încă din această fază [9]. Cadrele de digitalizare pe întreg ciclul de viață, care integrează datele din proiectare,

execuție, întreținere, exploatare și administrare, facilitează tranziția către un management al activelor rutiere bazat pe modele și date interconectate [10].

2. CONTEXT NAȚIONAL

Tranziția industriei de construcții din România către tehnologiile digitale a urmat o traiectorie strâns legată de dinamica economică post-decembristă. În anii 1990 și la începutul anilor 2000, piața autohtonă a trecut prin faza de înlocuire a proiectării clasice de pe planșetă cu sistemele asistate de calculator bidimensionale (2D CAD). Deși această primă digitalizare a sporit viteza de editare a desenelor tehnice, ea nu a rezolvat problema fragmentării informaționale dintre specialități (arhitectură, structură, instalații) – o limitare generală a fluxurilor bazate pe desene 2D [7]. Erorile de coordonare din șantiere, neconcordanțele dintre listele de cantități și planșe, precum și lipsa de interoperabilitate au rămas probleme frecvente în proiectele publice.

Primele contacte ale specialiștilor români cu concepte tridimensionale parametrice au avut loc la mijlocul anilor 2000, în special în mediul privat, prin intermediul marilor birouri de arhitectură și inginerie care colaborau cu investitori străini. Cu toate acestea, software-urile capabile de modelare inteligentă erau utilizate izolat, doar ca instrumente avansate de vizualizare 3D sau de geometrie volumetrică, fără a implementa esența metodologiei BIM: managementul integrat al datelor non-grafice pe întreg ciclul de viață al construcției.

Un moment de cotitură la nivel legislativ l-a reprezentat adoptarea la nivelul Uniunii Europene a Directivei 2014/24/UE privind achizițiile publice [12]. Acest document a introdus posibilitatea ca statele membre să solicite utilizarea unor instrumente electronice specifice, precum instrumentele de modelare electronică a informațiilor despre construcții, pentru contractele publice de lucrări. Pentru România, transpunerea acestor principii în legislația națională a achizițiilor publice (Legea nr. 98/2016) a marcat debutul eforturilor oficiale de aliniere la bunele practici comunitare [12, 13].

În această perioadă, conștientizarea importanței BIM a fost susținută de apariția unor asociații profesionale nonguvernamentale și grupuri de inițiativă (precum BIMtech sau filiala locală buildingSMART România, aflată în curs de cristalizare). Aceste organizații, formate din tineri specialiști, cadre universitare și dezvoltatori software, au început primele campanii ample de educare a pieței, traducerea ghidurilor internaționale și organizarea de conferințe tehnice. Cu toate acestea, în lipsa unui mandat guvernamental ferm, utilizarea BIM a rămas

asimetrică: intensă în sectorul clădirilor de birouri de clasă A din marile centre urbane (București, Cluj-Napoca, Timișoara) și aproape inexistentă în proiectele de infrastructură publică majoră.

Accelerarea administrativă decisivă s-a produs în ultimii ani, determinată de condiționalitățile economice europene și de accesarea fondurilor prin Planul Național de Redresare și Reziliență (PNRR), statul român asumându-și digitalizarea structurală a sectorului [11, 14].

Pilonul central al acestei reforme îl reprezintă Foaia de parcurs privind implementarea metodologiei BIM la nivel național, adoptată de Guvernul României prin memorandum în anul 2022, la propunerea Ministerului Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației [14]. Acest document programatic trasează introducerea graduală a metodologiei BIM în proiectele finanțate din fonduri publice, în patru etape, în perioada 2022–2028: aprobarea și constituirea grupului de lucru, pregătirea cadrului (reglementări tehnice, instruire și sprijin pentru companii), derularea unor proiecte-pilot și, ulterior, extinderea utilizării BIM către tot mai multe categorii de lucrări publice [11, 14].

Din punct de vedere tehnic și normativ, eforturile s-au concentrat pe crearea unui limbaj comun de proiectare. Prin Asociația de Standardizare din România (ASRO), s-a realizat adoptarea ca standarde naționale a seriei internaționale de referință SR EN ISO 19650 [15]. Standardul definește cerințele pentru managementul informațiilor, presupunând utilizarea unor instrumente fundamentale:

- CDE (Common Data Environment): Mediul Comun de Date pentru stocarea și partajarea securizată a informațiilor;
- EIR (Exchange Information Requirements): cerințele clare ale beneficiarului cu privire la datele pe care dorește să le primească;
- BEP (BIM Execution Plan): planul prin care ofertantul/constructorul demonstrează cum va îndeplini aceste cerințe [1, 15].

În ciuda progresului legislativ considerabil, piața din România se confruntă cu un decalaj operațional între actorii privați și cei publici. Studiile de specialitate evidențiază o serie de bariere persistente în implementare [11]:

- Asimetria tehnică: în timp ce marile companii de proiectare și antreprenorii generali multinaționali dețin fluxuri avansate în dimensiunile superioare (4D – timp, 5D – costuri), multe autorități contractante nu au încă experiență în utilizarea BIM și nu dispun de suficient personal calificat capabil să verifice sau să recepționeze modelele digitale în formate deschise (precum IFC) [11];

- Costurile de tranziție: schimbarea paradigmei implică investiții semnificative în licențierea software-urilor profesionale, actualizarea stațiilor hardware și programe continue de reconversie profesională a inginerilor formați în era CAD, generând o rezistență culturală la schimbare [11].

Cu toate acestea, implicarea unor instituții tehnice de referință (cum este CESTRIN S.A. în domeniul rutier) și a universităților de profil (Universitatea Tehnică de Construcții București, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, alături de centrele din Iași și Timișoara) încearcă să creeze o bază solidă pentru viitor. Aceste entități colaborează activ pentru implementarea treptată a principiilor directoare care guvernează utilizarea BIM și pentru adaptarea ghidurilor specifice elaborate de Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației pentru infrastructura rutieră din România, cu menținerea standardelor internaționale, transformând astfel digitalizarea dintr-o obligație birocratică într-un puternic vector de eficiență economică [13, 14].

3. METODOLOGIE

Integrarea realității virtuale tridimensionale (3D VR) în metodologia Horizontal BIM reprezintă un salt tehnologic major pentru sectorul infrastructurii rutiere, transformând bazele de date geospațiale și modelele liniare în medii imersive și interactive. Această sinergie optimizează modul în care autostrăzile, lucrările de artă și structurile rutiere complexe sunt proiectate, executate și gestionate.

Infrastructura rutieră modernă implică o intersecție densă de specialități: structuri (poduri, viaducte, pasaje), hidrotehnică (șanțuri, rigole, bazine de retenție), rețele de utilități (gaze, electricitate, telecomunicații) și enumerarea poate continua. Într-un mediu VR de tip cloud, cu acces concomitent multi-utilizator, echipele de proiectare și reprezentanții CESTRIN S.A. pot analiza împreună intersecțiile spațiale (clash detection). Spre exemplu, vizualizarea imersivă a zonelor de conflict dintre pilonii unui viaduct și rețelele subterane, conștientizarea superioară asupra amplasării unor locuri de parcare sau înțelegerea mai bună a spațiului disponibil pe un trotuar proiectat permit rezolvarea rapidă a problemelor de coordonare într-un mediu colaborativ unificat între toți factorii implicați. În particular, metodologia studiată și adoptată la nivelul CESTRIN S.A. stabilește că întregul flux de lucru intern pentru partea de birou se bazează pe trei categorii de activități premergătoare analizei tridimensionale din șantier, după cum urmează:

a. Pregătirea proiectului în mediul CAD:

- verificarea elementelor geometrice din CAD, pentru a ne asigura că acestea sunt proiectate la scară reală, într-un sistem de coordonate nativ (în cazul de față Stereo 70);

- curățarea desenului de text 2D inutil, haşuri, linii de ghidaj secundare etc.;

- salvarea proiectului adaptat sub forma unui nou fişier de tip .dwg sau .dxf.

b. Crearea proiectului și texturarea geometriilor în Trimble SketchUp:

- importarea fișierului .dwg sau .dxf cu menținerea aceloraşi unități de măsură;

- mutarea întregului model aproape de originea sistemului de coordonate din Trimble SketchUp, cu notarea precisă a vectorului de deplasare pentru georeferențierea ulterioară;

- asocierea elevației şi modelarea suprafețelor create pe baza elementelor geometrice din CAD, în vederea obținerii unei reprezentări tridimensionale conforme cu realitatea din teren;

- aplicarea unor texturi realiste pentru asfalt, marcaje rutiere, elemente geometrice etc.;

- utilizarea extensiei Trimble SiteVision AR Exporter pentru salvarea modelului creat direct în format .trmb, salvând astfel şi fişierul de calibrare a poziției.

c. Încărcarea şi sincronizarea modelului tridimensional obținut la punctul b. în mediul cloud de gestionare și distribuire a informației către dispozitivele din teren.

Pe teren/șantier au fost realizate o serie de activități specifice, în ordinea cronologică prezentată în continuare:

- setarea antenei GNSS, conectarea acesteia prin Bluetooth® la dispozitivul de vizualizare și obținerea corecțiilor în mod RTK sau Trimble RTX (corecții directe satelitare);

- încărcarea proiectului direct din mediul cloud, care se poate actualiza în timp real, pe baza operativității specialiștilor de la birou;

- orientarea şi alinierea modelului tridimensional, fie prin determinări dinamice de coordonate direct pe puncte comune între model și realitatea înconjurătoare, fie prin poziționare și aliniere automată, dacă întregul proiect are asociat un fișier viabil de coordonate.

În figura 1 se pot observa elementele componente ale configurației hardware pentru partea de șantier deținută de CESTRIN S.A.

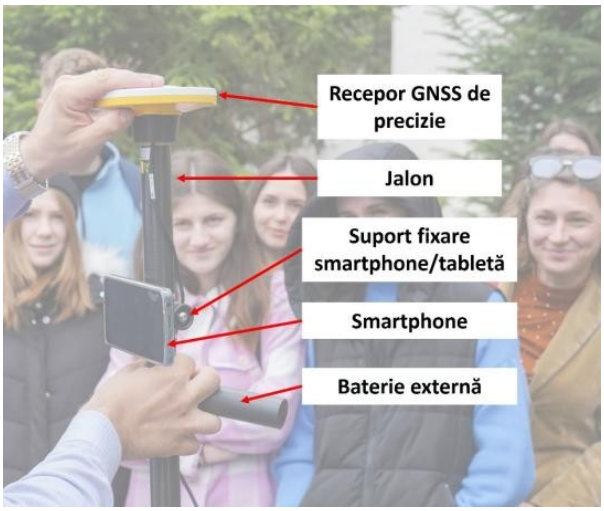


Figura 1. Părți componente ale platformei de vizualizare tridimensională a realității virtuale

Ulterior acestor etape de birou și de teren, s-a trecut la vizualizarea modelului tridimensional suprapus cu un nivel foarte ridicat de precizie peste realitatea înconjurătoare, cu consultarea atributelor asociate fiecărei geometrii tridimensionale și cu posibilitatea de a realiza fotografii georeferențiate sau de a determina coordonate geografice suplimentare față de modelul tridimensional încărcat.

4. REZULTATELE CERCETĂRII

Prin parcurgerea tuturor etapelor descrise în partea metodologică, s-a reușit pregătirea și stabilizarea fluxurilor de lucru și de informații pentru integrarea realității virtuale tridimensionale în capacitățile curente de analiză ale CESTRIN S.A., fie că vorbim despre dezvoltarea ulterioară a bazelor de date cu elemente preluate din componenta ITS, despre studierea noilor proiecte înainte de începerea execuției sau a celor aflate în derulare. Concret, folosind această tehnologie în colaborare cu parteneri instituționali sau contractuali, se vor putea face analize de precizie, cu un nivel net superior de înțelegere a contextului determinat de mediul înconjurător și o capacitate mai mare de a gestiona fluxurile de informații cu impact asupra celor trei direcții procedurale principale stabilite:

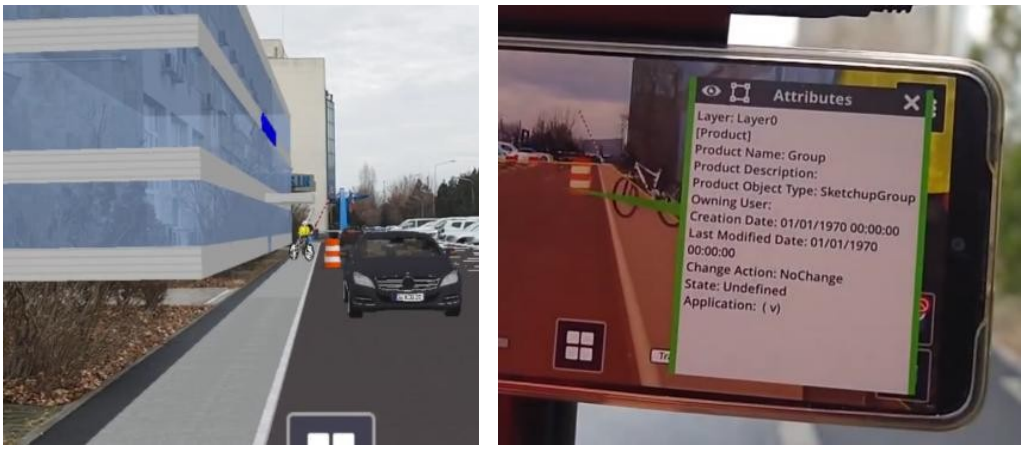
- studierea și implementarea unor elemente proiectate în toate fazele proiectului;
- simularea poziționării proporționale a obiectelor;
- identificarea facilă a elementelor inaccesibile direct, fără alte pagube materiale.

În figura 2 se pot observa inclusiv elemente adiacente suprafeței asfaltate pentru obiectivul de investiții studiat. Se observă cum, datorită poziționării de precizie, toate elementele simulate sunt amplasate pe reperele reale din teren, păstrând proporționalitatea obiectelor.



Figura 2. Afișarea realității virtuale tridimensionale peste cadrul natural existent

Pentru a demonstra scalabilitatea verticală a modelelor tridimensionale și versatilitatea informațională a acestora, s-au inclus și obiecte cu înălțime ridicată, cum ar fi o nouă fațadă a clădirii, așa cum se poate observa în figura 3, dar și atribute asociate fiecărui model digital în parte, așa cum se poate observa în figura 4.



Figurile 3, 4. Evidențierea scalabilității verticale a modelelor tridimensionale și asocierea de atribute direct în model

Suplimentar, prin constituirea unui model tridimensional cu straturi de informații din cât mai multe specializări, se reușește obținerea unei imagini de ansamblu complete asupra întregului obiectiv, perspectivă accesibilă centralizat pentru întreaga resursă umană implicată în derularea obiectivului de investiții. În figurile 5 și 6 se poate vedea o exemplificare a unui obiectiv de investiții modelat de personal de specialitate din cadrul CESTRIN S.A., privit în ansamblu.



Figurile 5, 6. Exemplu de perspective tridimensionale asupra unui obiectiv de investiții cu date centralizate din multiple surse și domenii distincte

5. CONCLUZII

Cercetarea de față a evidențiat faptul că integrarea metodologiei Horizontal BIM în procesele de administrare, proiectare, execuție și întreținere a infrastructurii rutiere naționale nu mai reprezintă doar o opțiune tehnologică de avangardă, ci o necesitate fundamentală și un element firesc care va domina evoluția următorilor ani. Într-un context general guvernat de o transformare digitală profundă, caracterizată ca fiind mai mult decât cvadridimensională prin fuziunea parametrilor spațiali cu referința temporală a seturilor de date, standardizarea bazelor de date într-un format internațional acceptat devine pilonul central al modernizării rețelei rutiere de importanță națională.

Prin studiul de caz implementat, CESTRIN S.A., prin intermediul Direcției Inginerie și Studii de Teren, a demonstrat aplicabilitatea practică și viabilitatea operațională a adaptării permanente a fluxurilor de lucru în conformitate cu noile exigențe europene și naționale. Pașii concreți făcuți de instituție încă dinainte de anul 2020 – axați pe dotare tehnică avansată, asigurarea capacităților software dedicate, optimizarea mediului de lucru și instruirea continuă a specialiștilor – au permis dezvoltarea unei capacități instituționale unice de a gestiona o singură bază de date unitară. Această bază de date este capabilă să înglobeze simultan atât atributele dimensionale geometrice, cât și caracterul temporal (4D) al seturilor de

date, indiferent de specificul sau de nișa de activitate a echipelor de specialişti implicate în proces.

Analiza detaliată a fluxului tehnologic utilizat pentru implementarea realităţii virtuale tridimensionale (3D VR) a relevat importanţa critică a interoperabilităţii şi a standardizării. Trecerea de la seturile de date tradiţionale de tip CAD la formate geospaţiale tridimensionale complexe, optimizate în medii de modelare precum Trimble SketchUp şi exportate în formate native structurate (ex. .trmb), reprezintă o metodologie validată cu succes în cadrul acestei cercetări. Integrarea ulterioară a acestor modele într-un mediu de lucru de tip cloud, cu acces concomitent multi-utilizator, răspunde uneia dintre cele mai vechi probleme ale sectorului național de construcții: fragmentarea informațională și lipsa de comunicare în timp real între specialiștii de la birou și echipele operative din teren.

Din perspectivă operativă, testarea pe șantier a platformei hardware și software – compusă dintr-un receptor GNSS de precizie centimetrică montat pe jalon, conectat prin Bluetooth® la un smartphone/tabletă și asistat de baterii externe pentru autonomie extinsă – confirmă fiabilitatea și utilitatea acesteia. Obținerea corecțiilor în mod RTK sau prin sisteme satelitare directe (Trimble RTX) asigură o aliniere medie centimetrică, care poate deveni și milimetrică (în anumite condiții meteorologice și metrologice), a modelelor virtuale peste cadrul natural existent, confirmând că tehnologia poate fi utilizată cu rigurozitate geodezică în proiecte rutiere și verificări structurale complexe.

Pe baza rezultatelor obținute, importanța și impactul utilizării realității virtuale tridimensionale în administrarea drumurilor pot fi sintetizate prin intermediul a trei direcții strategice majore, cu beneficii directe asupra eficienței economice:

- Studierea și implementarea elementelor proiectate în toate fazele obiectivului: tehnologia permite o înțelegere vizuală profundă și o validare dinamică a traseelor geometrice și a nodurilor rutiere înainte sau în timpul execuției. Acest lucru facilitează detectarea timpurie a erorilor spațiale (clash detection) între structurile rutiere (poduri, viaducte) și rețelele de utilități subterane sau aeriene, permițând rezolvarea rapidă a conflictelor într-un mediu colaborativ unificat.

- Simularea și poziționarea proporțională a obiectelor în raport cu mediul înconjurător: vizualizarea imersivă (exemplificată prin inserția elementelor adiacente suprafeței asfaltate și a vehiculelor la scară reală) oferă o capacitate net superioară de evaluare a contextului spațial. Aceasta sprijină deciziile legate de

siguranţa rutieră, cum ar fi validarea distanţelor de vizibilitate, amplasarea elementelor ITS sau organizarea fluxurilor de trafic temporar pe perioada şantierului.

- Identificarea facilă a elementelor inaccesibile direct, fără pagube materiale: utilizarea modelelor digitale în faza de exploatare şi întreţinere oferă echipelor de management al activelor (Asset Management) posibilitatea de a inspecta substructuri, reţele îngropate sau zone cu risc ridicat direct din birou sau prin proiecţie AR sigură pe şantier, reducând costurile logistice şi eliminând intervenţiile distructive de explorare.

În concluzie, implementarea ghidurilor naţionale şi a standardelor din seria SR EN ISO 19650, dublată de tehnologii imersive precum realitatea virtuală 3D, transformă digitalizarea dintr-o simplă obligaţie birocratică impusă de mecanismele de finanţare (cum este PNRR) într-un instrument indispensabil de eficienţă economică şi transparenţă. CESTRIN S.A. îşi consolidează astfel rolul de pionierat la nivel naţional, stabilind un model de bune practici în alinierea infrastructurii rutiere din România la standardele internaţionale promovate de Asociaţia Mondială a Drumurilor (PIARC), deschizând calea către un management predictiv şi sustenabil al reţelei de transport de importanţă naţională.

BIBLIOGRAFIE

[1]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*, ISO, Geneva, **2018**.

[2]. A. BORRMANN, M. KÖNIG, C. KOCH, J. BEETZ (EDITORI): *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*, Springer, Cham, **2018**.

[3]. B. SUCCAR: *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*, Automation in Construction, vol. **18**, nr. 3, p. **357–375**, **2009**.

[4]. P. HAGEDORN ET AL.: *BIM-Enabled Infrastructure Asset Management Using Information Containers and Semantic Web*, Journal of Computing in Civil Engineering, vol. **37**, nr. 1, **2023**. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001051

[5]. B. HARDIN, D. MCCOOL: *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*, ediția a 2-a, John Wiley & Sons, Indianapolis, **2015**.

[6]. D. BRYDE, M. BROQUETAS, J. M. VOLM: *The project benefits of Building Information Modelling (BIM)*, International Journal of Project Management, vol. **31**, nr. 7, p. **971–980**, **2013**.

[7]. R. SACKS, C. EASTMAN, G. LEE, P. TEICHOLZ: *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, ediția a 3-a, John Wiley & Sons, Hoboken, **2018**.

[8]. WORLD ROAD ASSOCIATION (PIARC), TECHNICAL COMMITTEE 3.3 ASSET MANAGEMENT: *BIM and Digitalization in Road Asset Management*, PIARC Technical Report 2023R48EN, Paris, **2024**. ISBN 978-2-84060-752-6.

[9]. J. NOVÁČEK, T. KOHOUT, P. VRTAL, Z. SVATÝ, K. KOCIÁN: *Application of RSA principles to improve the BIM in the road design process with focus on the road restraint systems*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. **XLVI-5/W1-2022**, p. **159–164**, **2022**. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-159-2022

[10]. Y. HUANG, J. GAO, L. WANG, J. ZHU, W. LI: *A Framework of Life-Cycle Infrastructure Digitalization for Highway Asset Management*, Sustainability, vol. **17**, nr. 3, art. **907**, **2025**. https://doi.org/10.3390/su17030907

[11]. A. CRISAN, C. VLĂDUȚ, C. ANDREI, E. DOGARIU, A. FENYO, C. ONOFREI: *Advancing BIM implementation in Romania: Legal context and industry readiness for public construction projects*, International Journal for Housing Science and Its Applications, vol. **46**, nr. 2, p. **85–93**, **2025**. https://doi.org/10.70517/ijhsa46208

[12]. PARLAMENTUL EUROPEAN ȘI CONSILIUL UNIUNII EUROPENE: *Directiva 2014/24/UE privind achizițiile publice și de abrogare a Directivei 2004/18/CE*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 94, p. **65–242**, 28.03.**2014**.

[13]. PARLAMENTUL ROMÂNIEI: *Legea nr. 98/2016 privind achizițiile publice*, Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 390 din 23 mai **2016**.

[14]. GUVERNUL ROMÂNIEI, MINISTERUL DEZVOLTĂRII, LUCRĂRILOR PUBLICE ȘI ADMINISTRAȚIEI: *Foaia de parcurs privind implementarea metodologiei BIM (Building Information Modelling) la nivel național*, memorandum aprobat de Guvernul României, București, **2022**.

[15]. ASOCIAȚIA DE STANDARDIZARE DIN ROMÂNIA (ASRO): *SR EN ISO 19650-1:2019. Organizarea și digitizarea informațiilor despre clădiri și lucrări de geniu civil, inclusiv modelarea informației clădirii (BIM). Managementul informațiilor prin utilizarea modelării informației clădirii. Partea 1: Concepte și principii*, ASRO, București, **2019**.

STUDIU DE CAZ: REDUCEREA AMPRENTEI DE CARBON ÎN CADRUL UNUI PROIECT DE HALĂ INDUSTRIALĂ – CUM SUSȚIN PRODUSELE ȘI SOLUȚIILE HOLCIM CRITERIILE DE SUSTENABILITATE

Țigănuș Alexandru, ing., Holcim România S.A., e-mail: alexandru.tiganus@holcim.com
Surducan Alina, ing., Holcim România S.A., e-mail: alina.surducan@holcim.com
Gheorghe Anca, ing., Holcim România S.A., e-mail: anca.gheorghe@holcim.com
Rațiu Mihai, arh., Holcim România S.A., e-mail: mihai.ratiu@holcim.com
Coman Bogdan-Eduard, ing., Holcim România S.A., e-mail: eduard.coman@holcim.com

Rezumat

Lucrarea de faţă prezintă un studiu de caz privind optimizarea infrastructurii şi suprastructurii unei hale cu suprafaţa de 14.500 mp din zona de vest a României. Având ca cerinţă principală realizarea proiectului cu materiale sustenabile şi certificate prin Declaraţii de Mediu pentru Produse (EPD), analiza evidenţiază în primul rând o reducere a emisiilor de CO_2 de până la 37% prin alegerea adecvată a tipurilor de ciment utilizate. Analizându-se distinct soluţiile de suprastructură (structură prefabricată din beton armat) şi cele de infrastructură (alcătuirea straturilor de sub pardoseală), studiul demonstrează totodată și capabilităţile platformei RoDOp.ro de a optimiza, cuantifica şi reduce amprenta de carbon a infrastructurii construcţiei.

Cuvinte cheie: emisii CO_2, hală prefabricată, beton armat, RoDOp, EPD, ciment.

Abstract

This paper presents a case study regarding the optimization of the infrastructure and superstructure of a 14,500 sqm industrial hall in the western region of Romania. With the main requirement of executing the project using sustainable materials certified by Environmental Product Declarations (EPD), the analysis primarily highlights a CO_2 emission reduction of up to 37% achieved through the appropriate selection of cement types. By separately analyzing the superstructure solutions (precast reinforced concrete structure) and the infrastructure ones (the composition of the sub-floor layers), the study also demonstrates the capabilities of the RoDOp.ro platform to optimize, quantify and reduce the carbon footprint of the construction's infrastructure.

Keywords: CO_2 emissions, precast hall, reinforced concrete, RoDOp, EPD, cement.

1. INTRODUCERE ŞI CONTEXTUL PROIECTULUI

1.1. Date generale ale studiului de caz

Cerinţele actuale de sustenabilitate în procedurile de achiziţie şi execuţie impun utilizarea materialelor cu o amprentă de carbon redusă, documentate transparent prin Declaraţii de Mediu (EPD – Environmental Product Declaration). Produsele Holcim (ciment, betoane gata preparate, lianţi hidraulici rutieri) susţin aceste criterii, integrând informaţii detaliate privind emisiile de CO_2 atât în faza de producţie, cât şi pe avizele de însoţire a mărfii, unde sunt cuprinse emisiile generate din transport (ex. kg CO_2 pe tonă transportată).

Proiectul analizat constă într-o hală industrială dezvoltată în zona de vest a ţării, având o suprafaţă totală de 14.500 mp (Figurile 1 și 2). Soluţia structurală aleasă a fost cea din beton armat prefabricat. Cerinţa fundamentală impusă de beneficiar a fost realizarea proiectului cu materiale sustenabile, certificate EPD, care să permită cuantificarea exactă şi analiza emisiilor de dioxid de carbon (CO_2).



Figura 1. Structura halei din beton armat prefabricat în faza de execuţie

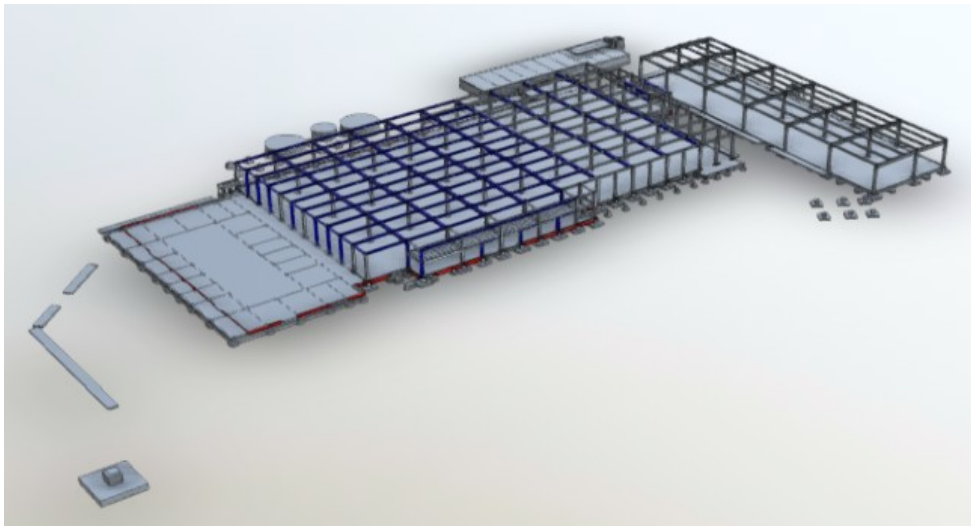


Figura 2. Modelul 3D (IFC) al halei – vedere generală a structurii

2. OPTIMIZAREA INFRASTRUCTURII HALEI

2.1. Soluţia iniţială de proiectare

Pardoseala halei şi infrastructura de straturi suport au necesitat o analiză detaliată a stratificaţiei. Datele geotehnice (Figura 3) au indicat un strat vegetal de 20 cm, urmat de un praf galben cafeniu, de plasticitate mijlocie. Structura iniţială proiectată cuprindea următoarea succesiune de straturi: în hală: pardoseală armată dispers de H=20 cm, armată cu fibre metalice (pe exterioare: dala din beton de ciment rutier BcR 4, H=20 cm), strat de balast stabilizat cu liant hidraulic rutier (H=30 cm), balast compactat fără stabilizare (H=20 cm), şi stratul de pământ, de după eliminarea stratului vegetal, stabilizat in-situ cu liant hidraulic (H=35 cm).

FORAJ F1

Interval (m)	Tip sol / descriere	Ip	Sr	Ic
0.00 – 0.20	Sol vegetal	–	–	–
0.20 – 3.20	Praf galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed, plastic vârtos	19	0.67	0.93
3.20 – 5.60	Praf argilos galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed, tare	19	0.52	1.00
5.60 – 7.40	Praf galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed	–	0.53	–
7.40 – 9.00	Praf argilos galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed, plastic vârtos	20	0.69	0.82
9.00 – 11.00	Praf galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed	–	0.61	–
11.00 – 13.20	Praf nisipos galben cafeniu, plasticitate mare, saturat, plastic consistent	18	0.92	0.53
13.20 – 14.80	Praf galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed, tare	18	0.48	1.00
14.80 – 15.00	Praf galben cafeniu, plasticitate mijlocie, umed	–	0.50	–

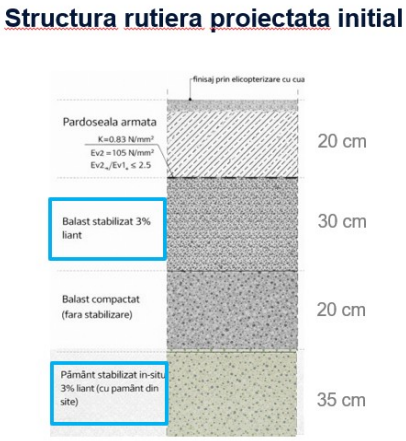


Figura 3. Stratificaţia structurală (detaliu pardoseală) şi fişa forajului F1

2.2. Analiza şi optimizarea prin platforma RoDOp

Evaluarea soluţiei iniţiale în platforma RoDOp (definită pentru o platformă rutieră asimilată cu trafic de calcul de 1,5 m.o.s. şi pământ P4 coeziv) a evidenţiat o structură rigidă compusă din BcR 4 (20 cm), balast stabilizat (30 cm), strat de fundaţie din balast (20 cm) şi strat de formă stabilizat cu Dorosol (35 cm).

Soluţia optimizată propusă, utilizând capacităţile portante superioare ale lianţilor specializaţi, a permis reducerea grosimilor astfel: stratul de balast stabilizat cu Doroport a fost redus de la 30 cm la 25 cm, stratul de fundaţie din balast de la 20 cm la 15 cm, iar stratul de formă stabilizat de la 35 cm la 30 cm. Stratul de uzură a rămas constant la 20 cm (Figura 4).

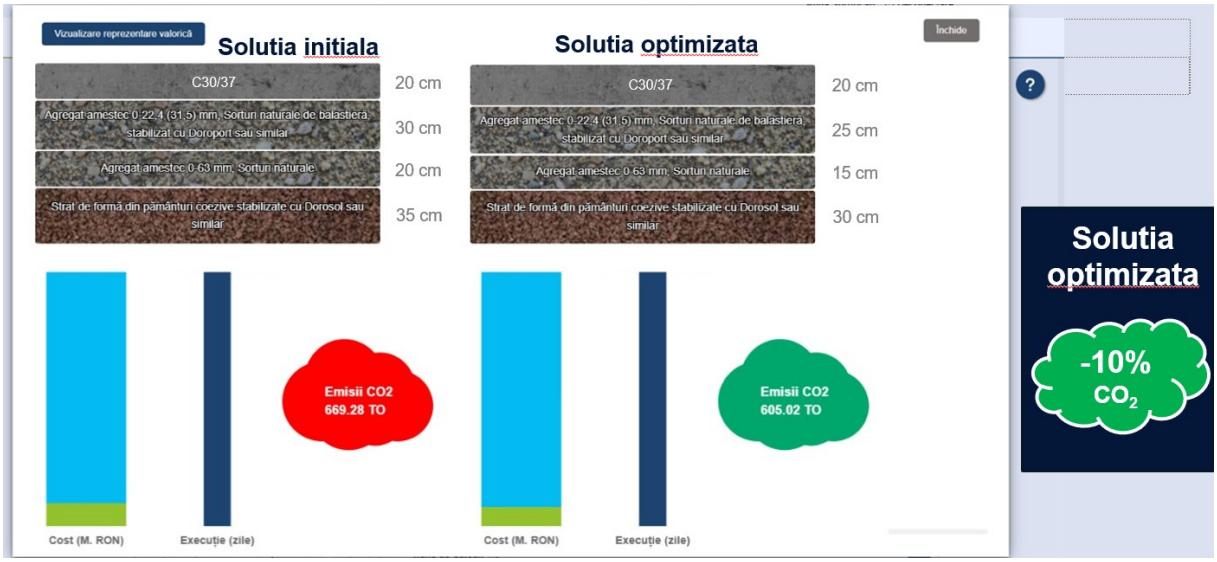


Figura 4. Evaluarea comparativă în platforma RoDOp: Soluţia iniţială vs. Soluţia optimizată

Efectul acestei reduceri de materiale s-a tradus direct în scăderea emisiilor de CO_2 cu aproximativ 10%, de la 669,28 tone la 605,02 tone, generând simultan şi o economie de costuri.

3. OPTIMIZAREA SUPRASTRUCTURII PREFABRICATE

3.1. Defalcarea elementelor structurale

Volumul total de beton aferent suprastructurii prefabricate a fost de 1.490 metri cubi. Acesta a fost defalcat procentual astfel: pahare de fundaţii (155 mc - 11%), stâlpi prefabricaţi (445 mc - 31%), grinzi (283 mc - 20%), pane (445 mc - 31%), predale (26 mc - 2%) şi alte elemente de închidere/rampe (136 mc - 10%). Clasele de beton utilizate au variat între C30/37 (pentru fundaţii) şi C50/60 (Figura 5).

