



Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studentești

22-23 MAI 2025

Cluj-Napoca
Ediția a XXIII-a



SESIUNEA NAȚIONALĂ DE COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE STUDENȚEȘTI

Ediția a XXIII-a

ISSN 3061 - 6336
ISSN-L 3061 – 6336
Cluj-Napoca, 22-23 Mai 2025

Editori:

Prof.dr.ing. Daniela Lucia MANEA
Conf.dr.ing. Mădălina CIOTLĂUȘ
Conf.dr.ing. Marius BURU
Conf.dr.ing. Horia CONSTANTINESCU

Conf.dr.ing. Mircea BONDREA
Conf.dr.ec. Sorina CIPLEA
Conf.dr.ing. Alexandra DANCIU
S.L.dr.ing. Melania BOITOR
S.L.dr.ing. Crina FENEȘAN
S.L.dr.ing. Adina LĂPUȘTE
S.L.dr.ing. Dorina SUCALĂ

U.T. PRESS Cluj-
Napoca, 2025



Editura U.T.PRESS
Str. Observatorului nr. 34
400775 Cluj-Napoca
Tel.: 0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Toate drepturile și responsabilitățile asupra conținutului lucrărilor publicate aparțin exclusiv autorilor. Se consideră că autorii lucrărilor trimise sunt, în mod implicit, de acord cu publicarea lor. Reproducerea integrală sau parțială a textului sau a ilustrațiilor este posibilă numai cu acordul prealabil al autorilor.

ISSN 3061 - 6336
ISSN-L 3061 - 6336



COMITETUL ȘTIINȚIFIC

ABRUDAN ANCUȚA, UTCN
ACIU CLAUDIU, UTCN
LĂPUȘTE ADINA, UTCN
ALBU HORAȚIU, UTCN
BABOTĂ FLORIN, UTCN
BACOȚIU CIPRIAN, UTCN
BĂRBOS GHEORGHE, UTCN
BECA ILINCA, UTCN
BESOIU TEODORA, UTCN
BEU DORIN, UTCN
BLAGA FLORIN, UTCN
BOITOR MELANIA, UTCN
BONDREA MIRCEA, UTCN
BOTEZ MIRCEA, UTCN
BOTOȘ MARIUS, UTCN
BURU MARIUS, UTCN
CADAR RODICA, UTCN
CHINDRIȘ IONUȚ, UTCN
CHIOTAN CORINA, UTCN
CHIRA TEODOR, UTCN
CHISĂLIȚĂ GELU, UTCN
CILIBIU CONSTANTIN, UTCN
CIONT NICOLAE, UTCN
CIOTLĂUȘ MĂDĂLINA, UTCN
CIPLEA SORINA, UTCN
CIUGUDEAN CĂLIN NICOLAE, UTCN
CLITAN ANDREI, UTCN
CORBU OFELIA, UTCN
DANCIU ALEXANDRA, UTCN
DEAC ANA GABRIELA, UTCN
DRĂGHICI GABRIELA, UNIV. OVIDIUS ORADEA
DRAGOMIR MIHAI, UTCN
DUMITRAN MIHAELA, UTCN
FENESAN CRINA, UTCN
GĂLGĂU RALUCA, UTCN
GHERMAN MARIUS, UTCN
GHERMAN OANA, UTCN
GOBESZ ZSONGOR, UTCN
HADAREAN ADRIANA, UTCN
HODA GAVRIL, UTCN
IACOB CRISTINA, UTCN

IERNUTAN RAZVAN, UTCN
ILUȚIU-VARVARA DANA-ADRIANA, UTCN
ISAC DORIN, UTCN
ISTOAN RALUCA, UTCN
JUMATE ELENA, UTCN
MARUSCEAC VLADIMIR, UTCN
MILCHIS TUDOR, UTCN
MODLOVAN DUMITRU, UTCN
MOJOLIC CRISTIAN, UTCN
MOLDOVAN ANA-MARIA, UTCN
MOLDOVAN DUMITRIȚA, UTCN
MOLDOVAN DORIN, UTCN
MOLDOVAN IOANA, UTCN
MOLDOVAN RALUCA, UTCN
MUREȘAN DAN VASILE, UTCN
NAGY ANDOR, UTCN
NAGY ZSOLT, UTCN
NAȘ SANDA, UTCN
NEDELICU MIHAI, UTCN
NEGRUȚIU CAMELIA, UTCN
NERISANU RALUCA, UTCN
NISTOR CATALIN, UNIV. PETROȘANI
ORBAN ZSOLT, UTCN
PETRINA TUDOR, UTCN
PLEȘA LUMINITA, UTCN
POP OCTAVIAN GABRIEL, UTCN
RADULESCU ADRIAN, UTCN
RĂDULESCU MIHAI, UTCN
ROMAN-PINTICAN MARIA-NICOLETA, UTCN
RUS TANIA, UTCN
ȘOȘA IOAN, UTCN
STEFAN LUCIAN, UTCN
SUCALĂ DORINA, UTCN
SUNAI GELMAMBET, UNIV. OVIDIUS ORADEA
TEODORESCU IOANA, UTCN
TIRIAC ALEXANDRA, UTCN
VEREȘ SAMUEL-IOEL, UTCN
ZAMFIR MIHAELA, UTCN
ZDRENGHEA DORU, UTCN



COMITETUL DE ORGANIZARE

Prof.dr.ing. Daniela- Lucia MANEA

Conf.dr.ing. Mădălina CIOTLĂUȘ

Conf.dr.ing. Marius BURU

Conf.dr.ing. Horia CONSTANTINESCU

Conf.dr.ing. Sanda NAȘ

Conf.dr.ing. Ciprian BACOȚIU

Stud. Horațiu DULF

Ing. Marius LUPOU

Sorina GEORGIU

Toate drepturile și responsabilitățile asupra conținutului lucrărilor publicate aparțin exclusiv autorilor. Se consideră că autorii lucrărilor trimise sunt, în mod implicit, de acord cu publicarea lor. Reproducerea integrală sau parțială a textului sau a ilustrațiilor este posibilă numai cu acordul prealabil al autorilor.



CUPRINS

SECȚIUNEA 1	7
Studenți anii I și II: Inginerie Civilă, Inginerie și Management	
GEOMETRIA DESCRIPTIVĂ ÎN INGINERIA CIVILĂ	8
David PAP	
PET-UL RECICLAT – RESURSĂ ALTERNATIVĂ PENTRU DEZVOLTAREA MATERIALELOR SUSTENABILE ANALIZAT PRIN H RMN	16
C.D. CUREA, N. C. MOLDOVAN, B. I. BUTUZA	
MATERIALE CARE CAPTEAZĂ ȘI STOCHEAZĂ ENERGIA.....	23
Andreea N. BEJINARU	
UTILIZAREA MATERIALELOR RECICLABILE PENTRU IZOLAREA CLĂDIRILOR. O SOLUȚIE SUSTENABILĂ	29
Adam BALOGH, Emanuel-Anton CIURCAS, Denis Alexandru SURD	
CASELE MODULARE DIN CONTAINERE: O ALTERNATIVĂ MODERNĂ ȘI SUSTENABILĂ	37
Levente GELLER, Nicoleta – Adriana GEORGES	
STICLĂ RECICLATĂ ÎN MORTARE: O SOLUȚIE SUSTENABILĂ PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚIE.....	43
R.A.M. GAVRA, T.A. IANOȘ, L. JURCA	
STUDII PRIVIND ARMAREA IPSOSULUI CU FIBRE TEXTILE RECICLATE.....	50
Mara POPESCU, Andreea MUNTEANU, Karina ARDELEAN	
VALORIFICAREA ȘTIULEȚILOR DE PORUMB ÎN COMPOZIȚIA MORTARELOR PE BAZĂ DE CIMENT PORTLAND.....	56
Alexandra-Loredana M.I. BOCȘA, Teodora-Maria M.I. BUZAȘ, Leyla Valentine J.L.A.G. GRARD, Carla C.D. GHIRAN	
INTEGRAREA DEȘEURILOR DE CAUCIUC ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR.....	67
Balázs-Róbert FODOR, Denisa DIRTU	
STUDIU EXPERIMENTAL PRIVIND PROPRIETĂȚILE MORTARULUI DE TENCUIALĂ PE BAZĂ DE CIMENT PORTLAND CU ADAOS DE FIBRE TEXTILE	73
Ana-Alexandra A.P. DEAK, Karina-Sabina L.O.D. SBIERA	
REZISTENȚA ȘI COMPORTAMENTUL DURABIL AL MICROBETONULUI CU STICLĂ RECICLATĂ ȘI ARMARE TEXTILĂ	7
Maria A. ȚÎMPĂU, Andreea T.C. GHELBERE	
SECȚIUNEA 2	14
Ingineria Instalațiilor	
COMPARAREA METODELOR DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ PENTRU PREDICȚIA TEMPERATURII ÎNTR-UN SISTEM DE CLIMATIZARE AUTOMATIZAT PRIN KNX.....	15
Răzvan-Lucian G. CHIȘ, Adrian I.F. CHIȘ, Daniel Cristian I. BOLOG	
SISTEM AUTOMAT DE PROTECȚIE LA INUNDAȚIE BAZAT PE ARDUINO.....	22
Remus O. MOLDOVAN, Rareș Constantin A. BARNA	
SISTEM DE ÎNREGISTRARE A UNUI SET DE TREI TEMPERATURI AVÂND LA BAZĂ PLACA ARDUINO UNO R3.....	30
Andrei I. TIA	



ANALIZA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI OPTIMIZAREA SISTEMULUI FOTOVOLTAIC INSTALAT PENTRU CLĂDIREA FACULTĂȚII DE INGINERIE A INSTALAȚIILOR DIN CLUJ-NAPOCA.....	37
Alin I. CHIOREAN, Andras VIG, Attila SZEREDAI	
STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN ORAȘUL HUEDIN, JUDEȚUL CLUJ.....	44
Mario Eduard SERAFIM, Cătălin Ștefan MILĂR	
STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL REGHIN, JUDEȚUL MUREȘ	50
Cătălin Ștefan MILĂR¹, ario Eduard SERAFIM	
STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL DEJ, JUDEȚUL CLUJ.....	56
Timotei FILIP, Cristian Avram IANCU	
STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRII DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL DEVA, JUDEȚUL HUNEDOARA	64
Cristian Avram IANCU, Timotei FILIP	
IMPLEMENTAREA UNEI SOLUȚII DE PRODUCERE A ENERGIEI ELECTRICE UTILIZÂND PAVAJE PIEZOELECTRICE PENTRU O ZONĂ PIETONALĂ DIN CLUJ - NAPOCA: ENERGIE VERDE LA FIECARE PAS.....	69
Andrei S.CHIRILĂ, Mihai R. BIDA	
ÎMBUNĂTĂȚIREA EFICIENȚEI ENERGETICE A BOILERELOR ELECTRICE PRIN SOLUȚII ALTERNATIVE DE ÎNCĂLZIRE ȘI STOCARE A CĂLDURII	76
Tudor T. NAȘCA, Raul R. IUGA	
STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN REPUBLICA MOLDOVA, CHIȘINĂU	83
Alexandru CALMÎȘ, Radu-Ionuț ARCIUDEAN	
CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CONCENTRAȚIILOR DE NITRAȚI ÎN APELE PROVENITE DIN IZVOARE	89
Cristian Avram IANCU, Mario Eduard SERAFIM, Alexandru CALMÎȘ	
CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CONCENTRAȚIILOR DE NITRAȚI ÎN APELE POTABILE PROVENITE DIN DIVERSE REȚELE DE DISTRIBUȚIE DIN ROMÂNIA.....	93
Radu-Ionuț ARCIUDEAN, Filip TIMOTEF² Cătălin MILĂR	
STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL GHERLA, JUDEȚUL CLUJ.....	98
Radu-Ionuț ARCIUDEAN, Alexandru CALMÎȘ	
SECȚIUNEA 3	105
Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Inginerie Urbană și Dezvoltare Regională, Amenajări și Construcții Hidrotehnice	
TEHNOLOGII SMART PAVEMENT PENTRU DRUMURI MAI SIGURE.....	106
Sara P. ȘTEȚCO, Vlad D. VENIAMIN	
CERCETĂRI EXPERIMENTALE CU PRIVIRE LA CARACTERISTICILE TEHNOLOGICE ALE ROCILOR EXPLOATATE PE CURSUL RÂULUI JIU.....	112
Valentin CIOABA, Elena MIHAIESCU	



ACUMULATORI ARHIMEDICI	118
Alexandra D. BUTAȘ, Jenifer A. BOBOI	
ANALIZA DE MOBILITATE UTILIZÂND PISTOLUL RADAR ÎN MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA	123
Lucia-Maria CATARGIU, Alexandra PURCEL	
PĂMÂNTURI STABILIZATE CU LIANȚI PUZZOLANICI – ELABORAREA REȚETEI DE STABILIZARE	130
Andreea M. AVRĂMUȚ, Ionuț V. COSTENIUC	
ANALIZA DEGRADĂRIILOR ȘI POSIBILITĂȚILE DE REABILITARE ALE UNEI PASARELE PIETONALE SUSPENDATE DIN CLUJ-NAPOCA	135
Delia-Corina S. BLANĂ, Andrei T.T. HĂSMĂȘAN	
BETON CU PROPRIETĂȚI DE AUTO-VINDECARE – INOVAȚIE DURABILĂ ÎN CONSTRUCȚII: AVANTAJE, COSTURI ȘI PERSPECTIVE DE APLICARE ÎN ROMÂNIA.....	140
Hajnalka F. M. Kocsis	
RECICLAREA CAUCIUCULUI PENTRU FOLOSIREA ÎN STRATUL DE UZURĂ.....	147
Cristiana I. SZFARA, Tania C. COȘARCĂ	
INFLUENȚA MEDIULUI ASUPRA PODURILOR DIN BETON ARMAT	153
Catalin G. SPATARU, Vasile M. I. Juravle	
RECONSTRUCȚIA TUNELELOR FERROVIARE EXISTENTE LA GABARIT DE ELECTRIFICARE	160
Simota D. Ștefan	
PERFORMANȚE PRIN EȘEC. ACCIDENTELE ȘI INCIDENTE LA STRUCTURI HIDROTEHNICE	168
Ionela .B. Coțe, Antonia Sălăgean	
METODE PROBABILISTICE ÎN CALCULUL INFILTRAȚIILOR ȘI STABILITĂȚII	175
Mureșan A. Diana	
ROLURILE GEOTEXTILELOR ÎN ÎMBUNĂTĂȚIREA COMPORTĂRII STRUCTURILOR RUTIERE ȘI A TERASAMENTELOR	182
Andreea N. CIUREA	
STUDIU ANALITIC ȘI EXPERIMENTAL ASUPRA COMPORTAMENTULUI UNUI POD REALIZAT DIN LEMN DE BALSA.....	189
Gabriela PÎRVU, Ioana A. ENACHE	
EVALUAREA FEZABILITĂȚII UTILIZĂRII BETOANELOR DE ULTRA ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ (UHPC) LA PODURI: STUDIU DE CAZ ȘI EVALUARE MULTICRITERIALĂ	195
Alexandra E. BRĂNESCU, Alexia M. RADU	
SOLUȚII SUSTENABILE PENTRU INFRASTRUCTURA VELO	203
Diana COVACI, Dan COSTAN, Adriana COLCEAR	
SOLUȚII MODERNE DE INFRASTRUCTURĂ PENTRU PODURI:	
CULEE REALIZATE DIN PALPLANȘE METALICE UMPLUTE CU PĂMÂNT ARMAT CU GEOSINTETICE-COMPORTARE, APLICABILITATE ȘI ANALIZĂ TEHNICO-ECONOMICĂ ÎN ROMÂNIA.....	209
Rareș L. POP, Viktoria POP, Alexandru A. AVRAM	
PODURI DIN BETON ARMAT PE GRINZI SIMPLU REZEMATE SAU CONTINUE?	218
Diana Toromboli, Bogdan Ion	



SECȚIUNEA 4	225
Măsurători Terestre și Cadastru, master Topografie Digitală în Construcții și Cadastru	
ADMINISTRAREA FUNCİARĂ MODERNĂ: PROVOCĂRI, SOLUȚII ȘI VIITORUL SISTEMULUI CADASTRAL ROMÂNESC.....	226
Ionuț M. FUIA	
ANALIZA COMPARATIVĂ A METODELOR DE DETERMINARE A POZIȚIEI UTILIZÂND SISTEMELE GNSS.....	235
Bogdan M. Bîrcea, Șerban A. Dan	
ANALIZA ERORILOR DE MĂSURARE A SMARTPHONE-ULUI PENTRU MODELARE 3D COMPARATIV CU INSTRUMENTELE TOPOGRAFICE DE ÎNALTĂ PRECIZIE	243
Maria-Anastasia NACU	
CONSIDERAȚII PRIVIND METODELE DE MĂSURARE A ELEMENTELOR TOPOGRAFICE	251
Mihai-Daniel D. ZAHA, Ana-Maria-Iuliana V. RĂTUȘANU , Cristian- Stelian S. PREAN	
EVALUAREA DIFERENȚELOR ÎNTRE MODELELE 3D OBȚINUTE PRIN TEHNOLOGIILE LIDAR ȘI FOTOGRAMMETRIE AERIANĂ	258
Ema V. BODESCU, Gabriela-Simona S. CANDALE, Maria-Raluca D. IUGA	
MONITORIZAREA STRUCTURALĂ ÎN TIMP PRIN DIFERITE METODE DE MĂSURARE CLASICE ȘI MODERNE A CENTURII ÎN VÂLCELE-APAIDA	265
Cordoș A. Cristina, Ungur Denisa	
UTILIZAREA COMPARATIVĂ A TEHNICILOR CLASICE ȘI MODERNE PENTRU INTRODUCEREA UNUI PROIECT PILOT ÎN COMUNA TIHA BÂRGĂULUI	273
Arsinica Maria CUREA	
STUDIU COMPARATIV DE APLICARE A MODELULUI DIGITAL AL ELEVĂȚIEI ÎN MĂSURĂTORILE TERESTRE. STUDIU DE CAZ: CARIERĂ DE NISIP DIN OCNA SIBIULUI.....	280
Răzvan-Gabriel I. ALEXE	
COMISIA 5.....	288
Arhitectură, Construcții Civile, Industriale și Agricole, Masterat, Doctorat	
DETECTAREA FISURILOR LA O GRINDĂ DIN BETON ARMAT PE BAZA MODURILOR PROPRII DE VIBRAȚIE	289
M.Ioana-Maria BOLDOR, C.B. Ioan-Cristian-Paul CUCUIAN, K. Attila PÁL	
OPTIMIZAREA STRUCTURII DE REZISTENȚĂ PENTRU TURBINE EOLIENE DE MICI DIMENSIUNI.....	297
D.GABRIAN	
CARACTERIZAREA MINERALO-PETROGRAFICĂ A GRANITOIDELOR DIN SUD – EST MUNȚII VÂLCAN	304
E.MIHAIESCU, V.M. CIOABA	
TESTAREA PERFORMANȚEI MODELELOR EXISTENTE DE AI ÎN DETECTAREA DEGRADĂRILOR STRUCTURALE ALE PODURILOR.....	312
Anamaria I. TOMPA (Cas. VIRVARUTI)	
INTEGRAREA IOT ÎN TRANSPORTUL URBAN INTELIGENT. STUDIU DE CAZ AL REȚELEI DE TRAMVAI CLUJENE.....	318
Iulia-Melania Bălan, Liviu Alexa	



PLANIFICAREA STRATEGICĂ ÎN CONCEPEREA ACOPERIȘURILOR DE TIP ȘARPANTĂ.....	328
Beatrice-Cosmina I. Miron, Claudia I. Stefan (Dragu)	
EXAMINAREA FORMULELOR DIN CR 1-1-4/2012 FOLOSIND ANALIZA CFD	336
Mátyás L. FEKETE¹	
ANALIZA COMPORTĂRII SEISMICE A CLĂDIRILOR DIN PANOURI MARI PREFABRICATE DIN BETON ARMAT ÎN URMA INTERVENȚIILOR NEAUTORIZATE ASUPRA STRUCTURII... 342	
Ghițulescu Mihai-Valentin	
BETON ECOLOGIC CU CAUCIUC	350
Anita VASS, M. VÂRTELEAN	
BETONUL CU ADAOSURI INDUSTRIALE ȘI APLICABILITATEA ACESTUIA	356
Georgiana D. ALUPEI, Irina I. BATIN	
IZOLATORI SEISMICI PE BAZĂ DE FLUIDE NENEWTONIENE	364
Bianca IRIMIEA, Alessia MARIȚA, Silviu V. GLIGOR	
PROIECTAREA STRUCTURILOR DE LEMN: O COMPARATIE INTRE ABORDARILE EUROPENE SI AMERICANE.....	372
I.A. PAVEL, V.M. NISTOR	
ANALIZA COMPORTAMENTULUI ÎMBINĂRILOR GRINDĂ-STÂLP METALIC CU PLACĂ DE CAPĂT EXTINSĂ	380
A.-B. SÜTŐ¹, N. URSZULY, B.-A. LŐRINCZ	
DIMENSIONAREA UNEI SUPRAETAJĂRI METALICE CONSIDERÂND INFLUENȚA RIGIDITĂȚII CONEXIUNII DE LA BAZA STÂLPILOR	388
Eduard PÎNZARU	



SECȚIUNEA 1

Studenți anii I și II: Inginerie Civilă, Inginerie și Management



GEOMETRIA DESCRIPTIVĂ ÎN INGINERIA CIVILĂ

Autor/autori

David PAP1

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: pap.ga.david@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Asist. Univ. Dr. Ing. Gheorghe BĂRBOS²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: gheorghe.barbos@cfdp.utcluj.ro

REZUMAT: Domeniul ingineriei, în general, presupune o abordare pragmatică a diferitelor cerințe și necesități ce pot apărea în anumite ramuri de activitate sau chiar spontan în viața de zi cu zi. Cunoștințele științifice sunt armonizate de experiențele practice ajutând la rezolvarea unor probleme tehnice și la optimizarea unor procese. În acest context, ingineria civilă implică proiectarea și executarea diferitelor tipuri de lucrări sau structuri (aeroporturi, șosele, căi ferate, poduri, tuneluri, baraje și clădiri) care facilitează desfășurarea activităților noastre de zi cu zi, într-un mediu sigur și plăcut. Pe lângă capacitățile firești ale inginerilor de a rezolva eficient probleme tehnice și de a ști modul simplu și economic de a oferi soluții în anumite situații, o altă însușire esențială a acestora este aceea de a avea abilitatea de observare în spațiu a diferitelor corpuri. De altfel, această însușire este esențială în special în ingineria civilă. Primii pași în dezvoltarea abilității de a vedea corpurile în spațiu, de a obține intersecții, adevărate mărimi, dar și suprafețe plane a unor reprezentări tridimensionale, sunt marcați de geometria descriptivă care explică progresiv și folositor modul de obținere a acestor reprezentări. Așadar, prezentul articol își propune prezentarea unor legături utile dintre geometria descriptivă și ingineria civilă.

Cuvinte cheie: ingineria civilă, geometria descriptivă, construcții, intersecții, adevărate mărimi.

1. Introducere

Ingineria civilă este o ramură a ingineriei care cuprinde proiectarea, construcția și întreținerea infrastructurii, cum ar fi clădiri, drumuri, poduri și sisteme de alimentare cu apă. Implică aplicarea principiilor științifice și matematice pentru a crea structuri sigure și eficiente care să răspundă nevoilor societății. În lumea de astăzi care evoluează rapid, ingineria civilă joacă un rol crucial în modelarea orașelor noastre și în îmbunătățirea calității vieții noastre.

Ingineria civilă este esențială în diferite ocupații și industrii. În industria construcțiilor, inginerii civili sunt responsabili pentru supravegherea proiectelor, asigurarea conformității cu reglementările de siguranță și gestionarea bugetelor și a termenelor. De asemenea, colaborează cu arhitecți, antreprenori și alți profesioniști pentru a asigura finalizarea cu succes a proiectelor. În plus, inginerii civili joacă un rol vital în planificarea urbană, realizarea sistemelor de transport, conservarea mediului și atenuarea dezastrelor [1].

Termenul „civil” provine din dorința de a transfera în domeniul civil competențele tehnicilor din domeniul militar. Armatele erau întotdeauna însoțite de tehnicieni care erau capabili să realizeze lucrările necesare pentru a ajuta trupele să depășească orice obstacol întâlnit în calea lor. Un exemplu clasic îl constituie podurile plutitoare făcute din pontoane, poduri folosite de Napoleon în campaniile sale din Europa și care apoi au fost utilizate și de către civili (Figura 1).



Figura 1. Pod din pontoane peste râul James în Richmond, Virginia, 1865 [2].

Domeniul de aplicare al ingineriei civile cuprinde diferite sectoare, cum ar fi: construcții civile și industriale, infrastructura transporturilor (căi ferate, șosele, porturi, aeroporturi), poduri și tunele, construcții hidrotehnice (baraje, lucrări hidrotehnice de protecție, apeducte, canalizări etc.) și structuri în zone seismice. Există mai multe domenii în care se poate specializa un inginer civil, iar acestea sunt: ingineria construcțiilor; ingineria geotehnică; ingineria geodezică; ingineria apelor; ingineria infrastructurii și transporturilor; ingineria planificării teritoriului și ingineria structurală [3].

Ingineria construcțiilor este ramura ingineriei care se ocupă de proiectare, management în construcții, producția șantierului, testarea, întreținerea și restaurarea clădirilor pentru uz civil.

Inginerii civili sunt responsabili pentru diverse sarcini, inclusiv investigarea șantierului, studiile de fezabilitate, proiectarea și analiza structurilor, pregătirea planurilor și specificațiilor de construcție, gestionarea proiectelor de construcție și asigurarea conformității cu reglementările de siguranță și de mediu. El joacă un rol crucial în asigurarea finalizării cu succes a proiectelor, luând în considerare factori precum costul, timpul și calitatea [4]. Așadar, un inginer civil este o persoană cu simț tehnic și un bun organizator. Dacă trebuie să ne referim la abilitatea inginerului de a proiecta structuri atunci acesta trebuie să aibă capacitatea de a determina prin calcul rezistența și durabilitatea structurilor respective, dar și de a avea o viziune asupra structurilor pe care urmează să le proiecteze. În termeni legați de imagine și formă, să aibă dezvoltat simțul vederii în spațiu. Această abilitate poate fi descoperită și dezvoltată cu ajutorul geometriei descriptive, care pe lângă acest fapt ajută și la soluționarea pe cale grafică a unor probleme tehnice din ingineria civilă.

Geometria descriptivă a fost inițial definită de matematicianul francez Gaspard Monge (1746 - 1818). Este o ramură a geometriei care definește metodele necesare rezolvării grafice a problemelor de intersecții și de umbre între volume și suprafețe definite în mod geometric în spațiul cu trei dimensiuni. Este vorba, în general, de a căuta adevărata mărime a cotelor, de a trasa curbele intersecțiilor solidelor, de a determina natura curbilor (cerc, elipsă, parabolă, hiperbolă), de a dezvolta suprafețe (conică, cilindrică, prismatică) și de a desena un obiect potrivit unui unghi de vedere dat (rotație, rabatere, schimbare de plan în spațiu) [5].

Geometria descriptivă este folosită ca o unealtă de lucru, ca o sursă de soluții în multe ramuri ingineresti, cum sunt: mecanica, construcțiile și arhitectura. Multe dintre metodele ei de lucru sunt mai simple și mai directe decât metodele matematicii pure. Se poate spune că uneori, pe baza cunoștințelor și metodelor grafice, soluțiile în matematică se pot simplifica prin înțelegerea corectă a problemelor spațiale, prin analiza grafică a relațiilor spațiale dintre elementele geometrice componente. Geometria descriptivă este esențială în cercetare și proiectare. Proiectarea începe întotdeauna cu o etapă grafică, urmată apoi de corelarea activităților ingineresti și matematiche, ducând la caracterul științific al proiectării [6].

Sistemele de proiecție folosite de geometria descriptivă asociază elemente de bază ale vederii umane (teoremele privind fasciculele de lumină) cu elemente geometrice componente ale sistemului de proiecție respectiv. Reprezentarea unui corp prin proiecție se obține ducând prin punctele aferente conturului raze vizuale (de proiecție) numite proiectante, adică linii drepte care la intersecția lor cu planul de proiecție (planul pe care se face proiecția) redau pe acesta imaginea (proiecția) corpului.

Elementele de bază ale unei proiecții sunt: ochiul observatorului, numit centrul de proiecție, suprafața pe care se proiectează obiectul numită plan de proiecție, razele vizuale care trec prin punctele caracteristice numite proiectante și punctele obținute pe planul de proiecție după realizarea proiecției (Figura 2).

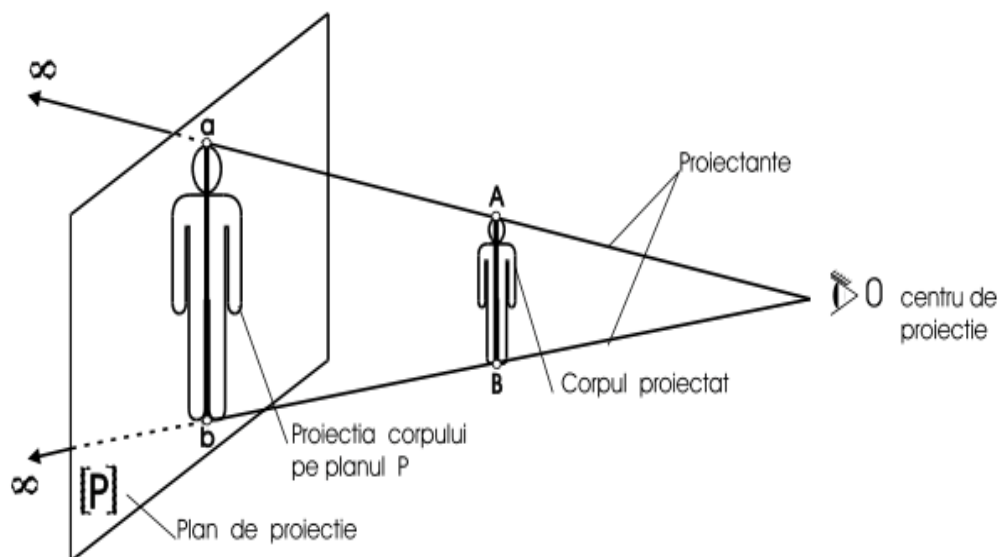


Figura 2. Elementele de bază ale unei proiecții [7].

Cel mai bine putem înțelege descrierea unui corp aflat în spațiu prin reprezentarea sa într-o imagine tridimensională. Însă, în construcții, este necesar să se figureze multe reprezentări și detalii după două dimensiuni, fiind mult mai sugestive prin furnizarea de informații legate de forma, dimensiunile (cotele) și, de ce nu, de elementele ascunse ale corpurilor respective. Astfel, un corp în spațiu (structură spațială) poate fi proiectat cu unghiuri drepte pe cel puțin două plane de proiecție, orizontal și vertical, (maxim șase, reprezentând suprafețele unui cub) perpendiculare între ele. Acest procedeu poartă numele de epură și este specific geometriei descriptive. De altfel, epura este desenul care conține rezolvarea grafică a unor probleme de geometrie în spațiu. Epura este un prim exercițiu de imaginație, ajutându-ne să obținem vederi plane, prin proiectarea obiectelor pe plane de proiecție, care mai apoi pot fi compuse în imaginea spațială a obiectelor respective (Figura 3).

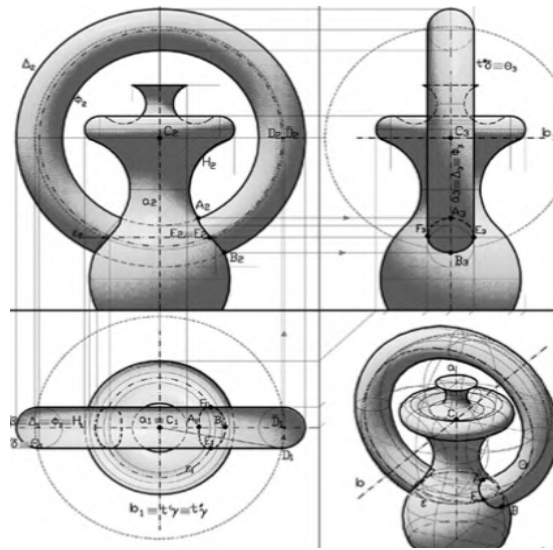


Figura 3. Epura unui obiect în triplă proiecție ortogonală [8].

Alte tipuri de reprezentări grafice care pot ajuta un inginer civil să își dezvolte aptitudinea vederii în spațiu sunt reprezentarea axonometrică și cea cotateă. Prin reprezentarea axonometrică se urmărește ca imaginea obținută să sugereze spațial corpul, în timp ce prin reprezentarea cotateă se urmărește ca suprafețele să fie reprezentate prin proiecții pe planul orizontal de proiecție [H], cu ajutorul elementelor numerice ce definesc cotele (înălțimile) punctelor.

2. Exemple practice de aplicare a geometriei descriptive în ingineria civilă

Geometria descriptivă este utilă în rezolvarea unor probleme matematice, ajutând de asemenea și la soluționarea unor cerințe legate de intersecții de plane și corpuri, adevărate mărimi de suprafețe, precum și de poziționarea unor construcții în teren.

Așadar, un prim exemplu al aplicării geometriei descriptive în practica curentă a unui inginer civil ar putea fi obținerea unor contururi de secționare prin corpuri conice sau cilindrice. Aceste informații pot fi utile atunci când, de exemplu, conectăm două bare cilindrice între ele prin sudură, în cazul unei construcții metalice și dorim să aflăm lungimi ale cordoanelor de sudură (Figura 4).

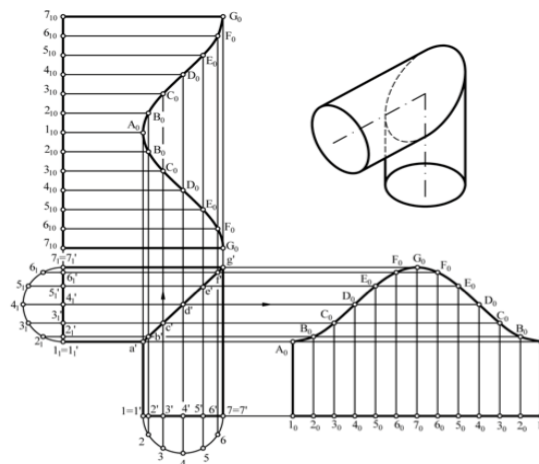


Figura 4. Intersecția dintre doi cilindri și desfășuratele lor [9].



Prin metoda rabaterii putem foarte ușor să obținem arii ale suprafețelor înclinate (plăci, grinzi cu zăbrele, versanți, fațade, etc.), iar prin procedeul desfășurării corpurilor din geometria descriptivă, putem obține arii ale suprafețelor conice sau cilindrice în cazul construcțiilor cu această formă mai specială (Figura 5).

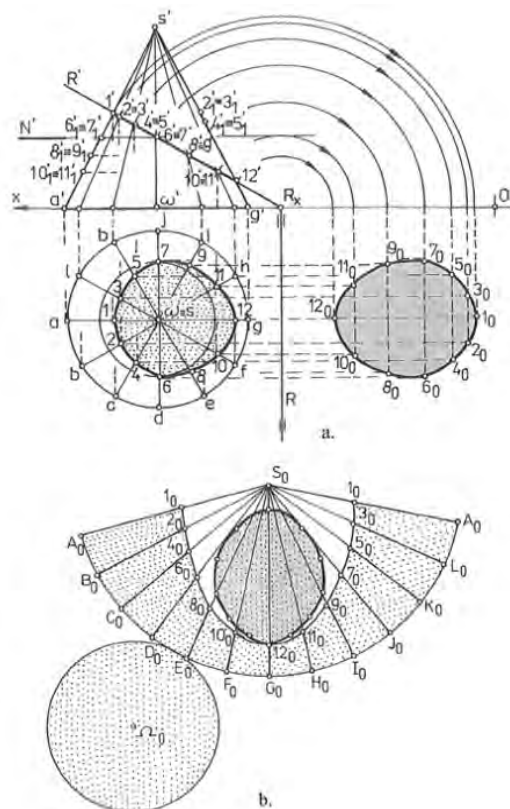


Figura 5. Obținerea adevăratei mărimi a unei suprafețe înclinate și desfășurata conului [10].

Un alt exemplu poate fi obținerea intersecțiilor dintre versanții unui acoperiș, precum și determinarea suprafețelor acestora. O informație utilă unui inginer civil atunci când are de rezolvat acoperișuri (Figura 6).

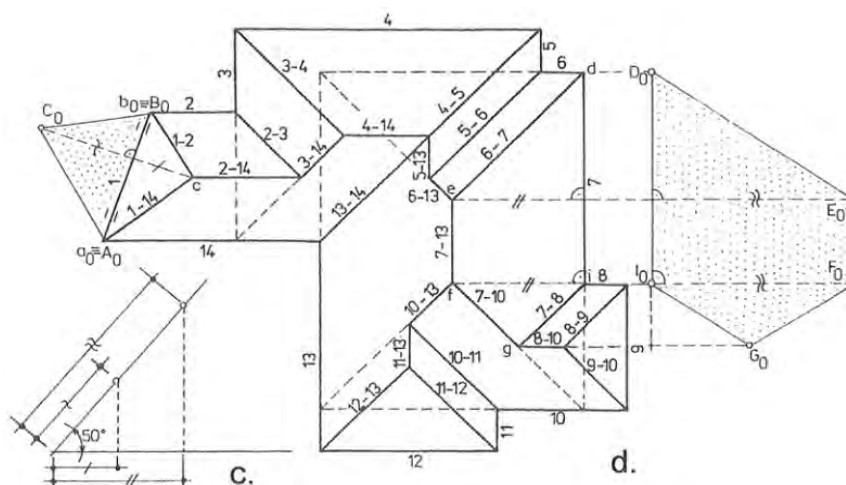


Figura 6. Intersecția și determinarea suprafeței versanților unui acoperiș [10].



Chiar dacă problema se complică și apare o curte interioară, cu ajutorul geometriei descriptive putem rezolva intersecția versanților la fel de ușor (Figura 7).

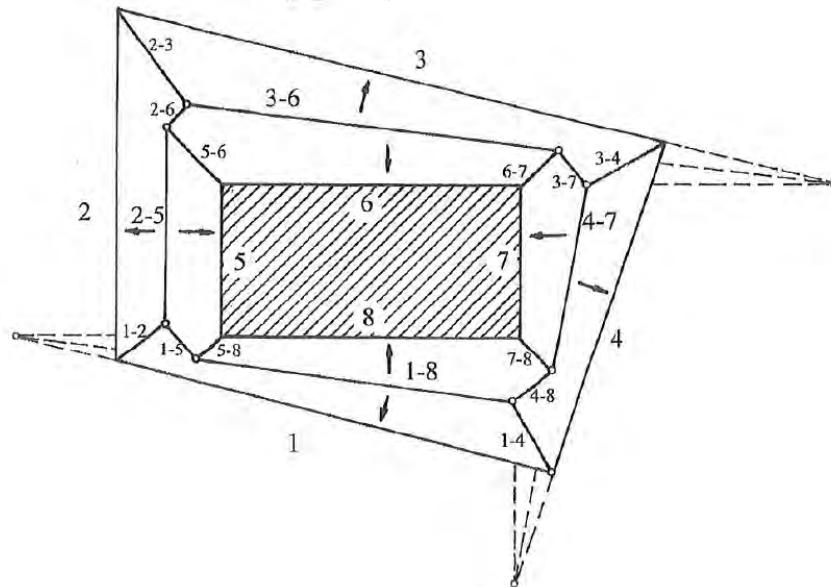


Figura 7. Intersecția versanților unui acoperiș în cazul unei construcții cu curte interioară [10].

De multe ori în construcții avem situații în care volume poligonale, regulate sau neregulate ale unor clădiri se intersectează. Iar ca ingineri civili putem fi puși în situația determinării unor mărimi geometrice necesare procesului de proiectare. Cu ajutorul geometriei descriptive se poate determina simplu și rapid intersecțiile unor corpuri, ducând plane particulare prin fețele acestora (Figura 8).

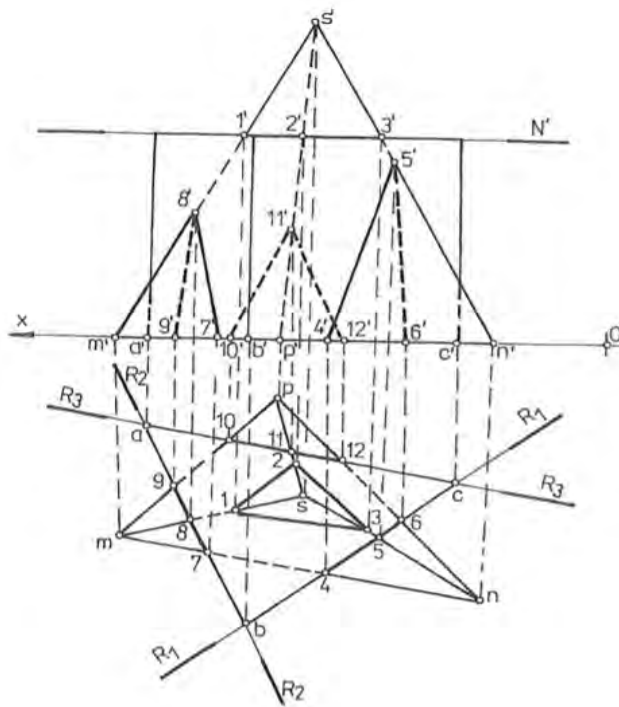


Figura 8. Intersecția dintre o prismă dreaptă și o piramidă [10].

Dacă este să ne referim la amplasarea unei construcții în terenul natural, atunci putem recurge la proiecția cotate din geometria descriptivă, care ne poate ajuta la determinarea volumelor de săpătură și umplură (debleu și rambleu) necesare estimării timpului și costurilor unor lucrări din construcții (Figura 9).

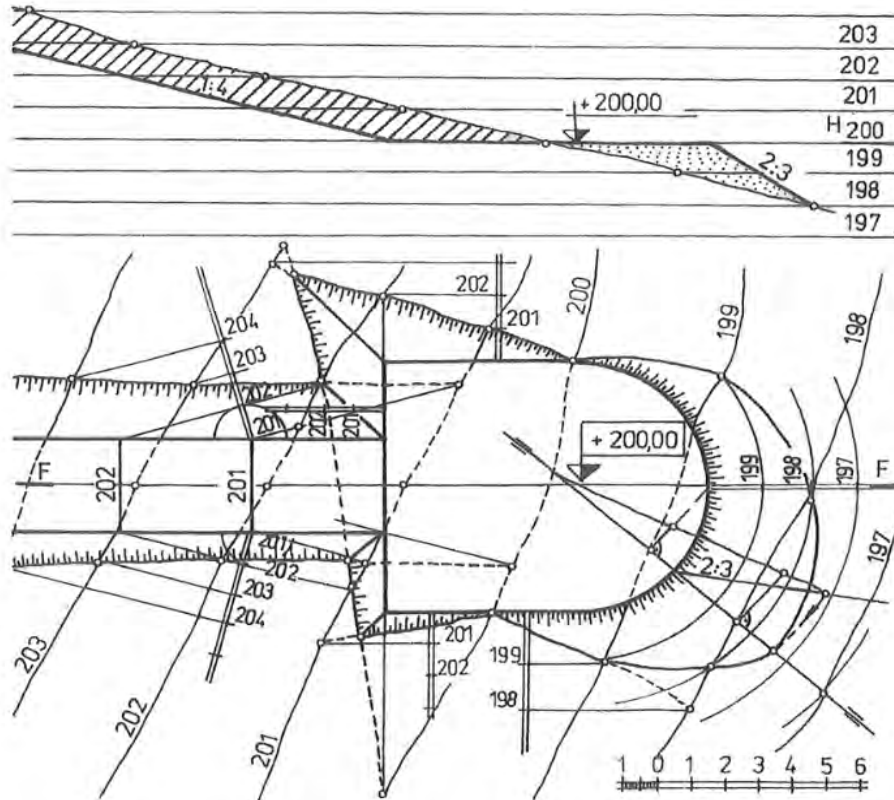


Figura 9. Ampriza unei platforme prevăzută cu cale de acces înclinată [10].

3. Concluzii

Ingineria civilă este domeniul prin care se reușește construirea, dezvoltarea și optimizarea mediului în care trăim. Crearea unei atmosfere plăcute și sigure în care să ne desfășurăm activitatea presupune sinergia mai multor factori ce țin de alegerea celor mai bune idei, soluții și materiale, dar și de priceperea celui care reușește să combine acești factori într-un mod fezabil și economic.

Inginerul civil dispune de aceste cunoștințe și capacități, datorită formării sale în acest sens. Este esențială expertiza tehnică în acest proces, iar ce s-a încercat să se evidențieze în acest articol este că în marele bagaj de cunoștințe al unui inginer constructor, și în procesul său de formare, sunt anumite modalități prin care anumite probleme tehnice pot fi rezolvate într-un mod simplu și ușor.

Dezvoltarea vederii în spațiu a unui inginer civil este esențială pentru buna înțelegere a proiectelor pe care acesta le va desfășura. Nu poate exista un proiect de construcții fără a avea un plan, și fără a avea capacitatea de înțelegere a acestuia atunci când dorim să îl executăm. Primii pași în dezvoltarea acestei abilități țin de observarea corpurilor în spațiu, iar îndrumarea în acest sens poate fi dată de geometria descriptivă.

Geometria descriptivă exersează și dezvoltă capacitatea vederii în spațiu a corpurilor, datorită tehnicilor și metodelor pe care le folosește. Toate acestea sunt unelte utile unui inginer civil care dorește să ofere soluții rapide, folosindu-le. Cu ajutorul geometriei descriptive putem



obține adevărate mărimi de secțiuni și suprafețe care pot ajuta la furnizarea unor informații utile în proiectare, mai ales dacă avem de a face cu suprafețe curbe, cilindrice sau conice.

De asemenea cu ajutorul geometriei descriptive putem rezolva acoperișurile unor clădiri, aflând de altfel și suprafețele lor, aceasta fiind o altă informație utilă unui inginer civil, și ușoară de obținut. De asemenea putem determina intersecții de corpuri într-un mod simplu, în special dacă acestea se află în poziții particulare (regulate).

Când vine vorba de amplasarea unei construcții în terenul natural, geometria descriptivă, prin proiecția cotată, poate ajuta un inginer să obțină versanții taluzurilor pentru săpătură (debleu) și umplutură (rambleu), ajutând astfel la determinarea volumelor de săpătură și umplutură în cazul unor volume neregulate.

Acestea au fost doar câteva exemple din geometria descriptivă cu relevanță în ingineria civilă. Ar putea fi și altele dacă ar fi să ne referim la suprafețe mai complexe sau diferite tipuri de măsurători. Știm că trăim într-o lume augmentată de tehnologie, iar aceste date pot fi obținute foarte simplu cu ajutorul unor tool-uri sau soft-uri specifice, însă măiestria unui inginer civil este aceea de a înțelege logica proceselor din domeniul său, și de a fi capabil să furnizeze explicații în orice moment, chiar și atunci când dispune doar de un creion și o coală de hârtie.

BIBLIOGRAFIE

1. <https://rolecatcher.com/ro/ghid-de-aptitudini/cunostinte/inginerie-productie-si-constructii/arhitectura-si-constructii/inginerie-civila/>
2. Porter P., Whitworth M. G., *History of the Corps of Royal Engineers Vol II*, Chatham: The Institution of Royal Engineers (1889).
3. Betschon F., Betschon S., Schlachter W., Lindecker J., *Ingenieure bauen die Schweiz – Technikgeschichte aus erster Hand*, Zürich, Verlag Neue Zürcher Zeitung, ISBN: 978-3-03823-925-3 (2014).
4. Mihăiță M., Tănăsescu F., Olteneanu M., *Repere ale ingineriei românești*, Editura AGIR, ISBN: 973-8130-15-8 (2000).
5. Hoelscher R., *Graphics for engineers*, Illinois, Willey, International Edition (1968).
6. Popescu T., *Geometrie descriptivă*, Editura universitară, Craiova, (2004).
7. Ivceanu T., *Geometrie descriptivă și desen tehnic*, București, Ed. Didactică și Pedagogică (1982).
8. https://ro.wikipedia.org/wiki/Geometrie_descriptiva
9. Scurtu L., *Geometrie descriptivă*, Cluj - Napoca, UTPRESS (2022).
10. Drăgan D., Pondichi - Alb C., *Geometrie descriptivă și elemente de desen tehnic*, UTPRESS, Cluj - Napoca, ISBN: 978-606-737-528-2, (2021).



PET-UL RECICLAT – RESURSĂ ALTERNATIVĂ PENTRU DEZVOLTAREA MATERIALELOR SUSTENABILE ANALIZAT PRIN ¹H RMN Autor/autori

C. D. CUREA¹, N. C. MOLDOVAN², B. I. BUTUZA³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, ccdc1069@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, norismoldovan01@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, butuzaioan0907@gmail.com

Îndrumători

Conf. dr. ing. Claudiu ACIU¹, Lector dr. ing. fiz. Dumitrița MOLDOVAN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca,
Claudiu.Aciu@campus.utcluj.ro

²Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului, Universitatea Tehnică, Cluj-Napoca,
Dumitrita.Corpodean@phys.utcluj.ro

REZUMAT: Polietilena tereftalată (PET) frecvent depozitată necorespunzător, în câmpuri deschise sau în gropi de gunoi, reprezintă un material cu potențial semnificativ de reutilizare, în special în sectorul construcțiilor. Integrarea PET-ului reciclat în aplicații precum fabricarea cărămidilor, realizarea pereților falși sau a structurilor ușoare (de exemplu: garaje, locuințe cu unu-două niveluri, mobilier de exterior sau interior, pavaje și pardoseli) poate contribui la dezvoltarea unor soluții sustenabile și economice. O evoluție importantă în domeniul reciclării PET-ului este reprezentată de diversificarea tehnologiilor disponibile. La scară mică, PET-ul poate fi prelucrat prin metode de tip DIY (do-it-yourself), utilizând un pistol termic (heat gun) și tăvi metalice, pentru formarea de produse simple. În context industrial, reciclarea implică procese avansate, precum injecția în matrițe, unde materialul plastic este încălzit până la aproximativ 220°C, apoi introdus sub presiune în forme prefabricate. Această metodă permite fabricarea unor componente cu forme precise și proprietăți mecanice adecvate pentru aplicații structurale sau semifinisate. Prin valorificarea eficientă a PET-ului, nu doar că se reduce impactul asupra mediului, dar se și promovează economia circulară în domeniul construcțiilor. Mai mult probele s-au analizat cu ajutorul ¹H RMN și comparate cu materiale convenționale.

Cuvinte cheie: PET, sustenabil, evoluție, construcții, prefabricate, ¹H RMN.

1. Introducere

De la utilizarea lor practică inițială în bunuri comune în jurul anului 1950, materialele plastice au devenit parte integrantă a societății moderne, regăsindu-se sub toate formele în aproape toate sectoarele economice, datorită versatilității lor în utilizare, permisă de gama largă de proprietăți fizice și chimice [1]. Statisticile publicate recent (Raportul OCDE 2023) arată că utilizarea globală anuală a materialelor plastice a ajuns la aproximativ 489 de milioane de tone (MT) în 2023. Polietilen tereftalatul (PET) este un poliestere sintetic frecvent utilizat în industrie și gospodării, apreciat pentru combinația sa de transparență, rezistență mecanică și greutate redusă. Datorită acestor caracteristici, PET-ul este unul dintre cele mai utilizate și totodată cele mai reciclate materiale plastice la nivel global [2, 3].

Din punct de vedere fizico-chimic, PET-ul se remarcă prin transparență ridicată și o flexibilitate moderată, însoțite de o rezistență structurală notabilă. Capacitatea de a fi termoformat cu ușurință, la temperaturi ridicate, îl face versatil în procesele de fabricație [4]. Aplicațiile PET-ului sunt extinse, incluzând ambalaje alimentare (recipiente pentru microunde, sosuri, unt de arahide, condimente); ambalaje farmaceutice (recipiente pentru vitamine);



componente auto (lamelle de ștergător, capace de motor, sisteme de fixare pentru faruri); elemente tehnice (folii laminare pentru panouri solare și diverse componente de fixare). Reciclarea PET-ului este un avantaj major în contextul actual al sustenabilității. PET-ul este 100% reciclabil și este materialul plastic cel mai frecvent acceptat în programele municipale de reciclare. Datorită structurii sale chimice, acesta poate fi supus proceselor de spălare, topire (piroliză) sau hidroliză, pentru a fi transformat în materie primă utilizabilă în producția de noi obiecte plastice sau materiale compozite [4, 5].

Deși procesul de piroliză are cea mai mare maturitate tehnologică, acesta prezintă mai multe provocări, inclusiv consumul ridicat de energie rezultat din condițiile de temperatură ridicată [6, 7]. Astfel, ca pentru a face față acestor provocări economice, hidrogenoliza [8, 9, 10, 11] și metateza în tandem a alcanilor [12] la temperaturi scăzute (200-250 °C) au fost propuse și studiate pe scară largă ca procese alternative. În literatură se găsesc numeroase studii despre reciclarea sustenabilă a acestui material PET dar puține abordează analiza materialelor finite din punct de vedere al microstructurii lor. Aceste analize ne furnizează date concludente despre dinamica moleculară [13, 14]. Ruperea legăturilor chimice după procesul termic la temperaturi ridicate, dar și joase, poate duce la scăderea proprietăților fizico-chimice a probei.

Scopul acestui studiu este realizarea unui element de construcție cu formă paralelipipedică, utilizând PET reciclat în combinație cu alte materiale reziduale, inițial destinate eliminării. Această abordare urmărește valorificarea deșeurilor prin integrarea lor într-un material compozit, cu potențial aplicabil în construcții sustenabile. Mai mult s-au analizat și caracterizat PET în cele două forme, netratat termic și tratat termic la temperatură joasă, cu relaxometrie RMN. Un plus de noutate pe lângă cea a utilizării ^1H RMN în analiza microscopică este aceea de a compara materialul finit cu alte materiale convenționale.

2. Materiale și Metode

2.1. Materiale

Deșeurile plastice utilizate în acest studiu sunt materiale de ambalare a bunurilor achiziționate din magazinele locale din Cluj-Napoca, România. S-au utilizat materiale provenite din sticle PET reciclate pentru a realiza un element de construcție de tip cărămidă, care inițial au fost destinat eliminării. În prima etapă, sticlele au fost colectate și igienizate prin spălare. Etichetele, capacele și fundurile acestora au fost îndepărtate, întrucât sunt fabricate din tipuri diferite de plastic, mai rigide, care pot afecta morfologia produsului final. Partea centrală a fiecărei sticle a fost secționată în patru părți pentru a facilita procesul de mărunțire. Materialele PET au fost apoi mărunțite în particule de aproximativ 10 mm² suprafață și 1 mm grosime. Fragmentele rezultate au fost tocate, compatibile cu dimensiunea necesară pentru introducerea în matriță (Figura 1). După pregătire, materialul a fost plasat într-o matriță cu dimensiunile de 20 × 10 × 3,5 cm și topit cu ajutorul unui pistol termic (*heat gun*). Prin încălzire, PET-ul a fost termofomat direct în matriță, rezultând o cărămidă solidificată prin răcire.



Figura 1. Căramidă de PET după piroliză la temperatură joasă.

2.2. Metode

Tratamentul termic s-a realizat cu ajutorul pistol termic cu temperatura maximă de 550⁰C. Măsurătorile rezistenței la compresiune a PET-ului au fost efectuate folosind o presă hidraulică, aplicând o sarcină fără șocuri, care crește progresiv, cu o rată de creștere a sarcinii cuprinsă între 50 N/s și 500 N/s, pentru ca ruptura să apară într-o perioadă cuprinsă între 30 s și 90 s, înregistrând sarcina maximă aplicată, în Newton.

Spectrometrul RMN Bruker Minispec MQ20 (Bruker Optik GmbH, Germania) a funcționat la frecvența de 19,7 MHz, pentru analiza de relaxometrie a materiilor plastice brute și, respectiv, a produselor după supunerea lor tratamentului termic ale acestora.

3. Procedura experimentală

Prima probă obținută a prezentat imperfecțiuni structurale, generate de metoda de încălzire neuniformă, ceea ce a dus la formarea de goluri interne, și la necesitatea unor adaptări post-procesare pentru a fi prezentabil. Cu toate acestea, materialul obținut, deși semi-comprimat, a demonstrat o rezistență remarcabilă la compresiune. În cadrul unui test empiric, prototipul a reușit să susțină greutatea unei mașini, fără a se dezintegra, evidențiind astfel proprietățile mecanice promițătoare ale PET-ului reciclat, atunci când este densificat corespunzător.

Pentru a crește durabilitatea și a proteja materialul împotriva umidității și uzurii mecanice, suprafața cărămizii a fost acoperită cu un strat de lac de protecție (Figura 2). La final, cărămida din PET a avut o masă de 532 de grame fiind un material foarte ușor și rezistent pentru dimensiunile sale (Figura 3).



Figura 3. Cărămidă de PET după tratamentul termic și cântărită.

3.1. *Procesul de fabricare a materialului compozit pe bază de PET reciclat*

Etapele inițiale ale procesului de fabricație sunt similare cu cele utilizate în reciclarea convențională a plasticului, până în punctul în care materialul trebuie topit. În primă fază, deșeurile din PET sunt mărunțite cu ajutorul unei mori industriale până la dimensiuni reduse, favorabile prelucrării termice ulterioare. Fragmentele rezultate sunt apoi introduse într-o presă preîncălzită la aproximativ 200°C, temperatură suficientă pentru a face materialul maleabil și ușor de comprimat. Din materialul astfel prelucrat se obțin șapte plăci cu o grosime de aproximativ 5 mm. Acestea sunt ulterior finisate la dimensiunile standardizate de 20 x 10 cm, proces care permite și reciclarea surplusului de plastic. Pentru a obține o placă finală cu proprietăți mecanice îmbunătățite, componentele sunt asamblate prin lipire cu un adeziv structural, iar rezistența la forfecare este crescută prin integrarea unor elemente de armare (bucăți de lemn) în structura compozitului. De menționat este că acest tip de material poate constitui o alternativă ecologică pentru plăcile de rigips. În acest scop, PET-ul reciclat poate fi topit într-un cuptor preîncălzit la 220°C, până când devine maleabil. Ulterior, materialul este comprimat înainte de răcire, ceea ce permite obținerea unor plăci cu o suprafață netedă, grosime redusă și uniformitate ridicată.

3.2. *Testare experimentală a cărămidii din PET reciclat*

Pentru evaluarea rezistenței mecanice a prototipului de cărămidă realizat din PET reciclat, conținând un procent estimativ de 10–15% goluri interne, a fost efectuat un test preliminar de compresiune. Acest test a fost realizat într-un cadru experimental improvizat, folosind un autovehicul de dimensiuni reduse, cu o masă totală de aproximativ 1100 kg. Pentru a simula o încărcare crescută, partea din față-dreapta a vehiculului a fost ridicată, astfel încât greutatea motorului și a cutiei de viteze să fie concentrate pe suprafața de testare. Ulterior, roata a fost lăsată să se sprijine direct pe cărămida din PET, estimându-se o sarcină aplicată de aproximativ 300–400 kg pe o suprafață de contact de circa 7,5 cm × 5 cm. În urma testului, cărămida a reușit să susțină această încărcare fără a prezenta semne vizibile de deformare, ceea ce sugerează o capacitate promițătoare de rezistență la compresiune pentru aplicații în construcții ușoare.

3.3. *Compararea performanțelor experimentale ale cărămidii din PET reciclat cu materiale convenționale*

Au fost determinate rezistența la încovoiere și rezistența la compresiune pe o prismă realizată din PET reciclat pentru a evalua comportamentul mecanic al materialului, având dimensiunile



de $130 \times 35 \times 37$ mm. Rezistența la compresiune a fost determinată cu ajutorul unei prese hidraulice, valoarea obținută fiind de $16,7 \text{ N/mm}^2$. În ceea ce privește rezistența la încovoiere, aceasta a fost determinată utilizând aparatul Fruhling-Michaelis, rezultând o valoare de $3,13 \text{ N/mm}^2$.

Tabel 1. Tipuri de materiale si rezistența acestora la compresiune

Tipul de material	Rezistența la compresiune
Cărămidă plină ceramică	10 – 30 MPa
Cărămidă perforată	7 – 20 MPa
BCA (Bloc de beton celular autoclavizat)	2 – 10 MPa (clase diferite)
Beton celular necombustibil (similar BCA)	2 – 8 MPa
Lemn stratificat (glulam)	30 – 50 MPa (pe direcția fibrelor)
Zidărie din blocuri ceramice porotherm	10 – 20 MPa
Ipsos structural (gips-carton cu ochi de lemn)	3 – 10 MPa
Rigips clasic (fără schelet metalic)	2 – 5 MPa

3.4. Analiză economică si estimarea costurilor pentru producția la scară

În ceea ce privește materia primă, costurile au fost practic inexistente. Sticlele din PET utilizate în proces au fost colectate din deșeuri nereciclabile, adică recipiente care nu mai puteau fi prelucrate în centrele convenționale de reciclare. Acestea au fost sortate și topite individual, eliminând astfel cheltuielile asociate cu achiziția materialului brut. Procesul experimental de producție a implicat utilizarea unor pistoale electrice de topire cu o putere de 1000 W fiecare. S-au folosit două astfel de dispozitive pentru obținerea unei singure cărămizi și au fost utilizate un timp mediu de 3 ore, ceea ce duce la un consum total de energie de 6 kWh. Având în vedere costul mediu al energiei electrice în România (aproximativ 1,5 lei/kWh, cu taxe incluse), rezultă un cost energetic de aproximativ 9 lei pentru fabricarea unei cărămizi. Într-un scenariu optimizat, în care se utilizează o presă termică dedicată cu un consum de 700 W/h, costul energetic se reduce semnificativ. Estimările indică un cost de aproximativ 1 leu/cărămidă, ceea ce face procesul mai sustenabil din punct de vedere economic. În cazul utilizării unui pistol de injectare cu capacitate mare, cu eficiență energetică îmbunătățită, s-ar putea produce 5–6 cărămizi cu un consum total de energie evaluat la aproximativ 8 lei, fără a lua în calcul costurile aferente matrițelor sau manoperei. Pentru a evalua fezabilitatea economică la scară mai mare, s-a realizat o simulare a costurilor pentru producerea a 100 m² de suprafață acoperită cu cărămizi PET. Această simulare are în vedere un randament energetic optimizat, reutilizarea matrițelor, precum și automatizarea parțială a procesului. Rezultatele detaliate ale acestei estimări vor fi prezentate într-o secțiune ulterioară a studiului.

Tabel 2. Costuri Estimare pentru Producerea de Plăci din PET Reciclat Total estimativ al costurilor de producție pentru 100 m²

Componentă	Minim	Maxim
PET (reciclat)	0 €	50 €
Rășină poliesterică și epoxidică	300 €	2.000 €
Forme/Unelte/Protecție	100 €	300 €
Total	400 €	2.350 €

Observații: PET-ul reciclat este esențial pentru reducerea costurilor, dar necesită timp pentru colectare. Rășina epoxidică oferă rezistență mai bună, dar e mai scumpă. Unelte DIY pot fi adaptate fără investiții mari.

3.5. Analiza microscopica. Relaxometrie RMN.

Rezonanța Magnetică Nucleară în câmpuri joase ne evidențiază comportamentul dinamic al protonilor de hidrogen din proba PET netratată termic și tratată termic. Această metodă de analiză ne furnizează date importante despre structura moleculară și proprietățile fizico-chimice ale PET. Prin ^1H RMN putem observa structura chimică și modificările structurale în funcție de condițiile materialului. Relaxometria RMN ne oferă informații despre legăturile chimice și interacțiunile intermoleculare [14]. Astfel, această metodă ajută în modelarea de noi idei și optimizarea materialelor existente în funcție de dinamica protonilor în raport cu câmpul magnetic. Ne permite să aflăm informații despre omogenitatea și rezistența mecanică a materialului.

S-a aplicat o serie de impulsuri de radiofrecvență asupra nucleelor de hidrogen din proba PET. S-a măsurat răspunsul acestora în timp, (Figura 4a), unde se observă curba de cădere CPMG a celor două probe de PET (PET_1 fiind proba netratată termic și PET_2 proba tratată termic). Sensibilitatea este mai redusă, raportul semnal-zgomot mai mic și imaginea se suprapune aproape perfect la un număr de scanări de 64 și o frecvență de 19.6724 Hz (Figura 4a) fapt ce ne indică o porozitate crescută a materialului. În Figura 4b este prezentată distribuția timpului de relaxare transversal (T_2). Cele două probe au o heterogenitate diferită. Amândouă probele PET_1 și PET_2 indică prezența structurilor rigide la timpuri de relaxare mai scurte, picuri la valori mici de T_2 (0.01 ms-0.1 ms). Distribuția cele două probe este multi-exponențială

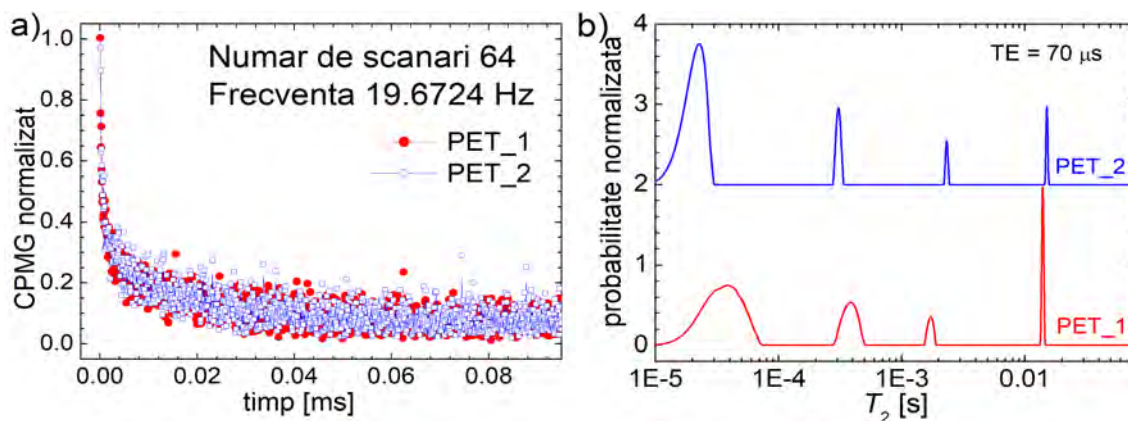


Figura 4. a) Curbele de cadere CPMG, b) Distribuția Laplace a timpului de relaxare spin-rețea, T_2 evidențiind clar o distribuție complexă a interacțiunilor moleculare. În PET_1 prezența apei libere în pori este mai pronunțată decât în PET_2. Putem afirma că în urma tratamentului termic proba PET_2 a devenit mai rezistentă datorită evaporării apei și rigidizării structurii chimice a lanțurilor polimerice mai ales cele de C-C. Proba PET_2 păstrează structura chimică a PET_1 în mare parte, dar devine mai omogenă și mai rigidă.