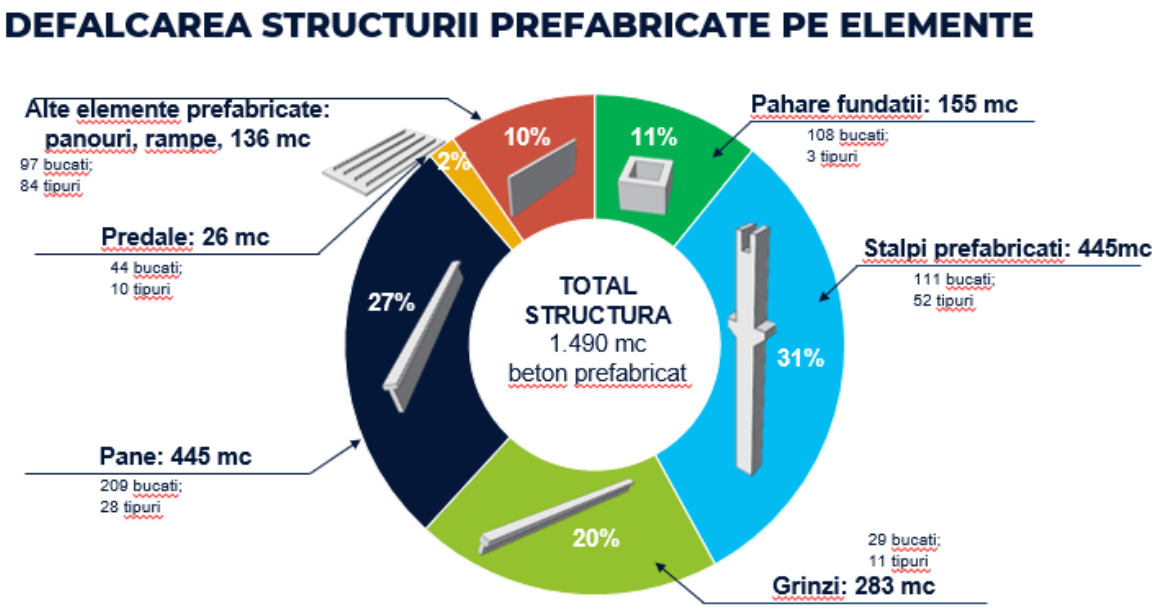


Figura 5. Ponderea volumului de beton defalcat pe elemente structurale prefabricate

3.2. Scenarii de calcul al emisiilor de CO_2

Pentru producerea celor 1.490 mc de elemente prefabricate realizate de compania Somaco (companie Holcim), au fost evaluate trei scenarii distincte privind tipul cimentului utilizat, analizând indicatorul GWP (Global Warming Potential) conform EPD-urilor materialelor şi emisiile generate din transport:

- Soluţia I: utilizarea cimentului ExtraDur 52 (CEM II/A-S 52,5 R).
- Soluţia II: utilizarea cimentului Experto 52 (CEM I 52,5 R).
- Soluţia III: utilizarea unui ciment de tip CEM I 52,5 R de la un alt producător din România.

Emisiile totale de CO_2 luate în calcul (inclusiv transportul de la fabrică, situată la 210 km, respectiv 450 km distanţă) au scos în evidenţă performanţa soluţiei cu ciment CEM II/A-S (ExtraDur 52), cu conţinut de zgură (Figura 6).

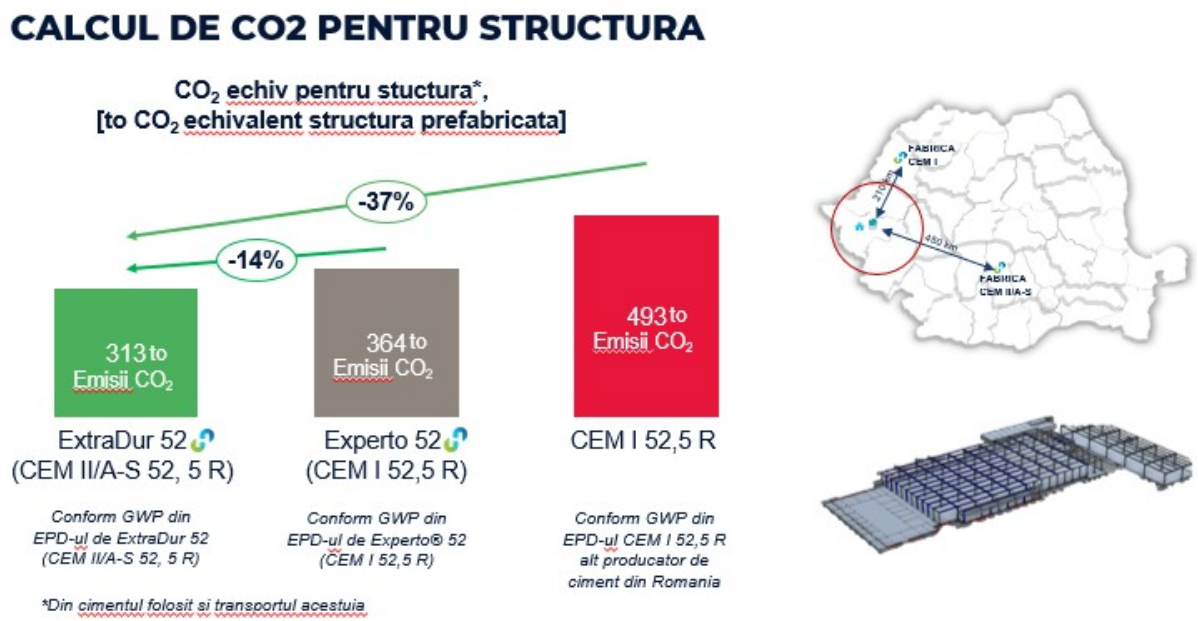


Figura 6. Scenariile de utilizare a tipurilor diferite de ciment şi influenţa transportului

4. CONCLUZII

Studiul de caz demonstrează importanţa abordării integrate a proiectării, corelând cerinţele de rezistenţă mecanică cu impactul asupra mediului. În privinţa infrastructurii rutiere / pardoselii, utilizarea platformei RoDOp a facilitat o reducere a cantităţilor de agregate prin stabilizare cu lianţi (Doroport, Dorosol), obţinându-se o diminuare cu 10% a emisiilor de CO_2 faţă de soluţia de referinţă.

În cazul suprastructurii de 1.490 mc de beton prefabricat, selecţia inteligentă a tipului de ciment a fost decisivă. Prin utilizarea cimentului compozit ExtraDur 52 (CEM II/A-S 52,5 R) în defavoarea unui ciment Portland pur (CEM I), emisiile totale echivalente de CO_2 pentru structură (din material şi transport) au fost reduse semnificativ, cu procente cuprinse între 14% şi 37% în funcţie de distanţele de aprovizionare şi scenariul martor ales. Validarea acestor indicatori prin EPD conferă garanţia atingerii obiectivelor de dezvoltare durabilă impuse în achiziţiile publice.

BIBLIOGRAFIE

[1]. HOLCIM ROMÂNIA: *Studiu de caz – Hala prefabricată din beton (Emisii CO2)* (Slide-uri de prezentare), **2026**.

INFLUENȚA RAZEI DE RACORDARE A GUSEULUI ASUPRA STĂRII DE EFORTURI DIN NODURILE GRINZILOR PRINCIPALE CU ZĂBRELE ALE PODURILOR DE CALE FERATĂ

Toma Titi, ing., SC TO-TI CONSTRUCT DESIGN SRL, e-mail: toticonstructdesign@gmail.com;
Colasanti Marcello, ing., Colasanti Limited, e-mail: info@colasanti-ltd.com.

Rezumat

Lucrarea analizează influența stării de eforturi în guseul care face legătura între diagonale și tălpile unei grinzi cu zăbrele, cu deschiderea de 75 m, aparținând podului de cale ferată peste Crișul Repede de la km 651+617, pe linia Cluj-Napoca – Oradea – Episcopia Bihor. Nodurile de la mijlocul deschiderii, la talpa inferioară și la talpa superioară, au fost modelate cu elemente finite de tip placă, integrate în modelul global cu elemente de tip bară, pentru două raze de racordare: 150 mm și 350 mm. Creșterea razei reduce tensiunea echivalentă maximă la starea limită de serviciu cu aproximativ 15% și ecartul de tensiune la oboseală cu aproximativ 19%. Lucrarea discută originea pragului de 150 mm din SR EN 1993-1-9, stabilit pentru guseele sudate, și arată că, pentru guseele decupate din aceeași tablă cu inima tălpii, normativul nu impune o rază minimă, ci cere cuantificarea efectului geometriei, fie prin polizarea colțurilor intrânde, fie printr-un factor de concentrare a tensiunilor, care poate fi obținut prin analiză cu elemente finite. Sunt formulate recomandări pentru proiectarea și verificarea acestor noduri.

Cuvinte cheie: pod de cale ferată, grindă cu zăbrele, guseu, rază de racordare, oboseală, concentrarea tensiunilor, elemente finite

Abstract

The paper analyses the influence of the stress state in the gusset connecting the diagonals to the chords of a 75 m span steel truss, part of the railway bridge over the Crișul Repede river at km 651+617 on the Cluj-Napoca – Oradea – Episcopia Bihor line. The mid-span joints of the bottom and top chords were modelled with shell elements embedded in the global beam model, for two transition radii: 150 mm and 350 mm. Increasing the radius reduces the peak equivalent stress at the serviceability limit state by about 15% and the fatigue stress range by about 19%. The paper discusses the origin of the 150 mm threshold in EN 1993-1-9, which refers to welded gussets, and shows that for gussets cut from the same plate as the chord web the code does not prescribe a minimum radius, but requires the geometric effect to be accounted for, either by grinding the re-entrant corners or through a stress concentration factor,

which may be obtained by finite element analysis. Recommendations for the design and checking of such joints are given.

Keywords: railway bridge, truss girder, gusset, transition radius, fatigue, stress concentration, finite elements

1. INTRODUCERE

Nodurile grinzilor principale cu zăbrele sunt zonele în care eforturile din diagonale se transmit tălpilor prin intermediul guseelor. Schimbarea bruscă de geometrie de la marginea guseului la talpă produce o concentrare locală a tensiunilor, a cărei mărime depinde în principal de raza de racordare. La podurile de cale ferată, unde numărul ciclurilor de încărcare pe durata de viață este mare, această concentrare devine relevantă în primul rând pentru verificarea la oboseală.

În practica de proiectare se întâlnește frecvent valoarea minimă de 150 mm pentru raza de racordare, preluată din catalogul de detalii al SR EN 1993-1-9 [1]. Lucrarea de față pornește de la întrebarea dacă acest prag se aplică unui guseu care nu este sudat de talpă, ci este decupat din aceeași tablă cu inima tălpii, și care este efectul real al razei asupra stării de tensiuni. Studiul de caz este grinda cu zăbrele cu deschiderea de 75 m a podului peste Crișul Repede, pentru care nodurile critice au fost analizate cu elemente finite de tip placă, pentru razele de 150 mm și 350 mm [7].

2. CADRUL NORMATIV

2.1. Verificarea la starea limită de serviciu

Conform SR EN 1993-2 [2], la combinația caracteristică de încărcări tensiunile nominale din elementele de oțel se limitează astfel încât să se evite deformațiile plastice în exploatare:

$$\sigma_{Ed,ser} \le \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \tag{1}$$

$$\tau_{Ed,ser} \le \frac{f_y}{\sqrt{3}\cdot\gamma_{M,ser}} \tag{2}$$

$$\sqrt{\sigma_{Ed,ser}{}^2 + 3\tau_{Ed,ser}{}^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \tag{3}$$

unde f_y = 355 N/mm^2 pentru oțelul S355 cu grosimea până la 40 mm, iar $\gamma_{M,ser}$ = 1,0. Rezultă limitele de 355 N/mm^2 pentru tensiunile normale și echivalente și de 205 N/mm^2 pentru tensiunile tangențiale.

2.2. Verificarea la oboseală și categoriile de detaliu

Verificarea la oboseală s-a făcut prin metoda ecartului de tensiune echivalent. Ecartul de tensiune se determină sub convoiul LM71 amplificat dinamic, fără coeficientul de clasificare α, care se elimină din rezultatele modelului:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\alpha} \tag{4}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = \gamma_{Ff} \cdot \lambda \cdot \Delta\sigma \le \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} \tag{5}$$

cu γ_{Ff} = 1,0, γ_{Mf} = 1,35, coeficientul de echivalență a degradării λ = 0,648 și α = 1,1. Rezistența la oboseală $\Delta\sigma_C$ depinde de categoria detaliului, stabilită pe baza catalogului din SR EN 1993-1-9 [1].

Pentru materialul de bază fără suduri, tabelul 8.1 din [1] distinge mai multe categorii, în funcție de starea muchiei. Categoria 160, cea mai ridicată, se aplică produselor laminate cu muchii brute de laminare. Muchiile tăiate se încadrează în categorii inferioare: 140 pentru tablele tăiate mecanizat cu gaz sau forfecate, cu prelucrare ulterioară, și 125 pentru muchiile tăiate cu gaz cu striații superficiale și regulate, prelucrate pentru eliminarea discontinuităților. Pentru aceste detalii, normativul cere ca *colțurile intrânde* să fie polizate la o pantă limitată sau evaluate cu un factor de concentrare a tensiunilor adecvat.

Factorul de concentrare a tensiunilor k_f acoperă amplificarea locală a tensiunilor datorată geometriei detaliului, care nu este inclusă în curba de rezistență a categoriei. Normativul admite ca valorile lui k_f să fie obținute din manuale de specialitate sau prin analiză cu elemente finite:

$$k_f = \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{nom}} \tag{6}$$

unde σ_{loc} este tensiunea locală la colțul intrând, iar σ_{nom} este tensiunea nominală din talpă în aceeași secțiune.

2.3. Originea pragului de 150 mm

Valoarea de 150 mm apare în tabelul 8.4 din [1], dedicat atașamentelor sudate, la detaliul guseului sudat longitudinal de o tablă, cu racordare cu rază și cu capătul sudurii realizat cu pătrundere completă. Raza este prelucrată înainte de sudare, iar zona sudurii este polizată paralel cu direcția eforturilor. Categoria superioară a acestui detaliu se obține numai dacă raza depășește 150 mm și capătul sudurii este polizat. Pragul are deci rolul de a proteja piciorul cordonului de sudură de la capătul guseului, unde concentrarea geometrică se suprapune cu efectul sudurii [1], [6].

Pentru un guseu decupat din aceeași tablă cu inima tălpii, fără sudură în zona racordării, detaliul nu se încadrează în tabelul 8.4, ci în tabelul 8.1. În acest caz, normativul nu impune o rază minimă, ci cere ca efectul geometriei să fie cuantificat. Raza de 150 mm rămâne o valoare de bună practică, preluată prin analogie, dar suficiența ei trebuie demonstrată prin calcul. Analiza cu elemente finite a nodului este instrumentul prin care se obține această demonstrație.

Trebuie menționat că a doua generație de Eurocoduri include o ediție nouă a standardului de oboseală, EN 1993-1-9:2025 [4], care va înlocui ediția din 2005 și al cărei catalog de detalii a fost reorganizat pe baza cercetărilor recente. Pentru proiectele noi, încadrarea detaliilor trebuie verificată și față de această ediție.

3. STUDIU DE CAZ: PODUL PESTE CRIȘUL REPEDE

3.1. Descrierea structurii

Podul se află la km 651+617 al liniei de cale ferată Cluj-Napoca – Oradea – Episcopia Bihor, lotul 4 Aleșd – Frontieră Ungaria, și face parte din lucrările de electrificare și reabilitare a liniei. Lucrarea este alcătuită din trei poduri independente, cu deschiderile de 31,0 m, 75,0 m și 24,5 m (figura 1).

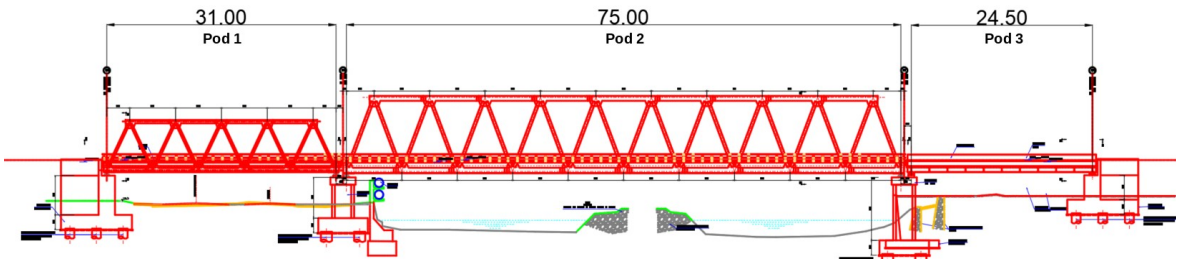


Figura 1. Vedere în elevație a lucrării [7]

Podurile 1 și 2 au grinzi principale cu zăbrele, cu tălpi superioare și inferioare, diagonale, antretoaze inferioare și lonjeroni sub calea ferată. Calea este pe balast, susținută de o placă de beton armat conectată de antretoazele inferioare prin dornuri. Podul 2, cu deschiderea de 75 m, are și contravântuire la nivelul tălpilor superioare. Elementele metalice sunt din oțel S355. Studiul de față se referă la podul 2.

Guseele nodurilor sunt realizate ca prelungiri ale inimilor tălpilor, decupate din aceeași tablă. Îmbinarea sudată cap la cap a inimii este dispusă în afara zonei racordării, astfel încât concentrarea geometrică de la colțul intrând nu se suprapune cu efectul sudurii. Această alegere constructivă este cea care face ca detaliul de la racordare să fie tratat ca material de bază, conform celor arătate în paragraful 2.3.

3.2. Modelul de calcul

Analiza s-a efectuat cu programul MIDAS Civil, pe un model tridimensional al tablierului în care barele grinzii cu zăbrele sunt modelate cu elemente de tip bară. Nodurile cele mai solicitate, de la mijlocul deschiderii, au fost înlocuite cu submodele din elemente finite de tip placă: nodul de la talpa inferioară, unde se intersectează două diagonale, și nodul corespunzător de la talpa superioară (figura 2). Porțiunile de talpă și de diagonale modelate cu elemente placă sunt legate de restul structurii printr-o rețea de legături rigide.

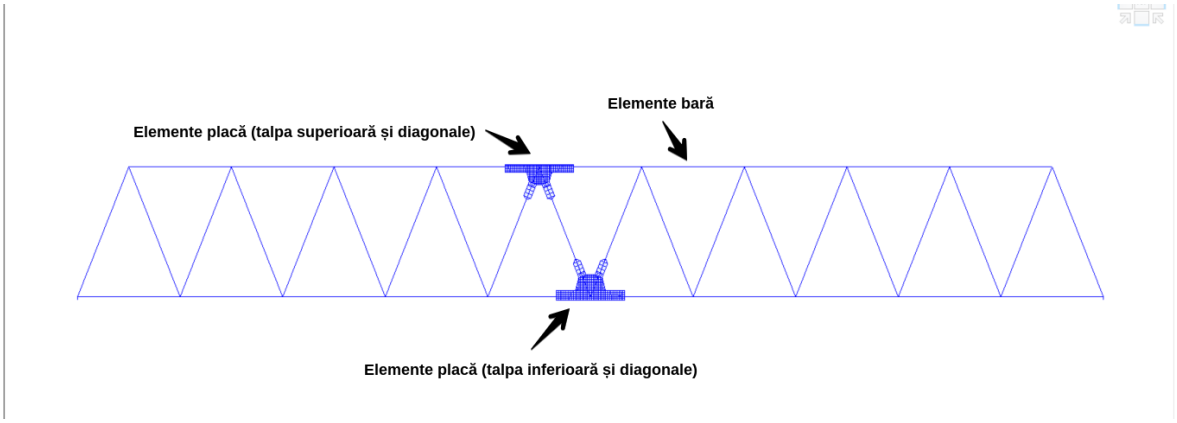


Figura 2. Modelul global cu nodurile critice modelate cu elemente de tip placă [7]

Încărcările permanente cuprind greutatea proprie a structurii metalice, placa de beton și balastul cu grosimea de 80 cm și greutatea volumică de 18 kN/m^3. Încărcarea din trafic este reprezentată de convoaiele LM71, cu α = 1,1, și SW/2, conform SR EN 1991-2 [3]. Pentru fiecare nod s-au analizat două variante de racordare a guseului la talpă, cu razele R = 150 mm și R = 350 mm, restul geometriei rămânând neschimbat (figura 3).

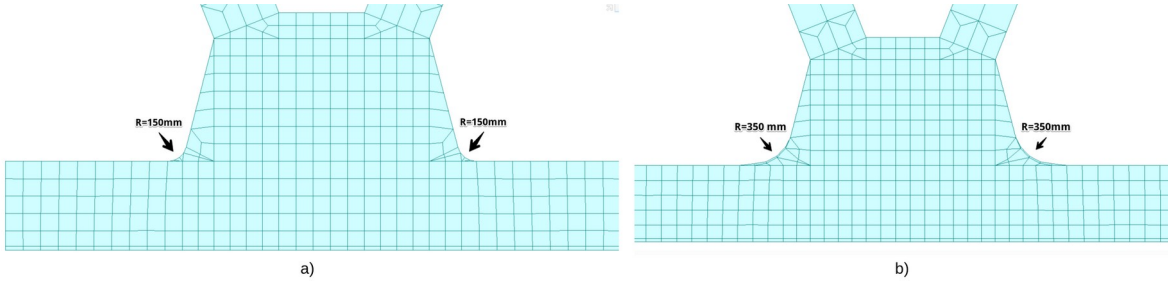


Figura 3. Discretizarea racordării la talpa inferioară: a) R = 150 mm; b) R = 350 mm [7]

4. REZULTATE

4.1. Starea de tensiuni la starea limită de serviciu

Tabelul 1 prezintă valorile maxime ale tensiunilor la combinația caracteristică, pentru ambele noduri și ambele raze. Toate valorile se încadrează în limitele din relațiile (1)–(3).

Tabelul 1. Tensiuni maxime la combinația caracteristică, în N/mm²

Componenta	Talpa inf. R150	Talpa inf. R350	Talpa sup. R150	Talpa sup. R350	Limita
Tensiune normală orizontală σ_x	269	237	166	144	355
Tensiune normală verticală σ_y	81	150	56	49	355
Tensiune tangențială τ	95	45	60	44	205
Tensiune echivalentă von Mises	280	236	181	154	355

La nodul de la talpa inferioară, creșterea razei de la 150 mm la 350 mm reduce tensiunea normală orizontală cu 12%, tensiunea tangențială cu 53% și

tensiunea echivalentă cu 16%. La talpa superioară reducerile sunt de 13%, 27% şi, respectiv, 15%.

Comportarea nu este însă uniformă pentru toate componentele. La talpa inferioară, tensiunea normală verticală maximă creşte de la 81 N/mm^2 la 150 N/mm^2. Valoarea apare punctual, în afara zonei racordării, şi nu modifică concluziile privind raza, dar arată că schimbarea geometriei redistribuie fluxul de eforturi în nod şi nu doar diminuează vârful de tensiune.

Distribuția tensiunii echivalente este prezentată în figura 4. Pentru R = 150 mm valorile maxime se concentrează la colțurile intrânde ale guseului. Pentru R = 350 mm concentrarea de la racordare se atenuează, iar valorile maxime se deplasează spre extremitățile zonei modelate cu elemente placă, la interfața cu elementele bară, unde rezultatele sunt influențate de modul de cuplare prin legături rigide.

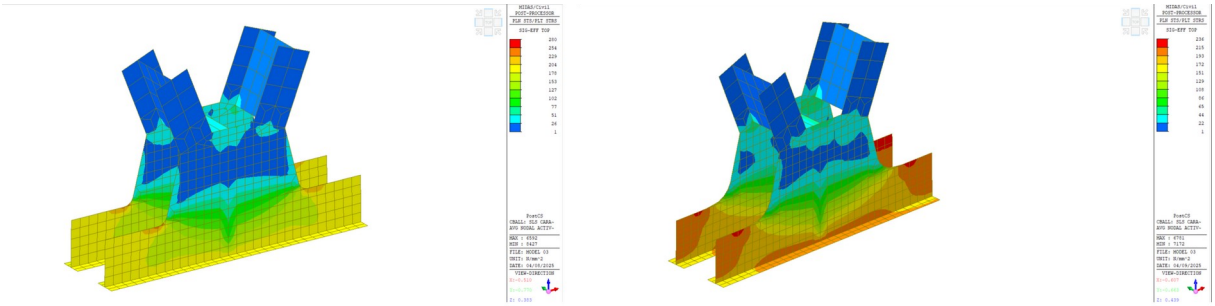
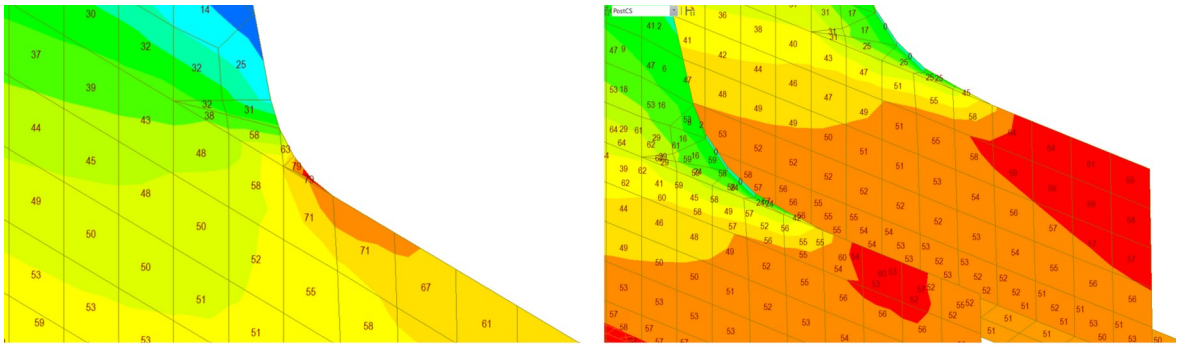


Figura 4. Tensiunea echivalentă von Mises la combinația caracteristică, nodul de la talpa inferioară: a) R = 150 mm; b) R = 350 mm [7]

4.2. Verificarea la oboseală

Ecartul de tensiune maxim la colţul intrând, sub convoiul LM71 amplificat dinamic, este de 79 N/mm^2 pentru R = 150 mm şi de 64 N/mm^2 pentru R = 350 mm la talpa inferioară (figura 5), respectiv de 57 N/mm^2 şi 47 N/mm^2 la talpa superioară. Tabelul 2 prezintă rezultatele verificării conform relațiilor (4) și (5).



a) b)

Figura 5. Ecartul de tensiune normală la racordarea guseului cu talpa inferioară, în N/mm²: a) R = 150 mm; b) R = 350 mm [7]

Tabelul 2. Verificarea la oboseală în zona racordării

Nod / rază	$\Delta\sigma$ [N/mm²]	$\Delta\sigma_{E2}$ [N/mm²]	Cat. 160	Cat. 140	Cat. 125
Talpa inferioară, R150	71,8	46,5	0,39	0,45	0,50
Talpa inferioară, R350	58,2	37,7	0,32	0,36	0,41
Talpa superioară, R150	51,8	33,6	0,28	0,32	0,36
Talpa superioară, R350	42,7	27,7	0,23	0,27	0,30

Coloanele corespunzătoare categoriilor reprezintă gradul de utilizare $\gamma_{Ff}\cdot\Delta\sigma_{E2}$ / ($\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}$). Analiza inițială a folosit categoria 160 [7]. Întrucât muchia racordării este o muchie tăiată, încadrarea corectă este în categoria 140 sau 125, în funcție de procedeul de tăiere și de prelucrarea ulterioară. Chiar și pentru categoria 125, gradul de utilizare maxim este de 0,50 pentru R = 150 mm și de 0,41 pentru R = 350 mm. Creșterea razei reduce ecartul de tensiune echivalent cu aproximativ 19% la talpa inferioară și cu 18% la talpa superioară.

Verificarea este consecventă cu cerința din paragraful 2.2: tensiunea folosită este tensiunea locală obținută cu elemente placă la colțul intrând, care include efectul concentrării, iar categoria este cea a materialului de bază cu muchie tăiată. Rezistența nu este redusă de două ori, ca în cazul în care s-ar combina tensiunea locală cu o categorie de detaliu sudat, care conține deja efectul geometriei.

4.3. Factorul de concentrare a tensiunilor

Din hărțile de tensiuni se poate estima ordinul de mărime al factorului k_f din relația (6). Pentru R = 150 mm, la vârful de 79 N/mm^2 de la racordare, ecartul de

tensiune din talpă în vecinătate este de aproximativ 55–60 N/mm^2, ceea ce corespunde unui factor $k_f \approx 1{,}3–1{,}4$. Pentru R = 350 mm, vârful de 64 N/mm^2 se află la capătul racordării, la marginea superioară a inimii tălpii, iar factorul estimat scade la $k_f \approx 1{,}1–1{,}2$. Cu raza mare, detaliul de la racordare încetează practic să fie zona determinantă a nodului.

Valorile sunt estimative, citite din hărțile de tensiuni ale modelului, şi sunt sensibile la discretizare, aspect discutat în capitolul următor.

5. DISCUȚII ȘI LIMITE ALE STUDIULUI

Discretizarea. Pe lungimea racordării modelul are doar două–trei elemente, cu dimensiuni comparabile cu raza. Vârful de tensiune la colțul intrând depinde de mărimea elementelor, iar pentru o valoare stabilă a factorului k_f este necesar un studiu de convergenţă, cu îndesirea reţelei în zona racordării. Diferența dintre cele două raze este, prin urmare, afectată de discretizare, iar beneficiul razei mari poate fi subestimat sau supraestimat.

Interfața dintre elementele placă și elementele bară. Pentru R = 350 mm, valorile maxime ale tensiunii echivalente apar la marginile submodelului, unde legăturile rigide introduc perturbații locale. Zona modelată cu elemente placă trebuie să fie suficient de extinsă pentru ca aceste perturbații să nu ajungă în zona de interes.

Validarea experimentală. Studiul este exclusiv numeric. Măsurarea tensiunilor în amplasament, cu traductoare tensometrice dispuse la racordare şi în talpă, sub trenuri reale, ar permite calibrarea factorului k_f şi compararea ecartului de tensiune real cu cel obținut sub convoiul LM71.

Metode alternative. Pentru detaliile la care încadrarea în catalog este incertă, SR EN 1993-1-9 permite şi metoda tensiunii geometrice (hot spot), iar recomandările IIW [5] oferă metoda tensiunii efective la crestătură. Acestea pot fi utilizate pentru confirmarea rezultatelor obținute prin metoda tensiunii nominale modificate.

6. CONCLUZII

Pragul de 150 mm pentru raza de racordare provine din catalogul detaliilor sudate din SR EN 1993-1-9 şi protejează capătul sudurii guseului. Pentru guseele decupate din aceeași tablă cu inima tălpii, cu îmbinarea sudată dispusă în afara zonei racordării, normativul nu impune o rază minimă, ci cere evaluarea efectului

geometriei, prin polizarea colțului intrând sau printr-un factor de concentrare a tensiunilor.

Analiza cu elemente finite a nodului este instrumentul adecvat pentru această evaluare. Tensiunea locală obținută la colțul intrând se compară cu categoria materialului de bază cu muchie tăiată, 140 sau 125, și nu cu categoria 160, rezervată muchiilor brute de laminare.

Pentru grinda cu zăbrele de 75 m analizată, ambele raze satisfac verificările la starea limită de serviciu și la oboseală. Raza de 350 mm reduce tensiunea echivalentă maximă cu aproximativ 15% și ecartul de tensiune la oboseală cu aproximativ 19%, iar factorul de concentrare estimat scade de la 1,3–1,4 la 1,1–1,2. Creșterea razei nu reduce uniform toate componentele tensiunii, ci redistribuie eforturile în nod.

Pentru proiectarea nodurilor cu guseu decupat din aceeași tablă cu talpa se recomandă:

- dispunerea îmbinărilor sudate în afara zonei racordării;
- precizarea în caietul de sarcini a procedeului de tăiere și a prelucrării muchiei, deoarece acestea determină categoria de detaliu;
- însoțirea analizei locale cu elemente finite de un studiu de convergență a rețelei;
- confirmarea rezultatelor numerice prin măsurători în amplasament, acolo unde este posibil.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *SR EN 1993-1-9: Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-9: Oboseală*, ASRO, București, **2006**.

[2]. *SR EN 1993-2: Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 2: Poduri de oțel*, ASRO, București, **2007**.

[3]. *SR EN 1991-2: Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri*, ASRO, București, **2004**.

[4]. *EN 1993-1-9: Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-9: Fatigue*, CEN, Bruxelles, **2025**.

[5]. A. HOBBACHER: *"Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components"*, IIW document IIW-2259-15, Springer International Publishing, **2016**.

[6]. H. PÉTURSSON: *"Fatigue analysis of existing railway bridges: strengthening through geometry improvement"*, IABSE Symposium: Challenges for Existing and Oncoming Structures, Praga, pp. **515–523**, **2022**.

[7]. *"Electrificarea și reabilitarea liniei de cale ferată Cluj-Napoca – Oradea – Episcopia Bihor, Lot 4 Aleșd – Frontieră Ungaria. Breviar de calcul – Pod peste Crișul Repede km pr. 651+617 (P035)"*, CEB4-CL-CAL-PTE-07-PO07-GEN-001-WB01, iulie **2023**, și analizele locale ale nodurilor grinzii de 75 m cu R = 150 mm și R = 350 mm, **2025**.

EVALUAREA CONTINUITĂȚII FUNCȚIONALE A INVESTIȚIILOR FEROVIARE DIN PNRR ÎN ROMÂNIA

Ungureanu Valentin-Vasile, conf.univ.dr.ing., Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Construcții, Departamentul de Inginerie Civilă, e-mail: vvungureanu@unitbv.ro
Peiu Petrișor, șef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, Facultatea de Transporturi, Departamentul Telecomenzi și Electronică în Transporturi, e-mail: petrisorgabriel.peiu@gmail.com

Rezumat

Lucrarea propune un cadru de evaluare documentară a continuității funcționale a investițiilor feroviare din Planul Național de Redresare și Reziliență al României. Sunt diferențiați indicatorii programului, lungimea nominală a traseului, lungimea desfășurată a căii și condițiile necesare unui serviciu feroviar definit. Baza documentară cuprinde anexa europeană din iulie 2026 și limitele kilometrice publicate pentru cele patru loturi Cluj-Napoca–Episcopia Bihor–Frontieră. Modelul combină condiții locale și de interfață și tratează separat informația necunoscută. Pentru lungimea nominală analitică de 166,425 km, scenariile ipotetice arată că pregătirea locală a întregului traseu poate coexista cu o lungime continuă maximă de numai 99,484 km atunci când interfața centrală nu este îndeplinită. Contribuția constă în protocolul de trasabilitate și în corelarea explicită dintre cantitățile raportate și continuitatea serviciului. Rezultatele demonstrează comportarea metodei și nu reprezintă o constatare asupra stadiului efectiv al lucrărilor.

Cuvinte cheie: PNRR; infrastructură feroviară; continuitate funcțională; interoperabilitate; interfețe.

Abstract

The paper proposes a framework for the document-based assessment of the functional continuity of railway investments under Romania’s National Recovery and Resilience Plan. It distinguishes between programme indicators, nominal route length, total track length and the conditions required for a defined railway service. The documentary basis comprises the European annex of July 2026 and the published kilometre limits for the four lots along the Cluj-Napoca–Episcopia Bihor–Border route. The model combines local and interface conditions and treats unknown information separately. For the analytical nominal length of 166.425 km, the hypothetical scenarios show that local readiness along the entire route can coexist with a maximum continuous length of only 99.484 km when the central interface condition is not met. The contribution lies in the traceability protocol and the explicit linkage between reported quantities and service continuity. The results demonstrate the behaviour of the method and do not constitute a finding on the actual status of the works.

Keywords: NRRP; railway infrastructure; functional continuity; interoperability; interfaces.

1. INTRODUCERE

Investițiile feroviare produc un serviciu utilizabil atunci când lucrările și subsistemele sunt integrate într-o configurație de exploatare coerentă. Un kilometru de cale executată, un certificat de plată și o rută compatibilă cu un anumit tren descriu obiecte diferite. Pentru proiectele asociate PNRR, această distincție permite formularea unor indicatori tehnici complementari celor de urmărire a programului.

Integrarea sistemelor și interdependențele dintre subsisteme sunt teme consacrate. Studiul proiectului Crossrail evidențiază maturizarea neuniformă a sistemelor și necesitatea coordonării reciproce a activităților [1]. Analiza europeană a blocajelor feroviare arată că infrastructura și condițiile de interoperabilitate trebuie examinate în relație cu serviciile de transport urmărite [2]. Prin urmare, simpla însumare a unor cantități executate nu descrie toate condițiile unei legături feroviare continue.

Obiectivul lucrării este *definirea unui protocol reproductibil care leagă indicatorii documentari ai PNRR de pregătirea locală a sectoarelor și de validarea interfețelor.*

Sunt calculate trei mărimi distincte:

1. lungimea pregătită local;
2. cea mai mare lungime continuă;
3. îndeplinirea condițiilor pentru relația integrală origine–destinație.

Demonstrația folosește geometrie documentară reală și stări funcționale ipotetice, delimitate explicit.

2. BAZA DOCUMENTARĂ ȘI UNITĂȚILE DE ANALIZĂ

Documentarea a fost închisă la 21 octombrie 2026. Referința pentru indicatorii programului este anexa ST 11890/26 ADD 1, din 17 iulie 2026, componenta C4, paginile 37 și 44 [3]. Tabelul 1 sintetizează cerințe ale documentului; îndeplinirea lor efectivă necesită probe distincte. Valorile monetare nu sunt convertite în kilometri sau în procente de disponibilitate.

Tabelul 1. Indicatori selectați din anexa PNRR din iulie 2026 [3]

Cod	Obiect	Indicator și termen	Dovada cerută
75b	Cluj–Episcopia Bihor, loturile 1–2	561.870.000 EUR; T2 2026	Certificate de plată
75a	Arad–Timișoara–Caransebeș, lotul 2; Cluj–Episcopia Bihor, loturile 3–4	718.012.153 EUR; T2 2026	Certificate de plată
76	Proiecte Quick Wins	1.527,85 km de cale desfășurată; T2 2026	Certificate de recepție la terminarea lucrărilor

Jalonul 76 include şi cerinţa de creştere a vitezei cu 15%, cu atingerea unei viteze medii de minimum 100 km/h [3]. Verificarea acesteia cere precizarea populației de sectoare, a ponderării şi a bazei de comparație. Ea nu poate fi înlocuită printr-o medie simplă a vitezelor maxime proiectate.

2.1. Separarea lungimilor şi trasabilitatea probelor

Terminologia statistică feroviară separă linia de cale ferată de firele de circulație [4]. În această lucrare, kilometrul de traseu măsoară o dată legătura longitudinală, iar kilometrul de cale desfăşurată însumează lungimile firelor incluse în obiectul raportării. O secţiune de 10 km cu două fire contribuie cu 10 km de traseu şi 20 km de cale, dacă ambele fire sunt incluse. Liniile din staţii se tratează potrivit definiţiei indicatorului.

Conversia dintre aceste unităţi necesită inventarul firelor şi limitele lucrărilor. Aceeaşi regulă se aplică electrificării şi echipării cu sisteme de comandă-control şi semnalizare: obiectul poate fi un fir, o secţiune sau o instalaţie. Totalurile exprimate în unităţi diferite se păstrează separat.

Pentru fiecare informație se reţin identificatorul sursei, data publicării, data situației descrise, limitele kilometrice, unitatea, sensul indicatorului şi configurația tehnică. Statutul probei se codifică drept țintă, realizare raportată, recepție, autorizare sau rezultat de test. Un document de proiectare stabileşte o cerinţă; acesta nu demonstrează finalizarea instalației.

2.2. Geometria nominală a cazului analizat

Comunicatele CFR SA din 19 ianuarie şi 5 aprilie 2023 publică limitele celor patru loturi [5, 6]. Diferențele kilometrice din Tabelul 2 constituie baza aritmetică a demonstrației. Pentru lotul 4 sunt însumate două intervale, deoarece kilometrajul se reia de la zero.

Tabelul 2. Lungimi nominale deduse din limitele kilometrice [5, 6]

Lot	Secţiune	Limite publicate	Lungime [km]
1	Cluj-Napoca–Aghireş	500+749 → 531+160	30,411
2	Aghireş–Poieni	531+160 → 567+690	36,530
3	Poieni–Aleşd	567+690 → 620+430	52,740
4	Aleşd–Frontieră	620+430 → 660+086 0+000 → 7+088	46,744
	Total analitic	Suma diferențelor nominale	166,425

Totalul de 166,425 km nu este o măsurătoare topografică a traseului modernizat. Eventualele corecţii de kilometraj şi modificări de aliniament trebuie

preluate din documentația finală. Precizia de trei zecimale exprimă calculul din bornele publicate, nu o precizie confirmată în teren.

3. CONDIȚII LOCALE ȘI INTEGRAREA SUBSISTEMELOR

Pentru lotul Aghireș–Poieni, descrierea CFR include electrificare la 25 kV, ERTMS cu ETCS nivel 2 și GSM-R, respectiv sarcină pe osie de 22,5 t [7]. Această combinație ilustrează de ce infrastructura, energia, semnalizarea și vehiculul trebuie evaluate împreună. Parametrii citați sunt cerințe ale proiectului, nu rezultate de punere în funcțiune.

Directiva (UE) 2016/797 diferențiază autorizarea instalațiilor fixe de aprobarea soluțiilor ERTMS [8]. Specificațiile tehnice de interoperabilitate acoperă subsisteme și interfețe [9]. Pentru CCS, verificarea normativă trebuie să includă Regulamentul (UE) 2023/1695, modificat prin Regulamentul (UE) 2026/693, și dispozițiile tranzitorii aplicabile proiectului [10]. Aprobarea ERTMS la nivelul ERA este o etapă distinctă în procesul descris de agenție [11].

Serviciul de referință *s* este un tren electric convențional, cu vehicul și echipare ETCS compatibile cu configurația de traseu analizată, fără schimbarea tracțiunii și fără utilizarea unor regimuri provizorii exterioare configurației definite. Cerințele de gabarit, sarcină, viteză admisă și exploatare sunt incluse în fișa serviciului. Pentru un serviciu diesel sau un regim alternativ autorizat, setul cerințelor se redefinește.

Tabelul 3. Familii de condiții pentru un sector și serviciul de referință

Familie	Exemple de condiții și probe necesare
Infrastructură	Cale, lucrări de artă, gabarit, sarcină și parametri admiși; verificări și recepții relevante
Energie	Alimentare, linie de contact, protecții și probe pentru configurația de tracțiune
CCS și comunicații	Configurație aprobată, integrare, teste și compatibilitate ETCS/radio aplicabile
Autorizare	Acte necesare configurației evaluate și condițiile asociate acestora
Vehicul și exploatare	Compatibilitate vehicul–rută, proceduri, personal și documente operaționale

Modelul este un instrument de analiză documentară și planificare a verificărilor. Decizia de exploatare rămâne condiționată de procedurile și responsabilitățile legale aplicabile. Lista concretă de condiții se elaborează pentru proiect; Tabelul 3 oferă familii de verificări, nu o listă exhaustivă de conformitate.

4. MODELUL DE CONTINUITATE FUNCȚIONALĂ

Coridorul este reprezentat prin *n* sectoare consecutive. Fiecare are lungimea nominală l_i și un set *R(s)* de condiții obligatorii pentru serviciul *s*. Variabila $x_{i,r}$ este *1* dacă îndeplinirea condiției este confirmată de o probă valabilă și *0* dacă este infirmată printr-o asemenea probă. În demonstrația complet determinată, indicatorul local este:

$$g_{i,s} = \prod_{r \in R(s)} x_{i,r} \tag{1}$$

Condițiile neaplicabile serviciului sunt excluse motivat din *R(s)*. Produsul exprimă o conjuncție logică, fără ipoteză de independență statistică. Valorile nu sunt probabilități de disponibilitate, iar un procent de progres fizic nu este introdus ca valoare a lui $x_{i,r}$.

La fiecare limită comună *j* se introduce $h_{j,s}$, egal cu *1* numai dacă interfața necesară serviciului este îndeplinită. Se verifică, după caz, continuitatea alimentării, integrarea parcursurilor în stații, tranzițiile CCS, comunicațiile și acoperirea documentelor pentru configurația comună. Testele locale și testele de interfață se urmăresc distinct.

$$L_{loc,s} = \sum_{i=1}^{n} l_i g_{i,s} \tag{2}$$

Lungimea pregătită local, $L_{loc,s}$, însumează sectoarele admise local. Pentru un coridor liniar, mulțimea C_s cuprinde blocurile maximale de sectoare admise și consecutive, unite exclusiv prin interfețe îndeplinite. Cea mai mare lungime continuă este:

$$L_{con,s} = \max_{C \in C_s} \sum_{i \in C} l_i \tag{3}$$

Dacă nu există sectoare admise, $L_{con,s} = 0$. Pentru relația integrală origine–destinație, pe traseul unic analizat, se obține:

$$K_{OD,s} = \prod_{i=1}^{n} g_{i,s} \cdot \prod_{j=1}^{n-1} h_{j,s} \tag{4}$$

Valoarea *1* confirmă îndeplinirea setului documentar definit; valoarea *0* arată că cel puțin o condiție este infirmată. Într-o rețea ramificată trebuie evaluate explicit traseele alternative. Suma lungimilor unei componente de rețea nu este, în general, lungimea unei singure rute.

4.1. Informații necunoscute și calcul reproductibil

Lipsa unei probe publice se codifică „?”, nu *0*. Pentru fiecare condiție și interfață necunoscută se calculează o limită inferioară, cu înlocuire prin *0*, și o limită superioară, cu înlocuire prin *1*. Sunt limite documentare pentru aceeași configurație și dată; nu reprezintă intervale statistice de încredere. Cazul $K^- = 0$ și $K^+ = 1$ înseamnă verdict nedeterminat.

Calculul L_{con} parcurge sectoarele în ordine. Un sector admis începe un bloc sau îl prelungește dacă sectorul precedent și interfața comună sunt admise. Un sector infirmat ori o interfață infirmată întrerupe blocul. Se păstrează maximul sumelor obținute. Cele două substituții pentru „?” se aplică aceluiași algoritm. Dacă există dependențe suplimentare care fac imposibilă o anumită combinație, limita superioară se restrânge la configurațiile fezabile.

5. DEMONSTRAȚIE NUMERICĂ PE GEOMETRIA DOCUMENTARĂ

Toate stările din Tabelul 4 sunt ipotetice. Ele nu descriu situația reală a șantierelor, existența autorizațiilor sau circulația efectivă la 21 octombrie 2026. Sunt utilizate numai lungimile nominale din Tabelul 2. Vectorii *g* au ordinea loturilor 1–4, iar vectorii *h* au ordinea limitelor 1/2, 2/3 și 3/4.

Tabelul 4. Scenarii ipotetice pentru același serviciu feroviar

Caz	*g*	*h*	L_{loc} [km]	L_{con} [km]	K_{OD}
S_0	1 1 1 1	1 1 1	166,425	166,425	1
S_1	1 1 0 1	1 1 1	113,685	66,941	0
S_2	1 1 1 1	1 0 1	166,425	99,484	0
S_3	1 1 1 1	1 1 0	166,425	119,681	0
S_4	1 1 1 1	1 ? 1	166,425	99,484–166,425	?

În S_1, lotul 3 este infirmat pentru serviciul definit. L_{loc} = 30,411 + 36,530 + 46,744 = 113,685 km. Blocurile admise au lungimile 66,941 și 46,744 km, rezultând L_{con} = 66,941 km. Indicatorul local reprezintă 68,31% din total, iar blocul continuu maxim numai 40,22%. Infirmarea serviciului definit nu implică închiderea liniei pentru orice alt serviciu autorizat.

5.1. Efectul interfețelor și interpretarea rezultatelor

S_0 și S_2 au aceeași lungime pregătită local. În S_2, interfața dintre loturile 2 și 3 împarte coridorul în blocuri de 66,941 și 99,484 km; al doilea devine blocul continuu maxim, adică 59,78% din total. În S_3, interfața dintre loturile 3 și 4 limitează blocul maxim la 119,681 km, respectiv 71,91%. Poziția discontinuității modifică lungimea blocului continuu maxim chiar dacă suma lungimilor locale este identică.

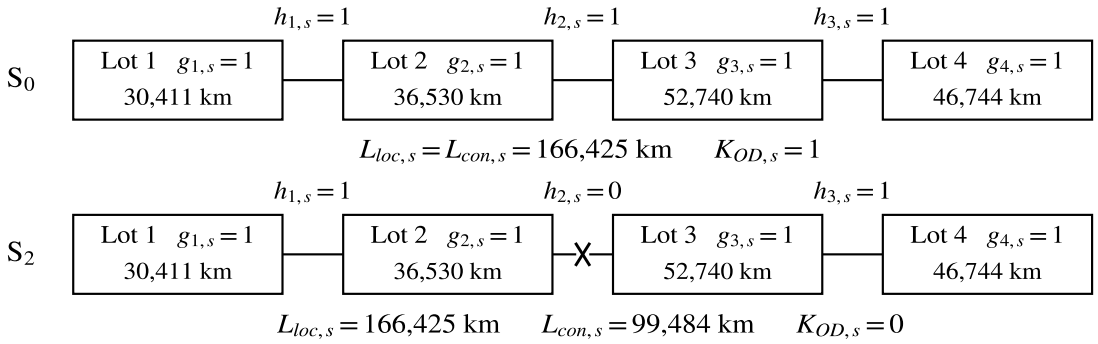


Figura 1. Stări locale identice și continuități diferite în scenariile ipotetice S_0 și S_2

În S_4, documentarea interfeței centrale este insuficientă. Limitele L_{con} sunt 99,484 și 166,425 km, iar K_{OD} rămâne nedeterminat. O verificare suplimentară a acelei interfețe reduce incertitudinea; aceasta nu echivalează automat cu o lucrare fizică suplimentară. Distincția dintre deficit de probă și deficit de realizare este necesară pentru alegerea acțiunii următoare.

6. UTILIZARE INGINEREASCĂ ȘI LIMITE

Protocolul poate susține planificarea testelor integrate și a deschiderilor etapizate. L_{con} este un indicator de continuitate geometrică condiționată; exploatarea unui bloc ca rută parțială necesită verificarea punctelor de acces și a configurației aferente. Fișa unui sector se leagă de fișa interfeței și de serviciu. Ordinea activităților ține seama de resurse, siguranță și dependențe; lungimea blocului nu stabilește singură prioritatea optimă, capacitatea sau beneficiul economic.

Limita principală este disponibilitatea documentelor de test, recepție și autorizare. Geometria nominală și scenariile nu validează empiric modelul. Lucrarea nu estimează capacitatea, fiabilitatea ori timpul de parcurs și nu verifică atingerea țintelor PNRR. Extinderea necesară este confruntarea indicatorilor cu configurații efectiv puse în funcțiune și cu servicii observate.

7. CONCLUZII

Evaluarea tehnică a investițiilor feroviare necesită păstrarea distinctă a indicatorilor de program, a cantităților geometrice și a condițiilor de exploatare. Protocolul propus leagă fiecare afirmație de unitatea, data, configurația și proba corespunzătoare.

Demonstrația arată că 166,425 km pregătiți local pot furniza numai 99,484 km de continuitate maximă în prezența unei interfețe centrale neîndeplinite. Informația necunoscută conduce la limite documentare, păstrând distincte lipsa

dovezii şi infirmarea unei condiţii. Contribuţia lucrării este aplicarea transparentă a acestei logici la structura documentară PNRR; operatorii logici şi noţiunea de conectivitate sunt instrumente consacrate.

BIBLIOGRAFIE

[1]. MURUGANANDAN, K., DAVIES, A., DENICOL, J., WHYTE, J., *The dynamics of systems integration: Balancing stability and change on London’s Crossrail project*, International Journal of Project Management, vol. **40**, nr. **6**, **2022**, pp. **608–623**. doi:10.1016/j.ijproman.2022.03.007

[2]. WITLOX, F., ZWANIKKEN, T., JEHEE, L., DONNERS, B., VEENEMAN, W., *Changing tracks: identifying and tackling bottlenecks in European rail passenger transport*, European Transport Research Review, vol. **14**, art. **7**, **2022**. doi:10.1186/s12544-022-00530-9

[3]. CONSILIUL UNIUNII EUROPENE, *Anexa la decizia de punere în aplicare de modificare a PNRR al României*, ST 11890/26 ADD 1, Bruxelles, 17.07.**2026**, componenta C4, pp. 37 și 44. Document oficial

[4]. EUROSTAT, UNECE, ITF, *Glossary for transport statistics*, ediția a 6-a, Oficiul pentru Publicații al Uniunii Europene, Luxemburg, **2026**. doi:10.2785/7522568

[5]. CNCF CFR SA, *Desemnare oferte câștigătoare pentru servicii de consultanță și supervizare, lotul 1 Cluj-Napoca–Aghireș și lotul 2 Aghireș–Poieni*, comunicat, 19.01.**2023**. CFR SA

[6]. CNCF CFR SA, *42 de milioane lei pentru consultanță/supervizare Poieni–Aleșd–Frontieră, loturile 3 și 4*, comunicat, 05.04.**2023**. CFR SA

[7]. CNCF CFR SA, *CFR SA a semnat contractul pentru electrificarea și modernizarea secțiunii CF Aghireș–Poieni, lotul 2*, comunicat, 21.12.**2022**. CFR SA

[8]. PARLAMENTUL EUROPEAN ȘI CONSILIUL, *Directiva (UE) 2016/797 privind interoperabilitatea sistemului feroviar în Uniunea Europeană*, JO L 138, 26.05.**2016**, pp. 44–101, cu modificările ulterioare, art. 18–19. EUR-Lex

[9]. AGENȚIA UNIUNII EUROPENE PENTRU CĂILE FERATE, *Technical Specifications for Interoperability*, portal tehnic oficial. ERA

[10]. AGENȚIA UNIUNII EUROPENE PENTRU CĂILE FERATE, *Control Command and Signalling TSI*, actele **2023**/1695 și **2026**/693 și documentele tehnice aplicabile. ERA

[11]. AGENȚIA UNIUNII EUROPENE PENTRU CĂILE FERATE, *Applications for ERTMS Trackside Approval*, descrierea procedurii și ghidurile aferente. ERA

EFECTELE ÎNCĂRCĂRILOR MILITARE NATO ASUPRA PODURILOR RUTIERE CU DESCHIDERI ÎNTRE 24–40 M DIMENSIONATE LA CLASA “E” DE ÎNCĂRCARE

Urdăreanu Vlad Daniel, șef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, vlad.urdareanu@utcb.ro
Răcănel Ionuț-Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro
Chiotan Corina, șef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, chiotan.corina@utcb.ro
Pirontea George Mădălin, ing. Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, george.pirontea@utcb.ro

Rezumat

Adaptarea infrastructurii rutiere la cerințele mobilității militare europene impune reevaluarea podurilor existente prin raportarea solicitărilor produse de vehiculele militare la modelele de încărcare utilizate la proiectarea inițială. Lucrarea propune un cadru de comparație pentru poduri rutiere cu grinzi prefabricate din beton precomprimat de tip IPTANA, cu deschideri de 24–40m, realizate în România începând cu anul 1986 și proiectate pentru clasa “E“ de încărcare conform STAS 3221-86. Cerințele inițiale au presupus calculul după modelele de încărcare A30 și V80, iar încărcarea militară este reprezentată prin convoiul MLC100 pe roți.

Comparația urmărește înfășurătoarele momentelor încovoietoare. Se propune separarea comparației statice a încărcărilor mobile de verificarea capacității portante actuale, care necesită introducerea acțiunilor permanente, a precomprimării efective, a degradărilor și a condițiilor de traversare. Scenariile de cercetare presupun că raportul dintre efectele MLC100 și cele ale clasei E depinde de deschidere, secțiunea verificată și poziția vehiculului, astfel încât nu poate fi dedus exclusiv din raportul greutăților totale ale vehiculelor teoretice. Relevanța aplicativă derivă din instrumentul european SAFE și din necesitatea asigurării unei infrastructuri rutiere cu utilizare dual (civil și militar). Cadrul propus poate fundamenta prioritizarea investigațiilor și a consolidărilor, precum și evaluarea traversărilor controlate. Stabilirea compatibilității unui pod concret rămâne rezultatul unei verificări structurale individuale.

Cuvinte cheie: MLC100; clasa E; poduri IPTANA; mobilitate militară; SAFE.

Abstract

Adapting road infrastructure to the requirements of European military mobility implies reassessing existing bridges by comparing the demands required by military vehicles against the load models used in their original design. This paper proposes a comparative framework for road bridges featuring IPTANA-type precast prestressed concrete girders, with spans ranging from 24 to 40 meters, constructed in Romania starting in 1986 and designed for load class "E" according to STAS 3221-86. The initial requirements involved calculations based on the A30 and V80 load models, while the military load is represented by the wheeled MLC100 convoy.

The comparison tracks the bending moment envelopes. It is proposed to separate the static comparison of live loads from the evaluation of current load-bearing capacity, the latter of which requires introducing permanent actions, effective prestressing, degradations, and crossing conditions. The research scenarios assume that the ratio between the effects of the MLC100 and those of class E depends on the span, the cross-section being verified, and the vehicle's position, meaning it cannot be deduced solely from the ratio of the total weights of the theoretical vehicles. The practical relevance derives from the European SAFE instrument and the need to ensure a dual-use (civil and military) road infrastructure. The proposed framework can support the prioritization of investigations and retrofitting, as well as the evaluation of controlled crossings. Determining the compatibility of a specific bridge remains the result of an individual structural verification.

Keywords: MLC100; class E; IPTANA bridges; military mobility; SAFE.

1. INTRODUCERE

1.1. Introducere

Mobilitatea militară depinde de continuitatea unei rețele de transport capabile să preia vehicule grele în condiții de siguranță. Podurile existente pot condiționa utilizarea unui traseu chiar dacă sectoarele rutiere adiacente au fost modernizate. Pentru România, această problemă capătă actualitate în contextul instrumentului Security Action for Europe (SAFE), instituit prin Regulamentul (UE) 2025/1106, care prevede împrumuturi de până la 150 miliarde euro pentru investiții în apărare prin achiziții comune și include mobilitatea militară între domeniile prioritare [3]. Consiliul UE a aprobat, la 11 februarie 2026, asistența financiară pentru România, cu un plafon de aproximativ 16,68 miliarde euro [4].

În acest context, verificarea podurilor de pe traseele relevante constituie o condiție tehnică pentru funcționalitatea infrastructurii cu utilizare dublă. Cerința MLC100 trebuie însă precizată în tema de evaluare și în documentația fiecărui proiect; includerea mobilității militare în SAFE nu echivalează cu impunerea, prin regulamentul de finanțare, a unei clase unice pentru toate podurile. Ca reper distinct, cerințele europene pentru anumite infrastructuri duale prevăd traversări ocazionale de până la 130 t, cu măsuri privind viteza, distanțarea și, după caz, circulația pe un singur fir [5]. Acest reper nu reprezintă o echivalare cu MLC100.

Obiectul studiului îl constituie familia de poduri cu grinzi prefabricate precomprimate de tip IPTANA, cu deschideri de 20–24 m, realizate în anul 1986. Apartenența fiecărui tablier la un proiect tip, geometria, armarea și detaliile precomprimării trebuie stabilite din proiect și prin releveu. Conform tabelului 3 din STAS 3221-86, clasa E corespunde modelelor A30 și V80 [1]. A30 este un șir de autocamioane de 300 kN, fiecare cu osii de 60, 120 și 120 kN. V80 reprezintă vehicule de 800 kN, cu patru osii de câte 200 kN la intervale de 1,20 m și distanță între vehicule de minimum 80 m. Pentru un pod cu două benzi, standardul prevede un singur șir de vehicule speciale; configurațiile A30 se stabilesc după regulile proprii de amplasare [1].

Anexa transmisă de MApN către CNAIR în noiembrie 2018 descrie pentru MLC100 un vehicul pe șenile de 90,72 t, cu lungimea de contact de 5,49 m, și un vehicul pe roți de 104,33 t. Acesta din urmă are cinci osii de 13,61; 27,22; 27,22; 18,14 și 18,14 t, separate prin 3,66; 1,68; 6,25 și 1,52 m [2]. MLC este o clasificare a efectului încărcării, nu o masă exprimată direct în tone. Studiul propus compară aceste scheme cu încărcările clasei E, pe aceeași structură, pentru a identifica mecanismele care pot controla reevaluarea și datele necesare verificării capacității portante.

1.2. Soluțiile de poduri rutiere realizate în România în anii 1980

În perioada comunistă, în special în anii '70 și '80, IPTANA (Institutul de Proiectări Transporturi Auto, Navale și Aeriene) a fost pilonul principal în proiectarea infrastructurii de transport din România. Pentru a face față ritmului accelerat de construire a rețelei rutiere și a autostrăzilor planificate atunci, institutul a dezvoltat o serie de proiecte tip.

Scopul principal al acestor proiecte de tipizare era standardizarea și industrializarea execuției. Prin crearea unor cofraje metalice unice (tipare)

folosite în fabricile de prefabricate, se reduceau masiv costurile şi timpul de execuţie pe şantiere.

În anul 1986 a fost elaborat proiectul “Corelarea elementelor geometrice ale grinzilor din beton armat precomprimat pentru suprastructuri rutiere L=24-40m in vederea reducerii numărului de tipare 48∅5 sau 24∅7, indicativ pr. tip c8464/86/ad1”. Acesta a marcat o etapă extrem de importantă în ingineria podurilor din România, rezolvând o problemă tehnologică majoră a acelor vremuri printre care se amintesc:

- trecerea de la tronsoane mici la tronsoane mari. Înainte de 1986, suprastructurile de poduri din grinzi prefabricate se realizau adesea din bucăţi (tronsoane) mici ce trebuiau asamblate şi tensionate direct pe şantier, o metodă anevoioasă şi cu riscuri de execuţie. Proiectul a introdus realizarea suprastructurilor din trei tronsoane mari sau elemente optimizate structural.

- Extinderea deschiderilor (lungimilor): Până la acest proiect, grinzile din tronsoane mici acopereau de regulă deschideri standard de 24, 27, 30 şi 33 de metri. IPTANA a extins prin noul proiect gama de deschideri, adăugând lungimile mari de 36 şi 40 de metri, oferind o flexibilitate uriaşă pentru traversarea cursurilor de apă sau a văilor adânci.

- Corelarea geometrică pentru unificarea tiparelor: Inginerii au reuşit să conceapă o formă geometrică a grinzii astfel încât, prin modificări minime aduse aceluiaşi cofraj metalic industrial (baza rămânând neschimbată), fabrica de prefabricate să poată turna grinzi pentru orice lungime din intervalul 24 - 40 metri.

- Configuraţia secţiunii transversale: Standardul stabilit prevedea că suprastructura podului este susţinută de doar 4 grinzi principale dispuse în paralel.

Tot în aceeaşi perioadă, odată cu apariţia primelor planuri pentru reţeaua modernă de drumuri şi autostrăzi (inclusiv decretul de stabilire a claselor tehnice prin *Legea 43/1975*), a apărut necesitatea de a dimensiona podurile pentru vehicule grele de transport industrial şi militar. Astfel, reţeaua rutieră a fost împărţită pe clase tehnice, iar podurile de pe drumurile de clasele I–IV au primit obligaţia de a fi proiectate la Clasa E de încărcare (cea mai severă, urmată de Clasa I şi Clasa II pentru drumuri secundare).

Clasa “E” de încărcare cuprinde două tipuri de convoaie de calcul, după cum urmează:

- Convoiul de autocamioane A30: un şir continuu de autocamioane grele, fiecare având o greutate totală de 30 de tone.

- Vehiculul special pe şenile sau roţi V80: un vehicul agabaritic (militar sau utilaj greu) cu o greutate totală de 80 de tone.

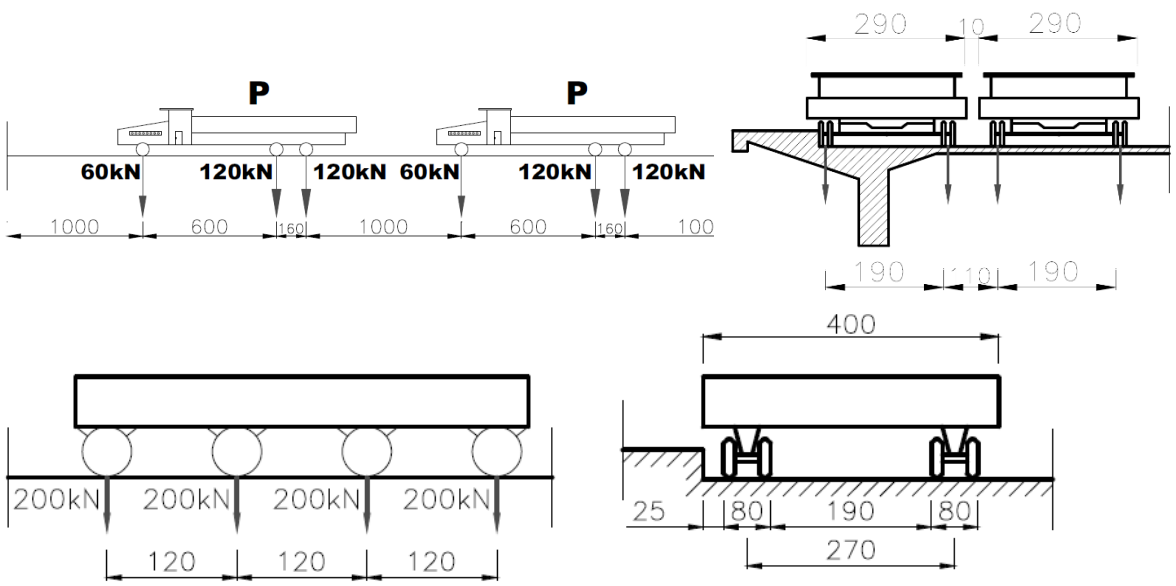


Figura 1. Convoaiele de calcul A30, respectiv V80 conform STAS 3221-86

1.3. Programul de investiții SAFE și cerințe specifice ingineriei civile

Programul SAFE (Security Action for Europe / Acțiunea pentru securitatea Europei) este un instrument financiar de amploare al Uniunii Europene, adoptat în mai 2025. Acesta pune la dispoziție un pachet total de împrumuturi pe termen lung de până la 150 de miliarde de euro pentru statele membre, destinat accelerării reînarmării, achizițiilor comune de echipamente militare și modernizării apărării în cadrul strategiei europene „Readiness 2030”.

România este unul dintre marii beneficiari ai programului, propunând un portofoliu masiv de investiții de 16,68 miliarde de euro împărțit între Ministerul Apărării Naționale, Ministerul Afacerilor Interne și infrastructură.

Din acest buget total dedicat României, aproximativ 4,2 miliarde de euro sunt alocate exclusiv pentru infrastructura dual și cerințele de mobilitate militară.

Mobilitatea militară reprezintă capacitatea Europei de a asigura deplasarea rapidă și fără blocaje a trupelor, echipamentelor grele și activelor militare pe întregul continent. În cadrul SAFE și al pachetelor legislative europene complementare din 2025–2026, această zonă este strict reglementată prin standarde tehnice și procedurale specifice.

Proiectele de infrastructură rutieră și feroviară finanțate prin SAFE trebuie să deservească o utilizare dual (civilă și militară). Printre cerințele tehnice, se amintesc următoarele:

- Geometrie și gabarit: Dimensiunile tunelurilor, pasajelor și curbelor trebuie să permită tranzitul vehiculelor agabaritice militare (ex. transportoare de tancuri).

- Rezistența podurilor: Podurile de pe coridoarele prioritare trebuie ranforsate structural. Dacă vechile poduri IPTANA erau calculate la standardul istoric Clasa E (vehicul de calcul de 80 de tone), cerințele moderne europene de mobilitate militară impun capacități portante superioare, aliniate la standardele NATO (cum ar fi MLC - Military Load Classification), capabile să suporte convoaie grele aliate aflate în deplasare rapidă.

Astfel, în contextul cerințelor de mobilitate militară ale UE și NATO (finanțate prin programe precum SAFE), convoiul MLC 100 (Military Load Classification 100) reprezintă noul standard critic de proiectare și evaluare a podurilor.

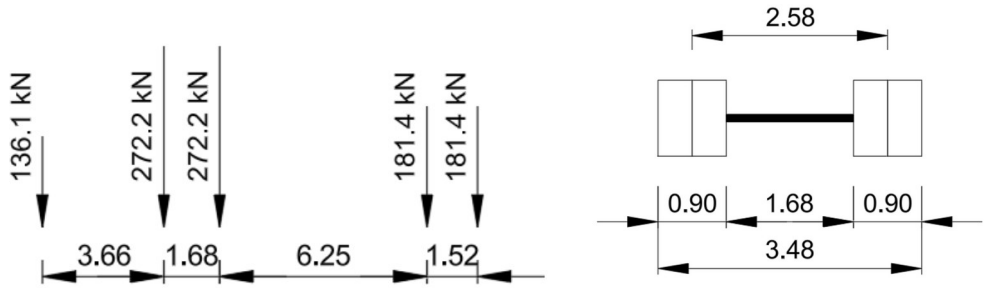


Figura 2. Convoiul MLC100

În trecut, standardul logistic de bază al NATO a fost decenii la rând MLC 70, calculat pentru tancurile din perioada Războiului Rece (cum erau primele versiuni de M1 Abrams sau Leopard 2, care aveau în jur de 60-62 de tone).

Odată cu modernizările recente (blindaje suplimentare, sisteme de protecție activă), tancurile moderne au devenit considerabil mai grele. Un tanc M1A2 SEPv3 Abrams sau un Leopard 2A7/2A8 echipat complet depășește adesea 70 de tone. Când acest tanc este urcat pe un trailer de transport (HET - Heavy Equipment Transport), ansamblul rutier total sare direct în clasa MLC 100.

MLC 100 nu oferă doar garanția că un singur tanc greu poate trece în siguranță, ci permite fluiditatea coloanelor militare. În scenarii de criză militară, podurile nu pot fi traversate „unul câte unul” cu pauze mari între vehicule. MLC 100 asigură o rezervă structurală care permite logisticii grele aliate să ruleze fără restricții severe de viteză sau distanțare pe pod.

2. RELEVANȚA ȘTIINȚIFICĂ ÎN CONTEXTUL ACTUAL

În prezenta lucrare, relevanța științifică a comparației constă în construirea unei relații verificabile între modele de încărcare definite în sisteme diferite și răspunsul unei familii de structuri existente. Greutatea totală mai mare a unui vehicul nu implică aceeași creștere a tuturor solicitărilor: amplasarea osiilor pe liniile de influență modifică momentul maxim, forța tăietoare și reacțiunile în proporții diferite. Pentru deschideri de 20–40 m, diferența dintre grupul compact de osii V80 și schema longitudinală MLC100 pe roți justifică examinarea distinctă a efectelor în câmp și în vecinătatea reazemelor.

Se propune un studiu parametric în care deschiderea, poziția transversală, rigiditatea legăturilor dintre grinzi, viteza de traversare și condițiile de rezemare sunt variabile explicite.

Pentru investițiile asociate SAFE, o asemenea metodă poate sprijini selecția podurilor care necesită analiză aprofundată și compararea consolidării cu traversarea controlată. Viteza redusă, poziționarea dirijată și distanțarea vehiculelor pot fi evaluate ca scenarii, iar frecvența trecerilor trebuie considerată la verificarea oboselii. Beneficiul științific urmărit este o procedură reproductibilă de reevaluare; beneficiul practic este fundamentarea deciziilor de investiție și exploatare.