4. Concluzii

PET-ul reciclat prezintă un potențial considerabil ca materie primă în dezvoltarea de materiale de construcție alternative după cum se evidențiază și în analizele RMN. În prezent, o mare parte din deșeurile PET ajung în gropile de gunoi din România, unde sunt expuse degradării naturale fără a fi valorificate. Totuși, cercetările și experimentele realizate demonstrează că acest material poate fi reintrodus în circuitul industrial prin procese simple și accesibile. Prin reciclare și reprocesare controlată, PET-ul poate fi transformat într-un material compozit cu proprietăți mecanice comparabile cu cele ale blocurilor din beton celular autoclavizat (BCA), având în



același timp costuri de producție semnificativ mai reduse. Rezultatele testelor experimentale au demonstrat că, deși PET-ul este un material uzual, frecvent considerat deșeu, acesta prezintă un potențial real de reutilizare în domeniul construcțiilor. Mai exact, PET-ul reciclat poate fi utilizat cu succes în elemente non-structurale și, în anumite condiții, ca material alternativ la beton în zone supuse unor solicitări mecanice reduse. Dacă s-ar implementa producția la scară industrială, cărămizile sau plăcile din PET reciclat ar putea deveni o soluție inovatoare și sustenabilă pentru construcțiile ușoare, contribuind atât la reducerea impactului deșeurilor plastice asupra mediului, cât și la scăderea costurilor în domeniul construcțiilor.

BIBLIOGRAFIE

1. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, Use and Fate of All Plastics Ever Made. *Science Advances Research Article*. 2017; 3: 5.
2. Leilei D., Nan Z., Yuancai L., Yanling C., Yunpu W., Yuhuan L., Kirk C., Paul C., Hanwu L., Roger R. Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review, *Progress in Energy and Combustion Science*. 2022; 93: 101021.
3. OECD Global Plastics Outlook Database, <https://doi.org/10.1787/c0821f81-en>.
4. Kang H, Yoon J., Jun D., Kang Ki H., Ro I., Jeong S., Kang J. H., Optimization of low-temperature catalytic cracking of polyolefin waste in open-batch reactors using zeolite beta with controlled intrinsic properties, *Communications Engineering*. 2025, 4, 57.
5. Pandey, D. S., Katsaros, G., Lindfors, C., Leahy, J. J. & Tassou, S. A. Fast pyrolysis of poultry litter in a bubbling fluidised bed reactor: energy and nutrient recovery. *Sustainability*. 2019, 11, 2533.
6. Songip, A. R., Masuda, T., Kuwahara, H. & Hashimoto, K. Test to screen catalysts for reforming heavy oil from waste plastics. *Appl. Catal.* 1993, B 2, 153–164.
7. Rorrer, J. E., Troyano-Valls, C., Beckham, G. T. & Román-Leshkov, Y. Hydrogenolysis of polypropylene and mixed polyolefin plastic waste over Ru/C to produce liquid alkanes. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2012, 9, 11661–11666.
8. Liu, S., Kots, P. A., Vance, B. C., Danielson, A. & Vlachos, D. G. Plastic waste to fuels by hydrocracking at mild conditions. *Sci. Adv.* 2021, 7, eabf8283.
9. <https://ro.hengxinfilming.com/info/what-is-pet-plastic-79641129.html>
10. <https://www.youtube.com/@BrothersMake>
11. <https://www.recycletheone.com/recycling-pet-plastic/how-does-pet-plastic-recycling-work/>
12. Kim, D. et al. Metathesis, molecular redistribution of alkanes, and the chemical upgrading of low-density polyethylene. *Appl. Catal. B* 2022, 318, 121873.
13. Fechete R., Demco D.E., Blümich B. Enhanced sensitivity to residual dipolar couplings by high-order multiple-quantum NMR. *Journal of Magnetic Resonance*. 2014; 169:19-26.
14. Moldovan D., Fechete R. Bimodal ^1H double quantum build-up curves by Fourier and Laplace-like transforms on aged cross-linked natural rubber. *Polymers*. 2021; 13: 20.



MATERIALE CARE CAPTEAZĂ ȘI STOCHEAZĂ ENERGIA

Autor/autori

Andreea N. BEJINARU¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , [e-mail:andreeabejinaru4@gmail.com](mailto:andreeabejinaru4@gmail.com) .

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Florin BABOTA³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, , [e-mail:florin.babota@ccm.utcluj.ro](mailto:florin.babota@ccm.utcluj.ro).

REZUMAT: *Materialele care captează și stochează energia joacă un rol esențial în eficientizarea energetică a clădirilor moderne. Dintre acestea, materialele cu schimbare de fază se remarcă prin capacitatea lor de a stoca și elibera căldura latentă, contribuind astfel la stabilizarea temperaturii interioare. Lucrarea își propune să analizeze principalele tipuri de materiale care captează energie, concentrându-se asupra parafinei ca material care captează și stochează energia utilizabil în construcții. Sunt prezentate avantajele, limitările și aplicabilitatea acestora în elemente constructive. Studiul include un caz teoretic de integrare a parafinei în structura unei clădiri, evidențiind impactul asupra confortului termic și consumul energetic. Lucrarea este susținută de surse științifice și tehnice actuale, urmărind promovarea materialelor inovatoare în construcțiile sustenabile.*

Cuvinte cheie: materiale cu schimbare de fază, parafină, eficiență energetică, construcții sustenabile, reglare pasivă.

1. Introducere

Eficiența energetică este o prioritate tot mai prezentă în domeniul construcțiilor moderne, în contextul creșterii costurilor la energie și al politicilor de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră. Una dintre direcțiile inovatoare abordate în ultimii ani este utilizarea materialelor care pot scoate energia termică și o pot elibera controlat, contribuind astfel la reglarea temperaturii în interiorul clădirilor fără consum suplimentar de energie.

Materialele care pot stoca căldura contribuie semnificativ la reducerea nevoii de folosire a sistemelor tradiționale de încălzire și răcire. Acestea pot fi integrate în structura clădirii, cum ar fi pereții, plafoanele sau pardoseala. Dintre ele, cele mai eficiente sunt materialele cu schimbare de fază (PCM), care absorb sau eliberează căldura în timp ce trec de la starea solidă la cea lichidă, și invers, menținând astfel o temperatură stabilă în interior.

În această lucrare sunt prezentate mai multe tipuri de materiale care captează și stochează energie, cu accent pe MSF-uri și în special pe parafină. Parafina este un material accesibil, ușor de folosit în construcții și cu rezultate dovedite în reglarea temperaturii interioare. Sunt explicate aplicațiile ei, avantajele și modul în care poate îmbunătăți confortul termic al clădirilor, fără a fi nevoie de tehnologii avansate.

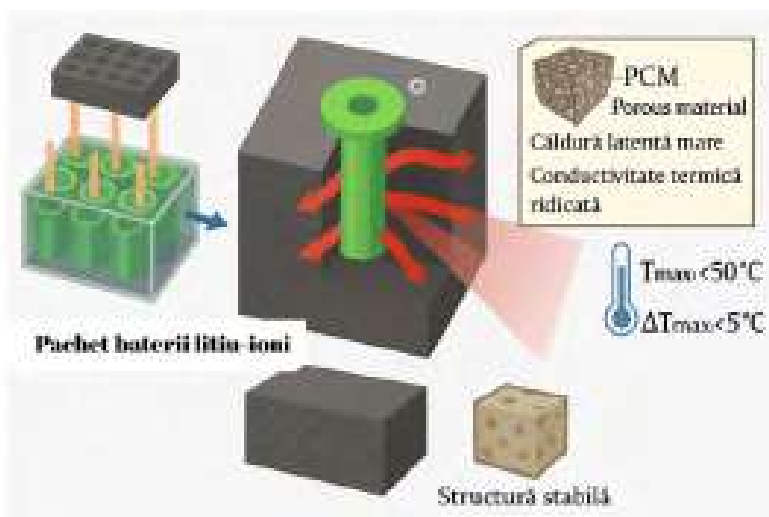


Figura 1. Exemplu de utilizare a MSF în controlul termic – principiu aplicabil și în domeniul construcțiilor

1.1 Materiale care captează și stochează energie

Clasificare și funcționare

În construcții, unul dintre obiectivele esențiale este îmbunătățirea performanțelor energetice a clădirilor. Un rol important îl joacă materialele care pot acumula și elibera căldură în funcție de necesitățile termice ale spațiului interior. Aceste materiale se împart, în funcție de mecanismul de stocare a energiei, în două categorii: materiale cu căldură sensibilă și MSF-uri (Tabelul 1).

Tabel 1. Clasificare materiale care captează și stochează energie.

Materiale cu căldură sensibilă	MSF-uri
Acumulează căldură prin creșterea temperaturii	Acumulează energie prin schimbarea fazei
Exemple: apă, beton, cărămidă, ghips	Temperatură aproape constantă în timpul tranziției solid-lichid
Au nevoie de variații mari de temperatură pentru a stoca sau ceda căldura	Mențin o temperatură stabilă în interiorul clădirilor

1.2 Clasificarea materialelor MSF (Tabelul 2).

Tabelul 2. Clasificare MSF-uri.

Tip PCM	Exemple	Avantaje	Limitări
Organice	Parafine, acizi grași	Stabilitate chimică, compatibilitate bună	Conductivitate termică redusă
Anorganice	Săruri hidratate, metale	Capacitate mare de stocare, densitate mare	Instabilitate la ciclitzare, pot coroda
Eutectice	Combinații organice/anorganice	Puncte de topire reglabile, stabilitate	Costuri mai mari, cercetare în curs

Parafina este un material cu schimbare de fază de tip organic, utilizat frecvent datorită stabilității chimice și a compatibilității bune cu alte materiale de construcție. Totuși, o limitare importantă este conductivitatea sa termică redusă, care poate afecta eficiența transferului de căldură.

1.3 Forme de integrare a MSF în construcții.

PCM-urile pot fi utilizate sub mai multe forme, în funcție de construcție și nevoile termice, astfel avem:

- Microîncapsulare - MSF-ul este închis în capsule microscopice care pot fi amestecate în tencuieli, vopsele, plăci de ghips sau beton
- Panouri prefabricate - conțin celule cu parafină sau săruri, inserate în materiale termoizolante
- Rezervoare modulare - în sisteme de ventilare sau climatizare, unde PCM-ul acționează ca un acumulator termic.

1.4 Procesul termic al materialelor cu schimbare de fază (Figura 6)

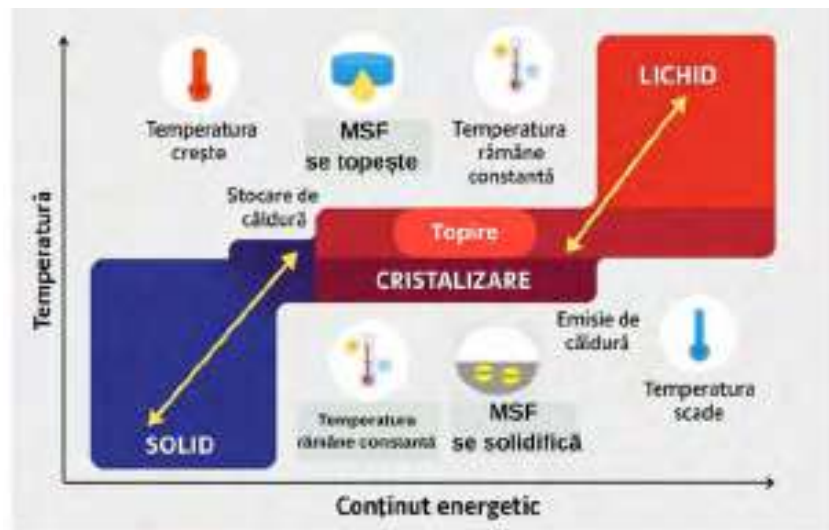


Figura 2. Comportamentul unui material cu schimbare de fază

Graficul ilustrează comportamentul unui material cu schimbare de fază în funcție de variația temperaturii și de conținutul de energie termică. În timpul topirii (solid-lichid), materialul absoarbe căldură și menține o temperatură constantă, specifică procesului de stocare latentă. La răcire, PCM-ul revine în stare solidă, eliberând treptat energia acumulată. Această proprietate îl face ideal pentru menținerea confortului termic în clădiri.

1.5 Parafina ca material MSF pentru construcții

Parafina este unul dintre cele mai utilizate MSF-uri în construcții datorită:

- Punctului de topire ideal (în jur de 24-28°C pentru confort termic interior)
- Capacității mari de stocare latentă (≈ 200 kJ/kg)
- Disponibilitate și cost redus
- Non-toxicitate și stabilitate chimică

Aplicații:

Tencuieli termoactive: Parafina microîncapsulată se amestecă cu ipsos sau ciment și se aplică pe pereții interiori. Stratul rezultat acționează ca un tampon termic care stabilizează temperatura din cameră.



Beton termoactiv: MSF-ul este introdus în beton prin agregate poroase, transformând structura în suport de acumulare termică-ideal pentru podele și pereți masivi.

Limitări:

Conductivitate termică scăzută: Parafina transferă căldura lent, însă se pot adăuga materiale conductoare precum grafit pentru a accelera reacția termică

Risc de scurgeri: MSF-urile pot curge în stare lichidă, dar microîncapsularea previne acest fenomen și le menține stabile în timp

Sensibilitate la poziționare: Pentru eficiență maximă MSF-ul trebuie amplasat acolo unde apar variații de temperatură aproape de suprafețele exterioare sau ferestre

2. Studiu de caz teoretic- Integrarea parafinei într-o structură de perete termoactiv

Pentru a evidenția performanța parafinei ca material cu schimbare de fază (MSF) în construcții, este propus un scenariu teoretic care simulează comportamentul termic al unui perete interior tratat cu tencuială termoactivă. Acest model are rolul de a demonstra efectele pozitive pe care un strat subțire de MSF le poate avea asupra confortului interior și consumului energetic într-o locuință.

Scenariu analizat: Studiul are în vedere o locuință situată într-o zonă cu climat temperat, unde diferențele de temperatură între zi și noapte pot fi semnificative, în special în perioada caldă a anului. Se presupune că pe un perete interior cu o suprafață de 25 m² a fost aplicat un strat de tencuială termoactivă cu grosimea de 1,5 cm, în compoziția căreia este integrată parafină microîncapsulată. Această parafină este aleasă astfel încât să aibă un punct de topire de aproximativ 26° C, o valoare optimă pentru controlul temperaturii în spațiile de locuit. Pe durata zilei, când temperatura interioară crește, parafina absoarbe excesul de căldură și se topește, ducând la scăderea temperaturii interioare. Noaptea, când temperatura scade, parafina se solidifică, eliberând energia stocată și menținând un climat interior mai stabil.

Parametrii termici utilizați:

- Suprafața tratată: 25 m²
- Grosimea stratului activ: 1,5 cm=0,015 m
- Temperatura de activare a PCM-ului: 26°C
- Intervalul de variație a temperaturii interioare: 22-30°C
- Capacitatea latentă estimată: ≈200kJ/kg de parafină activă
- Procent estimat de parafină în stratul compozit: 15-20% din volum
- Densitate parafină: ≈900 kg/m³

Calcul estimativ-energia latentă stocată de parafină

Se poate estima energia stocată de parafină în stratul aplicat pe perete folosind relația:

$$Q = m \cdot L \quad (1)$$

Unde: Q = energia stocată (kJ); m = masa parafinei (kg); L = căldura latentă specifică a parafinei (≈200kJ/kg).

$$\text{Volumul de parafină: } V = 25 \text{ m}^2 \cdot 0,015 \text{ m} = 0,375 \text{ m}^3 \quad (2)$$

$$\text{Volumul de PCM: } V_{\text{PCM}} = 0,375 \cdot 0,20 = 0,075 \text{ m}^3 \quad (3)$$

$$\text{Cantitatea de parafină: } m_{\text{PCM}} = V_{\text{PCM}} \cdot \rho = 0,075 \cdot 900 = 67,5 \text{ kg} \quad (4)$$

$$Q = m \cdot L = 67,5 \cdot 200 = 13.500 \text{ kJ} = 13,5 \text{ MJ} \quad (5)$$



Aceasta este cantitatea de energie pe care stratul de parafină o poate absorbi și elibera zilnic, în timpul ciclului de topire-solidificare.

Dacă transpunem energia stocată într-un echivalent electric, avem:

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ} \Rightarrow 13,5 \text{ MJ} = 3,75 \text{ kWh} \quad (6)$$

De aici se poate aprecia că stratul termoactiv poate înlocui parțial energia pe care ar consuma-o, de exemplu, un aparat de aer condiționat într-o zi, contribuind la o scădere estimativă a consumului cu 15-20% în perioadele călduroase.

Rezultate estimate pe baza lucrărilor din literatura de specialitate

- Stabilizarea temperaturii interioare: Aplicarea parafinei în stratul de tencuială reduce amplitudinea variației termice cu aproximativ 2-4°C față de o situație similară în care peretele nu conține MSF. Acest lucru înseamnă că în perioadele caniculare, temperatura maximă din cameră poate fi semnificativ mai mică, contribuind la un climat interior mai plăcut [2].
- Reducerea consumului energetic pentru climatizare: Într-o perioadă de vară, utilizarea acestui tip de perete poate conduce la o scădere a consumului de energie pentru răcire cu 15-20%, deoarece necesitatea pornirii sistemului de aer condiționat este redusă datorită acumulării și eliberării pasive a energiei [1].
- Îmbunătățirea confortului termic: Prin eliminarea fluctuațiilor bruște și menținerea unei temperaturi apropiate de valoarea de confort termic, ocupanții locuinței percep un mediu interior mai stabil și mai agreabil. Efectele benefice se observă mai ales în perioadele de vară sau în camere expuse spre sud, unde radiația solară este intensă [3].
- Durabilitatea în timp: MSF-ul integrat în structura de tencuială poate suporta mai multe cicluri termice zilnice (topire-solidificare), fără a-și pierde semnificativ eficiența, mai ales în cazul utilizării parafinei microîncapsulate, care protejează compusul în timp [1].

Această simulare teoretică oferă o perspectivă clară asupra potențialului real al parafinei de a fi utilizată în construcții ca soluție pasivă de reglare termică, demonstrând că și aplicații simple, cum ar fi o tencuială termoactivă, pot aduce îmbunătățiri semnificative ale eficienței energetice a unei locuințe.

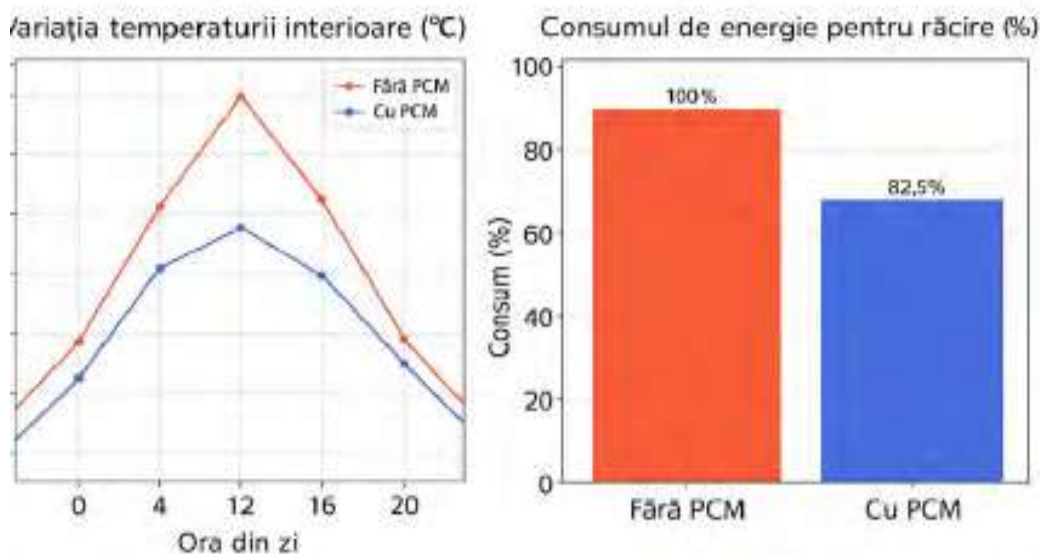


Figura 3. Variația temperaturii în cursul unei zile și consumul de energie pentru răcire pentru o cameră cu perete tratat cu parafină PCM versus unul netratat.



Se observă o reducere a vârfului termic cu până la 4°C și o scădere a consumului de energie pentru răcire cu aproximativ 17,5%. PCM-ul contribuie la menținerea unei temperaturi interioare mai stabile și confortabile.

5. Concluzii

Materialele cu schimbare de fază, în special parafina, oferă o soluție inovatoare, accesibilă și eficientă pentru creșterea performanței energetice a clădirilor. Capacitatea de a capta și elibera căldură într-un interval de confort termic le face ideale pentru aplicații în tencuieli, pereți sau panouri termoactive.

Parafina se remarcă printr-un echilibru excelent între eficiență, cost și aplicabilitate. Deși are limitări legate de conductivitate și stabilitate volumetrică, acestea pot fi depășite prin tehnici moderne de încapsulare și compozite.

Adoptarea PCM-urilor în construcții este o direcție clară spre sustenabilitate, cu beneficii atât pentru mediu, cât și pentru utilizatorul final.

BIBLIOGRAFIE

1. Popescu M., Studiu privind eficiența utilizării materialelor cu schimbare de fază în climatizare. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2019.
2. Pielichowska K., Pielichowski K., Performance of paraffin PCM in passive building elements: A simulation-based assessment. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 6, 15 (2021). Disponibil la: <https://www.rees-journal.org/articles/rees/pdf/2021/01/rees210036.pdf>
3. U.S. Department of Energy, Low-Cost Composite Phase Change Materials for Buildings. (2023). Disponibil la: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/low-cost-composite-phase-change-material>
4. Zhifeng Wang, Design of Solar Thermal Power Plants, Chapter 6 - Thermal Storage Systems, 2019, Pages 387-415
5. Khudhair A. M., Farid M. M., A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 45(2), 263–275 (2004).
6. Karlessi T., Santamouris M., Synnefa A., Thermal performance of organic PCM systems in building elements. (2021). Disponibil la: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8469304/>
7. Incropera, F.P., & DeWitt, D.P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons.
8. Giordano, N. & Nakanishi, H. (2013). *College Physics: Reasoning and Relationships* (2nd ed.). Cengage Learning.



UTILIZAREA MATERIALELOR RECICLABILE PENTRU IZOLAREA CLĂDIRILOR. O SOLUȚIE SUSTENABILĂ

Autor/autori

Adam BALOGH¹, Emanuel-Anton CIURCAS², Denis Alexandru SURD³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , e-mail:Balogh.Mi.Adam@student.utcluj.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail:Ciurcas.Ad.Emanuel@student.utcluj.ro

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail:Surd.Vi.Denis@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

S.L.Dr.Ing. Dorina SUCALĂ¹

Conf.Dr.Ec. Sorina Anamaria CIPLEA²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , e-mail:dorina.sucala@ccm.utcluj.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca ,e-mail:sorina.CIPLEA@ccm.utcluj.ro.

REZUMAT: În contextul global actual, marcat de schimbări climatice și epuizarea resurselor naturale, dezvoltarea soluțiilor sustenabile în fiecare ramură a construcției devine o necesitate. Lucrarea noastră explorează utilizarea materialelor reciclabile, precum polistirenul reutilizat sau plasticul reciclat, ca alternative eficiente pentru izolarea clădirilor. Izolația joacă un rol esențial în reducerea consumului de energie pentru încălzire și răcire, contribuind astfel la scăderea amprente de carbon a clădirilor.

Pe lângă beneficiile energetice și economice, aceste soluții oferă avantaje semnificative din punctul de vedere al protecției mediului. Prin reutilizarea a anumitor materiale, se reduce cantitatea de elemente poluante care ajung în mediul înconjurător, prevenind astfel acumularea acestora în gropile de gunoi sau în ecosisteme fragile. De asemenea, procesul de producție și montaj al acestor materiale poate fi optimizat pentru a minimiza emisiile de gaze cu efecte dăunătoare și consumul de energie. Prin această cercetare, ne propunem să evidențiem impactul pozitiv al materialelor reciclabile asupra mediului și să promovăm soluții accesibile și eficiente pentru un viitor mai sustenabil în domeniul construcțiilor.

Cuvinte cheie: materiale reciclabile. izolare clădiri, sustenabilitate.

1. Introducere

Într-un context global marcat de schimbări climatice și de necesitatea conservării resurselor naturale, utilizarea materialelor reciclabile pentru izolarea termică a clădirilor reprezintă o soluție sustenabilă și eficientă. Această lucrare explorează scopul izolării termice, relația dintre construcții și izolații, impactul asupra mediului și detaliază metode de izolare utilizând materiale reciclabile, cu un accent special pe lăna de oaie și plasticul reciclat. Importanța integrării materialelor reciclabile este susținută de direcțiile strategice promovate de Romanian Green Building Council [4], care încurajează utilizarea resurselor sustenabile în toate fazele construcției.

2. Scopul Izolațiilor Termice

Izolația termică are rolul de a reduce transferul de căldură între interiorul și exteriorul unei clădiri, asigurând un confort termic optim pentru ocupanți. O izolație eficientă contribuie la diminuarea consumului de energie pentru încălzire și răcire, ceea ce rezultă în economii financiare și reducerea emisiilor de gaze cu efecte dăunătoare atmosferei. De asemenea, aceasta are un impact îndeosebi de pozitiv asupra mediului prin reducerea amprente de carbon a clădirilor și prin creșterea eficienței energetice ale construcțiilor. Conform studiului realizat de



Pérez-Lombard și colaboratorii (2008), consumul de energie al clădirilor poate fi diminuat semnificativ prin izolație eficientă [9].

3. Relația dintre Construcții și Izolații Termice

Adoptarea unor soluții de izolare adecvate în procesul de construcție este esențială pentru performanța energetică a clădirilor. Alegerea materialelor izolatoare influențează durabilitatea, eficiența energetică și impactul ecologic al construcției. Utilizarea materialelor reciclabile în izolații reprezintă baza pentru construcții sustenabile și contribuie la protejarea mediului.

De asemenea, izolația joacă un rol esențial în prevenirea pierderilor de căldură, ceea ce reduce solicitarea sistemelor de încălzire și climatizare, generând economii considerabile pe termen lung. O construcție bine izolată poate avea un consum de energie redus cu până la 50%, fapt ce evidențiază importanța alegerii unor materiale performante și ecologice. Fișele tehnice ale producătorilor relevă importanța alegerii corecte a materialelor izolatoare [2].

4. Impactul Asupra Mediului

Folosirea materialelor reciclabile pentru izolații termice sau reutilizarea acestora are multiple beneficii ecologice:

- **Reducerea Deșeurilor:** Reutilizarea materialelor precum plasticul sau lâna contribuie la diminuarea cantității de deșeuri care ajung în depozitele de gunoi. Inițiative precum Project Reclaim au demonstrat eficiența reciclării textilelor [11], iar date privind amprenta de carbon au fost preluate din baza Circular Ecology [13].
- **Conservarea Resurselor:** Utilizarea materialelor reciclate reduce necesitatea extragerii și prelucrării de noi resurse naturale.
- **Scăderea Emisiilor de Carbon:** Producția materialelor reciclate necesită adesea mai puțină energie decât fabricarea celor noi, ceea ce duce la emisii mai reduse de CO₂ și altor gaze cu efect de seră.
- **Pentru sănătate – Plasticul** - Materialele plastice, în special cele din polistiren expandat (EPS), pot emite compuși organici volatili (COV) în timpul instalării și pe termen lung. Aceste emisii pot afecta calitatea aerului interior și sănătatea ocupanților. De asemenea, în caz de incendiu, EPS poate degaja fum toxic și gaze dăunătoare.
- **Prevenirea poluării prin colectare** - Reciclarea plasticului reduce cantitatea de deșeuri care ajung în gropile de gunoi și în mediul înconjurător. Inițiative precum Project Reclaim din Marea Britanie demonstrează cum materialele textile din poliester pot fi transformate în granule pentru a crea noi produse, contribuind astfel la reducerea poluării.
- **Efect pozitiv asupra economiei** - Utilizarea materialelor reciclate poate stimula economia circulară, creând noi locuri de muncă în sectorul reciclării și producției de materiale ecologice. De asemenea, poate reduce dependența de resursele naturale și poate diminua costurile asociate cu gestionarea deșeurilor.
- **Beneficii asupra mediului** - Materialele reciclate, cum ar fi lâna și plasticul reciclat, contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și la conservarea resurselor naturale. De exemplu, lâna este un material natural și biodegradabil, iar utilizarea sa în construcții poate reduce amprenta de carbon a clădirilor.

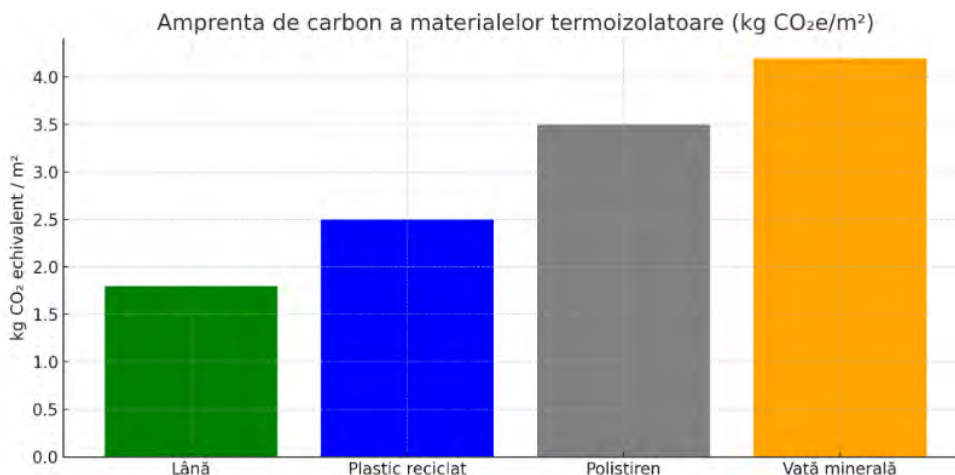


Figura 1 Amprenta de carbon a materialelor termoizolatoare

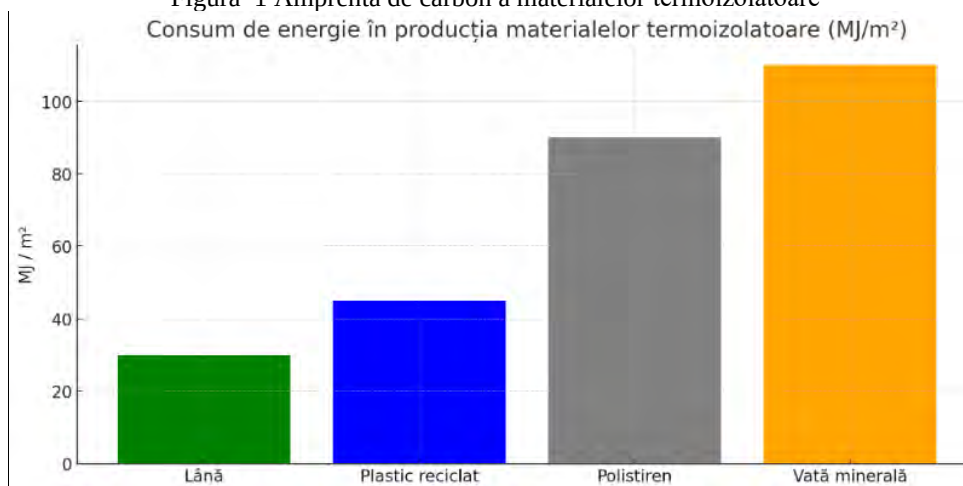


Figura 2 Consum de energie în producția materialelor termoizolatoare

5. Metode de Izolare cu Materiale Reciclabile

5.1 Izolația din Lână de Oaie

Lâna de oaie este un material natural și regenerabil, utilizat chiar din vremuri preistorice pentru proprietățile sale izolatoare. Este eficientă atât în izolarea termică, cât și în cea fonică. Lâna are capacitatea de a absorbi și elibera umiditatea, contribuind la reglarea temperaturii interioare. De asemenea, este rezistentă la foc și biodegradabilă. Un alt avantaj major al lânii este capacitatea sa de a filtra substanțe toxice din aer, oferind un mediu interior mai sănătos. Totodată, tratamentele moderne aplicate acesteia pentru a preveni degradarea biologică fac din lâna un material deosebit de durabil, și în plus, este un material ușor de instalat, fiind disponibil sub formă de plăci, role sau granule. Lâna este recunoscută oficial în Uniunea Europeană pentru utilizare în construcții, conform standardului EN ISO 10456 [7].

5.2 Izolația din Plastic Reciclat

Plasticul reciclat, în special PET-ul, poate fi transformat în fibre poliesterice utilizate pentru izolație. Conform platformei Building Material Reviews, performanțele termoizolatoare ale materialelor reciclate pot fi comparabile cu cele ale soluțiilor tradiționale în ceea ce privește economiile de energie și durabilitate [10]. Utilizarea plasticului reciclat în izolații contribuie la reducerea deșeurilor plastice și la promovarea economiei circulare. Izolația din plastic reciclat



prezintă avantaje precum flexibilitatea ridicată, ceea ce o face ușor de montat și adaptabilitatea la diverse tipuri de construcții. În plus, acest tip de izolație este tratat adesea pentru a fi rezistent la foc și la mușcături, ceea ce îi crește durata de viață. Din punct de vedere al performanței termice, studiile arată că izolațiile din plastic reciclat au o conductivitate termică apropiată de cea a vatei minerale, oferind astfel un raport bun între cost și eficiență. Datele privind conductivitatea și durabilitatea plasticului reciclat au fost preluate din studiile realizate de Munteanu & Vasiliu [8].

5.3 Izolația din Celuloză

Celuloza este obținută din hârtie reciclată, tratată cu substanțe ignifuge și antifungice. Are o conductivitate termică scăzută și este eficientă în izolarea fonică. Specificațiile tehnice au fost extrase din documentele Saint-Gobain Isover România [3] și alte surse comparative [12].

5.4 Izolația din Vată de Sticlă Reciclată

Vata de sticlă produsă din sticlă reciclată este un material izolator eficient, rezistent la foc și durabil.

6. Studiu de caz: Analiza performanțelor termoizolante ale materialelor reciclabile (lână și plastic) față de materiale convenționale (polistiren expandat și vată bazaltică)

6.1 Introducere

În contextul actual al crizei climatice și al necesității reducerii amprente de carbon în construcții, devine tot mai importantă utilizarea materialelor ecologice și sustenabile în proiectarea și reabilitarea clădirilor. În acest studiu, ne propunem să comparăm performanțele termoizolante ale unor materiale reciclabile – **lâna naturală** și **plasticul reciclat** – cu cele ale unor materiale convenționale larg utilizate în industrie – **polistirenul expandat** și **vata bazaltică**.

6.2 Scopul studiului

Scopul acestui studiu este de a analiza și compara:

- **Conductivitatea termică (λ)** a materialelor - Conductivitatea termică (λ) măsoară capacitatea unui material de a conduce căldura. Cu cât valoarea λ este mai mică, cu atât materialul este mai eficient în izolare. Valorile au fost preluate pe baza datelor din fișe tehnice oficiale și literatură de specialitate [1].
 - o **Lână**: aproximativ 0,038 W/m·K
 - o **Plastic reciclat (EPS)**: între 0,030 și 0,040 W/m·K
 - o **Polistiren expandat (EPS)**: între 0,030 și 0,040 W/m·K
 - o **Vată minerală**: între 0,037 și 0,050 W/m·K
- **Rezistența termică totală (R)** a unui perete standard, care include un strat de izolație de 20 cm, strat de mortar și zidărie de cărămidă. Rezistența termică totală (R) măsoară eficiența unui sistem de izolare. Se calculează prin suma rezistențelor termice ale fiecărui strat din perete.

Această analiză va evidenția eficiența termoizolatoare a materialelor reciclabile și capacitatea lor de a înlocui soluțiile tradiționale.

6.3 Date tehnice ale materialelor analizate

Tabel 1: Proprietăți de conductivitate termică (λ) ale materialelor analizate

Material	Tip material	Conductivitate termică λ (W/m·K)
Lână naturală	Reciclabil natural	0.038
Plastic reciclat (PET)	Reciclabil sintetic	0.036
Polistiren expandat (EPS)	Convențional	0.035
Vată bazaltică	Convențional	0.041
Mortar de ciment	-	0.870
Cărămidă plină	-	0.700

6.4 Configurația peretelui analizat

Am analizat un perete compus din următoarele straturi:

- **Strat exterior de izolație:** 20 cm dintr-unul dintre materialele analizate;
- **Strat de mortar:** 2 cm;
- **Zidărie din cărămidă plină:** 25 cm.

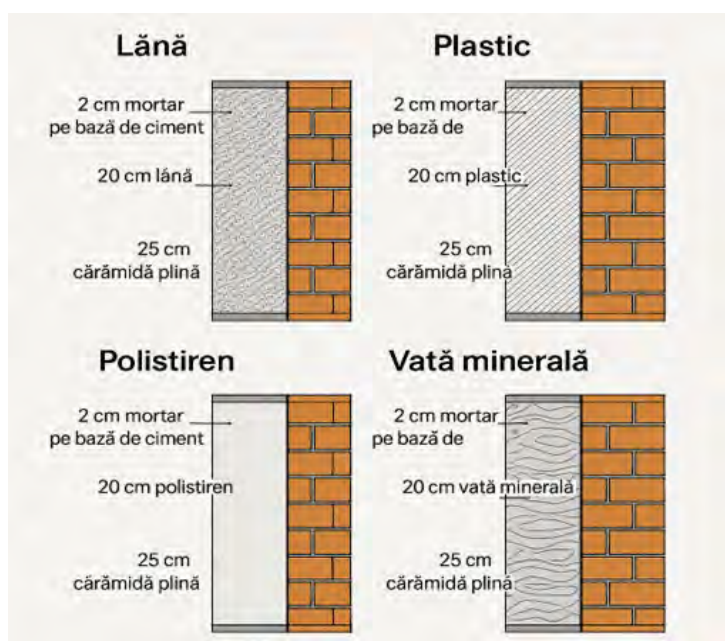


Figura 3 Configurația peretelui

6.5 Calculul rezistenței termice totale

Formula pentru calculul rezistenței termice (R): $R = d / \lambda$

unde:

- d = grosimea stratului (m)
- λ = conductivitatea termică a materialului (W/m·K)

Tabel 2: Rezistența termică totală a peretelui pentru fiecare material izolator

Tip izolație (20cm)	R izolație (m²K/W)	R mortar (2cm)	R cărămidă (25cm)	R total perete (m²K/W)
Lână	5.26	0.023	0.36	5.64



Plastic reciclat	5.56	0.023	0.36	5.94
Polistiren expandat	5.71	0.023	0.36	6.09
Vată bazaltică	4.88	0.023	0.36	5.26

6.6 Analiză și interpretare

Rezultatele indică faptul că toate materialele oferă o bună izolație termică. Deși polistirenul și plasticul reciclat au valori ușor superioare în ceea ce privește rezistența termică, lâna naturală oferă performanțe comparabile, având avantajul suplimentar al **biodegradabilității** și **naturaletii**. Aceste aspecte sunt confirmate și de studiile de specialitate [6], care analizează beneficiile materialelor ecologice în construcții.

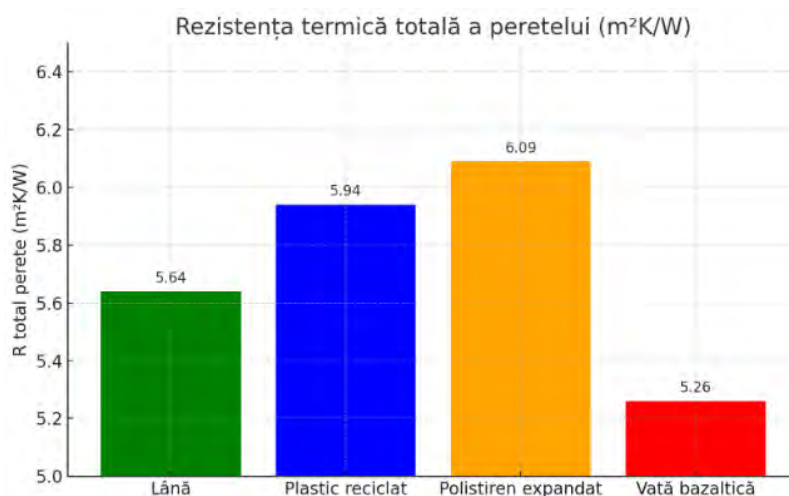


Figura 4 Comparăția rezistențelor termice ale materialelor analizate

6.7 Avantaje și dezavantaje la fiecare material:

a. Lână

Avantaje:

- Material natural și regenerabil.
- Biodegradabilă, reciclabilă.
- Foarte bună reglare a umidității (absoarbe și eliberează vapori de apă).
- Are capacități bune de izolare fonică.
- Nu emite substanțe toxice.

Dezavantaje:

- Preț mai mare decât materialele sintetice.
- Sensibilitate la dăunători (ex. molii – se tratează cu soluții ecologice).
- Poate necesita tratamente ignifuge.

b. Plastic reciclat (de tip EPS sau PET)

Avantaje:

- Cost redus, material ușor.



- Performanță bună în izolație termică (conductivitate mică).
- Rezistență la compresiune.
- Rezistent la umezeală și mucegai.

Dezavantaje:

- Derivat din petrol – nu este biodegradabil.
- Arderea degajă fum toxic.
- Permeabilitate scăzută la vapori – necesită protecție suplimentară împotriva condensului.
- Reciclabilitate limitată după instalare.

Observații importante:

- **Plasticul reciclat (PET)** se comportă excelent din punct de vedere termoizolant, fiind aproape identic cu polistirenul;
- **Lâna naturală** are o conductivitate ușor mai mare, dar avantajele ecologice o fac o alternativă viabilă;
- **Vata bazaltică** are cea mai slabă performanță dintre cele analizate, deși este apreciată pentru rezistența la foc.

6.8 Controlul vaporilor de apă și comportamentul materialelor la umiditate

Controlul vaporilor de apă este esențial pentru prevenirea condensului și a mucegaiului în structurile clădirilor. Materialele cu permeabilitate la vapori mai mare permit o gestionare mai bună a umidității:

- **Lână:** permeabilă la vapori, ajutând la reglarea umidității
- **Plastic reciclat:** permeabilitate scăzută la vapori, risc de condens
- **Polistiren expandat (EPS):** permeabilitate scăzută la vapori, risc de condens
- **Vată minerală:** permeabilă la vapori, dar poate absorbi apă dacă nu este protejată

Analiza permeabilității la vapori este susținută de standardele EN ISO 10456 [7].

6.9 Importanța termoizolației într-o construcție civilă

Termoizolația este utilă pentru:

- **Reducerea pierderilor de căldură:** minimizând consumul de energie
- **Reducerea cheltuielilor pentru încălzire:** economisind costuri
- **Eliminarea punților termice:** îmbunătățind confortul interior
- **Diverse posibilități de finisare:** oferind flexibilitate în design

6.10 Reciclarea naturală și sintetică a materialelor (lână și plastic)

- **Lână:** poate fi reciclată natural prin spălare și reutilizare în diverse aplicații.
- **Plastic:** reciclarea poate fi deschisă (downcycling), reducând calitatea materialului la fiecare ciclu.



7. Concluzii

Acest studiu de caz demonstrează că materialele reciclabile precum lâna sau plasticul reciclat pot înlocui cu succes materialele tradiționale în ceea ce privește izolația termică a clădirilor. Deși diferențele în performanță sunt minime, beneficiile ecologice ale materialelor reciclabile oferă un argument solid pentru utilizarea lor în construcțiile sustenabile.

Materialele plastice nu sunt biodegradabile de aceea reciclarea plasticului și utilizarea lui la sistemele de izolare termică a unei construcții poate fi o soluție pentru protejarea mediului și o reducere a consumului de energie. Această concluzie este susținută de date din literatura științifică și din rapoarte tehnice [5, 8]. Lâna de oaie este recunoscută oficial în Uniunea Europeană ca material utilizat în construcții din 2003. Prin tratare acest material își sporește calitățile devenind îgnifug și rezistent la insecte și dăunători. O altă caracteristică importantă este aceea că reglează automat temperatura mediului ambiant, ducând la o reducere semnificativă a costurilor pentru încălzire.

BIBLIOGRAFIE:

1. Austrotherm România. (n.d.). *Polistiren expandat EPS – Fișe tehnice și specificații*. Recuperat de pe <https://www.austrotherm.ro>
2. Knauf Insulation România. (n.d.). *Izolații din vată minerală bazaltică*. Recuperat de pe <https://www.knaufinsulation.ro>
3. Saint-Gobain Isover România. (n.d.). *Izolații termice sustenabile pentru construcții eficiente energetic*. Recuperat de pe <https://www.isover.ro>
4. Romanian Green Building Council (RoGBC). (n.d.). *Ghiduri pentru construcții verzi*. Recuperat de pe <https://www.rogbc.org>
5. Popescu, D. (2010). *Elemente de fizica construcțiilor*. București: Editura Matrix Rom.
6. Lăzărescu, C. (2016). *Materiale de construcții ecologice*. București: Editura Universitară.
7. European Committee for Standardization. (2007). *EN ISO 10456: Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values*. Brussels: CEN.
8. Munteanu, M., & Vasiliu, D. (2019). Comparative study of recycled and conventional thermal insulation materials. *Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timișoara*, 64(2), 78–84.
9. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
10. <https://buildingmaterialreviews.co.uk/how-do-different-wall-insulation-materials-compare-in-terms-of-uk-energy-savings>
11. <https://www.theguardian.com/business/article/2024/may/11/a-world-first-project-recycles-polyester-into-yarn-for-new-clothes>
12. <https://revistadinlemn.ro/en/2019/08/29/materials-for-thermal-insulation-of-the-house-advantages-and-disadvantages-energy-certificate>
13. <https://circularecology.com/emodied-carbon-footprint-database.html>



CASELE MODULARE DIN CONTAINERE: O ALTERNATIVĂ MODERNĂ ȘI SUSTENABILĂ

Autor/autori

Levente GELLER¹, Nicoleta – Adriana GEORGES²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Geller.Le.Levente@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Georges.Gr.Nicoleta@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

S.L.Dr. Ing. Dorina SUCALĂ¹

Conf.Dr.Efc Sorina Anamaria CIPLEA²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: dorina.sucala@ccm.utcluj.ro, ²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: sorina.CIPLEA@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: Construirea caselor din containere maritime recent apărute, a crescut în popularitate, devenind o opțiune datorită costurilor reduse, a timpului scurt de execuție și a designului flexibil [1]. Aceste spații moderne se realizează atât din containere maritime vechi, care nu se mai folosesc, cât și din containere noi [2]. Spre deosebire de casele tradiționale, costurile de construcție scad semnificativ în funcție de dimensiunea casei care necesită un anumit număr de containere, dar și în funcție de tipul finisajelor și al altor dotări. Modulele pot fi preasamblate în fabrică ceea ce reduce semnificativ timpul de construire al acestora.

De asemenea, utilizarea caselor modulare din containere au un impact ecologic redus, iar în urma unei consolidări corecte, acestea sunt foarte rezistente la acțiunea seismului. Câteva puncte slabe ale acestora ar fi necesitatea de izolare eficientă din punct de vedere termic și fonic, dar și limitarea de design pe care o impun aceste containere standardizate. Din punct de vedere legal, pentru aceste construcții sunt necesare autorizații obișnuite, dar în anumite zone pot beneficia de procese simplificate. Alegerea acestor tipuri de construcții moderne, sustenabile și adaptabile în diverse medii se datorează prețului mai mic și a timpului mai scurt de execuție.

Cuvinte cheie: case modulare, sustenabilitate, containere.

1. Introducere

Construcțiile au fost un pilon fundamental în dezvoltarea umanității, având nu doar rolul de a oferi adăpost pentru supraviețuire, ci și de a simboliza progresele tehnologice și sociale. De la primele structuri simple din lemn, piatră și lut, oamenii au căutat continuu soluții pentru a îmbunătăți condițiile de trai și pentru a-și proteja familiile de condițiile meteorologice și pericolele din jur.

În preistorie, locuințele erau adăposturi rudimentare realizate din materiale naturale disponibile, precum crengi, frunze și piei de animale. Pe măsură ce agricultura s-a dezvoltat și oamenii au început să trăiască mai mult în așezări stabile, aceștia au folosit lutul și piatra pentru a construi structuri mai durabile. Primele civilizații, cum ar fi cele din Mesopotamia și Egipt, au ridicat clădiri impozante din cărămidă arsă și piatră, unele dintre ele fiind încă în picioare astăzi. Evul Mediu a marcat un moment de inovare în arhitectura construcțiilor, prin apariția stilului gotic și a castelelor și catedralelor magnifice [14]. Materialele, cum ar fi piatra și lemnul, au fost prelucrate prin tehnici mai avansate, iar sistemele de fortificație au devenit din ce în ce mai complexe și mai eficiente.

Revoluția industrială a adus o schimbare majoră în domeniul construcțiilor, prin descoperirea betonului armat și a oțelului, ce au permis ridicarea unor structuri mult mai înalte



și mai durabile. În secolul XX, urbanizarea rapidă și dezvoltarea tehnologiilor de construcție prefabricate au răspuns cerințelor tot mai mari de locuințe și infrastructură.

stăzi, industria construcțiilor continuă să progreseze, concentrându-se pe sustenabilitate, eficiență energetică și soluții inovatoare. Un exemplu de tendință modernă este utilizarea containerelor maritime pentru construirea locuințelor, o metodă care oferă o alternativă accesibilă, ecologică și modulară față de construcțiile tradiționale [1, 3], reducând impactul asupra mediului și costurile de construcție [4]. Astfel, evoluția construcțiilor reflectă schimbările profunde din societate și tehnologie de-a lungul istoriei. De la adăposturi primare la edificii sofisticate, fiecare etapă a adus cu sine noi soluții pentru a răspunde nevoilor oamenilor [14]. În prezent, cercetarea și dezvoltarea de soluții inovatoare, cum ar fi locuințele realizate din containere, demonstrează angajamentul continuu pentru un viitor sustenabil și eficient din punct de vedere al resurselor. Această tendință pune în valoare nu doar creativitatea și tehnologia, ci și necesitatea de a găsi alternative care să protejeze mediul și să răspundă provocărilor locuirii moderne.

2. Costuri de construcție

Casele tradiționale construite în România depășesc în medie suma de 800-1200 de euro/mp (fără TVA) [3, 4, 9], deoarece acestea necesită o complexă structură de rezistență, fundații rezistente, lucrări de zidărie și finisaje variate.

O locuință realizată din containere maritime second-hand ajunge la 300-400 euro/mp (fără TVA) [6, 7], iar o casă realizată din containere noi ajunge la 750-950 euro/mp (fără TVA) [1, 6], în funcție de tipul de izolație și nivelul de finisaj. Containerelor maritime second-hand sunt mai ieftine ca cele noi, dar pot necesita tratamente suplimentare antirugină sau refacerea parțială a structurii acestora [2].

Diferențele de preț rezultă din costul inițial mai mic al structurii de bază, cantitatea mai redusă de materiale folosite și montajul mai rapid al acestora. De exemplu, o casă cu o suprafață de 60 mp construită în mod tradițional din zidărie ajunge în medie la un preț de 48.000-72.000 euro (fără TVA), în timp ce o construcție similară din containere maritime second-hand costă în medie 18.000-24.000 euro (fără TVA), iar una realizată din containere maritime noi între 45.000-57.000 euro (fără TVA). Diferența de preț este semnificativă, de aceea aceasta alternativă mai modernă este o soluție accesibilă pentru tineri sau familii cu un buget mai redus.



Figura 1 – Sursa: <https://www.construiesteieftin.ro/>



Figura 3 – Sursa: <https://www.proiectari.md/>



Figura 2 – Sursa: <https://www.rainzcube.ro/>



Figura 4 – Sursa: <https://kubic.ro/>

3. Timpul de execuție

Timpul de execuție este un mare avantaj al caselor construite din containere maritime, acestea putând fi realizate mult mai rapid datorită structurii modulare și a procesului de montaj eficient [3, 5]. Acest timp de execuție poate fi crucial în ceea ce privește construirea caselor temporare sau a câmpurilor de refugiați. După achiziționarea containerelor maritime care durează aproximativ 1-3 săptămâni (cele second-hand sunt mai accesibile) [6, 10], se face pregătirea terenului și a fundației care poate dura 1-2 săptămâni [3], montajul containerelor se realizează în 3-5 zile [6], iar finisajele pot dura aproximativ 2-4 săptămâni (interioare și exterioare) [4, 7]. Așadar timpul de execuție în cazul caselor realizate din containere este de aproximativ 4-8 săptămâni pentru o casa cu o suprafață de 60 mp [3, 6]. În cazul caselor tradiționale timpii de execuție sunt mult mai mari, aceste case fiind realizate în aproximativ 6-12 luni [3]. Comparativ, casele din containere sunt ideale pentru situațiile în care sunt necesare construcții rapide, cele tradiționale necesită mai mult timp dar pot fi personalizate, spre deosebire de cele din containere maritime care au o formă și dimensiune mai fixă.

4. Avantaje ale caselor modulare din containere

- *Construire modulară*: se pot adăuga sau elimina module (containere) ușor, pe parcursul timpului, în funcție de nevoi;
- *Siguranță sporită împotriva incendiilor*: oțelul din care sunt construite containerele este mai rezistent la foc decât lemnul;
- *Costuri reduse de asigurare*: datorită rezistenței structurale, uneori, primele de asigurare pot fi mai mici;
- *Accesibilitate în zone greu de construit*: poate fi o soluție viabilă pentru terenuri dificile, unde construcțiile tradiționale sunt mai greu de realizat;
- *Impact minim asupra solului*: de obicei, nu necesită fundații masive, ceea ce înseamnă mai puțină intervenție asupra terenului [1, 5];
- *Reciclare de resurse*: pe lângă reutilizarea containerelor, se poate integra ușor cu alte tehnologii verzi (panouri solare, sisteme de colectare a apei de ploaie) [1, 5];
- *Eficiență în construcții off-grid*: pot fi adaptate mai ușor pentru locuire independentă, în zone izolate, fără infrastructură urbană;
- *Construcții ecologice și reducerea amprentei de carbon*: pe lângă reciclarea containerelor, aceste locuințe consumă mai puține resurse naturale (cum ar fi nisipul, piatra sau lemnul) decât construcțiile clasice. Astfel, ele contribuie la reducerea



exploatării resurselor și la diminuarea amprente de carbon asociate cu fabricarea materialelor tradiționale de construcție [13].

- *Flexibilitate în design interior:* datorită structurii modulare, interiorul unei case din containere poate fi adaptat ușor: pereții interiori pot fi eliminați pentru a crea spații deschise sau adăugați pentru a compartimenta mai bine locuința. În plus, se poate opta pentru deschideri mari (ferestre panoramice, uși glisante), care sunt mai greu de realizat la casele tradiționale;
- *Posibilitatea extinderii ulterioare la costuri reduse:* Dacă proprietarul dorește, poate adăuga oricând încă un container la construcția deja existentă, fără a fi nevoie să modifice radical structura inițială. Această caracteristică face ca o casă din containere să fie o soluție foarte bună pentru familii care se măresc sau pentru cei care doresc să adauge un birou, o cameră de oaspeți sau un atelier;
- *Adaptabilitate la terenuri inegale sau dificile:* Containerele pot fi montate pe piloni sau pe o fundație minimă, ceea ce înseamnă că pot fi construite și pe terenuri unde o casă tradițională ar necesita excavări masive și costuri mari pentru nivelare. Asta deschide posibilități pentru construcții pe dealuri, în păduri sau în zone greu accesibile.

5. Dezavantaje ale caselor modulare din containere

- *Limitări în privința finisajelor:* anumite materiale clasice de finisaj pot fi greu de aplicat pe suprafața metalică;
- *Probleme cu reglementările de mediu:* în unele cazuri, containerele vechi pot conține vopsele sau solvenți care necesită decontaminare [11];
- *Costuri ascunse:* deși construcția de bază este ieftină, adaptările pentru confort (ferestre, instalații, izolație) pot ridica prețul final [4];
- *Necesitatea echipelor specializate:* nu orice constructor are experiență în conversia containerelor în locuințe;
- *Dilatare și contracție metalică:* metalul poate reacționa la variații mari de temperatură, ceea ce necesită soluții tehnice suplimentare;
- *Confort termic variabil:* dacă nu este proiectată bine, poate fi greu de menținut o temperatură constantă pe tot parcursul anului;
- *Estetică mai rigidă:* deși modernă, forma pătrătoasă poate părea rece sau industrială pentru unii utilizatori.

6. Studiu de caz:

Tabelul 1. Costuri estimative – Casă tradițională vs. Casă din containere maritime

Tip construcție	Suprafață utilă	Cost / m ²	Cost total estimat	Include manoperă și materiale	Observații
Casă tradițională (cărămidă/BCA) [3, 4, 9]	60 m ²	800-1200 €/m ²	48.000–72.000 €	Da (fără TVA)	Timp execuție: 6–12 luni; finisaje standard
Casă din containere second-hand [6, 7]	60 m ²	300–400 €/m ²	18.000–24.000 €	Da (fără TVA)	Timp execuție: 4–8 săptămâni; izolație suplimentară necesară



Casă din containere noi [1, 6]	60 m ²	750–950 €/m ²	45.000–57.000 €	Da (fără TVA)	Durabilitate crescută; personalizare avansată

Tabelul 2. Timp de execuție – Casă tradițională vs. Casă din containere maritime [3, 6]

Tip construcție	Durată totală estimată	Durată fază fundație	Durată structură și montaj	Durată finisaje interioare/exterioare	Observații
Casă tradițională (cărămidă/BCA)	6–12 luni	2–4 săptămâni	1,5–2,5 luni	1–2 luni	Uscare beton, dependență de condițiile meteo
Casă din containere second-hand	5–8 săptămâni	1–2 săptămâni	3–5 zile	3–4 săptămâni	Necesită tratamente anticorozive și izolație suplimentară
Casă din containere noi	4–6 săptămâni	1–2 săptămâni	3–5 zile	2–3 săptămâni	Montaj rapid, mai puține corecții structurale

Tabelul 3. Forța de muncă necesară – Casă tradițională vs. Casă din containere maritime [6, 9, 10]

Tip construcție	Număr total muncitori	Specializări necesare	Durata implicării echipei	Observații
Casă tradițională (cărămidă/BCA)	8–12 persoane	Zidari, dulgheri, electricieni, instalatori, faianțari etc.	6–12 luni	Coordonare complexă între echipe multiple
Casă din containere second-hand	4–6 persoane	Sudori, electricieni, tâmplari metal, izolații	5–8 săptămâni	Echipă versatilă, lucrări metalice și izolație
Casă din containere noi	3–5 persoane	Montatori structuri, instalatori, finisori	4–6 săptămâni	Mai puține corecții; preasamblare posibilă

Tabelul 4. Transfer termic și necesar de izolație – Casă tradițională vs. Casă din containere maritime [8, 12]

Tip construcție	Coefficient transfer termic U (W/m ² ·K)	Materiale structurale	Tip izolație recomandată	Nivel de izolare termică inițial	Observații
Casă tradițională (cărămidă/BCA)	0,25–0,35	Zidărie + tencuială + termosistem	Polistiren sau vată bazaltică 10–15 cm	Bună	Ușor de izolat la standarde nZEB
Casă din containere second-hand	0,60–1,00	Oțel corten	Vată bazaltică + barieră vapori	Foarte slabă	Necesită izolare completă la interior
Casă din containere noi	0,30–0,40	Panouri izolate PIR sau vată	Completat doar în zone punctuale	Bună	Izolație profesională integrată



Tabelul 5. Avantaje și dezavantaje – Casă tradițională vs. Casă din containere maritime

Criteriu	Casă tradițională	Casă din containere second-hand	Casă din containere noi
Avantaje	- Materiale familiare - Inerție termică bună - Durabilitate	- Costuri reduse - Construcție rapidă - Reutilizare ecologică	- Calitate ridicată - Izolație din fabrică - Timp redus
Dezavantaje	- Timp lung - Costuri ridicate - Afectat de vreme	- Necesită tratamente - Transfer termic ridicat - Confort scăzut dacă prost executată	- Preț mai mare ca second-hand - Dependență de furnizor - Dimensiuni fixe

7. Concluzie:

Una dintre cele mai importante investiții din viața unei persoane este cea a achiziționării unei case. Alegerea între diferite alternative posibile nu este un lucru ușor astăzi, în domeniul construcțiilor existând o mare varietate de opțiuni.

Alegerea unei case din containere maritime este justificată de o serie de factori esențiali: costul redus, adaptabilitatea, sustenabilitatea, rapiditatea construcției și libertatea de personalizare. Această opțiune nu este doar o soluție de compromis, ci poate deveni, pentru mulți, o alternativă viabilă, modernă și inteligentă la construcțiile tradiționale [1, 7], reflectând o mentalitate deschisă, inovatoare și orientată spre viitor.

De asemenea, poate fi o decizie inspirată pentru cei care caută o soluție de locuire inovatoare, flexibilă și prietenoasă cu mediul. Această opțiune atrage în special persoane tinere, creativi, iubitori de arhitectură modernă sau de viață sustenabilă.

BIBLIOGRAFIE

1. Modul Studio – *Proiecte de case modulare din containere pentru medii urbane și rurale*. <https://modulstudio.ro>
2. Banu, D., Moga, L. M., & Bratu, M. (2020). *Utilizarea containerelor maritime în construcții – avantaje și limite*. Revista „Construcții Metalice”, nr. 2/2020. [ISSN 1453-5328]
3. Dobre, R. (2019). *Construcții modulare – eficiență economică și energetică*. Revista „Calitatea – Acces la Succes”, nr. 3, 2019.
4. Construieste.info – *Articole comparative despre case container vs. tradiționale în România (2023–2024)*.
5. UNStudio. (2022). *Tiny House Project – Sustainable Container Architecture*. <https://www.unstudio.com>
6. Casepecontainere.ro – *Proiecte de case din containere*. <https://www.casepecontainere.ro>
7. Römmer Green Homes – *Soluții ecologice și eficiente pentru case din containere*. <https://rommerhomes.ro>
8. Popescu, A., & Ilie, C. (2017). *Analiză comparativă între structuri ușoare și tradiționale pentru locuințe individuale*. Universitatea Tehnică de Construcții București – Simpozionul Internațional CIBv 2017.
9. e-Construct.ro – *Ghiduri și articole pentru construcții modulare*. <https://e-construct.ro>
10. Adevărul – *Avantajele și dezavantajele unei case din containere*. <https://adevarul.ro>
11. Leroy Merlin România – *Case din containere – Avantaje, tipuri, costuri*. <https://leroymerlin.ro>
12. ANRE & MDRAP (2021–2024) – *Ghiduri pentru clădiri NZEB în România (standard de consum aproape zero)*.
13. Mateescu, I. (2018). *Impactul construcțiilor modulare asupra mediului urban din România*. Revista de Urbanism „Habitat”, nr. 1/2018.
14. David, A. (2020). *Teoria arhitecturii: spațiu, formă, funcțiune*. București: Editura Universitară.
15. Figura 1 – Sursa: <https://www.construiesteieftin.ro/>
16. Figura 2 – Sursa: <https://www.rainzcube.ro/>
17. Figura 3 – Sursa: <https://www.proiectari.md/>
18. Figura 4 – Sursa: <https://kubic.ro/>



STICLĂ RECICLATĂ ÎN MORTARE: O SOLUȚIE SUSTENABILĂ PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚIE

Autori/autori

R.A.M. GAVRA¹, T.A. IANOȘ², L. JURCA³

¹ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: gavrarony@gmail.com

² Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: andreeaianos13@gmail.com

³ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: j.larisa22@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

S.L.Dr.Ing. E. JUMATE⁴

⁴ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: elena.jumate@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: Poluarea reprezintă o amenințare majoră pentru mediu, iar gestionarea deșeurilor din sticlă devine din ce în ce mai urgentă. Această lucrare explorează utilizarea sticlei reciclate în compoziția mortarului, cu scopul de a îmbunătăți sustenabilitatea construcțiilor. Studiul a implicat elaborarea unui mortar inovator, în care au fost integrate bucăți de sticlă, ca alternativă la materialele tradiționale. S-a analizat compoziția, procesul de fabricație și proprietățile mecanice ale mortarelor obținute, incluzând teste de rezistență la compresiune, întindere din încovoiere și absorbția apei. Metodele de îmbunătățire a performanței acestui material au fost de asemenea investigate. Rezultatele sugerează că utilizarea sticlei reciclate poate oferi avantaje semnificative, dar și limitări, ceea ce necesită o evaluare atentă a fezabilității sale în construcțiile civile. Concluziile oferă recomandări pentru aplicabilitatea practică a acestui tip de mortar în viitor.