3. STUDIU DE CAZ – GRINZI CU TRONSOANE MARI CU DESCHIDERI ÎNTRE 24.00 ŞI 40.00M REALIZATE ÎN SOLUȚIA PROIECTULUI TIP I.P.T.A.N.A. DIN ANUL 1986

3.1. Prezentarea structurii

Studiul de caz a fost realizat pentru seria de poduri pe 4 grinzi simplu rezemate din beton precomprimat în conlucrare prin placa dintre tălpi. Acesta cuprinde grinzile tip adoptate în anii 1986, cu deschideri de 24.00, 27.00, 30.00, 33.00, 36.00 și 40.00m.

Podurile în această soluție asigură o parte carosabilă de 7.80m și două trotuare de câte 1.00-1.50m lățime utilă. Nu există placă de suprabetonare, doar tălpile superioare ale grinzilor, de 18cm grosime, legate cu zone monolite din beton armat. Proiectul prevede antretoaze pe reazeme și o singură antretoază în câmp.

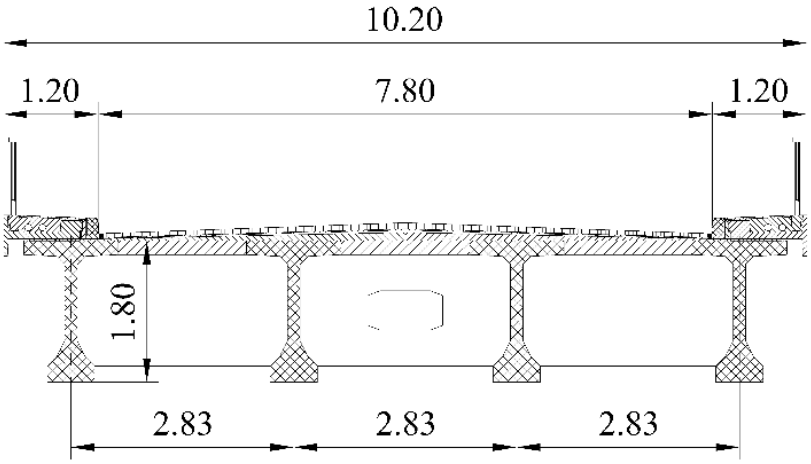


Figura 3. Secțiune transversală suprastructură

Aceste structuri s-au dovedit extrem de durabile. Sute de poduri rutiere aflate în exploatare astăzi pe drumurile naționale și județene din România sunt construite exact după acest proiect tip din 1986.

3.2. Modelul matematic

Pentru calcule s-au realizat modele de calcul tridimensionale cu elemente finite. În cadrul acestora, grinzile principale și antretoazele au fost modelate cu elemente de tip bară simplă inginerească, iar placa cu elemente de suprafață de tip “shell” (cu comportare atât de placă cât și de membrană).

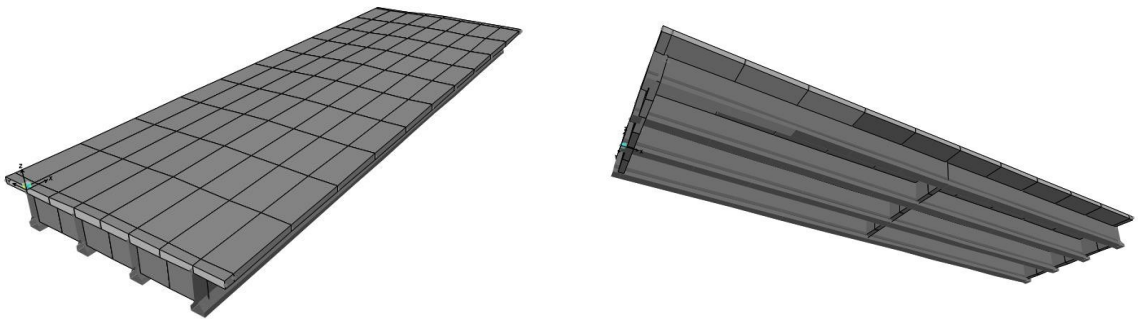


Figura 4. Model de calcul cu elemente finite

Legăturile la teren au fost modelate prin reazeme rigide simple și articulate. Masa vibrantă a structurii este compusă din elementele de rezistență la care se adaugă sistemul rutier și umpluturile de pe trotuare ca suprasarcini.

3.3. Ipoteze de calcul

Obiectivul principal al studiului este de a compara solicitările din acţiunile prevăzute în normele vechi româneşti cu cele din cerinţele de mobilitate militară. Având în vedere că există multe poduri în soluția studiată care au fost ranforsate pentru a prelua sarcini din normele europene (prin benzi de carbon, precomprimări exterioare, etc), s-a decis să se extindă comparația și la solicitările actuale din ingineria civilă.

Astfel, pentru toate cele 6 deschideri de calcul au fost calculate valorile momentelor încovoietoare din centrul grinzii marginale, pentru cele mai defavorabile poziții de încărcare ale convoaielor de calcul V80 (clasa “E”), LM1 (EUROCOD) și MLC100 (militar NATO).

Pentru convoaiele V80 și LM1 normativele de proiectare prevăd în mod explicit că nu sunt necesari coeficienţi dinamici, dar pentru MLC100 nu există astfel de prevederi.

Un alt obiectiv al studiului este de a estima răspunsul în regim dinamic prin comparație cu cel static la traversarea convoiului militar și de a determina coeficientul dinamic aferent. Cu acest scop, s-a considerat o masă oscilantă de 5% din cea a convoiului care vibrează sub formă de oscilații cu amplitudine, respectiv perioadă constante, pe toată durata traversării podului.

Pentru calculul sarcinilor din V80, LM1 și MLC100 în regim static au fost realizate analize simple static liniare de tip “Moving load”. Pentru calculul sarcinilor din MLC în regim dinamic, au fost realizate analize liniar elastice de tip “time-history” cu integrare directă. Amortizarea internă a fost considerată de 2% (valoare specifică podurilor din beton armat), iar viteza a fost stabilită în funcție de distanța de 1.68m între cele mai grele osii ale convoiului și perioada proprie de vibrație a structurii, astfel încât trecerea osiilor peste punctul de moment maxim să se suprapună cu un ciclu de oscilație a podului, mărind astfel efectul.

În timpul analizelor s-au observat fenomene de rezonanță care își atingeau vârful după trecerea convoiului peste poziția de moment maxim, motiv pentru care s-a decis să se mai studieze și trecerea cu viteza înjumătățită. S-au obținut astfel două situații de analize în regim dinamic, una cu viteză calculată conform alineatului anterior, denumită scenariul 1 și una cu valoarea înjumătățită, denumită scenariul 2.

În tabelul următor sunt prezentaţi parametrii consideraţi în analizele efectuate.

Tabelul 1. Parametri adoptaţi în scenariile de încărcare studiate

Lungime	Înălțime grindă	Perioada de vibrație fundamentală	Frecvența fundamentală	Viteza critică scenariu 1	Viteza critică scenariu 2
[m]	[m]	[s]	[Hz]	[m/s]	[m/s]
24.00	1.60	0.221	4.52	7.59	3.79
27.00	1.60	0.279	3.58	6.02	3.01
30.00	1.80	0.300	3.33	5.60	2.80
33.00	1.80	0.366	2.73	4.59	2.30
36.00	2.10	0.367	2.72	4.58	2.29
40.00	2.10	0.452	2.21	3.71	1.86

3.4. Rezultate obţinute

Pentru ilustrarea importanţei fenomenelor dinamice în cazul convoiului MLC100, în figura următoare este prezentată variaţia momentului încovoietor la traversare, în regim static, şi dinamic în cele două scenarii.

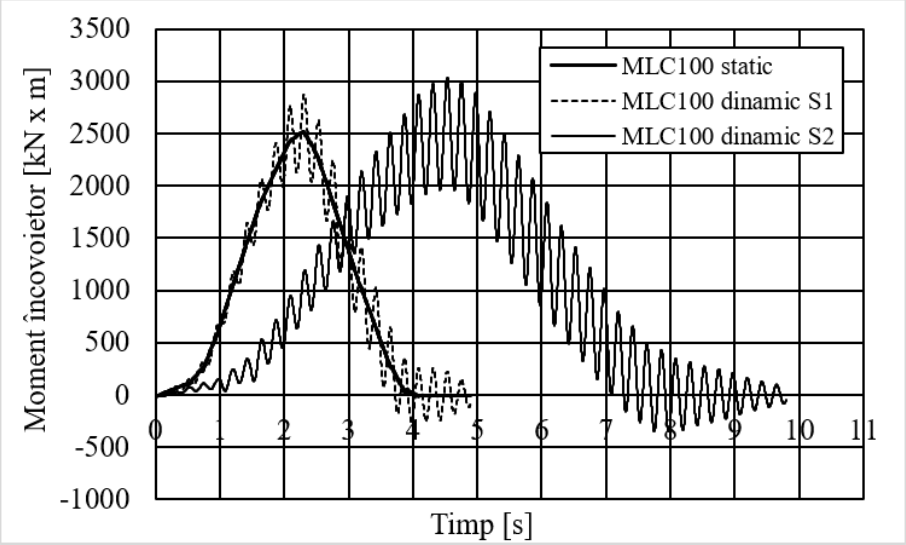


Figura 5. Variaţia momentului încovoietor la trecerea convoiului

În partea stângă se pot observa încărcarea grinzii în regim static prin comparaţie cu amplificarea dinamică în scenariul dinamic S1, dar şi fenomenul de rezonanţă care îşi atinge vârful pe zona de descărcare din grafic. Spre dreapta se observă răspunsul în regim dinamic în scenariul S2, cu fenomenul de amplificare ajuns la maxim în momentul atingerii poziţiei de maxim în regim static.

În tabelul următor sunt centralizate rezultatele obţinute în urma celor 30 de cazuri de analiză.

Tabelul 2. Valorile maxime ale momentelor încovoietoare

Lungime	**Înălţime grindă**	**V80**	**LM1**	**MLC100 - regim static**	**MLC100 - regim dinamic S1**	**MLC100 - regim dinamic S2**
[m]	[m]	[kN x m]	[kN x m]	[kN x m]	[kN x m]	[kN x m]
24.00	1.60	1989	2997	2506	2867	3027
27.00	1.60	2248	3535	2840	3229	3437
30.00	1.80	2495	4090	3168	3598	3783
33.00	1.80	2743	4672	3488	3977	4171
36.00	2.10	2983	5272	3807	4347	4557
40.00	2.10	3288	6103	4205	4802	4976

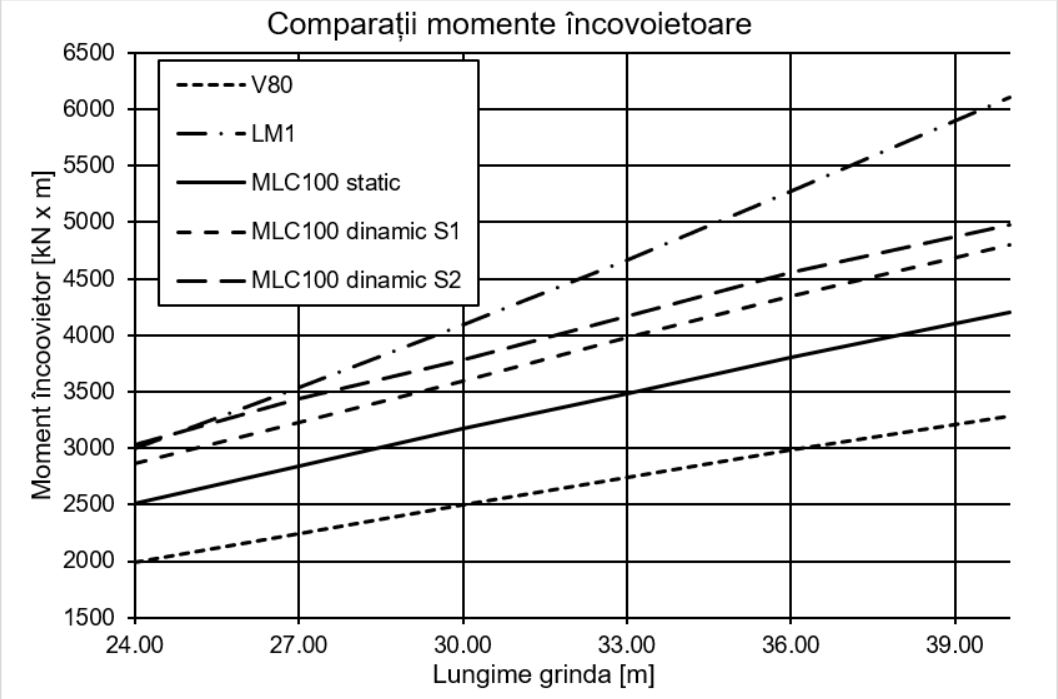


Figura 6. Variația eforturilor interne cu deschiderea pentru cazurile de încărcare studiate

Legile de variaţie a momentelor încovoietoare cu deschiderea între convoaiele V80 şi MLC100 atât în regim static cât şi dinamic descriu drepte aproape paralele pe tot intervalul studiat. Valorile din convoiul LM1 descriu o variaţie parabolică care în jurul deschiderii de 24.00m se intersectează şi chiar

coboară sub cele ale MLC100 în scenariul 2. Prin urmare, pentru deschideri sub 24.00m, este posibil ca încărcările după normele europene să nu mai satisfacă cerinţele de mobilitate militară.

În continuare sunt prezentate tabelar şi sub formă grafică coeficienţii dinamici obținuți în cazurile analizate.

Tabelul 3. Variația coeficientului dinamic

Lungime	**Înălțime grindă**	**Coeficient dinamic MLC S1**	**Coeficient dinamic lent MLC S2**
[m]	[m]	[-]	[-]
24.00	1.60	1.144	1.208
27.00	1.60	1.137	1.210
30.00	1.80	1.136	1.194
33.00	1.80	1.140	1.196
36.00	2.10	1.142	1.197
40.00	2.10	1.142	1.183

Se poate observa că pentru acest gen de structuri fenomenul de amplificare dinamică nu variază foarte mult cu deschiderea, având o uşoară tendinţă de scădere o dată cu mărirea deschiderii.

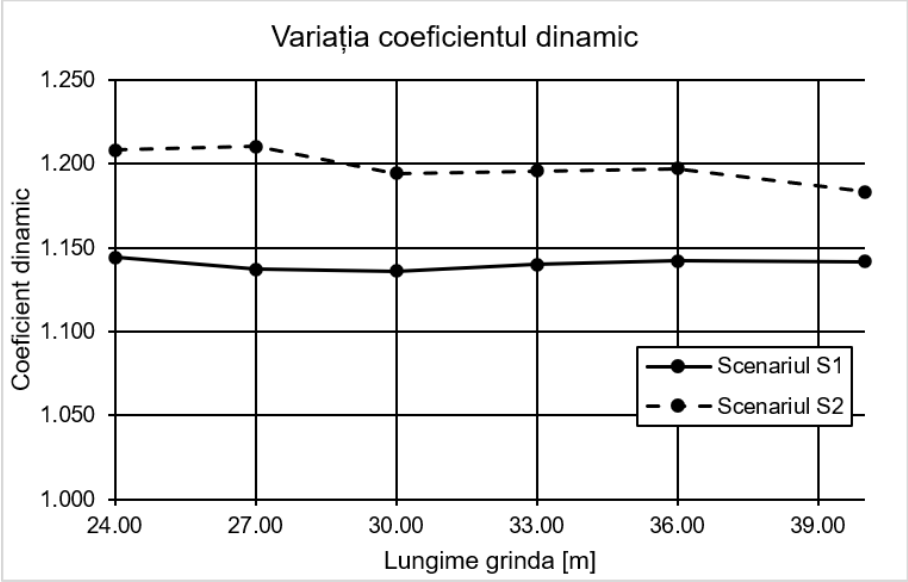


Figura 7. Variația coeficientului dinamic cu deschiderea

Amplificarea dinamică a fost mai puternică în scenariul S2, cu viteze mai mici, cel mai probabil datorită faptului că fenomenul de rezonanţă indus de

masele vibrante nu atingea maximul suficient de repede la vitezele mai mari din scenariul S1. Este puţin probabil ca valorile să fi crescut în cazul unei reduceri suplimentare a vitezei de traversare, întrucât, așa cum se vede și grafic în Figura 5, în scenariul 2 se ating oscilaţiile de amplitudine maximă înainte de trecerea prin dreptul punctului de maxim.

4. CONCLUZII

Rezultatele arată că toate structurile analizate care au fost dimensionate la clasa ”E” de încărcare au nevoie de rezerve de capacitate portantă pentru a prelua solicitările datorate convoiului MLC100. Datele nu sunt suficiente pentru a generaliza această concluzie la toate structurile realizate în acea perioadă în condiţii similare, dar pot fi folosite de administratorul infrastructurii rutiere ca punct de plecare pentru elaborarea unei strategii de intervenţii. În acest sens, s-au realizat funcţii cumulative de distribuţie logaritmică ale fiabilităţii structurilor în cele 3 scenarii. Fiabilitatea s-a stabilit în mod simplificat ca raport între efectul convoiului MLC100 și cel al convoiului V80. Valori supraunitare înseamnă depășire a capacității portante, iar procentul peste valoarea de 1 reprezintă sporul de rezistență necesar.

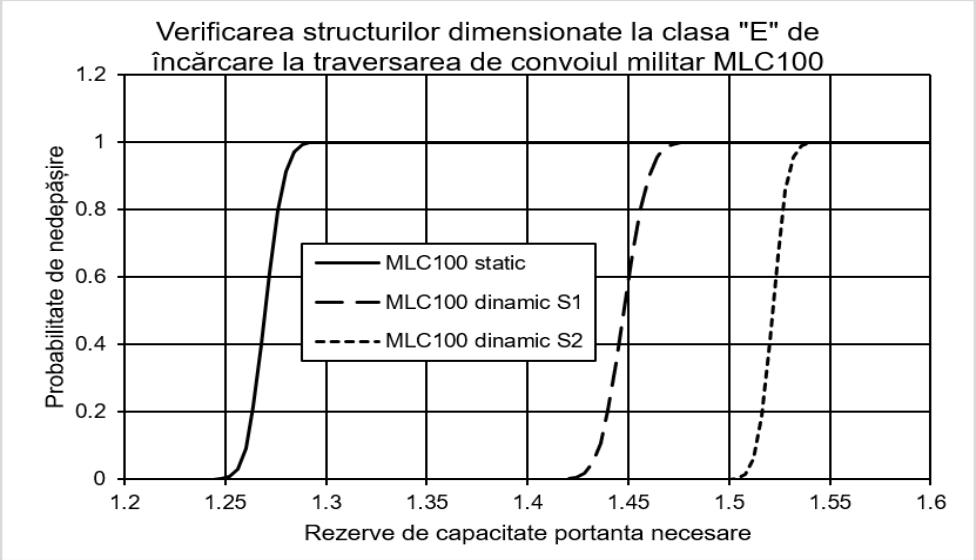


Figura 8. Funcţia cumulativă de distribuţie pentru fiabilitatea podurilor dimensionate la clasa „E” de încărcare

Din Figura 8 reiese în primul rând importanţa modului în care se face traversarea. Funcţiile de distribuţie au aluri foarte abrupte și nu lasă loc de

concesii pentru acceptarea unei probabilităţi de nedepăşire mai mică de 100% (variația procentului are loc pe un interval de aproximativ 5% spor de rezistență). Prin urmare, pentru traversări cu convoaie militare în condiții speciale cu interdicţii de trafic ar fi necesară sporirea capacității portante cu aproximativ 30%. Pentru traversare în condiții normale de exploatare, fără alte restricţii de trafic, este necesar un spor mai mare de capacitate de aproximativ 55%.

O prelucrare similară a datelor s-a realizat și pentru structurile considerate deja ranforsate pentru sarcinile din EUROCOD. Rezultatele sunt prezentate în figura următoare.

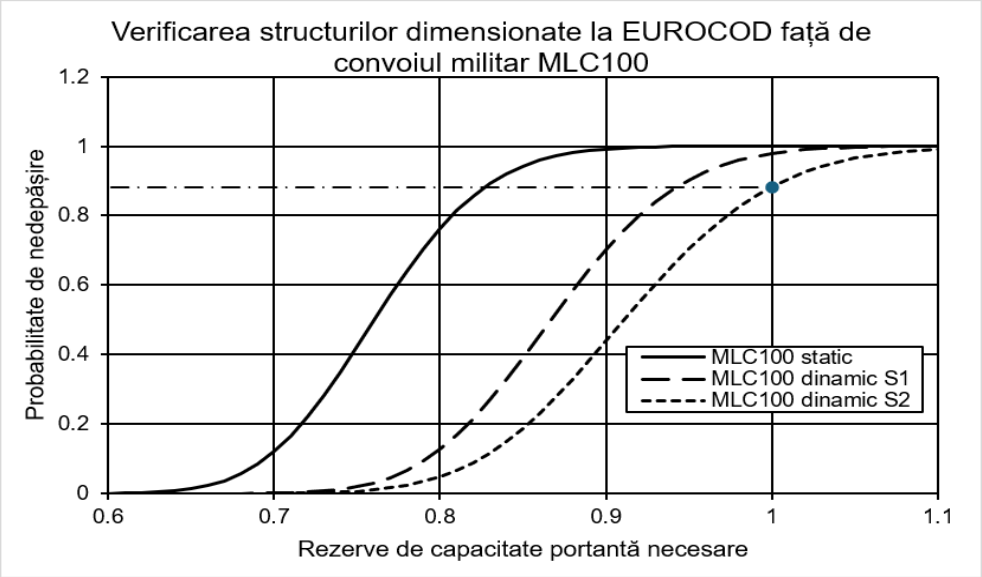


Figura 9. Funcţia cumulativă de distribuţie pentru fiabilitatea structurii dimensionată la EUROCOD

Analizând Figura 9 se constată un palier mai larg de distribuţie a rezultatelor. Pentru scenariile cu traversare în regim normal, fără restricţii, s-a obţinut o probabilitate de nedepăşire de 97.8% în scenariul cu regim de viteză mai favorabil și de 88.3% în cel mai defavorabil.

Astfel, din cele prezentate se concluzionează că structurile realizate în anii 1980, pe grinzi simplu rezemate din beton precomprimat dimensionate la clasa “E” de încărcare, nu pot prelua solicitările convoiului militar MLC100.

Pentru intervalul de deschideri analizat, între 27-40m, efectele sarcinilor prevăzute în normele europene sunt acoperitoare față de cele ale convoiului MLC100. Pentru deschideri mai mici cum este cea de 24.00m studiată în lucrare, sarcinile din EUROCOD conduc la eforturi mai mici. Tendinţele de variaţie ale

eforturilor indică faptul că sub deschideri de 24.00m, cerințele de mobilitate militară sunt mai drastice decât cele de exploatare normală.

Viteza joacă un rol foarte important pentru răspunsul podurilor analizate, putând duce la creșteri de solicitări de până la 20%. Contrar intuiției, viteze mici în intervalul 5-15km/h sunt mai defavorabile decât cele mai mari de 15-25km/h. Prin urmare, se recomandă viteze mai mari la traversarea podurilor de acest tip de către convoaie militare de cel puțin 30 km/h.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *STAS 3221-86. Poduri de șosea. Convoaie tip și clase de încărcare.* **1986**

[2]. Ministerul Apărării Naționale, Comandamentul Logistic Întrunit, Centrul de Coordonare a Mișcării. *Adresă către CNAIR privind datele tehnice ale infrastructurii pentru mobilitate militară, noiembrie 2018, și Anexa nr. 1, Characteristics of Hypothetical Vehicles used for the Rating of the MLC of Vehicles and Bridges (SI Units).* **2018**

[3]. Consiliul Uniunii Europene. *Regulamentul (UE) 2025/1106 din 27 mai 2025 de instituire a instrumentului Acțiunea pentru securitatea Europei (SAFE) prin consolidarea industriei europene de apărare. Jurnalul Oficial al Uniunii Europene. Temei pentru cadrul financiar și domeniile prioritare. Acces online* **2025**

[4]. Ministerul Transporturilor, *Proiect indicativ PR. TIP C8464/86/ad1*, elaborate de asocierea I.P.T.A.N.A. – EUROMETUDES, **1986**

[5]. I. R. Răcănel & V. D. Urdăreanu *Estimation of the strength capacity of existing concrete bridges in Romania*, Structures, Vol. 33, **2021**

[6]. V. Marusceac, *Calculul Podurilor Dalate – Îndrumător de lucrări,* UTPPRESS, Cluj Napoca, ISBN 978-606-737-496-4, **2021**

[7]. M.S Mamlouk, *Rational look truck axle weight*, College of Engineering and Applied Sciences, Arizona State University, **2004**

[8]. Y. Kyosuke, *Vehicle-Bridge Interaction System*, University of Tsukuba**, 2022**

INFLUENȚA VITEZEI DE CIRCULAȚIE ASUPRA AMPLIFICĂRII DINAMICE A RĂSPUNSULUI STRUCTURAL AL UNUI POD CU STRUCTURĂ METALICĂ

Zdrenghea Bianca-Andreea, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri şi Tuneluri, e-mail: bianca-andreea.zdrenghea@phd.utcb.ro
Răcănel Ionuţ Radu, prof.univ.dr.habil.ing., Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri şi Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri şi Tuneluri, e-mail: ionut.racanel@utcb.ro

Rezumat

Creşterea vitezelor de circulație în transportul feroviar determină necesitatea unei evaluări riguroase a comportării dinamice a structurilor de poduri, în vederea identificării variațiilor răspunsului structural şi a condițiilor favorabile apariției fenomenelor de amplificare dinamică. În acest context, viteza de deplasare a convoaielor reprezintă un parametru esențial, care influențează modul de transmitere a solicitărilor către suprastructură şi caracteristicile vibrațiilor induse.

Prezenta lucrare urmărește investigarea influenței vitezei de circulație asupra amplificării dinamice a răspunsului structural al unui pod feroviar cu suprastructură metalică, prin intermediul unei analize numerice realizate cu metoda elementelor finite. Studiul are la bază un tablier cu grinzi metalice cu zăbrele, cale jos, cu deschiderea de 55 m, supus acțiunii convoaielor de încărcare HSLM-A1, HSLM-A3 şi HSLM-A10, considerate la diferite viteze de deplasare.

Evaluarea comportării structurale se realizează prin intermediul analizei dinamice de tip Time History, utilizând metoda Newmark pentru integrarea numerică a ecuațiilor de mişcare. Sunt urmărite variațiile deplasărilor şi acceleraţiilor verticale, precum şi modificările eforturilor secționale în elementele structurale reprezentative. O atenție deosebită este acordată determinării coeficienților de amplificare dinamică şi identificării intervalelor de viteză asociate creşterii răspunsului structural.

Rezultatele evidențiază influența configurației convoaielor şi a vitezei de circulație asupra nivelului amplificării dinamice, demonstrând necesitatea evaluării individuale a scenariilor de încărcare pentru identificarea condițiilor de solicitare defavorabile. Studiul contribuie la înțelegerea comportării dinamice a podurilor feroviare metalice şi evidențiază importanța analizelor numerice în evaluarea performanțelor structurale la circulația trenurilor de mare viteză.

Cuvinte-cheie: pod feroviar metalic, viteză de circulație, amplificare dinamică, coeficient dinamic, analiză numerică, rezonanță.

Abstract

The increase in railway operating speeds requires a detailed assessment of bridge dynamics in order to identify variations in structural response and conditions conducive to dynamic amplification. Train speed is a key operational parameter because it governs the timing of successive axle loads and their interaction with the natural vibration characteristics of the bridge.

This paper investigates the influence of train speed on the dynamic amplification of a steel railway bridge using a finite-element model. The case study concerns a 55 m span through-truss deck carrying a ballasted track in a reinforced-concrete trough. Three high-speed load models, HSLM-A1, HSLM-A3 and HSLM-A10, are considered at different operating speeds.

The response is evaluated by time-history analysis using Newmark numerical integration. Vertical displacements and accelerations are examined together with representative internal forces, while dynamic amplification factors are obtained by comparing dynamic and corresponding static effects. Particular attention is paid to speed ranges associated with pronounced response peaks.

The comparison highlights the combined influence of train load configuration and speed on structural response and supports the need to assess individual loading scenarios when identifying unfavourable dynamic conditions. The study illustrates the role of numerical analysis in evaluating the performance of steel railway bridges under high-speed traffic.

Keywords: steel railway bridge, train speed, dynamic amplification, dynamic factor, numerical analysis, resonance.

1. INTRODUCERE

Evaluarea comportării podurilor feroviare la trecerea trenurilor de mare viteză presupune depășirea unei interpretări exclusiv statice a încărcărilor. Mișcarea succesivă a osiilor produce solicitări variabile în timp, iar intensitatea răspunsului depinde atât de configurația convoiului, cât și de proprietățile dinamice ale tablierului.

În consecință, două situații de încărcare cu valori apropiate ale forțelor aplicate pot determina niveluri diferite ale deplasărilor, accelerațiilor și eforturilor secționale, dacă vitezele de circulație sau distanțele dintre osii diferă.

În cazul structurilor metalice cu zăbrele, distribuția rigidității și a masei între elementele principale și sistemul transversal influențează modurile proprii de vibrație. Răspunsul la încărcări mobile nu se manifestă uniform în întreaga structură: tălpile grinzilor cu zăbrele și antretoazele pot înregistra maxime în momente și în puncte distincte. Această particularitate impune examinarea mai multor mărimi de răspuns și a unor poziții structurale reprezentative, fără a reduce comportarea globală la o singură valoare maximă.

Un rol esențial îl are raportul dintre ritmul de succesiune a încărcărilor mobile și frecvențele proprii ale podului. La anumite viteze, efectele produse de

osii se pot suprapune favorabil dezvoltării vibrațiilor, determinând creșteri locale ale amplitudinii. Din acest motiv, dependența dintre viteză și amplificarea dinamică nu trebuie interpretată ca o relație obligatoriu monotonă: o viteză mai mare nu generează în toate cazurile un răspuns mai sever.

Obiectivul prezentului articol este analizarea variației răspunsului dinamic al unui tablier feroviar metalic în funcție de viteza de circulație, cu accent pe coeficienții de amplificare obținuți prin raportarea efectelor dinamice la cele statice corespunzătoare.

Cercetarea utilizează rezultatele unui model tridimensional cu elemente finite al unui pod cu deschiderea de 55 m, solicitat de convoaiele HSLM-A1, HSLM-A3 și HSLM-A10. Sunt urmărite corelațiile dintre viteza de deplasare, valorile maxime ale răspunsului și particularitățile fiecărei configurații de încărcare, pentru a evidenția domeniile de viteză care necesită o examinare dinamică atentă.

2. PARTICULARITĂȚI ALE RĂSPUNSULUI DINAMIC AL PODURILOR FEROVIARE METALICE

2.1. Mecanisme de producere a vibrațiilor sub acțiunea încărcărilor mobile

Circulația unui convoi feroviar pe un tablier produce o succesiune de acțiuni concentrate, ale căror poziții se modifică permanent în raport cu elementele structurale. Ritmul cu care osiile traversează deschiderea, împreună cu distanțele dintre acestea, determină modul de excitare a vibrațiilor proprii ale podului.

Mișcarea rezultată este influențată atât de încărcările prezente la un anumit moment, cât și de oscilațiile inițiate în etapele anterioare ale traversării. După părăsirea tablierului, vibrațiile pot continua în regim liber, fiind reduse treptat prin amortizare.

Distribuția încărcărilor pe osii, intervalele dintre acestea și viteza de deplasare determină caracterul temporal al excitației. În cazul trenurilor cu repetiții geometrice regulate, trecerea osiilor sau a grupurilor de osii poate produce excitații cu o periodicitate apropiată de cea a anumitor moduri proprii ale podului. Această situație este de interes în identificarea maximelor locale ale răspunsului, dar nu este suficientă, singură, pentru a demonstra apariția rezonanței. Interpretarea trebuie corelată cu rezultatele analizei modale și cu evoluția răspunsului în timp.

2.2. Influența caracteristicilor structurale asupra răspunsului dinamic

Masa, rigiditatea și amortizarea constituie principalele proprietăți prin care structura influențează evoluția vibrațiilor. Masa condiționează efectele inerțiale, în timp ce distribuția rigidităților determină atât deformabilitatea sub încărcare, cât și frecvențele și formele proprii de vibrație. Amortizarea limitează acumularea amplitudinilor și contribuie la disiparea energiei după încetarea excitației.

În cazul unui tablier cu grinzi metalice cu zăbrele și cale în cuvă de beton armat, răspunsul depinde și de reprezentarea corectă a maselor permanente, a conexiunilor dintre elemente și a modului de transmitere a sarcinilor către grinzile principale.

Prin urmare, analiza vitezei de circulație trebuie raportată la un model structural menținut identic între scenariile de calcul, astfel încât variațiile observate să fie atribuite parametrilor încărcării mobile, nu modificărilor modelului.

2.3. Amplificarea dinamică și condițiile de apariție a rezonanței

Amplificarea dinamică exprimă modificarea unui efect structural ca urmare a caracterului variabil în timp al acțiunii. Pentru compararea scenariilor se poate utiliza un raport între modulul valorii maxime a efectului dinamic și modulul efectului static de referință, evaluat pentru același convoi, element structural și aceeași mărime de răspuns.

Un raport superior unității indică depășirea efectului static de referință, iar un raport inferior unității arată că maximul dinamic considerat nu îl depășește. Definiția exactă a maximelor și a semnelor trebuie păstrată consecvent pentru toate comparațiile.

Apropierea frecvenței de excitare de una dintre frecvențele proprii poate conduce la intensificarea vibrațiilor. Totuși, viteza la care apare un maxim depinde de configurația și distanțarea osiilor, de formele modale participante și de amortizare.

Din acest motiv, comparația coeficienților dinamici pentru convoaiele HSLM-A1, HSLM-A3 și HSLM-A10 este mai relevantă dacă se realizează separat pentru forțe axiale, momente încovoietoare și mărimi cinematice, înaintea formulării unei concluzii globale despre viteza cea mai defavorabilă.

3. FUNDAMENTAREA ANALIZEI DINAMICE ÎN FUNCȚIE DE VITEZA DE CIRCULAȚIE

3.1. Caracterizarea acţiunilor mobile şi a parametrilor de circulaţie

Evaluarea influenței vitezei impune descrierea încărcării feroviare printr-o succesiune de forțe mobile, aplicate în poziții care se modifică în timp. În cazul modelelor HSLM-A, distanțele dintre osii și distribuția sarcinilor definesc configurația geometrică și mecanică a excitației. Pentru un convoi dat, modificarea vitezei schimbă intervalele de timp dintre trecerile succesive ale osiilor prin aceeași secțiune a podului, fără a modifica valorile nominale ale sarcinilor.

În studiul numeric sunt considerate convoaiele HSLM-A1, HSLM-A3 și HSLM-A10. Scenariile de circulaţie sunt analizate individual, astfel încât influenţa vitezei să poată fi separată de influenţa configuraţiei convoiului.

Vitezele reduse servesc drept referinţă pentru observarea unui răspuns apropiat de regimul cvasi-static, în timp ce vitezele ridicate permit identificarea domeniilor în care efectele inerţiale devin mai importante. Apropierea de un posibil regim de rezonanță trebuie confirmată prin analiza răspunsului și prin raportarea acestuia la caracteristicile modale ale structurii [4].

3.2. Modelarea răspunsului structural în domeniul timp

Răspunsul podului la trecerea trenurilor este determinat printr-o analiză tranzitorie de tip Time History, în cadrul căreia poziția încărcărilor mobile și efectele structurale sunt evaluate la intervale succesive de timp. Formularea generală a echilibrului dinamic include contribuțiile maselor, ale amortizării și ale rigidității structurii, precum și vectorul acțiunilor exterioare variabile în timp.