Cuvinte cheie: mortar, sticlă, rezistență, sustenabilitate, durabilitate, agregat, analiză

1. Introducere

Creșterea accelerată a populației și urbanizarea intensă au condus la o producție amplă de deșeuri, iar printre acestea, deșeurile de sticlă ocupă un loc deosebit. De altfel, industria construcțiilor rămâne unul dintre cei mai mari consumatori de resurse naturale, generând un impact considerabil asupra mediului înconjurător. Una dintre soluțiile promițătoare în această privință o reprezintă valorificarea deșeurilor reciclabile în compoziția materialelor de construcție. Printre acestea, sticla reciclată atrage un interes deosebit, datorită abundenței sale și potențialului de a înlocui parțial agregatele convenționale din mortare. Utilizarea sticlei reciclate nu doar că poate contribui la reducerea consumului de resurse naturale, dar poate și îmbunătăți anumite proprietăți fizico-mecanice ale materialelor, dacă este introdusă în mod corespunzător [2], [3].

Prezenta lucrare urmărește să investigheze posibilitatea utilizării sticlei reciclate ca înlocuitor parțial al agregatelor tradiționale utilizate în mortare, având ca obiective principale îmbunătățirea performanțelor fizico-mecanice și reducerea impactului negativ al acestora asupra mediului.

2. Materiale și metode

2.1 Materiale

Programul experimental a urmărit realizarea a patru rețete de mortar de tencuială decorative (vezi Tabelul 1), una standard și alte trei în care s-au folosit deșeuri de sticlă transparentă și colorată, cu diferite proporții de înlocuire a acestora față de cantitatea de nisip: CSIV – rețeta



standard, R1 (cu 25% substituție de sticlă reciclată), R2 (cu 50% substituție de sticlă reciclată) și R3 (cu 75% substituție de sticlă reciclată). Proprietățile fizico-mecanice ale mortarelor obținute au fost studiate în comparație cu mortarul de referință.

Tabelul 1. Rețetele de mortar

Materiale	CS IV	R1 – 25%	R2 – 50%	R3 – 75%
Ciment alb 52,5	385	385	385	385
Nisip [g]	1550	11625	775	387,5
Sticlă [g]	-	387,5	775	1162,5
Apă [ml]	250	240	260	255

Cele patru rețete au fost concepute pentru prepararea a 7 litri de mortar fiecare. Știind cantitățile necesare pentru 1 m³ de mortar, s-a calculat cu regula de 3 simplă necesarul pentru cele trei rețete. Materialele utilizate în aceste rețete (Figura 1) au fost următoarele:

Cimentul alb a fost utilizat în cantitatea de 385 g în toate variantele, el este componeta activă a mortarului. Pe lângă rolul de liant, acesta mai îndeplinește și următoarele roluri:

- în reacție cu apa formează produși de hidratare care conferă mortarului o bună rezistență mecanică dar și durabilitate;
- participând la reacții cu sticla macinată contribuie la reacțiile pozolane, care îmbunătățesc structura mortarului;
- priza și întărirea rapidă depind de el;
- contribuie la reducerea porozității și creșterea rezistenței la îngheț-dezghet.

Nisipul între 1550 g și 1162,5 g, scade pe măsură ce crește proporția de sticlă. Acesta îndeplinește următoarele roluri:

- este componenta inertă și are rol de schelet în compoziția mortarului;
- oferă volum, structură și aderență mortarului;
- are o granulație adecvată care asigură o bună lucrabilitate.

Apa, între 250 ml și 260 ml, are un rol esențial pentru inițierea reacțiilor chimice dintre liant (cimentul) și celelalte componente. Pe lângă acesta ea:

- activează procesul de hidratare a cimentului, ducând la întărirea și dezvoltarea rezistenței mortarului;
- asigură lucrabilitatea amestecului;
- contribuie la distribuția uniformă a materialelor în amestec

Sticla reciclată, între 387,5 g și 1162,5 g, (măcinată sub formă de pulbere sau granule fine) este utilizată ca material alternativ sau aditiv în locul nisipului tradițional și

- îmbunătățește proprietățile mecanice, cum ar fi rezistența la compresiune și durabilitatea în timp;
- reduce porozitatea mortarului, ceea ce îl face mai rezistent la absorbția apei și îngheț-dezghet;
- scade impactul asupra mediului, prin reutilizarea unui deșeu greu degradabil;
- poate influența pozitiv reacțiile pozolane (reacții între siliciul din sticlă și hidroxidul de calciu din ciment), ducând la formarea de compuși care întăresc structura mortarului.



Figura 1. Materialele componente



Figura 2 Determinarea consistenței

2.2. Metode

Pentru a asigura relevanța rezultatelor obținute, probele au fost pregătite și testările realizate la o temperatură de aproximativ 20°C. Componentele mortarelor (conform Figura 1) au fost dozate cu ajutorul unui cântar electronic, după care amestecul a fost omogenizat utilizând un malaxor. După prepararea fiecărei compoziții, s-au efectuat testările privind proprietățile mortarelor în stare proaspătă și întărită, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1015 [1].

Determinarea consistenței mortarului conform SR EN 1015-3:2001 este o măsură a fluidității și/sau a umidității mortarului proaspăt și indică o măsură a deformabilității acestuia atunci când este supus la un anumit tip de tensiune. Pentru determinarea consistenței s-au utilizat o masă de împrăștiere compusă din următoarele piese principale: soclu, un ax orizontal, o tijă de ridicare, matrița tronconică, un platan rigid, un disc și o camă de ridicare. A fost așezată matrița în centrul discului mesei de împrăștiere și s-a introdus mortarul în două straturi, fiecare strat compactându-se prin cel puțin 10 lovituri scurte ale maiului [1]. S-a eliminat surplusul de mortar cu ajutorul unei palete de nivelare și s-a șters suprafața liberă a discului pentru ca aceasta să fie curată și uscată, având grijă să se înlocuiască toată apa din jurul capătului inferior al matriței. După aproximativ 15 s s-a ridicat lent și vertical matrița, mortarul s-a împrăștiat pe disc, și s-au executat 15 vibrații ale mesei, cu o frecvență constantă de aproximativ 1 vibrație pe secundă. S-a măsurat diametrul mortarului în două direcții perpendiculare cu ajutorul șublerului și s-a calculat valoarea medie a celor două măsuri. (Figura 2).

După omogenizarea mortarului supus determinării s-a introdus în vasul cilindric cu volum și masă cunoscută pe care s-a fixat rama prelungitoare. Vasul s-a umplut cu mortar până la jumătatea ramei. Având o consistență mai mare de 6 cm pentru toate cele 4 rețete, mortarul a fost compactat prin împingere în 25 de locuri diferite pe toată înălțimea cu o vergea metalică cu diametrul de 10-12 mm. S-a scos rama prelungitoare și cu lamela metalică printr-o mișcare de fierăstrău, începând de la mijloc spre margini și s-a eliminat excesul de mortar [1]. Mai apoi s-a cântărit vasul cu mortar, iar într-un final s-au aplicat formulele de calcul și s-a determinat densitatea aparentă a mortarului proaspăt.

Mortarele obținute au fost ulterior turnate în tipare având dimensiunile 40x40x160 mm în două straturi, fiecare strat fiind compactat pe masa vibrantă prin aplicarea a 60 de șocuri, pentru a asigura omogenizarea materialului. La 24 de ore de la turnare, epruvetele au fost decofrate, iar ulterior, la 28 de zile – timp în care au fost păstrate într-un mediu umed, într-o cutie specială



– s-au efectuat testările pentru determinarea densității aparente și a rezistențelor mecanice: rezistența la compresiune și rezistența la întindere din încovoiere.

Pentru fiecare set de teste au fost utilizate câte 3 epruvete, cărora li s-a determinat densitatea aparentă iar apoi au fost supuse încercării la întindere din încovoiere, urmată de testarea la compresiune pe cele două jumătăți rezultate.

Determinarea rezistenței la întindere prin încovoiere s-a realizat cu ajutorul „Mașinii automate pentru încercare la încovoiere/tracțiune” (Figura 3.), având o distanță între reazeme de 10 cm. Ulterior, pe cele 6 resturi de prismă rezultate s-a determinat rezistența la compresiune cu ajutorul unei prese hidraulice de 25 de tone (Figura 4). Prismele se vor încerca întotdeauna perpendicular pe direcția de turnare – pe această direcție rezistențele sunt mai mici din cauza tendinței de segregare a mortarelor [5].

3. Rezultate și discuții

În continuare sunt prezentate rezultatele obținute în urma testărilor experimentale, care evidențiază impactul înlocuirii parțiale a nisipului cu sticlă măcinată asupra proprietăților mortarului din punct de vedere fizico-mecanic.

Astfel, în Tabelul 2. sunt prezentate consistențele obținute pentru cele patru rețete. Se poate observa că sunt comparabile și relativ constante, indicând o bună omogenizare și o lucrabilitate adecvată indiferent de procentul de sticlă reciclată.

Tabelul 2. Rezultate determinare consistență mortare.

Caracteristica		Rețete			
		CSIV	R1 -25%	R2 – 50%	R3 – 75%
Diametru	d ₁ [cm]	18,6	18,6	18	17,5
	d ₂ [cm]	18,8	18,4	20	20,5
Consistența [cm]		18,7	18,5	19	19
Consistența medie [cm]		18,8			

În Tabelul 3. sunt prezentate valorile obținute pe cele patru rețete de mortar. După cum se poate observa, valorile densității celor patru rețete variază foarte puțin între ele (1,96 – 2,00 g/cm³), ceea ce sugerează că înlocuirea parțială a nisipului cu sticlă nu afectează semnificativ greutatea volumetrică inițială a mortarului.

Tabelul 3. Rezultate densitatea aparentă

Rețete	Masa [g]	Volum [cm ³]	Densitatea aparentă [g/cm ³]	Densitatea aparentă medie [g/cm ³]
CS IV	516	256	2,01	2,00
	514,5		2,00	
	516,3		2,01	
R1 – 25%	511,8	256	1,99	1,98
	507,4		1,98	

	511,4		1,99	
R2 – 50%	503,3	256	1,96	1,96
	508,3		1,98	
	502,3		1,96	
R3 – 75%	509,7	256	1,99	1,97
	506,9		1,98	
	504		1,96	

Analiza datelor prezentate în Tabelul 4. și Figura 5 evidențiază că valorile medii ale rezistenței la întindere din încovoiere au înregistrat o ușoară creștere pentru rețetele R1 - 25% și R2 - 50%, în comparație cu rețeta de referință (CS IV), ceea ce indică un impact favorabil al adaosului de sticlă asupra acestei proprietăți mecanice. În schimb, rețeta R3 - 75% a prezentat o diminuare a valorii rezistenței, sugerând că o concentrație ridicată de sticlă poate conduce la o scădere a coeziunii interne a materialului. Totodată, se mai poate observa că rezistența la



Figura 3. Mașina pentru încercare la încovoiere/tracțiune.



Figura 4. Presa hidraulică

compresiune urmează o tendință similară cu rezistența la întindere din încovoiere. Un maximum se atinge la 25% înlocuire, iar apoi scade ușor, dar rămâne comparabilă cu proba etalon (CS IV). La 75% se remarcă cea mai mare scădere, indicând o degradare a capacității portante.

Se poate spune că R1 - 25% este rețeta optimă: oferă cele mai bune performanțe mecanice (atât la întindere din încovoiere, cât și la compresiune).

Rețetele R2 - 50% și R3 - 75% arată o tendință descrescătoare a proprietăților mecanice, semnalând că un grad prea mare de înlocuire poate compromite calitatea mortarului [4].

Valorile obținute pentru toate rețetele sunt relativ apropiate, ceea ce indică o compatibilitate bună între materialele combinate, dar doar până la un anumit prag (25 – 50%).

Tabelul 4. Rezistența la întindere din încovoiere și rezistența la compresiune

Rețete Mortar	Masă [g]	Rezistența la întindere din încovoiere		Rezistența la compresiune	
		F[N]	R _t [N/mm ²]	F[KN]	R _c [N/mm ²]



CS IV	516	2100	4,92	41,29	25,80
	514,5	2150	5.04	42,16	26,35
	516,3	2150	5.04	33,93	21,20
Medie	515,6	2133,33	5.00	39,12	24,45
R1-25%	511,8	2350	5.51	43,88	27,42
	507,4	1990	4.66	42,29	26,42
	511,4	2200	5.15	42,42	28,39
Medie	510,2	2180	5.15	43,86	27,41
R2-50%	503,3	2200	5.15	40,11	25,06
	508,3	2340	5.48	40,23	25,14
	502,3	1900	4.45	38,89	24,30
Medie	504,63	2146,66	5.03	39,74	24,83
R3-75%	509,7	2100	4.92	38,55	24,09
	506,9	1900	4.45	40,95	25,59
	504	1950	4.57	37,49	23,43
Medie	506,86	1983,33	4.64	38,99	24,37



Figura 6. Probe finale

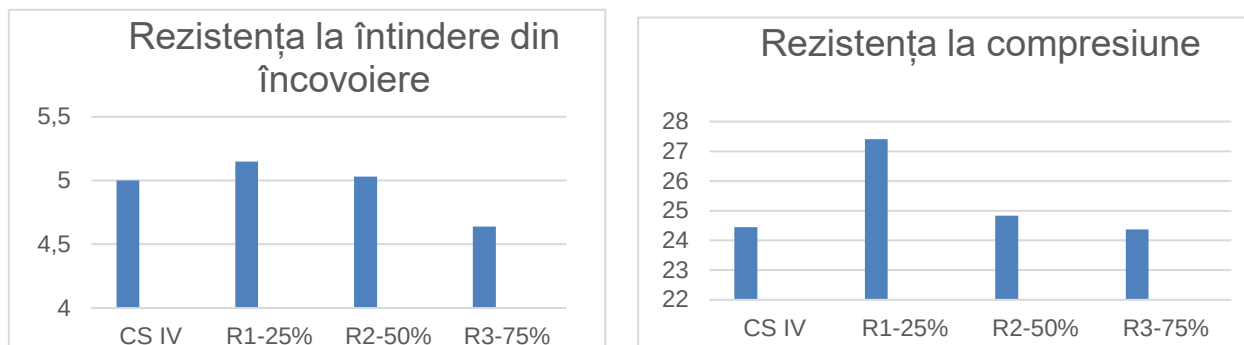


Figura 5. Rezultate încercări mecanice.

Concluzii

Se poate evidenția faptul că introducerea sticlei este fezabilă ca agregat alternativ, (Figura 6) mortarul având rezultate pozitive asupra proprietăților mecanice, în special la un nivel moderat de înlocuire. Rezultatele sugerează că o înlocuire de 25% până la 50% a nisipului cu sticlă este optimă, obținându-se îmbunătățiri sau menținerea performanțelor comparativ cu rețetele standard. Un dezavantaj îl reprezintă creșterea de sticlă până la 75%, care duce la o scădere a rezistenței mecanice, probabil datorată unei legături mai puțin bune între granulele de sticlă și liant.

Cel mai mare avantaj vizibil îl reprezintă reutilizarea deșeurilor de sticlă prin care se reduce atât consumul de resurse naturale, cât și deșeurile persistente, fără a fi compromisă calitatea mortarului. Ca și o recomandare, mortarele cu 25 - 50% sticlă sunt benefice aplicării tencuielilor și elementelor secundare de construcție, contribuind la clădiri durabile în timp și prietenoase cu mediul.

BIBLIOGRAFIE

1. SR EN 1015-3:2001 – Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).
2. Siddique, R., & Khatib, J. (2010). *Use of recycled glass in concrete: A review*. Waste Management, 30(2), 234–250.
3. Kumar, S., & Singh, R. (2018). "Recycling of Waste Glass in Construction Materials: A Review." Materials Today: Proceedings, 5(9), 18884-18891.
4. Anand, S., & Mishra, S. (2019). "Utilization of Waste Glass as Fine Aggregate in Mortar and Concrete." *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(2), 1071-1079.
5. Alexandru Gherghie NETEA, Daniela Lucia MANEA, Claudiu ACIU, Elena JUMATE, Florin BABOTA, Luminița Monica PLEȘA, Răzvan Andrei IERNUȚAN, *Materiale De Construcții, Chimie*, UTPRESS, Cluj-Napoca, 2019.



STUDII PRIVIND ARMAREA IPSOSULUI CU FIBRE TEXTILE RECICLATE

Autor/autori

Mara POPESCU¹, Andreea MUNTEANU², Karina ARDELEAN³

Facultatea de Construcții Cluj-Napoca, Universitatea tehnică din Cluj-Napoca, [email: mara153@yahoo.com](mailto:mara153@yahoo.com)
Facultatea de Construcții Cluj-Napoca, Universitatea tehnică din Cluj-Napoca, [email: andreeamunteanu2806@gmail.com](mailto:andreeamunteanu2806@gmail.com)
Facultatea de Construcții Cluj-Napoca, Universitatea tehnică din Cluj-Napoca, [email: ardeleankarinaa@gmail.com](mailto:ardeleankarinaa@gmail.com)

Îndrumător/îndrumători

Conf.Ddr.Ing. Claudiu ACIU¹

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[email: Claudiu.Aciu@ccm.utcluj.ro](mailto:Claudiu.Aciu@ccm.utcluj.ro)

REZUMAT: Statisticile indică faptul că, în Europa, se produc anual peste o sută de miliarde de articole vestimentare, dintre care 92 de milioane de tone ajung în depozitele de deșeuri. În 2020, consumul de textile per persoană în Uniunea Europeană a implicat, în medie, utilizarea a 9 metri cubi de apă, 400 de metri pătrați de teren și 391 de kilograme de materii prime, generând o amprentă de carbon de aproximativ 270 de kilograme de CO₂. În prezent, doar 1% dintre haine sunt reciclate în alte produse textile. O soluție viabilă pentru reducerea acestui impact ecologic este valorificarea deșeurilor textile în industria materialelor de construcții. Cercetarea realizată studiază posibilitatea utilizării ipsosului ca bază pentru integrarea acestor fibre reciclate. Principalele puncte slabe ale ipsosului includ fragilitatea, absorbția ridicată a apei și rezistența mecanică redusă. Studiul evidențiază că integrarea fibrelor textile în materialele de construcții contribuie semnificativ la îmbunătățirea proprietăților mecanice, a durabilității și a sustenabilității acestora. Totodată, această soluție inovatoare sprijină principiile economiei circulare și reduce impactul negativ asupra mediului.

Cuvinte cheie: articole vestimentare, amprenta de carbon, ipsos, fibre textile.

1. Introducere

Industria fast fashion generează un impact considerabil asupra mediului, atât la nivel global, cât și național. În România, această ramură a industriei textile contribuie semnificativ la poluarea mediului și la consumul intens de resurse naturale. Unul dintre efectele cele mai vizibile este cantitatea tot mai mare de deșeuri textile generate anual. Majoritatea acestor deșeuri nu sunt reciclate sau valorificate, ci ajung în depozite de deșeuri, unde pot avea efecte negative pe termen lung asupra calității solului și aerului.

Nivelul de colectare a deșeurilor textile în România este mult inferior mediei Uniunii Europene. Conform datelor disponibile, în România se colectează între 0,5 și 0,7 kg de deșeuri textile per locuitor anual, comparativ cu media europeană de aproximativ 16 kg. Această discrepanță se explică printr-o infrastructură deficitară dedicată colectării selective a textilelor și prin absența unor puncte de colectare accesibile, mai ales în zonele rurale [1].



Figura 1. Haine arse într-un depozit din regiunea Alicante, Costa Blanca, Spania. Sursa foto: Shutterstock (Ernest Rose) (<https://ecoteca.ro/situatia-deseurilor-textile-in-romania-in-ce-stadiu-suntem-si-ce-mai-e-de-facut-ce-actiuni-pot-adapta-consumatorii.html>)

Fabricarea materialelor de construcții prin utilizarea deșeurilor industriale reprezintă potențiali înlocuitori pentru fabricarea de noi materiale contribuind, la economisirea resurselor naturale și la protejarea mediului. Sustenabilitatea în construcții a devenit o problemă majoră, în zilele noastre, fiind unul dintre principalele aspecte, pe care cercetătorii și inginerii aspiră să îl obțină [2]. Produsele pe bază de ipsos sunt folosite universal datorită proprietăților sale termo-izolatoare, dar și a costurilor scăzute. [3] Din cauza rezistenței scăzute la încovoiere, este necesară adăugarea unor fibre pentru armarea ipsosului, precum polipropilenă [4], sticlă [5], celuloză. Acest studiu arată că prin adăugarea fibrelor textile, provenite din deșeuri reciclate, materialul prezintă o rezistență mai mare la încovoiere, compresiune și durabilitate. [6]



Figura 2. Producția de textile
(<https://www.europarl.europa.eu/topics/ro/article/20201208STO93327/impactul-productiei-si-deseurilor-textile-asupra-mediului>)

2. Materiale și metode

În cadrul experimentului au fost utilizate următoarele materii prime:

Ipsos de construcții: s-a utilizat produsul *Adera Basic*, furnizat de marca Siniat, un material pe bază de sulfat de calciu hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), destinat aplicațiilor în construcții.

Fibre textile reciclate: aceste fibre au fost obținute din deșeuri provenite din articole vestimentare uzate, prelucrate în vederea reutilizării ca material compozit.

Programul experimental:

Fibrele textile utilizate în experiment au fost obținute prin mărunțirea mecanică a articolelor vestimentare uzate. Materialele textile folosite au inclus fibre de poliester, elastan, vâscoză și bumbac, reprezentative pentru compoziția tipică a hainelor din industria fast fashion.

Pentru prepararea amestecului de test, s-au utilizat 875 g de ipsos de construcții (*Adera Basic*, marca Siniat) și 612,5 ml de apă. După obținerea unui amestec omogen de ipsos și apă, fibrele textile au fost încorporate treptat în compoziție, urmărindu-se distribuția uniformă a acestora în masa amestecului.

Compoziția astfel obținută a fost turnată în trei forme prismatice cu dimensiunile de $4 \times 4 \times 16$ cm. Probele au fost lăsate să se întărească în condiții ambientale controlate, la o temperatură constantă de 20 ± 2 °C, pe o durată de 28 de zile, pentru a permite întărirea completă a materialului compozit.

Pentru a evalua influența conținutului de fibre textile asupra proprietăților compozitului pe bază de ipsos, au fost realizate două tipuri de amestecuri, conținând 3% (Figura 3), respectiv 7% (Figura 4) fibre raportat la masa totală a compoziției. Fibrele utilizate au avut o lungime cuprinsă între 12 și 14 mm, fiind selectate astfel pentru a permite o distribuție adecvată în matricea de ipsos.

În **Tabelul 1** sunt prezentate compozițiile celor două rețete realizate (rețeta cu un conținut de 3% și 7% de fibre textile).

Tabelul 1. Compoziția amestecurilor experimentale cu conținut diferit de fibre textile

Procentaj fibre textile		3%	7%
Apă (ml)		612,5	612,5
Ipsos (g)		875	875
Fibre textile (g)		26,25	61,25

În programul experimental s-a menținut constant raportul apă-ipsos, pentru a observa exclusiv influența conținutului de fibre asupra proprietăților fizico-mecanice ale compozitului.



Figura 3. Probe cu 3% conținut fibre



Figura 4. Probe cu 7% conținut fibre

După 28 de zile, probele au fost extrase din tipare și cântărite pentru a determina masa uscată finală.

S-a determinat și **densitatea aparentă** a fiecărei probe, utilizând volumul prisme ($4 \times 4 \times 16$ cm = $256 \text{ cm}^3 = 0,000256 \text{ m}^3$).

Tabelul 2 prezintă valorile masei și densității aparente pentru fiecare probă, precum și mediile calculate pentru cele două rețete.

Tabelul 2. Masa și densitatea aparentă a probelor

Proba	3%		7%	
	Masa [g]	Densitatea [Kg/m ³]	Masa [g]	Densitatea [Kg/m ³]
1.	317,4	1239.8	295,6	1154.7
2.	294,1	1148.8	299,5	1169.9
3.	288,9	1128.5	294	1148.4
Media	300	1172.4	296.36	1157.7

Se observă o tendință ușoară de scădere a masei și densității atunci când procentul de fibre crește de la 3% la 7%.

Media masei probelor scade de la 300 g pentru compoziția cu 3% fibre la 296,36 g în cazul celei cu 7%, iar densitatea aparentă se reduce de la 1172,4 kg/m³ la 1157,7 kg/m³. Această evoluție poate fi atribuită densității mai reduse a fibrelor comparativ cu matricea de ipsos, dar și posibilei creșteri a porozității globale odată cu adaosul mai mare de fibre.

Pentru evaluarea proprietăților mecanice ale compozitelor obținute, s-a determinat rezistența la încovoiere și compresiune pe fiecare rețetă. Din fiecare rețetă s-au testat trei prisme, astfel încât să se asigure o reprezentativitate adecvată a rezultatelor.

Determinarea rezistenței la încovoiere a fost realizată pe prisme cu dimensiunile 4 × 4 × 16 cm. Fiecare probă a fost testată utilizând aparatul Fruhling-Michaelis. Proba a fost inserată în aparatul de testare, care a fost activat. Aparatul se blochează automat atunci când prisme se rup, iar valoarea forței de rupere este citită direct de pe dispozitiv.

Datele experimentale privind rezistența la încovoiere pentru ambele compoziții (3% și 7% conținut de fibre) sunt prezentate în **Tabelul 3**.

Tabelul 3. Rezistența la încovoiere

%	Test	Forța P [N]	Lungimea secțiunii a [cm]	Distanța dintre suporturi l [cm]	$R_{ti} = \frac{3}{2} \times \frac{P \times l}{a^3}$	R_{med} [N/mm ²]
3%	1	800	4	10	1.87	2
	2	625			1.46	
	3	1150			2.69	
7%	1	1380	4	10	3.23	3.12
	2	1390			3.25	
	3	1240			2.90	

Rezistența la încovoiere a ipsosului „Adera Basic” conform fișei tehnice este de minim 2N/mmp.

În imaginile de mai jos sunt prezentate probele după efectuarea determinării rezistenței la încovoiere (Figura 5).

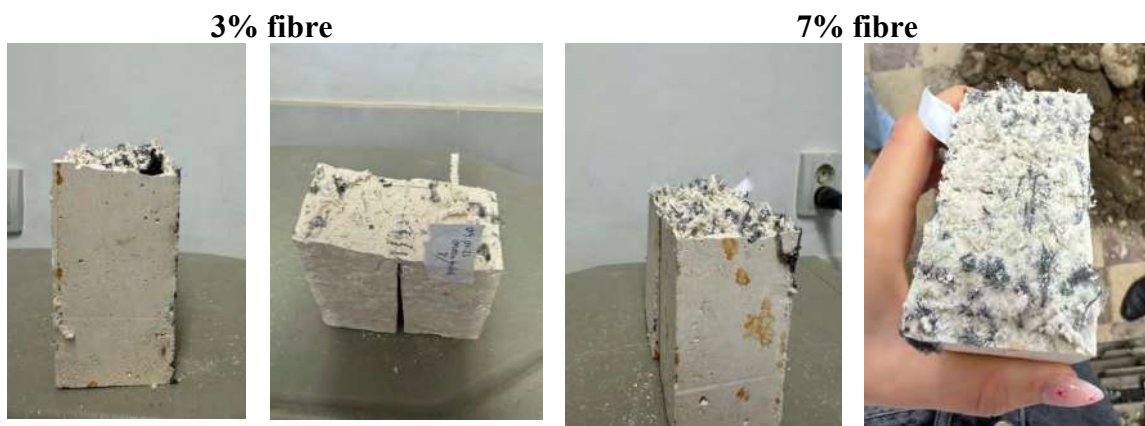


Figura 5. Probele după efectuarea determinării rezistenței la încovoiere

Discuție.

Rezultatele obținute pentru rezistența la încovoiere a compozițiilor cu adaos de 3% și 7% fibre indică o îmbunătățire semnificativă a proprietăților mecanice ale materialului față de valoarea minimă specificată în fișa tehnică a ipsosului „Adera Basic” ($\geq 2 \text{ N/mm}^2$).

Pentru compoziția cu 3% fibre, valorile individuale ale rezistenței la încovoiere variază între 1,46 și 2,69 N/mm^2 , cu o medie de 2,00 N/mm^2 , atingând pragul minim indicat de producător.

În cazul compoziției cu 7% fibre, se observă o îmbunătățire semnificativă a rezistenței, cu valori între 2,90 și 3,25 N/mm^2 și o medie de 3,12 N/mm^2 . Această creștere indică faptul că o cantitate mai mare de fibre contribuie eficient la preluarea eforturilor de încovoiere.

Determinarea rezistenței la compresiune s-a realizat cu ajutorul presei hidraulice, utilizând resturile prismelor supuse anterior testului de încovoiere.

Rezultatele sunt prezentate în **Tabelul 4**, iar valorile obținute sunt comparate cu specificațiile producătorului, conform cărora rezistența minimă admisă pentru ipsosul „Adera Basic” este de 3,8 N/mm^2 .

Tabelul 4. Rezistența la compresiune

%	Test	Dimensiuni [cm]	Aria secțiunii [cm^2]	Forța N [kN]	$R_c = \frac{N}{A}$ [N/mm^2]	R_{med} [N/mm^2]
3%	1.	4	16	5,02	3,13	5,58
	2.1.			9,75	6,09	
	2.2.			9,07	5,66	
	3.1.			11,65	5,76	
	3.2.			11,65	7,28	
7%	1.1.	4	16	12,06	7,53	7,38
	1.2.			11,30	7,06	
	2.			9,18	5,73	
	3.1.			9,66	6,03	
	3.2.			16,93	10,58	

Discuție

Pentru compoziția cu 3% fibre, valorile individuale ale rezistenței la compresiune variază între 3,13 și 7,28 N/mm^2 , cu o valoare medie de 5,58 N/mm^2 . Acest rezultat depășește limita minimă specificată, sugerând o îmbunătățire la compresiune chiar și la un adaos moderat de fibre.

În cazul compoziției cu 7% fibre, rezistențele măsurate sunt cuprinse între 5,73 și 10,58 N/mm^2 , cu o medie de 7,38 N/mm^2 . Creșterea valorii medii față de compoziția cu 3% indică o corelație pozitivă între conținutul de fibre și rezistența la compresiune.

Materialul cu 7% fibre a fost capabil să reziste mult mai mult timp la solicitări fără a se rupe, ceea ce indică faptul că fibrele contribuie nu doar la îmbunătățirea rezistenței, ci și la o mai mare flexibilitate și capacitate de deformare fără rupere. Această proprietate sugerează că materialul cu 7% fibre are o performanță mult mai bună în condiții de stres mecanic continuu, având o capacitate superioară de a se adapta la solicitările externe, fără a ceda rapid. Acest aspect se poate observa în figura 6.



Figura 6. Comportamentul elastic al ipsosului cu 7% fibre textile sub solicitare de compresiune



3. Rezultate și discuții.

- i) **Conținutul optim de fibre textile.** Având în vedere rezultatele obținute, s-a concluzionat faptul că un conținut mai mare de fibre îmbunătățește semnificativ durabilitatea și rezistența materialului, oferindu-i un grad de elasticitate ridicat. Rezistența la compresiune și încovoiere a materialului cu 7% fibre au fost superioare, ceea ce sugerează că structura fibroasă conferă materialului o capacitate mai mare de a rezista la solicitări și de a se adapta la deformări fără a ceda rapid. Fibrele textile ajută la distribuirea uniformă a încărcăturii și la prevenirea crăpăturilor sau fisurilor în material. Aceste fibre acționează ca o armatură în matricea materialului, permițându-i să reziste la solicitări mecanice și să prevină cedarea elementului.
- ii) **Domenii de utilizare.** Având în vedere proprietățile mecanice obținute în urma testărilor, precum și masa redusă și densitatea scăzută a compozitului armat cu fibre textile, această variantă poate fi folosită pentru termo-izolare, pereți de compartimentare, izolare fonică.
- iii) **Impactul asupra mediului.** În urma testărilor efectuate, s-a observat că o creștere a conținutului de fibre textile până la 7% din masa totală contribuie semnificativ la îmbunătățirea rezistenței mecanice a compozitului. În cadrul experimentului, această proporție a fost echivalentă cu 61,20 g de fibre adăugate la 875 g de ipsos. Extrapolând aceste valori, rezultă că pentru obținerea unui metru cub de material compozit ar fi necesare aproximativ 62 kg de fibre textile reciclate. Această cantitate reflectă un potențial semnificativ în ceea ce privește valorificarea deșeurilor textile, oferind o soluție practică și sustenabilă pentru reducerea impactului deșeurilor asupra mediului.

4. Concluzii

Integrarea fibrelor textile reciclate în materialele de construcții, precum ipsosul, reprezintă o soluție inovatoare cu multiple beneficii ecologice și economice. Aceasta contribuie la reducerea deșeurilor textile, un sector cu un impact semnificativ asupra mediului, și sprijină principiile economiei circulare. Studiul demonstrează că adăugarea fibrelor textile îmbunătățește considerabil proprietățile mecanice și durabilitatea ipsosului, oferind o alternativă mai sustenabilă în construcții. Această abordare nu doar că răspunde nevoi urgente de reducere a deșeurilor, dar și promovează utilizarea resurselor reciclate, diminuând amprenta de carbon și sprijinind tranziția către o industrie mai ecologică și mai responsabilă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] D. Miruna, "Antidot românesc la microbul fast fashion „condus” de Trendyol sau Shein. Micile afaceri locale reciclează materiale și refolosesc orice petec pentru a crea îmbrăcăminte în România.," 1 Martie 2025.
- [2] R. T. Ira, " Impactul construcțiilor asupra mediului" Mai 2021.
- [3] D. E. Bogdan, "Ipsos-ca material de constructii".
- [4] T. F. Yu-He Deng, " "Proprietățile plăcii de ipsos armată cu fibre de polipropilenă ".
- [5] S. N. V. R. R. S. V. S. J. Gokul Krishna, " Placa de ipsos armată cu fibre de sticlă (GFRG) ca tehnologie emergentă," Ianuarie 2021.
- [6] W. L. G. & L. M. Zhang, " Cercetarea proprietăților compozitelor pe bază de ipsos armate cu fibre de bumbac".



VALORIFICAREA ȘTIULEȚILOR DE PORUMB ÎN COMPOZIȚIA MORTARELOR PE BAZĂ DE CIMENT PORTLAND

Autor/autori

Alexandra-Loredana M.I. BOCȘA¹, Teodora-Maria M.I. BUZAȘ², Leyla Valentine J.L.A.G. GRARD³, Carla C.D. GHIRAN⁴

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, bocsaalexandra26@gmail.com.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, teodora.buzas@yahoo.com.

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, leyla.grard@gmail.com.

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, carlaghiran@gmail.com.

Îndrumător/îndrumători

Șef Lucrări.Dr.Ing. Luminița PLEȘA⁵

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, luminita.molnar@ccm.utecluj.ro.

REZUMAT: *Lucrarea analizează posibilitatea utilizării știuleților de porumb ca agregat alternativ în compoziția mortarelor pe bază de ciment Portland, cu scopul de a reduce impactul asupra mediului și de a valorifica deșeurile agricole. Sunt prezentate proprietățile fizico-mecanice ale știuleților, metodele de prelucrare și introducerea în amestec, precum și efectele acestora asupra caracteristicilor mortarelor, cum ar fi densitatea și rezistențele mecanice. Rezultatele experimentale indică faptul că înlocuirea agregatelor tradiționale cu știuleți de porumb conduce la o scădere a densității aparente și a rezistențelor mecanice, dar oferă avantaje în ceea ce privește izolația termică și sustenabilitatea. Studiul arată că știuleții de porumb pot fi utilizați cu succes în aplicații neportante în construcții ecologice, contribuind la dezvoltarea durabilă și la valorificarea eficientă a resurselor regenerabile.*

Cuvinte cheie: știulete, mortar, agregat, sustenabilitate, cenușă, inovator, ciment, deșeuri, construcții, densitate, rezistențe, costuri, eficiență, biocompozit.

1. Introducere

Impactul negativ al materialelor de construcții convenționale asupra mediului înconjurător a declanșat o misiune globală cu scopul găsirii unor alternative sustenabile. În acest context, cercetătorii, arhitecții și inginerii își îndreaptă atenția către soluții inovatoare care reduc amprenta de carbon, utilizează resurse regenerabile și promovează o economie circulară.

Pentru acest studiu au fost aleși știuleții de porumb drept înlocuitor procentual al agregatului fin folosit în prepararea mortarelor pe bază de ciment. Unul dintre motivele alegerii acestui material a fost disponibilitatea abundentă, culturile de porumb având una dintre cele mai mari producții pe scară largă la nivel global, rezultând și în producerea masivă de deșeuri biologice cu o valoare economică infimă. Astfel, utilizarea coceanului de porumb poate ajuta la gestionarea deșeurilor în gropile de gunoi. [1]

1.1 Impactul ecologic al extracției nisipului și necesitatea soluțiilor sustenabile

Extracția nisipului, esențială pentru industria construcțiilor, are un impact semnificativ asupra mediului, contribuind la distrugerea habitatelor naturale și afectarea ecosistemelor acvatice fragile, cum ar fi râurile și zonele umede. În absența unor reglementări stricte, exploatarea excesivă provoacă eroziunea malurilor, modifică cursurile de apă și pune în pericol comunitățile locale care depind de aceste resurse. Utilizarea utilajelor grele și a substanțelor chimice agravează poluarea apei și a solului, afectând sănătatea ecosistemelor. Pentru a limita aceste

efecte negative, este necesar să se adopte politici de gestionare durabilă și să se promoveze alternative ecologice.

1.2 Stadiul actual cu privire la generarea cantităților de știuleți de porumb

Culturile de porumb se numără printre cele mai extinse la nivel global, ceea ce conduce la generarea unor cantități considerabile de reziduuri biologice, precum știuleții, caracterizate printr-o valoare economică redusă. Valorificarea acestor deșeuri agricole în aplicații industriale, precum materialele compozite pentru construcții, poate contribui semnificativ la diminuarea volumului deșeurilor organice destinate depozitării în gropile de gunoi, promovând astfel practici sustenabile de gestionare a resurselor.

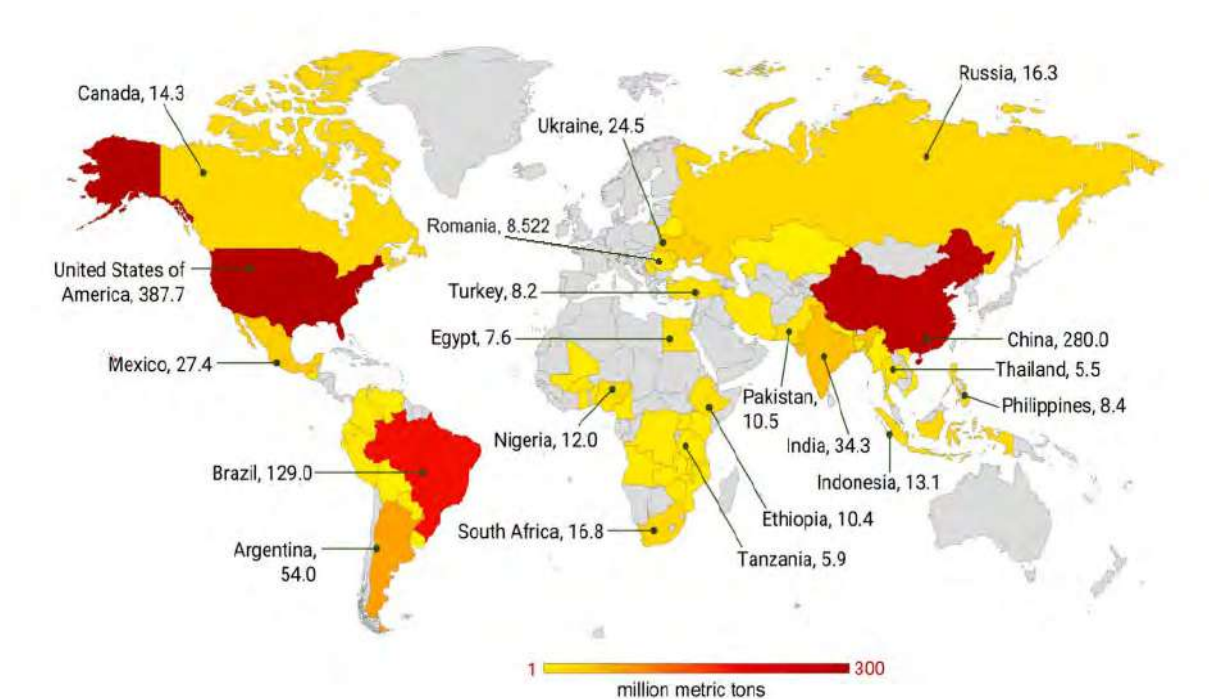


Figura 1. Harta producției globale de porumb în anul 2023

Producția globală de porumb a ajuns la 1221 milioane de tone în 2023, prezentând o creștere substanțială față de producția anului 2008 (144 milioane de tone). Așa cum se poate observa în Figura 1. [2] Statele Unite ale Americii sunt cel mai mare producător contribuind cu 387.7 milioane de tone [3] [4], urmate de China cu 280 de milioane de tone, România producând la rândul ei 8.522 milioane de tone [5]. Știuleții, un produs secundar al porumbului, sunt considerați un deșeu din cauza valorii lor economice limitate. Pentru 1 kg de porumb se produc aproximativ 0.18-0.22 kg de coceni, conform lui Li și Chen [6], anual se obțin 203 milioane de tone de astfel de deșeuri. Dacă nu se gestionează corect, reziduurile pot conduce la probleme de mediu, precum supraaglomerarea gropilor de gunoi și risipa de resurse. Studiile recente au indicat faptul că folosirea cocenilor în mortar poate crește proprietățile mecanice [7], însă în ciuda acestor rezultate promițătoare, la momentul de față nu au fost realizate suficiente studii în acest sens. Aceste lipsuri împiedică înțelegerea completă a proprietăților, performanței și potențialelor aplicații în construcții.



1.3 Stadiul actual al știuleților de porumb ca înlocuitor de agregat

Pentru a evidenția aplicabilitatea practică a materialului analizat, se propune un scenariu de utilizare în cadrul unui proiect de construcție rurală cu impact redus asupra mediului, mai exact, realizarea unor anexe agricole sau locuințe tradiționale cu consum energetic scăzut. În aceste contexte, caracteristicile materialului obținut (greutate redusă, izolare termică superioară, costuri mici de producție și utilizarea de resurse locale) devin avantaje evidente.

De exemplu, în zonele rurale din România unde porumbul este cultivat pe scară largă, deșeurile agricole pot fi colectate local și prelucrate simplu, fără a necesita tehnologii avansate sau investiții majore. Mortarul pe bază de ciment și știuleți de porumb ar putea fi utilizat pentru zidării neportante, pereți despărțitori, tencuieli termoizolante sau umpluturi prefabricate ușoare. Pe lângă diminuarea semnificativă a costurilor față de materialele convenționale, această soluție ar contribui la crearea de locuințe sustenabile și adaptate climatic, cu o amprentă ecologică minimă. Astfel de aplicații pot contribui la reducerea dependenței de materialele standard din industrie și la dezvoltarea unor soluții constructive circulare și reziliente, mai ales în comunități vulnerabile din punct de vedere economic sau ecologic.

Exemplul de aplicare în construcții rurale ecologice evidențiază potențialul real al mortarului cu știuleți de porumb, însă transformarea acestei soluții dintr-o alternativă experimentală într-una uzuală necesită validări suplimentare în condiții de exploatare concretă. Factori precum umiditatea atmosferică, variațiile de temperatură, ciclurile de îngheț-dezghet și expunerea la radiații UV pot influența semnificativ performanța materialului. Prin urmare, continuarea cercetării prin studii aplicate pe șantiere pilot sau construcții demonstrative este esențială pentru a determina comportamentul pe termen lung și pentru a asigura o integrare sigură și eficientă în practică.

1.4 Stadiul actual cu privire la utilizarea știuleților ca adaos de cenușă

În cadrul acestui studiu teoretic, se propune analizarea potențialului tehnic și ecologic al utilizării cenușii de știulete de porumb ca material puzzolan în compoziția mortarelor pe bază de ciment Portland. Această abordare extinde direcția cercetării asupra reziduurilor agricole, explorând o metodă de valorificare prin tratare termică și transformare a știuleților în cenușă activă, cu proprietăți cimentante secundare.

Literatura de specialitate indică faptul că cenușa vegetală obținută prin ardere controlată la temperaturi cuprinse între 500-600°C poate avea un conținut ridicat de oxizi de siliciu (SiO_2), aluminiu (Al_2O_3) și potasiu (K_2O), favorabili reacțiilor puzzolanice. În amestec cu cimentul, acești compuși pot reacționa cu hidroxidul de calciu format în timpul hidratării, generând noi geluri C-S-H (Hidrați de silicat de calciu) ce contribuie la consolidarea structurii mortarului.[15][16]

Deoarece studiul nu presupune o etapă experimentală directă, analiza se bazează pe date existente în literatura științifică și pe modele de comportament observate în studii similare (precum cele realizate cu cenușă de orez, bagasă sau alte reziduuri agricole). Proporțiile teoretice alese pentru înlocuirea parțială a cimentului cu cenușă sunt de 10%, 15% și 20%, dozaje considerate optime în majoritatea studiilor privind adaosurile pozolanice naturale. [17]

Estimările privind performanța mecanică (rezistența la compresiune și încovoiere la 28 zile) sunt realizate în funcție de tendințele cunoscute ale materialelor cu comportament similar, urmărind variația rezistenței în timp și raportul între eficiența structurală și impactul ecologic. Scopul acestui studiu teoretic este de a fundamenta o direcție experimentală viitoare și de a argumenta potențialul concret de utilizare a cenușii de știulete de porumb în compozițiile de mortar sustenabile.

2. Program experimental

În urma analizei stadiului actual, lucrarea de față propune reutilizarea știuleților de porumb în vederea realizării unor noi materiale de construcții cu impact redus asupra mediului înconjurător. Lucrarea de cercetare pornește de la elaborarea unor mortare de clasa M10, în care agregatele vor fi înlocuite în diferite procente cu știuleți de porumb măcinați.

2.1 Materiale utilizate

- **Ciment:** Pentru realizarea mortarului de zidărie, cu clasa M10, s-a utilizat ciment Portland CEM I, 52,5R de la HOLCIM, având următoarea compoziție: 95-100% clincher Portland și 0-5% componente auxiliare minore. Timpul inițial de priză minim 45 de minute și rezistența la compresiune standard minim 52,5 [MPa][8].
- **Agregat:** Pentru realizarea rețetei propuse s-a utilizat agregat de râu cu o granulozitate de 0-4 mm. Înainte de utilizare, agregatul a fost spălat pentru a se îndepărta impuritățile, iar apoi a fost uscat până la o masă constantă.
- **Știuleți de porumb:** Procurarea acestora s-a făcut din surse locale, aceștia au fost uscați și măcinați cu ajutorul unei mori electrice destinată utilizării în laboratoarele de cercetare până la o granulozitate de 0,4 mm (aceeași cu cea a agregatului fin) pentru a putea fi folosiți ca înlocuitor al agregatului în procente de 3%, 5%, 10% și 15%.
- **Apă:** În procesul de omogenizare a mortarului s-a folosit apă potabilă provenind de la sursa de apă din Cluj-Napoca.



Figura 2. Imagini cu știuleții de porumb înainte și după prelucrarea acestora

2.2 Rețetele de mortar utilizate

Pentru realizarea acestui proiect s-au propus patru rețete de mortar pentru zidărie, clasa M10, pe bază de ciment, în care sunt înlocuite diferite procente din cantitatea de agregat fin cu praful obținut în urma măcinării știuleților, conform tabelului 1.

Tabelul 1. Compoziție mortar/ proba turnată.

Materiale componente	Cantitatea pentru 1 m ³				
	Rețeta standard [kg]	Rețeta I: 3% din agregat înlocuit [kg]	Rețeta II: 5% din agregat înlocuit [kg]	Rețeta III: 10% din agregat înlocuit [kg]	Rețeta IV: 15% din agregat înlocuit [kg]
Ciment	323	323	323	323	323
Nisip	1600	1552	1520	1440	1360
Știuleți măcinați	0	48	80	160	240



2.3 Modul de preparare

Prepararea materialelor s-a desfășurat în condiții de laborator, umiditate 60%, temperatura 20°C. Pentru prepararea rețetelor de mortar propuse s-a utilizat un malaxor, în care au fost amestecate cimentul, agregatul și știuleții de porumb, măcinați într-o moara electrică de laborator. După amestecarea acestor materiale, am adăugat treptat apă pentru a obține o consistență optimă, conform standardelor în vigoare.

2.4 Determinarea caracteristicilor mortarului

- Pe mortarul în stare proaspătă s-a determinat consistența mortarului de zidărie prin metoda masei de împrăștiere conform SR EN 1015-3:2001- "Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie. Partea 3: determinarea consistenței mortarului proaspăt", mortarul a fost introdus într-o matrită trunchiată, iar apoi masa a fost supusă unui ciclu de vibrare de 15 ori. Diametrul a fost măsurat în două direcții, iar media acestora a fost utilizată pentru a obține valoarea consistenței. Valorile obținute în laborator sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabelul 2. Consistența probelor de mortar în stare proaspătă

Rețeta propusă	Rețeta standard [mm]	Rețeta I [mm]	Rețeta II [mm]	Rețeta III [mm]	Rețeta IV [mm]
Consistența	188	187	189	187	199

- Pentru mortarul în stare proaspătă s-a realizat determinarea densității aparente în felul următor: mortarul omogenizat a fost introdus într-un vas cu volum cunoscut (1 litru), compactat în funcție de consistență. Se cântărește vasul gol (m_v) și apoi cu mortarul (m_m). Densitatea se calculează cu formula:

$$\rho_a = \frac{m_v - m_m}{V} \times 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

Determinarea densității aparente în stare întărită a fost realizată la 28 de zile de la turnarea probelor de mortar. Determinarea se efectuează pe 3 prisme cu dimensiunile de 40x40x160 mm ("V_a"), Prismele sunt cântărite, iar masele obținute sunt notate cu " m_i ".

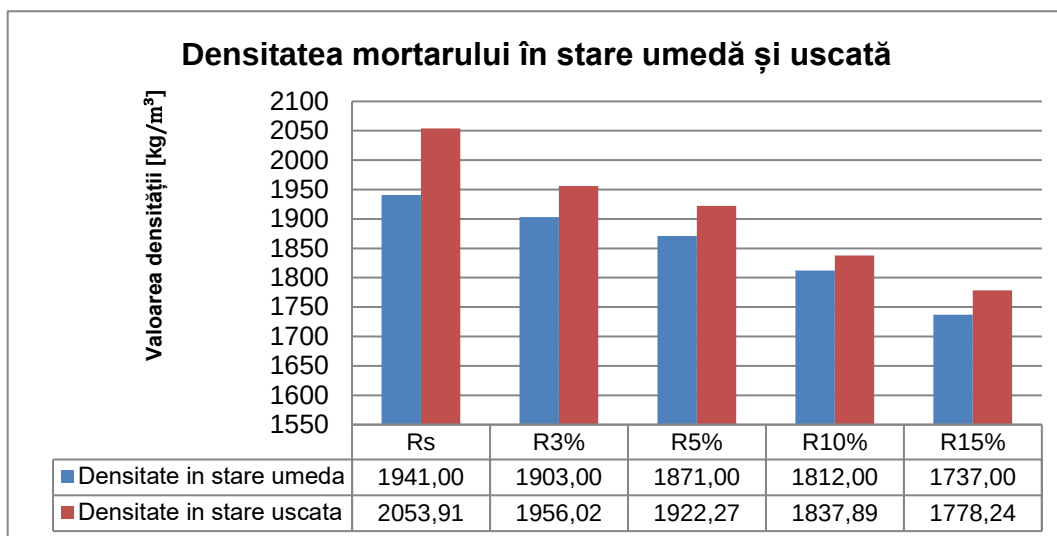


Figura 3. Comparație între densitățile în stare umedă și uscată a tuturor probelor



- Determinarea rezistenței la întindere din încovoiere s-a realizat cu aparatul Fruhling-Michaelis din laboratorul Facultății de Construcții pe prisme de 4x4x16 cm. Pentru calculul acesteia s-a utilizat formula:

$$R_{ti} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pl}{a^3} \quad [N/mm^2] \quad (2)$$

unde P = forța de rupere, l = distanța dintre reazeme 10 cm, a = latura secțiunii;

- Determinarea rezistenței la compresiune s-a realizat pe cele 6 fragmente de prismă rămase în urma încercării la încovoiere, utilizând plăcuțe de egalizare și o presă hidraulică. Prismele au fost testate întotdeauna perpendicular pe direcția de turnare. Pe această direcție rezistențele sunt mai mici din cauza segregării mortarelor. [10] Relația de calcul este:

$$R_c = \frac{P}{A} \quad [N/mm^2] \quad (3)$$

unde P reprezintă forța de rupere și A reprezintă aria secțiunii.

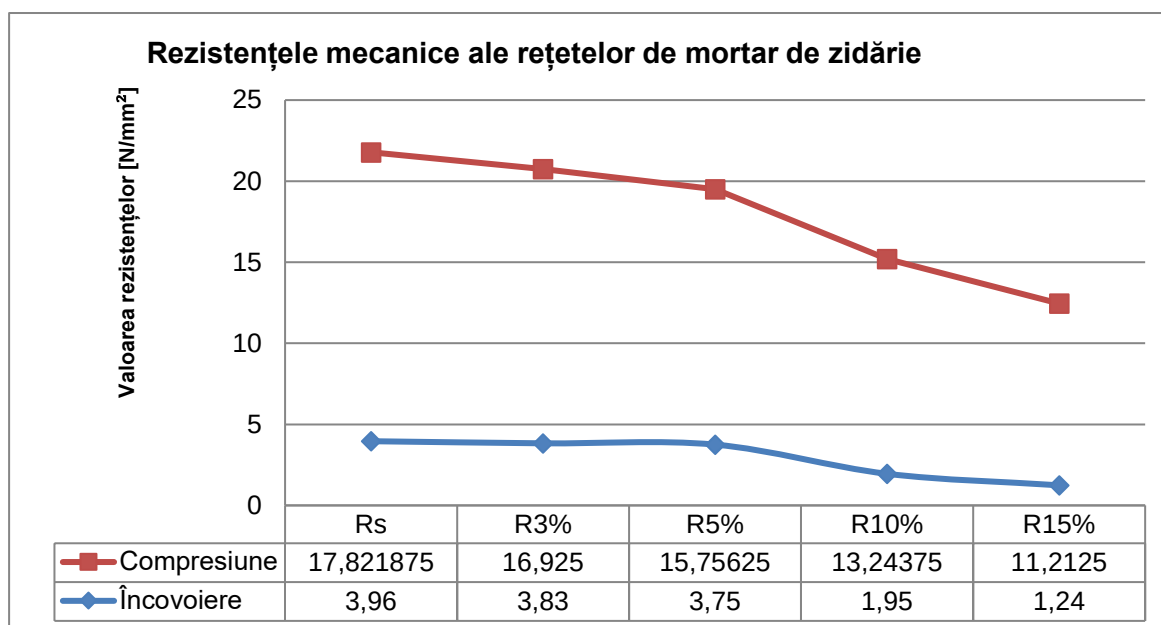


Figura 4. Rezistențele mecanice ale probelor de mortar turnate

Rezultatele testelor de laborator au evidențiat o scădere progresivă a rezistențelor mecanice, fenomen atribuit naturii organice a materialului utilizat. Cu toate acestea, conform unor studii din literatura de specialitate, tratamentul termic aplicat știuleților de porumb, în intervalul de temperatură 200-600 °C, timp de 4 ore, poate contribui semnificativ la îmbunătățirea acestor proprietăți. [11]

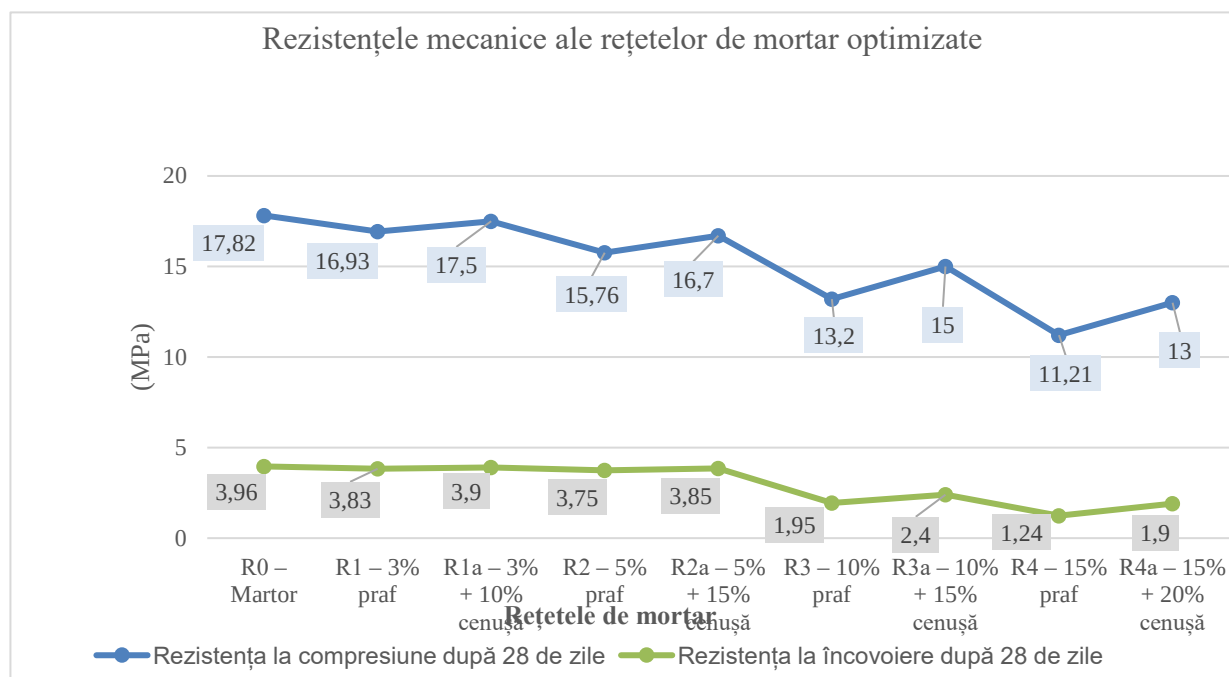


Figura 5. Rezistențele mecanice ale rețetelor de mortar optimizate cu cenușă de porumb

Modelul teoretic presupune o creștere lentă a rezistenței la 28 de zile în prezența cenușii, ca urmare a reacțiilor puzzolanice ce contribuie la densificarea structurii și formarea suplimentară de geluri C-S-H. De exemplu, rețeta cu 10% praf (R3), care a avut o rezistență reală la compresiune de 13,2 MPa, este estimată să ajungă la 15,0 MPa prin adăugarea a 15% cenușă (R3a). În mod similar, rezistența la încovoiere crește semnificativ, de la 1,95 MPa la 2,4 MPa.

Rezultatele prezentate în figura 5 evidențiază comportamentul mecanic estimat al unor compoziții de mortar care combină două forme de valorificare ale știuleților de porumb: praf nears (cu rol de înlocuitor al agregatului fin) și cenușă obținută prin ardere (cu rol puzzolanic, ca înlocuitor parțial de ciment). Valorile pentru rezistența la compresiune și la încovoiere, la 28 de zile, au fost calculate teoretic pentru rețetele care conțin și cenușă, pe baza rezultatelor experimentale reale obținute în laborator și raportate la comportamentul cunoscut al materialelor cu adaosuri puzzolanice. Estimările au fost realizate în conformitate cu normativele și standardele relevante, SR EN 196-1:2016 – privind determinarea rezistenței la compresiune și la întindere din încovoiere pentru mortare de ciment, dar și cu ajutorul studiului de cercetare realizat de către Kumar și Satyanarayana (2022) [18].

3. Discuții

În contextul actual al dezvoltării durabile și al preocupărilor crescânde pentru protejarea mediului înconjurător, valorificarea deșeurilor agricole în industria construcțiilor devine o direcție de cercetare nu doar oportună, ci și imperios necesară. Studiul de față a investigat potențialul tehnico-ecologic al utilizării știuleților de porumb, atât sub formă de agregat măcinat, cât și ca cenușă obținută prin tratare termică, în vederea obținerii unor mortare cu impact redus asupra mediului și proprietăți funcționale optimizate.

Studiul argumentează necesitatea continuării cercetării experimentale în această direcție, incluzând analize de durabilitate, tratarea prealabilă a materialului vegetal și validarea comportamentului în condiții reale de exploatare. În ciuda rezultatelor promițătoare obținute la nivel teoretic și experimental preliminar, literatura de specialitate relevă faptul că studiile



aplicate asupra utilizării știuleților de porumb, în special sub formă de cenușă și ca înlocuitor a unui procent din agregat, sunt încă limitate cantitativ și calitativ. De exemplu, lucrările semnate de Adesanya [15] și Kumar & Satyanarayana [18] confirmă efectul benefic al cenușii de știulete asupra proprietăților mecanice ale betonului, însă indică și nevoia unor cercetări suplimentare privind stabilitatea pe termen lung, interacțiunea cu alți compuși ai cimentului și comportamentul la factori de mediu variabili. Această lipsă de date sistematice validează urgența extinderii cercetării experimentale, în scopul asigurării unei integrări sigure, eficiente și scalabile a acestor materiale în practica de construcții sustenabile.

În contextul actual al creșterii prețurilor materialelor de construcții [19] și al interesului tot mai pronunțat pentru soluții sustenabile, se impune o reevaluare a resurselor utilizate în industria construcțiilor. Este esențială o evaluare detaliată a costurilor de producție și a impactului asupra mediului pentru diferitele materiale clasice precum agregate convenționale [21] și ciment Portland, componenta principală a mortarelor pe bază de liant hidraulic, cât și a materialelor alternative care constau în praf și cenușă din știuleți de porumb.

Materialele tradiționale utilizate în construcții, precum nisipul, pietrișul și cimentul, presupun costuri ridicate de extracție, transport și procesare. În paralel, volumul de deșeuri agricole, în special provenite din culturile de porumb, reprezintă o resursă puțin valorificată. Prin conversia știuleților de porumb în pulbere/ cenușă, se poate obține un material cu proprietăți fizice interesante și costuri semnificativ mai reduse.

Pentru această comparație, s-au analizat patru componente esențiale ale costului de producție: materii prime, prelucrare, transport, energie și manoperă. Datele utilizate provin din surse publice și estimări medii din piața românească pentru anul 2024. [20] Conform datelor disponibile, prețul cimentului Portland poate varia între 550 și 850 lei/tonă, în funcție de compoziție, brand și regiune. Pentru agregate în România, costurile de producție pot varia semnificativ, în funcție de proporțiile carierei și a utilajelor folosite, dar și a dimensiunilor agregatului și proveniența acestora. O estimare orientativă indică sume între 45-95 RON/tonă. Dacă se optează pentru agregatul spălat, costul crește cu 5-10 RON/tonă.

Pentru producerea de agregat din știuleți de porumb, cât și a cenușii din coceni, costurile pot fi doar ipotetice deoarece proiectul este într-o fază incipientă, nefiind pus în practică pe o piață largă. Resursele financiare alocate pentru producția materialelor clasice sunt semnificativ mai mari decât cele ale prafului sau cenușii provenite din știuleți de porumb, care, fiind un deșeu agricol, implică cheltuieli reduse pentru materie primă și costuri de prelucrare modeste, în special în context local. [22]

Transportul știuleților este, de asemenea, mai puțin costisitor datorită densității lor reduse ($147\text{--}304\text{ kg/m}^3$) [13], comparativ cu agregatele clasice ($1400\text{--}1700\text{ kg/m}^3$) [10]. Acest avantaj logistic contribuie la scăderea amprente de carbon asociate transportului.

Tabelul 3. Costuri aproximative pentru fabricarea fiecărui tip de material

	Agregate obișnuite (lei/tonă)	Praf din știuleți de porumb (lei/tonă)	Cenușă din știuleți de porumb (lei/tonă)	Ciment (lei/tonă)
Materii prime	50-100	0-30	0-30	100-150
Prelucrare	100-150	50-80	100-180	200-300
Transport	80-120	40-60	40-60	100-150
Energie și manoperă	70-100	30-50	50-100	150-250
Total estimat	300-470	120-220	190-370	550-850



Studiul demonstrează că utilizarea prafului cât și a cenușii obținute din știuleți de porumb poate reduce cu până la 50% costurile de producție față de abordarea clasică în realizarea rețetelor de mortar de zidărie.