Integrarea numerică a ecuațiilor de mișcare este efectuată prin metoda Newmark, utilizând pentru schema acceleraţiei medii parametrii $\gamma = 0{,}5$ și $\beta = 0{,}25$. În modelul analizat se consideră amortizarea de 3%, conform ipotezelor adoptate în studiul inițial. Pentru comparații coerente, durata analizei și pasul temporal trebuie alese astfel încât să surprindă atât traversarea podului, cât și oscilațiile relevante după ieșirea convoiului [3].

3.3. Evaluarea coeficientului de amplificare dinamică

Cuantificarea amplificării dinamice se bazează pe compararea unui efect structural obținut din analiza tranzitorie cu efectul static corespunzător aceleiași configurații de încărcare. În acest scop, coeficientul dinamic este determinat

separat pentru fiecare tip de efort şi pentru fiecare secţiune de control, pentru a evita asocierea într-un singur indicator a unor comportări structurale diferite.

În interpretarea rezultatelor, raportarea trebuie făcută între mărimi de aceeaşi natură şi aceeaşi convenţie de semn, folosind maximele relevante ale acţiunii statice şi dinamice. În special pentru forţele axiale care îşi pot modifica semnul, se urmăresc explicit valorile absolute sau extremele corespondente.

Variaţia coeficientului în funcţie de viteză permite evidenţierea maximelor locale şi compararea sensibilităţii elementelor structurale la configuraţia convoaielor HSLM. Coeficienţii dinamici sunt completaţi prin examinarea acceleraţiilor şi deplasărilor verticale în puncte reprezentative. Aceste mărimi descriu manifestări distincte ale răspunsului: un scenariu care produce acceleraţia maximă nu determină în mod necesar şi deplasarea maximă sau solicitarea secţională maximă.

Prin urmare, identificarea vitezei defavorabile se realizează în raport cu mărimea de răspuns şi cu elementul structural examinat.

4. INVESTIGAREA NUMERICĂ A COMPORTĂRII DINAMICE A UNUI TABLIER METALIC

4.1. Configuraţia structurală şi particularităţile modelului de calcul

Studiul numeric vizează un pod feroviar pentru cale ferată simplă, alcătuit dintr-un tablier metalic de tipul grindă cu zăbrele (GZCJ) cu calea jos, în cuvă de piatră spartă din beton armat.

Structura are deschiderea de 55 m, înălţimea de 8,00 m şi lăţimea de 7,30 m. În plan, traseul căii prezintă raza de 500 m, iar în profil longitudinal declivitatea este de 1%. Geometria tablierului cuprinde şase panouri, dintre care două marginale de 9,10 m şi patru centrale de 9,20 m. Grinzile principale sunt solidarizate transversal prin antretoaze metalice cu secţiune dublu-T, dispuse la interaxe de aproximativ 1,82–1,84 m. Sistemul cu zăbrele nu include montanţi; diagonalele comprimate au secţiuni casetate, iar cele întinse, secţiuni dublu-T. Contravântuirile superioare sunt organizate în X [6].

Modelul spaţial cu elemente finite realizat în CSiBridge urmăreşte distribuţia rigidităţii şi a masei în componentele tablierului, inclusiv contribuţia cuvei de beton armat şi a încărcărilor permanente ale căii.

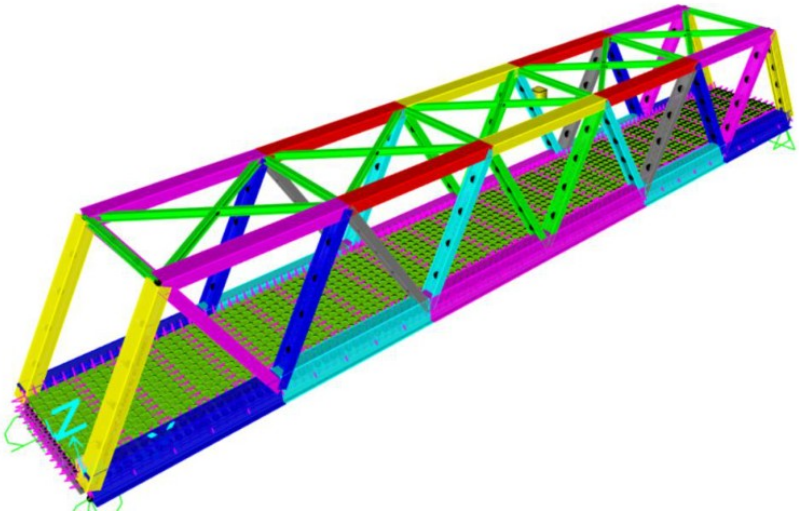


Figura 1. Modelul tridimensional al tablierului metalic analizat

4.2. Definirea scenariilor de încărcare şi a vitezelor analizate

Pentru investigarea dependenței răspunsului de viteza de circulație au fost selectate trei modele de încărcare feroviară de mare viteză, HSLM-A1, HSLM-A3 şi HSLM-A10, definite în SR EN 1991-2. Acestea diferă prin numărul şi lungimea vagoanelor intermediare şi prin valorile sarcinilor pe osie. Pentru fiecare convoi s-au urmărit o viteză redusă de referință, viteze intermediare şi o viteză asociată condiției de rezonanță.

Tabelul 1. Caracteristicile convoaielor şi vitezele considerate în studiul numeric

Convoi	Vagoane intermediare	Lungime vagon [m]	Viteze analizate [km/h]
HSLM-A1	18	18	5; 66; 98; 196
HSLM-A3	16	20	5; 100; 147; 300
HSLM-A10	11	27	5; 98; 147; 294

Aplicarea succesivă a sarcinilor pe osii a fost descrisă prin funcții de încărcare dependente de timp. Pentru fiecare combinație convoi–viteză s-a realizat o analiză tranzitorie Time History, pe baza schemei Newmark cu $\gamma = 0,5$ şi $\beta = 0,25$ şi a unui raport de amortizare de 3%, potrivit parametrilor din modelul inițial. Această procedură permite urmărirea răspunsului structurii pe durata traversării şi în intervalul de vibrație liberă ulterior.

4.3. Caracteristicile modale ale structurii

Analiza modală a furnizat frecvențele proprii necesare interpretării relației dintre ritmul de succesiune a osiilor și tendința de amplificare a vibrațiilor. Pentru modul 1 s-a obținut frecvența de 3,0311 Hz (T = 0,3299 s), iar pentru modul 8 frecvența de 10,7099 Hz (T = 0,0933 s); acestea prezintă cei mai mari factori individuali de participare a masei pe direcția verticală dintre modurile raportate. Modul 3 are frecvența de 4,1667 Hz și a fost utilizat la determinarea vitezei de rezonanță pentru HSLM-A3.

Pornind de la distanța caracteristică repetitivă D a încărcării și de la frecvența proprie f, viteza de coincidență a excitației poate fi estimată prin relația $v = 3{,}6 \cdot f \cdot D$, cu v exprimată în km/h, f în Hz și D în metri.

În studiul analizat, această abordare a condus la vitezele de referință de aproximativ 196 km/h pentru HSLM-A1, 300 km/h pentru HSLM-A3 și 294 km/h pentru HSLM-A10. Identificarea unei asemenea viteze reprezintă un criteriu de investigare a rezonanței, nu, prin ea însăși, o demonstrație a maximului răspunsului pentru orice mărime structurală.

5. EVALUAREA INFLUENȚEI VITEZEI ASUPRA AMPLIFICĂRII DINAMICE

5.1. Variația coeficienților dinamici în funcție de viteza de circulație

Pentru cuantificarea efectului vitezei, rezultatele de calcul au fost analizate prin raportarea efectelor dinamice maxime la valorile corespunzătoare ipotezei statice, pentru aceeași mărime și același element structural.

Coeficientul astfel obținut caracterizează solicitarea investigată și nu trebuie considerat o constantă unică pentru întregul tablier. Variația sa cu viteza evidențiază diferențe atât între convoaie, cât și între elementele structurale și tipurile de efort.

Graficele de mai jos privind convoaiele HSLM-A3 și HSLM-A10 indică evoluții distincte (Figurile 2 și 3). Pentru HSLM-A3, coeficientul urmărit în grafic se menține în apropierea valorii de referință de 1,02 în cea mai mare parte a intervalului analizat, atingând aproximativ 1,034 la 300 km/h. Pentru HSLM-A10, creșterea devine mai pronunțată în apropierea vitezei de 294 km/h, unde valoarea reprezentată ajunge la aproximativ 1,198 [6].

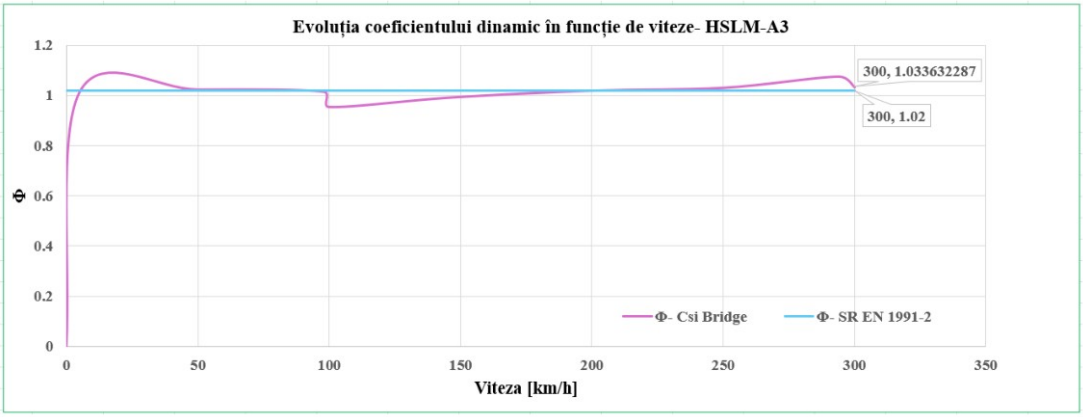


Figura 2. Evoluția coeficientului dinamic pentru convoiul HSLM-A3

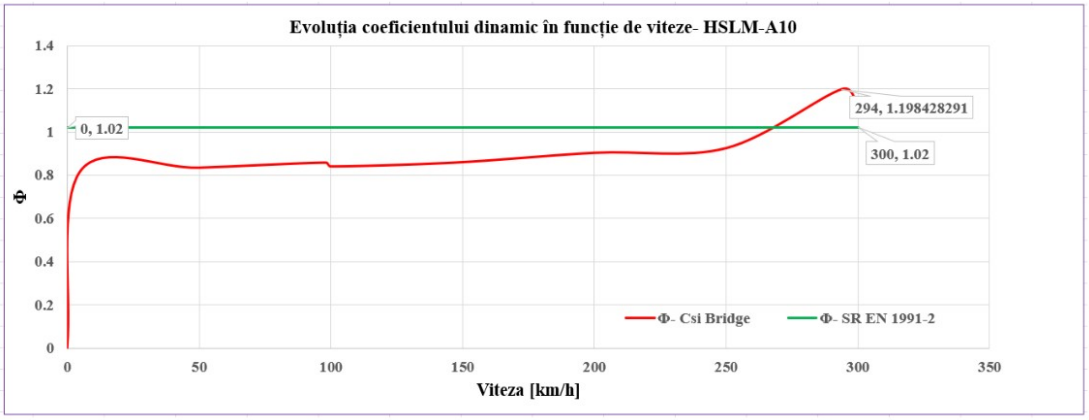


Figura 3. Evoluția coeficientului dinamic pentru convoiul HSLM-A10

5.2. Modificarea amplitudinilor deplasărilor și accelerațiilor verticale

Interpretarea accelerațiilor și deplasărilor pune în evidență sensibilități diferite ale aceluiași sistem structural. În reprezentările accelerațiilor în talpa inferioară, la mijlocul deschiderii, răspunsurile asociate vitezelor de 300 km/h pentru HSLM-A3 și de 294 km/h pentru HSLM-A10 au amplitudini superioare celor aferente vitezelor intermediare (Figurile 4 și 5) [6].

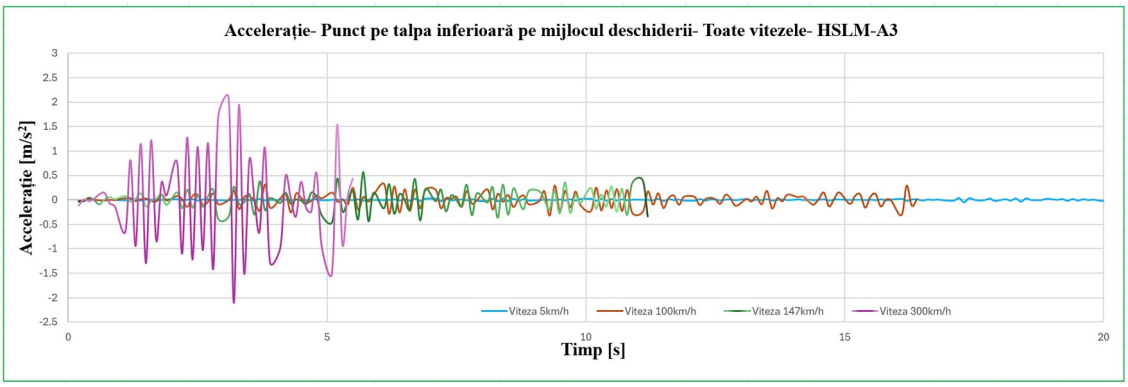


Figura 4. Accelerație punct pe talpa inferioară pe mijlocul deschiderii – toate vitezele – HSLM-A3

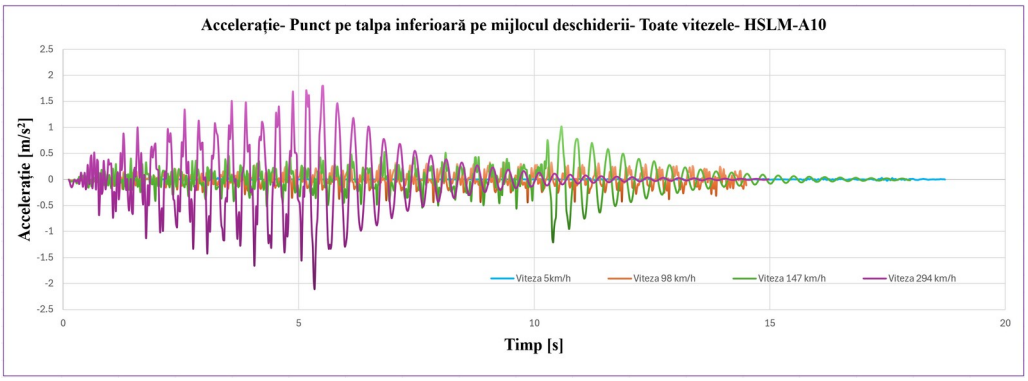


Figura 5. Accelerație punct pe talpa inferioară pe mijlocul deschiderii – toate vitezele – HSLM-A10

Totuși, valorile maxime ale accelerațiilor înregistrate în ansamblul elementelor urmărite nu apar obligatoriu la aceeași viteză și în aceeași secțiune.

Astfel, sinteza studiului indică valori ale accelerațiilor de până la 6,77 m/s² pentru antretoaza centrală și 7,50 m/s² pentru antretoaza de capăt, sub acțiunea convoiului HSLM-A3. Pentru deplasări, cazul defavorabil identificat este HSLM-A10 la 294 km/h, cu o valoare maximă de aproximativ 7,80 mm la antretoaza centrală.

Prin urmare, creșterea vitezei nu determină o majorare monotonă a tuturor parametrilor de răspuns, deoarece fiecare mărime depinde de conținutul modal excitat și de poziția de observare.

5.3. Influența configurației convoaielor asupra răspunsului structural

Distanțele caracteristice dintre osii, lungimea vagoanelor și succesiunea sarcinilor determină frecvențe de excitație diferite pentru aceeași viteză de circulație. În consecință, un convoi care produce accelerații ridicate nu conduce în mod necesar și la cele mai mari deplasări sau forțe axiale.

Rezultatele pentru HSLM-A3 şi HSLM-A10 ilustrează această diferenţiere: primul este asociat unor valori ridicate ale acceleraţiilor în antretoaze, în timp ce al doilea produce cazul defavorabil pentru deplasarea maximă menţionată.

Pentru verificarea solicitărilor locale, studiul raportează în cazul HSLM-A10 la 294 km/h o forţă de compresiune de aproximativ −1089 kN în talpa superioară, corespunzătoare tabelului de coeficienţi dinamici. Acest rezultat evidenţiază necesitatea analizării separate a eforturilor axiale în barele principale şi a momentelor încovoietoare în antretoaze, fără extrapolarea unui singur coeficient asupra tuturor componentelor podului.

5.4. Identificarea domeniilor de viteză asociate amplificării maxime

Vitezele de 196 km/h pentru HSLM-A1, 300 km/h pentru HSLM-A3 şi 294 km/h pentru HSLM-A10 au fost considerate în cadrul analizei ca scenarii de circulaţie apropiate de condiţiile de rezonanţă, estimate pe baza frecvenţelor proprii de vibraţie ale structurii şi a periodicităţii încărcărilor transmise de convoaie.

Analizele în domeniul timp şi spectrele Fourier permit corelarea acestor situaţii cu creşterile răspunsului, dar nu justifică afirmaţia că toate maximele structurale se produc exclusiv la vitezele respective.

Rezultatele susţin utilizarea unor intervale de viteze suficient de dense în vecinătatea zonelor cu amplificare pronunţată. În acest mod pot fi identificate mai fidel vârfurile locale ale răspunsului, iar verificarea podurilor metalice poate fi adaptată criteriului efectiv urmărit: acceleraţie, deformaţie sau efort secţional.

6. CONCLUZII

Analiza comparativă a răspunsului tablierului metalic la trecerea convoaielor HSLM-A1, HSLM-A3 şi HSLM-A10 evidenţiază rolul vitezei de circulaţie în modificarea amplitudinilor vibraţiilor şi a efectelor secţionale.

Relaţia dintre viteză şi răspunsul structural nu este însă una liniară sau obligatoriu monoton crescătoare, deoarece evoluţia fiecărui parametru depinde de corelarea dintre succesiunea osiilor, caracteristicile modale şi amortizarea podului.

În intervalele de viteză investigate, graficele coeficienţilor dinamici arată comportări diferite pentru convoaiele HSLM-A3 şi HSLM-A10. Pentru mărimea reprezentată în grafice, valoarea de aproximativ 1,034 la 300 km/h, în cazul HSLM-A3, este inferioară celei de aproximativ 1,198 la 294 km/h, în cazul HSLM-A10. Această diferenţă confirmă importanţa configuraţiei convoiului şi arată că apropierea vitezelor de circulaţie nu conduce neapărat la niveluri comparabile ale amplificării dinamice.

Compararea parametrilor de răspuns demonstrează că viteza asociată amplificării unui efort secțional nu trebuie considerată automat critică și pentru deplasări sau accelerații. În consecință, interpretarea rezultatelor necesită examinarea distinctă a tălpilor grinzilor principale și a antretoazelor, precum și compararea efectelor statice și dinamice pentru același element și aceeași mărime mecanică.

Din perspectiva evaluării inginerești, analiza în domeniul timp oferă informații suplimentare față de aplicarea exclusivă a unui coeficient dinamic global. Pentru determinarea mai precisă a maximelor locale, se recomandă investigarea unor pași de viteză mai mici în vecinătatea domeniilor cu amplificare ridicată și verificarea sensibilității rezultatelor la amortizare și la pasul de integrare.

Concluziile sunt valabile pentru modelul numeric, ipotezele de calcul și scenariile de încărcare considerate; ele nu constituie o generalizare pentru toate podurile metalice.

BIBLIOGRAFIE

[1]. FRÝBA, L. *Dynamics of Railway Bridges*. Praga: Academia, **1996**.

[2]. BRATU, P. *Analiza structurilor elastice. Comportarea la acțiuni statice și dinamice*. București: Editura Impuls, **2011**.

[3]. CHOPRA, A. K. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, ediția a IV-a, Prentice Hall, **2012**.

[4]. SR EN 1991-2:**2004**, Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri.

[5]. COMPUTERS AND STRUCTURES, INC., CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge, documentație tehnică.

[6]. ZDRENGHEA, B., RĂCĂNEL, I. *Studiul răspunsului unui pod de cale ferată de deschidere mare la acțiunea trenurilor care circulă cu viteze mari*. București: Sesiunea Științifică Studențească „Ingineria Infrastructurii Transporturilor – I.I.T. 2026”, UTCB, **2026**.

SUBTRAVERSAREA CĂII FERATE BUCUREȘTI–BRAȘOV ȘI A DRUMULUI NAȚIONAL DN1 PE VARIANTA OCOLITOARE AZUGA–BUȘTENI

Zdrenghea Doru, șef lucr.univ.dr.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: zdrenghea.doru@utcb.ro
Petre-Constantin Grigore, drd.ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Departamentul Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, e-mail: petre-constantin.grigore@phd.utcb.ro

Rezumat

Lucrarea prezintă soluția de subtraversare oblică, la km 7+513, a drumului național DN1 și a căii ferate București–Brașov, în cadrul obiectivului „Acces rutier complementar descărcare A3 Azuga–Bușteni”. Subtraversarea are lungimea de 68,00 m și este alcătuită din două galerii gemene, fiecare cu lățimea de 6,40 m și gabaritul minim de 5,00 m. Acoperirea este redusă: 3,10 m sub linia roșie a DN1 și 4,10 m sub niveleta căii ferate. Terenul străbătut este alcătuit din nisip cu pietriș, în partea superioară, și din marnă argiloasă cenușie, foarte fisurată, cu un conținut de carbonat de calciu de 35%. Pe sub calea ferată, soluția acceptată de CFR este execuția în subteran, sub protecția unei umbrele de țevi Ø120 mm, cu căptușeală exterioară din beton torcretat armat cu cintre metalice și căptușeală interioară din beton armat. Pe sub DN1, execuția este de tip „cover & cut”, sub protecția unei incinte din coloane forate Ø1080 mm și a unui planșeu superior din beton armat. Structura a fost dimensionată cu modele plane cu elemente finite pe faze de execuție, iar deplasările terenului au fost evaluate cu modele tridimensionale.

Cuvinte cheie: subtraversare, umbrelă de țevi, coloane forate, căptușeală, cintre, torcret

Abstract

The paper presents the oblique underpass at km 7+513 of the DN1 national road and the Bucharest–Braşov railway, part of the “Complementary road access – A3 motorway connection Azuga–Bușteni” project. The 68.00 m long structure consists of two twin galleries, each 6.40 m wide, with a minimum clearance of 5.00 m. The cover is small: 3.10 m below the road level and 4.10 m below the rail level. The ground consists of sand with gravel in the upper part and of highly fissured grey clayey marl with 35% calcium carbonate content. Beneath the railway, the solution accepted by the railway administration is mined excavation under a Ø120 mm pipe umbrella, with a primary lining of shotcrete reinforced with steel ribs and a reinforced concrete final lining. Beneath DN1, the structure is built by the cover-and-cut method, protected by Ø1080 mm bored piles and a reinforced concrete top slab. The structure was designed with staged two-dimensional finite element models, and ground displacements were assessed with three-dimensional models.

Keywords: underpass, pipe umbrella, bored piles, tunnel lining, steel ribs, shotcrete

1. INTRODUCERE

Subtraversările căilor ferate şi ale drumurilor aflate în exploatare sunt printre cele mai pretenţioase lucrări subterane, deoarece trebuie executate fără întreruperea circulaţiei şi cu deplasări ale terenului suficient de mici pentru a nu afecta calea de deasupra.

Pe Valea Prahovei, DN1 şi calea ferată Bucureşti–Braşov ocupă un culoar îngust, între râul Prahova şi versanţi. Linia Câmpina–Predeal a fost dată în exploatare în 1879, iar tunelele Posada Mare, Posada Mic şi Buşteni de pe acest traseu au fost părăsite la dublarea liniei, în 1941. Varianta ocolitoare Azuga–Buşteni (Figura 1), cu lungimea de aproximativ 9,45 km, preia o parte din traficul de tranzit de pe DN1. Traseul ei se desfăşoară în cea mai mare parte pe stânga DN1, iar la km 7+513 trece pe sub DN1 şi pe sub calea ferată, printr-o subtraversare oblică.

În plan, structura este în aliniament. În profil longitudinal, primii 31,30 m se află pe o rază convexă R = 2704,36 m, iar ultimii 36,68 m sunt pe o rampă cu declivitatea de 0,95%. Din lungimea totală de 68,00 m, 32,00 m sunt pe sub calea ferată, iar 36,00 m pe sub DN1 şi pe zona dintre DN1 şi calea ferată.

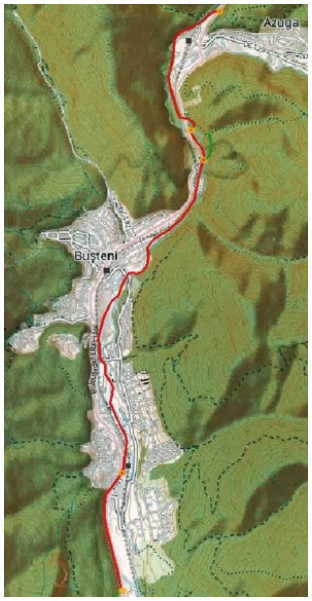


Figura 1. Traseul variantei ocolitoare Azuga–Buşteni

2. CONDIŢII GEOTEHNICE ŞI SEISMICE

Studiul geotehnic a pus în evidenţă, pe amplasament, două straturi: stratul 1, nisip cu pietriş, situat deasupra subtraversării, şi stratul 2, marnă argiloasă cenuşie, foarte fisurată, cu un conţinut de carbonat de calciu de 35%, în care sunt amplasate galeriile. Parametrii de calcul sunt daţi în Tabelul 1.

Tabelul 1. Valorile de calcul ale parametrilor geotehnici

Strat	γ [kN/m^3]	φ [°]	c [kPa]	E [kPa]	ν [–]
1 – nisip cu pietriș	22	45	1	33 500	0,27
2 – marnă argiloasă	22	25	60	40 000	0,30

Conform P100-1/2013, amplasamentul are valoarea de vârf a accelerației terenului pentru proiectare a_g = 0,25 g (IMR = 225 ani) și perioada de control a spectrului de răspuns T_C = 0,7 s.

3. SECȚIUNI TRANSVERSALE ȘI ALCĂTUIREA STRUCTURII

Structura este alcătuită din două galerii gemene (Figurile 2 și 3). Fiecare galerie asigură un gabarit minim de 5,00 m și o lățime de 6,40 m: 1,00 m trotuar de serviciu spre exterior, 4,90 m parte carosabilă și 0,50 m trotuar de serviciu spre interior, cu pantă transversală unică de 2,5%. Distanța de la extradosul structurii până la linia roșie a DN1 este de 3,10 m, iar până la niveleta căii ferate de 4,10 m.

Tipul de susținere a fost stabilit în funcție de metoda de execuție. Pentru a limita tasările căii ferate, pe această zonă s-au prevăzut țevi orizontale forate pe conturul exterior al galeriilor. Pe restul lungimii, execuția este de tip „cover & cut”, sub protecția unei incinte din coloane forate și a unui planșeu superior din beton armat.

Secțiunea tip 1 (sub calea ferată, Figura 2), cu lățimea totală de 16,90 m și înălțimea de 7,65 m, are susținere primară din țevi metalice Ø120 mm, căptușeală exterioară din beton torcretat de 35 cm, armată cu cintre metalice și plasă sudată, hidroizolație din folie PVC/PEHD și o căptușeală interioară din beton armat de 70 cm grosime, inclusiv radierul.

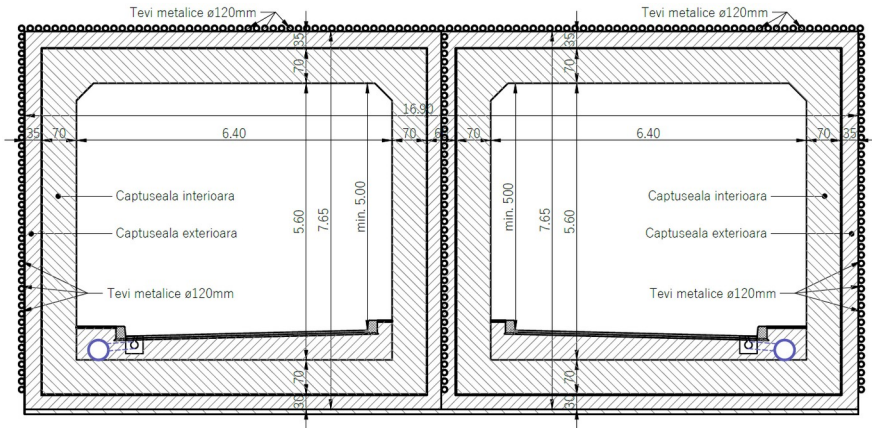


Figura 2. Secțiunea tip 1, pe sub calea ferată

Secțiunea tip 2 (sub DN1 și între DN1 și calea ferată, Figura 3), cu lățimea totală de 18,20 m și înălțimea de 7,20 m, are susținere primară din trei rânduri de coloane forate Ø1080 mm, L = 12 m, la 8,40 m interax (două rânduri laterale și

unul central), planşeu superior din beton armat de 80 cm, hidroizolaţie din folie PVC/PEHD, căptuşeală interioară din beton armat de 46 cm şi radier de 80 cm.

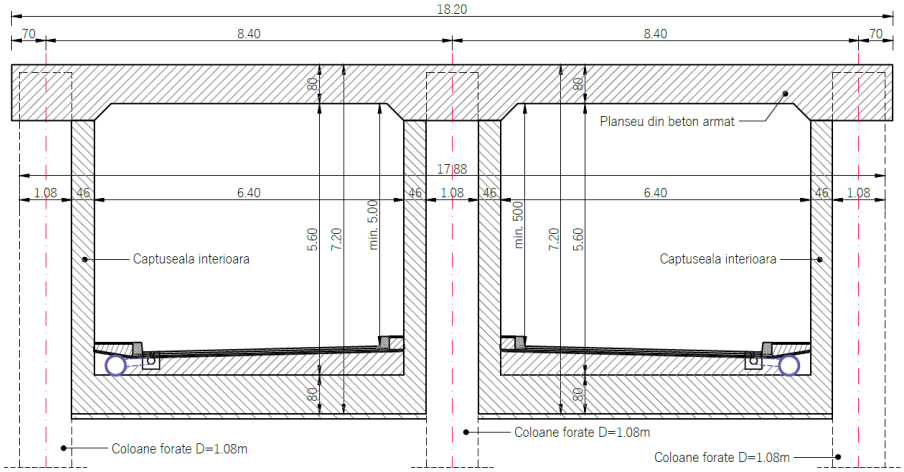


Figura 3. Secțiunea tip 2, pe sub DN1

4. TEHNOLOGIA DE EXECUȚIE

Din lungimea totală de 68,00 m, 32,00 m se execută în subteran, sub protecția umbrelei de țevi, pe sub calea ferată, iar restul de 36,00 m se execută la zi, în etape, pe sub DN1 (Figura 4); lungimile diferă între cele două galerii din cauza oblicității. Execuția este organizată în opt faze (Figurile 5 și 6).

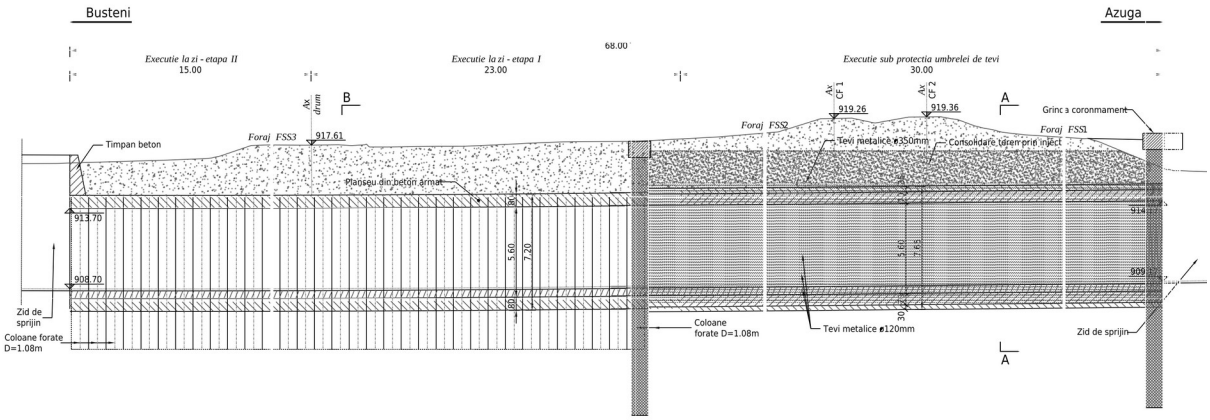


Figura 4. Secțiune longitudinală prin subtraversare

4.1. Zona de sub calea ferată (fazele 1–4)

În faza 1 se execută coloanele forate armate cu fibră de sticlă de la capetele zonei de sub calea ferată şi coloanele forate armate clasic de la rampa dinspre Azuga. Coloanele aflate la mai puțin de 5,00 m de axa căii ferate se execută cu linia de contact scoasă de sub tensiune. Coloanele ce urmează a fi demolate (cele

din front, pe zona de subtraversare a căii ferate) se armează, pe zona golului care se va realiza pentru excavație, cu armătură din fibră de sticlă, pentru ușurința spargerii acestora.

În faza 2 se forează și se betonează țevile metalice orizontale Ø120 mm pe sub calea ferată, pe conturul galeriilor.

În faza 3 se excavează prima galerie pe ploturi de maximum 1,00 m și se realizează căptușeala exterioară din beton torcretat cu cintre metalice. Hidroizolația și căptușeala interioară urmează frontul de excavare la 1,00–2,00 m, distanță stabilită în funcție de rezultatele monitorizării liniilor de cale ferată. În faza 4 se repetă aceleași operații pentru a doua galerie.

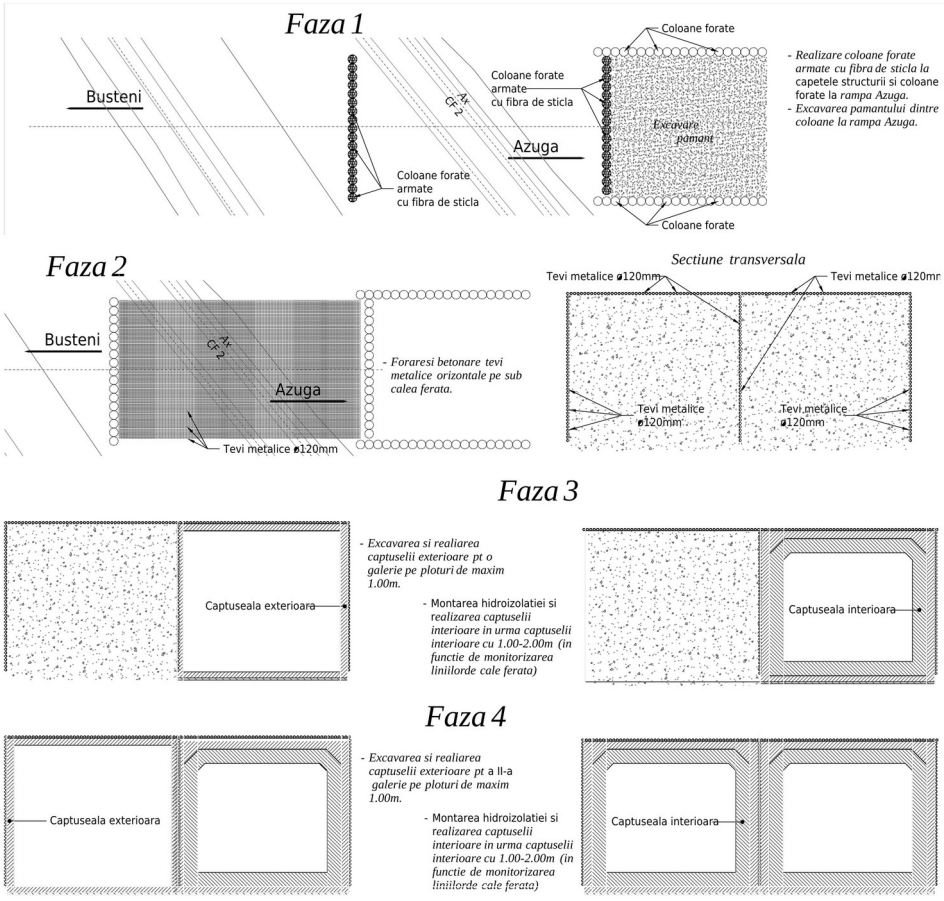


Figura 5. Fazele de execuție 1–4, zona de sub calea ferată

4.2. Zona executată la zi, sub DN1 (fazele 5–8)

În faza 5 se deviază circulația rutieră, se execută coloanele forate și planșeul superior pentru prima etapă, cu hidroizolația la partea superioară, și se reface umplutura peste planșeu.