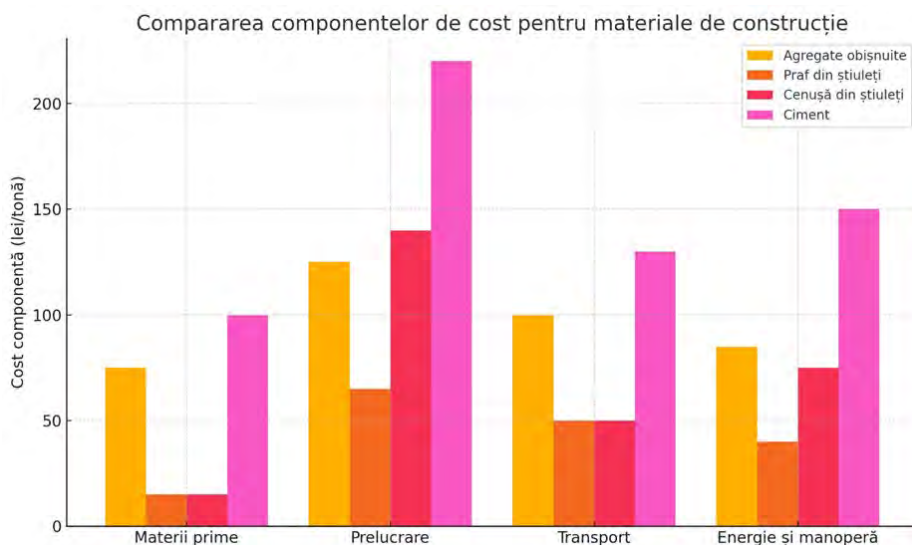


Figura 6. Comparația dintre costurile de producție pentru materialele propuse

Cimentul Portland este recunoscut pentru impactul semnificativ asupra mediului, producerea acestuia fiind responsabilă pentru aproximativ 7–8% din totalul emisiilor globale de CO₂. [14] În cadrul procesului de coacere a clincherului, se eliberează o cantitate mare de dioxid de carbon atât din calcar cât și din combustibilii utilizați. În comparație, prelucrarea știuleților de porumb (prin uscare, măcinare sau ardere) presupune un consum energetic redus, iar emisiile generate sunt considerabil mai mici, mai ales dacă procesul de ardere este realizat în condiții controlate și cu recuperare energetică parțială. [23] [24]. Prin urmare, înlocuirea parțială a agregatelor și chiar a unei fracțiuni de ciment cu praf sau cenușă de știulete nu doar că reduce semnificativ costurile, dar contribuie și la obiectivele de decarbonizare a sectorului construcțiilor.

Utilizarea știuleților de porumb ca material alternativ în compoziția mortarelor de ciment prezintă o serie de avantaje funcționale, economice și ecologice. Unul dintre cele mai importante beneficii este capacitatea termoizolantă crescută a mortarului rezultat. Structura poroasă a prafului de știulete contribuie la scăderea conductivității termice, îmbunătățind astfel eficiența energetică a elementelor de construcție. Studiile efectuate de Bovo et al. [12] au arătat că materialele pe bază de știuleți pot avea o conductivitate termică situată între 0,62 și 1,13 W/(m·K), făcându-le potrivite pentru utilizări în soluții de izolare ecologică. Pe lângă izolația termică, se observă și o îmbunătățire a izolării fonice, datorită structurii fibrelor vegetale și capacității acestora de a absorbi undele sonore.

Un alt avantaj important este scăderea densității aparente a mortarului, ceea ce duce la obținerea unor mortare ușoare. Acest lucru este esențial în construcțiile pe terenuri cu capacitate portantă redusă sau în lucrările de reabilitare structurală, unde reducerea încărcării proprii este crucială.

Cu toate acestea, utilizarea știuleților de porumb implică și anumite dezavantaje, în special din punct de vedere al comportamentului mecanic. Rezistențele la compresie și încovoiere tind să scadă semnificativ odată ce procentul de agregat înlocuit depășește 5%. Acest comportament limitează aplicabilitatea mortarului în elementele structurale și îl recomandă mai degrabă pentru aplicații neportante, cum ar fi tencuieli termoizolante, pereți interiori sau elemente prefabricate decorative.



În plus, absorbția ridicată de apă datorată porozității materialului vegetal poate afecta durabilitatea în medii umede, necesitând tratamente de hidrofobizare sau combinații cu lianți hidraulici aditivi. De asemenea, inflamabilitatea știuleților de porumb neprelucrați și instabilitatea biologică, cu predispoziția la mucegaiuri sau atacuri fungice, pot ridica probleme dacă nu sunt tratați termic corespunzător înainte de încorporare.

Este important de menționat că multe dintre aceste dezavantaje pot fi gestionate prin tratamente prealabile, precum arderea controlată pentru obținerea de cenușă puzzolanică sau prin impregnarea materialului vegetal cu substanțe ignifuge sau antimicrobiene. Prin urmare, performanța finală a mortarului poate fi optimizată semnificativ prin adaptarea tehnologiei de procesare și a dozajelor utilizate.

Pe lângă beneficiile funcționale, integrarea știuleților de porumb în compoziția mortarelor de ciment reprezintă o soluție inovatoare pentru reducerea cantității de deșeuri organice, contribuind la economia circulară și la diminuarea dependenței de resursele minerale tradiționale. Această abordare promovează, totodată, o schimbare de paradigmă în practica inginerescă, încurajând adoptarea unor materiale alternative cu amprentă ecologică redusă. Prin combinarea celor două forme de valorificare, praful și cenușa de știulete, se conturează o soluție compozită sustenabilă, cu aplicabilitate în construcții verzi, restaurări și produse prefabricate ușoare.

4. Concluzie

Rezultatele experimentale au evidențiat că înlocuirea parțială a agregatului de știulete determină o reducere a densității aparente, îmbunătățind performanțele termoizolante ale mortarului. Această modificare este însă însoțită de o scădere a rezistențelor mecanice, limitând aplicațiile structurale. În paralel, integrarea teoretică a cenușii de știulete de porumb ca adaos puzzolanic a demonstrat, un potențial real de recuperare a proprietăților mecanice pierdute.

În urma procesului de realizare a rețetelor de mortar s-a constatat că odată cu creșterea cantității de porumb a fost necesară adăugarea unui volum mare de apă, fapt ce se datorează porozității sporite a știuletelui de porumb și a suprafeței specifice mari, care se amplifică odată cu micșorarea dimensiunii particulelor. Așa cum au observat și autorii articolului [9] capacitatea de absorbție a fost influențată și de compoziția chimică a știuleților de porumb.

În urma determinărilor s-a constatat faptul că densitatea probelor a scăzut odată cu creșterea proporției de agregat înlocuit, ceea ce contribuie la reducerea greutății structurale, un avantaj pentru construcții pe terenuri slabe sau în renovări. Simulările indică faptul că cenușa de știulete poate compensa pierderile de rezistență, mai ales pe termen lung, iar rețetele combinate pot atinge performanțe apropiate celor standard. Această soluție valorifică un deșeu agricol și susține dezvoltarea durabilă în construcții.



BIBLIOGRAFIE

1. F.O. Okeke, A. Ahmed, A. Imam, H. Hassanin, A review of corncob-based building materials as a sustainable solution for the building and construction industry, *Hybrid Adv.* 6 (2024) 100269, <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100269>.
2. USDo Agriculture, Corn Production by Country. <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=corn>, 2024
3. M. Kapoor, D. Panwar, G.S. Kaira, Chapter 3 - bioprocesses for enzyme production using agro-industrial wastes: Technical challenges and commercialization potential, in: G.S. Dhillon, S. Kaur (Eds.), *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production*, Academic Press, San Diego, 2016, pp. 61–93.
4. USDo Agriculture, Corn Production by Country. <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=corn>, 2024.
5. https://www.economica.net/romania-al-patrutea-producator-european-de-cereale-in-2023-a-devansat-spania-dupa-o-crestere-cu-17-milioane-de-tone_754804.html
6. S. Li, G. Chen, Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: preparation, performance, and socioeconomic impacts, *J. Clean. Prod.* 251 (2020) 119669, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119669>.
7. N.V.S. Kumar, S.V. Satyanarayana, Agricultural waste ash in the domain of sustainable concrete: a review, *Int. J. Health Sci.* 6 (S2) (2022) 350–360, <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS2.5097>.
8. Holcim Blanco plus-Fisa produs-230320, https://www.holcim.ro/sites/romania/files/2023-03/holcim-romania_blanco-plus_fisa-de-produs_150323_0.pdf.
9. Sunkar B., Bhukya B., An approach to correlate chemical pretreatment to digestibility through biomass characterization by SEM, FTIR and XRD, *Frontiers in energy research*, Volume 10 – 2022. <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2022.802522>
10. A.G. Netea, C. Aciu, D.L. Manea, E. Jumate, F. Babotă, L.M. Pleșa, R.A. Ierunțan, *Materiale de construcții Chimie*, UTPRESS, Cluj-Napoca, 2019
11. ASTM-C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
12. M. Bovo, N. Giani, A. Barbaresi, L. Mazzocchetti, L. Barbaresi, L. Giorgini, D. Torreggiani, P. Tassinari, Contribution to thermal and acoustic characterization of corncob for bio-based building insulation applications, *Energy Build.* 262 (2022) 111994, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111994>.
13. <https://kg-m3.com/material/corn-maize-cobs>
14. Cembureau – The European Cement Association. (2023). CO₂ emissions from cement production Adesanya, D. A., Raheem, A. A. (2009). Development of corn cob ash blended cement. *Const. Build. Mater.* 23:347-352.
15. Adesanya, D. A., Raheem, A. A. (2009). Development of corn cob ash blended cement. *Const. Build. Mater.* 23:347-352.
16. Okeke, F. O. et al. (2024). A review of corncob-based building materials as a sustainable solution. *Hybrid Advances*, 6, 100269
17. Adesanya, D. A. (1996). Evaluation of blended cement mortar, concrete and stabilized earth made from ordinary Portland cement and corn cob ash. *Const. Build. Mater.* 10(6):451-456.
18. Kumar, N. V. S., & Satyanarayana, S. V. (2022). Agricultural waste ash in the domain of sustainable concrete: A review. *International Journal of Health Sciences*, 6(S2), 350–360.
19. Bursa.ro, "Colliers: Creșterea costurilor materialelor...", [Online]. Available: <https://www.bursa.ro>.
20. Contzilla.ro, "Cost de achiziție vs cost de producție vs cost de conversie," [Online]. Available: <https://www.contzilla.ro>.
21. Constructiv.ro, "Analiza evoluției prețurilor la materialele de construcție...", [Online]. Available: <https://www.constructiv.ro>.
22. Agro-TV.ro, "Prețul cerealelor 2024 – Cât primesc fermierii...", [Online]. Available: <https://agro-tv.ro>.
23. Kumar, N. V. S., & Satyanarayana, S. V. (2022). Agricultural waste ash in the domain of sustainable concrete: A review. *International Journal of Health Sciences*, 6(S2), 350–360.
24. Okeke, F. O. et al. (2024). A review of corncob-based building materials as a sustainable solution. *Hybrid Advances*, 6,



INTEGRAREA DEȘEURILOR DE CAUCIUC ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR

Autor/autori

Balázs-Róbert FODOR¹, Denisa DIRTU²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, balazs.fodor00@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, denisadirtu2015@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

As.Dr.Ing. Raluca ISTOAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, raluca.istoan@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: Acest referat abordează problema deșeurilor de cauciuc, cu accent pe posibilitatea valorificării acestora în domeniul construcțiilor. În contextul actual, în care sustenabilitatea și reducerea poluării devin priorități majore, integrarea materialelor reciclate în procesele de construcție oferă soluții viabile atât din punct de vedere ecologic, cât și economic. Lucrarea prezintă o imagine de ansamblu asupra contextului general al deșeurilor din cauciuc, evidențiind principalele aplicații ale acestora în construcții, precum și avantajele și limitele tehnice ale acestei abordări. Sunt analizate provocările actuale, de la lipsa standardizării până la costurile tehnologice și percepțiile negative din industrie. Totodată, sunt subliniate perspectivele pozitive, în special în legătură cu cercetările aflate în curs și interesul tot mai mare față de materiale alternative. Concluzia generală este că reutilizarea cauciucului reciclat în construcții reprezintă o direcție promițătoare, care merită explorată și susținută pe termen lung.

1. Introducere

În ultimii ani, problema gestionării deșeurilor a devenit tot mai presantă, mai ales în contextul în care ritmul consumului continuă să crească. Printre cele mai problematice tipuri de deșeuri se numără cele din cauciuc, în special anvelopele uzate, care ocupă spații mari în depozite și se degradează extrem de greu în natură. Din această cauză, se caută constant soluții pentru reutilizarea lor într-un mod cât mai eficient și prietenos cu mediul.

Una dintre aceste soluții este integrarea cauciucului reciclat în domeniul construcțiilor — o idee care câștigă tot mai mult teren datorită beneficiilor sale multiple, atât din punct de vedere tehnic, cât și ecologic. Prin acest referat, ne-am propus să explorăm modul în care cauciucul uzat poate fi valorificat în construcții, ce avantaje oferă și care sunt provocările implicate în aplicarea acestor metode la scară largă.

2. Utilizarea deșeurilor de cauciuc în sectorul de construcții

Din cauza compoziției lor complexe — cauciuc sintetic, fibre textile și armături metalice — deșeurile din anvelope sunt greu degradabile și nu pot fi eliminate ușor prin metode tradiționale. În fiecare an, la nivel global, se generează milioane de tone de astfel de deșeuri, iar o parte semnificativă ajunge fie în gropile de gunoi, fie este incinerată, ceea ce contribuie la poluarea mediului și la creșterea emisiilor de carbon. În acest context, reciclarea cauciucului a devenit o soluție tot mai importantă, iar una dintre cele mai răspândite metode este transformarea lui în granule sau pulbere, care sunt apoi amestecate cu materiale de construcție precum betonul sau asfaltul.

Aceste compozite se folosesc tot mai des în realizarea de trotuare, piste pentru bicicliști, terenuri de sport, locuri de joacă și chiar în structuri rutiere, datorită proprietăților îmbunătățite pe care le oferă. Studiile arată că adaosurile de cauciuc contribuie la creșterea flexibilității betonului, îi oferă o mai bună rezistență la fisuri și îl fac mai capabil să absoarbă vibrațiile și șocurile mecanice — un avantaj major în zonele cu trafic intens sau cu risc seismic. În plus, cauciucul reciclat are bune proprietăți izolatoare, atât



fonic, cât și termic, fiind folosit în construcția de clădiri eficiente energetic sau în zonele unde este nevoie de reducerea zgomotului.

Tot în ultima perioadă, cercetările s-au orientat și spre folosirea cauciucului reciclat în produse precum dale ecologice, plăci pentru fațade sau pavaje. Aceste soluții au avantajul că valorifică un material problematic și, în același timp, sunt durabile și necesită întreținere redusă, ceea ce duce la scăderea costurilor pe termen lung.

Una dintre cele mai întâlnite utilizări este sub formă de granule sau pulbere de cauciuc, amestecate cu beton sau asfalt. Aceste compozite pot fi folosite în construcția de trotuare, piste pentru bicicliști, terenuri de sport, locuri de joacă sau chiar în structuri rutiere. Studiile arată că adaosurile de cauciuc pot îmbunătăți anumite caracteristici ale materialelor de construcție, cum ar fi flexibilitatea, rezistența la fisuri și capacitatea de absorbție a vibrațiilor.

3. 3. Beton cu adaos de cauciuc-Studii din literatura de specialitate

Un studiu publicat în Jurnalul Composite of Science in anul 2023 [1], a analizat betonul cu adaos de cauciuc (CR) în patru proporții: 5%, 10%, 15% și 20%. Astfel rețetele propuse exprimate pe kg/m³ au fost:

Tabelul 1. Compoziția amestecurilor de beton cu diferite procente de cauciuc măcinat

Beton cu adaos de cauciuc	Rețeta	Ciment (kg)	Apa (kg)	Cauciuc Măcinat (kg)	Agregat Fin (kg)	Agregat Grosier (kg)
I	Rețeta de baza	300	135	0	600	1200
II	Rețeta 5%	300	135	60	600	1140
III	Rețeta 10%	300	135	120	600	1080
IV	Rețeta 15%	300	135	180	600	1020
V	Rețeta 20%	300	135	240	600	960

- *Rezistența la compresiune*

Rezultatele au arătat o scădere a rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de cauciuc, tendință observată progresiv odată cu creșterea procentului de cauciuc măcinat în amestec. *La 7 zile:* scăderi între 15,4% și 32,2% față de rețeta de bază, *la 28 zile:* scăderi între 16,8% și 25,8%, pentru *90 zile:* scăderi între 21,2% și 31% iar analiza la *180 zile prezintă:* scăderi între 21% și 36,5%. Cu toate acestea, chiar și la 20% CR, rezistența la compresiune a rămas în jur de 34 MPa, considerată adecvată pentru majoritatea aplicațiilor structurale.

- *Modulul de elasticitate și comportament la deformare*

Tabelul 2. Efectul procentului de cauciuc măcinat asupra modulului de elasticitate și fragilității betonului

Procent de granule de cauciuc în amestec	Modul de elasticitate	Scădere estimată (%)	Indice fragilitate	Observație
0% (control)	100%	0%	100%	Beton convențional, fragil
5% CR	~85–90%	10–15%	~85–90%	Ușoară scădere a fragilității
10% CR	~75–85%	15–25%	~70–80%	Vizibil mai puțin fragil
15% CR	~70–80%	20–30%	~60–70%	Beton mai ductil, fisuri controlate
20% CR	~65–75%	25–35%	~50–60%	Beton cu comportament semiductil

*procentele prezentate la modulul de elasticitate și indice de fragilitate sunt exprimate în % și raportate la rețeta de bază- rețeta de control.

Alte două studii publicate în Jurnalul Sustainability [3] și Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE, 2008) [4], au investigat efectul adaosului de cauciuc măcinat (CR) asupra comportamentului mecanic al betonului. Se focalizează pe Modulul de elasticitate a betonului, cât și pe fragilitatea acesteia.



Astfel studiile au arătat că modulul de elasticitate al betonului cu cauciuc măcinat (CR) scade cu 20-30%, ceea ce indică o reducere a rigidității materialului. Această scădere este rezultatul înlocuirii parțiale a agregatelor cu cauciuc, care are o elasticitate mai mică. Totodată, indicele de fragilitate scade, semnificând o creștere a ductilității și a capacității de absorbție a energiei, ceea ce face betonul mai rezistent la fisuri și mai flexibil. Aceste modificări fac betonul cu CR o alegere potrivită pentru structuri expuse la șocuri sau seisme, chiar dacă reduce rezistența la compresiune.

În 2023 se publica în Jurnalul Sustainability[3] un studiu care a investigat utilizarea cauciucului în beton pentru diverse aplicații industriale și de infrastructură, analizând impactul diferitelor proporții de cauciuc asupra caracteristicilor betonului. Astfel, informațiile prezentate în tabelul 1 prezintă cele menționate anterior.

Tabelul 3. Aplicații ale betonului cu adaos de cauciuc în diverse domenii de construcție

Domeniu de construcție	Aplicație concretă	Avantaje	%	Justificare
Construcții rezidențiale	Fundații și parterul clădirilor	- Îmbunătățirea flexibilității în fața mișcărilor solului și a vibrațiilor, reducând riscurile de fisuri.	5-10%	îmbunătățește flexibilitatea și rezistența la mișcările solului, reducând fisurile, fără a afecta semnificativ rezistența structurală a fundațiilor.
Construcții industriale	Sisteme de fundații pentru fabrici și depozite	- Rezistență crescută la impact și durabilitate în condiții de solicitare intensă.	5-10%	îmbunătățește rezistența la impact și durabilitatea, fără a compromite compresiunea necesară structurilor industriale.
Infrastructură rutieră	Drumuri, autostrăzi, pavaje	- Reducerea zgomotului traficului, rezistență sporită la uzură și impact.	10-15%	oferă durabilitate și absoarbe vibrațiile și zgomotul, îmbunătățind confortul pentru șoferi și reducând uzura drumurilor.
Infrastructură feroviară	Drumuri feroviare și platforme de întreținere	- Absorbție excelentă a vibrațiilor și rezistență mai mare la șocuri.	10-15%	ajută la absorbția vibrațiilor și la rezistența la șocuri, protejând infrastructura feroviară de impactul traficului.
Infrastructură urbană	Trotuare, pavaje și borduri	- Proprietăți antiderapante și rezistență crescută la fisuri în zonele urbane intens	5-10%	oferă rezistență la fisuri și proprietăți antiderapante,
Construcții pentru sport	Terenuri de sport (fotbal, baschet)	- Amortizare a impactului și protecție sporită pentru sportivi.	15-20%	asigură o amortizare superioară a impactului, protejând sportivii și oferind o suprafață mai confortabilă și sigură.
Infrastructură ecologică	Pavaje ecologice și drumuri sustenabile	- Soluție ecologică care reciclează cauciucul uzat și contribuie la protecția mediului.	5-10%	contribuie la reciclarea acestuia, oferind soluții sustenabile fără a afecta performanțele structurale ale betonului.
Construcții în zone seismice	Clădiri rezidențiale și comerciale în zone seismice	- Flexibilitate și capacitate de absorbție a energiei în timpul unui cutremur.	5-10%	îmbunătățește flexibilitatea și ajută la absorbția energiei seismice, reducând riscurile de fisuri în structuri.
Construcții de parcuri și zone recreative	Parcuri și locuri de joacă	- Siguranță sporită și rezistență la impact, protejând utilizatorii de accidente.	10-15%	protejează utilizatorii de accidente, oferind o suprafață mai sigură și mai confortabilă în locurile de joacă.
Aplicații speciale	Sisteme de protecție a drumurilor	- Rezistență mare la impact și capacitate de a reduce zgomotul în zonele urbane și industriale.	5-10%	ajută la rezistența la impact și reducerea zgomotului, fiind ideal pentru siguranța rutieră în zonele urbane.

- Densitatea și absorbția apei asupra betoanelor cu deșuri de cauciuc

Un studiu publicat în anul 2023 de către Khalid și Irshidat privind betonul cu adaos de cauciuc [5], a analizat impactul diferitelor proporții de cauciuc asupra caracteristicilor betonului. Aceste



modificări pot influența durabilitatea betonului, dar nu au fost semnificative în contextul aplicațiilor studiate.

Tabelul 4. Efectul procentului de cauciuc asupra densității și absorbției de apă a betonului

Procentaj Cauciuc (%)	Densitate (g/cm ³)	Absorbție apă (%)
0%	2.30 - 2.40	4 - 6
5%	2.28 - 2.38	6 - 8
10%	2.20 - 2.30	8 - 10
15%	2.15 - 2.25	10 - 12
20%	2.10 - 2.20	12 - 14

Utilizarea cauciucului în beton reduce densitatea, ceea ce poate fi benefic în aplicații ce necesită o greutate mai mică, cum ar fi în construcțiile pe terenuri instabile. Cu toate acestea, acest lucru poate afecta performanța mecanică a betonului. În ceea ce privește absorbția apei, creșterea acesteia în betonul cu cauciuc poate compromite durabilitatea în condiții de umiditate sau îngheț-dezgheț. Este esențial să se adopte măsuri suplimentare pentru a proteja betonul și a îmbunătăți rezistența sa pe termen lung cum ar fi: adăugarea de agenți hidrofobi, utilizarea unor aditivi de plastifiere, optimizarea proporției de ciment și tratament de suprafață.

- Densitatea și absorbția apei asupra betoanelor cu deșeuri de cauciuc

Un studiu publicat în anul 2020 de către Hasan M. și Younes M.M. privind betonul cu adaos de cauciuc [6], oferă o privire generală asupra proprietăților și aplicațiilor sale în ingineria structurală.

Tabelul 5. Efectul procentului de cauciuc asupra proprietăților mecanice ale betonului

Procentaj Cauciuc (%)	Rezistența la Întindere (MPa)	Rezistența la Încovoiere (MPa)	Rezistența la Compresiune (MPa)	Rezistența la Flexiune (MPa)	Modulul de Elasticitate (GPa)
0% (Beton Standard)	3.0	4.5	35	5.0	30
5% Cauciuc	3.2	4.7	32	5.3	29
10% Cauciuc	3.4	4.8	28	5.6	27
15% Cauciuc	3.6	5.0	24	6.0	25
20% Cauciuc	3.8	5.2	20	6.3	23

Reducerea rezistenței la compresiune: Betonul cu cauciuc este mai flexibil, dar mai puțin rezistent la compresiune, fiind mai potrivit pentru aplicații cu cerințe moderate de rezistență, cum ar fi pavaje și drumuri.

-Creșterea rezistenței la întindere și încovoiere: Cauciucul îmbunătățește comportamentul betonului la șocuri și deformări, ceea ce îl face util în infrastructura rutieră, feroviară și în zone seismice.

-Flexibilitate crescută: Cu cât se adaugă mai mult cauciuc, betonul devine mai flexibil, fiind o alegere bună pentru zone sensibile la mișcări, cum ar fi zonele seismice.

-Alegerea procentului corect de cauciuc: Procentul de cauciuc trebuie să fie ales în funcție de aplicație, pentru a obține un echilibru între durabilitate și performanțele mecanice.

-Aplicații recomandate: Betonul cu cauciuc este ideal pentru terenuri de sport, drumuri și aplicații ecologice, dar trebuie utilizat cu atenție acolo unde cerințele de rezistență la compresiune sunt mari.

-Noi ca viitori ingineri Constructori trebuie să cântărim avantajele și dezavantajele betonului cu cauciuc în funcție de cerințele proiectului, alegând proporția și tipul de cauciuc potrivit pentru fiecare aplicație specifică.

- Izolație fonică a betonului cu adaos de cauciuc

Un studiu publicat în *Durability and Acoustic Performance of Rubberized Concrete* [7] a evaluat coeficientul de reducere a zgomotului (NRC) pentru betonul cu adaos de cauciuc.



Tabelul 6. Coeficientul NRC în funcție de procentul de cauciuc din beton

Procentaj Cauciuc (%)	Coeficient NRC
5%	0,148
10%	0,170
15%	0,190
20%	0,215
25%	0,230
30%	0,245

Comparativ cu betonul convențional ($NRC = 0,139$), betonul cu cauciuc reciclat prezintă îmbunătățiri semnificative ale performanței acustice. Procentul optim – Pentru performanță acustică semnificativă, se recomandă adaosuri de cauciuc între 15% și 30%, dar trebuie să fim atenți asupra efectelor pe care le are asupra rezistenței betonului. Și să nu uităm să adaptăm compoziția betonului pentru nevoile fiecărui proiect. Din acest motiv consider că aplicațiile potrivite ar fi: pentru trotuare, pereți antifonici, clădiri rezidențiale, școli, biblioteci, săli de sport sau infrastructură urbană unde confortul acustic e strict necesar necesar.

- Atenuarea vibrațiilor în betonul cu adaos de cauciuc

Un studiu publicat în jurnalul *Materials*, 2021 [8], intitulat *Dynamic Properties of Rubberized Concrete with Treated Rubber Aggregates*, a investigat proprietățile dinamice ale betonului cu adaos de cauciuc pretrat.

Tabelul 7. Creșterea amortizării vibrațiilor în funcție de procentul de cauciuc din beton

Procent Cauciuc (%)	Creștere amortizare vibrații (%)	Observații principale
0% (Beton convențional)	0%	fără îmbunătățiri în comportamentul dinamic
5%	+15–20% (estimativ)	Ușoară creștere – efect limitat, benefic doar pentru aplicații nestructurale
10%	+30–40% (estimativ)	Atenuare moderată, potrivită pentru infrastructură ușoară
15% (pretrat)	+62%	Performanță optimă confirmată de studii – ideal pentru zone expuse la vibrații
20%	+60–65% (estimativ)	Atenuare ridicată, dar riscuri posibile privind scăderea rezistenței mecanice

Includerea cauciucului reciclat în amestecurile de beton contribuie semnificativ la îmbunătățirea comportamentului dinamic al materialului. În special, un procent de 15% cauciuc pretrat poate crește raportul de amortizare a vibrațiilor cu până la 62% comparativ cu betonul convențional. Această caracteristică face ca betonul cauciucat să fie o opțiune eficientă pentru aplicații în infrastructură expusă la trafic intens, vibrații sau șocuri mecanice (ex: căi ferate, poduri, zone industriale).

4. Concluzie

În urma analizei făcute în acest referat, se poate spune că folosirea cauciucului reciclat în construcții este o idee practică și de actualitate.

Testele de laborator și studiile citate confirmă că aceste materiale au capacitatea de a absorbi șocurile, sunt elastice, durabile și contribuie la siguranța copiilor în locurile de joacă. În plus, au un impact pozitiv asupra mediului, prin faptul că valorifică un deșeu greu degradabil, care altfel ar ajunge în gropile de gunoi sau ar fi incinerat.

Totuși, este important de menționat că nu vorbim despre un material universal – cauciucul reciclat nu poate înlocui complet betonul clasic, mai ales în structuri portante. De asemenea, procesarea acestui material implică anumite provocări tehnologice și necesită echipamente specifice.



BIBLIOGRAFIE

1. Khalid F.H., Irshidat M., Rubberized Concrete: A Review of Fresh and Mechanical Properties. *Inventions*, 7, 3, 129 (2023). Disponibil la: <https://www.mdpi.com/2504-477X/7/3/129>
2. Khalid F.H., Irshidat M. (2023). Rubberized Concrete: A Review of Fresh and Mechanical Properties. *Inventions*, 7(3), 129. Disponibil la: <https://www.mdpi.com/2504-477X/7/3/129>.
3. Hassan M.R., Ismail Z.Z., Sustainable Use of Rubber Waste in Construction: A Review of Environmental Benefits and Material Performance. *Recyclability*, 7, 3, 39 (2022). Disponibil la: <https://www.mdpi.com/2313-4321/7/3/39>
4. Li G., Stubblefield M.A., Garrick G., Eggers J., Abadie C., Huang B., Development of Waste Tire Modified Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20, 11, 692–699 (2008). Disponibil la: [https://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:11\(692\)](https://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:11(692))
5. Hasan M., Younes M.M., Rubberized Concrete Properties and Its Structural Engineering Applications – An Overview. *Proceedings of ResearchGate Collected Papers*, 2020. Disponibil la: <https://www.researchgate.net/publication/343254760> [6.05.2025]
6. NRC = 0.139. Test report, ProQuest Dissertations & Theses. Disponibil la: <https://www.proquest.com/docview/2748568275> [6.05.2025]
7. Othman N., Hashim R., Sulaiman O., et al., Acoustic and Strength Performance of Rubberwood Particleboard with Foamed Rubber. *Materials*, 14, 9, 2183 (2021). Disponibil la: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/9/2183>
8. Akil H.M., Omar M.F., Mazuki A.A.M., Safiee N.A., Ishak Z.A., Abu Bakar A., Kenaf Fiber Reinforced Composites: A Review. *Materials & Design*, 32, 8–9, 4107–4121 (2011). Disponibil la: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.wsj.2014.12.002>



STUDIU EXPERIMENTAL PRIVIND PROPRIETĂȚILE MORTARULUI DE TENCUIALĂ PE BAZĂ DE CIMENT PORTLAND CU ADAOS DE FIBRE TEXTILE

Autor/autori

Ana-Alexandra A.P. DEAK¹, Karina-Sabina L.O.D. SBIERA²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: mariagabrieladeak77@gmail.com.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: sbierasbierakarina@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Asist.Dr.Ing. Raluca IȘTOAN³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: ralucafernea@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: *Anual, aproximativ 100 de miliarde de produse vestimentare sunt fabricate, dar dintre acestea o mare parte nu ajung să fie vândute niciodată. Astfel, 92 de milioane de tone de haine sunt aruncate în gropile de gunoi în fiecare an, iar în câțiva ani se preconizează că acest număr se va dubla. În lucrarea noastră am decis să abordăm problema deșeurilor textile prin adăugarea lor în compoziția mortarului. Acestea fac o priză bună cu cimentul datorită texturii lor aderente și reduc greutatea mortarului, ajutând la manipularea și transportul materialului. De asemenea, utilizarea țesuturilor îmbunătățește rezistențele mecanice și crește durabilitatea acestuia. Așadar, reutilizarea articolelor vestimentare este o soluție sustenabilă și eficientă în construcțiile moderne.*

Cuvinte cheie: deșeuri textile, mortar, rezistențe mecanice, sustenabilitate, elasticitate.

1. Introducere

Remarcând apariția recentă a containerelor pentru colectarea textilelor în Cluj-Napoca am decis să abordăm acest subiect care pare o problemă tot mai presantă și urgentă a societății. Deșeurile textile reprezintă o provocare semnificativă pentru mediu, industria modei fiind responsabilă pentru aproximativ 10% din emisiile globale de gaze cu efect de seră și 20% din poluarea apei. În plus, deșeurile textile sunt adesea gestionate inadecvat. Mai puțin de 1% din hainele uzate sunt reciclate, majoritatea fiind incinerate sau depozitate în gropi de gunoi[1].

Îmbunătățirea rezistențelor și proprietăților mortarelor a fost îndelung studiată în lumea construcțiilor, prin diferite abordări. Spre exemplu prin adăugarea fibrelor de nailon reciclate în rețeta de mortar s-au obținut rezultatele ce au arătat creșteri semnificative ale rezistențelor. Rezistența la compresiune a fost îmbunătățită până la 17%, rezistența la întindere până la 21% și rezistența la încovoiere până la 13%, comparativ cu mortarul standard [2]. În schimb, prin integrarea bumbacului reciclat în mortar s-a sesizat o scădere a rezistenței la compresiune cu până la 29%, în funcție de cantitatea de fibre utilizate. Cu toate acestea, s-a observat o îmbunătățire a ductilității mortarului, indicând un potențial pentru utilizarea acestor fibre în proiecte unde este necesară o rezistență mai mare la fisurare [3]. Alte studii ce au utilizat un amestec de fibre textile au descoperit o îmbunătățire din punct de vedere a izolării termice de până la 55% față de rețeta originală, proprietățile termice însă scăzând odată cu mărirea procentajului de fibre adăugate (10%, 20%, 30% și 40%) [4].

Pornind de la aceste considerente, au fost elaborate patru rețete distincte de mortar: o rețetă standard (etalon), una cu adaos de fibre de bumbac, una cu fibre sintetice și una cu fibre de lână, în vederea evaluării performanțelor acestora pentru aplicații în lucrări de tencuire.

2. Materiale și metode

2.1. Materia primă

În cadrul cercetării, a fost utilizată o rețetă specifică pentru un mortar de tencuială de clasă CS IV, marcă M 100 T, pe bază de ciment Portland. În compoziția acestuia s-au utilizat ca și materie primă ciment Portland, agregat și fibre textile.

Cimentul de clasă 42,5 este definit, conform datelor furnizate de producător, de clincher portland : 65-79 %, Calcar (tip LL) : 21-35 % și Gips : 3- 5 %, iar caracteristici fizico-mecanice și chimice sunt: - Rezistența initială (2 zile) : ≥ 10 MPa - Rezistența standard (28 zile) : $\geq 42,5$

$\leq 62,5$ MPa - Timp initial de priza : ≥ 60 min. - Stabilitate (expansiune) : ≤ 10 mm - Continut de sulfati : $\leq 3,5$ % - Continut de cloruri : $\leq 0,10$ %.

Agregatul utilizat a fost de râu, cu granulozitate între 0-4 mm.

Fibrele textile propuse au fost de 3 tipuri: bumbac, sintetic și lână, având firul de lungimi diferite, cuprinse între 1 și 5 cm.

2.2. Rețete

În cadrul experimentului, s-a înlocuit în rețeta standard (R0) un procent de 10% din cantitatea de nisip pentru obținerea mortarului cu fibre din bumbac (R1), respectiv, cu fibre sintetice (R2) și cu un procent de 5% pentru mortarul cu fibre din lână (R3) [4]. Cantitățile de ciment, agregat, fibre textile pentru fiecare rețetă în parte sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Rețete

Compoziții	Ciment 42,5R [g]	Nisip [g]	Fibre textile [g]	Apă [cm ³]
R0	385	1550	0	320
R1	385	1395	155	885
R2	385	1395	155	885
R3	385	1472.5	77,5	885

2.3. Metode

Fiecare test a fost efectuat pe prisme de dimensiuni 4x4x16 (conform Figura 1), în laboratorul de materiale de construcții la 28 de zile de la turnare, fiind păstrate la o temperatură cuprinsă între 15-20°C și umiditate relativă între 30-50%.

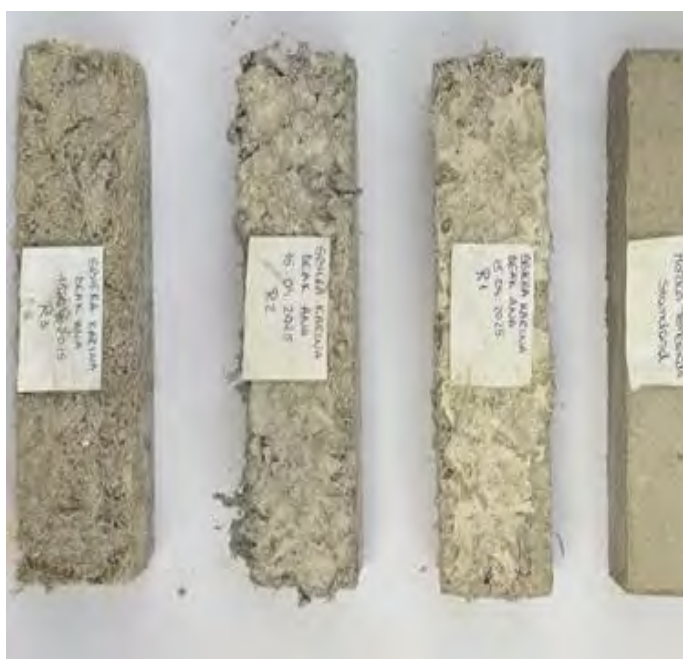


Figura 1. Cele 4 probe după 28 de zile



Probele au fost supuse la încercări în vederea determinării unor caracteristici fizico-mecanice precum rezistența la încovoiere, respectiv, la compresiune, densitatea și absorbția de apă. În plus, pentru analizarea vizuală a legăturii dintre fibrele textile și mortarul de ciment, s-a utilizat microscopul optic.

2.4. Densitatea

Densitatea a fost determinată pe probele întărite, la 28 de zile de la turnare, prin cântărirea și măsurarea probelor, utilizând următoarea formulă:

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

unde:

ρ - densitatea

m - masa

V - volumul

2.5. Absorbția de apă

Pentru a determina absorbția de apă s-a cântărit materialul uscat (m_1), iar mai apoi s-a introdus corpul în apă, lăsându-l peste noapte. La un interval de 24 de ore corpul a fost extras și s-a cântărit noua masă (m_2). Astfel, s-a determinat procentul absorbției de masă, aplicând formula:

$$\%A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

2.6. Rezistența la încovoiere

Determinarea rezistenței la încovoiere a fost realizată la 28 de zile cu ajutorul aparatului Fruhling-Michaelis. Astfel, rezistența la încovoiere a fost calculată cu formula:

$$R_{ti} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{a^3} [N/m^2] \quad (3)$$

unde:

R_{ti} - rezistența la încovoiere

P - forța de rupere

l - distanța dintre reazeme

a - latura cubului

2.6.1. Rezistența la compresiune

Pentru stabilirea rezistenței la compresiune s-a utilizat presa hidraulică la 28 de zile de la turnarea mortarului, pe resturile de prismă rezultate după încercarea acestora la încovoiere. S-a aplicat formula rezistenței la compresiune:

$$R_c = \frac{N}{A} [N/m^2] \quad (4)$$

unde:

R_c - rezistența la compresiune

N - forța de compresiune

A - aria probei solicitată la compresiune

2.6.2. Analiza la microscop

Microscopul BIM-135B EA semi-PLAN (40x-1000x) are patru obiective EA-Semiplane, puterea de mărire a celor patru obiective fiind de 4x, 10x, 40x și 100x . Are un corp: metalic cu cap binocular, inclinat la 30° cu posibilitatea rotirii la 360°.



Figura 2. Încercare la compresiune



Figura 3. Încercare la încovoiere



Figura 4. Analiza microscopică

3. Rezultate

3.1. Densitatea aparentă

Rezultatele din Figura 5 prezintă variația densității aparente, după 28 de zile, fiind comparate în funcție de tipul de fibră textilă adăugată cu cea a mortarului standard (R0). Astfel, se remarcă o scădere a densității, în toate cele trei cazuri, cea mai mare fiind de 855,47 kg/m³ (R2), cu aproximativ 42% mai mică față de densitatea mortarului standard (R0).

Aceste rezultate indică faptul că prezența fibrelor de textile produce pori suplimentari în microstructură, determinând o reducere a densității aparente, dar sugerează și că încorporarea fibrelor textile poate produce materiale adecvate pentru aplicații de izolare termică. [3], [4]

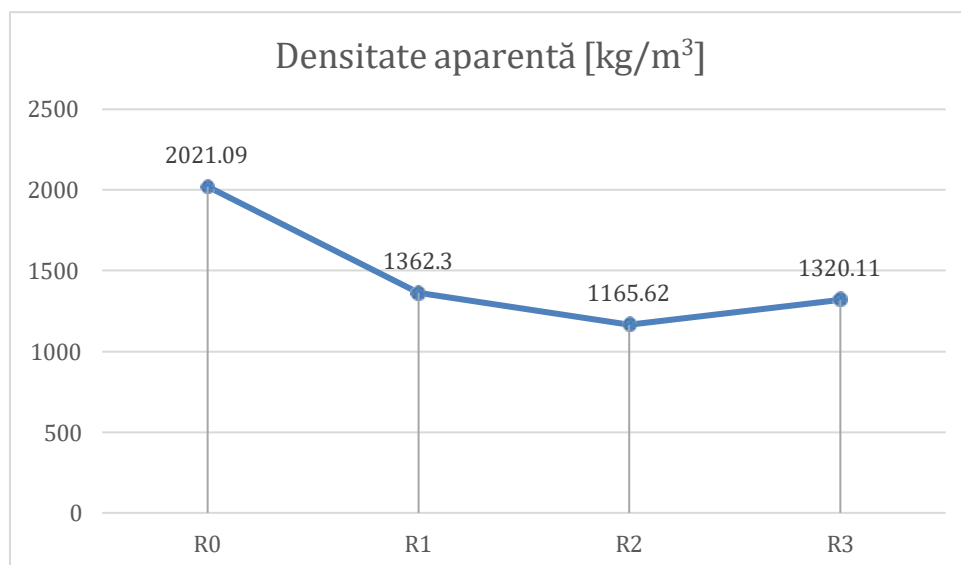


Figura 5. Graficul densității aparente

3.2. Absorbția de masă și de volum

Pentru testarea absorbției de apă probele au fost lăsate timp de 24h în apă. Comparând rezultatele obținute cu cele ale mortarului standard (R0) s-a constatat o creștere semnificativă a absorbției de apă, odată cu adăugarea fibrelor textile în compoziția mortarelor. În ceea ce privește absorbția de masă, în Figura 6 se observă o majorare remarcabilă la mortarele cu bumbac și fibre sintetice, datorită proprietăților hidrofobe ale acestor textile, determinând o creștere a porozității și capilarității mortarelor.

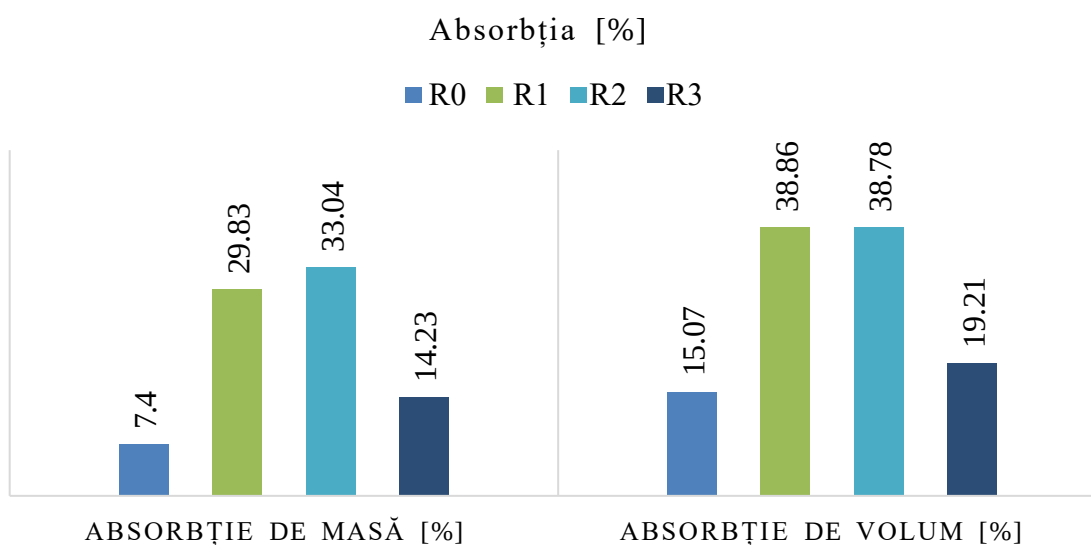


Figura 6. Graficele absorbției de masă și de volum

Totodată, analizând graficul absorbției de volum din Figura 6, se remarcă o diferență mică între rezultatele mortarului cu lână(R3) și cele ale mortarului standard(R0), demonstrând un comportament similar în ceea ce privește interacțiunea cu umiditatea.

3.3. Rezistențe mecanice



Figura 7. Rezultatele în urma determinării rezistențelor mecanice

Analizând rezultatele obținute în urma încercărilor mecanice ale mortarelor, descrise în graficele din Figura 8, s-a constatat o reducere semnificativă a rezistențelor mecanice, raportate la cele ale mortarului standard(R0), cele mai mici valori fiind înregistrate de mortarul cu fibre sinteti-ce(R2).

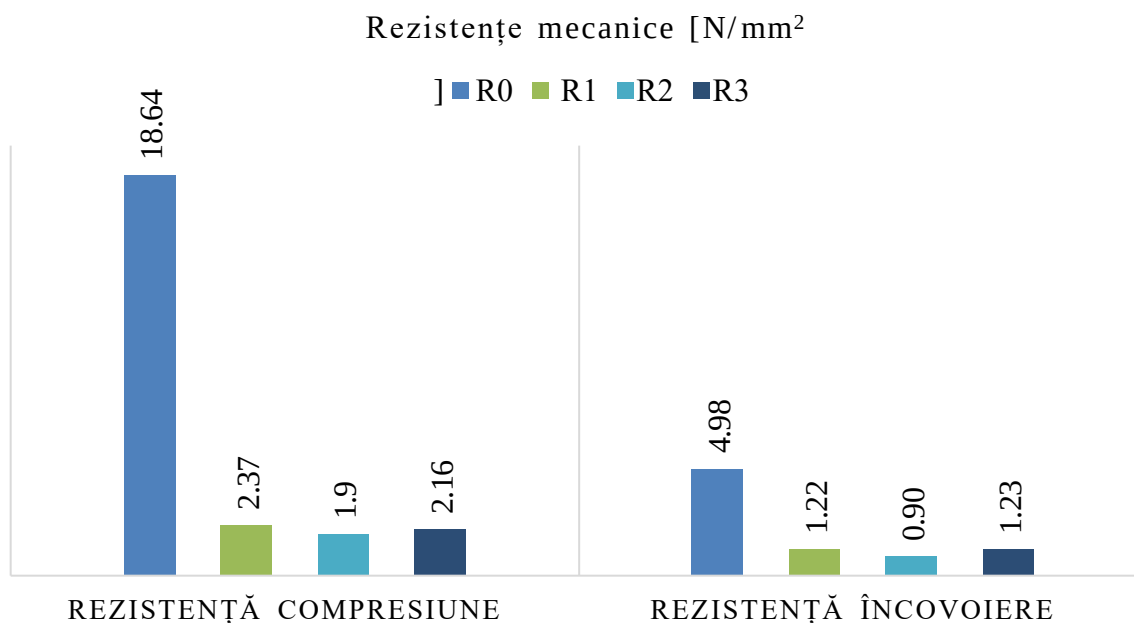
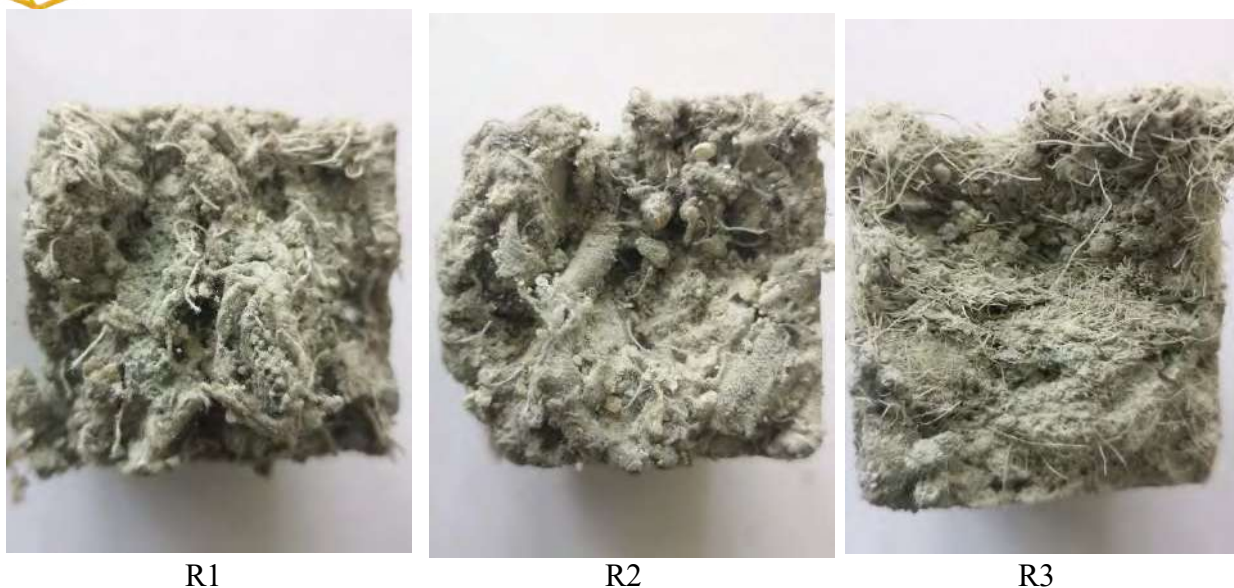


Figura 8. Graficul rezistențelor mecanice

Aceste date pot fi explicate prin interacțiunea complexă dintre proprietățile fizico-chimice ale fibrelor utilizate și comportamentul lor în matricea de ciment. Capacitatea mare de absorbție a apei poate determina slăbirea legăturilor între particulele de ciment și agregate, reducând astfel rezistența mecanică a mortarului. Cu toate acestea, în urma încercărilor s-a remarcat o elasticitate crescută ceea ce indică calitatea de a se deforma sub sarcină și de a reveni la forma inițială după îndepărtarea acesteia, fără a suferi daune permanente, însă pentru a optimiza performanța, este important echilibrul cu alte proprietăți, precum rezistențele mecanice.



R1

R2

R3

Figura 9. Secțiuni în urma determinărilor rezistențelor mecanice

3.4. Microscopie

Privit la microscop, în Figura 10, mortarul cu fibre din lână prezintă o aderență bună la matricea de ciment, cu o zonă de tranziție interfațială densă, ceea ce contribuie la o rezistență mai mare la flexiune și ductilitate. [5]

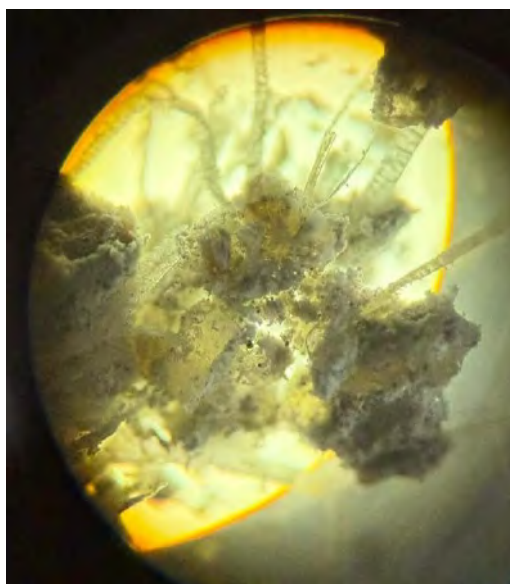


Figura 10. Mortar cu fibre din lână

Figura 11 prezintă fibrele textile la microscop, având o suprafață netedă care se distribuie uniform în matrice, ceea ce poate îmbunătăți flexibilitatea mortarului. [6]



Figura 11. Mortar cu fibre sintetice

În Figura 12 se observa fibra de bumbac, care formează aglomerări vizibile și nu se leagă eficient de matricea de ciment, ducând la microfisuri și o porozitate crescută .



Figura 12. Mortar cu fibre din bumbac

4. CONCLUZII

Acest studiu a urmărit evaluarea din punct de vedere experimental a mortarului cu fibre textile. Pentru determinarea proprietăților mortarului de tencuială de tip ciment, au fost compuse 4 mixturi diferite: R0, R1, R2, R3. În urma experimentelor efectuate asupra mortarelor cu adaos de fibre textile reciclate, s-au observat atât avantaje, cât și limitări care influențează aplicabilitatea acestora în construcții.

Adăugarea fibrelor textile în compoziția mortarului a condus la o scădere semnificativă a rezistențelor mecanice, ceea ce sugerează că este necesar să se modifice rețeta prin ajustarea proporțiilor de fibre și aditivi. De asemenea, s-a constatat o absorbție crescută a apei, fapt ce le face nepotrivite pentru utilizarea în zone cu umiditate ridicată. Cu toate acestea, fibrele textile au contribuit la o elasticitate crescută a mortarului, indicând o capacitate mai mare de a se deforma sub sarcină și de a reveni la forma inițială după îndepărtarea acesteia.

Utilizarea materialelor sintetice și de bumbac în proporție de 10% a crescut porozitatea și



capilaritatea, în timp ce lâna adăugată într-un procent mai mic de 5% a avut o absorbție mai bună.

Astfel, mortarele cu fibre textile reciclate pot fi utilizate în aplicații unde este necesară o izolare termică mai mare sau în scopuri decorative, având în vedere proprietățile lor. Pentru a ajunge la rezultate optime, un echilibru între rezistența mecanică, comportamentul la umiditate și elasticitate, rețetele necesită modificări precum: utilizarea unor cantități mai mici de apă și de fibre.

BIBLIOGRAFIE

1. European Parliament, *Impactul producției și deșeurilor textile asupra mediului*. European Union Publications, Brussels (accesat 12.05.2025)
<https://www.europarl.europa.eu/topics/ro/article/20201208STO93327/impactul-productiei-si-deeurilor-textile-asupra-mediului>
2. Hanif I. M., Noor Syuhaili M. R., Hasmoni M. F., Shahmi S. M., Effect of nylon fiber on mechanical properties of cement based mortar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1), 012080 (2017). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012080>
3. Tang W., Monaghan R., Sajjad U., Investigation of physical and mechanical properties of cement mortar incorporating waste cotton fibres. *Sustainability*, 15(11), 8779 (2023). <https://doi.org/10.3390/su15118779>
4. Ayed R., Borri E., Zsembinszki G., Bouadila S., Cabeza L. F., Lazaar M., Use of textile fiber waste to improve the thermal and mechanical performance of cement-based mortar. In: Ungureanu V., Bragança L., Baniotopoulos C., Abdalla K. M. (Eds.), *4th International Conference "Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience" & Midterm Conference of CircularB "Implementation of Circular Economy in the Built Environment"*, CESARE 2024. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Vol. 489, Springer, Cham, pp. 273–281 (2024). https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_25
5. Alyousef R., Mohammadhosseini H., Ebid A. A. K., Alabduljabbar H., An integrated approach to using sheep wool as a fibrous material for enhancing strength and transport properties of concrete composites. *Materials*, 15(5), 1638 (2022). <https://doi.org/10.3390/ma15051638>
6. Cîmpan C., *Activitatea nr. 13 – Fișa de documentare nr. 7: Aspectul fibrelor la microscop*. Liceul Tehnologic de Vest Gheorghe Marinescu, Cluj-Napoca (Accesat 12.05.2025)
http://www.ltvgm.ro/Catedre/Textile/Teste_electronice_Carmen_Cimpan/resurse/fise_easyclas/Activitatea%20nr.13FD.pdf



REZISTENȚA ȘI COMPORTAMENTUL DURABIL AL MICROBETONULUI CU STICLĂ RECICLATĂ ȘI ARMARE TEXTILĂ

Autor/autori

Maria A. ȚÎMPĂU¹, Andreea T.C. GHELBERE²

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: maiatimpau@gmail.com
Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: andreeaghelbere2005@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

S.L.Dr.Ing. Luminița Monica PLEȘA

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Luminita.Molnar@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: În contextul creșterii preocupărilor la nivel european pentru reciclare, dezvoltare durabilă și reducerea impactului deșeurilor asupra mediului, integrarea materialelor reciclate în construcții devine o necesitate. Această lucrare își propune să dezvolte un microbeton inovator, care combină cimentul cu agregate tradiționale, dar și cu sticlă reciclată și fibre textile, pentru a îmbunătăți atât rezistența mecanică, cât și sustenabilitatea materialului. Alegerea acestui mix de materiale este motivată de necesitatea valorificării deșeurilor din sticlă și textile, două categorii de reziduuri dificil de gestionat, dar care pot aduce beneficii structurale semnificative atunci când sunt integrate corespunzător în materiale de construcție

Cuvinte cheie: microbeton inovator, sticlă reciclată, fibre textile, sustenabilitate, reciclare

1. Introducere

În cadrul domeniului construcțiilor, implementarea principiilor de dezvoltare durabilă este esențială pentru promovarea unor soluții inovatoare și sustenabile care reduc impactul asupra mediului. Unul dintre obiectivele fundamentale ale dezvoltării durabile în acest sector este eficiența resurselor și reducerea emisiilor de carbon, aspecte critice în contextul schimbărilor climatice și al resurselor naturale limitate.

Proiectul de față explorează dezvoltarea unui microbeton compus din deșeuri de sticlă reciclată și material textil, o soluție care se aliniază principiilor economiei circulare. Acest tip de material propune o abordare inovativă, în care deșeurile de sticlă și materialele textile sunt valorificate eficient, contribuind la reducerea cantităților de deșeuri și la optimizarea consumului de resurse. Sticla este reciclată sub formă de granule și folosită ca agregat suplimentar în compoziția microbetonului, înlocuind parțial agregatele naturale, iar materialul textil provenit din deșeuri este tăiat în fâșii sau fibre și utilizat ca armătură dispersă, contribuind la îmbunătățirea proprietăților mecanice ale materialului. Această tehnologie contribuie la economia circulară și promovează utilizarea eficientă a materialelor reciclabile, fiind o alternativă viabilă și ecologică la betonul convențional, care are un impact mai mare asupra mediului. Astfel, acest microbeton reprezintă o alegere sustenabilă și eficientă pentru construcții, contribuind la reducerea amprente de carbon a industriei și promovarea unei dezvoltări durabile.

Motivația acestui proiect derivă din nevoia urgentă de a reduce volumul de deșeuri generate anual și de a transforma aceste reziduuri în resurse utile. Deșeurile de sticlă, deși reciclabile, sunt frecvent contaminate sau sortate incorect, ceea ce face reciclarea lor dificilă și ineficientă. Pe de altă parte, deșeurile textile sunt în mare parte arse sau depozitate, contribuind la emisii toxice și poluarea solului și a apei. În România s-au înregistrat scăderi în reciclarea sticlei. În 2020, procentul era de 42,6 %, pe când în 2021 a fost de 28,03 % [1]. Cât despre materialele textile, în România se reciclează 2-4 %, dar se reutilizează 8-10 % [2].

În prezent, deșeurile sunt valorificate tot mai mult în realizarea materialelor de construcții, inclusiv în compoziția betonului. La Universitatea Curtin, în cadrul Facultății de Inginerie Civilă și Mecanică, a fost realizat un studiu privind reutilizarea deșeurilor de sticlă sub formă de pulbere fină, utilizate în



amestecurile de beton ca material suplimentar cu caracteristici cimentoase, dar și ca agregat suplimentar [3].

Totodată, Departamentul de Inginerie Civilă, Construcții și Ingineria mediului de la Universitatea de Stat Iowa, împreună cu Departamentul de Mediu Construit a Universității Metropolitane din Oslo au desfășurat investigații asupra cimentului Portland cu calcar și a pudrei de sticlă reciclată pentru un beton durabil cu performanțe ultra-înalte [4].

De asemenea, mai multe departamente din cadrul Universității Politehnice din Catalunya și Institutul de Cercetare Textilă și Cooperare Industrială din Terrassa (INTEXTER) au realizat o evaluare mecanică și de mediu a plăcilor compozite din ciment armate cu textile neșesute din fibre textile reciclate [5].

Lucrarea de față propune realizarea și caracterizarea unui microbeton ecologic, obținut prin valorificarea deșeurilor din materiale textile și a celor din sticlă. Compoziția acestui microbeton include ciment Portland, agregate naturale (nisip), fragmente de sticlă cu granulație 0/4 mm, fibre textile și apă. Scopul principal este utilizarea acestui compozit ca material de bază pentru elemente destinate structurilor de rezistență din zidărie, contribuind astfel la dezvoltarea de soluții sustenabile în domeniul construcțiilor

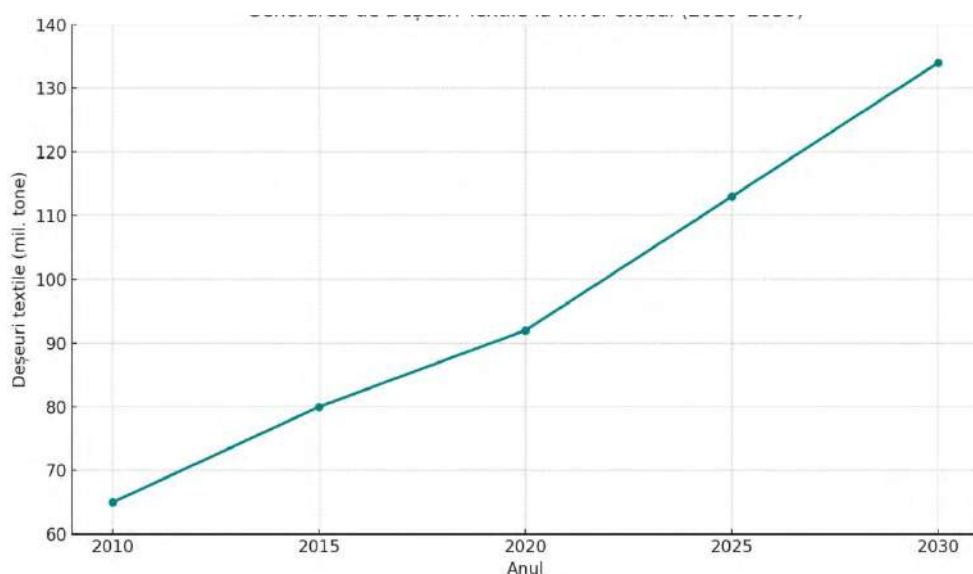


Figura 1. Grafic estimativ cu evoluția generării de deșeuri textile la nivel global

2. Materiale și metode

2.1. Materiale

Ciment:

Cimentul folosit este compozit Portland de tip CEM II/B-M (S-LL) 42,5 R (ECOPlanet) de la Holcim. Compoziția estimativă a cimentului este clincher Portland (65-79 %), cenușă zburătoare silicioasă (maxim 35 %), calcar măcinat (LL)-maximum 35 % și componente auxiliare 5 %. Important de menționat că suma componentelor adăugate (cenușă zburătoare și calcar) nu depășește 35 %, conform CEM II/B-M.

Agregate naturale:

Agregatul utilizat în programul experimental este un nisip de râu cu o granulație de 0/4 mm. Înainte de utilizare, nisipul a fost spălat pentru a elimina părțile solubile și impuritățile, apoi a fost uscat până la atingerea unei mase constante.

Agregate suplimentare-sticla:

Pentru realizarea acestui proiect au fost utilizate deșeuri de sticlă, provenite în principal din ambalaje de sticlă. În vederea utilizării în compoziția microbetonului, materialul a fost supus unui proces prealabil de sortare, urmat de spălare cu apă pentru îndepărtarea impurităților organice și a

contaminanților (adezivi, etichete, resturi alimentare). Ulterior, sticla a fost uscată în aer liber, la temperatură ambientală, pentru a preveni apariția umidității reziduale care ar putea afecta procesul de hidratare al cimentului.

După uscare, deșeurile de sticlă au fost măcinate, până la obținerea unei granulații finale cuprinse între 0/4 mm, adecvată pentru utilizarea ca agregat suplimentar în microbeton. Această dimensiune a fost aleasă pentru a asigura o bună omogenizare în amestec și pentru a menține caracteristicile reologice ale materialului compozit.



Figura 2.

Material textil:

Materialele textile utilizate au fost selectate pentru a îmbunătăți rezistența la încovoiere și limitarea fisurării. Acestea includ fibre textile reciclate provenite din materiale naturale (precum bumbacul), având dimensiuni și lungimi variate, adaptate pentru a fi încorporate uniform în amestec.

Înainte de utilizare, fibrele textile au fost curățate de impurități, uscate și tăiate în segmente cât mai mici, pentru a asigura o distribuție omogenă în compoziție.

Apa:

Apa utilizată a fost una potabilă, provenită din rețeaua publică, conform standardelor în vigoare pentru utilizarea în materiale de construcții. Aceasta a fost aleasă datorită purității sale chimice și a lipsei de substanțe nocive care ar putea influența procesul de hidratare a cimentului sau reacțiile chimice din compoziția microbetonului.



Figura 3.



2.1 Rețeta proiectă

Pentru 1 m³ de microbeton s-au folosit:

Tabel 1. Materiale

Ingrediente	Ciment	Agregat natural	Sticlă	Material textil	Apă
Dozaj	381,82 kg	1195,45 kg	218,18 kg	6,36 kg	272,73 l

2.3 Metoda de testare a microbetonului

Studiul microbetonului din cadrul programului experimental a fost realizat din punct de vedere al caracteristicilor fizico-mecanice, pentru a evalua influența deșeurilor de sticlă asupra comportamentului microbetonului analizat.

Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale microbetonului studiat s-a realizat atât pe beton în stare proaspătă, cât și pe beton în stare întărită. Analiza microbetonelor întărite a fost efectuată la 28 de zile.

Prepararea probelor de microbeton

Betonul a fost preparat folosind un mixer, în care mai întâi au fost introduse componentele uscate, amestecate cât mai omogen, iar apoi s-a adăugat apa.

Pentru obținerea probelor ce urmează să fie testate în stare întărită, compoziția obținută a fost turnată în tipare prismatice metalice de 40 × 40 × 160 mm. Turnarea în forme s-a realizat în două etape, iar după fiecare etapă compoziția a fost compactată folosind masa vibratoare.

Toate probele au fost păstrate într-o cutie cu aer umed și temperatură de 20–24 °C.



Figura 4.

3. Determinări asupra betonului

3.1 Densitatea aparentă asupra betonului proaspăt [6]

După omogenizarea completă a compoziției de beton, aceasta este introdusă într-un vas cilindric cu volum cunoscut, $V = 1$ litru, și masă proprie m_v , peste care a fost montată o ramă prelungitoare.



Umplerea vasului se face până la jumătatea ramei, iar compoziția este apoi compactată, în funcție de consistența acesteia, prin una dintre următoarele metode:

- Pentru o consistență redusă (sub 6 cm), vasul se compactează prin lovire cu un mai de lemn, aplicând 10 lovituri verticale.
- Pentru o consistență mai mare de 6 cm, amestecul se înțeapă în 25 de puncte distribuite uniform pe toată înălțimea materialului, folosind o vergea metalică cu diametrul de 10–12 mm.

După compactare, rama prelungitoare se îndepărtează, iar excesul de beton se elimină cu ajutorul unei lamete metalice, printr-o mișcare de tip ferăstrău, de la centru spre margini, pentru a nivela suprafața. Ulterior, vasul plin cu beton este cântărit, rezultând masa totală m_m .

Densitatea aparentă se calculează cu relația:

$$\rho_a = \frac{m_m - m_v}{V} \text{ (kg/l)} \quad \text{sau} \quad \rho_a = \frac{m_m - m_v}{V} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

Unde:

m_m - masa vasului plin

m_v - masa vasului gol

V - volumul vasului

Densitatea aparentă a betonului trebuie să fie cuprinsă între 1950 și 2200 (kg/m^3).

3.2 Lucrabilitatea betonului utilizând metoda răspândirii [7]

Se umple un vas fără fund cu beton, având înălțimea de 200mm. Forma tronconică rămasă după ridicarea vasului se vedează.

Răspândirea se calculează prin media aritmetică a două diametre perpendiculare a grămezii de beton formate.

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ [cm]} \quad (2)$$

unde: d_1 și d_2 două diametre măsurate perpendicular.

3.3 Densitatea aparentă a betonului întărit[8]

Efectuarea determinării

Această proprietate a betonului a fost determinată pe epruvete cu dimensiunile de 40x40x160 mm. Se fac următoarele etape:

- se cântăresc epruvetele și se află masa m ;
- se determină dimensiunile epruvetelor prin măsurarea cu șublerul;
- se calculează volumul aparent al epruvetelor cu ajutorul formulei: $V_a = L \times l \times h$, unde L -lungimea, l -lățimea, h -înălțimea ;
- se calculează densitatea aparentă cu ajutorul formulei: $\rho_a = \frac{m}{V_a}$;

3.4 Rezistența la încovoiere [9]

Rezistența la încovoiere se face cu ajutorul aparatului Fruhling-Michaelis, adaptat pentru probele de beton, care are distanța dintre reazeme 10 cm. După ce se fixează proba, se dă drumul la aparat și se citește forța de care a fost nevoie pentru a rupe proba în două. Rezistența la încovoiere se calculează mai apoi cu următoarea formulă: $R_{ti} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pl}{bh^2}$ [daN/cm^2]

unde:

P -forța de rupere [daN];

l - distanța dintre reazeme [cm];

b - lățimea secțiunii de rupere [cm];

h -înălțimea secțiunii de rupere [cm];



3.5 Rezistența la compresiune

Aceasta se realizează cu ajutorul prese hidraulice. Se folosesc epruvetele rupte de la încercarea rezistenței la încovoiere. Acestea sunt puse în presa hidraulică, care exercită o forță asupra probelor până ce acestea cedează. Rezistența la compresiune se calculează cu ajutorul formulei:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad [N/mm^2] \quad (3)$$

unde:

F- forța de compresiune [N];

A- aria secțiunii [mm²].

4. Rezultate

Tabel 2. Rezultate

Caracteristicile microbetonului	Rezultate
Densitatea aparentă asupra betonului proaspăt	2081,3 [kg/m ³]
Densitatea aparentă asupra betonului întărit	2006,5 [kg/m ³]
Lucrabilitate	16,7 cm
Rezistența la încovoiere	3,695 N/mm ²
Rezistența la compresiune	15,01 N/mm ²

Rezistențele obținute pentru microbetonul cu adaosuri de deșuri de sticlă și fibre textile se încadrează în domeniul valoric specific betoanelor nestructurale, conform Normativului NE 012-1/2022. Rezistența la compresiune determinată experimental se situează în intervalul 6–12 MPa, caracteristic betoanelor utilizate pentru elemente cu rol de închidere sau pentru aplicații cu solicitări moderate. În ceea ce privește comportamentul la încovoiere, valorile obținute indică o bună capacitate de redistribuire a tensiunilor, susținută de prezența fibrelor textile care contribuie la reducerea riscului de fisurare bruscă. Acest comportament sugerează o ductilitate îmbunătățită, comparativ cu betoanele nestructurale convenționale.

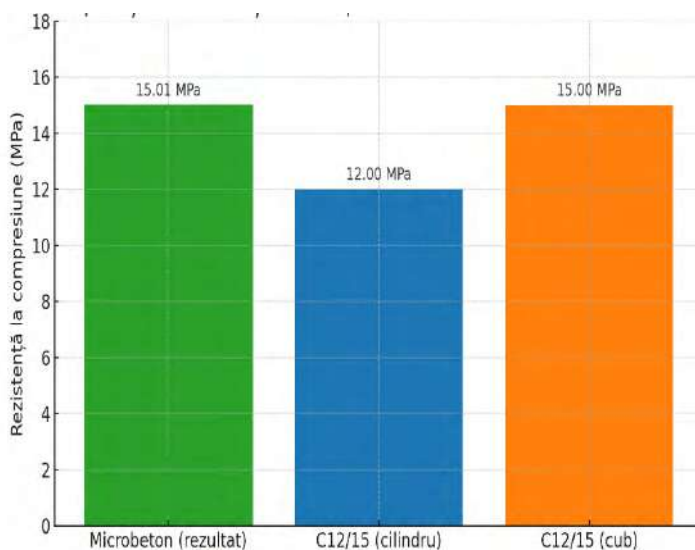


Figura 5.

În cadrul acestei lucrări, a fost elaborat un microbeton inovator ce conține deșuri de sticlă cu granulație 0/4 mm, fibre textile reciclate, ciment Portland, nisip natural și apă. Scopul principal a fost valorificarea materialelor reziduale într-un compozit cu rol structural și de închidere. S-a construit o matriță dedicată turnării elementului de structură, conceput astfel încât să integreze atât funcția de element de rezistență, cât și pe cea de închidere a spațiilor – aspect care evidențiază caracterul său multifuncțional.

Utilizarea materialelor reciclate nu a compromis semnificativ performanțele mecanice, ci, dimpotrivă, a generat un material cu potențial de aplicabilitate reală în construcții sustenabile. În plus, aportul fibrelor textile a condus la o îmbunătățire vizibilă a ductilității și la o limitare a fisurilor inițiale. Microbetonul rezultat poate constitui o alternativă viabilă pentru elemente secundare de zidărie, plăci prefabricate sau alte componente nestructurale expuse solicitărilor moderate.

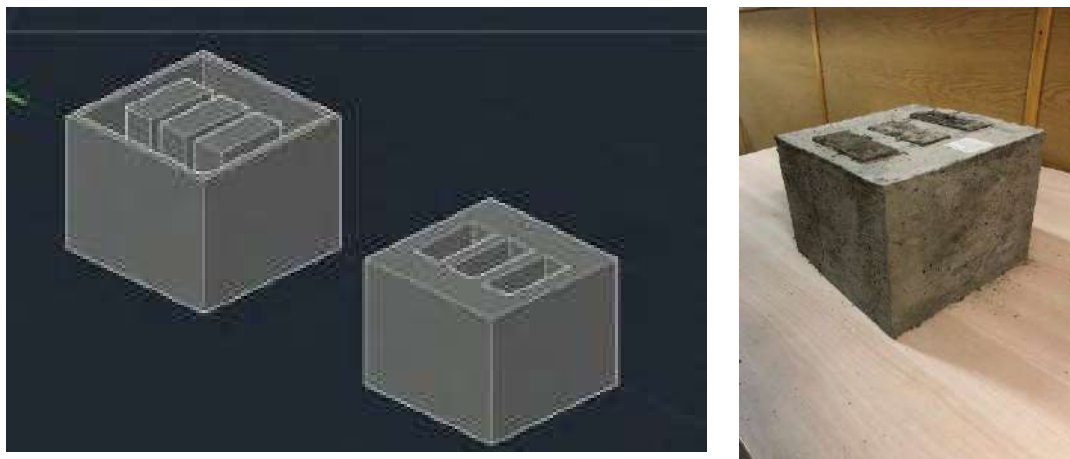


Figura 6. Model 3D a matriței pentru elementul de structură și elementul de structură rezultat

5. Concluzii

Rezultatele obținute din punct de vedere fizico-mecanic se încadrează în valorile prevăzute de normativele și standardele în vigoare, ceea ce confirmă posibilitatea utilizării materialului analizat. Totuși, au fost identificate unele provocări care necesită soluții suplimentare. În acest sens, propunem realizarea unor studii aprofundate pentru dezvoltarea unui beton mai ușor, prin integrarea unor materiale termoizolante, precum polistirenul expandat sau vata minerală. De asemenea, recomandăm creșterea proporției de material textil armat, întrucât rezultatele preliminare au fost promițătoare, în ciuda unor efecte negative punctuale. Implementarea acestor soluții ar putea conduce la obținerea unor materiale mai eficiente, cu un impact redus asupra mediului.

BIBLIOGRAFIE

1. România are o rată de reciclare a deșeurilor de ambalaje de 38,31%, CECCAR BUSINESS MAGAZINE, numărul 25-26, 27 iunie-9 iulie 2024
2. ARETEX, Agenția Europeană de Mediu (AEM) a publicat un briefing despre distrugerea textilelor returnate și nevândute, 4 martie 2024
3. Md. Nabi Newaz Khan, Ashish Kumer Saha, Prabir Kumar Sarker, Reuse of waste glass as a supplementary binder and aggregate for sustainable cement-based construction materials: A review, Journal of Building Engineering, Volume 28, 2020, 101052, ISSN 2352-7102
4. Saeed Bozorgmehr Nia, Anette Nyland, Jennifer Wivast, Mahdi Kioumars, Behrouz Shafei, Investigations of portland limestone cement and waste glass powder for sustainable ultra-high performance concrete, Case Studies in Construction Materials, Volume 22, 2025, e04425, ISSN 2214-5095
5. . Heura Ventura, María Dolores Álvarez, Laura Gonzalez-Lopez, Josep Claramunt, Monica Ardanuy, Cement composite plates reinforced with nonwoven fabrics from technical textile waste fibres: Mechanical and environmental assessment, Journal of Cleaner Production, Volume 372, 2022, 133652, ISSN 0959-6526
6. Alexandru Gheorghe Netea, Daniela Lucia Manea, Claudiua Aciu, Elena Jumate, Florin Babota, Luminița Monica Pleșa, Răzvan Andrei Ieranuțan, Materiale de Construcții Chimie, Cluj-Napoca 2019, 208
7. Alexandru Gheorghe Netea, Daniela Lucia Manea, Claudiua Aciu, Elena Jumate, Florin Babota, Luminița Monica Pleșa, Răzvan Andrei Ieranuțan, Materiale de Construcții Chimie, Cluj-Napoca 2019, 240
8. Alexandru Gheorghe Netea, Daniela Lucia Manea, Claudiua Aciu, Elena Jumate, Florin Babota, Luminița Monica Pleșa, Răzvan Andrei Ieranuțan, Materiale de Construcții Chimie, Cluj-Napoca 2019, 242
9. Alexandru Gheorghe Netea, Daniela Lucia Manea, Claudiua Aciu, Elena Jumate, Florin Babota, Luminița Monica Pleșa, Răzvan Andrei Ieranuțan, Materiale de Construcții Chimie, Cluj-Napoca 2019, 242-243
10. Alexandru Gheorghe Netea, Daniela Lucia Manea, Claudiua Aciu, Elena Jumate, Florin Babota, Luminița Monica Pleșa, Răzvan Andrei Ieranuțan, Materiale de Construcții Chimie, Cluj-Napoca 2019, 242-243



SECȚIUNEA 2

Ingineria Instalațiilor



COMPARAREA METODELOR DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ PENTRU PREDICȚIA TEMPERATURII ÎNTR-UN SISTEM DE CLIMATIZARE AUTOMATIZAT PRIN KNX

Autori

Răzvan-Lucian G. CHIȘ^{1*}, Adrian I.F. CHIȘ^{2*}, Daniel Cristian I. BOLOG³

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, razvanchis15@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, chis.io.adrian@student.utcluj.ro

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, bologdaniel5@gmail.com

Îndrumător

Ș. I. dr. ing. Constantin C. CILIBIU⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, constantin.cilibiu@insta.utcluj.ro

REZUMAT: Scopul prezentei lucrări este acela de a analiza comparativ diferite metode de inteligență artificială pentru predicția temperaturii într-un sistem automatizat prin KNX, în vederea identificării celei mai eficiente abordări în termeni de precizie, resurse necesare și aplicabilitate practică. Predicția exactă a temperaturii reprezintă un factor crucial pentru controlul eficient al climatizării, permițând sistemelor KNX să anticipeze schimbările ambientale și să ajusteze din timp parametrii de funcționare ai echipamentelor HVAC. Astfel, o bună strategie predictivă poate minimiza variațiile nedorite ale temperaturii și optimiza consumul de energie. Cercetarea utilizează date reale colectate dintr-un mediu KNX și evaluează performanțele a trei metode: ARIMA, Random forest și LSTM accentuând importanța fiecărei metode în contextul controlului temperaturii. Rezultatele studiului pot ghida dezvoltarea unor strategii de control inteligente și adaptative, facilitând reglarea precisă și proactivă a climatizării în vederea creșterii confortului termic și a eficienței energetice. Astfel, această analiză contribuie direct la proiectarea și implementarea unor sisteme KNX mai performante, capabile să gestioneze automat și optim climatizarea în clădiri inteligente și sustenabile.

Cuvinte cheie: IA, predicție, eficiență energetică, optimizare, automatizare, HVAC.

5. Introducere

Problemele climatice actuale și creșterea consumului de energie la nivel global au evidențiat necesitatea adoptării unor practici sustenabile în sectorul construcțiilor. Clădirile sunt responsabile pentru o proporție semnificativă din consumul energetic și emisiile de gaze cu efect de seră: la nivel mondial, aproximativ o treime din energia disponibilă este consumată de clădiri, generând circa 30% din emisiile de CO₂ și utilizând aproximativ 40% din resursele naturale [1]. O parte considerabilă din această energie este destinată asigurării confortului termic interior, în special prin sistemele de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC). În clădirile comerciale și rezidențiale, sistemele HVAC pot reprezenta aproximativ 30–40% din consumul total de energie al clădirii [1], eficiența acestora devenind astfel un aspect critic.

Creșterea prețurilor la energie și necesitățile de adaptare la schimbările climatice au determinat industria construcțiilor să adopte conceptul de clădire inteligentă, care valorifică automatizarea pentru a maximiza eficiența energetică și confortul ocupanților [2]. Totodată, reglementările recente impun standarde tot mai ridicate de performanță energetică și calitate a mediului interior în clădiri [2]. În acest sens, Directiva (UE) 2018/844 a Parlamentului European promovează modernizarea fondului construit prin integrarea sistemelor de automatizare și control (BACS), cu accent pe optimizarea consumului energetic și introducerea tehnologiilor digitale în clădirile rezidențiale și comerciale [3]. În acest context, clădirile inteligente dotate cu sisteme de gestiune energetică avansate devin o componentă esențială a strategiei de sustenabilitate, vizând reducerea consumului energetic al sistemelor HVAC și diminuarea impactului asupra mediului, menținând în același timp condiții optime de confort pentru ocupanți.

Pentru a înțelege impactul acestor tehnologii în clădirile inteligente, este utilă o scurtă privire asupra istoricului lor. Protocolul KNX își are originile în anii 1990, fiind rezultatul unificării mai multor standarde europene de automatizare (precum EIB, BatiBUS și EHSA). În 1999, acestea au fost integrate



În cadrul Asociației KNX, iar în anii următori, protocolul a fost recunoscut ca standard european (EN 50090) și internațional (ISO/IEC 14543-3), devenind astfel singurul standard deschis și recunoscut la nivel global pentru automatizarea clădirilor [4]. De-a lungul anilor, KNX s-a extins la nivel internațional, fiind utilizat în sute de mii de clădiri, de la spații comerciale și rezidențiale, până la instituții publice și proiecte industriale [5].

În paralel, dezvoltarea inteligenței artificiale a început în anii 1950, cu primele modele matematice inspirate de funcționarea creierului uman, cum ar fi perceptronul lui Rosenblatt, și a continuat cu progrese majore în anii 1980–2000 în domeniul rețelelor neuronale și învățării automate. Odată cu explozia de date, creșterea puterii de calcul și disponibilitatea unor biblioteci open-source precum TensorFlow și PyTorch, IA a devenit o tehnologie aplicabilă în multiple domenii. În contextul clădirilor inteligente, aplicațiile IA (inteligența artificială) au devenit posibile datorită democratizării senzorilor și IoT (Internet of Things), precum și a scăderii costurilor de infrastructură. Tot mai multe studii și proiecte pilot explorează potențialul IA în gestionarea predictivă a instalațiilor din clădiri – în special HVAC, iluminat, ventilație și securitate – în vederea optimizării consumului și îmbunătățirii confortului utilizatorilor [6]. De exemplu, platforma BrainBox AI a fost implementată în mii de clădiri comerciale din peste 20 de țări, inclusiv în clădiri de birouri precum 45 Broadway din New York, obținând reduceri de până la 15% în consumul de energie al sistemelor HVAC [7]. Un alt exemplu este sistemul RESPIRA® dezvoltat de compania SENER, aplicat cu succes în metroul din Barcelona, unde a îmbunătățit calitatea aerului, confortul pasagerilor și a dus la economii de energie de peste 11% [8].

Pentru ca aceste aplicații AI să funcționeze eficient în clădirile inteligente, este necesară o infrastructură de automatizare capabilă să colecteze și să gestioneze datele relevante din mediu. Protocolul KNX, adoptat pe scară largă în clădiri comerciale și rezidențiale, oferă această infrastructură printr-o rețea distribuită de senzori și actuatori care comunică direct, fără un server central. Datorită flexibilității și interoperabilității sale, KNX permite integrarea controlului asupra iluminatului, climatizării, jaluzelelor, electrocasnicelor și altor echipamente, facilitând astfel implementarea unor strategii inteligente de reglare a condițiilor de interior [6].

Dincolo de controlul clasic bazat pe reguli prestabilite, KNX permite integrarea directă a metodelor de inteligență artificială în sistemele de management al clădirii. Datele colectate în timp real de senzori KNX – precum temperatura, umiditatea sau concentrația de CO₂ – pot fi analizate de algoritmi de tip machine learning pentru a anticipa nevoile de climatizare. Astfel, sistemul HVAC poate ajusta automat condițiile de interior, în funcție de comportamentul ocupanților și de dinamica mediului. Sistemul KNX funcționează ca o platformă integrată de comunicare între echipamentele fizice și componentele inteligente, facilitând strategii avansate de control predictiv și adaptiv [9].

Temperatura interioară reprezintă unul dintre parametrii cei mai importanți atât pentru confortul ocupanților, cât și pentru eficiența energetică a HVAC. Menținerea proactivă a temperaturii într-un interval optim, evitând fluctuațiile mari, poate reduce semnificativ consumul de energie (prin prevenirea supraîncălzirii sau răcirii excesive) și, totodată, poate îmbunătăți confortul termic perceput. În acest scop, abordările de control predictiv au câștigat teren: în locul reacțiilor întârziate la variațiile de temperatură, sistemele inteligente încearcă să prevadă evoluția temperaturii și să acționeze anticipativ. Predicția temperaturii interioare a devenit astfel o sarcină critică în strategiile de management al energiei din clădiri [10].

Numeroase metode de inteligență artificială și tehnici de modelare au fost investigate pentru a realiza prognoza temperaturii într-un spațiu interior. Aceste abordări pot fi clasificate în trei categorii principale: metode statistice tradiționale, cum este modelul Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), care oferă un cadru robust pentru date staționare [11]; metode de tip machine learning, precum Random Forest (RF), recunoscut pentru capacitatea de a captura relații neliniare complexe dintre variabile [12] și rețele neuronale profunde, în special arhitecturi de tip Long Short-Term Memory (LSTM), capabile să învețe din date secvențiale și să surprindă dinamica complexă a temperaturii în timp [12].

Astfel de abordări predictive au fost validate și în contexte rezidențiale reale, unde integrarea algoritmilor de inteligență artificială într-un sistem automatizat de control HVAC a permis reglarea dinamică a microclimatului interior și optimizarea consumului energetic, menținând în același timp nivelul de confort termic al ocupanților [12].



Fiecare dintre aceste metode prezintă avantaje și limitări distincte. ARIMA este ușor de interpretat și necesită seturi de date reduse, dar are dificultăți în captarea comportamentelor neliniare. Random Forest modelează relații complexe, dar ignoră structura temporală. LSTM valorifică istoria completă a variabilelor, dar are un cost computațional ridicat. De aceea, compararea sistematică a acestor metode pe problema predicției temperaturii interioare este pe deplin justificată. Literatura de specialitate subliniază că identificarea celui mai eficient model de predicție este crucială pentru managementul energetic al clădirilor inteligente [10].

Studiul de față răspunde acestei nevoi, evaluând comparativ un model statistic (ARIMA), un model de tip machine learning (Random Forest) și un model de tip deep learning (LSTM) pentru predicția temperaturii într-un sistem HVAC automatizat prin KNX, cu scopul de a evidenția avantajele și limitele fiecărei soluții în contextul dat.

2. Studiu de caz

2.1 Situația existentă

Lucrarea analizează comportamentul termic al sălii I204, aflată la etajul al doilea al Facultății de Inginerie a Instalațiilor din Cluj-Napoca. Spațiul este reprezentativ pentru clădiri educaționale cu funcționare regulată și cerințe constante de confort termic. Sala beneficiază de ferestre orientate spre VEST, ceea ce influențează gradul de încălzire solară pasivă și distribuția temperaturii pe parcursul zilei.

Încălzirea este asigurată prin ventiloconvectoare, care mențin temperatura interioară în limitele dorite pe durata zilei. Aceasta este monitorizată continuu prin infrastructura existentă de automatizare, fără un sistem de reglare anticipativă.

Pentru analiză au fost utilizate date înregistrate în luna **martie 2025**, la un interval de **30 de minute**, în regim continuu. Setul de date constă în **temperatura interioară**, colectată automat prin sistemul KNX al clădirii;

În etapa de preprocesare, s-au aplicat metode de interpolare liniară pentru completarea valorilor lipsă și s-au eliminat eventualele anomalii. Setul rezultat este complet și potrivit pentru aplicarea modelelor de predicție.

2.2 Rezultatele simulărilor

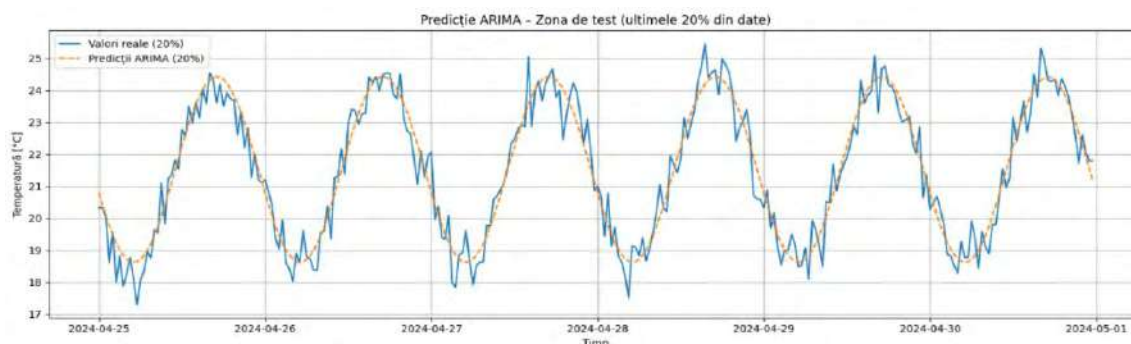
Pentru evaluarea performanței celor trei algoritmi propuși – ARIMA, Random Forest și LSTM – s-au efectuat predicții pe ultimele 20% din datele disponibile, corespunzătoare aproximativ ultimei săptămâni din luna martie. Acestea au fost comparate cu valorile reale, utilizând ca metrică principală eroarea medie pătratică (RMSE). Procesul de analiză a fost realizat în mediu digital, folosind limbajul Python și o serie de librării dedicate manipulării datelor, modelării statistice și învățării automate (pandas, scikit-learn, statsmodels, TensorFlow) [13].

2.3 ARIMA

Modelul ARIMA a fost implementat cu o configurație **(2, 0, 2)**, aleasă pe baza testării empirice și a validării staționarității seriei. Configurația indică utilizarea a doi termeni autoregresivi ($p = 2$), fără aplicarea diferențierii ($d = 0$), și a doi termeni de medie mobilă ($q = 2$). **Termenii autoregresivi** reflectă influența valorilor anterioare ale temperaturii asupra valorii curente, în timp ce **termenii de medie mobilă** corectează predicția prin luarea în considerare a erorilor comise în pașii anteriori. Înainte de antrenare, seria temperaturii interioare a fost supusă testului **Augmented Dickey-Fuller**, care a confirmat caracterul staționar al acesteia (statistică $ADF = -17.78$, $p\text{-value} \approx 3 \times 10^{-30}$), ceea ce a justificat păstrarea valorii $d = 0$.

Pe setul de testare, modelul ARIMA a obținut un **RMSE de 0.555**, indicând o eroare semnificativ mai mare decât celelalte două modele testate. Predicțiile generate în această zonă sunt prezentate în **figura 1** și reflectă capacitatea modelului de a urmări tendința generală a seriei, însă cu întârziere în perioadele de variație rapidă. Predicția este caracterizată de o **netezime pronunțată**, ceea ce sugerează o reacție lentă la schimbări și o dificultate în captarea detaliilor fine ale evoluției reale a temperaturii.

Figura 1. Predicție ARIMA – Zona de test (ultimele 20% din date)



În extrapolarea pe termen scurt (Figura 2), modelul oferă o predicție coerentă, dar cu o evoluție prea uniformă față de realitate, ceea ce limitează utilitatea sa în cadrul unui sistem de control anticipativ. În plus, modelul ARIMA operează exclusiv pe serii univariate, neputând în forma sa de bază să integreze variabile explicative precum temperatura exterioară sau ora din zi. Această limitare reduce și mai mult aplicabilitatea sa în sisteme HVAC reale, unde comportamentul termic este influențat de factori multipli.



Figura 2. Predicție ARIMA pentru următoarele 48h

2.4 Random Forest

Modelul Random Forest a fost antrenat folosind un set extins de variabile explicative, obținute prin prelucrarea seriei inițiale de temperaturi. Printre acestea se numără: laguri temporale (valori anterioare ale temperaturii interioare), diferența dintre valorile consecutive, medii mobile pe intervale scurte, precum și ora exactă a fiecărei înregistrări, exprimată în format zecimal. În plus, au fost adăugate variabile de interacțiune, menite să capteze relații nelineare între timp și variația temperaturii. Setul de date a fost împărțit în proporție de 80% pentru antrenare și 20% pentru testare, fără amestecarea temporală a datelor, pentru a respecta caracterul secvențial al seriei.

Modelul final a fost construit cu **500 de arbori de decizie** și o **adâncime maximă de 40** parametri aleși pentru a obține un echilibru între acuratețe și capacitatea de generalizare a modelului. **Această arhitectură reflectă principiul de funcționare al algoritmului Random Forest**, o metodă de tip ansamblu care combină un număr mare de arbori de decizie, fiecare dintre ei fiind un model simplu bazat pe reguli „dacă-atunci”. **Adâncimea arborilor** controlează nivelul de complexitate al regulilor învățate — valori mai mari permit captarea unor relații detaliate între variabile, dar implică riscul de suprapotrivire dacă nu sunt bine calibrate.



Pe setul de testare, Random Forest a obținut un **RMSE de 0.169**, semnificativ mai redus decât cel obținut de ARIMA. În **figura 3**, se observă o potrivire foarte bună între valorile reale și cele prezise, inclusiv în perioadele cu variații rapide sau extreme, semnalând o capacitate bună a modelului de a învăța din structura datelor.

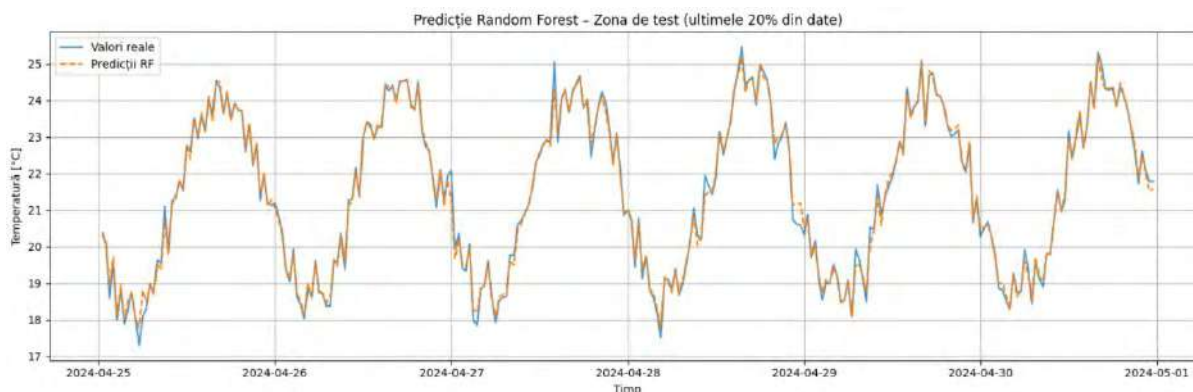


Figura 3. Predictie Random Forest – Zona de test (ultimele 20% din date)

Pentru extrapolarea pe termen scurt (figura 4), Random Forest a fost utilizat într-un scenariu autoregresiv, în care fiecare predicție nouă a fost reintrodusă ca intrare pentru pasul următor. Deși predicțiile generate pentru cele 48 de ore în viitor sunt coerente și păstrează forma generală a variației diurne, modelul tinde să atenueze treptat amplitudinea temperaturii, din cauza acumulării erorilor în lanț. Acest efect se traduce printr-o ușoară aplatizare a curbei, observabilă mai ales spre finalul orizontului de predicție. Totuși, performanța generală rămâne ridicată, modelul demonstrând o capacitate solidă de generalizare pe termen scurt, fără a necesita o arhitectură complexă sau reglaje avansate. Comparativ cu ARIMA, care presupune o modelare liniară a dependențelor temporale și adesea nu capturează bine sezonabilitatea neregulată, Random Forest oferă o mai bună adaptabilitate la variații non-liniare și fluctuații locale din serie.

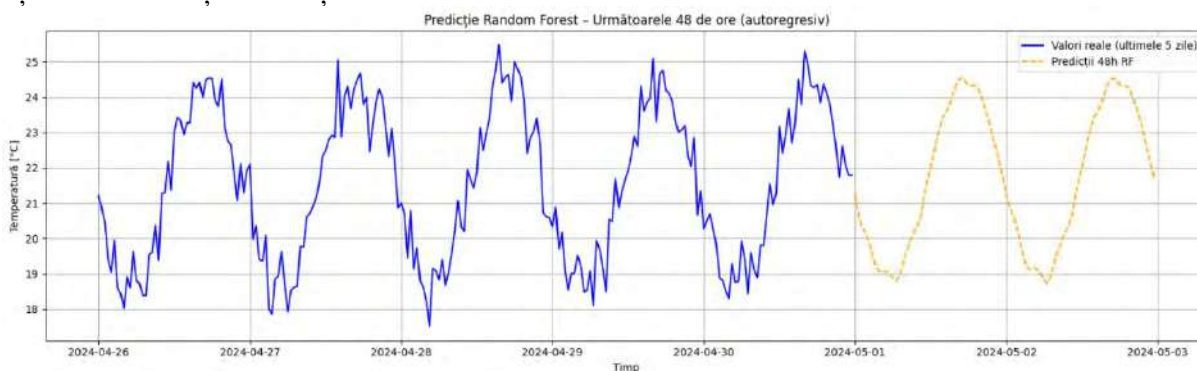


Figura 4. Predictie Random Forest – Următoarele 48 de ore (autoregresiv)

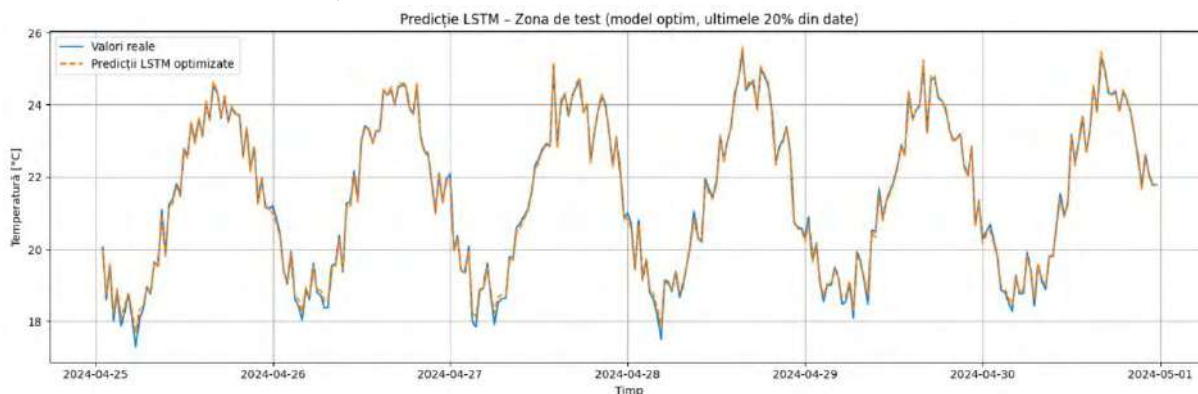
2.5 LSTM

Modelul bazat pe rețea neuronală recurentă de tip LSTM (Long Short-Term Memory) a fost construit pentru a exploata caracterul secvențial al seriei de temperaturi interioare. La fel ca în cazul Random Forest, datele au fost procesate în prealabil prin crearea de laguri temporale, diferențe între valori succesive și extragerea orei fiecărui punct de măsurare, exprimată zecimal. Aceste variabile au fost apoi scalate utilizând **normalizarea Min-Max**, o metodă prin care valorile sunt transformate astfel încât să se încadreze într-un interval fix (de regulă $[0, 1]$), pentru a evita dezechilibrele în antrenare cauzate de diferențele de scară dintre variabile. Normalizarea a fost aplicată **separat pentru intrări și pentru ieșirea țintă**, astfel încât modelul să poată învăța în mod echilibrat relațiile dintre date, fără influențe artificiale. Datele au fost împărțite în proporție de 80% pentru antrenare și 20% pentru testare, păstrându-se ordinea cronologică.

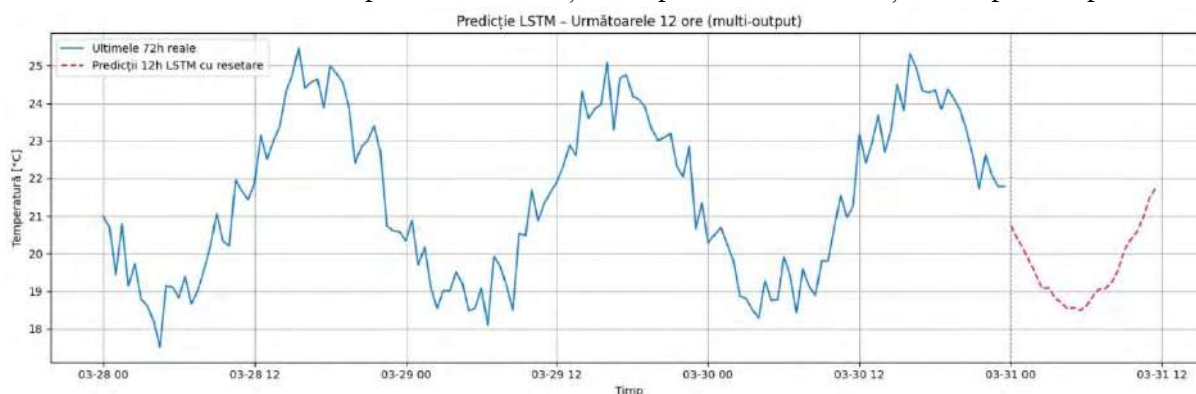


Modelul LSTM a fost antrenat în mod repetat, iar performanțele au fost comparate pe baza erorii medii pătratică. Cel mai bun model obținut după 5 rulări a fost selectat ca model final și a atins un **RMSE de 0.097** pe setul de testare — cea mai mică eroare dintre toți cei trei algoritmi analizați. Predicțiile rezultate în această etapă sunt prezentate în Figura 5, unde se observă o potrivire foarte apropiată între valorile reale și cele estimate de modelul neuronal, inclusiv în momentele cu variații rapide.

Figura 5. Predicție LSTM – Zona de test (model optim, ultimele 20% din date)



În ceea ce privește extrapolarea în timp, s-a optat pentru o abordare diferită față de celelalte modele, limitând orizontul de predicție la 12 ore. Această alegere a fost determinată de specificul arhitecturii LSTM, sensibilă la acumularea erorilor în predicțiile autoregresive pe termen lung. Prin urmare, modelul a fost configurat să genereze o secvență completă de 12 pași deodată (multi-output), pe baza unei ferestre de intrare de 12 ore anterioare. Predicția rezultată, vizibilă în figura 6, urmează o traiectorie coerentă și realistă, menținând o variație diurnă naturală, dar cu o netezime specifică modelelor neuronale, care poate reduce ușor amplitudinea fluctuațiilor rapide. Spre deosebire de



Random Forest, care pierde progresiv din amplitudine în predicțiile pe termen mai lung, LSTM reușește să mențină dinamica locală fără acumulare evidentă de erori. Comparativ cu ARIMA, care produce o variație idealizată și rigid periodică, modelul LSTM oferă o adaptabilitate superioară la variațiile reale, mai neregulate, din seria de temperatură.

Figura 6. Predicție LSTM – Următoarele 12 ore (multi-output)

3. Concluzii

Studiul a evidențiat diferențele semnificative dintre cele trei metode testate pentru predicția temperaturii interioare într-un sistem HVAC automatizat prin KNX. Temperatura interioară este un parametru critic atât pentru confortul ocupanților, cât și pentru consumul de energie al unei clădiri. Abateri frecvente sau reglaje întârziate pot conduce la disconfort, risipă energetică și costuri ridicate. Prin urmare, capacitatea de a anticipa evoluția acestei variabile și de a acționa proactiv este esențială în orice strategie de control inteligent.

Modelul ARIMA, deși simplu și interpretabil, nu reușește să capteze complexitatea variațiilor termice reale, înregistrând o precizie redusă.



Modelul Random Forest a oferit rezultate semnificativ mai bune, demonstrând o capacitate solidă de a modela relații non-liniare și sezonality locale, cu un compromis rezonabil între performanță și complexitate computațională.

Modelul LSTM s-a dovedit cel mai precis, valorificând în mod eficient caracterul secvențial al datelor, însă cu un cost de implementare mai ridicat și o sensibilitate crescută la lungimea orizontului de predicție.

Alegerea metodei potrivite depinde de contextul aplicației: pentru predicții rapide și eficiente în medii controlate, Random Forest oferă o soluție robustă și accesibilă; pentru precizie maximă și control adaptiv în timp real, LSTM reprezintă o opțiune superioară, dar presupune resurse tehnice și de implementare suplimentare. Integrarea acestor modele în strategii de control anticipativ HVAC poate contribui semnificativ la îmbunătățirea confortului și a eficienței energetice în clădirile inteligente, în special atunci când sunt combinate cu seturi de date extinse și variabile suplimentare precum temperatura exterioară sau gradul de ocupare.

În concluzie, rezultatele studiului susțin integrarea algoritmilor avansați de inteligență artificială în strategiile de control inteligent al clădirilor, facilitând reglarea precisă și proactivă a climatizării. În viitor, utilizarea unor seturi de date mai extinse și mai diversificate ar putea îmbunătăți și mai mult acuratețea modelelor predictive, iar combinarea diferitelor metode ar putea duce la soluții mai robuste pentru gestionarea resurselor energetice în clădiri inteligente și sustenabile.

BIBLIOGRAFIE

1. Aliero, M.S., Asif, M., Ghani, I., Pasha, M.F., Jeong, S.R. (2022). *Systematic Review Analysis on Smart Building: Challenges and Opportunities*. Sustainability, 14(5), 3009, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/3009>
2. Kim, D., Yoon, Y., Lee, J., Mago, P.J., Lee, K., Cho, H. (2022). *Design and Implementation of Smart Buildings: A Review of Current Research Trend*. Energies, 15(12), 4278, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/12/4278>
3. European Commission. (2018). *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council*, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>
4. KNX Association. *KNX History*, <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/What-is-KNX/KNX-History/>
5. Vanus, J., Hercik, R., Bilik, P. (2023). *Using Interoperability Between Mobile Robot and KNX Technology for Occupancy Monitoring in Smart Home Care*. Sensors, 23(21), 8953, <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/21/8953>
6. Gützkow, R. (2022). *Security Analysis of the KNXnet/IP Secure Protocol*. Humboldt-Universität zu Berlin, <https://sar.informatik.hu-berlin.de/research/publications/SAR-PR-2022-01/>
7. BrainBox AI. (2024). *AI Makes Buildings More Efficient – Case Studies*, <https://brainboxai.com/en/>
8. SENER project - (2024). *RESPIRA® – Intelligent Ventilation Control System*, available at <https://www.group.sener/en/project/respira-intelligent-ventilation-control-system/>
9. Bemporad, A. et al. (2018). *Model Predictive Control for Enhancing Building and HVAC System Energy Efficiency*. Energies, 11(3), 631, <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/3/631>
10. Negrea, A. L. (2020). *Optimization of Energy Efficiency for Residential Buildings by Using Artificial Intelligence*. Universitatea Politehnica București & INSA Lyon, <https://theses.hal.science/tel-03112649>
11. Pan, X., Xu, Y., Hong, T. (2024). *Surrogate Modelling for Urban Building Energy Simulation Based on Bidirectional LSTM*. Journal of Building Performance Simulation, available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700724003591>
12. Zaharieva, S., Georgiev, I., Georgiev, S., Todorov, V. (2025). *A Method for Forecasting Indoor Relative Humidity for Improving Comfort Conditions and Quality of Life*. Atmosphere, 16(3), 315, <https://www.mdpi.com/2073-4433/16/3/315>
13. <https://colab.research.google.com/>



SISTEM AUTOMAT DE PROTECȚIE LA INUNDAȚIE BAZAT PE ARDUINO

Autori

Remus O. MOLDOVAN¹, Rareș Constantin A. BARNA²

¹ Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: remusm2003@gmail.com.

² Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: barnarares@yahoo.com.

Îndrumător

Ș. I. dr. ing. Teodor CHIRA³

³ Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: teodor.chira@insta.utcluj.ro.

REZUMAT: Această lucrare prezintă un sistem automatizat pentru gestionarea situațiilor de inundare accidentală, proiectat pe baza platformei Arduino Nano. Sistemul este conceput pentru a oferi o soluție eficientă și accesibilă de prevenire a pagubelor cauzate de scurgeri sau acumulări necontrolate de apă în spații precum băi, bucătării, subsoluri sau camere tehnice. Componentele principale ale sistemului includ un senzor de detecție a apei, o electrovană pentru întreruperea debitului de apă, un buzzer piezoelectric pentru emiterea unui semnal sonor de alertă și un modul GSM utilizat pentru notificarea la distanță a utilizatorului prin trimiterea unui mesaj SMS. În momentul în care senzorul detectează prezența apei, placa Arduino Nano procesează semnalul și declanșează automat închiderea electrovanei pentru a opri alimentarea cu apă. Simultan, buzzerul este activat pentru a avertiza sonor persoanele aflate în apropiere, iar modulul GSM transmite un mesaj text către numărul de telefon predefinit, informând utilizatorul despre incident. Sistemul este astfel gândit pentru a funcționa autonom, cu intervenție umană minimă, și poate fi adaptat cu ușurință la diverse aplicații casnice sau industriale unde monitorizarea scurgerilor de apă este esențială.

Cuvinte cheie: Arduino Nano, electrovană, senzor, modul GSM.

1. Introducere

Monitorizarea automată a scurgerilor de apă în diverse aplicații domestice și industriale devine tot mai importantă odată cu dezvoltarea accelerată a tehnologiei denumite Internet of Things (IoT). Într-o lume tot mai conectată, siguranța locuințelor, a spațiilor comerciale sau a instalațiilor industriale depinde din ce în ce mai mult de capacitatea sistemelor inteligente de a detecta evenimentele nedorite și de a limita efectele acestora. Inundațiile accidentale, cauzate de defecțiuni ale instalațiilor sanitare sau scurgeri nedepistate, pot produce pagube materiale considerabile și pot afecta bunuri de valoare sau chiar siguranța locatarilor.

Tehnologiile IoT permit dezvoltarea unor soluții de monitorizare accesibile, flexibile și ușor de implementat, care pot transmite informații în timp real și pot declanșa acțiuni automate pentru a limita efectele negative ale scurgerilor de apă. În această lucrare propunem un sistem simplu, dar eficient, construit din componente accesibile și ușor de procurat, capabil să detecteze prezența apei și să reacționeze automat prin mai multe acțiuni: închiderea unei electrovane pentru oprirea debitului de apă, emiterea unui semnal sonor de avertizare și trimiterea unei alerte SMS către utilizator pentru a notifica incidentul.

Scopul acestui proiect este de a oferi o soluție practică și accesibilă care să contribuie la protejarea locuințelor, spațiilor tehnice sau a oricărui alt mediu unde controlul apei este critic, punând în valoare potențialul tehnologiei moderne în slujba siguranței și eficienței.

2. Materiale și Echipamente

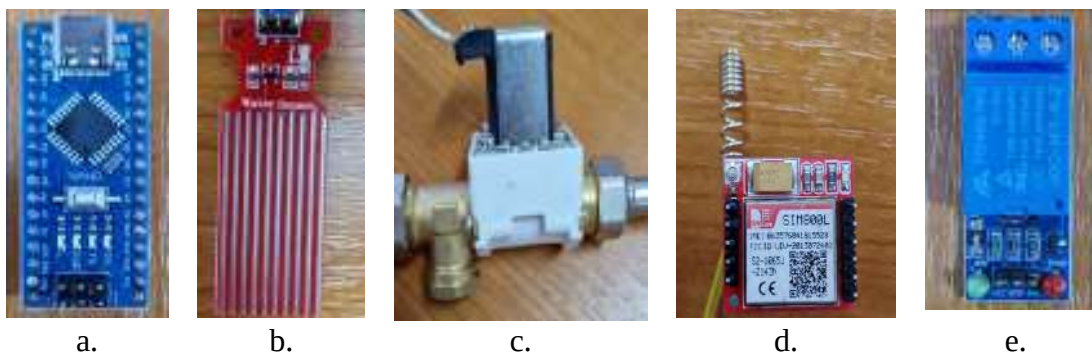


Figura 1. Elemente componente ale prototipului:

a.-Placă Arduino Nano, b.-Senzor de detecție a apei, c.-Electrovănă normal închis, d.-Modulul GSM (SIM800L), e. -Placa cu releu de 5V, f.-Circuitul de optimizare termică a solenoidului

- **Placa Arduino Nano** (Figura 1.a) este o placă de dezvoltare compactă, bazată pe microcontrolerul ATmega328P, ideală pentru proiecte electronice unde spațiul este limitat. Oferă funcționalități similare cu Arduino Uno [1], dar într-un format mai mic și cu pini montați pe margini, perfectă pentru prototipuri pe plăci de test [4].
- **Senzorul de detecție a apei** (Figura 1.b) este un dispozitiv electronic folosit pentru a detecta prezența apei sau a umezelii într-o zonă specifică. Acesta emite un semnal electric analog atunci când intră în contact cu apa, fiind ideal pentru protejarea echipamentelor sau pentru declanșarea unor alarme sau acțiuni automate [7].
- **Electrovana** normal închisă (Figura 1.c) este un dispozitiv electromecanic utilizat pentru controlul debitului de lichide sau gaze. În stare nealimentată electric, electrovana rămâne închisă (nu permite trecerea fluidului). Doar când este alimentată cu tensiune, bobina electromagnetice deschide supapa, permițând circulația fluidului.
- **Modulul GSM SIM800L** (Figura 1.d) este un modul de comunicație compact [5], de dimensiuni reduse, utilizat pentru transmiterea datelor prin rețele GSM (2G). Este dezvoltat de SIMCom [2] și permite funcționalități precum trimiterea/primirea de SMS-uri, realizarea de apeluri vocale și conexiune la internet prin GPRS.
- **Placa cu releu** (Figura 1.e) funcționează ca un comutator electromecanic care acționează cu un semnal mic de curent, dar care controlează un circuit de curent mai mare, prevenind suprasarcina pe Arduino.

3. Implementarea prototipului

La începutul dezvoltării prototipului, am utilizat o placă Arduino Uno împreună cu o placă de test (breadboard) pentru a testa și vizualiza mai ușor conexiunile dintre componentele electronice. Alegerea acestei configurații inițiale a avut ca scop facilitarea experimentării, depanării și ajustării rapide a circuitului, într-un mod flexibil și accesibil. Componentele principale (senzorul de apă, buzzer-ul, releul pentru electrovană și modulul GSM) au fost conectate pe breadboard, permițând o dispunere clară și modificări rapide în faza de testare.

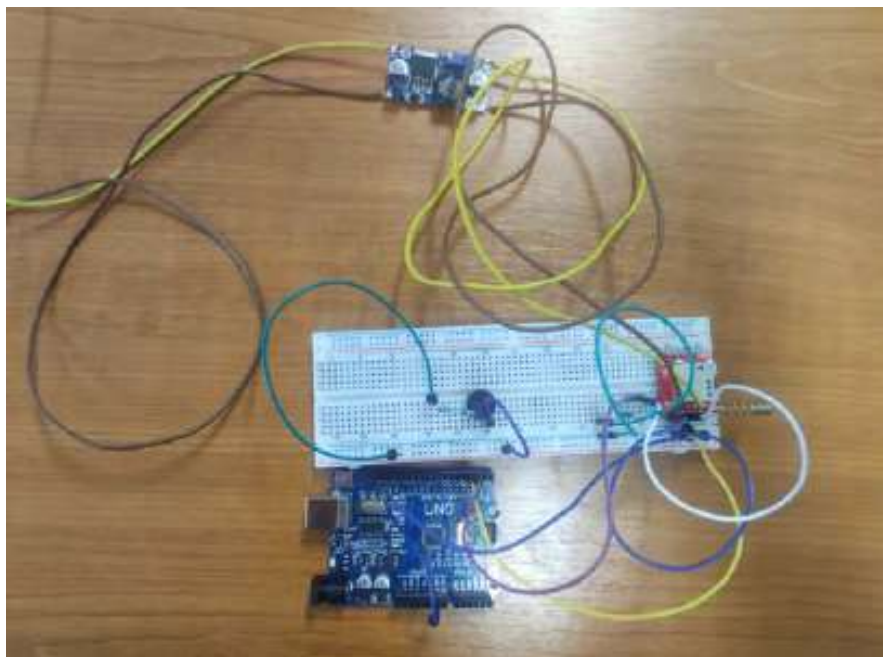


Figura 2. Montajul inițial (neoptimizat)

După validarea funcționării sistemului în această configurație, am decis să optimizăm montajul din punct de vedere al dimensiunii și al stabilității conexiunilor. Astfel, am înlocuit placa Arduino Uno cu o placă Arduino Nano, mult mai compactă, care oferă aceleași funcționalități, dar într-un format redus. În plus, pentru a realiza o construcție mai solidă și mai potrivită pentru utilizare practică, am renunțat la breadboard și am transferat toate conexiunile pe o placă de prototipare, unde componentele au fost lipite pentru a asigura o fixare durabilă și a elimina riscurile de contact intermitent sau deconectări accidentale.

Această abordare a permis obținerea unui prototip compact, fiabil și ușor de integrat în aplicații reale, fără a compromite flexibilitatea oferită de platforma Arduino.

Mai jos este prezentat codul aplicației, însoțit de comentarii explicative care facilitează înțelegerea logicii de implementare.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define sensorPower 7
#define buzzer 5
#define valva 8
#define sensorPin A0
int val = 0;
SoftwareSerial mySerial(3, 2);
```

Comanda `#include <SoftwareSerial.h>` include în cod librăria `SoftwareSerial`, librărie care permite comunicarea serială pe alți pini digitali ai plăcii Arduino. Comenzile de tip `#define` dau nume valorilor constante înainte de compilare, făcând codul să fie mai ușor de citit și înțeles. Comanda `SoftwareSerial` este folosită pentru a crea o comunicare pe alți pini digitali, în afară de cei prestabiliți.

```
void setup() {
  pinMode(sensorPower, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  pinMode(valva, OUTPUT);
  digitalWrite(sensorPower, HIGH);
  digitalWrite(valva, HIGH);
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  Serial.println("Initializing...");
  delay(1000);
  mySerial.println("AT");
  updateSerial();
}
```




```
mySerial.println("AT+CSQ");  
updateSerial();  
mySerial.println("AT+CREG?");  
updateSerial();  
mySerial.println("AT+CMGF=1");  
updateSerial();  
mySerial.println("AT+CMGS=\"+40769060448\"");  
updateSerial();  
}
```

Funcția `setup()` este folosită la începutul programului. Aceasta are rolul de a inițializa variabile, moduri ale pinilor, etc. și funcționează doar o singură dată, după pornirea plăcii Arduino [3].

Comanda `pinMode()` setează modul de funcționare al unui pin. Pinii pot fi setați ca pini de intrare (INPUT) sau pini de ieșire (OUTPUT). Astfel, comanda `pinMode(buzzer, OUTPUT)` setează pinul 5 ca pin de ieșire.

Comanda `digitalWrite()` setează un pin digital ca HIGH sau LOW. Un pin HIGH primește tensiune de 5V, iar un pin LOW va fi la potențial electric de 0V [3].

Comanda `Serial.begin()` inițializează comanda între placa Arduino și computer, iar comanda `mySerial.begin()` inițializează comunicarea pe pinii digitali alternativi, folosind biblioteca menționată anterior.

`Serial.println()` transmite date în portul serial. În acest caz, comanda este folosită pentru a primi o confirmare că programul este în stare de inițializare.

`mySerial.println("AT")` inițializează un "handshake test" cu modulul GSM [6]. Dacă modulul funcționează corect, vom primi răspunsul OK în monitorul serial. Comanda `mySerial.println("AT+CSQ")` obține calitatea semnalului rețelei mobile. Calitatea este măsurată pe o scară de la 0 la 31, 31 însemnând calitate perfectă. `mySerial.println("AT+CREG?")` verifică dacă SIM-ul este înregistrat în rețea. Comanda `mySerial.println("AT+CMGF=1")` setează modulul GSM în modul SMS [6]. `mySerial.println("AT+CMGS=\"+40769060448\"")` comunică modulului numărul de telefon căruia îi vor fi trimise mesaje.

```
void loop() {  
    int level = readSensor();  
    Serial.print("Water level: ");  
    Serial.println(level);  
    if (level > 200) {  
        tone(buzzer, 1000);  
        mySerial.print("ATENȚIE, INUNDAȚIE!");  
        updateSerial();  
        mySerial.write(26);  
        digitalWrite(valva, LOW);  
    }  
    delay(10000);  
    noTone(buzzer);  
}
```

Funcția `loop()` este responsabilă pentru executarea continuă a codului, aceasta fiind apelată în mod repetat, la infinit.

Senzorul de prezență a apei returnează valori numerice între 0 și 1023. Valoarea numerică citită de senzor este stocată în variabila `level`. Valoarea este transmisă în portul serial, astfel că nivelul apei poate fi citit mereu dacă placa este conectată la un calculator sau la un display.

Dacă valoarea returnată este mai mare decât 200, buzzer-ul [8] este pornit cu ajutorul comenzii `tone()`. Apoi, prin secvența de comenzi `mySerial.print("ATENȚIE, INUNDAȚIE!"); updateSerial(); mySerial.write(26);` ne este trimis mesajul "ATENȚIE, INUNDAȚIE!" prin SMS la numărul de telefon specificat anterior.

Comanda `digitalWrite(valva, LOW)` oprește tensiunea pe pinul pe care se află electrovana, oprind astfel debitul de apă.

După o perioadă de 10 secunde, buzzer-ul este oprit.

În momentul în care problema a fost remediată, sistemul necesită o resetare manuală din butonul integrat pe placă.

```
int readSensor() {
```




```
digitalWrite(sensorPower, HIGH);  
delay(100);  
val = analogRead(sensorPin);  
digitalWrite(sensorPower, LOW);  
return val;  
}
```

Acest șir de comenzi este folosit pentru a crea o funcție care face citirea nivelului de apă. Aceasta pornește senzorul pentru o perioadă de 0.1 secunde, citește valoarea analog, apoi oprește senzorul. Astfel, de fiecare dată când funcția `readSensor()` este apelată în cod, se face citirea nivelului de apă.