În faza 6, devierea drumului se mută peste placa executată, se execută restul coloanelor, se finalizează planșeul și se reface umplutura.

În faza 7 se restabileşte traseul drumului, iar sub planşeu se excavează galeriile şi se execută hidroizolaţia şi căptuşeala interioară. În faza 8 se execută betonul de umplutură şi straturile căii pe toată structura, după care lucrarea se dă în exploatare.

Pentru rigidizarea structurii în zona de subtraversare a DN1 şi pentru asigurarea conlucrării dintre coloanele independente, acestea se unesc la partea superioară cu o grindă de coronament. Pentru sporirea siguranţei construcţiei de protecţie, aceasta se consolidează pe interior cu o căptuşeală de beton torcretat armat cu plasă sudată.

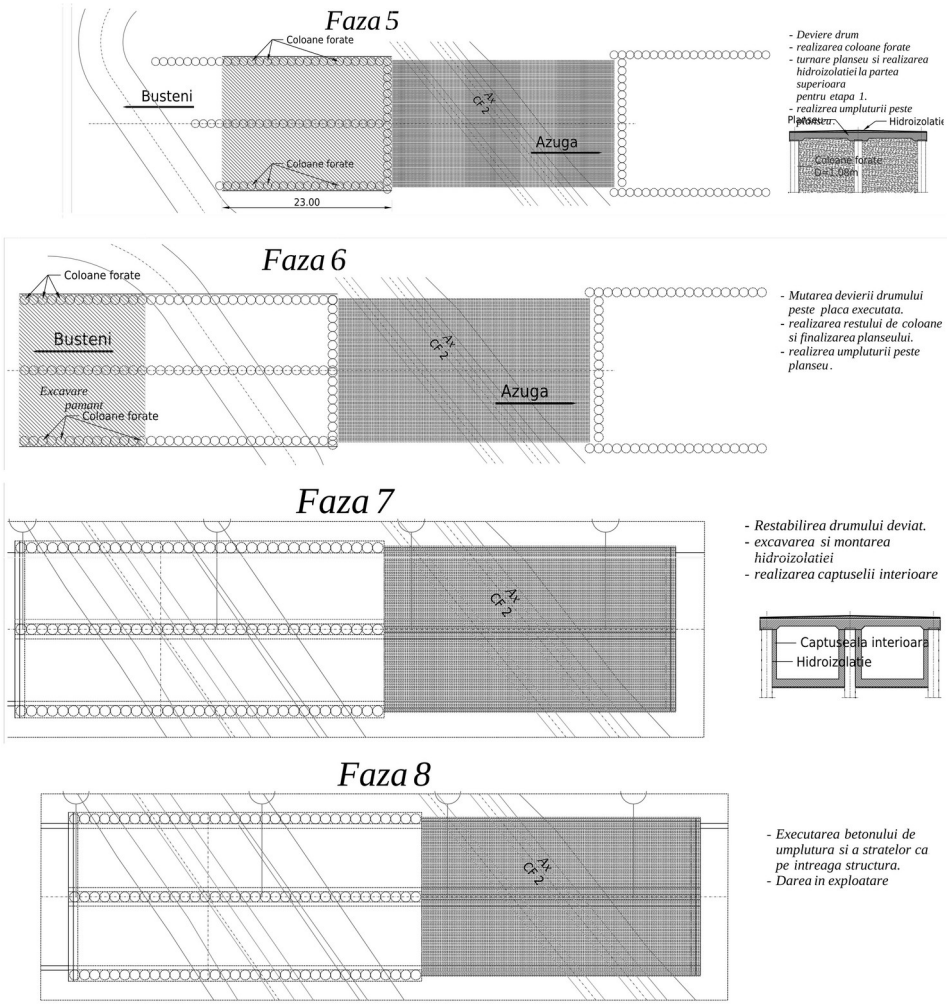


Figura 6. Fazele de execuţie 5–8, zona de sub DN1

5. CALCULUL STATIC ŞI DIMENSIONAREA SECŢIUNILOR

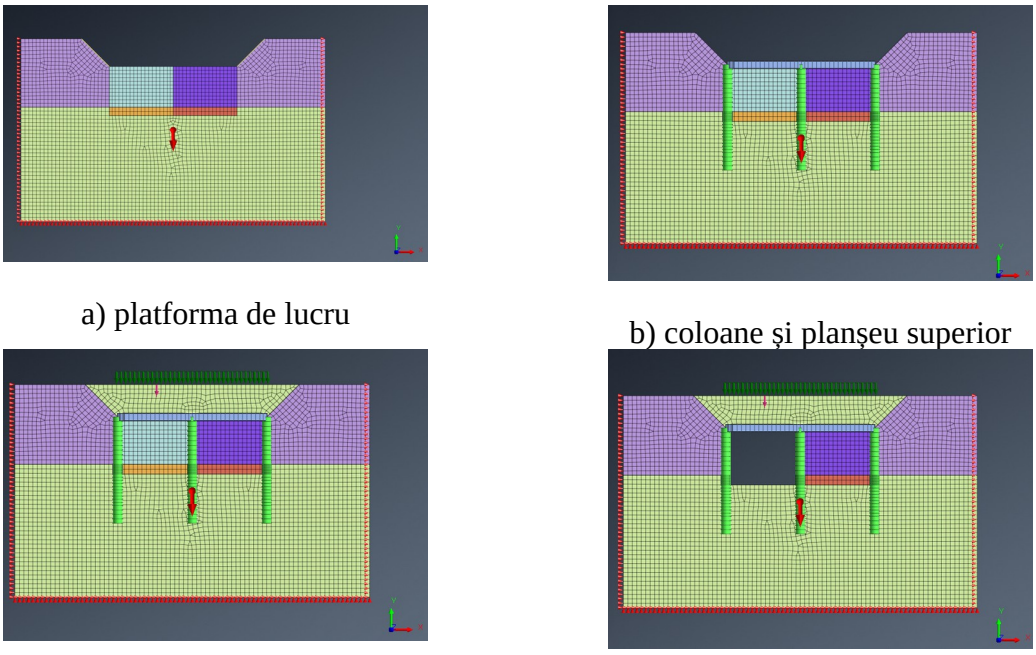
Eforturile secţionale au fost determinate cu modele plane cu elemente finite, pe faze de execuţie, în programul Midas GTS NX. Deplasările terenului, în special la nivelul căii ferate, şi eforturile din structură au fost verificate suplimentar cu modele tridimensionale în programul PLAXIS 3D.

Încărcările considerate sunt greutatea proprie, împingerea pământului, convoiul LM1 la nivelul DN1, convoiul LM71 la nivelul căii ferate şi acţiunea seismică. Pentru elementele structurale s-a considerat beton C30/37, cu E = $3{,}1 \cdot 10^7$ kN/m^2 şi ν = 0,2.

Căptuşelile exterioară şi interioară lucrează ca un sistem de susţinere combinat. În timp, o parte din încărcările susţinerii primare se transferă asupra căptuşelii interioare, prin degradarea ţevilor, a cintrelor şi a torcretului; de aceea, eforturile din căptuşeala interioară au fost majorate cu un coeficient suplimentar de 1,5.

5.1. Zona executată în sistem „cover & cut”

S-a folosit un model plan cu un domeniu de 24,00 m înălţime, 40,00 m lăţime şi 1,00 m grosime, cu fazele de calcul în ordinea de execuţie (Figura 7).



a) platforma de lucru

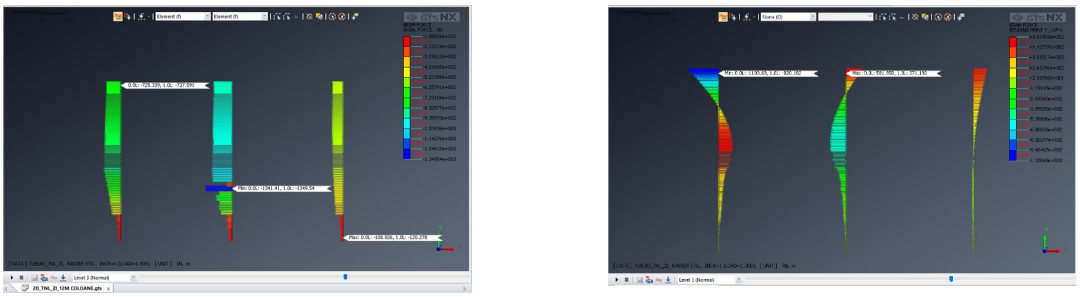
b) coloane şi planşeu superior

c) umplutură şi LM1 pe stânga

d) excavare pe stânga

Figura 7. Faze de execuţie modelate în zona „cover & cut”

Faza determinantă pentru coloane şi planşeu este executarea radierului şi a fundaţiilor pe partea stângă, când galeria din stânga este excavată, iar cea din dreapta este încă plină şi încărcată cu LM1 (Figura 8). Pentru radier, faza determinantă este excavarea pe partea dreaptă. Eforturile rezultate sunt date în Tabelul 2.



a) forța axială b) momentul încovoietor

Figura 8. Eforturi în coloane, faza „radier și fundații pe partea stângă”

Tabelul 2. Eforturi de proiectare, zona „cover & cut”

Element	M_{Ek} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
Coloane Ø1080 mm, L = 12 m	1101	1486
Planșeu superior	1161	1568
Radier 80 cm	361	488

5.2. Zona de galerii sub umbrela de țevi

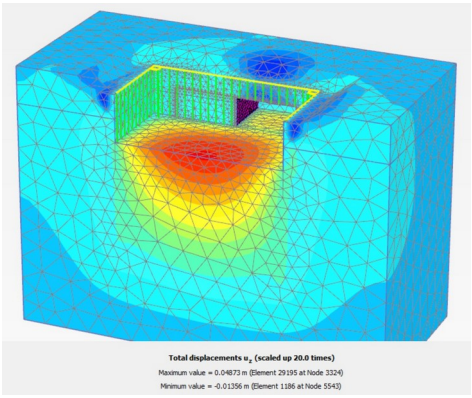
S-a folosit un model plan cu un domeniu de 31,10 m înălțime, 56,80 m lățime și 1,00 m grosime. Căptușeala exterioară a fost verificată la compresiune excentrică și forță tăietoare, iar căptușeala interioară a fost dimensionată la eforturile majorate (Tabelul 3).

Tabelul 3. Eforturi de calcul, zona umbrelei de țevi

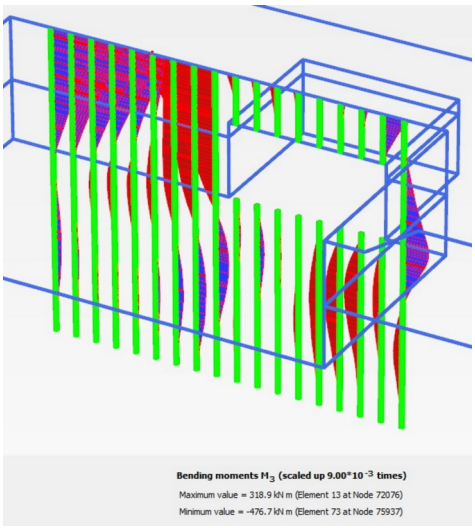
Element	N [kN]	V [kN]	M_{max} [kNm]
Căptușeală exterioară – perete	633	230	518
Căptușeală exterioară – planșeu	300	550	518
Căptușeală interioară 70 cm	1701	120	1398

5.3. Modele tridimensionale

În zona incintei (Figura 9), deplasarea verticală maximă este ridicarea fundului săpăturii, de 48,7 mm, iar tasarea maximă a terenului din spatele coloanelor este de 13,6 mm. În coloane, momentul M_3 variază între –476,7 și +318,9 kNm, momentul M_2 între –267,5 și +50,2 kNm, iar forța axială între –751,9 kN (compresiune) și +394,1 kN.



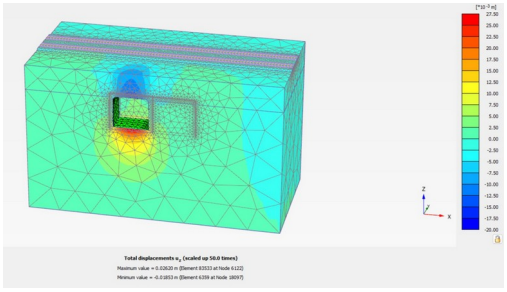
a) deplasări verticale u_z



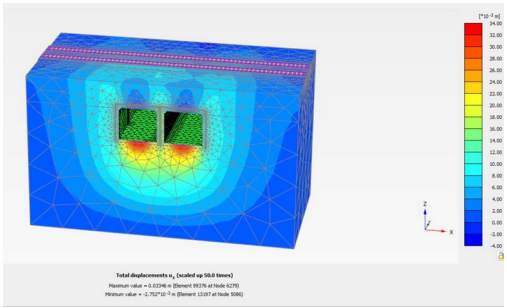
b) moment încovoietor M_3 în coloane

Figura 9. Incinta de coloane forate: deplasări și eforturi

Sub calea ferată, faza cea mai defavorabilă este cea intermediară, cu o singură galerie excavată (Figura 10a). Tasarea maximă, de 18,5 mm, apare deasupra cheii galeriei excavate și se atenuează spre suprafață; la nivelul căii, tasările sunt de ordinul 2,5–5 mm. După excavarea ambelor galerii (Figura 10b), tasarea maximă din model scade la 2,8 mm, iar deplasarea predominantă este cea a terenului de sub radier, de 33,5 mm, prin descărcare. Aceste deplasări trebuie urmărite și monitorizate conform unei anexe de monitorizare. Constructorul trebuie să fie pregătit să intervină asupra susținerii primare în momentul în care deplasările din teren se apropie de cele calculate.



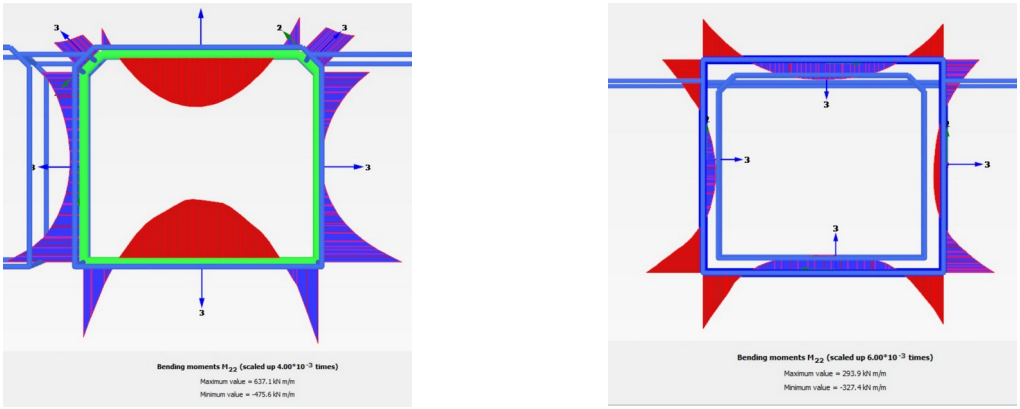
a) o galerie excavată



b) ambele galerii excavate

Figura 10. Deplasări verticale u_z ale terenului în zona căii ferate

Momentele încovoietoare din căptușeli obținute în modelele 3D (Figura 11) sunt de același ordin de mărime cu cele din modelele plane. Valoarea maximă, 637,1 kNm/m, apare în căptușeala interioară a secțiunii tip 1 și este apropiată de valoarea caracteristică de 690 kNm/m din modelul plan.



a) căptușeala interioară, tip 1 b) căptușeala exterioară, tip 1

Figura 11. Momente încovoietoare M_{22} în căptușeli (model 3D)

6. CONCLUZII

Subtraversarea de la km 7+513 combină două metode de execuție pe aceeași structură, alese după constrângerile fiecărei zone. Sub calea ferată, umbrela de țevi Ø120 mm, excavarea în pași și susținerea imediată cu cintre și torcret permit execuția fără întreruperea circulației trenurilor, cu o acoperire de numai 4,10 m. Sub DN1, metoda „cover & cut” pe jumătăți de secțiune permite redarea rapidă a circulației rutiere și continuarea lucrărilor sub planșeu.

Modelarea pe faze arată că fazele intermediare, cu o singură galerie excavată, sunt determinante atât pentru eforturile din coloane și planșeu, cât și pentru tasările căii ferate. Modelele 3D confirmă ordinul de mărime al eforturilor din modelele plane și permit evaluarea directă a deplasărilor căii, necesară pentru acceptarea soluției de către administratorul infrastructurii feroviare.

Pentru rigidizarea structurii (zona de subtraversare a DN) și asigurarea conlucrării dintre coloanele independente, acestea au fost solidarizate la partea superioară cu o grindă de coronament.

Coloanele ce urmează a fi demolate (cele din front, pe zona de subtraversare C.F.), pe zona golului care se va realiza pentru excavație, se armează cu armătură din fibră de sticlă, pentru ușurința spargerii acestora.

BIBLIOGRAFIE

[1]. GH. EFTIMIE TOMI: *„Istoricul tunelelor feroviare din România”*, manuscris.

[2]. SR EN 1991-2: *„Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”*, ASRO, București, **2004**.

[3]. DB NETZ AG: *„Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten”*, **2002**.

[4]. ASOCIEREA SC CONI SRL, SC DRUM POD INVEST SRL, SC GOTT STRASSE SRL, SC PERFECT CONSULT EUROPE SRL, AUTOMAGISTRAL PIVDEN SRL, NVO TRANSINZHINIRYNG SRL: *„Acces rutier complementar descărcare A3 Azuga–Bușteni – Proiect tehnic de execuție, Tronson 2”*.

SECȚIUNEA D.
MESAJUL STUDENȚILOR

★ 1881 – 2026 ★

CENTRUL DE RELAȚII INTERNAȚIONALE AL UTCB ȘI INTERNAȚIONALIZAREA FACULTĂȚII DE CĂI FERATE, DRUMURI ȘI PODURI

Alexandra-Estefania Brănescu, studentă, master Ingineria Infrastructurii Transporturilor (IIT), anul I, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: alexandra-estefania.branescu@student.utcb.ro
Alexia-Maria Radu, studentă, master Ingineria Infrastructurii Transporturilor (IIT), anul II, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții din București, e-mail: alexia-maria.radu@student.utcb.ro

1. INTRODUCERE

Centrul de Relaţii Internaţionale (CRI) este structura Universităţii Tehnice de Construcţii din Bucureşti (UTCB) care coordonează participarea universităţii la programele de mobilitate şi de cooperare internaţională: informarea şi selecţia candidaţilor, acordurile interinstituţionale, documentele de mobilitate şi consilierea studenţilor.

Prin Erasmus+, programul Uniunii Europene, studenții pot efectua mobilități de lungă durată, de studii sau de practică, și mobilități de scurtă durată, dintre care se remarcă programele intensive mixte (*Blended Intensive Programme*, BIP): 5-30 de zile de prezență fizică, combinate cu o componentă online, cel puțin 3 credite ECTS și cel puțin 3 instituții din 3 țări.

EU-CONEXUS este alianța a 9 universități europene: Technical University of Civil Engineering Bucharest (UTCB), La Rochelle Université, Agricultural University of Athens, Klaipėda University, Catholic University of Valencia, University of Zadar, South East Technological University (SETU), University of Rostock și Frederick University. Alianța are ca temă sustenabilitatea urbană și costieră. Studenții de licență pot urma programe Minor de 30 ECTS, formate din 5 cursuri de câte 6 credite, de la cel puțin 3 universități ale alianței: *Blue Economy and Growth* și *Coastal Development and Sustainable Maritime Tourism*. Alianța mai oferă micro-certificări online de 1 credit ECTS, proiecte studențești, festivaluri culturale și sportive, Student Board și Rețeaua de ambasadori (*Students Ambassadors Programme*).

Între anii universitari 2021-2022 şi 2025-2026, evidenţele CRI înregistrează 20 de mobilităţi Erasmus+ ale studenţilor FCFDP, realizate de 18 studenţi: 14 programe intensive mixte, 5 mobilităţi de studii şi 1 mobilitate scurtă în cadrul programului Minor. Împreună cu activităţile desfăşurate în cadrul alianţei şi al altor iniţiative europene, studenţii facultăţii însumează 37 de mobilităţi şi participări în 10 ţări (Figura 1 şi Figura 2).

Facultatea a contribuit şi la oferta academică a alianţei: în semestrul al II-lea din 2020-2021, echipa coordonată de conf. univ. dr. ing. Adrian Burlacu a predat disciplina *Sustainable Transport Engineering for Coastal Region*, la care s-au înscris 14 studenţi din alianţă. Între 2022-2023 şi 2025-2026, studenţii FCFDP au totalizat 49 de înscrieri la Minor, iar 4 dintre ei au finalizat 6 programe complete, cu discipline precum *Coastal Zone Management* (Klaipėda University), *Aquaculture* (Agricultural University of Athens) sau *Natural Hazards in Coastal Regions* (UTCB). În 2025-2026, 6 studenţi s-au înscris la 13 micro-certificări, iar 4 dintre acestea au fost promovate.

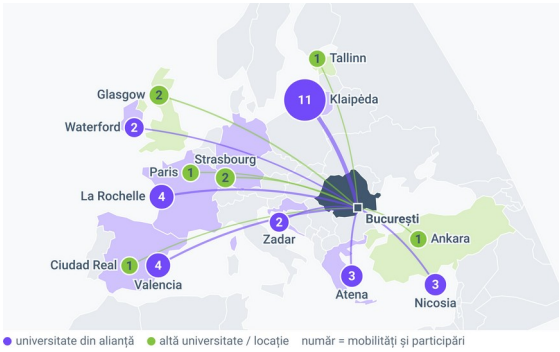


Figura 1. Orașele gazdă ale mobilităților și activităților studenților FCFDP

Activităţile din cadrul alianţei au inclus mobilităţi fizice în cadrul programelor Minor şi un proiect studenţesc, în La Rochelle; Festivalul EU-CONEXUS din Limassol (mai 2025) şi proiectul studenţesc *Taste EU-CONEXUS*, în Cipru; festivalul sportiv din Zadar; Student Board, găzduit de SETU în Waterford (2024-2025); European Student Assembly, în Strasbourg (2023 şi 2024). În Klaipėda, echipe ale facultăţii au obţinut locul 3 la Portathon, hackathon dedicat tehnologiilor portuare, în 2025 şi în 2026. Facultatea are 2 reprezentanţi în Reţeaua de ambasadori.

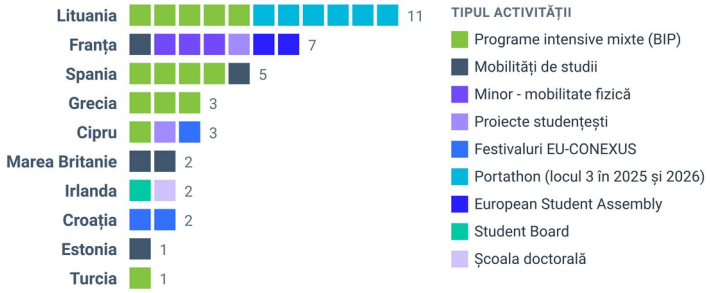


Figura 2. Mobilitățile și participările studenților FCFDP, pe țări

2. EXPERIENȚELE STUDENȚILOR

Cifrele de mai sus sunt completate de experiențele studenților, prezentate în continuare după tipul de activitate.

2.1. Mobilități de studii

Vlad Șoavă

Mobilitate Erasmus+ de studii · Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, Spania · 2023-2024 (5 luni)



Experiența Erasmus+ pe care am trăit-o în Ciudad Real, Spania, timp de 5 luni, în perioada 2023-2024, a fost una dintre cele mai speciale experienţe din viaţa mea.

Deşi Ciudad Real este un oraş mic, mi-a plăcut foarte mult atmosfera de acolo. Fiind un oraş universitar, era mereu plin de tineri şi aveai tot timpul ceva de făcut. În plus, faptul că Madrid se afla la doar o oră distanţă cu trenul a fost un mare avantaj, ajungând acolo de cel puţin 6 ori pe parcursul mobilităţii.

Pe lângă experienţa din mediul universitar, care mi-a oferit ocazia să descopăr alte metode de predare şi un mediu de studiu diferit, cel mai mult am simţit că am crescut pe plan personal. Am plecat singur într-o ţară străină, iar asta mi-a dat mai multă încredere în mine şi m-a ajutat să devin mai independent şi mai deschis către lucruri noi.

Am cunoscut oameni din peste 10 ţări, am locuit cu un turc, un spaniol şi un american şi am participat la o mulţime de activităţi şi excursii alături de ceilalţi studenţi Erasmus. Amintirile create în acele 5 luni sunt lucruri pe care le voi păstra mereu.

Sunt recunoscător că am avut parte de această oportunitate, că am cunoscut atât de mulţi oameni şi că am descoperit şi mai mult Spania, ţara mea preferată. Dacă aş mai avea ocazia, aş repeta experienţa fără să stau pe gânduri şi i-aş încuraja pe toţi studenţii să profite de o astfel de şansă!

Elisei Cojan

Mobilitate Erasmus+ de studii · University of Strathclyde, Glasgow, Scoția · toamna 2024



În toamna anului 2024 am petrecut un semestru, prin programul Erasmus+, la Universitatea Strathclyde din Glasgow, Scoția. A fost una dintre cele mai valoroase experiențe din parcursul meu academic.

Cursurile m-au ajutat să privesc structurile mai larg. Am învățat să țin cont de incertitudine și de fiabilitate în proiectare. La cursul de Geographical Information Systems am învățat să realizez hărți și să analizez date spațiale. Am văzut și cum ingineria poate răspunde unor probleme globale, de la accesul la apă până la dezvoltarea comunităților vulnerabile.





Cel mai mult mi-a plăcut cursul de Advanced Structural Analysis and Sustainable Design, nu doar datorită conținutului, dar și datorită doamnei profesoare Olga Bylya, cu care am avut o relație foarte bună. La acest curs am învățat să programez în MATLAB și să dezvolt propriile programe de calcul cu element finit. Doamna profesoară mi-a dat și ideea pentru lucrarea de disertație, dedicată optimizării cu algoritmi genetici a podurilor metalice cu zăbrele. M-a sprijinit apoi și pe parcursul elaborării ei alături de domnul profesor îndrumător de la FCFDP. Competențele dobândite atunci îmi sunt de mare folos și în elaborarea tezei mele de doctorat despre stabilitatea podurilor metalice cu arce.

A fost foarte interesant să văd cum funcționează sistemul de învățământ scoțian. Accentul cade mult pe protecția mediului și pe sustenabilitate. Acestea nu sunt tratate ca un capitol separat, ci ca un criteriu prezent în fiecare decizie de proiectare.

Pe plan personal, mi-a făcut o reală plăcere să cunosc studenți din numeroase țări, să lucrez alături de ei la proiecte, să petrecem nopți greu de uitat și să legăm prietenii care nu s-au terminat după finalizarea programului Erasmus.

Recomand oricărui student să participe la o mobilitate internațională. Te întorci cu multe cunoștințe și experiențe, dar cel mai fain lucru este faptul că

pentru câteva luni trăiești o cu totul altă viață, deconectat de la problemele de acasă, într-un oraș în care nu te cunoaște nimeni și unde poți fi cine vrei tu să fii.

2.2. Program de dublă diplomă

Oana Tudor

Dublă diplomă UTCB - École nationale des ponts et chaussées (ENPC), Paris, Franța · 2 ani



Mă numesc Oana Tudor și am absolvit studiile de licență la Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri din cadrul Universității Tehnice de Construcții București. Ulterior, am urmat în paralel studiile de master la aceeași facultate, la specializarea IIT, și la École nationale des ponts et chaussées (ENPC), în Paris, în cadrul programului de dublă diplomă. Acesta presupune parcurgerea a 2 programe de master, unul la UTCB și unul la o instituție parteneră din străinătate. În cazul meu, studiile la ENPC au durat 2 ani.

Cursurile erau completate de activități practice și vizite pe șantier. În primul an, am avut o săptămână dedicată acestor activități, iar în al doilea an, 2 săptămâni. Am vizitat șantiere de infrastructură, inclusiv lucrări pentru noile tuneluri ale liniilor de metrou, dar și șantiere de clădiri de birouri și proiecte

pentru companii precum Decathlon. Am putut urmări direct cum se desfășoară lucrările și cum se leagă deciziile de proiectare de etapele de execuție.



În cadrul atelierelor am realizat arcade din piatră, am lucrat cu materiale sustenabile pentru tencuieli și am descoperit folosirea betonului în construcții prin imprimarea 3D. În laboratoare, am lucrat cu aparatură modernă și am văzut cum pot fi testate materialele și soluțiile constructive. Aceste activități au făcut ca noțiunile teoretice să capete o dimensiune concretă.

Am simțit o diferență între formarea pe care o urmasem în România și abordarea întâlnită la ENPC. Din experiența mea, cursurile insistau mult pe bazele teoretice, mai ales pe mecanică și dinamica structurilor. Nivelul de abstractizare putea fi dificil, iar o parte dintre colegii francezi veneau din clase pregătitoare (prépa), cu o pregătire matematică foarte solidă. Mulți dintre studenții internaționali, inclusiv eu, eram mai obișnuiți să ne apropiem de inginerie prin aplicații și exemple practice.

Examenele ne cereau să analizăm situații noi și să construim soluții pornind de la conceptele teoretice, nu doar să reproducem exercițiile făcute la curs. Uneori mi s-a părut frustrant, dar experiența m-a învățat să caut răspunsuri în surse diferite, să descompun problemele dificile și să găsesc o cale de lucru atunci când nu aveam un model direct de urmat.



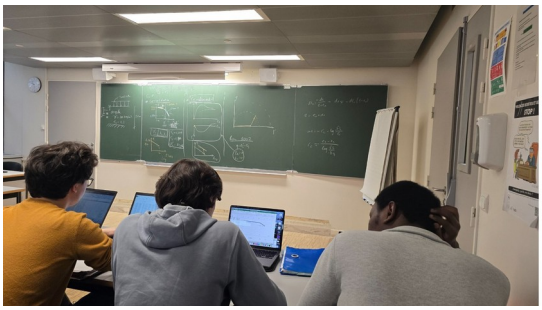


Școala ne punea la dispoziție licențe pentru programe de specialitate și acces fizic și electronic la Eurocoduri, norme naționale din mai multe țări europene, cărți, documentații tehnice, lucrări de cercetare, teze de master și de doctorat, manuale și ghiduri. Aceste resurse erau importante atât pentru cursuri, cât și pentru proiectele și lucrările noastre.

Lucrarea mea de final de studii a fost dedicată realizării unor pasarele din piatră precomprimată prin post-tensionare. A fost un subiect dificil, deoarece literatura de specialitate disponibilă era limitată. A trebuit să caut informații din surse diferite și să construiesc treptat o abordare proprie. Lucrarea este destinată să devină o lucrare științifică publicată sub egida școlii, oferindu-ne o primă experiență de prezentare și publicare a rezultatelor, utilă pentru viitoare articole științifice.

Toate cursurile și examenele se desfășurau în franceză, așa că însușirea limbii era esențială. ENPC ne oferea cursuri de limba franceză, iar la începutul celui de-al doilea an organiza gratuit examenul TCF. Pentru obținerea diplomei era necesar un nivel de cel puțin B2 la acest examen. Programul includea și cursuri de limbi străine pentru studenții francezi și internaționali, cu posibilitatea de a alege dintre limbi precum engleza, portugheza, spaniola, japoneza, rusa, araba, chineza sau italiana.

Am apreciat autonomia în organizarea parcursului academic. La începutul fiecărui an primeam lista cursurilor obligatorii și opționale și ne puteam construi propriul orar; orarul și sălile erau disponibile online. Sălile de curs, amfiteatrul, biblioteca și viața de campus m-au ajutat să mă integrez și să leg prietenii cu studenți francezi și internaționali.




Târgurile de joburi ne puneau în legătură cu angajatori și ne ajutau să găsim stagiile obligatorii. Puteam opta pentru un stagiu scurt, de aproximativ 3 luni, sau pentru un parcurs mai lung, cu 2 stagii de câte 4 până la 6 luni, însumând minimum 10 luni și, în unele cazuri, până la 12, în funcție de contract și disponibilitate. Stagiile puteau fi realizate oriunde în lume. Eu am făcut stagiul de finalizare a studiilor la NGE Ingénierie, unde am lucrat la tema lucrării mele.

Privind în urmă, cei 2 ani petrecuți la ENPC au fost o perioadă intensă de învățare și dezvoltare. M-au ajutat să-mi consolidez pregătirea inginerească, să mă adaptez la un alt sistem universitar și să capăt mai multă încredere în capacitatea mea de a lucra într-un mediu internațional. Am plecat cu experiențe practice, cunoștințe, prietenii și amintiri pe care le voi păstra cu drag, dar și cu o perspectivă mai largă asupra profesiei de inginer.





2.3. Programe din cadrul alianței EU-CONEXUS

Radu Răceanu

Programe EU-CONEXUS · Université de La Rochelle, Franța · 2023-2024



Participarea la mobilitățile internaționale a pornit din dorința de a descoperi locuri și culturi noi, de a acumula experiențe, amintiri frumoase și abilități utile pentru viitor. Dintre toate destinațiile, La Rochelle a rămas preferata mea, datorită peisajului său de coastă, atmosferei relaxante și liniștii pe care o oferă. Mi-a plăcut în mod deosebit echilibrul dintre activitatea academică și timpul dedicat studiului individual, într-un mediu în care învățarea se desfășura natural, prin cursuri interactive și workshop-uri. Un alt aspect care m-a impresionat a fost multiculturalitatea, care mi-a oferit ocazia să descopăr perspective diferite și să cunosc oameni deosebiți, fără ca diferențele culturale să devină bariere. Dincolo de cunoștințele dobândite, aceste experiențe mi-au oferit mai multă încredere în mine, prietenii noi și curajul de a explora noi orizonturi. Sfatul meu pentru studenții care se gândesc să participe la o mobilitate? Nu sta pe gânduri, doar pleacă! Sunt experiențe unice, din care ai enorm de învățat, iar oamenii pe care îi vei întâlni sunt, la rândul lor, acolo pentru a descoperi, a învăța și a se bucura de aceeaşi aventură.

Pitiș Massimo-Cristian

Programe EU-CONEXUS și Erasmus+




Această internaționalizare a mea poate fi împărțită în 2 subdiviziuni:
- EU-CONEXUS;
- Erasmus.

Motivul pentru fiecare este destul de similar, o dorință de a vedea cum se fac lucrurile într-un context străin, iar pentru EU-CONEXUS a fost și obținerea diplomei de absolvire a programului.