```
void updateSerial() {  
    delay(500);  
    while (Serial.available()) {  
        mySerial.write(Serial.read());  
    }  
    while (mySerial.available()) {  
        Serial.write(mySerial.read());  
    }  
}
```

Funcția `updateSerial()` este creată pentru a trimite comenzi din portul serial către modulul SIM800L și pentru a primi răspunsuri din partea modulului în portul serial [6].

4. Testarea prototipului

Pentru a valida funcționalitatea și fiabilitatea prototipului propus, am realizat o serie de teste experimentale în condiții controlate, care au simulat situații reale de utilizare. Scopul testării a fost să evaluăm capacitatea sistemului de a detecta prezența apei, de a reacționa prompt prin comanda unei electrovane, de a activa un semnal sonor de avertizare și de a transmite o alertă SMS către utilizator.

După ce am finalizat asamblarea componentelor electronice și am dezvoltat codul de control pentru funcționarea sistemului, am trecut la faza de testare propriu-zisă. Primele teste au fost efectuate într-un mediu controlat, fără ca electrovana să fie conectată la rețeaua de apă, pentru a ne asigura că toate componentele reacționează corect la detecția apei și că semnalele electrice sunt transmise corespunzător.

În această etapă, am simulat prezența apei prin aplicarea de lichid direct pe senzor sau prin scurtcircuitarea punctelor de detecție, observând comportamentul fiecărui modul: senzorul răspundea imediat la contactul cu apa, buzzer-ul emitea un semnal sonor clar, electrovana era închisă prin acționarea releului, iar modulul GSM trimitea în mod corect mesajul de alertă către numărul destinat. Codul s-a dovedit stabil, fără blocaje sau reacții întârziate, iar sistemul a funcționat conform așteptărilor.

După ce am obținut rezultate consistente și mulțumitoare în aceste teste preliminare, am trecut la etapa finală, în care am conectat electrovana la o sursă reală de apă. Am fixat senzorul în poziția planificată, simulând o situație reală, precum o scurgere sau o acumulare accidentală de apă într-un spațiu tehnic. Rezultatele obținute în această fază au fost extrem de încurajatoare. La contactul cu apa, sistemul a reacționat prompt: senzorul a declanșat imediat alarma, electrovana s-a închis eficient, oprind debitul de apă, iar mesajul SMS a fost transmis cu succes către telefonul utilizatorului, toate acestea într-un interval de câteva secunde. Comportamentul sistemului a fost stabil și repetabil, fără declanșări false sau întâzieri. De asemenea, sistemul și-a păstrat funcționalitatea chiar și după mai multe cicluri consecutive de activare-dezactivare, ceea ce demonstrează fiabilitatea prototipului în condiții de utilizare repetată.

Evitarea supraîncălzirii solenoidului electrovanei

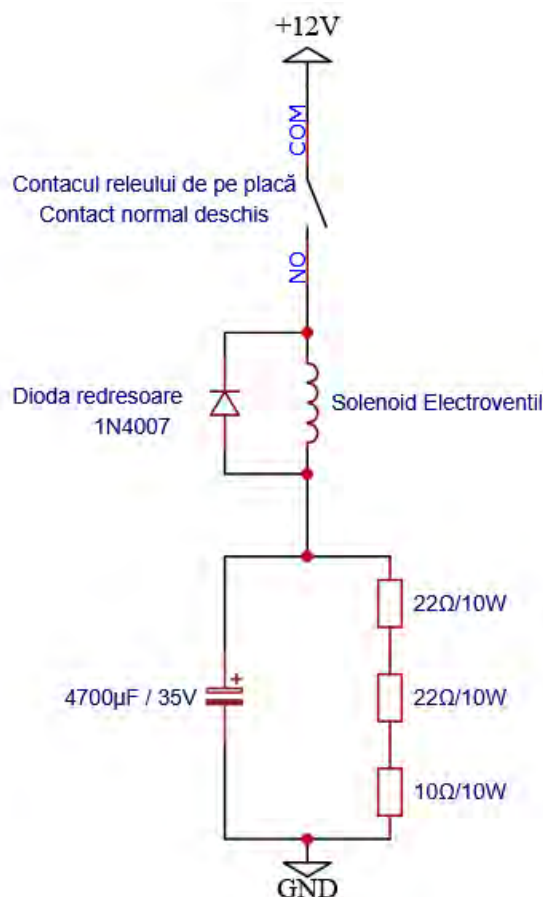


Figura 3. Montaj pentru evitarea supraîncălzirii solenoidului electrovanei - adaptare după [9]

Pe parcursul testelor efectuate, s-a observat că solenoidul electrovanei se încălzea excesiv în timpul funcționării continue. Acest fenomen apare ca urmare a faptului că bobina solenoidului consumă curent constant, iar disiparea termică internă duce la supraîncălzire.

Pentru a reduce temperatura de funcționare, s-a implementat un circuit suplimentar de limitare a curentului prin bobina solenoidului.

Acesta este format din:

- două rezistențe de $22\Omega / 10W$ și o rezistență de $10\Omega / 10W$ – toate montate în serie;
- un condensator electrolitic de $4700\mu F / 35V$ – legat în paralel cu rezistența;
- o diodă redresoare 1N4007 – montată antiparalel pe solenoid pentru protecția împotriva tensiunilor inverse (Back EMF).

Inițial, la aplicarea tensiunii, condensatorul permite un curent prin bobina solenoidului suficient pentru activarea acestuia. Ulterior, după saturarea cu sarcină a armăturilor condensatorului, circuitul se închide prin rezistențele legate în serie, acestea având rolul de a limita valoarea curentului prin bobină. În acest fel, curentul prin bobina solenoidului va avea o valoare mult mai redusă decât dacă ar fi fost alimentat direct de la 12V. Modificarea a îmbunătățit stabilitatea termică a montajului și a extins durata de viață a componentei.

Această etapă a confirmat faptul că soluția propusă nu doar că este funcțională, ci și practică și eficientă în scenarii reale, reprezentând un pas important spre dezvoltarea unei versiuni finale, pregătită pentru implementare în aplicații domestice sau industriale.

5. Concluzii și aplicații practice

Proiectul realizat demonstrează cu succes că este posibilă construirea unui sistem simplu, eficient și accesibil de detecție a apei bazat pe Arduino și componente uzuale. Prin integrarea unui senzor de apă,



a unei electrovane, a unui buzzer și a unui modul GSM, am reușit să dezvoltăm un sistem capabil să identifice scurgerile de apă în timp real și să reacționeze automat pentru a preveni eventuale daune. Testele efectuate au confirmat funcționarea corectă și fiabilă a prototipului, atât în condiții simulate, cât și în scenarii reale, cu electrovana conectată la o sursă de apă.



Figura 4. Testarea prototipului optimizat

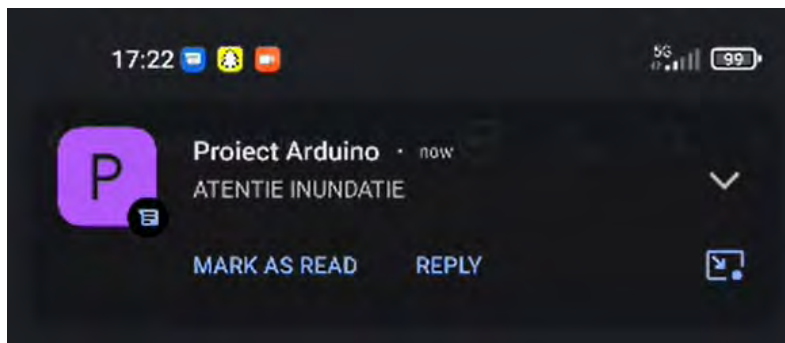


Figura 5. Mesajul SMS primit pe telefon

O alternativă la utilizarea unei electrovane cu solenoid ar fi utilizarea unui robinet cu servomotor, întrucât în primul caz menținerea deschisă a armăturii se face cu consum permanent de energie (datorită utilizării unei electrovane de tip normal închis), iar în al doilea caz se consumă energie doar în momentul acționării servomotorului. Totuși, trebuie precizat că avantajul electrovanei cu solenoid constă într-un timp de răspuns mai rapid decât al robinetului cu servomotor.

Soluția actuală utilizează rețeaua GSM, necesitând o cartelă SIM care generează costuri lunare pentru a putea trimite SMS-uri. O variantă mai economică ar fi utilizarea unui shield cu LAN care să permită folosirea unei rețele de internet pentru a trimite e-mailuri de alarmare. Soluția folosită în prezent este potrivită pentru locațiile care nu beneficiază de legătură la internet.

Acest proiect evidențiază potențialul tehnologiilor IoT și al platformei Arduino în automatizarea și securizarea locuințelor sau a spațiilor industriale. Sistemul poate fi extins și adaptat cu ușurință pentru aplicații diverse, precum monitorizarea bazinelor de acumulare, controlul irigațiilor sau integrarea în sisteme de management al clădirilor inteligente. Prin urmare, proiectul nu doar că răspunde unei nevoi reale, dar oferă și o bază solidă pentru viitoare îmbunătățiri și dezvoltări.

BIBLIOGRAFIE



1. Banzi, M. (2011). *Getting Started with Arduino*. Maker Media, Inc.
2. SIMCom Wireless Solutions. (2015). *SIM800 Series Hardware Design*.
3. Monk, S. (2016). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. McGraw-Hill
4. Education. *Oficial Arduino* - www.arduino.cc
5. *Documentație modul GSM SIM800L* – accesată online.
6. *Send Receive SMS & Call with SIM800L GSM Module & Arduino* - <https://lastminuteengineers.com/sim800l-gsm-module-arduino-tutorial/>
7. *How Water Level Sensor Works and Interface it with Arduino* - <https://lastminuteengineers.com/water-level-sensor-arduino-tutorial/>
8. *How to use a Buzzer* - <https://www.ardumotive.com/how-to-use-a-buzzer-en.html>
9. *Solenoid Driver Circuit* – Short <https://www.youtube.com/watch?v=txts2dnobfc>



SISTEM DE ÎNREGISTRARE A UNUI SET DE TREI TEMPERATURI AVÂND LA BAZĂ PLACA ARDUINO UNO R3

Autor

Andrei I. TIA¹

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:andreitia2003@gmail.com](mailto:andreitia2003@gmail.com)

Îndrumător

Ș.l.dr.ing. Teodor Valeriu CHIRA²

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:teodor.chira@insta.utcluj.ro](mailto:teodor.chira@insta.utcluj.ro)

REZUMAT: Prezenta lucrare tratează dezvoltarea unui sistem de înregistrare a fluctuațiilor de temperatură utilizând microcontrollerul Arduino Uno r3. Placa citește datele de temperatură cu ajutorul a trei senzori DS18B20 și le stochează pe un card SD, permițând analiza ulterioară a acestora. Articolul prezintă modul de construcție al sistemului, selecția componentelor hardware, programarea microcontrollerului, domeniile de utilizare ale acestuia, precum și analiza datelor culese. Totodată se detaliază și posibilități de extindere și îmbunătățire a sistemului. Rezultatele experimentale ne oferă informații despre precizia și fiabilitatea sistemului, punând în evidență avantajele utilizării unei plăci Arduino în aplicații de monitorizare a temperaturii pentru proiecte educaționale și cercetări de mică amploare.

Cuvinte cheie: Arduino, senzori de temperatură, centrală termică, DataLogger

1. Introducere

În contextul economic actual, eficiența energetică a clădirilor reprezintă o problemă majoră, atât pe plan economic, cât și din motive de mediu. Majoritatea locuințelor unifamiliale folosesc sisteme de încălzire și de preparare a apei calde menajere bazate pe centrale termice murale care utilizează ca și combustibil gazul metan (2.5 milioane de locuințe) [1]. Din punct de vedere al automatizării funcționării, cea mai mare parte dintre aceste sisteme se bazează pe un termostat, care se poate ajusta doar în funcție de temperatura mediului interior în care este amplasat. Utilizatorul obișnuit nu are o vedere de ansamblu asupra distribuției temperaturilor din diferite încăperi ale locuinței, a ciclurilor de funcționare a microcentralei murale în funcție de temperatura setată a agentului termic pe tur, respectiv corelația acestor valori cu temperatura exterioară. Prin citirea a trei temperaturi diferite (temperatura exterioară, temperatura interioară și temperatura agentului termic pe conducta de tur) și înregistrarea acestora într-o bază de date locală putem optimiza funcționarea centralei termice astfel încât eficiența acesteia să crească și consumul de combustibil gazos să scadă, fără a limita confortul ocupanților. Pentru realizarea acestor măsurători, prezentul studiu își propune realizarea unui prototip bazat pe placa Arduino Uno r3, care împreună cu 3 senzori digitali de temperatură DS18B20, un ecran LCD 20x4 caractere și un Shield DataLogger (care înglobează un ceas de timp real și un card de memorie), să înregistreze local valori de temperatură pe durata mai multor zile și să le afișeze către utilizatori [2]. Prototipul este ușor de montat și implementat, având un cost redus.

2. Elemente componente

2.1 Placa Arduino Uno r3

După părerea multor pasionați de electronică și programare, Arduino Uno este cea mai bună placă pentru inițierea în acest domeniu. Arduino Uno face parte dintr-o familie de plăci open-source de dezvoltare cu microcontrolere bazate pe cipuri ATmega. Placa este echipată cu seturi de pini de intrare și ieșire, digitali și analogici, care facilitează conectarea rapidă și eficientă cu alte echipamente electronice. Placa conține 14 pini digitali și 6 pini analogici și este programabilă într-un limbaj C++ special adaptat, folosind mediul Arduino IDE instalat pe un laptop, comunicația



realizându-se prin intermediul unui cablu USB. „Creierul” plăcii îl constituie microprocesorul ATmega328P care funcționează cu o tensiune de operare de 5V. Microprocesorul, pe baza instrucțiunilor primite prin intermediul unui cod sursă încărcat în plăcuță, poate să primească sau să trimită semnale digitale sau analogice prin intermediul cărora sunt controlați senzorii și celelalte echipamente electronice [3].

2.2 Modulul *Shield DataLogger*

Modulul DataLogger este un echipament care se atașează direct pe placa Arduino prin intermediul unor pini, extinzând capacitățile acesteia cu funcții necesare pentru înregistrarea datelor. Acesta este compus dintr-un ceas de timp real și un modul care salvează datele citite pe un card SD. Practic, el înregistrează temperaturile furnizate de către cei 3 senzori de temperatură și le scrie pe cardul de memorie, menționând totodată ora și data efectuării măsurătorilor. Pe de altă parte, modulul DataLogger permite interoperabilitatea între echipamentele pe care le conține, nemaifiind nevoie de conectarea acestora prin intermediul unui breadboard, asigurându-se în același timp tensiunea de alimentare a modulelor prin intermediul unei surse de alimentare de 3,3 V existentă pe această placă.

2.3. Ecranul LCD 20x4 cu interfață I2C

Ecranul este un afișaj LCD (Liquid Crystal Display) și are rolul de a prezenta utilizatorului informații sub formă de text asupra măsurătorilor, în timp real. Acesta poate afișa simultan o matrice de 20 de caractere pe 4 rânduri, oferind suficient spațiu pentru afișarea datei, orei și a valorilor celor trei temperaturi pe care senzorii le înregistrează pe cardul de memorie. Pentru a simplifica conectarea ecranului la plăcuța de bază am folosit un modul adaptor I2C, cu scopul reducerii numărului de fire necesare comunicării. Astfel, modulul I2C este montat pe spatele ecranului și permite reducerea numărului de conexiuni între ecran și Arduino la 4 fire, 2 pentru alimentare și 2 pentru semnal [4].

2.4. Senzorii de temperatură DS18B20

Modulul DS18B20 este un senzor de temperatură digital. Acesta permite citirea valorilor de temperatură în intervalul -55°C și $+125^{\circ}\text{C}$ cu precizie de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ și oferă datele în format digital printr-un protocol de comandă 1-Wire care permite utilizarea aceluiași cablu de semnal pentru mai mulți senzori [5].

2.5 Alte elemente componente

Pentru a asigura conexiunea și comunicarea între toate modulele și microcontroler, s-au utilizat fire de conectare (jumper wires) și un breadboard. Acestea ne ajută să realizăm montaje ușor, fără a fi necesare lipituri și să păstrăm o asamblare demontabilă a prototipului. În cazul senzorilor de temperatură, pentru o funcționare corectă a conexiunilor 1-Wire este necesară conectarea unei rezistențe de $4,7\text{k}\Omega$, de tip pull-up între pinul de date și tensiunea de alimentare.

3. Modul de funcționare

Prototipul a fost realizat cu scopul de a monitoriza și de a înregistra în timp real temperaturile în trei puncte diferite: în interiorul clădirii, în exteriorul acesteia și pe conducta de tur a centralei termice murale pe gaz. Modulul funcționează în mod independent, fiind alimentat direct de la priză, prin intermediul unei surse de 9V. În timpul funcționării, acesta permite atât înregistrarea temperaturilor, cât și vizualizarea lor în timp real cu ajutorul unui ecran. După ce plăcuța este alimentată, la pornirea acesteia se inițializează senzorii de temperatură, modulul de timp real, modulul de stocare al datelor pe cardul SD și ecranul LCD. Totodată, pe baza instrucțiunilor prevăzute în cod, microcontrolerul verifică comunicația dintre cardul SD și ceasul de timp real, furnizând date către placă. În prima etapă, se trimit comenzi spre senzori pentru a măsura temperaturile (în grade Celsius) și pentru a le returna către cardul SD. Datele obținute sunt stocate într-un fișier de tip text, sub formă de numere reale cu două zecimale, separate între ele prin virgulă (formatul CSV= *Comma Separated Values*) [6]. Senzorii de temperatură efectuează câte o



măsurătoare la fiecare 10 secunde. Informațiile obținute sunt afișate pe ecranul LCD în grade Celsius, împreună cu data și ora la care au fost citite. Ecranul își actualizează datele afișate la fiecare 10 secunde, când sunt efectuate din nou măsurători. Simultan, după înregistrarea fiecărui set de date, fișierul de pe card este închis pentru a se putea asigura integritatea datelor. Ciclul se reia din nou după zece secunde. Sistemul poate funcționa astfel mai multe zile la rând.

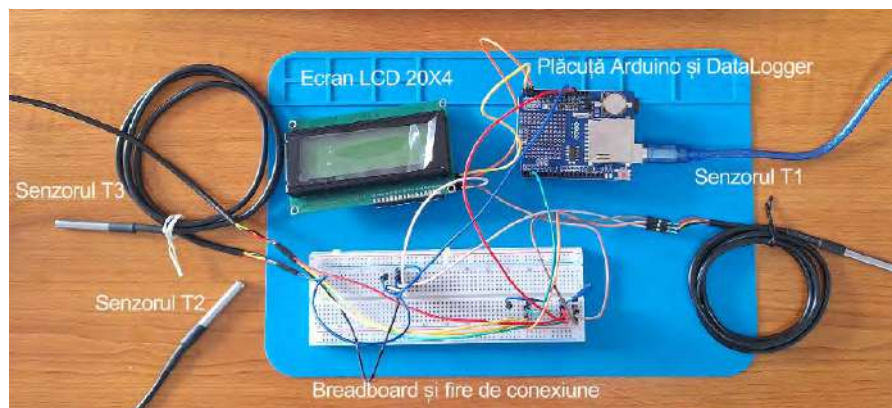


Figura 1. Realizarea montajului

4. Interpretarea datelor colectate – studiu de caz

După testarea inițială a prototipului în laboratorul facultății, acesta a fost instalat pentru a realiza un studiu de caz și a demonstra aplicabilitatea montajului într-o casă familială care folosește pentru încălzire o centrală murală cu combustibil gazos. Senzorul de temperatură interioară a fost montat în aceeași cameră cu termostatul care comandă funcționarea centralei termice. Pe întreaga perioadă a măsurătorilor care s-a întins timp de cinci zile, termostatul a fost setat pe temperatura de 22°C. Senzorul de temperatură exterioară a fost montat în exteriorul clădirii, pe pervazul camerei care găzduiește termostatul, iar cel de-al treilea senzor de temperatură pe conducta de tur a centralei termice. Sensorii au fost așezați în spații umbrite, ferite de lumina soarelui, pentru o măsurătoare cât mai precisă. După cinci zile de măsurători am obținut 47438 linii de date de tip CSV, structura fișierului de pe cardul SD fiind prezentată în Figura 2. Aceste date au fost apoi introduse într-un fișier Excel, în care am realizat mai multe grafice de tip *Scatter with smooth lines*.

```
Timp, T1, T2, T3
2025-04-07 22:11:41, 22.00, 0.19, 32.25
2025-04-07 22:11:52, 22.00, 0.37, 32.19
2025-04-07 22:12:02, 22.00, 0.44, 32.06
2025-04-07 22:12:13, 22.00, 0.44, 31.94
2025-04-07 22:12:24, 22.00, 0.50, 31.87
2025-04-07 22:12:35, 22.00, 0.56, 31.81
2025-04-07 22:12:45, 22.00, 0.50, 31.75
2025-04-07 22:12:56, 22.00, 0.50, 31.75
2025-04-07 22:13:07, 22.00, 0.50, 31.62
2025-04-07 22:13:17, 22.00, 0.56, 31.62
2025-04-07 22:13:28, 22.00, 0.56, 31.62
2025-04-07 22:13:39, 22.00, 0.56, 31.62
```

Figura 2. Datele obținute în urma măsurătorilor în format CSV

Primul grafic (Figura 3) care ilustrează variația globală a temperaturilor pe toți cei 3 senzori, cuprinde toate măsurătorile efectuate în perioada 8-13 aprilie. După cum se observă, reprezentarea valorilor de temperatură ale senzorului T3 are o alură de tip „dinți de fierăstrău”, care evidențiază ciclurile de pornire-oprire ale centralei, de-a lungul întregii perioade. Am decupat graficul global în mai multe grafice corespunzătoare fiecărei zile pentru a analiza mai atent variația temperaturilor indicate de fiecare senzor în parte. Variația temperaturilor interioare nu a indicat ceva spectaculos în intervalul 20-22°C, în schimb variația temperaturilor exterioare m-a determinat să urmăresc valorile maxime ale senzorului T2, aceste vârfuri manifestându-se de obicei în fiecare zi în intervalul orar 13-15. De exemplu, Figura 5 prezintă situația acestor variații în ziua de 8 aprilie.

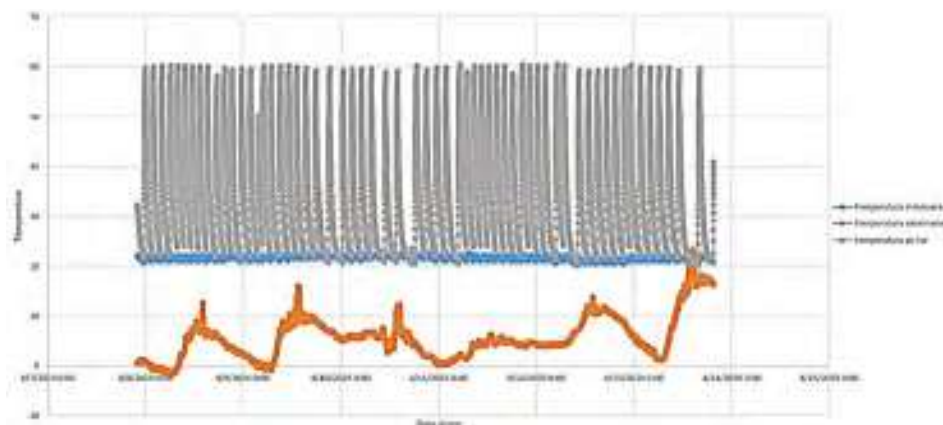


Figura 3. Variația temperaturilor înregistrate în perioada 8-13 aprilie

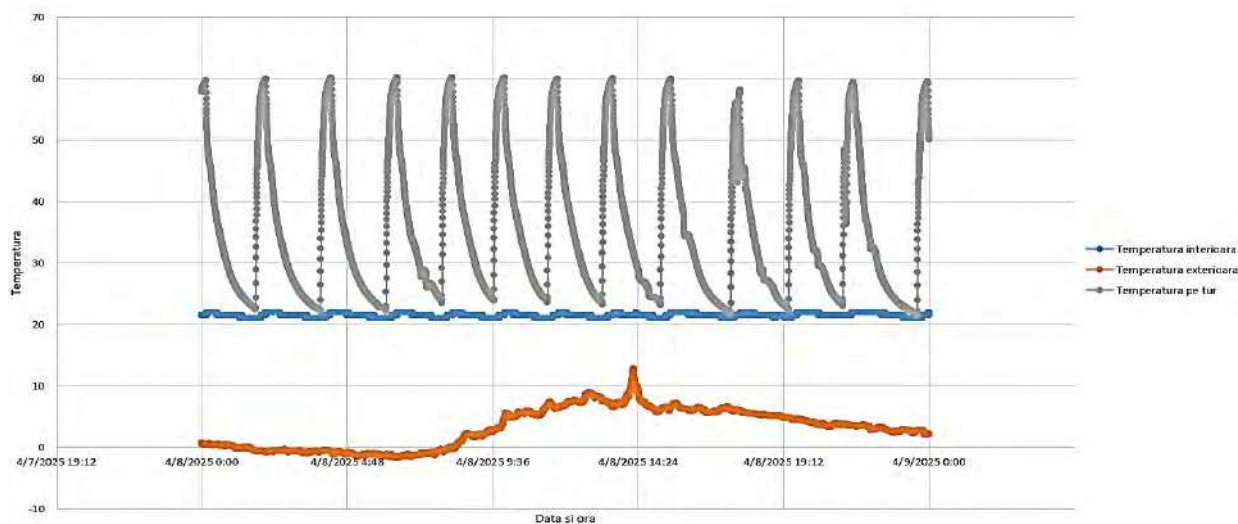


Figura 4. Variația temperaturilor înregistrate în data de 8 aprilie (cea mai friguroasă zi)

Prin intermediul graficelor putem observa că valoarea minimă a temperaturii interioare a fost de 20° C. Aceasta este și valoarea la care termostatul amplasat în interiorul locuinței a comandat pornirea centralei termice, așa cum era de așteptat. Valoarea maximă a temperaturii interioare a fost de 22° C, valoare care corespunde cu momentul opririi centralei termice.

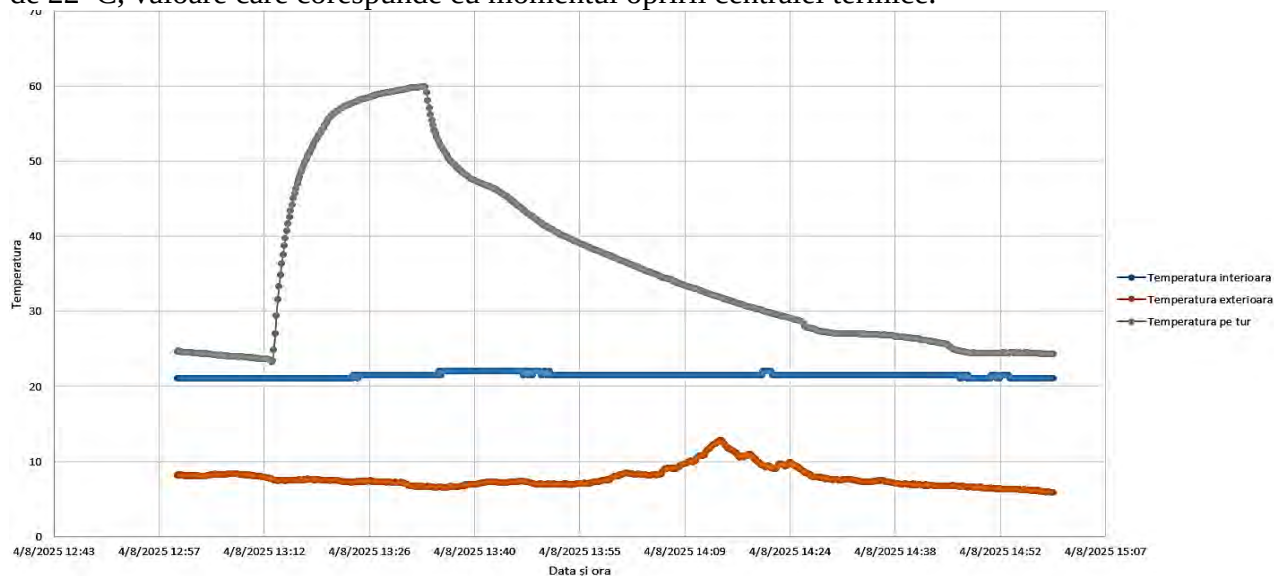


Figura 5. Variația temperaturilor înregistrate în data de 8 aprilie între orele 13 și 15

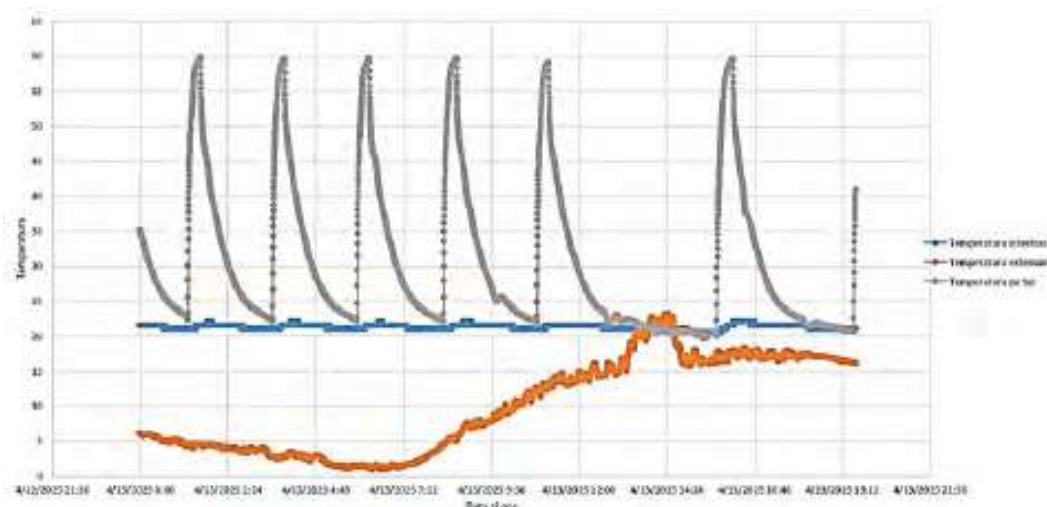


Figura 6. Variația temperaturilor înregistrate în data de 13 aprilie (cea mai caldă zi)

Din Figura 4 și Figura 6 putem observa că în cea mai friguroasă zi (8 aprilie) numărul pornirilor centralei termice a fost de 13, comparativ cu 7 în cea mai caldă zi (13 aprilie), lucru care evidențiază corespondența dintre temperatura exterioară, temperatura interioară și numărul de porniri ale centralei. Se mai poate observa că temperatura citită de senzorul din interiorul locuinței este aproximativ constantă în jurul valorii de 22°C. Pornirile centralei sunt evident corelate cu scăderea temperaturii interioare, lucru vizibil în toate graficele. În momentul în care centrala pornește, temperatura pe tur începe să crească până la valoarea de 60°C. Odată ce temperatura interioară a ajuns la valoarea setată de termostat, centrala se oprește, iar temperatura pe tur începe să scadă, acest ciclu fiind ilustrat de Figura 5. Figura 5 scoate în evidență inerția procesului de încălzire și durata acestui ciclu, deoarece odată cu oprirea centralei termice, corpurile radiante încă mai cedează căldură mediului ambiant timp de 87 de minute (în medie). În ziua de 13 aprilie temperaturile exterioare au fost mai mari, rezultând un număr mai mic de porniri ale instalației de încălzire. În această zi, între orele 12 și 16 se poate observa că centrala termică nu a mai pornit, temperatura agentului termic având o valoare mai mică decât temperatura interioară. În acest interval orar, temperatura interioară crește cu un grad Celsius ieșind în evidență aportul de căldură pe care clădirea îl primește prin intermediul radiației solare. Temperatura interioară maximă de 22°C, s-a înregistrat la orele 16.



5. Codul sursă corespunzător prototipului

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <OneWire.h>
3 #include <DallasTemperature.h>
4 #include <SD.h>
5 #include <RTClib.h>
6 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
7
8 #define ONE_WIRE_BUS 2 // Pin pentru toti cei 3 senzori DS18B20
9 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
10 DallasTemperature sensors(&oneWire);
11 RTC_DS3231 rtc;
12 // LCD I2C (adresa poate fi 0x27 sau 0x3F, în funcție de modulul tău)
13 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
14
15 File myFile;
16
17 void setup() {
18   Serial.begin(9600);
19
20   // Initializare senzori de temperatură
21   sensors.begin();
22
23   // Initializare RTC
24   if (!rtc.begin()) {
25     Serial.println("Nu am putut găsi RTC!");
26     while (1);
27   }
28   if (rtc.lostPower()) {
29     rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
30   }
31
32   // Initializare card SD
33   if (!SD.begin()) {
34     Serial.println("Cardul SD nu a fost găsit!");
35     return;
36   }
37
38   myFile = SD.open("temp_log.txt", FILE_WRITE);
39   if (myFile) {
40     myFile.println("Temp, T1, T2, T3");
41     myFile.close();
42   }
43
44   // Initializare LCD 20x4
45   lcd.begin(20, 4);
46   lcd.backlight();
47   lcd.print("Initializare...");
48   delay(2000);
49 }
50
51 void loop() {
52   sensors.requestTemperatures();
53
54   float t1 = sensors.getTempCByIndex(0);
55   float t2 = sensors.getTempCByIndex(1);
56   float t3 = sensors.getTempCByIndex(2);
57
58   // Afisare pe serial
59   Serial.print("T1: "); Serial.print(t1); Serial.print(" °C, ");
60   Serial.print("T2: "); Serial.print(t2); Serial.print(" °C, ");
61   Serial.print("T3: "); Serial.print(t3); Serial.println(" °C");
62
63   // Data si ora curente
64   DateTime now = rtc.now();
65   char timestamp[20];
66   sprintf(timestamp, "%04d-%02d-%02d %02d:%02d:%02d",
67           now.year(), now.month(), now.day(),
68           now.hour(), now.minute(), now.second());
69
70   // Salvare în fisier SD
71   myFile = SD.open("temp_log.txt", FILE_WRITE);
72   if (myFile) {
73     myFile.print(timestamp);
74     myFile.print(", ");
75     myFile.print(t1); myFile.print(", ");
76     myFile.print(t2); myFile.print(", ");
77     myFile.println(t3);
78     myFile.close();
79   }
```

Figura 7. Codul sursă al prototipului (adaptare după [7])

6. Concluzii

Prin intermediul acestui studiu a fost realizat un prototip pentru monitorizarea temperaturii în trei zone distincte (temperatura interioară, temperatura exterioară, temperatura agentului termic pe conducta de tur). Sistemul a fost realizat utilizând platforma Arduino și o serie de module periferice. Proiectul a fost dezvoltat pornind de la nivelul începător în ceea ce privește cunoștințele despre microcontrolere, programare și achiziție de date. În acest mod realizarea sa a constituit un proces educațional complex, care a permis dobândirea de competențe în domeniul electronicii aplicate și al dezvoltării de prototipuri. În perspectivă, prototipul poate fi îmbunătățit prin adăugarea mai multor senzori de temperatură pe firul 1-Wire, care să achiziționeze și să transmită date și din alte încăperi ale locuinței. În urma analizării datelor s-a putut observa că în ciuda variațiilor mari ale temperaturilor exterioare, temperatura interioară a rămas relativ constantă datorită termostatului amplasat în aceeași cameră. Se observă și o modificare mai rapidă a temperaturii interioare odată cu variațiile temperaturii exterioare, mai ales în perioada de noapte. Acest aspect scoate în evidență o izolație termică nu tocmai performantă a clădirii studiate și pierderi semnificative de căldură pe care centrala tinde să le compenseze prin creșterea numărului de porniri-opriri pentru a asigura confortul ocupanților.



BIBLIOGRAFIE

1. *Cum se încălzește România, al doilea cel mai mare producător de gaze din UE* [Interactiv]. Available: <https://www.zf.ro/companii/cum-se-incalzeste-romania-al-doilea-cel-mai-mare-producator-de-gaze-20285217>. [Accesat 29 04 2025].
2. Milovan Medojevic et al, *A Conceptual Solution of Low-Cost Temperature Data Logger With Relatively High Accuracy*, International Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 9, nr. 1, pp. 53-58, 2018. https://www.researchgate.net/publication/325554284_A_conceptual_solution_of_low-cost_temperature_data_logger_with_relatively_high_accuracy [Accesat 29 04 2025]
3. *Arduino* [Interactiv]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>. [Accesat 29 04 2025].
4. *I2C Liquid Crystal Displays* [Interactiv]. Available: https://projecthub.arduino.cc/arduino_uno_guy/i2c-liquid-crystal-displays-5eb615. [Accesat 29 04 2025].
5. <https://www.instructables.com/Arduino-Data-Logger-With-2-DS18B20-and-Sample-Rate/>. [Accesat 29 04 2025].
6. *Comma-separated values* [Interactiv]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values. [Accesat 29 04 2025].
7. *Adafruit Data Logger Shield Code Walkthrough* [Interactiv]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/using-the-real-time-clock-3>. [Accesat 29 04 2025].



ANALIZA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI OPTIMIZAREA SISTEMULUI FOTOVOLTAIC INSTALAT PENTRU CLĂDIREA FACULTĂȚII DE INGINERIE A INSTALAȚIILOR DIN CLUJ-NAPOCA

Autori

Alin I. CHIOREAN¹, Andras VIG², Attila SZEREDAI³

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
achiorean16@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
andrasvig.av@gmail.com

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
attilaszeredai@yahoo.com

Îndrumător

Conf.dr.ing. Călin Nicolae CIUGUDEANU⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
calin.ciugudeanu@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea analizează consumul de energie electrică al clădirii Facultății de Inginerie a Instalațiilor, din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, evidențiind valorile medii, minime și maxime înregistrate pe parcursul unui an. Au fost identificați și principalii factori care influențează variațiile acestuia: gradul de ocupare al clădirii, utilizarea echipamentelor destinate asigurării confortului termic și fluctuațiile sezoniere ale temperaturii. Pentru optimizarea consumului și reducerea dependenței de rețeaua electrică, s-a decis implementarea unui sistem fotovoltaic cu o putere instalată de 4,85 kW ca și un proiect pilot. Această soluție nu doar că contribuie la scăderea costurilor energetice, dar sprijină și tranziția către sursele de energie sustenabile. În prezent, panourile fotovoltaice sunt montate la un unghi de 90 de grade pe fațada clădirii, ceea ce poate influența eficiența conversiei energiei solare. Utilizând softul PVGIS 5.3, a fost analizată producția de energie electrică în această configurație și s-au explorat scenarii alternative pentru optimizarea randamentului prin ajustarea unghiului de înclinare și a poziționării panourilor. Studiul include o evaluare a impactului economic și ecologic al implementării acestui sistem, oferind perspective asupra perioadei de amortizare a investiției și asupra reducerii emisiilor de carbon.*

Cuvinte cheie: sustenabilitate, panouri fotovoltaice, energie, eficiență energetică.

1. Introducere

În contextul actual marcat de creșterea preocupărilor legate de eficiența energetică și sustenabilitatea mediului, analiza consumului de energie în clădiri publice devine tot mai relevantă. Instituțiile de învățământ superior, prin natura lor complexă și dimensiunea considerabilă a infrastructurii, oferă oportunități semnificative de optimizare a resurselor energetice. Prezenta lucrare își propune să analizeze consumul de energie electrică al clădirii Facultății de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, având ca obiectiv identificarea principalelor influențe asupra acestuia și evaluarea unor soluții sustenabile de reducere a consumului.

Pe parcursul unui an calendaristic, au fost urmărite valorile medii, minime și maxime ale consumului de energie, corelate cu factori precum gradul de ocupare al clădirii, utilizarea echipamentelor pentru confort termic și variațiile sezoniere de temperatură. Pentru a răspunde cerințelor tot mai stringente privind eficiența energetică, a fost implementat un proiect pilot ce presupune utilizarea unui sistem fotovoltaic cu o putere instalată de 4,85 kW. Acest sistem reprezintă un pas important spre reducerea dependenței de rețeaua electrică și sprijinirea tranziției către surse regenerabile de energie.

Montarea panourilor fotovoltaice pe fațada clădirii, la un unghi de 90 de grade, a oferit contextul ideal pentru analiza performanțelor în această configurație și pentru explorarea unor scenarii alternative de optimizare, utilizând platforma PVGIS 5.3. Lucrarea include o evaluare atât tehnică, cât și economică și ecologică a soluției implementate, oferind o imagine de ansamblu asupra impactului pe



termen lung și a beneficiilor potențiale în ceea ce privește reducerea emisiilor de carbon și amortizarea investiției.

2. Studiu de caz – Sistemul fotovoltaic al Facultății de Inginerie a Instalațiilor

Pentru acest studiu de caz a fost analizată clădirea Facultății de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, situată pe Bulevardul 21 Decembrie 1989, nr. 128-130. Clădirea principală are un regim de înălțime P+3E și o suprafață utilă totală de 4776 m², fiind completată de un corp de laboratoare cu regim P+E.

În vederea evaluării potențialului de producție fotovoltaică și a eficienței energetice, s-a propus instalarea unui sistem compus din panouri fotovoltaice de la compania Vertex S, model TSM-415 DE09R.05. Acestea au următoarele caracteristici tehnice:

- Putere de vârf: 415 Wp
- Toleranță de putere: 0/+5W
- Tensiune la puterea maximă (VMPP): 41.7 V
- Curent la puterea maximă (IMPP): 9.94 A
- Tensiune în circuit deschis (VOC): 50.0 V
- Curent de scurtcircuit (ISC): 10.55 A
- Eficiența modului: 20.8 %

Pentru conversia curentului continuu în curent alternativ, sistemul este dotat cu un invertor de la producătorul Sungrow, model SH5.0RS, care dispune de următoarele specificații:

- Putere maximă de intrare PV recomandată: 7500 Wp
- Tensiune maximă de intrare PV: 600 V
- Putere nominală de ieșire AC: 5000 W
- Curent maxim de ieșire AC: 22.8 A
- Tensiune de ieșire AC: 230 V

Energia produsă este stocată într-un sistem de baterii marca Sungrow, model SBR064, format din două module. Acest sistem de stocare utilizează tehnologia LiFePO₄ (celule prismatice) și are următoarele caracteristici:

- Capacitate pe modul: 2 x 3.2 kWh (greutate: 33 kg)
- Energie totală utilizabilă: 6.4 kWh (5.12 kWh real)
- Tensiune nominală: 128 V
- Interval de tensiune de operare: 108 V – 146 V

Acest sistem pilot este menit să optimizeze consumul energetic al clădirii, să reducă dependența de rețeaua electrică publică și să contribuie la sustenabilitatea energetică a instituției.



Figura 1. Reprezentarea sistemului de panouri fotovoltaice.



Figura 2. Reprezentarea invertorului și bateriei de stocare

3. Evoluția consumului de energie electrică și importanța implementării soluțiilor durabile

În perioada 2022–2024, consumul de energie electrică al clădirii Facultății de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca a înregistrat o creștere constantă, evidențiind un trend ascendent care necesită atenție sporită. Analiza datelor arată o sezonabilitate pronunțată, caracterizată prin scăderi ale consumului în lunile de vară și creșteri semnificative în sezonul rece, determinate în principal de utilizarea intensivă a echipamentelor pentru asigurarea confortului termic și de variațiile în gradul de ocupare a spațiilor.

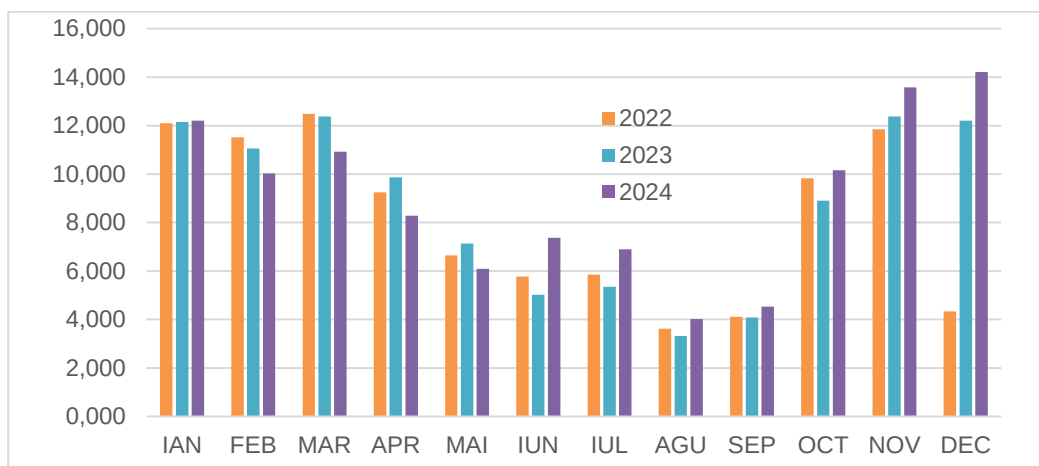


Figura 3. Evoluția consumului lunar de energie electrică pentru perioada 2022–2024

Această dinamică a consumului energetic subliniază necesitatea adoptării unor măsuri de optimizare, în special prin implementarea de soluții durabile. Introducerea și eficientizarea sistemelor de producere a energiei din surse regenerabile, precum panourile fotovoltaice, devin prioritare pentru reducerea dependenței de rețeaua națională și pentru diminuarea costurilor operaționale. În plus, utilizarea acestor tehnologii contribuie la alinierea instituției la obiectivele de sustenabilitate și protecție a mediului [1].

Tabelul 1. Compararea consumului anual de energie electrică – valori medii, minime și maxime lunare (2022–2024)

Indicator	2022	2023	2024
Consum total [MWh]	97,36	103,86	108,33
Consum mediu lunar [MWh]	8,05	7,85	9,11



Consum maxim lunar [MWh]	12,48 (Mar)	12,38 (Mar)	14,21 (Dec)
Consum minim lunar [MWh]	3,61 (Aug)	3,32 (Aug)	4,01 (Aug)

Astfel, optimizarea consumului de energie prin integrarea surselor regenerabile nu reprezintă doar o soluție economică, ci și un angajament față de tranziția către un viitor mai verde și responsabil din punct de vedere energetic [1].

4. Simularea producției de energie electrică utilizând PVGIS 5.3

Pentru estimarea producției de energie electrică a sistemului fotovoltaic instalat, a fost utilizat softul specializat PVGIS 5.3. Procesul de simulare a început cu selectarea locației exacte a clădirii Facultății de Inginerie a Instalațiilor, urmată de definirea tipului de sistem fotovoltaic analizat. Ulterior, au fost introduși parametrii principali, respectiv puterea fotovoltaică instalată, orientarea sistemului (azimutul), precum și pierderile de sistem estimate la un procent de 14%.

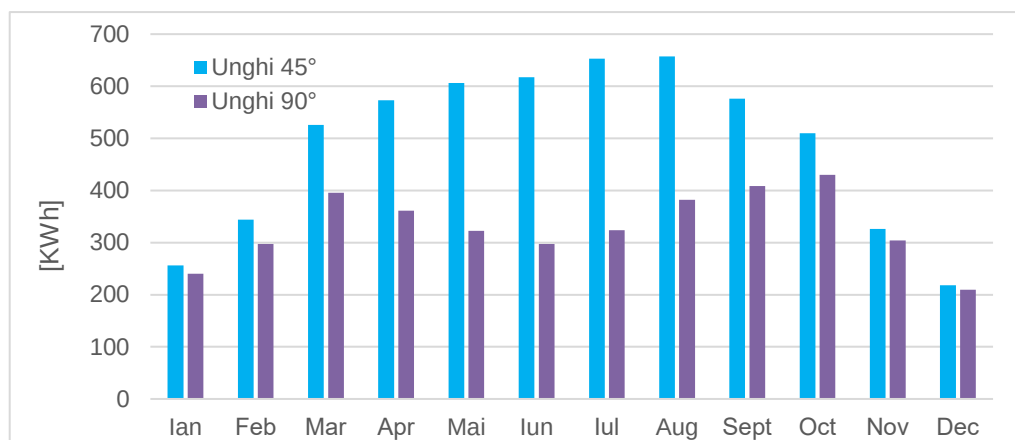


Figura 4. Analiză cu softul PVGIS 5.3 a performanței energetice în două configurații fotovoltaice.

În cadrul analizei au fost realizate două simulări distincte: prima utilizând configurația actuală, cu panourile montate vertical, la un unghi de înclinare de 90°, și a doua simulare considerând o înclinare optimizată de 45°. Rezultatele au evidențiat o creștere semnificativă a producției de energie electrică în cazul celei de-a doua configurații, cu un aport energetic cu aproximativ 33% mai mare comparativ cu situația inițială [2].

Totuși, analiza detaliată a arătat că majoritatea surplusului de energie generat la înclinarea de 45° apare preponderent în lunile de vară, perioadă în care consumul de energie electrică al clădirii este semnificativ mai redus. În acest context, pentru valorificarea eficientă a energiei produse, se propune conectarea sistemului fotovoltaic la rețeaua electrică națională. Această soluție ar permite livrarea excedentului de energie în rețea, contribuind astfel la rentabilizarea investiției și la promovarea utilizării surselor regenerabile în sistemul energetic național [1] [2].

5. Analiza producției reale de energie electrică utilizând platforma iSolarCloud

Pentru monitorizarea și evaluarea producției reale de energie electrică a sistemului fotovoltaic instalat, a fost utilizată platforma digitală iSolarCloud, un instrument avansat dedicat supravegherii performanțelor instalațiilor solare. Prin intermediul acestei platforme, a fost posibilă urmărirea în timp real atât a producției de energie, cât și a consumului de energie electrică aferent circuitului deservit de panourile fotovoltaice. În urma analizei datelor înregistrate pentru luna aprilie, s-a constatat că sistemul fotovoltaic a generat o cantitate totală de aproximativ 215,5 kWh. În aceeași perioadă, consumul total



aferent circuitului alimentat de sistem a fost de 448,9 kWh. Aceste rezultate indică faptul că aproximativ 48% din necesarul energetic al circuitului a fost acoperit din surse regenerabile, respectiv din energia produsă de panourile solare [3].



Figura 5. Analiza producției și consumului pentru ziua 30 aprilie 2025, folosind iSolarCloud.

Conform datelor prezentate în figura 4, aferente zilei de 30 aprilie 2025, sistemul fotovoltaic a generat un total de 10,5 kWh de energie electrică. În aceeași perioadă, consumul total înregistrat pe tabloul electric a fost de 13,1 kWh, rezultând un deficit de 2,6 kWh care a fost compensat prin preluare din rețeaua națională. Bateria a fost încărcată complet pe parcursul zilei, beneficiind de producția fotovoltaică maximă, și a furnizat energie în mod treptat atât în timpul zilei, cât și în intervalul serii, acoperind consumul atunci când panourile nu mai produceau. Astfel, în ansamblu, sistemul fotovoltaic împreună cu unitatea de stocare a reușit să acopere aproximativ 80% din necesarul energetic al tabloului în acea zi, demonstrând o eficiență ridicată în utilizarea surselor regenerabile locale.

6. Costurile și perioada de amortizare a sistemului fotovoltaic

Pentru un sistem fotovoltaic cu o putere instalată de 4,85 kW, implementat în cadrul clădirii Facultății de Inginerie a Instalațiilor, costul total de achiziție și instalare se situează, în jurul valorii de **30.000 lei**, în funcție de prețurile echipamentelor, manopera și costurile auxiliare (sisteme de prindere, automatizări, cabluri, protecții etc.). Sistemul analizat include panouri fotovoltaice de tip Vertex S TSM-415, invertor Sungrow SH5.0RS și baterie SunGrow SBR064.

În contextul actual al pieței, un client noncasnic plătește cca. **1,3 lei/kWh** pentru energia electrică (în funcție de contractul de furnizare). Dacă sistemul produce în medie 330 kWh/lună, rezultă o economie lunară de aproximativ **429 lei**, în funcție de gradul de autoconsum și de injectarea în rețea. Prin urmare, dacă $3971,9 \text{ kWh} \times 1,3 \text{ lei/kWh} = 5163,47 \text{ lei}$, împărțim valoarea investiției la suma economisită timp de un an astfel perioada de amortizare a investiției este estimată la **6 ani**, în condițiile unui autoconsum ridicat și a livrării surplusului în rețea printr-un contract de prosumator. Această durată poate fi redusă în cazul în care se accesează scheme de sprijin, cum ar fi fonduri nerambursabile pentru companii, programe de eficiență energetică sau deduceri fiscale [1] [4] [5].

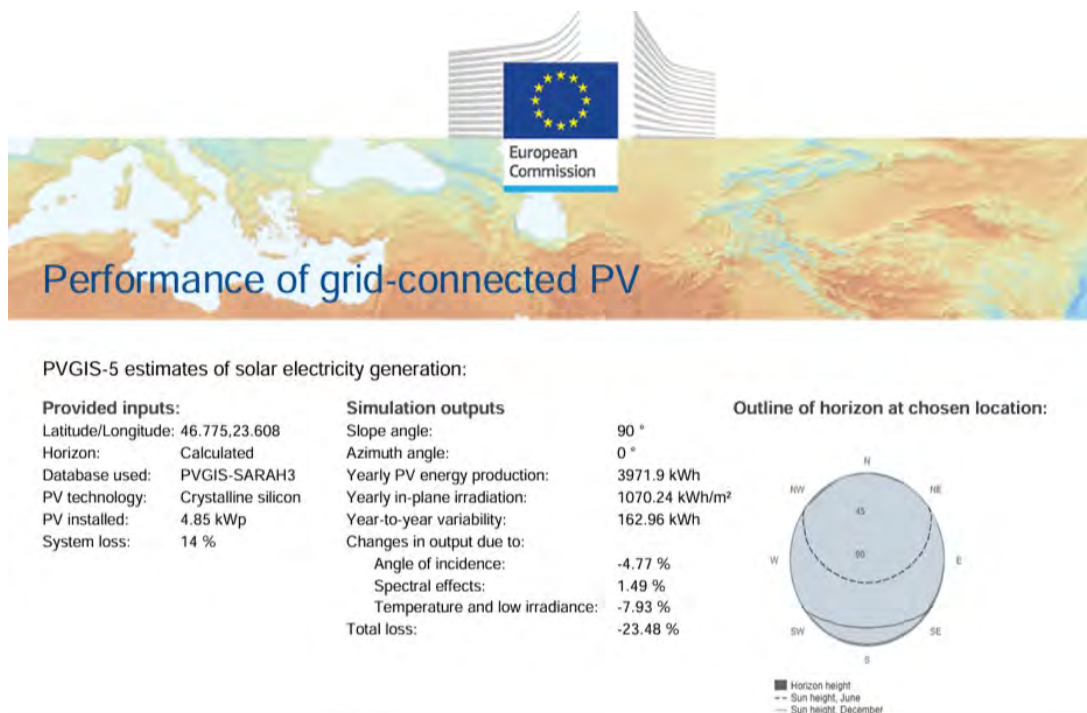


Figura 6. Simularea producției energiei electrice timp de un an folosind PVGIS 5.3

Pe lângă beneficiile economice, această producție de energie sustenabilă a avut un impact pozitiv și asupra mediului. **Conform mixului energetic din România**, din 2023 (valabil și astăzi cu mici variații), aproximativ **38,85%** din energie provine din surse cu emisii ridicate de carbon (cărbune, gaze naturale etc.), restul fiind surse cu emisii reduse (hidro, nuclear, eolian, solar, biomasă). Însă, pentru o **estimare uzuală** a reducerii emisiilor de CO₂ prin utilizarea panourilor solare, se folosește o valoare medie internațională a emisiilor evitate: **aproximativ 0,5 kg CO₂ economisit pentru fiecare 1 kWh produs din surse regenerabile** (valoare medie aplicată rețelelor cu un mix energetic ca al României). Rezultă astfel reduceri de $215,5 \text{ kWh} \times 0,5 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 108 \text{ kg CO}_2$ economisiți în luna aprilie. Pentru un an, prin montarea unui sistem fotovoltaic adaptat întregului consum al facultății, am obține o reducere a costurilor de cca. 140 000 lei/an și a emisiilor poluante de cca. **54 tCO₂/an**. Această scădere a amprentei de carbon reprezintă un pas important în direcția creșterii sustenabilității energetice a clădirii și alinierii la obiectivele de protecție a mediului [5] [6].

7. Corelare și analiză comparativă cu literatura de specialitate

Datele obținute în cadrul studiului de caz desfășurat la Facultatea de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca se aliniază cu concluziile prezentate în literatura de specialitate. Un exemplu elocvent este articolul publicat de Ordóñez Mendieta și Hernández (2021) în revista *Sustainability*, care analizează performanțele și impactul economic al sistemelor fotovoltaice instalate în clădiri educaționale și administrative din Spania.

Ambele studii evidențiază variații sezoniere a consumului energetic – cu valori maxime iarna și minime vara – și necesitatea corelării producției fotovoltaice cu profilul de consum al clădirii. În ambele cazuri, surplusul de energie produs în lunile cu insolație ridicată (vara) coincide cu o cerere energetică scăzută, ceea ce justifică necesitatea conectării sistemului la rețeaua națională pentru injectarea surplusului.

Un alt element comun este utilizarea platformelor digitale de monitorizare și analiză a producției reale, precum iSolarCloud în cazul facultății din Cluj-Napoca și sisteme de măsurare în timp real (în cazul universității din Ávila). Această monitorizare permite o evaluare exactă a gradului de autoconsum și autosuficiență, concepte esențiale și în articolul citat.

Din punct de vedere economic, studiile converg asupra unei perioade de amortizare a investiției situate între 5 și 9 ani, în funcție de puterea instalată, gradul de autoconsum și modelul de compensare adoptat. În articolul spaniol, amortizarea pentru sisteme între 30 și 80 kW se situează între 8 și 9 ani, în timp ce



În studiul realizat în România, perioada de recuperare a investiției este estimată între 5 și 7 ani, datorită costurilor mai mici și a nivelului ridicat de autoconsum în lunile analizate.

Ambele studii recomandă optimizarea unghiului de înclinare a panourilor fotovoltaice pentru maximizarea randamentului anual. În studiul de față, simulările PVGIS 5.3 au evidențiat o creștere cu 33% a producției în cazul unei înclinări de 45°, față de montajul vertical curent. În cazul analizat în Spania, panourile sunt deja instalate la 45°, ceea ce permite o performanță mai stabilă pe parcursul anului.

În final, atât studiul realizat în România, cât și cel din Spania, subliniază faptul că utilizarea panourilor fotovoltaice **în clădiri educaționale este nu doar fezabil din punct de vedere tehnic, ci și rentabil economic**, cu beneficii semnificative în ceea ce privește reducerea emisiilor de CO₂ și alinierea la cerințele de sustenabilitate impuse la nivel european [7].

8. Concluzii

Analiza consumului de energie electrică al clădirii Facultății de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca a evidențiat o tendință de creștere constantă a consumului în perioada 2022–2024, cu variații sezoniere semnificative: valori minime vara și maxime în sezonul rece. Aceste observații subliniază necesitatea optimizării consumului și adoptării unor soluții durabile pentru reducerea impactului asupra mediului și a costurilor operaționale.

Implementarea unui sistem fotovoltaic pilot cu o putere instalată de 4,85 kW reprezintă un pas important în această direcție. Simulările realizate prin intermediul platformei PVGIS 5.3 au demonstrat că ajustarea unghiului de înclinare a panourilor de la 90° la 45° poate crește producția de energie electrică cu aproximativ 33%. Totuși, această creștere a producției apare preponderent în lunile cu consum redus, ceea ce impune necesitatea integrării sistemului în rețeaua națională pentru valorificarea surplusului de energie.

Datele reale de producție, monitorizate prin platforma iSolarCloud, au arătat că în luna aprilie sistemul fotovoltaic a generat aproximativ 215,5 kWh, acoperind 48% din consumul circuitului alimentat. Această producție a dus la evitarea emisiei a circa 108 kg de dioxid de carbon (CO₂), demonstrând contribuția semnificativă a energiei solare la reducerea amprente de carbon. Succesul acestui sistem pilot oferă un model reaplicabil pentru alte clădiri universitare sau instituții publice, facilitând extinderea soluțiilor sustenabile la scară mai largă.

În concluzie, integrarea surselor regenerabile, optimizarea configurării sistemului fotovoltaic și conectarea la rețeaua națională sunt măsuri esențiale pentru creșterea eficienței energetice, reducerea costurilor și susținerea tranziției către un sistem energetic sustenabil și responsabil din punct de vedere ecologic.

9. Sprijin acordat în vederea implementării sistemului fotovoltaic

Mulțumim companiei ELBI pentru sprijinul acordat în realizarea proiectului pilot. Sponsorizarea oferită a contribuit în mod esențial la implementarea sistemului fotovoltaic și la promovarea sustenabilității în mediul academic.

BIBLIOGRAFIE

1. Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor – România. *Strategia Națională privind Schimbările Climatice și Dezvoltarea Sustenabilă*. <https://www.mmediu.ro>
2. *Performance of grid connected PV*. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
3. *iSolarCloud*. <https://web3.isolarcloud.eu/#/plantList>
4. ANRE - Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei. <https://www.anre.ro>
5. Electrica furnizare. <https://www.electrifurnizare.ro/>
6. Transelectrica. <https://www.transelectrica.ro/ro/web/tel/home>
7. Ordóñez Mendieta, Á. J., & Hernández, E. S. (2021). *Analysis of PV self-consumption in educational and office buildings in Spain*. Sustainability, 13(4), 1662. <https://doi.org/10.3390/su13041662>



STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN ORAȘUL HUEDIN, JUDEȚUL CLUJ

Autori

Mario Eduard SERAFIM¹, Cătălin Ștefan MILĂR²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail:marioserafim310@gmail.com](mailto:marioserafim310@gmail.com)

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail:mlarcatalin05@gmail.com](mailto:mlarcatalin05@gmail.com)

Îndrumător

Conf.Dr.Ing.Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro](mailto:Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro)

REZUMAT: Lucrarea prezintă rezultatele unui studiu experimental privind parametrii de calitate ai apei potabile din orașul Huedin, județul Cluj. Parametrii analizați în cadrul acestui studiu includ: pH-ul, conductivitatea electrică și solidele dizolvate totale. Scopul principal al cercetării este evaluarea conformității acestor parametri cu legislația și normele europene actuale referitoare la calitatea apei destinate consumului uman. Probele au fost prelevate din diverse zone ale orașului, atât din rețeaua de distribuție, cât și din izvoare naturale. Rezultatele obținute evidențiază variații minime în calitatea apei provenite din rețeaua de distribuție, dar și diferențe semnificative în cazul apelor de izvor. Studiul subliniază importanța monitorizării constante a calității apei și furnizează informații utile pentru consumatori.

Cuvinte cheie: total solide dizolvate, conductivitate electrică, pH, calitatea apei, rețea de distribuție.

1. Introducere

Apa constituie un element fundamental pentru susținerea vieții, iar evaluarea calității sale chimico-fizice reprezintă o preocupare majoră în contextul protecției mediului, al sănătății publice și al utilizărilor tehnologice. Parametrii precum pH-ul, conductivitatea electrică și totalul solidelor dizolvate (TDS) sunt indicatori de bază în analiza preliminară a apei, reflectând echilibrul acido-bazic, gradul de mineralizare și prezența substanțelor ionice în soluție. Aceste variabile nu doar că permit caracterizarea rapidă a apei din diverse surse, dar oferă și date esențiale pentru identificarea posibilelor surse de contaminare, pentru monitorizarea proceselor de tratare și pentru asigurarea conformității cu reglementările de calitate. Studiul acestor parametri contribuie astfel la o înțelegere aprofundată a dinamicii sistemelor de alimentare cu apă și la fundamentarea deciziilor de management al resurselor de apă. În România, apa potabilă a fost definită și reglementată prin de Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului umană[1].

În Tabelul 1 sunt prezentate valorile maxime admise și maxim admise excepțional pentru pH-ul apei potabile conform Ordonanței de Urgență nr. 7/2023.

Tabelul 1. Valorile maxim admise și maxim admise excepțional pentru pH-ul apei[2].

Parametru de calitate ai apei	Valoarea minimă admisă	Valoarea optima(neutră)	Valoarea maxima admisă
pH(unități pH)	6.5	7	9.5

În Tabelul 2 sunt prezentate valorile conductivității electrice pentru diferite tipuri de ape conform Ordonanței de Urgență nr. 7/2023.

Tabelul 2. Valorile conductivității electrice a apei



Parametrul de calitate al apei	Valori optime pentru conductivitatea electrică $\mu\text{S}/\text{cm}$ la 20°C	Valoarea maximă admisă pentru conductivitatea electrică $\mu\text{S}/\text{cm}$ la 20°C
Conductivitate electrică	<1000	2500

În Tabelul 3 sunt prezentate valorile caracteristice apei în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale (TDS)[3][4].

Tabelul 3. Tipurile apei în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale.

Nr. Crt.	TDS [ppm] sau [mg/L]	Caracteristica apei
1.	0-50	Mineralizare foarte slabă
2.	50-100	Mineralizare slabă
3.	100-300	Mineralizare optimă
4.	300-600	Mineralizare acceptabilă
5.	600-1000	Mineralizare ridicată
6.	>1000	Apă care afectează sănătatea

2. Materiale și metode

Au fost prelevate un număr total de cinci probe de apă, care au fost supuse caracterizării privind concentrația totală a sărurilor dizolvate, conductivitatea electrică și valoarea pH-ului. Probele de apă au fost prelevate din orașul Huedin, județul Cluj, fiind mostre preluate din rețeaua de distribuție a orașului, acestea fiind colectate de pe diferite străzi.

În Tabelul 4 sunt prezentate datele, orele și locațiile probelor de apă.

Tabelul 4. Data, ora și localizarea prelevării eșantioanelor de apă supuse testării.

Nr. Crt.	Data și ora prelevării	Localizarea probei
Proba 1	30 martie - ora 11:27	Str. Trandafirilor 17
Proba 2	30 martie - ora 11:41	Str. Abatorului 7
Proba 3	30 martie - ora 12:05	Str. Ecaterina Varga 4
Proba 4	31 martie - ora 15:22	Str. Luceafărului 5
Proba 5	31 martie - ora 15:56	Str. Bradului 22



Figura

1. Locația prelevării probei 1 de apă.



Figura 2.

Locația prelevării probei 2 de apă.



Figura

3. Locația prelevării probei 3 de apă.



Figura 4. Locația prelevării probei 4 de apă.





Figura 5. Locația prelevării probei 5 de apă.

Pentru determinarea pH-ului s-au utilizat pH-metrul de laborator (Model Orion 2 Star THERMO ELECTRO CORPORATION), pahare Erlenmeyer și apă purificată deionizată. Pentru determinarea conductivității electrice a probelor de apă s-a utilizat conductometrul portabil (model Orion 3 Star Series Meter THERMO ELECTRO CORPORATION).

Pentru total solide dizolvate (TDS) s-a utilizat multiparametrul (model Orion 3 Star Series Meter THERMO ELECTRON CORPORATION).

3. Rezultate și discuții

În Figura 6 sunt prezentate rezultatele obținute experimental privind determinarea pH-ului pentru probele de apă provenite din rețeaua de distribuție.

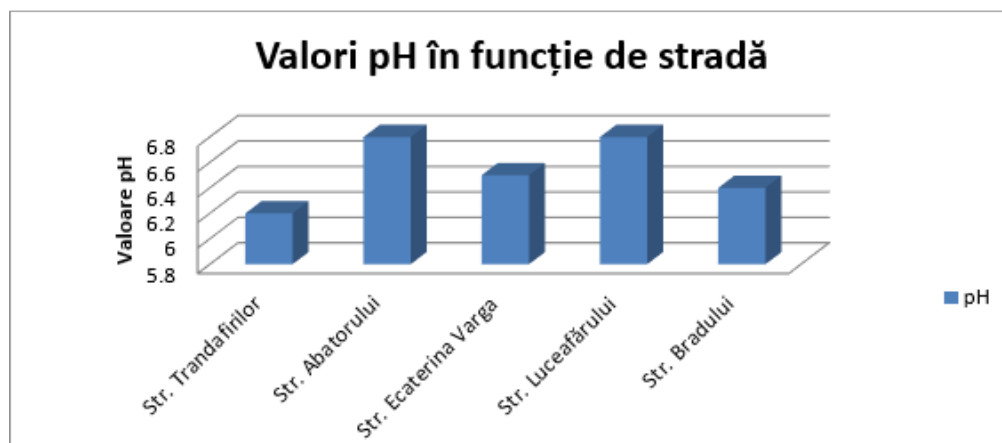


Figura 6. Rezultatele pH-ului obținute experimental.

Conform datelor ilustrate în grafic, se remarcă o variație moderată a valorilor pH-ului între diverse străzi, deși toate probele au fost prelevate din sistemul de distribuție al municipiului Huedin. Rezultatele obținute în urma analizelor evidențiază faptul că apa prelevată prezintă un caracter ușor acid[5]. Valoarea pH-ului înregistrată pentru Proba 2 este cea mai ridicată și se încadrează, alături de valorile corespunzătoare pentru Proba 3 și Proba 4, în limitele prevăzute de Ordonanța de Urgență nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman. În schimb, valorile determinate pentru Proba 1 și Proba 5 nu respectă cerințele impuse de reglementările legislative menționate, deși acestea au fost prelevate din același sistem de distribuție al orașului.

În Figura 7 sunt prezentate valorile obținute experimental privind determinarea conductivității electrice pentru probele de apă supuse testării.

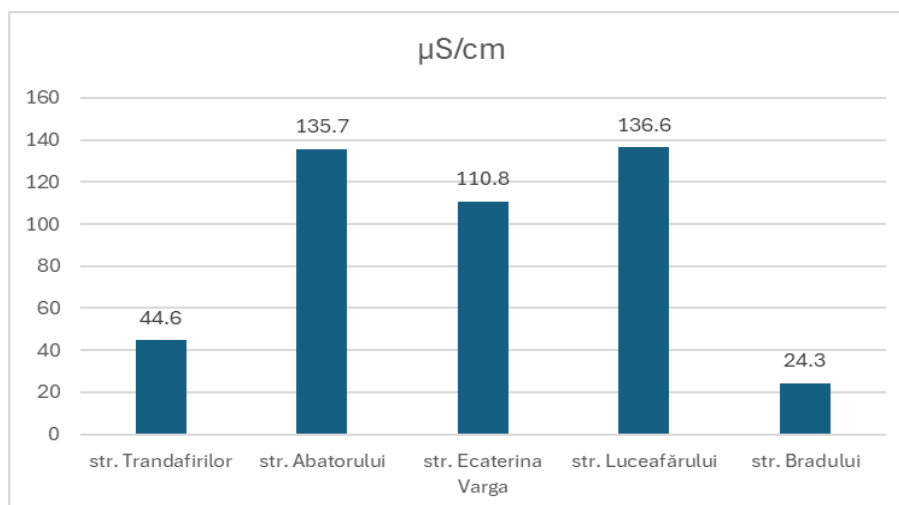


Figura 7. Valorile conductivității obținute experimental.



Probele de apă colectate din diferite străzi ale orașului Huedin au evidențiat variații semnificative ale conductivității electrice (EC), indicând grade diferite de mineralizare. Pe Str. Trandafirilor 17, apa a prezentat o conductivitate de $44,2 \mu\text{S}/\text{cm}$, fiind clasificată drept foarte slab mineralizată cu un conținut ionic redus, nepotrivită pentru hidratare constantă din cauza lipsei de săruri esențiale. Pe Str. Abatorului 7, valoarea EC a fost de $135,7 \mu\text{S}/\text{cm}$, caracterizând o apă slab mineralizată, de calitate bună și adecvată consumului, în special pentru persoanele cu restricții de sodiu. O situație similară s-a observat și pe Str. Ecaterina Varga 4, unde s-a înregistrat un EC de $110,8 \mu\text{S}/\text{cm}$, indicând o apă slab mineralizată, acceptabilă pentru consum uman, deși săracă în electroliți. Pe Str. Luceafărului 5, valoarea conductivității a fost de $136,6 \mu\text{S}/\text{cm}$, similară cu cea din Str. Abatorului, reflectând o apă de calitate bună, sigură pentru consum. În schimb, pe Str. Bradului 22, apa a avut o conductivitate de doar $24,3 \mu\text{S}/\text{cm}$, fiind extrem de slab mineralizată, asemănătoare cu apa distilată, lipsită de aport mineral și, prin urmare, nepotrivită pentru consum frecvent. Aceste date subliniază diversitatea calității apei în funcție de zonă și importanța monitorizării regulate a parametrilor de mineralizare.

În Figura 8 se observă valorile obținute experimental privind determinarea totalului de solide dizolvate (TDS).