Mi-au plăcut mai multe lucruri, precum colegii mei pe care i-am avut în aceste programe, mai ales când am avut mobilități fizice. Un alt lucru ar mai fi diversele subiecte despre care s-a discutat precum aquaculture-ul, resursele regenerabile și turismul sustenabil.

Cea mai clară diferență a fost modul în care a fost realizată internaționalizarea EU-CONEXUS, aceasta fiind majoritar online, aducând toate beneficiile și dezavantajele unui astfel de sistem.

În Erasmus, diferența cea mai mare, mai mult a fost una în domeniul personal, trăind singur într-o țară străină a avut anumite dificultăți, dar a fost o provocare pe care am acceptat-o.

Ca un punct final, pot spune retrospectiv că acești ani au fost mai interesanți făcând aceste programe internaționale, rezultând într-o înțelegere crescută a sistemului european și într-o apreciere a altor perspective în legătură cu modalități de învățământ.

2.4. Portathon, Klaipėda

În 2025, studentele Alexandra-Estefania Brănescu şi Alexia-Maria Radu au obţinut locul 3 la Portathon cu FutureFlow, o platformă integrată de mobilitate, concepută pentru a schimba obiceiurile zilnice de deplasare din comunitatea Zonei Economice Libere (FEZ) Klaipėda. Soluţia combină gamificarea, asocierea curselor şi a traseelor cu ajutorul inteligenţei artificiale şi un sistem de recompense pe mai multe niveluri, susţinut de angajatori. Angajaţii pot alterna uşor între mersul pe jos, bicicletă, transportul public şi transportul în comun cu autoturismul (*carpooling*), iar platforma asigură încredere şi transparenţă prin urmărire avansată, funcţii de siguranţă şi mecanisme de prevenire a fraudei.







Rezultatul a fost reconfirmat în 2026, la ediţia din septembrie, de o nouă echipă a facultăţii.

Participarea echipei FCFDP, formată din studenţii Teodora-Maria Buzea, Alexandru-Daniel Miron, Raul Popa şi Luca Ene, la competiţia internaţională Portathon 2026, desfăşurată în Klaipėda, Lituania, a reprezentat o experienţă profesională şi academică deosebită. În cadrul competiţiei, desfăşurată pe parcursul a 48 de ore, participanţii au colaborat cu specialişti din diferite ţări pentru identificarea unor soluţii inovatoare la provocări reale din domeniul portuar şi logistic.

Proiectul dezvoltat de echipă a valorificat potenţialul hidrogenului produs în Portul Klaipėda, pentru care studenţii au găsit o oportunitate de utilizare în transportul feroviar. Soluţia propusă a constat în implementarea unei locomotive de manevră alimentate cu hidrogen, având ca model de referinţă locomotiva Stadler HH20, fiind însoţită de elaborarea unui plan de afaceri care a demonstrat fezabilitatea tehnică şi economică a conceptului.

Datorită caracterului inovator al proiectului și calității soluției prezentate, echipa FCFDP a obținut locul al III-lea, concurând alături de 18 echipe participante. Rezultatul confirmă nivelul de pregătire al studenților Facultății de Căi Ferate, Drumuri și Poduri și contribuția activităților de mobilitate internațională la dezvoltarea competențelor profesionale și interdisciplinare.



Teodora-Maria Buzea

Portathon 2026 · Klaipėda, Lituania · septembrie 2026

„Portathon 2026 a fost prima ediție la care am participat. Dincolo de performanța obținută, care ne-a bucurat pe toți, această experiență m-a ajutat să ies din zona de confort și să înțeleg mai bine importanța cooperării la nivel european. Pe parcursul competiției, am avut ocazia să îmi dezvolt abilitățile de lucru în echipă, de comunicare și de gestionare a timpului într-un mediu dinamic și multicultural. Totodată, am învățat să abordez probleme complexe din perspective diferite. Am rămas cu amintiri frumoase, contacte valoroase și o

motivație și mai mare de a mă implica, pe viitor, în proiecte internaționale din cadrul EU-CONEXUS.”

Alexandru-Daniel Miron

Portathon 2026 · Klaipėda, Lituania · septembrie 2026

„Participarea la Portathon 2026 a fost o experiență unică, care m-a ajutat să mă dezvolt atât pe plan personal, cât și profesional. Pe parcursul celor 48 de ore de concurs, am învățat ce înseamnă cu adevărat munca în echipă și identificarea de soluții rapide într-un mediu multicultural. Proiectul nostru - dezvoltarea unei locomotive de manevră alimentate cu hidrogen - ne-a provocat să găsim echilibrul perfect între rigoarea tehnică și fezabilitatea economică, iar obținerea locului al III-lea a reconfirmat valoarea ideilor noastre. Dincolo de premiu, am dobândit abilități solide de colaborare sub presiune, o viziune mai clară asupra domeniului feroviar și o încredere sporită pentru viitoarele provocări din carieră.”

Raul Popa

Portathon 2026 · Klaipėda, Lituania · septembrie 2026

„Experiența Erasmus mi-a oferit ocazia să îmi descopăr și să îmi dezvolt abilitățile de comunicare și negociere. Un rol decisiv l-a avut concursul Portathon. În cadrul acestuia, am descoperit că pot găsi soluții inovatoare pentru probleme de interes internațional, sub presiunea unui termen limită strict. Apoi, am prezentat aceste soluții în fața unei comisii formate din specialiști cu o vastă experiență în domeniu, iar echipa noastră a obținut locul 3.

Dincolo de latura academică, am cunoscut oameni din numeroase colțuri ale lumii, alături de care am legat conexiuni valoroase. Totodată, am vizitat câteva dintre cele mai importante atracții turistice ale Lituaniei, precum orașul Klaipėda și Muzeul Amber din Palanga.”

2.5. Activităţi studenţeşti în cadrul alianţei

Alexandra-Estefania Brănescu

Erasmus+ BIP, Nicosia · Minor EU-CONEXUS, Atena şi La Rochelle · European Student Assembly, Strasbourg · Congresul IamSTUDENT şi Festivalul EU-CONEXUS, Limassol





„În ingineria infrastructurii, o lucrare este apreciată după ceea ce reuşeşte să conecteze. Cred că acelaşi criteriu se aplică şi experienţelor internaţionale: valoarea lor nu stă în numărul de ţări parcurse, ci în legăturile pe care le creează între discipline şi între oameni.

Primul meu contact cu mediul academic internaţional a fost un program de tip BIP, organizat de Frederick University în Nicosia şi axat pe dreptul şi etica în era digitală. Deşi tema părea îndepărtată de domeniul meu, programul mi-a consolidat convingerea că deciziile tehnice nu pot fi separate de cadrul legal şi etic în care sunt aplicate. Programele Minor EU-CONEXUS, finalizate cu mobilităţi la Agricultural University of Athens (*Aquaculture*) şi la La Rochelle Université (*Entrepreneurship and Innovation around Sustainable Tourism*), mi-au oferit apoi ocazia de a lucra alături de studenţi din domenii diferite de al meu şi de a analiza dezvoltarea zonelor costiere dincolo de soluţia tehnică.



O altă formă a acestui dialog am întâlnit-o la European Student Assembly, găzduită de Parlamentul European la Strasbourg. Propunerile elaborate împreună cu studenți din alte universități europene au fost dezbătute și supuse votului. Am înțeles astfel că o idee capătă greutate abia atunci când poate fi argumentată și asumată de persoane cu priorități diferite. Totodată, am conștientizat responsabilitatea pe care o presupune reprezentarea propriei comunități academice.





Implicarea în organizarea Congresului IamSTUDENT, desfășurat în 2025 la Limassol, în paralel cu Festivalul EU-CONEXUS, mi-a schimbat poziția: din participant, am devenit parte a echipei care construiește activitatea. Am înțeles atunci câtă planificare și organizare stau în spatele unui eveniment internațional.

Ulterior, am ajuns să contribui la coordonarea unor activități ale alianţei şi la evaluarea rezultatelor obținute, precum și a direcțiilor în care acestea pot fi îmbunătățite.



Privind în urmă, înțeleg că aceste experienţe mi-au schimbat perspectiva asupra oamenilor şi asupra propriei profesii. Contactul cu alte culturi m-a învăţat că dialogul presupune să accepţi diferenţa fără a renunţa la propriile convingeri şi că rezultatele durabile se construiesc prin încredere şi prin obiective asumate în comun. Pentru studenţii care iau în considerare o mobilitate, cred că primul pas

este cel mai important, pentru că fiecare experiență o deschide pe următoarea. În inginerie, ca și în societate, capacitatea de a construi împreună începe cu disponibilitatea de a ne înțelege reciproc.”







Alexia-Maria Radu

Student Board și Academic Council EU-CONEXUS · Adunarea Europeană a Studenților, Strasbourg, 2023







Experiențele internaționale mi-au redefinit perspectiva asupra reprezentării și responsabilității colective. Fiecare a adăugat o dimensiune nouă.

Parcursul meu internațional a început la Zadar, la competiția sportivă, unde colaborarea dintre studenții alianței a contat mai mult decât rezultatul. Debathon on Civic Engagement, din Valencia, a reunit aproximativ 30 de participanți din universitățile EU-CONEXUS și de la Université Bordeaux Montaigne, care au dezbătut serviciul militar obligatoriu, politicile de migrație ale Uniunii Europene și responsabilitatea cetățenilor pentru sustenabilitatea locală; acolo am învățat să susțin o poziție cu argumente și să o ascult pe cea opusă. Prin programul Minor, în La Rochelle, am studiat alături de colegi din universități partenere. În Cipru, în cadrul proiectului Taste EU-CONEXUS, propus și organizat de studenți, am învățat să prezint o cultură prin gastronomie și să duc o idee de la concept la realizare.

Ca membră a Student Board, am reprezentat vocea studenților, inclusiv la întâlnirea Academic Council găzduită de South East Technological University, în Irlanda, dedicată ofertei academice a alianței, structurii și performanței ei, cu accent pe asigurarea calității. Cea mai specială a fost Adunarea Europeană a Studenților de la Strasbourg: printre cei 230 de studenți aleși, am urmărit cum o inițiativă este propusă, dezbătută și votată în Parlamentul European și mi-am dat seama că o poziție comună se construiește prin ascultare, argumentare și compromis.



Am înțeles că a contribui la o comunitate înseamnă, înainte de toate, să îi înțelegi diversitatea, să creezi spațiu pentru perspective diferite și să transformi dialogul în direcție comună. Această înțelegere îmi influențează și raportarea la profesia de inginer: infrastructura conectează teritorii, însă valoarea ei reală se măsoară prin capacitatea de a răspunde nevoilor oamenilor. Dincolo de competența tehnică, rămâne responsabilitatea de a construi cu sens, pentru comunități și generații.

Drumurile pe care le construim încep, adesea, cu cele pe care îndrăznim să le parcurgem.

GENERAȚIILE DE PROFESORI ALE F.C.F.D.P. PRIN OCHII STUDENȚILOR DE ASTĂZI

Brănescu Alexandra-Estefania, studentă, programul de master Ingineria Infrastructurii Transporturilor, anul I, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: alexandra-estefania.branescu@student.utcb.ro
Radu Alexia-Maria, studentă, programul de master Ingineria Infrastructurii Transporturilor, anul II, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, e-mail: alexia-maria.radu@student.utcb.ro

1. INTRODUCERE

În anul 2026 se împlinesc 145 de ani de la constituirea Școlii Naționale de Poduri și Șosele din București, a cărei tradiție este continuată astăzi de Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri a Universității Tehnice de Construcții București. Școala continua la rândul ei o tradiție mai veche, cea a Școlii de Poduri și Șosele deschise în 1851 și organizate după model francez [1].

Anul 1881 nu marchează prima fondare a acestui învățământ și nici apariția facultății ca entitate distinctă, produsă în 1959/1960 [2]. Acesta marchează momentul în care școala a primit organizarea și planul de învățământ care au definit profilul de infrastructură păstrat până astăzi.

Rădăcinile acestui învățământ sunt mai vechi. Prin decretul din 17 octombrie 1850, domnitorul Barbu Știrbei a prevăzut „o facultate de științe exacte, împărțită în trei secții, pentru topografi, pentru ingineri de poduri și șosele și pentru arhitecți”, deschisă la 8 ianuarie 1851 [1], la care inginerul francez Léon Lalanne a predat cursul de poduri și șosele [3]. La 4 august 1862 domnitorul Alexandru Ioan Cuza a aprobat Regulamentul pentru organizarea Corpului de ingineri civili [4], iar în 1864, la propunerea lui Mihail Kogălniceanu, a înființat Școala de poduri și șosele, mine și arhitectură, închisă în 1866 din lipsă de fonduri [3]. Reînființată de regele Carol I la 30 octombrie 1867 ca Școala de Poduri, Șosele și Mine [1] și transformată în 1875 în școală de ingineri, aceasta avea un program „foarte vast”, însă, după cum arăta Gheorghe Duca, „o scurtă experiență a demonstrat că, dacă scopul căutat era înalt, rezultatele dobândite erau puțin satisfăcătoare” [3]. Reorganizarea din 1881 a pornit de la această constatare.

În cei 145 de ani care au urmat, școala a trecut prin mai multe forme instituționale. În 1920 a devenit Școala Politehnică din București, iar inginerii constructori au fost pregătiți în Secția de Construcții, devenită în 1938 Facultatea de Construcții [5]. Reforma din 1948 a creat Institutul de Construcții București, cu facultăți separate de Poduri și Construcții Masive și de Drumuri și Lucrări Edilitare [2]. În 1952–1953 Facultatea de Poduri a trecut la Institutul de Căi Ferate, iar în 1959, la desființarea acestuia, Facultatea de Construcții Feroviare a fost mutată la Institutul de Construcții sub denumirea de Facultatea de Construcții Feroviare, Drumuri și Poduri. Din anul universitar 1959/1960 căile ferate, drumurile și podurile au fost reunite astfel într-o singură facultate [2], [6].

Articolul urmărește cronologic acești 145 de ani și reunește lucrările și realizările profesorilor și absolvenților care au contribuit la dezvoltarea căilor ferate, a drumurilor și a podurilor din România.

2. OAMENII ȘCOLII

O trăsătură definitorie a Școlii Naționale de Poduri și Șosele a fost faptul că mulți dintre profesorii ei erau în același timp constructorii rețelei de transport a țării, iar mulți dintre absolvenți s-au întors la catedră. De aceea profesorii și absolvenții sunt prezentați împreună, în ordine cronologică, cu anul absolvirii menționat în text. Cei aleși sunt exemple dintr-o comunitate mult mai largă, pentru care sursele publicate permit o descriere documentată.

2.1. Școala Națională de Poduri și Șosele (1881–1920)

Gheorghe Duca, absolvent al Școlii Centrale de Arte și Manufacturi din Paris și fost profesor de geometrie descriptivă la Liceul Militar din Iași, a fost numit director în aprilie 1881, la numai 34 de ani. El a reorganizat școala după modelul politehnicilor franceze, cu un an pregătitor, cinci ani de studii, practică de șantier în fiecare vară și „o severitate absolută atât pentru conduită, cât și pentru studii” [1], [7]. Din 1888 a condus, ca director general, căile ferate ale țării [1], [7]. Exigența lui față de studenți se îmbina cu respectul pentru munca de șantier: invitându-l odată în vagonul său pe tânărul inginer Ion Ionescu, care se scuza că era murdar de la lucrul alături de muncitori, Duca i-a răspuns că aceasta era cea mai bună carte de vizită [8]. La inaugurarea liniei Fetești-Cernavodă, la 14 septembrie 1895, spunea în fața regelui că, „dacă ținem în seamă că două treimi din inginerii care au luat parte la executarea lucrărilor [...] sunt ieșiți din Școala

noastră de Poduri şi Şosele, o legitimă mândrie trebuie să simţim”. Duca a murit în august 1899, iar la 14 octombrie 1901 profesorii şi foştii elevi i-au inaugurat bustul în curtea de onoare a şcolii [9].

După numirea lui Duca la conducerea căilor ferate, prin decretul din 28 martie 1888, şcoala a fost condusă de **Scarlat Vârnav**, absolvent al aceleiaşi Şcoli Centrale de Arte şi Manufacturi din Paris, care a extins localul, a organizat laboratoarele, muzeele şi biblioteca, a înfiinţat un atelier pentru reparaţii şi instrumente tehnice şi a introdus uniforma şcolii [1], [9]. Vârnav a obţinut ca absolvenţii să aibă aceleaşi drepturi ca aceia ai şcolilor tehnice superioare din străinătate, iar comisia şcolii a fost desemnată să examineze echivalenţa diplomelor obţinute în străinătate, şcoala din Bucureşti devenind etalonul pregătirii inginerilor statului. A condus-o până la 1 ianuarie 1892, când a devenit deputat [9].

Constantin Sturza, director din 1892, era tot absolvent al Şcolii Centrale din Paris şi avea o bogată experienţă în construcţia căilor ferate. A trimis profesorii de fizică şi chimie să studieze organizarea laboratoarelor în şcolile din străinătate, iar în timpul directoratului său elevii şcolii au format garda de onoare a regelui la inaugurarea căii ferate Feteşti-Cernavodă. După moartea sa neaşteptată, în iulie 1899, conducerea a fost asigurată provizoriu de Grigore Cerchez [9].

Constantin M. Mironescu, profesor de statică grafică şi absolvent al Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele din Paris, a condus şcoala între 1899 şi 1915, în anii crizei economice de la începutul secolului XX. L-a adus pe Mihail Râmniceanu la cursul de căi ferate şi pe Elie Radu la noul curs de Edilitate, a introdus cursuri de electrotehnică şi de petrol pentru a le deschide absolvenţilor locuri de muncă în industrie şi în 1904 a vizitat şcolile tehnice superioare din Italia, Elveţia, Franţa, Belgia, Germania şi Austro-Ungaria, pe baza cărora a propus reorganizarea şcolii. Tot sub conducerea lui au apărut anuarele şcolii, iar în 1909 au fost numiţi primii asistenţi la proiecte şi lucrări [9].

La 3 iunie 1904, în sesiunea de examene, regele Carol I a inspectat şcoala, a asistat la examenele de poduri, maşini şi căi ferate şi, la plecare, le-a spus elevilor: „Să ştiţi că Regele vostru a rămas mulţumit de voi” [9].

Emil Balaban, absolvent al Şcolii de Poduri şi Şosele din Paris, a preluat conducerea în 1915 şi a trecut şcoala prin anii războiului: în 1916 le-a spus elevilor că datoria lor cea mai mare este să lupte, ca voluntari, pentru recucerirea pământului ţării, iar cursurile s-au oprit până în 1918. Refugiat la Iaşi şi bolnav, s-a retras în 1918, iar conducerea a fost încredinţată lui Nicolae Vasilescu-Karpen,

care a redeschis cursurile în octombrie 1918 şi a elaborat proiectul de lege pentru transformarea şcolii în Şcoala Politehnică (1920) [9].

Dimitrie Frunză, profesor al şcolii [5], condusese între 1879 şi 1881 construcţia liniei Buzău-Mărăşeşti, prima cale ferată proiectată şi construită de ingineri români, alături de o echipă de 22 de tineri ingineri [10].

Alfons O. Saligny, fratele lui Anghel Saligny, absolvise chimia la Berlin în 1878. Între 1879 şi 1881 a condus studiile pentru stabilirea calităţii materialelor liniei Buzău-Mărăşeşti, iar la şcoală a predat mineralogia şi chimia până la moartea sa, în 1903; în 1886 a organizat primul laborator de încercare a materialelor de construcţii al şcolii [3], [1].

Mihail (Mihăilă) Râmniceanu, profesor de catedră la Şcoala de Poduri şi Şosele, a proiectat şi construit linii cu trasee dificile, precum Vaslui-Iaşi-Dorohoi şi Corabia-Piatra Olt-Râul Vadului [11]. A predat la şcoală între 1879 şi 1914, iar în 1899 l-a înlocuit pe Duca la cursul de drumuri de fier al secţiei de ingineri [3], [1]. Din 1911 cursul de căi ferate a fost predat de Grigore Stratilescu, numit profesor titular în 1914 [1].

Anghel Saligny a predat la catedra de poduri din 1884, numit prin decretul din 24 noiembrie 1884 profesor de poduri şi şosele [1]. A realizat primele poduri combinate rutier-feroviar din România, pe linia Adjud-Târgu Ocna, primele poduri metalice fără culee, executate pe console, pe linia Filiaşi-Târgu Jiu (1886) şi a folosit pentru prima dată în ţară fonta, la un tunel de drenaj sub terasamentul liniei Bucureşti-Feteşti [12]. Podul de la Cernavodă (1890–1895) rămâne lucrarea sa de referinţă; două treimi dintre colaboratorii săi de la Cernavodă îi fuseseră elevi [9]. Nicolae Vasilescu-Karpen scria că, prin cei 30 de ani petrecuţi la catedra de poduri, între 1884 şi 1914, „30 de serii de ingineri au profitat de neasemuita sa competenţă”, iar podul de la Cernavodă, cu deschiderea centrală de 190 m, cea mai mare de atunci din Europa continentală, „face cinste inginerilor români din acea vreme, şcoalei care i-a format şi în prima linie profesorului şi conducătorului lor Anghel Saligny” [13].

Elie Radu, absolvent al Politehnicii din Bruxelles, a condus din 1891 Direcţia Generală de Studii şi Construcţii, care a executat lucrări definitive pe 475 km de cale ferată, cu poduri din lemn, zidărie, beton şi beton armat, tuneluri şi clădiri; pe linia Craiova-Calafat s-au construit atunci primele bolţi din beton simplu din ţară [14]. A realizat şoselele Moroieni-Sinaia şi Lotru-Căineni (1898–1899), Comăneşti-Palanca, Târgu Ocna-Slănic sau Călăraşi-Lehliu şi a introdus pe scară largă betonul armat la poduri, în locul tablierelor metalice importate. Captările de la Bragadiru au dat Bucureştiului, în 1901, pentru prima dată „o apă

ireproșabilă”, iar împreună cu Dimitrie Leonida a formulat primele propuneri pentru un metrou în capitală [14]. Mironescu l-a adus la școală pentru noul curs de Edilitate [9]. România a fost membru fondator al Asociației Internaționale Permanente a Congreselor de Drumuri (1909), iar la congresul de la Bruxelles din 1910 Elie Radu a făcut parte din comisia permanentă, alături de N. Hârjeu și Gh. Niculescu [15].

Primele cursuri de drumuri sunt legate de numele lui **Spiridon Yorceanu** (1834–1903), absolvent în 1859 al Școlii de Poduri și Șosele din Paris, care a predat drumurile din 1861, apoi la școala înființată de Cuza în 1864 și, după reorganizări, construcția de șosele, de poduri și de căi ferate, până la demisia sa din 1882 [16], [1]. Șef al circumscripțiilor de drumuri și poduri din Vlașca, Ialomița și Ilfov, a fost primul inginer român care a stabilit științific calitatea și cantitatea de piatră necesare întreținerii drumurilor în funcție de uzura produsă de trafic. În 1869 a publicat primul curs tipărit de drumuri și poduri din țară, un manual de 564 de pagini, cu 286 de figuri. În 1882 a prezidat comisia tehnică a concursului internațional pentru podul peste Dunăre. Membru fondator al Societății Politehnica și președinte al acesteia din 1887, i-a lăsat la moartea sa o cincime din avere, iar societatea i-a așezat bustul în localul ei [16].

După retragerea lui Yorceanu, în 1882, catedra de drumuri a fost preluată până în 1884 de **Ioan Cantacuzino**, absolvent al Politehnicii din Zürich, care s-a ocupat intens de pavarea străzilor din orașele țării, iar între 1884 și 1886 de Anghel Saligny [3].

Nicolae Hârjeu, numit repetitor de cursuri în 1885, a devenit în aprilie 1886 profesor de topografie și drumuri, când Ion Marțian a fost numit repetitor de cursuri; a predat până la moartea sa, în 1910 [1]. Absolvent al aceleiași școli pariziene, lucrase la numeroase linii de cale ferată, poduri și șosele și a ajuns secretar general al Ministerului Lucrărilor Publice [3].

Iuliu Zanne a predat din 1899 la secția de conductori, unde preda din 1888 și Nicolae Zanne. În 1903 a devenit profesor de întreținerea drumurilor și legislația lor la secția de ingineri, iar după moartea lui Hârjeu a preluat cursul de drumuri, pe care l-a ținut până la demisia sa din 1919 [1].

Eugen N. Ștefănescu, nepot al scriitorului Barbu Ștefănescu Delavrancea, absolvent al Școlii de Poduri și Șosele din Paris și director în Ministerul Lucrărilor Publice, a fost însărcinat în 1912 să predea drumurile, a preluat catedra ca suplinitor după demisia lui Iuliu Zanne și a devenit profesor titular în 1923, rămânând la catedră până în 1939. Lui i se datorează al doilea curs de drumuri din țară [1], [3].

Fundamentarea matematică a pregătirii a fost asigurată de la reorganizare de **Spiru Haret** și **David Emanuel**, primii români doctori în matematici ai Sorbonei, numiți de Duca la catedrele de matematică [3], [17]; Haret a predat geometria analitică și mecanica până în 1910 [5]. Volumele aniversare îi amintesc între profesorii de renume ai școlii și pe Gheorghe Țițeica și Andrei Ioachimescu [18], iar în 1909 Traian Lalescu a fost numit, alături de Gheorghe Em. Filipescu, între primii asistenți ai școlii, devenind în 1911 profesor de geometrie analitică [9], [1]. Din corpul profesoral au mai făcut parte Teodor Dragu, profesor de construcții de mașini și inventatorul unui injector-pulverizator pentru cazanele locomotivelor (1896), precum și Dumitru Văsescu, profesor de lucrări grafice, care construise în 1880 un automobil cu motor cu aburi [1]. Rezistența materialelor a fost predată între 1879 și 1902 de **Constantin Mănescu**, licențiat în matematică și absolvent al Școlii de Poduri și Șosele din Paris, autorul cursului în două volume *Mecanica aplicată la rezistența materialelor și stabilitatea construcțiilor* (1894–1895) [3].

Nicolae Vasilescu-Karpen, șef de promoție în 1891, a lucrat după absolvire la drumuri și căi ferate în Ministerul Lucrărilor Publice, iar în 1918 a devenit directorul școlii [19].

Ion Ionescu-Bizeț a fost admis primul și a absolvit în 1894 cu cele mai mari note obținute până atunci în școală. Chiar în anul absolvirii a supravegheat montajul primului pasaj superior de lângă Fetești, pe linia Cernavodă-Fetești, a recepționat suprastructurile metalice comandate în Franța și Germania, iar ulterior a condus atelierele metalice ale liniei Ploiești-Predeal. A proiectat podul feroviar în curbă peste bazinul Giurgiu, cu două deschideri de 36,25 m, și, după Primul Război Mondial, ca director general al Serviciului Poduri Metalice, a condus refacerea podurilor distruse, între care cele dintre Fetești și Cernavodă [8]. În 1895 a fondat împreună cu alți patru ingineri revista *Gazeta Matematică* [8], iar timp de aproape o jumătate de secol a cercetat istoria construcțiilor din România, lăsând peste 10.000 de pagini de manuscrise [8]. Din 1911 a suplinit catedra de poduri a școlii, al cărei titular a devenit în 1914, iar în 1919 a fost ales membru corespondent al Academiei Române [1].

George (Gogu) Constantinescu, șef de promoție în 1904, a fost unul dintre pionierii betonului armat în România: podul în arc de la Doftana (1905), podul cu grinzi drepte din Parcul Carol din București (1906), podul de la Lainici și cupola minaretului Moscheii din Constanța, un înveliș de numai 5 cm grosime la 8 m deschidere [20]. Stabilit ulterior la Londra, a creat teoria sonicității, iar în

1926 un tablou al „pionierilor progresului”, publicat în presa internațională, îl așeza alături de Einstein, Kelvin, Bell, Edison și Marconi [21].

Alți absolvenți au întemeiat direcții științifice: Gheorghe Em. Filipescu (1907), unul dintre primii asistenți ai școlii (1909) și profesor de rezistența materialelor din 1915, în statica construcțiilor; Aurel A. Beleș (1914), asistent la cursul de drumuri și topografie din 1919, întemeietorul școlii românești de inginerie seismică; Cristea Mateescu (1918), creatorul școlii românești de hidrotehnică [22], [1]. Cincinat Sfințescu (1910) a devenit unul dintre pionierii urbanismului românesc [23], iar Emil Prager (1912) a introdus betonul armat în structurile unor clădiri de referință și a refăcut cupola Ateneului Român [24]. Generația formată de acești profesori a dus mai departe disciplinele școlii: Filipescu la statică, Beleș la rezistența materialelor, Ion Ionescu la poduri, Mihail Hangan la beton armat, Nicolae Profiri la drumuri și Ion Vladimirescu la lucrări edilitare [3].

2.2. Secția și Facultatea de Construcții a Politehnicii (1920–1948)

Nicolae Profiri (1886–1967) a absolvit școala în 1911 ca șef de promoție, cu cea mai mare medie obținută până atunci. S-a specializat la Charlottenburg cu bursa „Adamachi” a Academiei Române [25], [26], [27]. În 1915 a executat, sub conducerea lui Elie Radu, prima încercare de modernizare a unui drum din țară, pe șoseaua București-Ploiești [27]. A făcut parte din comisia care a redactat legea drumurilor din 1929, iar ca inspector general și apoi director general al drumurilor a condus modernizarea a 1.185 km de drumuri naționale până în 1938, între care DN 1 în întregime [27]. În 1933 a construit la ieșirea din Otopeni o „șosea-laborator”, pe care au fost încercate macadamul cimentat, betonul de ciment, macadamurile bituminoase și betoanele asfaltice, a inițiat primul laborator de asfalturi din țară și a scris lucrarea *Sisteme moderne de asfaltaj* [26]. În 1937 scria că, dacă problema rutieră ar fi fost rezolvată, „omul de pe stradă nu s-ar mai ocupa de probleme rutiere, așa cum nu se preocupă de telefonie sau aviație” [3].

Profiri a intrat prin concurs la catedra de drumuri a Politehnicii în 1940, a devenit decan al Facultății de Construcții în 1944, iar după 1948 a condus catedra de drumuri a Institutului de Construcții [25], [26]. Laboratorul de drumuri pe care îl organizase în minister a fost transferat catedrei [27]. Studenții îl numeau „Moș Bitum”, după liantul despre care vorbea cu predilecție [25]. Din 1957 a fost vicepreședinte al Academiei Române [27].

Ion Șt. Tomescu, absolvent al școlii în 1916, a predat din 1920 cursul de Trasee și terasamente și a condus proiectul de drumuri al studenților, păstrându-și în paralel postul din administrația CFR; conferențiar din 1939, a rămas la catedră până la mijlocul anilor 1950 [3], [25].

Mihail D. Hangan (1897–1964) a absolvit în 1922 Școala Politehnică, s-a format ca asistent al profesorului Ion Ionescu și a predat din 1929 până în 1964 cursul de beton armat, la Politehnică și apoi la Institutul de Construcții, ca profesor din 1938 și șef al catedrei de beton armat. A pus bazele laboratorului de beton armat al Politehnicii, a proiectat tunelul aerodinamic și corpul I al Institutului Politehnic, rezervoare de apă și mari construcții industriale și a scris peste 60 de lucrări, între care *Poduri de beton armat* (1946) și *Poduri industriale din beton armat* (1961) [28].

Cristea Niculescu a predat podurile la Politehnică din 1935, mai întâi ca suplinitor, apoi ca conferențiar, iar din 1942 a condus catedra de poduri și construcții metalice; în anii 1940 a fost unul dintre profesorii de bază ai Facultății de Construcții [1], [29].

Andrei Caracostea, fiul criticului literar Dimitrie Caracostea, a absolvit Facultatea de Construcții a Politehnicii în 1935 și a proiectat la Direcția de Poduri CFR viaductele de pe Valea Jiului și de pe linia Roman-Pașcani și tuneluri pe linia Teiuș-Apahida, apoi a refăcut și dublat podurile peste Prahova. A fost decan al Facultății de Poduri și Construcții Masive (1951–1952) și a condus catedra de poduri [30]. Cercetările sale stau la baza primelor poduri din țară cu platelaje ortotrope, de la Câineni (1965) și Giurgeni-Vadu Oii (1969), pentru care a propus secțiunea casetată cu placă ortotropă, iar podul peste Siret de pe linia Buhăiești-Roman (1967) a avut primele suprastructuri sudate din România îmbinate cu șuruburi pretensionate de înaltă rezistență [30].

Construcția liniei Ilva Mică-Vatra Dornei, cea mai mare realizare feroviară a statului român în perioada interbelică, a fost condusă din februarie 1936 de inginerul **Petre Teodorescu**; linia, cu nouă tuneluri însumând 4.293 m, a fost inaugurată la 18 decembrie 1938 [31].

Ioan Stănculescu (1919–2002) a absolvit ca șef de promoție Secția de Construcții a Politehnicii în 1942. A început la laboratorul geotehnic al Administrației Porturilor, unde a învățat din expertize precum raportul lui Karl Terzaghi pentru fundarea Palatului Administrativ CFR. A rămas în școală la îndemnul lui Mihail Hangan: „dumneata să te lipești de școală”. Profesor și șef al catedrei de Geotehnică și Fundații din 1966 și prorector între 1968 și 1972, a condus cercetările geotehnice pe traseul Canalului Dunăre-Marea Neagră între

Cernavodă și Medgidia, iar studiile sale pentru metroul bucureștean au orientat soluția constructivă spre lucrări subterane de mică și medie adâncime. A readus la verticală castelul de apă de 500 m³ din gara Feteşti prin umezirea controlată a terenului și a primit Premiul de Stat în 1963 și titlul de Doctor Honoris Causa al UTCB în 1998 [32]. Studenții îl numeau „Moș Pământ” [25].

Constantin Avram, absolvent în 1940, a creat școala românească de cercetare în domeniul betonului armat [22]. **Dan Ghiocel** (1923–2006), absolvent în 1946, a realizat, ca proiectant la Institutul de Proiectare a Căilor Ferate, arce prefabricate de 18 m (1950), grinzi din beton precomprimat de 18 m (1953) și acoperișul în paraboloid hiperbolic al gării din Constanța (1959), citat în literatura străină [33]. În 1959 a participat la expertizarea podului de la Cernavodă, iar rezultatele au fundamentat consolidarea acestuia [29]; după cutremurul din 1977 a condus expertizarea marilor clădiri din București. A introdus cursul de siguranța structurilor, pentru care a fost solicitat și în China, a fost decan al facultății și rector al Institutului de Construcții [33], [29].

2.3. Institutul de Construcții (1948–1990)

După îmbolnăvirea lui Profiri, catedra de drumuri a fost condusă mai întâi de prof. V. Nicolau, apoi de **Traian Mătăsaru**, care îl secondase pe Profiri încă din 1939 [25], [3]. Mătăsaru s-a remarcat prin rigoarea cursurilor și deschiderea spre noutățile tehnicii rutiere și a contribuit la organizarea proiectării de drumuri în institutele de proiectare înființate între 1948 și 1950. Cu sprijinul lui și al lui Alexandru Steopoe, sub îndrumarea lui Profiri, a fost realizat Laboratorul de Drumuri, condus până în 1960 de inginera Alice Stănescu [3]. A publicat lucrarea *Balastiere și cariere. Organizare și exploatare* (1958) și tratatul *Drumuri* (1966) [34], [3].

Victor Guțu, asistentul și apoi șeful de lucrări al lui Profiri, a preluat după îmbolnăvirea acestuia cursul de Studiul și proiectarea drumurilor (partea I) și seminarul de drumuri, iar cursul de Construcția drumurilor a revenit lectorului A. Vlad. La îndemnul profesorului a întocmit tabelele de trasare pentru racordările cu lemniscata lui Bernoulli și, după doi ani de lucru, pe cele pentru clotoidă, care au făcut posibilă folosirea acestor racordări în proiecte [25].