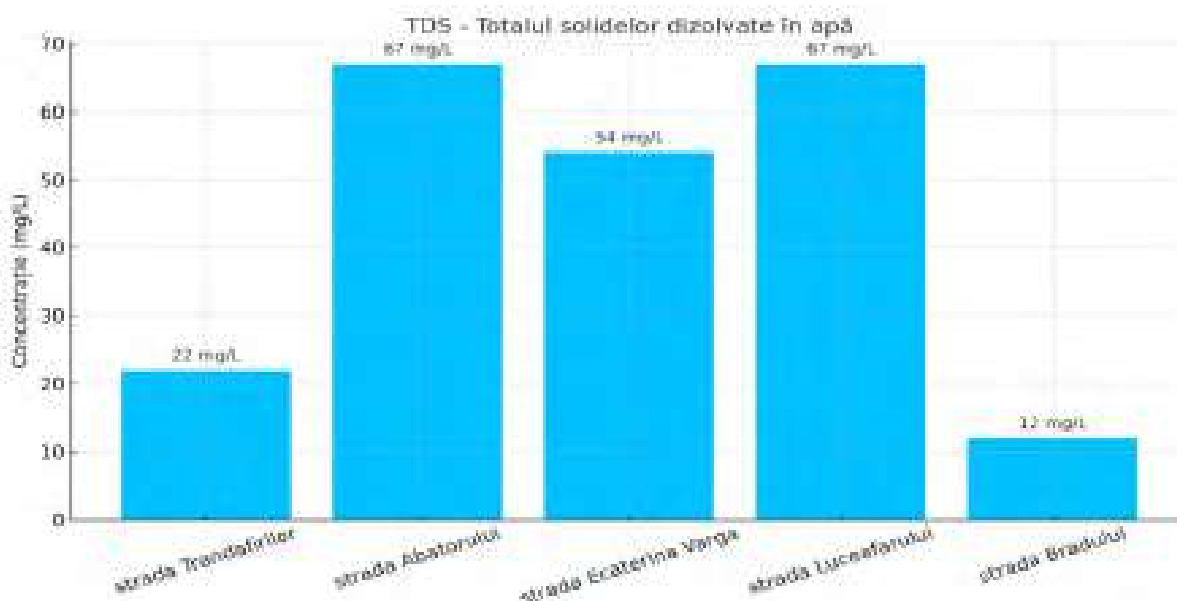


Figura 8. Valorile TDS obținute experimental.

Probele de apă prelevate din diferite străzi ale orașului Huedin au evidențiat diferențe semnificative în ceea ce privește totalul solidelor dizolvate (TDS), indicând gradul de mineralizare al apei. Pe Strada Trandafirilor, valoarea TDS a fost de $22 \text{ mg}/\text{L}$, clasificând apa drept foarte slab mineralizată, posibil purificată excesiv. Deși nu este periculoasă, are un gust plat și nu furnizează minerale esențiale, fiind nepotrivită pentru consum zilnic prelungit. Pe Strada Abatorului, TDS-ul a fost de $67 \text{ mg}/\text{L}$, caracterizând o apă slab mineralizată, acceptabilă pentru consum, dar cu un aport redus de săruri minerale. O valoare similară s-a înregistrat și pe Strada Ecaterina Varga, unde apa, cu un TDS de $54 \text{ mg}/\text{L}$, este suficientă pentru consum, dar nu aduce un aport semnificativ de minerale esențiale. Situația se repetă și pe Strada Luceafărului, unde TDS-ul este de $67 \text{ mg}/\text{L}$, indicând o apă cu o calitate fizico-chimică bună, dar săracă în săruri minerale pentru o hidratare optimă. În contrast, pe Strada Bradului, valoarea TDS a fost de doar $12 \text{ mg}/\text{L}$, apa fiind clasificată drept extrem de slab mineralizată, asemănătoare cu apa distilată, nepotrivită pentru consum pe termen lung și fără beneficii nutritive prin conținut. Aceste variații subliniază diversitatea calității apei și necesitatea monitorizării constante pentru a asigura o hidratare corespunzătoare[6].

4. Concluzii

În urma determinărilor experimentale efectuate asupra probelor de apă provenite din diferite locații, valorile pH-ului obținute, cuprinse între 6,2 și 6,8, indică o apă ușor acidă, dar în limitele admise pentru



consum. Conductivitatea electrică a variat între 24,3 și 136,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, semnalând o mineralizare slabă a apei, fără depășirea valorilor legale. Valorile TDS au fost cuprinse între 12 și 67 mg/L, reflectând o apă foarte slab mineralizată. Toți parametrii analizați se încadrează în limitele impuse de legislația în vigoare, însă unele probe prezintă o compoziție ionic-minerală scăzută, putând fi considerate mai puțin optime pentru consum zilnic prelungit[7].

BIBLIOGRAFIE

1. Parlamentul României, *Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024*.
2. U.S Environmental Protection Agency, pH.
3. World Health Organisation, *Total dissolved solids*.
4. *Real-time monitoring and operational control of drinking water systems* / edited by Vicenc Puig Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.
5. Iluțiu - Varvara, D.A. - *Chimie aplicată*. Editura UT PRESS, Cluj-Napoca, 2023.
6. Norma tehnică de metrologie NTM 4-117-82 : *verificarea metrologică a adaptorului pentru detectorul de O₂ în apă*, București. Editura Tehnică, 1983.
7. <https://www.britannica.com/science/water>.



STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL REGHIN, JUDEȚUL MUREȘ

Autori

Cătălin Ștefan MILĂR¹, Mario Eduard SERAFIM²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:milarcatalin05@gmail.com](mailto:milarcatalin05@gmail.com)

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:marioserafim310@gmail.com](mailto:marioserafim310@gmail.com)

Îndrumător

Conf.dr.ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail:Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro](mailto:Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro)

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o analiză comparativă a calității apei din patru surse situate în județul Mureș, având în vedere doi parametri esențiali: pH-ul și duritatea. Studiul este motivat de importanța acestor indicatori în evaluarea potabilității apei și a impactului asupra sănătății. Probele au fost prelevate din două izvoare și două rețele de distribuție, reflectând diversitatea surselor disponibile în regiune. Metodologia a inclus măsurători directe cu aparatură specifică, în condiții controlate. Rezultatele indică variații semnificative ale durității în funcție de sursă, în timp ce valorile pH-ului s-au menținut în intervalul optim.*

Cuvinte cheie: total solide dizolvate, conductivitate electrică, pH, izvoare, rețea de distribuție.

1.Introducere

Apa reprezintă un element esențial pentru susținerea vieții, iar evaluarea proprietăților sale chimico-fizice constituie o preocupare centrală în domeniul protecției mediului, al sănătății publice și al utilizărilor industriale. Parametri precum pH-ul, conductivitatea electrică și totalul solidelor dizolvate (TDS) sunt indicatori fundamentali în analiza preliminară a apei, oferind informații despre echilibrul acido-bazic, nivelul de mineralizare și prezența ionilor în soluție. Acești factori permit nu doar o caracterizare rapidă a apei din surse variate, ci și identificarea potențialelor surse de poluare, monitorizarea eficienței proceselor de tratare și verificarea respectării normelor de calitate. Studiul acestor sisteme acvatice cu sisteme de alimentare cu apă oferă o perspectivă valoroasă asupra dinamicii ecosistemelor acvatice și stă la baza deciziilor privind gestionarea durabilă a resurselor de apă.

În Tabelul 1 sunt prezentate valorile maxime admise și maxim admise excepțional pentru pH-ul apei potabile.

Tabelul 1. Valorile maxim admise și maxim admise excepțional pentru pH-ul apei.

Parametru de calitate al apei	Valoarea minimă admisă	Valoarea maximă admisă	Valoarea optimă
pH(unități pH)	6, 5	9,5	7

În Tabelul 2 sunt prezentate valorile conductivității electrice pentru diferite tipuri de ape.

Tabelul 2. Tipurile apelor în funcție de valoarea conductivității electrice

Nr. Crt.	Tipul apei	Valori ale conductivității electrice ale apei [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Culoare capac
1.	Ape oligo-minerale slabe (ape plate)	51-200	alb
2.	Ape oligo-minerale medii (ape de izvor)	201-1000	albastra
3.	Ape minerale	1001-2500	verde
4.	Ape minerale forte (ape minerale medicinale)	≥ 2501	mov

Tabelul 3. Sunt prezentate valorile caracteristice apei în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale (TDS)

Nr. Crt.	TDS [ppm] sau [mg/L]	Caracteristica apei
1.	0-50	Mineralizare foarte slabă
2.	50-100	Mineralizare slabă
3.	100-300	Mineralizare optimă
4.	300-600	Mineralizare acceptabilă
5.	600-1000	Mineralizare ridicată
6.	>1000	Apă care afectează sănătatea

2. Materiale și metode

Au fost prelevate un număr total de patru probe de apă, care au fost supuse caracterizării privind concentrația totală a sărurilor dizolvate, conductivitatea electrică și valoarea pH-ului. Probele de apă s-au prelevat din județul Mureș.

În Tabelul 4 se constată datele, orele și locațiile probelor de apă.

Tabelul 4. Data, ora și localizarea prelevării eșantioanelor de apă supuse testării.

Nr. Crt.	Data și ora prelevării	Localizarea probei
Proba 1	1 martie – ora 11:21	Str. Principală 155
Proba 2	1 martie – ora 12:25	Str. Lungă 112
Proba 3	1 martie – ora 18:23	Str. Principală 147
Proba 4	1 martie – ora 21:45	Str. Libertății 4



Figura 1. Punctul de prelevare a probei de apă -izvor Câmpu Cetății



Figura 2. Punctul de prelevare a probei de apă -izvor Săcădat

Determinarea pH-ului s-a realizat cu ajutorul unui pH-metru de laborator de înaltă precizie, model Orion 2 Star produs de THERMO ELECTRON CORPORATION. Pentru efectuarea măsurătorilor s-au folosit pahare Erlenmeyer din sticlă și apă purificată deionizată, utilizată atât pentru calibrarea aparatului cu soluții tampon, cât și pentru clătirea electrodului între probe, pentru a evita contaminarea încrucișată.

Determinarea conductivității electrice a probelor de apă a fost efectuată utilizând un conductometru portabil din seria Orion 3 Star Series Meter, de asemenea fabricat de THERMO ELECTRON CORPORATION. Probele au fost analizate în pahare Erlenmeyer, iar pentru etalonare și clătirea electrozilor s-a folosit apă purificată deionizată, necesară pentru asigurarea acurateții rezultatelor.



Figura 3. Punctul de prelevare a probei de apă -rețea de distribuție Urișiu de Jos



Figura 4. Punctul de prelevare a probei de apă -rețea de distribuție Reghin

Determinarea totalului solidelor dizolvate (TDS) s-a realizat cu ajutorul unui aparat multiparametru performant, model Orion 2 Star, produs de THERMO ELECTRON CORPORATION. Acest echipament permite determinarea simultană a mai multor parametri fizico-chimici, fiind utilizat în cadrul acestei lucrări în principal pentru estimarea concentrației totale a solidelor dizolvate în probele de apă analizate.

În Figura 5 sunt prezentate valorile pH-ului pentru probele de apă provenite din rețeaua de distribuție și ape de izvor din județul Mureș.

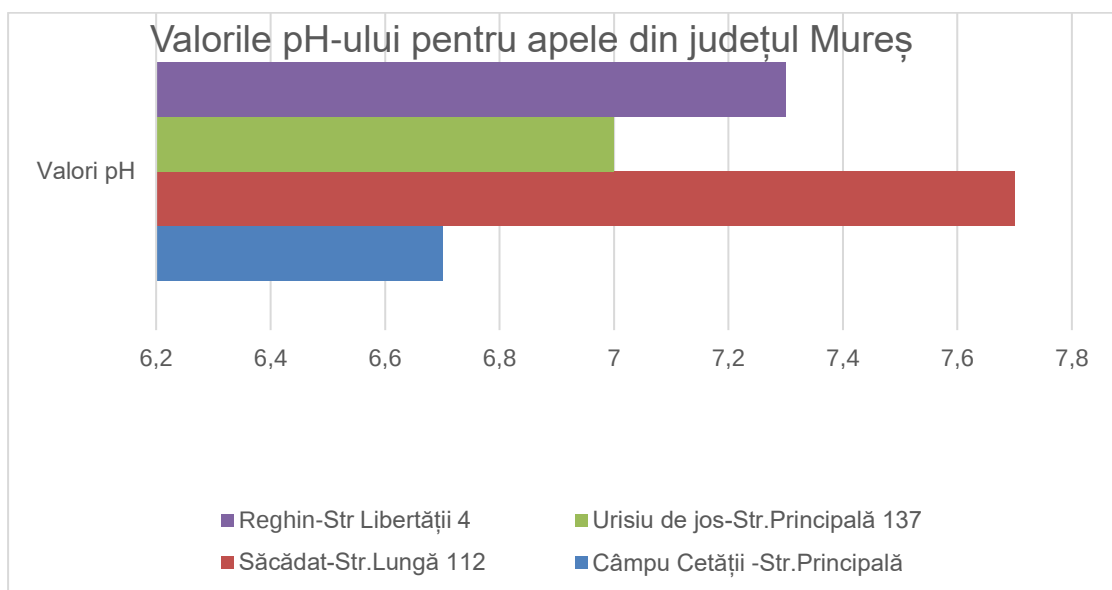


Figura 5. Rezultatele obținute experimental privind determinarea pH-ului pentru probele de apă provenite din rețeaua de distribuție și ape de izvor.

3.Rezultate și discuții

Conform rezultatelor prezentate în graficul de mai sus, se poate observa o variație moderată a valorilor pH-ului între cele patru locații analizate, deși unele probe au fost prelevate din rețeaua publică de distribuție, iar altele din surse naturale de tip izvor.



Această diferență indică faptul că sursa de apă și condițiile locale pot influența ușor reacția chimică a apei, chiar și în cadrul aceleiași regiuni geografice. Valoarea pH-ului pentru proba 2, prelevată de pe Strada Lungă nr. 112 din Sovata, a fost cea mai ridicată dintre toate, înregistrând un pH de 7.7, ceea ce indică o apă cu caracter slab bazic. Aceasta, alături de proba 3 (Reghin, Strada Libertății nr. 4, pH = 7.3) și proba 4 (Urișiu de Jos, Strada Principală nr. 137, pH = 7.0), se încadrează în limitele prevăzute de legislația națională în vigoare privind calitatea apei potabile, care recomandă valori ale pH-ului cuprinse între 6.5 și 9.5.

În schimb, proba 1, prelevată din satul Câmpul Cetății (Strada Principală), a avut o valoare a pH-ului de 6.7, situându-se aproape de limita inferioară admisă. Deși aceasta se încadrează tehnic în standardele legale, valoarea sa scăzută poate indica o ușoară aciditate, specifică adesea apelor de izvor, mai ales în zone cu soluri acide sau influențate de activitate organică intensă.

În concluzie, toate probele analizate se încadrează în parametrii de siguranță pentru consumul uman, însă este recomandată o monitorizare periodică, mai ales pentru sursele naturale, acolo unde variațiile de pH pot fi influențate de factori sezonieri sau de activități din proximitate.

În tabelul 5 se observă valorile obținute experimental privind determinarea conductivității electrice pentru probele de apă supuse testării.

Tabelul 5. Valorile conductivității electrice rezultate în urma testării probelor din apă

STRADA	VALOARE EC
Câmpu Cetății -Str. Principală	201,4
Săcădat-Str. Lungă 112	259,7
Urișiu de Jos-Str.Principală 137	226,2
Reghin-Str. Libertății 4	130,6

Conform legislației românești și europene privind calitatea apei potabile, în special OG 7/2023, valoarea de referință pentru conductivitatea electrică (EC) a apei destinate consumului uman este de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aceasta este un parametru indicativ care reflectă conținutul de substanțe minerale dizolvate (precum sărurile) în apă. Cu cât conductivitatea este mai mare, cu atât apa este mai mineralizată; o valoare mai mică indică o apă cu un conținut redus de minerale.

Pe baza acestui cadru legislativ, au fost analizate patru probe de apă din diferite locații. Rezultatele obținute sunt următoarele:

Str. Libertății 4: 130,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – apă slab mineralizată, ideală pentru persoanele care urmează diete cu aport redus de sodiu sau alte minerale.

Str. Principală: 201,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – apă slab mineralizată, potrivită pentru consum zilnic.

Str. Principală 137: 226,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – apă slab mineralizată, cu un conținut suficient de săruri pentru o hidratare adecvată.

Str. Lungă 112: 259,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – cea mai mare valoare dintre probe, dar tot în limitele normale; indică o apă moderat mineralizată, benefică pentru echilibrul electrolitic.

Pentru comparație, rezultatele au fost prezentate sintetic în tabelul 6.

Toate valorile se încadrează bine sub limita legală de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ceea ce înseamnă că apa este sigură pentru consum. Nivelul redus sau moderat de mineralizare nu prezintă riscuri pentru sănătate și corespunde standardelor naționale și europene. Astfel, apa analizată este de calitate bună și poate fi consumată fără probleme în cadrul unei hidratări zilnice echilibrate.

Tabelul 6. Rezultatele obținute

Locație	TDS (mg/L)	Clasificare	Caracteristică



Câmpu Cetății, Str. Principală	99	Mineralizată moderat	Apă cu un conținut echilibrat de minerale, potrivită pentru consum regulat.
Sovata, Str. Lungă nr. 112	127	Moderat mineralizată	Apă bună pentru hidratare, cu un aport adecvat de săruri minerale.
Urișiu de Jos, Str. Principală nr. 137	111	Moderat mineralizată	Apă cu un echilibru bun de minerale, potrivită pentru consum zilnic.
Reghin, Str. Libertății nr. 4	64	Slab mineralizată	Apă acceptabilă pentru consum, dar cu un aport mai mic de minerale esențiale.

4. Concluzii

În concluzie, toate probele de apă analizate se încadrează în limitele prevăzute de legislația în vigoare privind calitatea apei potabile, ceea ce indică o conformitate generală din punct de vedere al siguranței pentru consumul uman.

Parametrii fizico-chimici determinați, precum pH-ul, conductivitatea electrică și concentrația totală de solide dizolvate (TDS), nu au înregistrat depășiri ale valorilor maxime admise, confirmând astfel absența unor riscuri majore pentru sănătate.

Valorile pH-ului, situate între 6,2 și 6,8, caracterizează o apă ușor acidă, însă se mențin în intervalul considerat acceptabil pentru consum conform standardelor internaționale.

În ceea ce privește conductivitatea electrică, intervalul observat (24,3–136,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sugerează o apă slab mineralizată, cu un conținut redus de săruri dizolvate, caracteristică ce poate fi asociată cu o apă de tip oligominerale. Deși o astfel de apă este considerată de calitate din perspectiva purității și a absenței contaminanților, aportul redus de minerale precum calciul și magneziul poate deveni relevant în contextul unui consum exclusiv și îndelungat. Acest aspect este susținut și de valorile TDS măsurate, cuprinse între 12 și 67 mg/L, care indică o mineralizare totală foarte scăzută.

Din punct de vedere fiziologic, un aport adecvat de săruri minerale contribuie la menținerea echilibrului electrolitic și la susținerea funcțiilor biologice fundamentale, inclusiv transmiterea impulsurilor nervoase și contractilitatea musculară. Prin urmare, deși apa analizată este sigură pentru consumul curent, este oportună formularea unei recomandări echilibrate privind diversificarea surselor de apă utilizate în mod obișnuit.

Astfel, pentru a compensa eventualul deficit de minerale din această apă slab mineralizată, se recomandă completarea regimului de hidratare prin introducerea periodică a apei minerale naturale cu un conținut echilibrat de săruri esențiale sau printr-o alimentație atent echilibrată din punct de vedere nutrițional. Această abordare preventivă poate contribui la menținerea unui aport optim de minerale și la susținerea unei stări generale bune de sănătate pe termen lung, fără a compromite beneficiile unei ape cu un grad ridicat de puritate.

BIBLIOGRAFIE

1. *Legea nr. 96/2024*, pentru aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 7/2023 privind calitatea apei.
2. Iluțiu–Varvara, D.A. - *Chimie aplicată*. Editura UT PRESS, Cluj–Napoca, 2023.
3. Roșu C., Vlaicu A., Boita S., *Studiu asupra calității apei potabile*. Conferința Națională de Inginerie Sanitară, Timișoara, 2022.
4. *Ordonanța nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman*, Partea I nr. 63 din 25 ianuarie 2023
5. *Norme de tehnica securității muncii în alimentări cu apă și canalizări și în îndigui, desecări și irigații*, București, Editura Tehnică, 1966.
6. *Directiva UE 2020/2184 a Parlamentului European și a Consiliului din 16 decembrie 2020 privind calitatea apei destinate consumului uman*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/ALL/?uri=CELEX:32020L2184>



STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL DEJ, JUDEȚUL CLUJ

Autori

Timotei FILIP¹, Cristian Avram IANCU²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail:timoteifilip7@gmail.com](mailto:timoteifilip7@gmail.com)

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail:iancus8953@gmail.com](mailto:iancus8953@gmail.com)

Îndrumător

Conf. dr. ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro](mailto:Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro)

REZUMAT: *Lucrarea prezintă rezultate obținute experimental, asupra unor parametri de calitate ai apei destinate consumului uman din municipiul Dej, județul Cluj. Parametrii de calitate luați în considerare în prezentul studiu sunt: pH-ul, conductivitatea, solidele totale dizolvate și duritatea totală. Pentru analiza probelor de apă, s-au utilizat testere speciale pentru fiecare studiu în parte. Studiul a fost făcut pe următoarele tipuri de ape: ape din rețele de distribuție și ape de izvor. Prelevarea probelor s-a efectuat din diverse locații ale orașului Dej, atât din extremitățile orașului, cât și din puncte mai centrale. Este esențială testarea calității apei înainte de consumul uman, pentru a preveni riscurile asupra sănătății.*

Cuvinte cheie: calitatea apei, săruri, solide dizolvate, pH, conductivitate

1. Introducere

Apa potabilă este o resursă fundamentală pentru viață, iar asigurarea calității acesteia este un obiectiv prioritar. În contextul urbanizării accelerate și al poluării industriale și agricole, monitorizarea și menținerea calității apei potabile devine o preocupare majoră. Deoarece o apă de calitate este mult mai importantă decât am putea crede la o primă privire.

Impuritățile din apă pot provoca reacții ale corpului și chiar boli grave precum gastroenterita, hepatita virală, febra tifoidă sau holera. Pentru a evalua potențialul impact asupra sănătății, lucrarea de față analizează patru parametri esențiali ai apei potabile: pH, conductivitate, solide totale dizolvate și duritate totală.

Apa influențează direct starea corpului nostru și îl aprovizionează cu săruri și minerale de care are nevoie pentru a putea funcționa în parametri normali. Atât mușchii din corp, cât și organele au nevoie de o bună hidratare, cu o apă de calitate[1].

Prin această cercetare, se urmărește identificarea eventualelor abateri de la valorile normate și formularea unor concluzii utile pentru factorii de decizie și pentru populație.

$\text{pH-ul} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+]$ apei este un indicator al alcalinității sau acidității acesteia. Valoarea pH-ului apei pure este 7, apa cu un pH mai mic de 7 fiind considerată acidă, iar cu un pH mai mare de 7 fiind considerată alcalină.

Conductivitatea reprezintă capacitatea apei de a conduce curentul electric, iar aceasta depinde de concentrația ionilor din soluție. Este măsurată în miliSiemens pe metru ($1 \text{ mS m}^{-1} = 10 \mu\text{S cm}^{-1}$) [2].

Tabelul 1. Valorile conductivității electrice pentru diferite tipuri de ape [3].

Tipul apei	Valori ale conductivității electrice ale apei $\mu\text{S/cm}$	Culoarea capacului
1. Ape oglio-minerale slabe	51-200	alba
2. Ape oglio-minerale medii	201-1000	albastru



3. Ape minerale	1001-2500	verde
4. Ape minerale forte	Peste 2500	mov

TDS (total solide dizolvate) reprezintă totalitatea solidelor dizolvate, mai exact materialele organice și anorganice cum ar fi metale, minerale, săruri și ioni dizolvate într-un anumit volum de apă.

Tabelul 2. Valorile TDS-ului [4].

Nr. Crt.	TDS (ppm) sau (mg/L)	Caracteristica apei
1.	0-50	Mineralizare foarte slabă
2.	50-100	Mineralizare slabă
3.	100-300	Mineralizare optimă
4.	300-600	Mineralizare acceptabilă
5.	600-1000	Mineralizare ridicată
6.	Peste 1000	Apă care afectează sănătatea

Duritatea totală (GH) reprezintă suma dintre duritatea temporară (dT) și duritatea permanentă (dP):
 $GH = dT + dP$

Conform legislației în vigoare în România, OUG nr.7 din 18 ianuarie 2023 aprobată prin Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024 privind calitatea apei destinate consumului uman stabilește limita pentru parametrii de calitate ai apei potabile, și anume pH-ul, conductivitatea, contaminanții microbiologici și metale grele, în scopul protejării sănătății umane [5] și [6].

2. Materiale și metode

Tabelul 3. Probele de apă prelevate din rețeaua de distribuție.

Data	Locația
8 Martie 2025	Str. Andrei Mureșanu nr. 29
8 Martie 2025	Str. Prunilor nr. 6
8 Martie 2025	Str. Triajului nr. 11B
8 Martie 2025	Cuzdrioara Str. Viilor
5 Aprilie 2025	Str. Câmpului nr.10A
5 Aprilie 2025	Str. Orizont nr.3A
5 Aprilie 2025	Str. Înfrățirii nr.6

Tabelul 4. Probele de apă prelevate din izvoare.

Data	Locația
8 Martie 2025	Cuzdrioara Str. Mihai Eminescu Izvor „Buna”
8 Martie 2025	Izvor Mulatáu Dej
5 Aprilie 2025	Str. Mărăști nr.9
5 Aprilie 2025	Str. Bistriței Izvor Autogară

În figurile de mai jos se pot observa câteva dintre locațiile din care s-a efectuat prelevarea probelor.



Figura 1. Str. Triajului nr. 11B



Figura 2. Str. Mihai Eminescu Izvor "Buna"



Figura 3. Str. Mărăști nr.9



Figura 4. Izvor Mulațau



Figura 5. Str. Bistriței, Izvor Autogară

Valorile pH-ului s-au determinat cu ajutorul unui electrod combinat care poate îndeplini ambele funcții (electrod de referință și electrod de lucru). Atunci când electrodul este introdus în apă formează o mică celulă galvanică.

Determinarea pH-ului apelor potabile s-a realizat cu ajutorul pH-metrului de laborator (Model ORION 2 STAR, THERMO ELECTRON CORPORATION), pahare Erlenmeyer și apă purificată deionizată (apă demineralizată), soluții tampon de pH cunoscut, pH-metrul de laborator, proba de apă supusă testării [7].

Valoarea maximă admisă a pH-ului 6,5-7,5, și valoarea maximă admisă excepțional 9,5.

Toate probele testate se încadrează în limita legislației în vigoare din România.

Determinarea conductivității și determinarea TDS s-a efectuat cu ajutorul conductometrului portabil (multiparametru), model ORION 3 STAR, pahare Erlenmeyer și apă purificată deionizată. Valoarea maximă admisă a conductivității este de $2500\mu\text{S}/\text{cm}$ la 20°C .

Toate probele testate se încadrează în limita legislației în vigoare [7].

3. Rezultate și discuții

În Figura 6 sunt prezentate rezultatele experimentale privind pH-ul probelor de apă prelevate din rețeaua de distribuție.

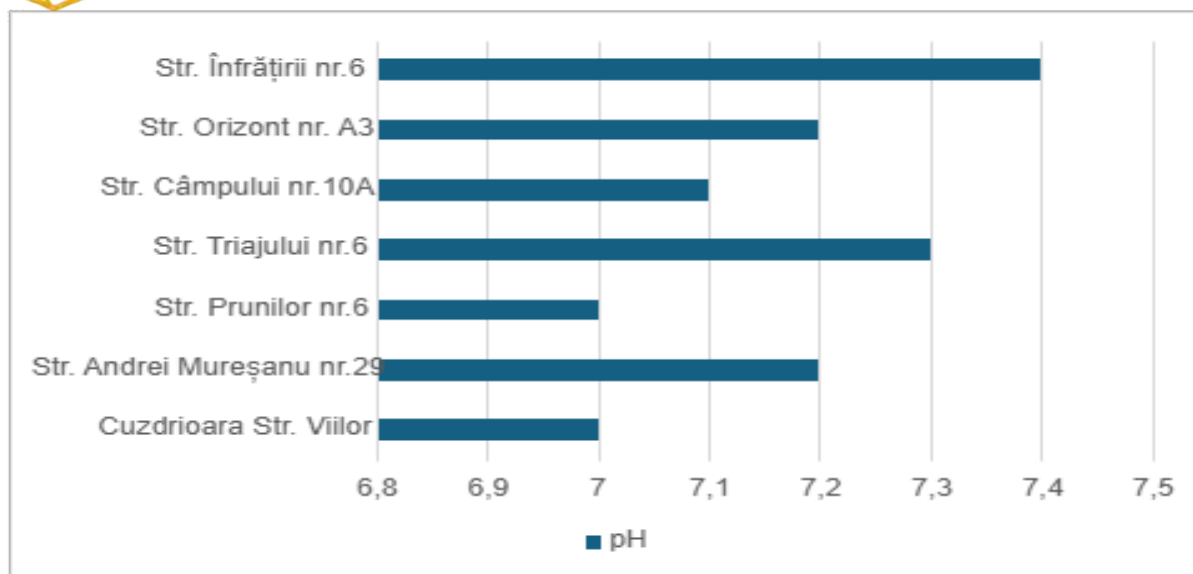


Figura 6. pH-ul apei din rețeaua de distribuție

Legislația în vigoare, privind pH-ul, spune că valoarea minimă este de 6,5 iar cea maximă este de 7,5, în cazurile excepționale 9,5. Rezultatele obținute în urma experimentelor făcute arată faptul că această apă se încadrează în limitele legislației din România.

În Figura 7 sunt prezentate rezultatele experimentale privind conductivitatea probelor de apă prelevate din rețeaua de distribuție.

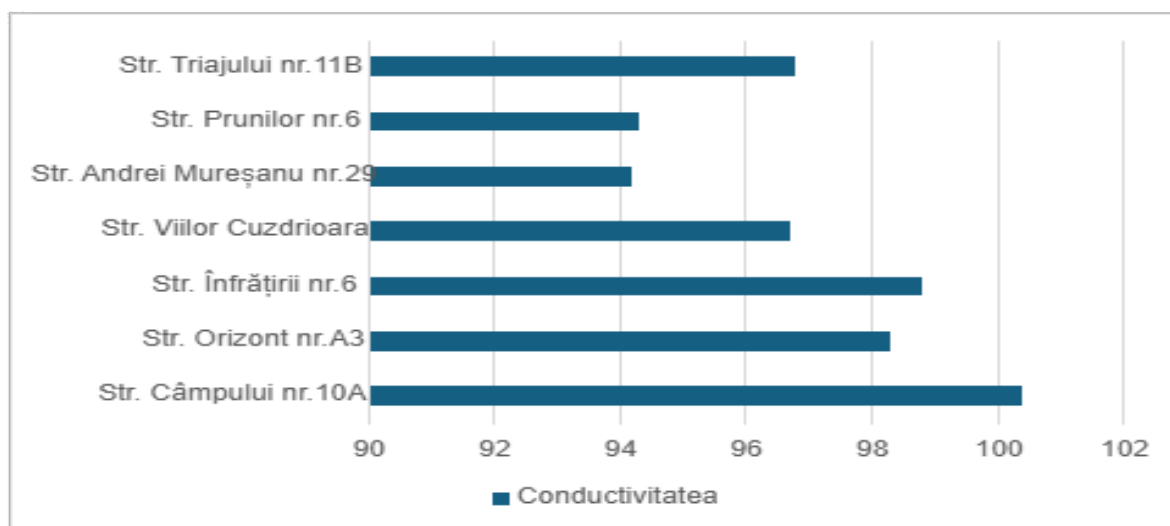


Figura 7.

Conductivitatea apei din rețeaua de distribuție

Legislația în vigoare privind conductivitatea apei, ne informează faptul că valoarea maximă este de 2500 μ S/cm la 20°C. Rezultatele obținute în urma experimentelor se încadrează în legislația actuală din România.

În Figura 8. sunt prezentate rezultatele experimentale ale TDS-ului privind probele de apă prelevate din rețeaua de distribuție.

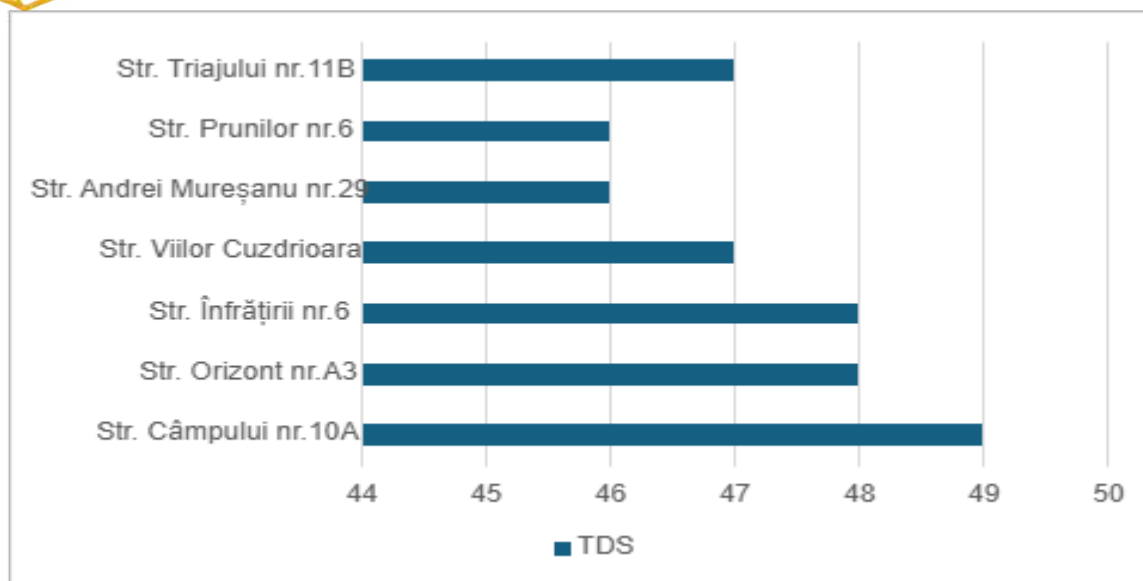


Figura 8.

TDS-ul apei din rețeaua de distribuție

Comparând datele obținute în urma experimentelor efectuate asupra probelor analizate, cu cele din legislația României, s-a constatat faptul că acestea au o mineralizare slabă (50-100).

În Figura 9. sunt prezentate rezultatele experimentale privind pH-ul probelor de apă prelevate din izvoare.

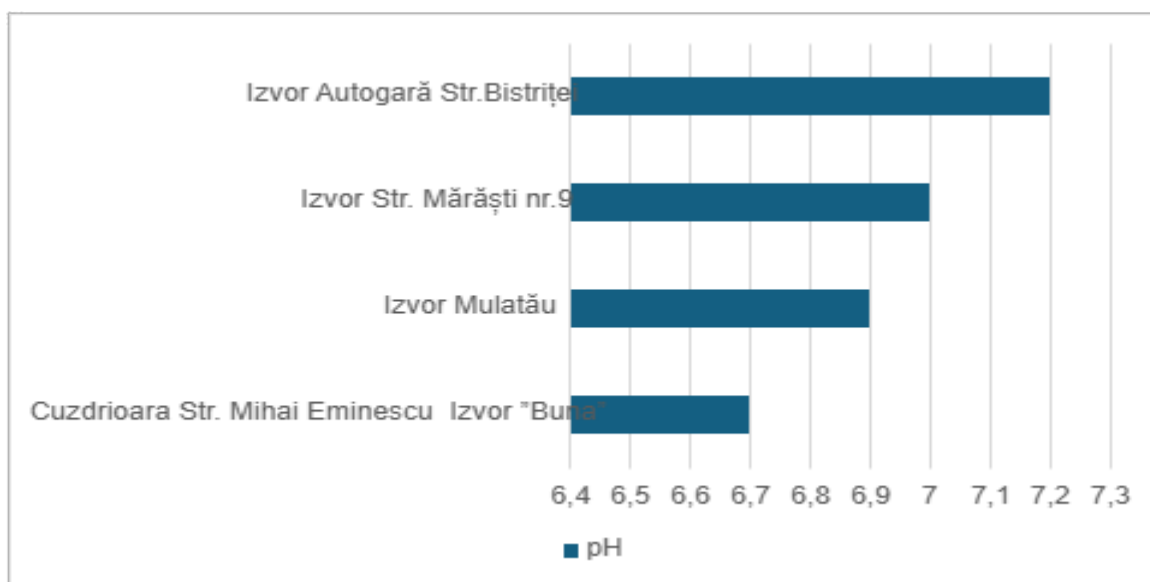
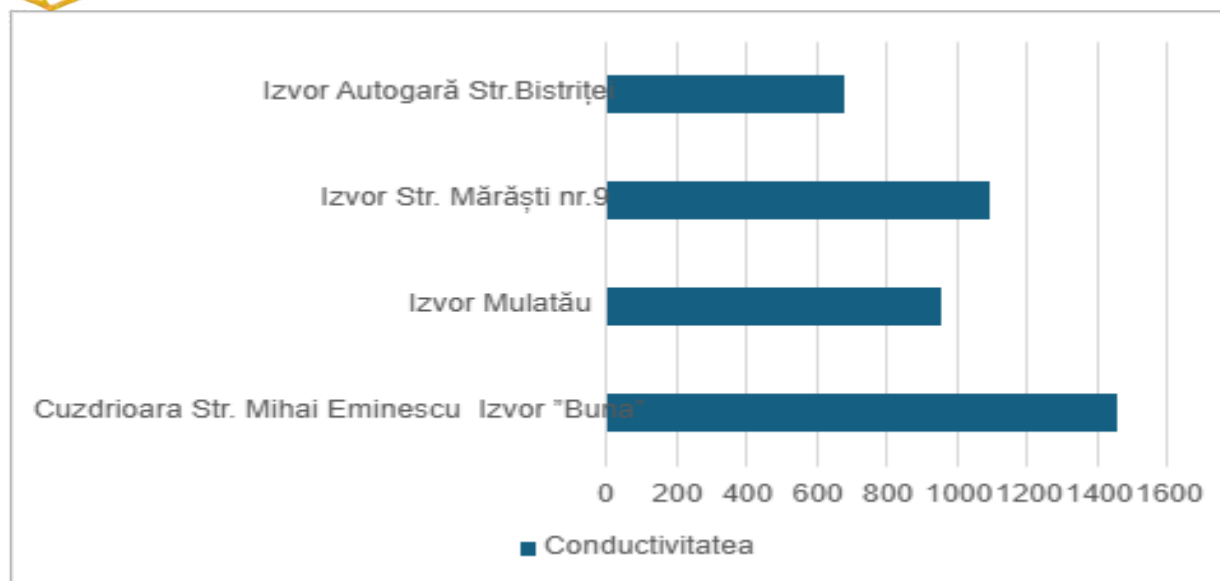


Figura 9. pH-ul apei din izvor

Conform legislației în vigoare din România, valoarea pH-ului a apei de izvor din probele supuse experimentării, este în limita corespunzătoare.

În Figura 10 sunt prezentate rezultatele experimentale privind conductivitatea apei, a probelor prelevate din izvoare.



Figura

10. Conductivitatea apei din izvor

Conform legislației din România în vigoare privind calitatea apei, conductivitatea probelor supuse experimentării nu depășește parametrii impuși de aceasta.

În Figura 11 sunt prezentate rezultatele experimentale privind TDS-ul apei, probelor prelevate din izvoare.

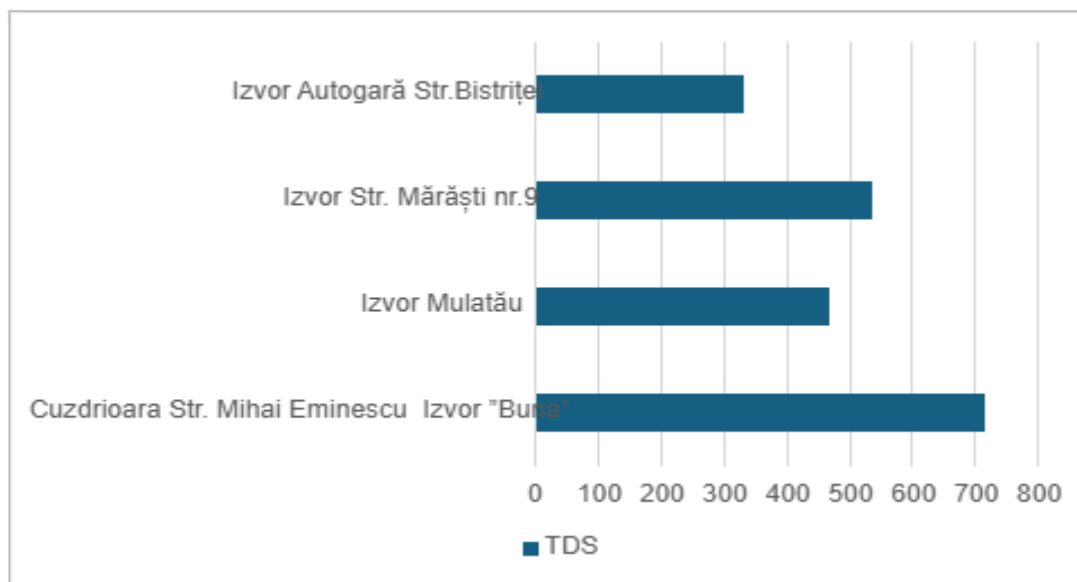


Figura 11. TDS-ul apei din izvor

Probele testate se încadrează în limita stabilită de legislația din România, care stabilește ce parametrii trebuie să îndeplinească apa care urmează a fi dată pentru consumul uman.

4. Concluzie

În urma testării diferitelor eșantioane de apă provenite din rețeaua de distribuție și din izvoare, din diferite locații, valorile pH-ului obținute, sunt cuprinse între 6,7-7,3, indică o apă slab alcalină sau ușor acidă, dar în limitele normale pentru consumul uman, atât apa din rețeaua de distribuție, cât și apa de izvor respectă parametrii de calitate impuși de legislația în vigoare. Valorile TDS sunt cuprinse între 46-716 mg/L, arătând faptul că apa din rețeaua de distribuție este slab mineralizată, apa provenită din izvoare are o mineralizare acceptabilă. Valorile conductivității sunt cuprinse între 94,2-1460, conductivitatea apei provenită din rețele de distribuție este slabă (ape oglio-



minerale), iar conductivitatea apei provenită din izvoare este ridicată (ape minerale), dar se încadrează în legislația în vigoare, legislația în România fiind de maxim $2500\mu\text{S}/\text{cm}$ la 20°C . Probele de apă prelevate, supuse experimentări, se încadrează în limitele impuse de legislația din România, apa prelevată din aceste rețele de distribuție este sigură pentru a putea fi dată către consum [2] și [3].

BIBLIOGRAFIE

1. SfatulMedicului, "Boli care pot fi contactate din apa contaminată", disponibil online la: https://www.sfatulmedicului.ro/Infectii-ale-pielii--tesutului-subcutanat-si-muscular/boli-care-pot-fi-contactate-din-apa-contaminata_9277, accesat la data de 20 mai 2025.
2. Eurolubricants.ro, „Duritatea apei – informații utile”, disponibil online la: <https://eurolubricants.ro/duritatea-apei/>, accesat la data de 5 mai 2025.
3. Ionescu, L. (2009). *Ape minerale – compoziție, clasificare și utilizare terapeutică*. Editura Medicală, București, accesat la data de 6 mai 2025.
4. Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, 5th Edition. McGraw-Hill. Accesat la data de 20 mai 2025.
5. *Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024* pentru aprobarea OUG nr. 7/2023, Monitorul Oficial al României.
6. *Ordonanța de Urgență nr. 7 din 18 ianuarie 2023 privind calitatea apei destinate consumului uman*, Monitorul Oficial al României.
7. Iluțiu-Varvara, D.A., *Chimie aplicată*, U.T. Press, Cluj-Napoca, 2023.



STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRII DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL DEVA, JUDEȚUL HUNEDOARA

Autori

Cristian Avram IANCU¹, Timotei FILIP²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail: iancus8953@gmail.com](mailto:iancus8953@gmail.com)

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail: timoteifilip7@gmail.com](mailto:timoteifilip7@gmail.com)

Îndrumător

Conf. dr. ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
[e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro](mailto:Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro)

REZUMAT: *Lucrarea prezintă rezultatele unor determinări experimentale asupra calității apei potabile din municipiul Deva, județul Hunedoara. Parametrii analizați sunt: pH-ul, conductivitatea electrică, solidele dizolvate totale (TDS) și duritatea totală. Scopul principal al studiului este evaluarea conformității acestora cu legislația națională și europeană în vigoare privind calitatea apei destinate consumului uman. Probele de apă au fost colectate din diverse locații, incluzând rețele publice și izvoare minerale. Rezultatele indică variații semnificative între surse, unele probe fiind în afara limitelor legale pentru anumite caracteristici. Lucrarea subliniază necesitatea monitorizării constante a calității apei și propune interpretări utile pentru utilizatori și autorități locale.*

Cuvinte cheie: pH-ul apei, conductivitate electrică, TDS, calitatea apei, ape potabile.

1. Introducere

Calitatea apei potabile are un impact direct asupra sănătății populației. În contextul urbanizării și al presiunii crescânde asupra resurselor de apă, este esențială monitorizarea periodică a parametrilor de calitate ai apei furnizate prin rețelele publice. Calitatea apei potabile influențează direct sănătatea populației, iar prezența unor impurități sau a unor concentrații neadecvate de săruri și compuși chimici poate duce la apariția unor afecțiuni serioase. De aceea, monitorizarea constantă a parametrilor de calitate ai apei este crucială [1].

Lucrarea de față își propune să analizeze câțiva parametri esențiali care reflectă calitatea apei potabile din municipiul Deva, județul Hunedoara: pH-ul, conductivitatea electrică, conținutul de solide dizolvate totale (TDS) și duritatea totală [2].

2. Materiale și metode

Pentru realizarea studiului, au fost prelevate cinci probe de apă din orașul Deva și din satul Chimindia, județul Hunedoara, în lunile februarie, martie și aprilie 2025, din rețeaua de distribuție și din izvoare de apă minerală. Probele au fost analizate în vederea determinării unor parametri fizico-chimici relevanți pentru evaluarea calității apei privind concentrația totală a sărurilor dizolvate, conductivitatea electrică și valoarea pH-ului.



Tabelul 1. Datele, orele și locațiile probelor de apă.

Nr. Crt.	Data și ora prelevării	Localizarea probei
Proba 1	19 februarie 2025- ora 15:45	Aurel Vlaicu, nr.24
Proba 2	10 martie 2025- ora 12:23	Împăratul Traian, nr. 15
Proba 3	1 aprilie 2025- ora 11:43	Parcul mare, Deva
Proba 4	6 aprilie 2025- ora 16:41	Izvorul de apă minerală Chimindia, județul Hunedoara, sursa 1
Proba 5	6 aprilie 2025- ora 16:58	Izvorul de apă minerală Chimindia, județul Hunedoara, sursa 2

În Figurile 3,4 și 5 sunt prezentate locațiile probelor de apă, respectiv în Figura 3 - proba 1, în Figura 4 -proba 2 și în Figura 5 - probele 4 și 5.



Figura 1. Str. Aurel Vlaicu, nr. 24
Figura 2. Str.

Împăratul Traian, nr. 15 Figura 3. Chimindia sursa 1, 2

În Figura 4 este prezentată locația probei de apă cu numărul 3 din Parcul Mare.



Figura 4. Parcul Mare

Pentru determinarea parametrilor de calitate probelor de apă, s-au utilizat: pH-metrul de laborator pentru determinarea pH-ului (Model Orion 2 Star THERMO ELECTRO CORPORATION), pahare Erlenmeyer și apă purificată deionizată. Pentru determinarea conductivității electrice s-au utilizat pahare Erlenmeyer, conductometrul portabil (model Orion 3 Star Series Meter THERMO ELECTRON CORPORATION) și apă purificată deionizată. Pentru determinarea totalului solidelor

dizolvate (TDS) s-a utilizat aparatul multiparametru (model Orion 3 Star Series Meter THERMO ELECTRON CORPORATION) [3].

3.Rezultate și discuții

În Figura 5 sunt reflectate rezultatele obținute experimental privind determinarea pH-ului pentru probele de apă provenite din rețeaua de distribuție și din izvoare minerale.

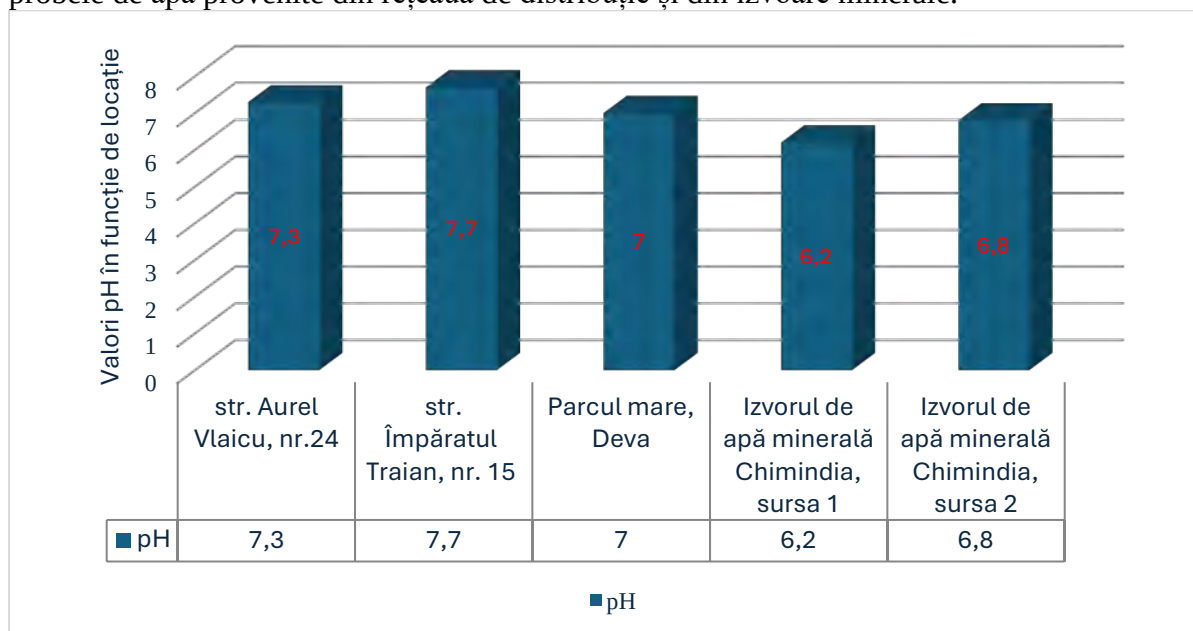


Figura 5. Determinarea pH-ului pentru probele de apă provenite din rețeaua de distribuție și izvoare minerale.

Conform legislației din România (Ordonanța Guvernului nr. 7/2023) și a Directivei UE 2020/2184, intervalul acceptabil pentru pH-ul apei potabile este între: 6,5 și 9,5 unități pH [1].

Interpretarea probelor privind determinarea pH-ului: Prima probă, colectată de pe strada Aurel Vlaicu, nr. 24, a prezentat un pH de 7,3 ceea ce indică o apă alcalină, dar în limitele legale. Acest tip de apă poate fi benefic pentru echilibrarea acidității din organism și este sigură pentru consum. A doua probă, provenind de pe strada Împăratul Traian, nr. 15, a avut un pH de 7,7, fiind o apă neutru-alcalină, foarte apropiată de pH-ul ideal. Aceasta este considerată excelentă pentru consum, având și un gust plăcut.

În Parcul Mare din Deva a fost prelevată a treia probă, care a înregistrat un pH de 7 – o apă perfect neutră, corespunzătoare standardelor de calitate și ideală pentru consum zilnic.

Situația este diferită în cazul celor două surse de la izvorul de apă minerală Chimindia, județul Hunedoara. La sursa 1, pH-ul de 6,2 indică o apă ușor acidă, sub limita legală minimă admisă (6,5). Aceasta nu este conformă pentru consum fără tratare, putând semnaliza prezența unor săruri acide, influențe geologice sau chiar contaminare. Sursa 2 a izvorului a înregistrat un pH de 6,8, ceea ce o încadrează în limitele acceptate, însă apa este ușor acidă și poate provoca efecte negative asupra conductelor metalice, favorizând coroziunea, deși rămâne potabilă [4].

În Figura 6 se observă valorile obținute experimental privind determinarea conductivității electrice pentru probele de apă supuse testării.

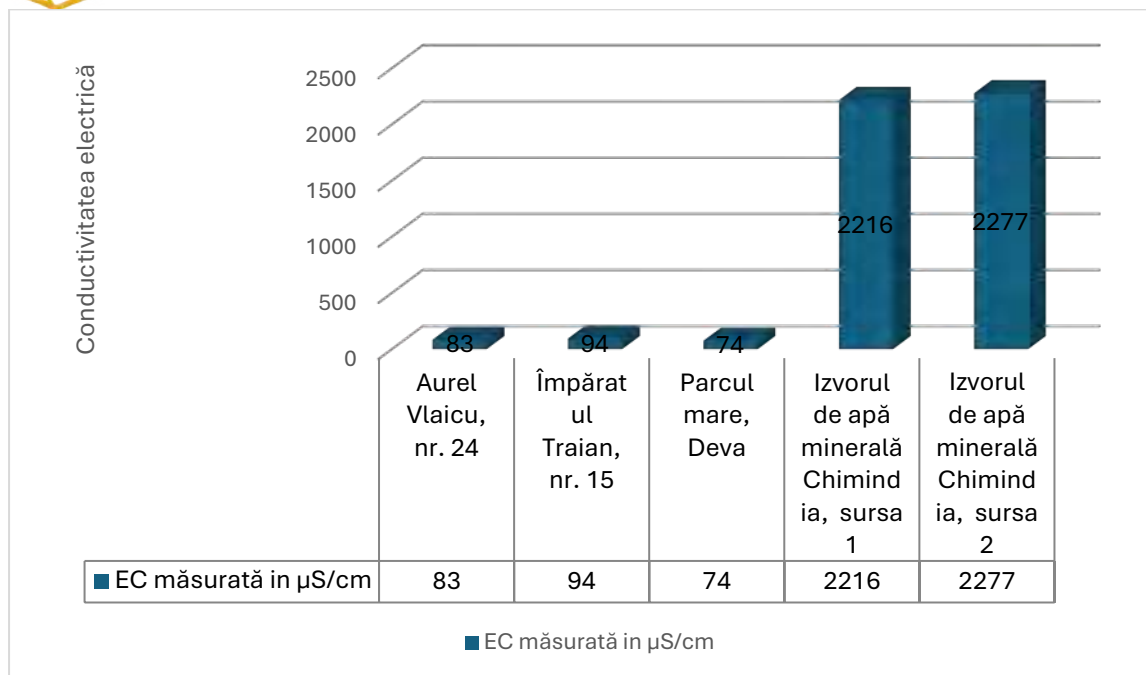


Figura 6. Conductivitatea electrică pentru probele de apă supuse testării.

Conform legislației din România și Uniunea Europeană privind calitatea apei potabile - în special Legea nr. 458/2002 (republicată) și Directiva (UE) 2020/2184 privind calitatea apei destinate consumului uman - valoarea de referință (parametru indicativ) pentru conductivitatea electrică (EC) este de 2500 $\mu\text{S/cm}$ (microSiemens pe centimetru) [1].

Interpretarea probelor privind determinarea conductivității electrice:

Primele trei probe, colectate de pe strada Aurel Vlaicu (83 $\mu\text{S/cm}$), strada Împăratul Traian (94 $\mu\text{S/cm}$) și din Parcul Mare, Deva (81,2 $\mu\text{S/cm}$), au indicat valori foarte scăzute ale conductivității. Aceste rezultate sugerează că apele sunt slab mineralizate, cu conținut redus de săruri dizolvate, fapt ce indică o puritate chimică ridicată. Toate aceste probe se încadrează cu mult sub limita legală de 2500 $\mu\text{S/cm}$ și sunt sigure pentru consum uman.

Pe de altă parte, cele două probe provenite de la izvorul de apă minerală Chimindia (sursa 1 – 2277 $\mu\text{S/cm}$, sursa 2 – 2293 $\mu\text{S/cm}$) au prezentat valori semnificativ mai mari ale conductivității electrice. Acestea indică un conținut ridicat de săruri minerale, specific apelor minerale. Deși se apropie de limita maximă admisă, rămân totuși conforme din punct de vedere legal. Aceste tipuri de apă pot avea beneficii terapeutice, dar nu sunt recomandate pentru consum zilnic în cantități mari fără a se cunoaște compoziția exactă a mineralelor.

În Figura 7 se observă valorile obținute experimental privind totalul solidelor dizolvate (TDS) pentru probele de apă supuse testării.

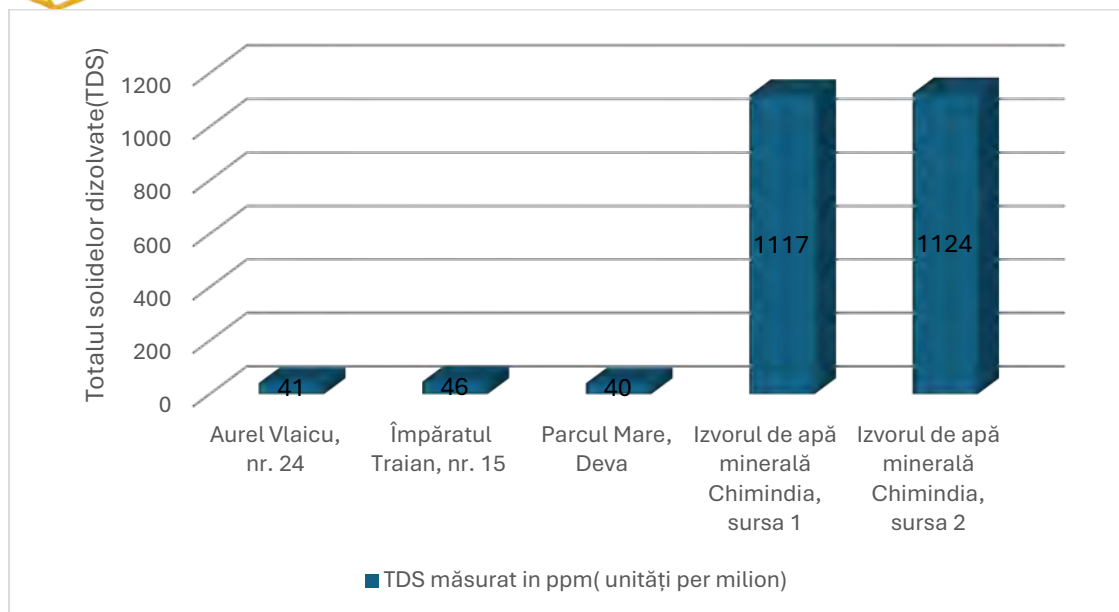


Figura 7. Totalul solidelor dizolvate(TDS).

Conform Organizației Mondiale a Sănătății (OMS) și standardelor europene, TDS acceptabil pentru apa potabilă este sub 1000 mg/L, deși în unele cazuri se acceptă până la 1200 mg/L dacă nu afectează gustul sau sănătatea [5].

Interpretarea valorilor privind totalul solidelor dizolvate(TDS):

Probele prelevate din zonele urbane – Aurel Vlaicu (41 mg/L), Împăratul Traian (46 mg/L) și Parcul Mare, Deva (40 mg/L) – au înregistrat valori TDS extrem de scăzute. Acestea indică o apă foarte slab mineralizată, curată și ideală pentru consum zilnic. Nivelul redus de săruri dizolvate face ca aceste ape să fie potrivite pentru hidratare continuă și sigure pentru toate categoriile de consumatori.

În contrast, izvoarele minerale din Chimindia au înregistrat valori TDS semnificativ mai mari – 1116 mg/L pentru sursa 1 și 1124 mg/L pentru sursa 2. Acestea sunt ape mineralizate, potrivite mai degrabă pentru uz terapeutic decât pentru consum zilnic. Deși valorile se află sub limita maximă tolerată (1200 mg/L), sunt aproape de pragul superior recomandat, iar consumul frecvent poate fi contraindicat în anumite situații medicale.

4.Concluzii

Rezultatele obținute în urma analizelor experimentale confirmă faptul că apa potabilă din județul Hunedoara, în special cea din rețeaua urbană a municipiului Deva, prezintă parametri de calitate corespunzători și este sigură pentru consum zilnic. Valorile înregistrate pentru pH (între 7 și 7,7), TDS (între 40 și 46 mg/L) și conductivitate electrică (între 81,2 și 94 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indică o apă slab mineralizată, curată, lipsită de contaminanți semnificativi și benefică pentru hidratare continuă.

În contrast, izvoarele naturale din Chimindia prezintă caracteristici tipice apelor minerale, cu un conținut ridicat de săruri (TDS între 1116 și 1124 mg/L și EC între 2277 și 2293 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Aceste valori se încadrează în limitele legale, dar se apropie de pragurile superioare admise. Totodată, pH-ul scăzut al sursei 1 (6,2) depășește limita minimă legală și impune prudență în utilizare, semnalând potențiale influențe geologice sau contaminări acide.

BIBLIOGRAFIE

1. *Legea nr. 458/2002 privind calitatea apei potabile*, republicată. Monitorul Oficial, România.
2. Iluțiu-Varvara D.A., *Chimie Aplicată*. U.T. Press, Cluj-Napoca, 2023.
3. Thermo Electron Corporation, *Orion 2 Star și 3 Star Series Meter – Manuale Tehnice*, 2020.
4. *Ordonanța nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman*. Monitorul Oficial, Partea I, nr. 63 din 25 ianuarie 2023.
5. Roșu C., Vlaicu A., Boita S., *Studiu asupra calității apei potabile*. Conferința Națională de Inginerie Sanitară, Timișoara, 2022.



IMPLEMENTAREA UNEI SOLUȚII DE PRODUCERE A ENERGIEI ELECTRICE UTILIZÂND PAVAJE PIEZOELECTRICE PENTRU O ZONĂ PIETONALĂ DIN CLUJ - NAPOCA: ENERGIE VERDE LA FIECARE PAS

Autori

Andrei S. CHIRILĂ¹, Mihai R. BIDA²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: chirila.6andrei6@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: bidamihai4@gmail.com

Îndrumător

Ș. I. dr. ing. Horațiu ALBU³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: horatiu.albu@insta.utcluj.ro

REZUMAT: Lucrarea abordează un subiect de actualitate, propunând o metodă inovatoare de producere a energiei electrice prin utilizarea de pavaje piezoelectrice care transforma pașii pietonilor în energie electrică. Tehnologia inovatoare de pavaje piezoelectrice poate fi utilizată pentru a genera energie electrică utilizabilă la alimentarea diferitelor receptoare electrice din spațiul public, cu impact benefic și atractiv asupra eficientizării consumului de energie în zonele aglomerate ale orașului.

A fost realizat și un studiu de caz privind oportunitatea de amplasare a soluției de pavaje piezoelectrice pe o stradă pietonală aglomerată din orașul Cluj – Napoca, considerând ca și receptoare electrice urbane sistemul de iluminat public, panourile de informare led și stațiile de încărcare a dispozitivelor mobile. Pentru stabilirea soluției de iluminat public și, respectiv, determinarea consumului de energie electrică, s-au realizat simulări în programul DIALux evo 13.0.

Cuvinte cheie: pavaje piezoelectrice, eficiență energetică, iluminat, costuri.

6. Introducere

Odată cu creșterea preocupării globale pentru sustenabilitatea energetică și eficiența resurselor, tehnologiile emergente în dezvoltarea infrastructurii urbane devin din ce în ce mai importante. O astfel de inovație sunt pavajele piezoelectrice, soluții inteligente pentru conversia energiei mecanice a pașilor pietonilor și a roților vehiculelor în energie electrică.

Efectul piezoelectric este fenomenul prin care anumite materiale generează un curent electric atunci când se aplică o forță (sub formă de compresie sau vibrație), de exemplu, anumite materiale precum cristalul de cuarț sau compușii ceramici precum PZT (zirconatul de plumb titanat). În mod similar, acestea pot fi făcute să vibreze pentru a genera curent electric mecanic, caz în care sunt folosite ca difuzoare sau transductoare. În ceea ce privește infrastructura rutieră și pietonală, efectul piezoelectric este utilizat pentru a captura lucrul util efectuat pentru a depăși vibrațiile și căldura care altfel ar fi disipate de sistem.

Pavajele piezoelectrice sunt formate din module piezoelectrice încapsulate sub suprafața de rulare, care capturează energia pasivă (potențială/cinetică) creată în timp ce oamenii sau vehiculele calcă peste ele sau trec pe lângă ele. Energia colectată poate fi convertită și stocată în baterii sau condensatoare și poate fi, de asemenea, furnizată direct consumatorilor de putere mică, cum ar fi luminile LED, senzori de monitorizare, sisteme de informații urbane [1].

7. Conceptul de pavaj piezoelectric

Pavajele piezoelectrice reprezintă un pas înainte în lumea tehnologiilor noi, deoarece permit conversia energiei mecanice create de pietoni în timpul mersului, în electricitate. Această tehnologie se bazează pe efectul piezoelectric, care implică generarea tensiunii electrice din trăsături fizice precum compresia sau vibrațiile.



Cele mai utilizate materiale piezoelectronice sunt cristalele de cuarț și ceramica sintetică, cum ar fi PZT. Acestea sunt incorporate în designul structural al pavajului sub formă de module sau plăci montate sub dalele pietonale. Atunci când o persoană calcă pe una dintre aceste plăci, presiunea aplicată în timpul pasului duce la generarea unui câmp electric în interiorul materialului, în unități discrete.

Deși cantitatea de electricitate produsă este relativ mică, energia acumulată poate deveni semnificativă datorită numărului mare de pași făcuți în fiecare zi. Energia captată este stocată în baterii sau supercapacitoare, dar poate fi, de asemenea, utilizată direct pentru a alimenta echipamente cu cerințe energetice reduse, cum ar fi:

- corpurile de iluminat stradal LED;
- panourile de afișaj informațional;
- senzorii de monitorizare a traficului pietonal;
- camerele de supraveghere.