Alexandru Steopoe (1897–1971) a luptat ca ofițer voluntar la Mărășești, a absolvit chimia la Universitatea din București în doar doi ani și patru luni și a condus din 1947 catedra de materiale de construcții a Institutului de Construcții; este socotit unul dintre fondatorii școlii românești de materiale de construcții.

Explicația sa privind rezistența la coroziune a lianților amestecați a fost reluată de F. M. Lea la congresul de la Londra din 1937, a condus din 1951 cercetările pentru betonul barajului de la Bicaz, iar cartea sa *Durabilitatea betoanelor* (1965) a fost tradusă și publicată în Franța [35].

Iosif Craus (Kraus) a fost decan al facultății în anii 1950, iar volumul aniversar de 130 de ani îl așază primul între decanii din ultimele patru decenii [25], [18]. Împreună cu Traian Mătăsaru și Stelian Dorobanțu a scris tratatul *Drumuri* (Editura Tehnică, 1966), care a primit în 1968 premiul I al Ministerului Învățământului. Figurează și între autorii tratatului *Drumuri. Calcul și proiectare*, apărut în 1980 sub coordonarea lui Dorobanțu [36], [37]. Absolvenții promoției 1959 i-au adresat, la reîntâlnirea de 50 de ani, un cuvânt de mulțumire, alături de Stelian Dorobanțu, ambii Doctori Honoris Causa [38]. La 19 mai 2011, în amfiteatrul „Anghel Saligny”, facultatea l-a omagiat pe profesorul Josef Craus și a hotărât ca una dintre sălile sale de curs să-i poarte numele [39].

Stelian Dorobanțu (1925–2018) a absolvit Institutul de Construcții în 1950 și a îmbinat timp de două decenii proiectarea la IPTANA cu cariera didactică începută în 1951 ca preparator la catedra de drumuri; între dascălii săi își amintea pe A. Beleș, N. Profiri, Tr. Mătăsaru, I. Tomescu, A. Caracostea și I. Stănculescu, iar la începutul carierei sale, spunea el, în țară erau modernizați doar circa 1.000 km de drumuri, Băneasa era singurul aeroport modern, iar la Otopeni exista o singură bucată de pistă consolidată [40]. A fost prodecan, a condus catedra de drumuri și a introdus în 1971 primul curs de trafic din țară [36]. În 1960 a elaborat, pentru prima dată în țară, metodologia de determinare a eficienței economice a modernizării drumurilor, iar pe drumul Bicaz-Galu a aplicat împreună cu Ioan Stănculescu sistemul de susținere a rambleelor cu bolți și pilaștri; în 2001 a primit titlul de Doctor Honoris Causa al UTCB [41]. Își amintea că, la primul tronson al autostrăzii București-Pitești, din 1972, denumirea de autostradă era interzisă, iar lucrarea se numea oficial „dublarea DN 7” [40].

Gheorghe Buzuloiu, absolvent în 1951, a coordonat proiectarea podului Giurgeni-Vadu Oii peste Dunăre, singura legătură rutieră între Muntenia și Dobrogea până la construirea podurilor de la Fetești și Cernavodă, a condus IPTANA și a îndrumat proiecte de diplomă la facultate timp de aproape două decenii [42]. Șantierul podului a fost condus până la finalizare, în 1970, de inginerul-șef Ion Nițu (1938–2001), absolvent al facultății în 1963 [43]. La împlinirea a 80 de ani de către Buzuloiu, în 2006, colegii săi au trecut în revistă podurile care îi poartă amprenta, de la cele peste Argeș la Hotarele și peste Siret la Holt (1960) până la podul peste Siret de la Galați (1985), cu deschiderea de 134

m, recordul românesc la podurile executate în consolă. Tot atunci au spus despre el că „a ştiut să facă echipă şi şcoală de podari” [44]. În 1986, pe baza unei note a sa, IPTANA a elaborat primul studiu tehnico-economic pentru un pod peste Dunăre la Brăila [45].

Eduard Andrei Ionescu (1927–2013), absolvent al Institutului de Construcţii în 1950, a dus şcoala de poduri a facultăţii la Cluj: proiectant al Institutului Regional de Proiectare Cluj din 1958, a realizat podul peste Someşul Mic de pe strada Horea şi pasarela suspendată de la Beclean şi a predat între 1961 şi 1990 podurile la secţia de căi ferate, drumuri şi poduri a Institutului Politehnic din Cluj [46].

Gheorghe Ilie (1929–2004) a absolvit în 1953 Facultatea de Construcţii Feroviare a Institutului de Căi Ferate, cu diplomă de merit; ministerul a aprobat atunci o sesiune extraordinară a examenului de stat, pentru ca tânărul absolvent să poată intra în corpul didactic chiar din anul universitar 1953–1954 [47]. A predat la facultate timp de 41 de ani statica, stabilitatea şi dinamica construcţiilor. A făcut parte din colectivul care a încercat podurile lui Saligny de la Cernavodă în vederea consolidării lor, a lucrat la proiectarea podului Giurgeni-Vadu Oii, a introdus cursurile de inginerie seismică pentru căi ferate, drumuri şi poduri şi a fost decan între 1972 şi 1981 [6]. La 50 de ani de la absolvire, colegii săi au hotărât ca promoţia lor să poarte numele „Promoţia 1953 – Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Ilie” [47].

Ioan Lup (1925–2016) a absolvit în 1952 Institutul de Transporturi din Bucureşti şi a condus mai bine de 25 de ani, până în 1985, Centrala de Construcţii Căi Ferate, cu peste 60.000 de angajaţi, care a construit noile poduri dunărene de la Cernavodă şi a lucrat la cele patru magistrale ale metroului bucureştean şi la aeroporturile Otopeni, Timişoara şi Târgu Mureş. A introdus în ţară injecţiile de tip Soletanche, piloţii precomprimaţi şi centrifugaţi şi grinzile de pod tronsonate [48].

Nicolai Ţopa (1929–2017) a absolvit în 1953 Facultatea de Poduri şi Construcţii Masive şi a condus catedra de Rezistenţa materialelor, iar una dintre monografiile la care a fost coautor a primit Premiul „Aurel Vlaicu” al Academiei Române [49], [50]. Ca proiectant a realizat podul peste Râmna la Răstoaca, un arc cu tirant de 48 m care avea în 1955 cea mai mare deschidere de acest tip din ţară şi a fost şef de proiect de rezistenţă la pasajul Universităţii din Bucureşti. A fost ales în 1999 membru al Academiei de Ştiinţe Tehnice din România, iar în 2008 a primit titlul de Doctor Honoris Causa al UTCB [50].

Petre P. Teodorescu (1929–2013) a absolvit în 1952 Facultatea de Matematică şi Fizică a Universităţii din Bucureşti şi în 1953 Facultatea de Poduri şi Construcţii Masive a Institutului de Construcţii. A fost asistentul lui Aurel A. Beleş la catedra de mecanică şi rezistenţa materialelor, a predat rezistenţa materialelor, statica construcţiilor şi teoria elasticităţii, iar în 1955 a devenit primul doctor inginer de după reforma învăţământului [51], [52]. A continuat cariera la Universitatea din Bucureşti şi a predat mecanica şi teoria elasticităţii în limbile engleză şi franceză şi la UTCB. A publicat 28 de cărţi şi peste 250 de articole; patru dintre cărți au apărut la editura Springer, iar conferinţele naţionale de mecanica solidelor pe care le-a iniţiat îi poartă numele din 2014 [51], [52].

Iorgu Nicula, absolvent în 1954 al Facultăţii de Poduri şi Tuneluri a Institutului de Transporturi din Moscova, a predat betonul armat şi betonul precomprimat la Institutul de Construcţii, unde a devenit profesor în 1973 şi a fost prodecan şi prorector. A iniţiat şi coordonat introducerea metodei stărilor limită în proiectarea podurilor de şosea şi de cale ferată, a contribuit la bazele tehnologiei româneşti de construire a metroului, iar după cutremurul din 1977 a realizat peste 120 de expertize tehnice. A scris împreună cu Traian Oneţ manualul *Beton armat* (Editura Didactică şi Pedagogică, 1982) [53], [54].

Stan Jercan, născut în 1929, a absolvit Şcoala Normală din Brăila ca învăţător şi apoi Institutul de Construcţii, în 1955. După câţiva ani pe şantiere de drumuri şi la IPTANA, a intrat în facultate în 1960 ca asistent şi a ajuns profesor, cu o perioadă de predare în Algeria (1982–1985). A predat suprastructura, întreţinerea şi exploatarea drumurilor şi a format peste 50 de serii de ingineri; cursurile sale, între care *Drumuri de beton* (2002), au fost folosite şi de inginerii din producţie [55], [54].

Mihai Boicu (1933–2016) a urmat între 1952 şi 1957 cursurile Institutului de Construcţii Bucureşti şi a început ca inginer stagiar şi şef de şantier la Întreprinderea de Construcţii în Transporturi Iaşi, unde a refăcut poduri distruse în război şi a modernizat drumuri naţionale din nordul Moldovei, între care Sadova-Rădăuţi; ca director al întreprinderii a construit aeroporturile din Iaşi şi Suceava. Din 1972 a condus Trustul de Construcţii Rutiere şi Hidrotehnice, iar între 1976 şi 1990 Direcţia Generală a Drumurilor, cel mai lung mandat din istoria acesteia; între 1990 şi 1993 a fost director general al Administraţiei Naţionale a Drumurilor, care a obţinut atunci primele credite internaţionale pentru reabilitarea a 1.053 km de drumuri naţionale. A fost şi primul preşedinte al Asociaţiei Profesionale de Drumuri şi Poduri (1990–1995) [56].

Radu Petre Ionel (1935–2004) a absolvit ca șef de promoție specializarea Drumuri și Poduri în 1958 și a parcurs în facultate toate treptele didactice, până la profesor de poduri din beton armat; a fost decan și apoi prorector. A participat la proiectarea a peste 60 de poduri, între care viaductele Ceahlău și Bicaz și viaductele de acces ale podului Giurgeni-Vadu Oii. A încercat primul pod din beton precomprimat din România, peste pârâul Mamu la Strejești [57]. Manualul *Poduri din beton armat* (1981), scris împreună cu Emil Negoescu și Petre Ionescu [58], a fost cartea de căpătâi a multor generații de proiectanți de poduri din beton [57]. A condus și comisia de lucrări de artă a Asociației Profesionale de Drumuri și Poduri [59].

Constantin Dragoș Teodorescu a absolvit în 1959 Facultatea de Construcții Feroviare și a predat la facultate până în 2004. A proiectat poduri metalice sudate, între care podul peste Târnava de la Sighișoara, a condus divizia de poduri, tuneluri și consolidări a institutului de proiectare a căilor ferate și a fost șef de proiect pentru podurile peste Dunăre de la Feteşti și Cernavodă, cu cale ferată dublă și șosea cu patru benzi. Soluția sa a așezat șoseaua pe console în afara grinzilor principale, cu calea ferată la nivelul inferior, iar montajul în consolă a evitat schelele din albie și a păstrat navigația deschisă. A coordonat și realizarea Pasajului Lujerului din București și a primit Premiul „Aurel Vlaicu” al Academiei Române [60].

Constantin Romanescu a absolvit în 1961 specializarea Drumuri și Poduri, a fost numit chiar atunci preparator și a parcurs întreaga carieră didactică până la profesor. Între 1994 și 2008 a condus catedra de Drumuri și Căi Ferate, laboratorul și centrul de cercetare pentru drumuri și aeroporturi. Ca proiectant la Institutul de Proiectare pentru Transporturi a lucrat la drumurile naționale DN 56 și DN 55, la pista și drumul de acces ale aeroportului din Iași și la accesele de la barajul Porțile de Fier. S-a specializat la Dresda și Weimar în straturi rutiere din pământuri stabilizate, a cercetat comportarea reologică și oboseala mixturilor asfaltice, a coordonat proiecte încheiate cu brevete, între care un sistem de monitorizare cu laser a suprafeței drumului, a scris 13 cărți și a contribuit, în cadrul acțiunii europene COST 354, la stabilirea indicatorilor de performanță pentru îmbrăcămințile rutiere [61].

Virgil Romulus Hila se numără printre profesorii care au format școala de căi ferate a facultății [17]. Este primul autor al cursului *Căi ferate. Bazele proiectării căilor ferate* (1975), scris împreună cu Constantin Radu, Constantin Ungureanu și George Stoicescu, pe care s-au format inginerii feroviari ai facultății [62].

Ion Răcănel (1943–1998), născut în județul Gorj, a absolvit în 1967 secția Drumuri și Poduri și a rămas în facultate ca preparator, devenind profesor în 1993 și șef al Catedrei de Drumuri și Căi Ferate între 1992 și 1996. După o specializare de zece luni la Universitatea Texas din Austin (1975–1976), a susținut în 1988 doctoratul despre comportarea îmbrăcăminților din beton de ciment la acțiunea factorilor climatici [63]. Lucrarea sa *Drumuri moderne. Racordări cu clotoida* (Editura Tehnică, 1987) este dedicată racordărilor progresive din proiectarea traseelor, iar împreună cu Stelian Dorobanțu a elaborat metodele de calcul și dimensionare a îmbrăcăminților din beton de ciment (1982) [54]. A contribuit la tratatul *Drumuri. Calcul și proiectare* (1980) și a reprezentat catedra, din 1991, în conducerea centrului EUROHOT de învățământ la distanță, dezvoltat în programul Tempus [37], [63].

Virgil Fierbințeanu a predat mecanica și statica construcțiilor și a fost decan al facultății [17], [18]. A elaborat pentru studenți cursul *Calculul automat al structurilor* (1984) și manualul *Mecanică tehnică* (2002), care se regăsesc și astăzi în fondul de carte al facultății [64], [54].

Victor Urdea (1943–2010) a absolvit în 1967 specialitatea Drumuri și a lucrat 25 de ani ca proiectant la IPTANA, unde a fost șef de proiect al autostrăzii Fetești-Cernavodă (terminată în 1987) și a proiectat reabilitarea autostrăzii București-Pitești și a unor sectoare din DN 1 și DN 7 [65].

3. IMPACTUL ASUPRA DOMENIULUI

Contribuția școlii poate fi urmărită pe fiecare dintre cele trei componente ale profilului ei. Pe căile ferate, profesorii ei au condus construcția primei linii realizate de ingineri români și administrația CFR [10], [7], Elie Radu a executat lucrări definitive pe 475 km de linii [14], absolvenții au refăcut podurile feroviare distruse în război [8] și au introdus primele suprastructuri sudate îmbinate cu șuruburi de înaltă rezistență [30], iar mai târziu au proiectat podurile cu cale dublă de la Fetești și Cernavodă [60].

Pe drumuri, contribuția pornește de la șoselele montane ale lui Elie Radu [14] și continuă cu modernizarea rețelei rutiere din perioada interbelică: drumul experimental de la Otopeni, bituminarea a 1.200 km de drumuri și primul laborator de asfalturi din țară [26]. După 1960, profesorii și absolvenții facultății au proiectat drumurile montane Bicaz-Galu, Bumbești-Livezeni, Sadova-Rădăuți, Gârda-Arieșeni, Brezoi-Voineasa și Gura Văii-Orșova, primul tronson al autostrăzii București-Pitești și pistele aeroporturilor Băneasa, Otopeni, Cluj și

Baia Mare [40]; şcoala a adus şi primul curs de trafic din ţară [36], cercetarea mixturilor asfaltice şi participarea la stabilirea indicatorilor europeni de performanţă pentru îmbrăcămințile rutiere [61].

Pe poduri, şcoala a dat podurile metalice pe console ale lui Saligny [12], unele dintre primele poduri din beton armat [20], elementele prefabricate şi precomprimate din anii 1950 [33], primele platelaje ortotrope [30] şi recordul românesc al podurilor executate în consolă [44]. Absolvenţii ei au întemeiat şcoli ştiinţifice în ingineria seismică, hidrotehnică şi betonul armat [22] şi în siguranţa structurilor [33], iar şapte dintre absolvenţii Şcolii Naţionale de Poduri şi Şosele au devenit membri ai Academiei Române [22].

4. CONCLUZII

Profilul formulat în planul de învăţământ din 1881 – drumuri, poduri, căi ferate – s-a păstrat de-a lungul tuturor reorganizărilor şi a dat, în 1959/1960, structura şi denumirea facultăţii de astăzi. În fiecare perioadă, şcoala a format ingineri care au construit infrastructura de transport a ţării, de la primele căi ferate şi şosele montane la podurile peste Dunăre şi la metroul bucureştean.

Dincolo de lucrări, ceea ce leagă generaţiile este comunitatea formată în jurul facultăţii. Mulţi absolvenţi s-au întors aici ca profesori, de la Ion Ionescu-Bizeţ şi Nicolae Profiri la Dan Ghiocel, Gheorghe Ilie, Constantin Romanescu şi Constantin Dragoş Teodorescu, iar alţii au rămas aproape de studenţi ca îndrumători ai proiectelor de diplomă. Relaţia apropiată dintre profesori şi studenţi se păstrează şi astăzi, iar absolvenţii îşi amintesc cu drag de excursiile de studii din timpul facultăţii, în care au văzut pentru prima dată, pe şantier, lucrările despre care învăţau. Este poate cea mai durabilă moştenire a şcolii lui Duca, pentru care urma muncii de şantier era cea mai bună carte de vizită a unui inginer. Sau, cum scria Henri Coandă într-o prefaţă adresată tinerilor, „nu poţi îndrăzni, nu poţi năzui spre nimic dacă n-ai sub picioare edificiul de cunoştinţe ori de valori morale lăsate de înaintaşi” [9].

BIBLIOGRAFIE

[1]. *„Istoricul Universităţii Politehnica din Bucureşti. Pagini de istorie: 1816–1981”*, document de arhivă cu transcrieri din Monitorul Oficial.

[2]. V. MAIER: *„Structura și statistica învățământului superior de construcții din România (1948–1989)”*, Anuarul Institutului de Istorie „A. D. Xenopol”, **t. LXI**, **pp. 323–339**, **2024**.

[3]. S. DOROBANȚU, M. LOBAZĂ: *„Școala Națională de Poduri și Șosele”*, în 130 de ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor, UTCB, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, București, **pp. 9–26**, **2011**.

[4]. *„Regulament pentru organisarea Corpului de ingineri civili” (Restituiri)*, Drumuri Poduri, **nr. 118 (187)**, **p. 26**, **2013**.

[5]. V. POPOVICI: *„Din istoria ingineriei românești”*, Univers Ingineresc, **nr. 16–17**, **2007**.

[6]. *„A încetat din viață prof. univ. dr. ing. Gheorghe Ilie”*, Univers Ingineresc, **nr. 17**, **2004**.

[7]. M. OLTENEANU: *„Gheorghe Duca (1847–1899), reformator al învățământului politehnic (1881)”*, Univers Ingineresc, **nr. 19**, **2007**.

[8]. *„Ion Ionescu, un Iorga al istoriei construcțiilor”*, Historia.

[9]. N. POPA: *„125 de ani de la crearea Școlii Naționale de Poduri și Șosele (II)”*, Drumuri Poduri, **nr. 33 (102)**, **pp. 19–22**, **2006**.

[10]. *„Anul 1881 în istoria României: inaugurarea liniei de cale ferată Buzău-Mărășești”*, AGERPRES, **2021**.

[11]. M.-A. ANGHELACHE: *„Nicolae Șt. Noica: Istoria clădirii Academiei Române – la 120 de ani”*, Studii și Comunicări / DIS, **vol. XII**, **2019**.

[12]. *„Importante momente aniversare tehnico-economice în 2026 (III)”*, Univers Ingineresc, **nr. 3**, **2026**.

[13]. *„Inginerul Anghel Saligny”* (cu texte de N. Vasilescu-Karpen și I. I. C. Brătianu), Drumuri Poduri, **nr. 10 (79)**, **pp. 26–27**, **2004**.

[14]. *„Ingineri mari personalități: Elie Radu (1853–1931)”*, Univers Ingineresc, **nr. 20**, **2003**.

[15]. *„90 de ani de la înființarea Asociației Internaționale Permanente a Congreselor de Drumuri (A.I.P.C.R.)”*, Drumuri Poduri, **nr. 48**, **1999**.

[16]. S. DOROBANȚU: *„Primul profesor de drumuri din România”*, Drumuri Poduri, **nr. 15 (84)**, **pp. 18–19**, **2004**.

[17]. M. M. STOIAN: *„135 de ani de existență și rolul facultății în societatea modernă”*, în 135 ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor, Conspress, București, **pp. 3–10**, **2016**.

[18]. M. DICU: *„130 de ani de învățământ românesc în domeniul infrastructurii transporturilor”*, în 130 de ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor, UTCB, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, București, **pp. 1–8**, **2011**.

[19]. *„Personalități”*, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București.

[20]. *„140 de ani de la nașterea inventatorului Gogu Constantinescu”*, Știință & Tehnică, **2021**.

[21]. AL. R.: *„Geneza unei științe și celebritatea savantului George (Gogu) Constantinescu”*, Univers Ingineresc, **nr. 16**, **2011**.

[22]. D. DUBINĂ: *„Discurs de recepție”*, Academia Română, București, **2019**.

[23]. *„Cincinat Sfințescu, engineer and urban planner”*, arhitectura-1906.ro, **2015**.

[24]. *„Emil Prager (1888–1985)”*, Univers Ingineresc, **nr. 3**, **2008**.

[25]. V. GUȚU: *„Academician Nicolae Profiri (1886–1967)”*, în 135 ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor, Conspress, București, **pp. 13–20**, **2016**.

[26]. *„Personalități românești în construcții: Nicolae Profiri”*, Revista Construcțiilor, iunie **2013**.

[27]. S. DOROBANȚU: *„Nicolae Profiri (1886–1967). Inginer, profesor, academician, întemeietor de școală în tehnica modernă a drumurilor în România”*, Drumuri Poduri, **nr. 110 (179)**, **pp. 26–28**, **2012**.

[28]. *„Personalități românești în construcții: Mihail D. Hangan (1897–1964)”*, Revista Construcțiilor, iulie **2016**.

[29]. G. M. CROITORU: *„100 de ani de la naşterea profesorului Dan Ghiocel”*, Studii şi Comunicări / DIS, **vol. XVI**, **2023**.

[30]. *„Personalităţi româneşti în construcţii: Andrei Caracostea (1908–1996)”*, Revista Construcţiilor, septembrie **2018**.

[31]. T. IFTIMIE: *„Scurt istoric al tunelelor feroviare din România”*, în 140 de ani de învăţământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor 1881–2021, Conspress, Bucureşti, **pp. 56–72**, **2022**.

[32]. *„Personalităţi româneşti în construcţii: Ioan Stănculescu (1919–2002)”*, Revista Construcţiilor, noiembrie **2018**.

[33]. *„In memoriam prof. dr. ing. Dan Ghiocel”*, Univers Ingineresc, **nr. 21**, **2006**.

[34]. T. MĂTĂSARU: *„Balastiere şi cariere. Organizare şi exploatare”*, Editura Tehnică, Bucureşti, **1958**.

[35]. L. CRĂCIUNESCU, M. AMĂREANU: *„In memoriam Profesor Doctor Docent Alexandru Steopoe”*, în 135 ani de învăţământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor, Conspress, Bucureşti, **pp. 37–40**, **2016**.

[36]. *„Drumar şi dascăl pentru generaţii de drumari. O viaţă dedicată tehnicii rutiere din România”*, Drumuri Poduri, **nr. 30**, **1996**.

[37]. S. DOROBANŢU (coord.): *„Drumuri. Calcul şi proiectare”*, Editura Tehnică, Bucureşti, **1980**.

[38]. I. ŞINCA: *„O zi de amintiri la... UTC Bucureşti” (Alma Mater)*, Drumuri Poduri, **nr. 73 (142)**, **p. 43**, **2009**.

[39]. I. ŞINCA: *„Omagierea unui eminent Profesor”*, Drumuri Poduri, **nr. 95 (164)**, **p. 35**, **2011**.

[40]. L. STELEA: *„Învăţământul superior de drumuri şi problemele sale. Interviu cu prof. dr. ing. Stelian Dorobanţu”*, Drumuri Poduri, **nr. 2**, **pp. 8–9**, **1991**.

[41]. *„Portret. Prof. univ. dr. ing. Stelian Dorobanţu, Doctor Honoris Causa al Universităţii Tehnice de Construcţii Bucureşti”*, Drumuri Poduri, **nr. 63**, **pp. 32–34**, **2001**.

[42]. *„In memoriam Gheorghe Buzuloiu”*, Univers Ingineresc, **nr. 1**, **2013**.

[43]. *„In memoriam: ing. Ion Nițu”*, Drumuri Poduri, **nr. 60**, **2001**.

[44]. S. FLOREA, T. IVĂNESCU, C. PETRESCU, V. CĂNUȚĂ: *„O viață, o pasiune – podurile”*, Drumuri Poduri, **nr. 35 (104)**, **pp. 2–9**, **2006**.

[45]. GH. BUZULOIU: *„Traversarea permanentă a Dunării, la Brăila” (Restituiri)*, Drumuri Poduri, **nr. 142 (211)**, **pp. 3–7**, **2015**.

[46]. S. FLOREA: *„A părăsit lumea noastră un mare iubitor al lucrărilor de artă”*, Drumuri Poduri, **nr. 118 (187)**, **pp. 31–32**, **2013**.

[47]. COLEGII DIN PROMOȚIA 1953: *„A mai căzut o stea din constelația constructorilor români. Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Ilie” (In memoriam)*, Drumuri Poduri, **nr. 15 (84)**, **p. 46**, **2004**.

[48]. *„In memoriam. Ing. Ioan Lup: o carieră de excepție (1925–2016)”*, Drumuri Poduri, **nr. 153 (222)**, **p. 35**, **2016**.

[49]. *„In memoriam prof. univ. em. dr. ing. DHC Nicolai Țopa”*, Univers Ingineresc, **nr. 19**, **2017**.

[50]. T. LABIȘ-CREȚU: *„Personalități în domeniul disciplinelor de calcul din învățământul tehnic superior de construcții”*, în 140 de ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor 1881–2021, Conspress, București, **pp. 38–42**, **2022**.

[51]. R. P. VOINEA: *„Profesorul universitar doctor docent inginer Petre P. Teodorescu la 80 de ani”*, Univers Ingineresc, **nr. 11**, **2009**.

[52]. *„Evocarea personalității prof. dr. docent ing. Petre P. Teodorescu”*, Univers Ingineresc, **nr. 12**, **2014**.

[53]. *„Personalități românești în construcții: Iorgu Nicula”*, Revista Construcțiilor, **nr. 118**, septembrie **2015**.

[54]. *„Fond de carte”*, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, UTCB, **2026**.

[55]. M. DICU: *„Profesor univ. dr. ing. Jercan Stan”*, în 140 de ani de învățământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor 1881–2021, Conspress, București, **pp. 27–30**, **2022**.

[56]. „*Un drum către eternitate. Dr. ing. Mihai Boicu (1933–2016)”*, Drumuri Poduri, **nr. 156 (225)**, **2016**.

[57]. C. CHIOTAN, M. GIURA, P. IONESCU, E. NEGOESCU, S. PARIS: „*Prof. univ. dr. ing. Radu Petre Ionel – o viață în slujba învățământului universitar și ingineriei podurilor masive”*, în 140 de ani de învăţământ tehnic românesc în domeniul infrastructurii transporturilor 1881–2021, Conspress, București, **pp. 31–37**, **2022**.

[58]. P. I. RADU, E. NEGOESCU, P. IONESCU: „*Poduri din beton armat”*, Editura Didactică și Pedagogică, București, **1981**.

[59]. „*25 de ani de existență. La mulți ani, A.P.D.P.!”*, Drumuri Poduri, **nr. 147 (216)**, **pp. 1–12**, **2015**.

[60]. „*Personalități românești în construcții: Dragoș Teodorescu”*, Revista Construcțiilor, iulie **2018**.

[61]. „*Personalități românești în construcții: Constantin Romanescu”*, Revista Construcțiilor, februarie **2022**.

[62]. V. HILA, C. RADU, C. UNGUREANU, G. STOICESCU: „*Căi ferate. Partea I. Bazele proiectării căilor ferate”*, Institutul de Construcții București, **1975**.

[63]. CATEDRA DE DRUMURI ȘI CĂI FERATE, UTCB: „*In memoriam: Profesorul Ion Răcănel”*, Drumuri Poduri, **nr. 43**, **1998**.

[64]. V. FIERBINȚEANU: „*Calculul automat al structurilor”*, curs pentru uzul studenților, **1984**.

[65]. „*In memoriam: Ing. Victor Urdea”*, Drumuri Poduri, **nr. 86 (155)**, **p. 46**, **2010**.

DIN BĂNCILE FCFDP, LA 145 DE ANI DE LA ÎNFIINȚARE

Prina Alexandru, student anul IV, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, reprezentant al studenților CFDP în Senatul UTCB, e-mail: alexandru-ionut.prina@student.utcb.ro

În 1881, sub conducerea inginerului Gheorghe Duca, lua ființă la București Școala de Poduri și Șosele. Din băncile ei au plecat, generație după generație, inginerii care au construit podurile, șoselele și căile ferate ale României. Astăzi, la 145 de ani, e rândul nostru, al celor care încă stăm în aceleași bănci, să spunem cum arată facultatea din interior. Între generațiile care ne-au precedat și a noastră s-au schimbat multe: cum învățăm, cum lucrăm, chiar și ce înseamnă să fii inginer. Ce a rămas la fel sunt băncile facultății, din care pleacă, an de an, următoarele generații de ingineri.

Pentru a scrie aceste rânduri, mi-am întrebat colegii, printr-un scurt sondaj, cum trăiesc anii de facultate. Din răspunsuri se conturează portretul unei generații:

1. Este o generație care intră devreme în meserie. Mulți dintre noi lucrăm deja, cu un job sau cu un internship, și ne împărțim ziua între curs și birou sau șantier. Învățăm astfel, încă din bancă, ce înseamnă un proiect real, un termen de predare sau o zi pe șantier.

2. Este o generație care crește odată cu noile tehnologii. De la programele de proiectare și calcul până la primele instrumente de inteligență artificială, tehnologia face parte din munca noastră de zi cu zi, iar colegii își doresc să o stăpânească cât mai bine. Avem la îndemână instrumente pe care generațiile dinaintea noastră nu le-au avut și, odată cu ele, responsabilitatea de a le folosi cu discernământ.

3. Și, aș adăuga, este o generație care învață în condiții tot mai bune. Renovarea corpului E ne oferă spații moderne pentru cursuri, laboratoare și lucru în echipă și pregătește facultatea pentru serii tot mai mari de studenți. Iar Bucureștiul, cu toate provocările lui, ne aduce aproape de multe dintre marile firme și șantiere de infrastructură din țară.

Pentru următorii ani

Meseria de inginer se sprijină pe două lucruri care se construiesc în timp: experiența practică și înțelegerea teoriei. Pe partea de practică, entuziasmul e evident: vizitele pe șantier, încercările de laborator, practica de vară și discuțiile cu specialiștii din domeniu sunt printre cele mai așteptate momente ale anului, iar cei mai mulți dintre colegi se văd, după facultate, pe șantier.

Cel mai frumos lucru găsit în sondaj nu a fost o cifră. Într-un chestionar anonim, unde puteau scrie orice, mulți colegi au ales să mulțumească. Unul a scris, pentru profesorii dedicați: „Datorită vouă ies de pe băncile facultății ingineri cărora chiar le place ceea ce fac.” Sunt de acord cu el.

Pentru următorii 145 de ani, ne dorim:

- Cât mai multe parteneriate cu firmele din domeniu și cât mai multă practică pe lucrări reale.
- Ingineri din proiectare și execuție la cursuri și cât mai multe vizite pe șantier.
- Cursuri care să ne învețe să folosim cât mai bine programele și tehnologiile noi din infrastructură.
- O viață studențească bogată, cu cămine, sport și cultură pe măsura unei facultăți cu o asemenea istorie.

Acum 145 de ani, câțiva ingineri au pus bazele unei școli care avea să construiască o țară. Noi, cei de azi, moștenim inițiativa lor academică și responsabilitatea de a o duce mai departe.

La mulți ani, CFDP!

GÂNDURI DE LA JUMĂTATEA DRUMULUI

Soroceanu Daria-Maria, studentă anul II, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, email: daria-maria.soroceanu@student.utcb.ro

Încă din liceu am știut că vreau să fac inginerie și nu am avut niciodată îndoieli în privința asta. Ce nu știam era unde. Răspunsul nu mi l-au dat broșurile de admitere sau site-urile facultăților, ci, fără să-și dea seama, oamenii din jurul meu.

Am crescut ascultând povești despre anii de facultate ai celor apropiați: examene care păreau imposibile, proiecte terminate în ultima noapte, ore petrecute în sălile de curs, glume care se spun și astăzi. Dar ce m-a impresionat cel mai mult nu au fost întâmplările în sine, ci faptul că, după atâția ani, acești oameni încă se caută, încă vorbesc între ei și încă au nevoie unii de alții. Mi-am spus atunci că o facultate care lasă în urmă astfel de legături merită încercată.

Acum, în anul doi, înțeleg mai bine ce vedeam de departe. Nu mi-a fost ușor. Au fost materii care, la început, m-au speriat atât de tare încât îmi repetam: „Eu nu mă descurc, eu nu voi putea.” Au fost nopți de învățat, proiecte începute târziu, caiete pline de calcule și exerciții aparent simple care nu ieșeau deloc. Dar după fiecare astfel de moment a venit satisfacția aceea greu de explicat, când, în sfârșit, înțelegi. Cred că asta te formează cel mai mult: nu doar examenele pe care le treci, ci clipa în care îți dai seama că ai reușit ceva ce, cu câteva săptămâni înainte, ți se părea mult prea complicat.

Și profesorii au avut un rol important în drumul acesta. Exigența lor ni s-a părut uneori greu de înțeles, dar am început să vedem că în spatele ei se află dorința de a ne pregăti corect pentru ce urmează. Au fost alături de noi până în ultima zi dinaintea examenului, gata să ne ajute cu tot ce puteau. Emoțiile dinaintea examenului sunt ceva aparte: ne strângeam toți în fața sălii, repetam formulele, ne mai întrebam unii pe alții și încercam să ne convingem că suntem pregătiți. Iar după examen, când ieșeam din sală și comparam ce am scris, ne dădeam seama că totul a decurs mai bine decât ne temeam. Atunci vedeam cât de mult își doresc profesorii ca studenții să reușească, nu doar să treacă, ci să înțeleagă cu adevărat.

Într-o structură, niciun element nu ține singur greutatea, iar într-o grupă e la fel. Colegii cu care rezolvi o temă până târziu, cel care îți explică pe îndelete ce n-ai înțeles la curs, cel care îți spune „hai că se poate” când ești aproape să renunți, toți fac diferența. Fără ei, multe dintre momentele grele ar fi fost mult mai apăsătoare.

Sunt la jumătatea licenței și știu că partea cea mai grea abia urmează. Vor mai fi examene, proiecte, nopți nedormite și momente în care voi avea nevoie să-mi amintesc de ce am început. Dar merg mai departe cu mai multă încredere decât aveam la început, pentru că acum știu că pot trece și peste lucrurile care, la prima vedere, par imposibile. Numele facultății înseamnă acum mai mult pentru mine decât la început. Calea ferată, drumul și podul sunt, până la urmă, despre legături: între oameni, între locuri și între generații.

Celor care stau acum în fața alegerii pe care am avut-o și eu le-aș spune să aleagă drumul care le dă curaj. Iar dacă acel drum e Căi Ferate, Drumuri și Poduri, să știe că vor găsi aici nu doar cunoștințe, formule și proiecte, ci și oameni pe care îi vor păstra o viață întreagă. Pentru că, până la urmă, nu contează doar ce construiești, ci și cine îți este alături în timp ce o faci.