Un alt avantaj major al acestor sisteme este faptul că nu modifică aspectul trotuarului, deoarece dalele pot fi personalizate pentru a se potrivi cu designul urban. De asemenea, pavajele piezoelectrice contribuie la dezvoltarea infrastructurii sustenabile, acestea fiind o metodă de valorificare a unei forme de energie care, în mod normal, s-ar pierde.

Există diferite exemple de implementări în orașe precum:

- Londra (Marea Britanie) – zona de metrou sau în zone de mare circulație;
- Tel Aviv (Israel) - bulevarde pietonale și comerciale;
- Tokio (Japonia) - gări sau mall-uri.

Aceste exemple demonstrează faptul că tehnologia deja disponibilă este funcțională, sigură, ușor de utilizat și cu un mare potențial de dezvoltare pentru orașele de tip smart cities, cum este Cluj-Napoca [2].

8. Analiza amplasamentului

Strada Universității este una dintre cele mai importante artere pietonale din partea centrală a orașului Cluj-Napoca, în imediata apropiere a sediului central al Universității Babeș-Bolyai și a altor clădiri administrative și culturale. Strada este caracterizată printr-un trafic pietonal ridicat, cu un flux constant creat de studenți, cadre didactice, turiști și locuitori ai orașului [3].

Pentru studiul de caz, a fost luată în considerare zona cuprinsă între Piața Unirii și strada Inocențiu Micu Klein, fiind cea mai aglomerată în timpul săptămânii.

3.1. Caracteristici generale ale amplasamentului:

- Localizare: zona centrală a orașului, între Piața Unirii și strada Inocențiu Micu Klein;
- Lungime estimată a străzii considerată: aprox. 110 m;
- Lățime zona pietonală: aprox. 16 m;
- Tip de pavaj actual: dale de piatră cubică și piatră naturală;
- Trafic auto: limitat; prioritate pietonală.

3.2. Motive pentru alegerea acestei locații:

- Densitate pietonală ridicată: în principal în intervalul orar 7:30÷18:30, când se desfășoară ore la școlile din vecinătate, precum și cursuri universitare;
- Prezența instituțiilor de învățământ: crește frecvența deplasărilor regulate și ritmice, utile pentru generarea continuă de energie;
- Vizibilitate urbană: strada este una emblematică pentru oraș, ceea ce contribuie la impactul public și educativ al proiectului;
- Disponibilitate a infrastructurii: existența iluminatului stradal și camerelor de supraveghere permite integrarea facilă a energiei generate în rețeaua locală.



3.3. Considerații tehnice și estetice:

Strada este aflată în cadrul zonei urbanizate și protejate din oraș, ceea ce implică aplicarea unui set de reguli stricte de integrare arhitecturală și urbanism. Materialul care urmează a fi folosit pentru pavajul piezoelectric trebuie să fie vizual și fizic compatibil cu cel deja existent (culoare, textură, rezistență).

3.4. Estimare trafic pietonal:

Strada Universității din Cluj-Napoca a fost recent reconfigurată într-un spațiu pietonal modern, ca parte a strategiei orașului de a promova mobilitatea durabilă și un mediu urban prietenos cu locuitorii. Finalizată în martie 2024, pietonalizarea acestei artere centrale a redus semnificativ traficul auto din zonă, contribuind astfel la scăderea poluării și la creșterea calității vieții. Spațiul pietonal a devenit un loc de întâlnire pentru clujeni și turiști, găzduind frecvent evenimente culturale și sociale [3].

Tabelul 1. Traficul pietonal pe strada Universității din Cluj-Napoca

Interval orar	Nr. estimativ persoane/oră
07:00÷09:00	800÷1000
09:00÷13:00	1200÷1500
13:00÷17:00	1000÷1200
17:00÷21:00	600÷800
Total estimat persoane/zi	12800÷16000

9. Etapele planului de implementare

4.1 Calculul sistemului de iluminat exterior necesar

Implementarea pavajelor piezoelectrice pe strada Universității oferă o gamă variată de aplicații practice și aduce beneficii semnificative din punct de vedere energetic, urbanistic și educațional. Această tehnologie nu doar recuperează o formă de energie altfel pierdută, ci contribuie activ la dezvoltarea durabilă a orașului și la promovarea inovației în spațiul public.

Energia electrică obținută din presiunea pașilor pietonilor poate fi folosită pentru alimentarea unor echipamente urbane cu consum redus, dar cu impact vizual și funcțional semnificativ. În cazul străzii Universității, această energie ar putea fi direcționată către:

- Iluminatul stradal LED, contribuind la reducerea consumului de energie electrică de la rețeaua publică;
- Casete publicitare luminate (tip Citylight), utilizate pentru afișarea mesajelor comerciale sau culturale, fără a necesita surse externe de curent;
- Panouri publicitare digitale cu autoalimentare parțială, care pot funcționa în regim de consum redus și pot afișa informații utile pentru pietoni sau turiști;
- Bănci inteligente (smart benches) echipate cu porturi USB pentru încărcarea telefoanelor mobile, Wi-Fi local sau senzori de mediu, alimentate parțial din energia generată de pașii trecătorilor.

4.2 Calculul sistemului de iluminat exterior necesar

Pentru a determina tipul sistemului de iluminat exterior necesar pentru strada Universității, a fost realizată o simulare a iluminatului stradal utilizând aplicația DIALux evo 13.0.

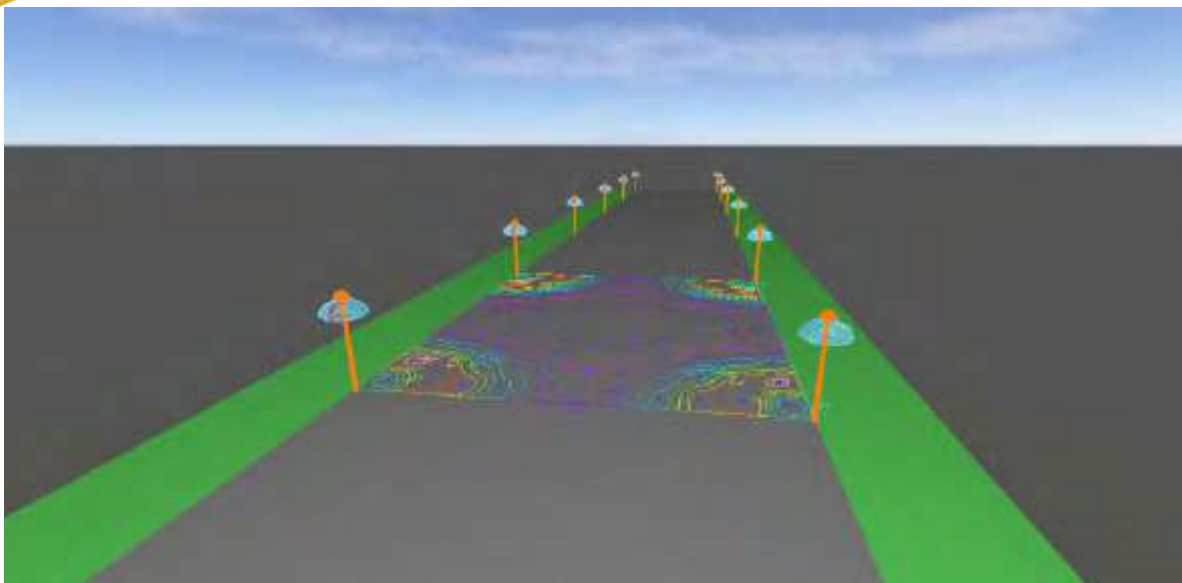


Figura 1. Iluminat Stradal, Strada Universității

Pe baza simulărilor realizate în DIALux evo 13.0, am estimat necesarul energetic zilnic pentru iluminatul din strada Universității. Conform datelor centralizate în Tabelul 3, avem un consum generat de iluminat stradal, bănci inteligente și panouri publicitare aproximativ de 3.64 kWh/zi.

Tabelul 2. Date luminotehnice simulare DIALux evo 13.0.

	Nivel de iluminare necesar* [lx]	Uniformitate necesară -	Nivel de iluminare realizat [lx]	Uniformitate realizată -
Iluminat strada Universității	5	0.25	5.85	0.28

*conform SR EN 12464-2:2011.

În urma simulărilor, pe lungimea considerată, a rezultat un număr de 10 corpuri de iluminat necesare total, fiecare având puterea instalată egală cu 19 W.

4.3 Calculul consumului de energie electrică necesar

S-a luat în considerare alimentarea cu energie electrică a sistemului de iluminat stradal pentru o perioadă de 12 ore/zi, luând în considerare o energie electrică consumată pe oră de 0.190 kWh.

De asemenea, s-a luat în considerare și amplasarea a unui panou publicitar având un consum de energie electrică estimat orar de 0.1 kWh, amplasarea a 5 bănci echipate cu prize, având fiecare un consum de energie electrică estimat orar de 0.16 kWh.

Astfel, a rezultat un consum de energie electrică total orar de 0.310 kWh, conform Tabelului 3.

„În Ianuarie, ziua: 10 ore, noaptea: 14 ore, Februarie ziua: 11 ore, noaptea: 13 ore, Martie ziua: 12 ore, noaptea: 12 ore, Aprilie ziua: 13 ore, noaptea: 11 ore, Mai ziua : 14 ore, noaptea: 10 ore, Iunie ziua: 15 ore, noaptea: 9 ore, Iulie ziua: 14 ore, noaptea: 10 ore, August ziua: 13 ore, noaptea: 11 ore, Septembrie ziua: 12 ore, noaptea: 12 ore, Octombrie ziua: 11 ore, noaptea: 13 ore, Noiembrie ziua : 10 ore, noaptea : 14 ore, Decembrie ziua : 9 ore, noaptea : 15 ore” [4].

Astfel s-a luat în considerare o perioadă de 12 ore, valoare medie pe an, necesar funcționării iluminatului mai mare pe timp de iarnă, dar mai mic pe timp de vară.

Tabelul 3. Determinare consum de energie electrică strada Universității

	Energie electrică consumată/oră [kWh]	Timp de funcționare [h]	Energie electrică consumată/zi [kWh]
Iluminat stradal	0.19	12	2.28
Bănci Smart			
-1 Port USB	0.01	4	0.04
-Bandă LED	0.01	12	0.12
Panou publicitar Citylight 2 m ²	0.1	12	1.2

Total energie consumată pe oră	0.310 kWh
Total energie consumată pe zi	3.64 kW/zi



Figura 2. Vedere Strada Universității desenată în DIALux evo 13.0.

4.4 Calculul numărului de pavaje piezoelectrice necesar

S-au montat un număr de 24 de plăci piezoelectrice în apropierea intersecției dintre strada Universității și strada Napoca (pe trecerea de pietoni), pe o suprafață de aproximativ 3 m² fiecare placă având o energie produsă de aproximativ 5 W pe apăsare.

Tabelul 4. Determinare număr de pavaje necesare pentru strada Universității

Suprafață [m ²]	Număr plăci	Număr persoane pe oră	Număr aproximativ total pe zi	Număr ore de funcționare [ore]
6 m ²	48	2000	28000	14

Tabelul 5. Determinarea energiei produse de 48 de plăci

	Număr aproximativ de pași pe zi	Număr apăsări per pavaj (2 pe secundă) [apăsări/oră]	Energie produsă de pași într-o oră/pavaj [J/oră]	Energie produsă de 48 pavaie [J/ora]	Energia electrică produsă în total [kWh]
Strada Universității Cluj-Napoca	28000	56000	280000	13440000	3.73

Astfel, conform Tabelului 4, au rezultat un număr de 48 de plăci pentru asigurarea consumului de energie a iluminatului stradal și a unor consumatori minori.

Comparând Tabelele 3 și 4, se poate evidenția oportunitatea amplasării unui sistem de pavaje piezoelectrice pe strada Universității. Sistemul propus este un sistem eficient energetic și poate fi scalabil pentru spații cu trafic ridicat, asigurând iluminarea optimă și funcționalitate complementară fără a depăși limite rezonabile de consum.

10. Estimarea costurilor

Implementarea unui sistem de pavaj piezoelectric pe Strada Universității presupune costuri de achiziție a materialelor, manoperă pentru instalare și alte cheltuieli legate de integrarea și punerea în funcțiune



a sistemului. Estimarea costurilor pentru un proiect pilot de 6 m², cu 48 de pavele piezoelectrice, poate fi realizată pe baza unor valori de piață pentru fiecare componentă a sistemului [5].

5.1. Costurile materialelor

- Pavele piezoelectrice: Fiecare placă piezoelectrică poate avea un cost aproximativ între 400 și 700 lei pe unitate, în funcție de tehnologia utilizată (PZT, PVDF) și de producător. Pentru 48 de pavele, costul total al materialelor cu o estimare medie a unei plăci de 9600 lei este de 33600 lei.
- Echipamente de stocare a energiei (baterii/supercondensatori): Pentru a stoca energia generată, sunt necesare echipamente de stocare. Acestea pot costa între 2000 și 4000 RON pentru un sistem mic care să deservească zona de 6 m².
- Sistem de iluminat cu corpuri de iluminat LED și echipamente conexe: Pentru a conecta pavajele piezoelectrice la un sistem de iluminat LED sau alte echipamente urbane (panouri informative, băncile smart), costurile pentru aceste echipamente ar putea fi în jur de 1000÷2000 RON.

5.2. Costurile manoperei și instalării

Instalarea pavajului piezoelectric presupune montarea pavelor și integrarea acestora cu sistemul de stocare și alimentare. Manopera pentru această lucrare poate varia în funcție de complexitatea instalării, dar estimăm un cost de 1000÷2000 RON pentru o echipă de muncitori și tehnicieni.

5.3. Costuri adiționale

- Transportul materialelor și echipamentelor: aproximativ 300÷500 RON.
- Permise și avize: în funcție de reglementările locale, pot apărea costuri pentru obținerea autorizațiilor necesare, care se estimează la 500÷1000 RON.
- Testare și verificare a sistemului: evaluarea performanței poate presupune costuri de 500÷1000 RON.

5.4. Costul total estimat

Astfel, estimăm că suma totală necesară pentru implementarea unui sistem de pavaj piezoelectric pe o suprafață de 6 m², cu 48 de pavele, este de 49200 RON [5].

5.5. Oportunitatea investiției

Tabelul 6. Amortizarea costurilor de investiție

Cost energie electrică	Durată o zi	Durată un an	Durată 28 ani
1.3 lei/kwh	3.73 kWh = 4.85 ron/zi	4.85 ron/zi x 365 = 1770 ron/an	1770 ron/an x 28 ani = 49560 ron/28 ani

11. Aplicații și beneficii

Aplicații posibile ale energiei generate, având beneficii directe și indirecte:

- Energetice:
 - Reducerea consumului de energie electrică din rețeaua publică prin utilizarea energiei regenerabile produse local;
 - Posibilitatea de stocare a energiei electrice în baterii și utilizarea ei în orele de vârf sau în timpul nopții.
- Urbanistice și de imagine:
 - Îmbunătățirea esteticii și funcționalității străzii, prin integrarea unei tehnologii moderne;
 - Transformarea unei străzi pietonale tradiționale într-un exemplu de infrastructură inteligentă;
 - Atragerea atenției turiștilor și a trecătorilor, care vor interacționa direct cu tehnologia.
- Educaționale și sociale:
 - Creșterea gradului de conștientizare cu privire la energia regenerabilă și sustenabilitate [6].



12. Concluzii

Proiectul „Implementarea unei soluții de producere a energiei electrice utilizând pavaje piezoelectrice pentru o zonă pietonală din Cluj - Napoca: energie verde la fiecare pas” propune o soluție inovatoare de generare a energiei prin conversia presiunii mecanice exercitate asupra pavimentului în energie electrică, utilizând materiale piezoelectrice. Această tehnologie are un potențial semnificativ în contextul urbanizării accelerate și al necesității unor surse alternative de energie.

În cadrul acestui proiect, am realizat o simulare detaliată a sistemului de iluminat stradal pentru strada Universității din Cluj-Napoca, utilizând programul de simulare DIALux evo 13.0 pentru a modela spațiul urban în 3D și a evalua distribuția luminii. Scopul a fost obținerea unui iluminat eficient, uniform și sigur. Pe termen lung, această soluție contribuie la un mediu urban mai sustenabil.

Avantaje:

1. Energie regenerabilă: Folosește energia mecanică produsă de pașii pietonilor sau roțile autovehiculelor, care altfel s-ar irosi.
2. Reducerea poluării: Contribuie la reducerea emisiilor de CO₂ prin substituirea parțială a surselor tradiționale de energie.

Dezavantaje:

1. Costuri ridicate: Materialele piezoelectrice și sistemele asociate (stocare, control, întreținere) implică investiții mari și un timp îndelungat în care se pot amortiza aproximativ în 28 ani conform Tabelului 6.
2. Durabilitate: Componentele pot fi afectate de uzură mecanică intensă și de condițiile de mediu.

Tehnologia este sustenabilă din punct de vedere ecologic, deoarece valorifică o sursă regenerabilă și neexploată de energie. Totuși, sustenabilitatea economică și operațională depinde de progresul tehnologic care ar putea reduce costurile și crește eficiența.

În contextul actual, având în vedere costurile de achiziție și analiza oportunității investiției, aceasta nu este fezabilă din punct de vedere economic, fiind justificată doar prin interesul crescut al oamenilor pentru soluții inovatoare de generare a energiei.

Concluzionând, proiectul susține o viziune modernă asupra spațiului public, îmbinând eficiența tehnologică cu confortul utilizatorilor, și propune o soluție sustenabilă, adaptată străzii Universității din Cluj-Napoca.

BIBLIOGRAFIE

1. https://ro.wikipedia.org/wiki/Efect_piezoelectric
2. Keliang Mou, Xiaoping Ji, Jie Liu, Haoyu Zhou, Haochen Tian, Xiaojuan Li, Honghui Liu, *Using piezoelectric technology to harvest energy from pavement: A review*, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), Volume 12, Issue 1, 2025, Pages 68-86, ISSN 2095-7564, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2024.11.002>
3. <https://www.monitorulcj.ro/>
4. <https://www.antena3.ro/amp/cate-ore-de-lumina-au-zilele-in-ianuarie-la-ce-ora-apune-soarele-627142.html>
5. <https://ro.piezodisc.com/>
6. <https://www.pricetocompare.com/>



ÎMBUNĂTĂȚIREA EFICIENȚEI ENERGETICE A BOILERELOR ELECTRICE PRIN SOLUȚII ALTERNATIVE DE ÎNCĂLZIRE ȘI STOCARE A CĂLDURII

Autori

Tudor T. NAȘCA¹, Raul R. IUGA²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor; Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: nascatudor@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor; Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: rauliuga12@gmail.com

Îndrumător

Ș. I. dr. ing. Octavian-Gabriel POP³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor; Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: octavian.pop@termo.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea analizează posibilitatea îmbunătățirii eficienței energetice a boilerelor electrice prin aplicarea a două soluții inovative. Prima constă în înlocuirea rezistenței electrice clasice, imersată în apă, cu o plasă din conductori din fibră de carbon, montată tangent pe mantaua boilerului sub izolația termică. Aceasta funcționează asemenea unei păături încălzitoare, acoperind uniform suprafața boilerului și asigurând o suprafață de contact semnificativ mai mare, comparativ cu rezistențele electrice clasice. Ulterior, în interiorul boilerului sunt integrate materiale cu schimbare de fază, care au rolul de a acumula căldură pe durata încălzirii și de a o ceda treptat în perioadele de consum ale apei calde, contribuind la îmbunătățirea performanței termice. Studiul include monitorizarea detaliată a comportamentului termic prin montarea de senzori de temperatură în puncte cheie, pentru a analiza stratificarea termică și eficiența energetică. Testele s-au realizat comparativ pentru cele trei configurații: boiler standard, boiler cu conductor din fibră de carbon și boiler echipat atât cu conductor din fibră de carbon, cât și cu materiale cu schimbare de fază.*

Cuvinte cheie: boiler electric, conductor fibră carbon, materiale cu schimbare de fază.

1. Introducere

Boilerelor electrice înregistrează o creștere semnificativă a utilizării la nivel european, fiind tot mai frecvent adoptate pentru asigurarea apei calde menajere în sectorul rezidențial. Conform datelor disponibile din literatura de specialitate, consumul de energie asociat preparării apei calde menajere reprezintă, în medie, aproximativ 14,8% din consumul total de energie al locuințelor. În acest context, identificarea și implementarea unor soluții tehnologice eficiente pentru reducerea consumului energetic al boilerelor electrice devine o prioritate, având în vedere tendința ascendentă a utilizării acestora.[1,2]

Această evoluție este amplificată de răspândirea tot mai accentuată a sistemelor de producere a energiei din surse regenerabile, în special a panourilor fotovoltaice, care favorizează tranziția către consumul de energie electrică în detrimentul combustibililor fosili. În consecință, se conturează un interes crescut pentru utilizarea echipamentelor electrice în sectorul rezidențial și modernizarea aparaturii casnice, inclusiv a boilerelor, în direcția unor soluții mai sustenabile și mai bine integrate în noile paradigme energetice.[3]

Conductorii din fibră de carbon (CFC) sunt tot mai utilizați în aplicații de încălzire datorită eficienței electrice și proprietăților mecanice remarcabile. Un exemplu concludent este utilizarea acestora în pavimentele din beton pentru dezghețare, unde firele de fibră de carbon sunt încorporate direct în structura drumului pentru a preveni acumularea gheții în sezonul rece. În plus, durabilitatea și rezistența mecanică a firelor din fibră de carbon permit utilizarea lor în condiții extreme, fără deteriorare sau pierderi semnificative de performanță [4]. Această tehnologie este totodată extinsă și în alte domenii de încălzire, precum încălzirea în pardoseală, panouri radiante, textile (de exemplu: haine, covoare încălzite, bănci, huse, etc.), unde maleabilitatea și distribuția uniformă a căldurii o fac o alternativă eficientă și versatilă față de soluțiile convenționale [5,6].

În cazul boilerelor electrice, elementele de încălzire prezintă o eficiență ridicată, iar izolația termică a acestora a atins deja un nivel avansat de performanță. Prin urmare, una dintre cele mai fezabile direcții pentru creșterea eficienței energetice a acestor echipamente este optimizarea capacității de stocare a energiei termice.

În acest context, tot mai multe studii se concentrează pe îmbunătățirea capacității de stocare a energiei termice. Materialele cu schimbare de fază (Phase Change Materials PCM) atrag un interes tot mai mare în domeniul cercetării datorită capacității de acumulare a unor cantități importante de energie termică: „*The storage of PCM thermal energy is more beneficial than sensible energy storage because of its high density of storage energy per unit volume/mass.*” [7]

Au fost realizate numeroase studii privind integrarea materialelor cu schimbare de fază (PCM) în boilere, acestea oferind soluții relevante în funcție de problemele vizate. De exemplu, în aplicațiile care implică rezervoare de apă caldă utilizate pentru încălzirea bazinelor de înot, utilizarea PCM-urilor a permis reducerea volumului nominal al rezervoarelor cu până la 25%, în timp ce consumul de energie și emisiile de CO₂ au fost diminuate cu valori cuprinse între 5% și 11,97%. [8] Un alt exemplu relevant este utilizarea PCM-urilor în boilerele cu încălzire solară, unde cantitatea totală de căldură stocată în boilerul echipat cu materiale cu schimbare de fază este de 2,59 până la 3,45 ori mai mare comparativ cu un boiler convențional. [9]

2. Descrierea proiectului experimental

Pentru a analiza influența acestor tehnologii, a fost realizat un stand experimental care să permită efectuarea unor teste comparative. În acest scop, au fost utilizate două boilere electrice identice, cu un volum de 80 de litri fiecare. Unul dintre acestea a fost păstrat în forma sa originală și utilizat ca martor, în timp ce al doilea a fost modificat conform detaliilor prezentate în secțiunile următoare.

Pentru monitorizarea consumului de energie electrică, este utilizat un contor electric dedicat. Cantitatea de apă introdusă în boilere, precum și debitul înregistrat în timpul simulării unui consum de apă caldă, sunt măsurate cu ajutorul unui contor de apă.

Determinarea temperaturilor în diferite puncte ale sistemului se realizează cu senzori de temperatură conectați la o placă Arduino, valorile fiind înregistrate la un interval de 2 secunde. Senzorii utilizați pentru măsurarea temperaturii apei sunt montați în conducte de cupru cu diametrul de 15 mm, iar cei destinați monitorizării temperaturii în materialul cu schimbare de fază (PCM) sunt senzori imersibili, plasați direct în masa materialului PCM. Având în vedere imposibilitatea montării senzorilor de temperatură în interiorul boilerului martor, comparațiile între acesta și variantele modificate se realizează utilizând un singur senzor de temperatură, amplasat în teaca rezistenței electrice imersate în apă.

Având în vedere necesitatea montării conductorului din fibră de carbon (CFC) pe mantaua boilerului, a fost îndepărtat învelișul și izolația inițială din spumă poliuretanică. După montarea CFC-ului, boilerul a fost izolat cu vată de sticlă, protejată în exterior cu un înveliș din tablă. Pentru a facilita accesul la interior în vederea efectuării unor modificări sau teste suplimentare, boilerul a fost tăiat și a fost montată o flanșă DN400, permițând deschiderea repetată. În plus, pe capacul superior au fost sudate patru racorduri filetate, destinate conectării cablurilor senzorilor de temperatură.

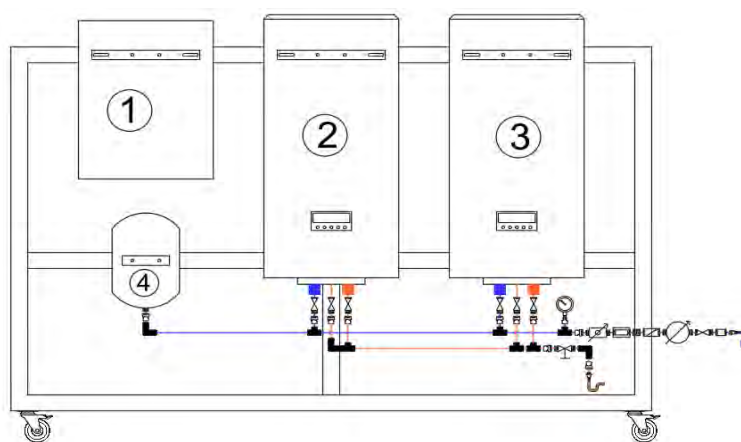


Figura 2. Schema de principiu

1 - panou electric; 2 - boiler martor; 3 - boiler modificat; 4 - vas expansiune



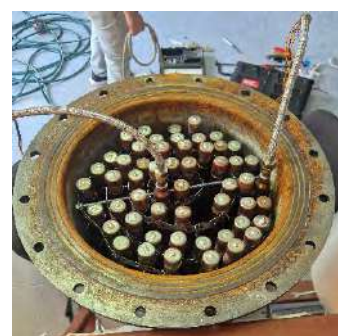
Figura 2. CFC montat pe exterior



Figura 3. Țevi pentru senzorii de temperatură



Materialul cu schimbare de fază utilizat este Tiosulfatul de sodiu pentahidrat $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Pentru a introduce materialul în interiorul boilerului, au fost prevăzute 54 de țevi din cupru, cu diametrul de 28x1 mm și lungimea de 410 mm. Acestea sunt dispuse în patru cercuri concentrice, conținând câte 5, 11, 17, respectiv 21 de țevi. Într-o țeavă centrală și într-una din ultimul au fost montați senzorii de temperatură. PCM-ul a fost introdus în lichidă în fiecare țeavă, într-o cantitate de aproximativ 330–340 g, rezultând un total de aproximativ 18 kg de material PCM.



cerc
stare

Figura 5. Ansamblu țevi în boiler

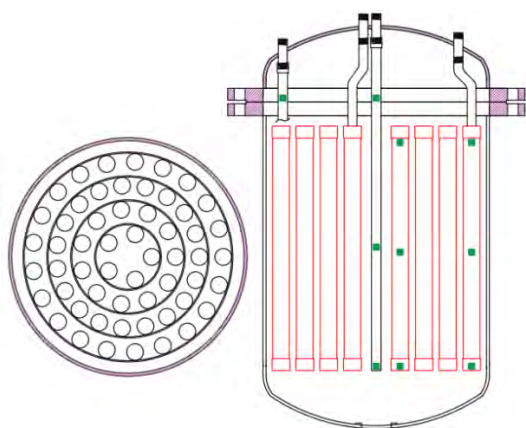


Figura 6. Schema boiler echipat cu PCM

Senzorii de temperatură sunt reprezentați în Figura 6 sub forma unor pătrate verzi. Conducele care conțin PCM sunt ilustrate cu roșu, dintre care două includ și senzori de temperatură. Conducele evidențiate cu negru corespund celor în care sunt montați senzorii de temperatură pentru apă. Standul experimental finalizat este prezentat în Figura 7, iar în Figura 8 este ilustrat panoul electric utilizat pentru comanda de pornire și oprire a rezistențelor, precum și pentru măsurarea energiei electrice consumate.



Figura 7. Stand experimental



Figura 8. Panou electric

3. Rezultate și discuții

În prima etapă a fost analizată evoluția temperaturii în timpul procesului de încălzire a apei, de la o temperatură inițială de aproximativ 22°C până la atingerea valorii de 60°C în interiorul boilerului. Volumele de apă încălzite diferă ușor între cele trei situații analizate și vor fi menționate individual pentru fiecare caz. Ulterior, toate rezultatele obținute sunt aduse la o unitate de măsură comună, pentru a permite compararea eficienței celor trei situații analizate.

Eficiența unui sistem de încălzire reprezintă raportul dintre energia utilă și energia totală consumată, multiplicat cu 100 pentru a exprima valoarea în procente. Eficiența în cele trei variante este calculată utilizând ecuația (1).

$$\eta = \frac{E_{\text{util}}}{E_{\text{consumat}}} \cdot 100 \quad (1)$$

unde η = eficiența [%]; E_{util} = energia utilă [kJ]; E_{consumat} = energia consumată [kJ]

Energia utilă reprezintă cantitatea de energie necesară pentru a crește temperatura apei de la valoarea inițială la cea finală. Aceasta poate fi determinată cu ajutorul ecuației (2).

$$E_{\text{util}} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

unde m = masa [kg]; c = căldura specifică [kJ/kg·K]; ΔT = diferența dintre temperatura finală și temperatura inițială [°C, K]

În cazul boilerului de referință, au fost încălziți 60 litri apă de la temperatura inițială de 22°C până la 60°C. Consumul total de energie electrică înregistrat a fost de 3,45 kWh. Cunoscând căldura specifică a apei, $c = 4,18$ kJ/kg·°C, energia necesară pentru încălzirea apei (E_{util}) se calculează folosind relația (2), iar eficiența boilerului se determină pe baza relației (1).

În cazul boilerului modificat cu conductor din fibră de carbon (CFC), au fost încălziți 71,5 litri apă, de la temperatura inițială de 22°C până la 60°C. Consumul total de energie electrică a fost de 4,06 kWh. La fel ca în primul caz, se determină energia utilă (E_{util}) și eficiența sistemului.

În cazul boilerului modificat cu CFC și material cu schimbare de fază (PCM), determinarea energiei utile este mai complexă din cauza procesului de schimbare de fază al PCM-ului. Energia totală utilă are trei componente principale: energia necesară pentru încălzirea apei, energia acumulată de către cupru (având în vedere cele aproximativ 16 kg aflate în interiorul sistemului) și energia asociată PCM-ului. Pentru acesta din urmă, energia utilă se împarte în trei etape: încălzirea materialului în fază solidă până la punctul de topire, energia absorbită în timpul topirii, și încălzirea suplimentară în faza lichidă.



În acest sistem sunt prezente: 46 kg apă, 16 kg de cupru și 18 kg de material cu schimbare de fază (PCM). Căldura specifică a cuprului este cunoscută și are valoarea $c = 0,385 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. Pentru tiosulfatul de sodiu pentahidrat, conform unui studiu [10], căldura specifică în faza solidă este $c_{\text{solid}} = 1,46 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, iar în fază lichidă $c_{\text{lichid}} = 2,38 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. Temperaturile analizate rămân neschimbate față de celelalte cazuri, de la 22°C la 60°C . Acest sistem a consumat în total 3,47 kWh. Prin aplicarea relației (2), se determină energia utilă pentru fiecare componentă: apă, cupru, PCM în fază solidă și PCM în fază lichidă.

Conform analizelor de laborator efectuate asupra materialului cu schimbare de fază (PCM), datele necesare pentru determinarea energiei utile în etapa de topire sunt prezentate în Figura 9. Din aceste date reiese că procesul de topire începe la o temperatură de $50,46^\circ\text{C}$ și se finalizează la $52,19^\circ\text{C}$. În cadrul aceleiași analize a fost determinată și căldura latentă de topire, având valoarea de $181,75 \text{ kJ/kg}$.

Pentru calculul energiei utile asociate topirii materialului, această valoare se înmulțește cu masa totală de PCM, respectiv 18 kg.

$$E_{\text{util}} \text{ apa} = 7167,36 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{util}} \text{ cupru} = 233,12 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{util}} \text{ pcm\_solid} = 748,42 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{util}} \text{ lichid} = 333,94 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{util}} \text{ topire} = 3271,5 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{util}} = 3,27 \text{ kWh}$$

Calorimetria cu scanare diferențială (Differential scanning calorimetry DSC) a fost utilizată pentru a determina proprietățile termice ale PCM-ului.

Un aparat DSC 822 (Mettler Toledo, Columbus, OH, SUA) a fost utilizat pentru caracterizarea probelor. S-a utilizat metoda dinamică, cu debitul de aer 25 ml/min și un interval de temperatură de scanare de $8-50^\circ\text{C}$.

Măsurătorile s-au realizat la Facultatea de Farmacie din cadrul UMF „Iuliu Hațieganu”, Cluj-Napoca.

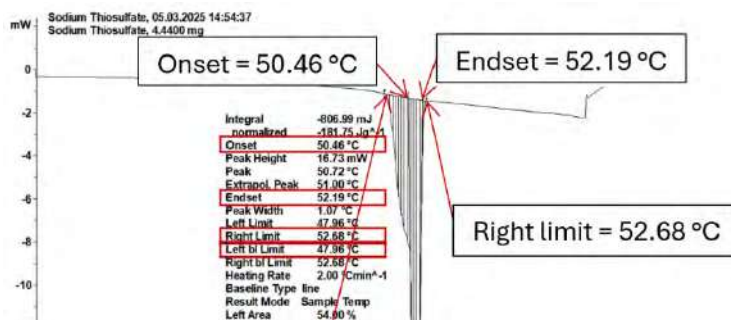
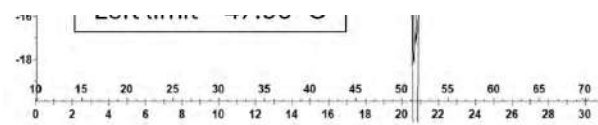


Figura 9. Topirea tiosulfatului de sodiu pentahidrat

Sursa: Analize DSC



Tabel 1. Centralizare valori încălzire

Mărime	Boiler Martor	Boiler CFC	Boiler CFC/Cu/PCM
Masă [kg]	60	71,5	46/16/18
Eutil [kWh]	2,64	3,15	3,26
Econsumat [kWh]	3,45	4,06	4,15
Eficiență [%]	76,73	77,7	78,50

În Figura 10 este ilustrată evoluția temperaturii în timp pentru fiecare dintre cele trei variante analizate.

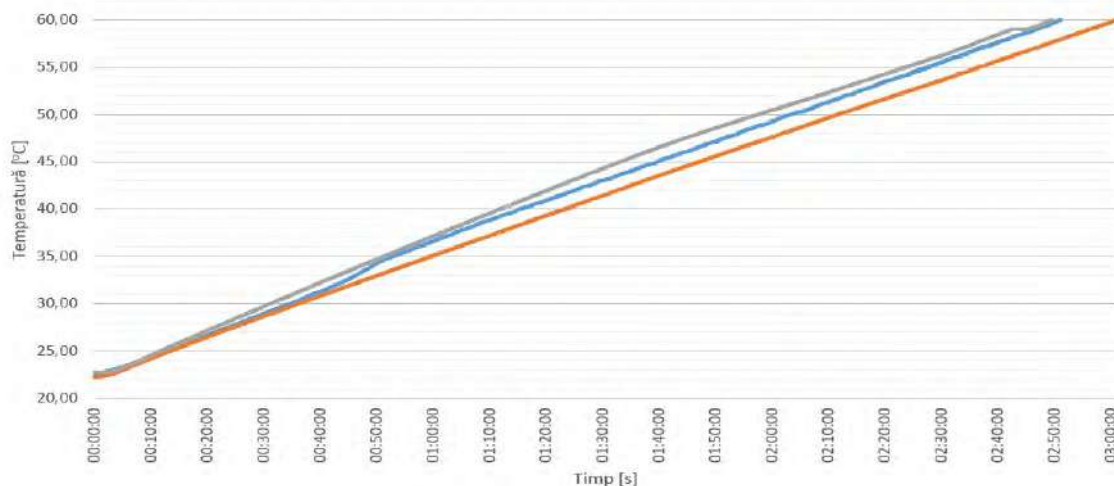


Figura 10. Grafic variație temperatură

Pentru a analiza comportamentul temperaturii în boilerul în condiții de consum de apă, au fost deschise robinetul de intrare și cel de ieșire, iar debitul a fost reglat la aproximativ 0,2 l/s. Odată cu pornirea fluxului de apă, au fost activate și rezistențele electrice în fiecare dintre cazuri, pentru a asigura încălzirea apei în timpul utilizării.

Deoarece materialul PCM este prezent doar în boilerul modificat, nu există o bază de comparație directă cu boilerul martor. Astfel, rezultatele obținute pentru sistemul cu PCM pot fi comparate doar cu cele ale boilerului echipat cu CFC. Apa a fost oprită atunci când temperatura a ajuns la aproximativ 22 °C.

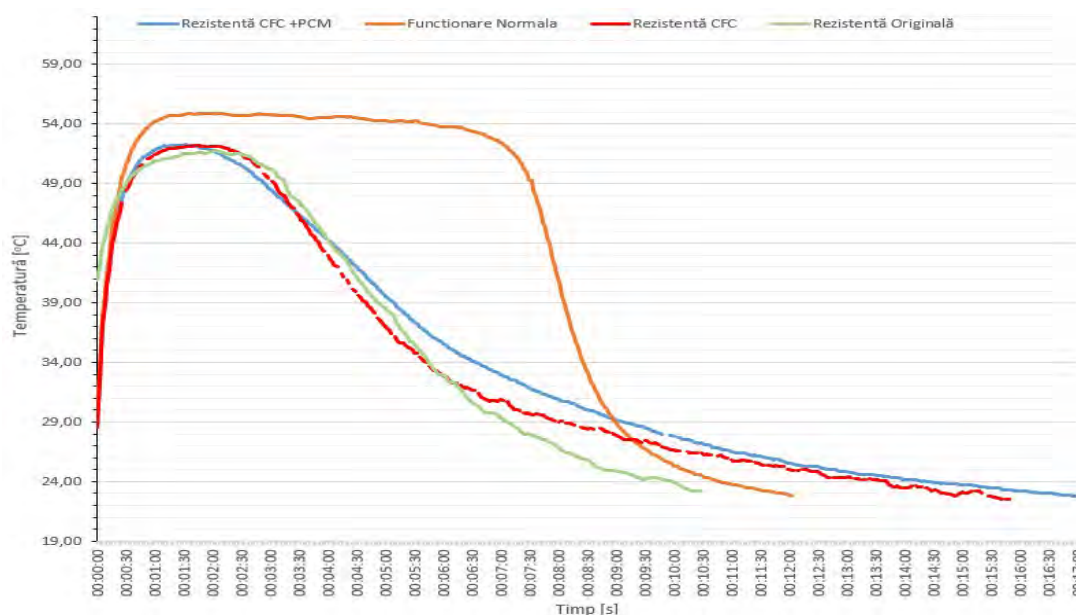


Figura 11. Simulare debit

4. Concluzii

Așa cum reiese din rezultatele prezentate în Tabelul 1, boilerul modificat cu CFC prezintă o eficiență cu 0,97% mai mare decât boilerul martor, comportându-se practic similar. În cazul boilerului cu CFC și PCM, eficiența este ușor superioară, deși teoretic ar fi trebuit să fie mai scăzută, având în vedere că PCM-ul absoarbe o cantitate mai mare de energie. Această discrepanță sugerează că topirea materialului de schimbare de fază nu s-a realizat complet, chiar dacă senzorii de temperatură au indicat valori apropiate de 60 °C. Pentru testele viitoare, se va introduce o perioadă de așteptare suplimentară după faza de încălzire, pentru a monitoriza mai atent evoluția temperaturii și a confirma topirea integrală a materialului.



Conducta de evacuare a apei calde pornea inițial din zona inferioară și se termina în partea superioară a boilerului, de unde era extrasă apa caldă. În timpul modificărilor aduse boilerului, această conductă a creat dificultăți, motiv pentru care am decis să o scurtăm cu aproximativ 20 cm. Abia în faza de testare am realizat importanța dimensiunii inițiale: prin coborârea prizei de apă cu 20 cm, apa extrasă este mai rece, din cauza stratificării termice din interiorul rezervorului. În Figura 11 este ilustrat modul în care ar trebui să răspundă boilerul în regim de simulare de debit, atunci când conducta de apă caldă ajunge în zona superioară. Pentru a putea compara corect performanțele celor trei tehnologii, am montat rezistența originală în boilerul modificat și am efectuat teste comparative. Rezultatele arată că, în timpul simulării unui debit, comportamentul rezistenței originale este foarte apropiat de cel al rezistenței realizate din fibră de carbon (CFC).

De asemenea, în Figura 11, comparând curbele aferente boilerului cu CFC și celui cu CFC + PCM, se poate observa că prezența materialului PCM contribuie la menținerea temperaturii apei pentru o perioadă mai lungă, încetinind procesul de răcire. Diferența dintre cele două curbe, exprimată prin suprafața delimitată între ele, reflectă aportul de căldură furnizat de PCM pe durata fazei de răcire. În concluzie, deși rezistența CFC prezintă un comportament similar cu cel al unei rezistențe convenționale în ceea ce privește eficiența, rămân în avantaj caracteristicile sale superioare: durabilitatea în timp, maleabilitatea, flexibilitatea, rezistența la coroziune etc. În etapa următoare, vom realiza teste cu rezistența CFC montată imersată în apă, pentru a analiza dacă această configurare poate aduce un plus de eficiență energetică. Materialul cu schimbare de fază (PCM) contribuie la creșterea eficienței energetice, urmând ca performanțele sale să fie investigate mai detaliat prin teste suplimentare.

Mulțumiri

Această lucrare a fost finanțată prin proiectul „Bright ideas for real solutions”, din cadrul Compartimentului pentru *Relația cu Mediul Socio-Economic* al Universității Tehnice din Cluj-Napoca, nr. contract grant intern 20441/17.06.2024.

Autorii doresc să-i mulțumească dnei. S.I.dr.farm. Lucia Tefas pentru ajutorul acordat prin realizarea determinărilor DSC.

BIBLIOGRAFIE

1. Sarabia-Escriba, E. J., Soto-Francés, V. M., Pinazo-Ojer, J. M., & Acha, S. (2023). *Economic and environmental analysis of domestic hot water systems for single-family homes*. *Energy and Buildings*, 286, 112925. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2023.112925>
2. Fuentes, E., Arce, L., & Salom, J. (2018). *A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1530–1547. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.229>
3. Yildiz, B., Bilbao, J. I., Roberts, M., Heslop, S., Dore, J., Bruce, A., MacGill, I., Egan, R. J., & Sproul, A. B. (2021). *Analysis of electricity consumption and thermal storage of domestic electric water heating systems to utilize excess PV generation*. *Energy*, 235, 121325. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121325>
4. Zhao, H., Wu, Z., Wang, S., Zheng, J., & Che, G. (2011). *Concrete pavement deicing with carbon fiber heating wires*. *Cold Regions Science and Technology*, 65(3), 413–420. <https://doi.org/10.1016/J.COLDREGIONS.2010.10.010>
5. Huanhong Yang (2017) *Research on application of carbon fiber heating material in clothing IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 81 012042 ; <https://doi.org/10.1088/1755-1315/81/1/012042>
6. Pei, Y., Luo, Z., Xiao, H., Chen, Z., Zhou, X., & Yang, Z. (2022). *A simple carbon fiber heating wire design method for preventing ice accretion on stay cables*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 34, 101996. <https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2022.101996>
7. Sharif, M. K. A., Al-Abidi, A. A., Mat, S., Sopian, K., Ruslan, M. H., Sulaiman, M. Y., & Rosli, M. A. M. (2015). *Review of the application of phase change material for heating and domestic hot water systems*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 557–568. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.09.034>
8. Pop, O. G., & Balan, M. C. (2021). *A numerical analysis on the performance of DHW storage tanks with immersed PCM cylinders*. *Applied Thermal Engineering*, 197, 117386. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2021.117386>
9. Kousksou, T., Bruel, P., Cherreau, G., Leousoff, V., & el Rhafiki, T. (2011). *PCM storage for solar DHW: From an unfulfilled promise to a real benefit*. *Solar Energy*, 85(9), 2033–2040. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2011.05.012>
10. Ekmekyapar, A. (2005). *Enhancement of solar thermal energy storage performance using sodium thiosulfate pentahydrate of a conventional solar water-heating system*. *Energy and Buildings*.



STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN REPUBLICA MOLDOVA, CHIȘINĂU

Autori

Alexandru CALMIȘ¹, Radu-Ionuț ARCIUDEAN²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: sanducalmis123@gmail.com.

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: radu.ionu2004@gmail.com.

Îndrumător

Conf. dr. ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă rezultate obținute experimental, asupra unor parametri de calitate ai apei destinate consumului uman din Chișinău, Republica Moldova. Parametri de calitate luați în considerare în prezentul studiu sunt: pH-ul, conductivitatea electrică, solidele dizolvate totale. Scopul principal este evaluarea conformității acestora cu legislația și normele europene în vigoare în legătură cu calitatea apei pentru consum uman. Probele au fost colectate din diferite părți ale orașului, incluzând mostre din rețeaua de distribuție și izvoare naturale. Rezultatele indică diferențe minimale între calitatea apei din rețeaua de distribuție, dar totodată diferențe considerabile între apele de izvor. Lucrarea accentuează importanța verificării calității apei și oferă informații relevante pentru utilizatori.*

Cuvinte cheie: conductivitate electrică, TDS, pH, apă potabilă, rețea de distribuție, izvoare.

1. Introducere

Apa este indispensabilă vieții, iar proprietățile chimico-fizică a acesteia joacă un rol crucial în prosperitatea mediului, în aplicații industriale și în sănătatea, cât și starea de bine a populației.[1][2][3] Parametri precum pH-ul, conductivitatea electrică și concentrația totală a solidelor dizolvate (TDS) sunt esențiali pentru evaluarea rapidă a caracteristicilor apei, oferind informații relevante despre echilibrul acido-bazic, nivelul de mineralizare și prezența ionilor dizolvați. [4][5]

Acești indicatori permit nu doar diagnosticarea stării apei din punct de vedere calitativ, ci și identificarea unor posibile surse de poluare, monitorizarea eficientă a tratamentelor aplicate și verificarea respectării standardelor legale.[6][7][8] Investigarea acestor variabile conferă o înțelegere mai precisă a proceselor hidrologice și constituie un element valoros pentru gestionarea sustenabilă a resurselor de apă. În România, parametri de calitate ai apei potabile sunt specificați prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman [7][9].

În Tabelul 1 sunt prezentate valorile maxime admise și maxim admise excepțional pentru pH-ul apei potabile.

Tabelul 1. Valorile maxim admise și maxim admise excepțional pentru pH-ul apei

Parametrul de calitate al apei	Valoarea optima	Valoarea maxima admisa
pH	6.5-7.5	6.5-9.5



Conform legislației Uniunii Europene privind calitatea apei potabile, Legea nr. 458/2002 (republicată) și Directiva (UE) 2020/2184 privind calitatea apei destinate consumului uman — valoarea de referință (parametru indicativ) pentru conductivitatea electrică (EC) este de 2500 $\mu\text{S/cm}$ [7][9].

Tabelul 2. Tipurile apelor în funcție de valoarea conductivității electrice

Nr. Crt.	Tipul apei	Valori ale conductivității electrice ale apei [$\mu\text{S/cm}$]	Culoare capac
1.	Ape oligo-minerale slabe (ape plate)	51-200	alba
2.	Ape oligo-minerale medii (ape de izvor)	201-1000	albastra
3.	Ape minerale	1001-2500	verde
4.	Ape minerale forte (ape minerale medicinale)	≥ 2501	mov

Mai jos sunt prezentate valorile caracteristice apei în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale (TDS):

- $\diamond$ 0–50 ppm – Mineralizare foarte slabă
- $\diamond\diamond$ 50–100 ppm – Mineralizare slabă
- $\diamond\diamond\diamond$ 100–300 ppm – Mineralizare optimă
- $\diamond\diamond\diamond\diamond$ 300–600 ppm – Mineralizare acceptabilă
- $\diamond\diamond\diamond\diamond\diamond$ 600–1000 ppm – Mineralizare ridicată
- $\triangle$ >1000 ppm – Apă care afectează sănătatea

2. Materiale și metode

În total au fost colectate 3 probe de apă din rețeaua de distribuție, și 5 din izvoare locale, acestea au fost caracterizate în baza concentrației totale a sărurilor dizolvate, valoarea pH-ului și conductivitatea electrică. Probele au fost colectate din Chișinău și regiunile adiacente, Republica Moldova, acestea fiind preluate în perioada 1-2 aprilie.

Tabelul 3. Data, ora și localizarea colectării mostrelor de apă supuse testării.

Nr.	Data și ora colectării	Locația prelevare probe
Proba 1	13:45 ; 1 aprilie	Str. Gavriil Banulescu-Bodoni 28, Centru
Proba 2	16:00 ; 1 aprilie	Str. Ion Buzdugan 13, Buiucani
Proba 3	7:45 ; 2 aprilie	Str. Ion Creanga 88
Proba 4	10:00 ; 2 aprilie	47.15748, 28.54169
Proba 5	10:30 ; 2 aprilie	47.15527, 28.54132
Proba 6	11:00 ; 2 aprilie	47.15453, 28.53947
Proba 7	13:00 ; 2 aprilie	47.15474, 28.51735
Proba 8	17:20 ; 2 aprilie	47.15462, 28.51539

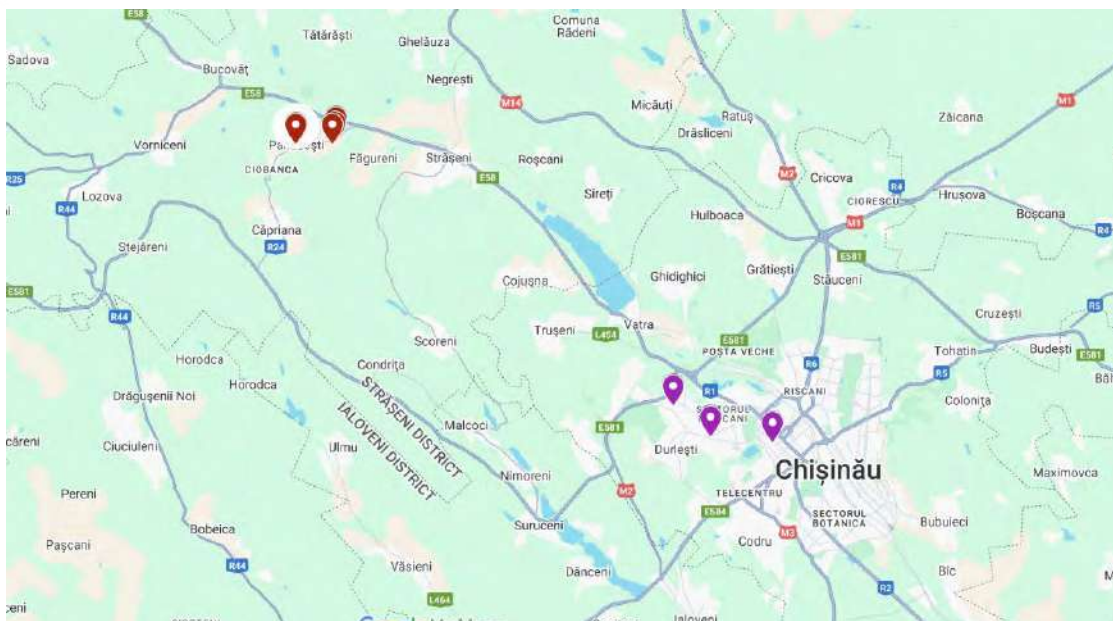


Figura 1: Coordonate geografice de prelevare a probelor.

Pentru determinare s-au utilizat:

1. pH-metrul de laborator (Model Orion 2 Star THERMO ELECTRO CORPORATION), pahare Erlenmeyer și apă purificată deionizată.
2. Pahare Erlenmeyer, conductometrul portabil (model Orion 3 Star Series Meter THERMO ELECTRON CORPORATION) și apă purificată deionizată.
3. Multiparametru (model Orion 3 Star Series Meter THERMO ELECTRON CORPORATION)

3.Rezultate și discuții

În Figurile 2 și 3 sunt reflectate rezultatele obținute experimental privind determinarea pH-ului pentru probele de apă provenite din rețeaua de distribuție și izvoare.

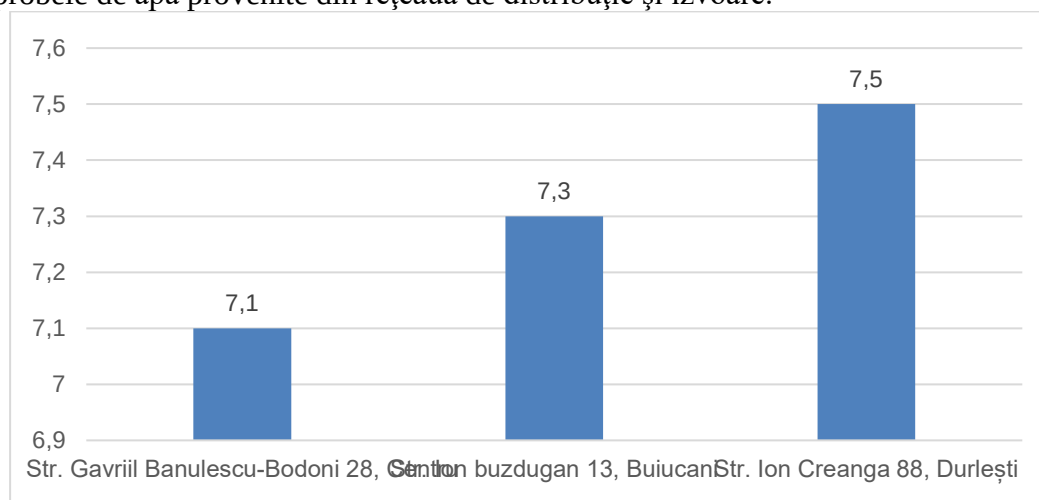


Figura 2: Valoarea pH în rețeaua de distribuție

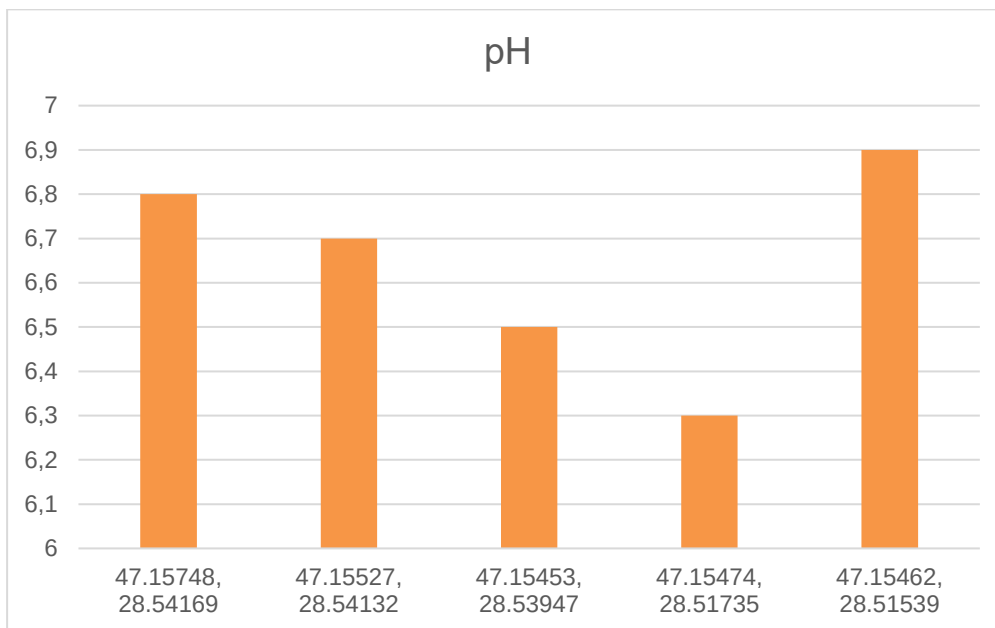


Figura 3: Valoarea pH în izvoare

Conform datelor prezentate anterior, se observă o ușoară variație a pH-ului între diferite străzi ale capitalei. Chiar dacă toate probele s-au prelevat din rețeaua de distribuție, se poate observa o ușoară creștere a pH-ului spre extremitățile orașului. Apa are un caracter ușor bazic, dar totodată toate probele se încadrează în intervalul de pH admis pentru apele potabile conform legislației în vigoare. Cât despre apa din izvoare, aceasta are valori peste norme, una din mostre având pH-ul sub 6.5 (6.3) ceea ce îi conferă un caracter acid.[10]

În Figurile 4 și 5 sunt reprezentate rezultatele obținute experimental a conductivității electrice din rețeaua de distribuție și izvoare.

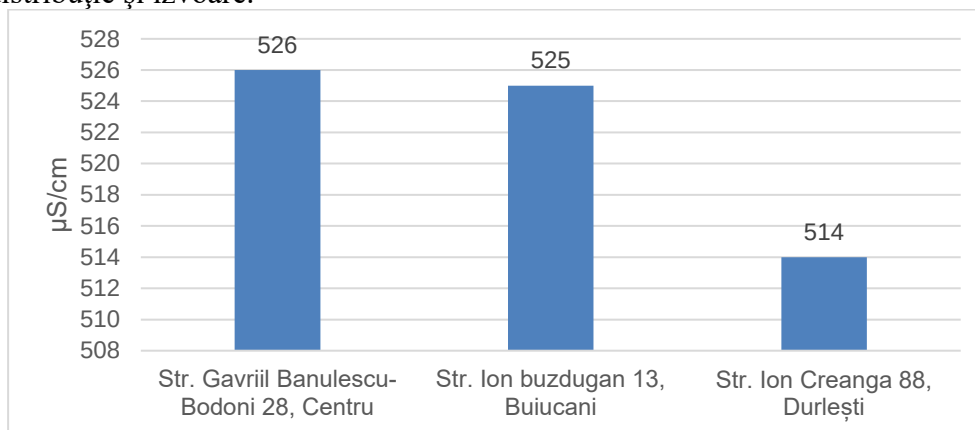


Figura 4: Valoare conductivitate electrică rețea distribuție (μS/cm)

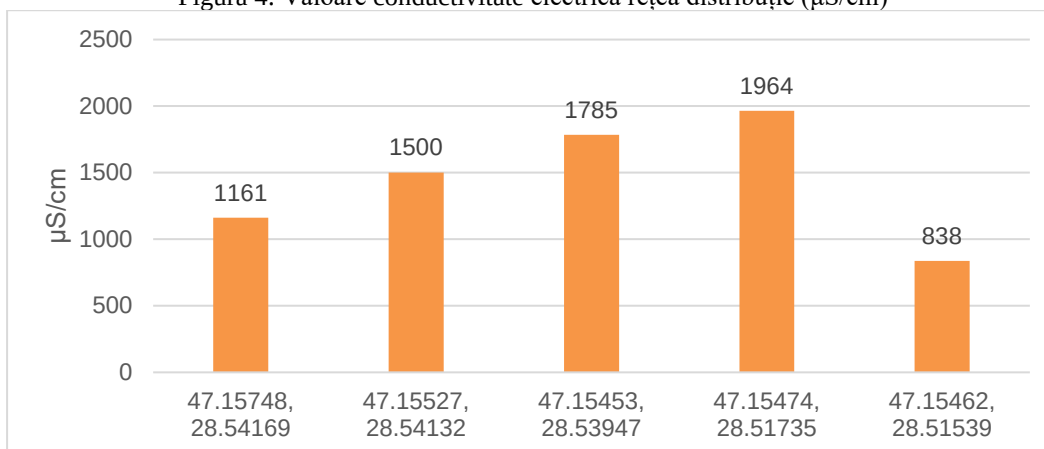


Figura 5: Valoare conductivitate electrică izvoare (μS/cm)



În urma analizei probelor, acestea se încadrează în categoria apelor oligominerale medii (ape de izvor), conform clasificării standard care definește acest tip de apă printr-un interval de conductivitate cuprins între 201 și 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De asemenea, între probe este o diferență minimală în valoarea EC, dar totodată, se observă o ușoară scădere a valorilor spre periferia orașului. În aceasta categorie, apele de izvor prezintă o diferență considerabilă, cu valori cuprinse între 838-1964, apele se plasează în categoria (ape minerale).

În Figurile 6-7 sunt reprezentate rezultatele obținute experimental a Total Solide Dizolvate din rețeaua de distribuție și izvoare.

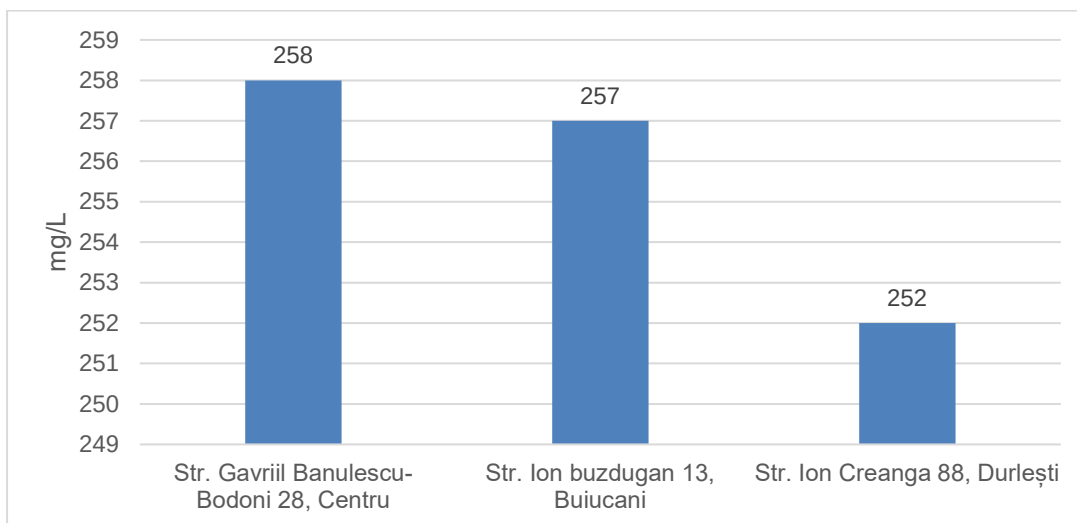


Figura 6: Valoare total solide dizolvate rețea distribuție (mg/L)

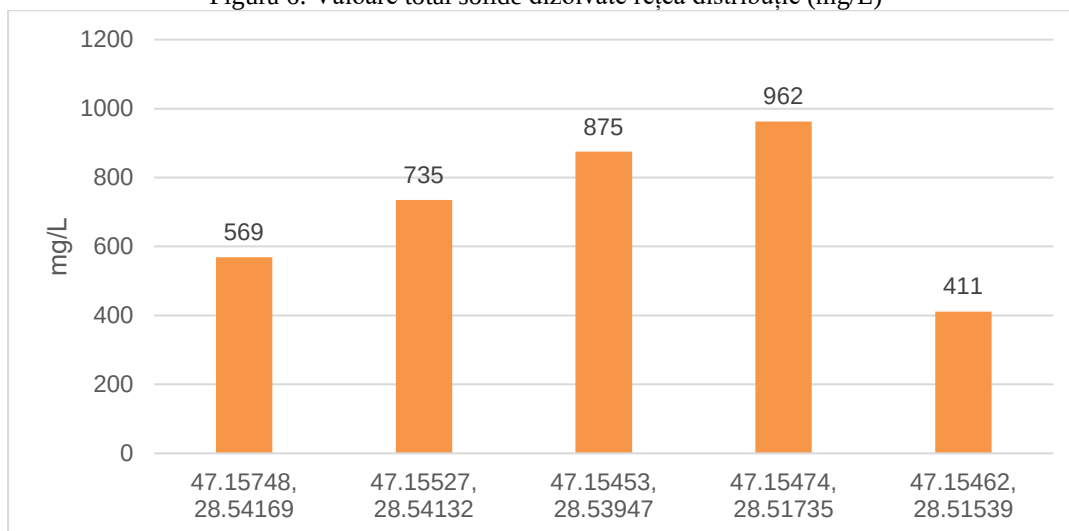


Figura 7: Valoare total solide dizolvate izvoare (mg/L)

Conform figurilor prezentate anterior, un conținut de solide dizolvate totale (TDS) de 258-252 mg/L plasează apa în categoria cu mineralizare optimă. Valorile TDS între 100 și 300 mg/L sunt considerate ideale pentru consumul zilnic, deoarece oferă un echilibru bun între gust, hidratare și aport mineral. Prin urmare, aceasta apă este considerată sigură și benefică pentru consumul uman regulat. Apele de izvor însă au valori TDS cuprinse între 411-962, plasându-se în categoriile: mineralizare acceptabilă (300-600) și mineralizare ridicată (600-1000).

4. Concluzii

În urma analizelor experimentale executate asupra mostrelor de apă din diferite locații ale orașului, valorile pH-ului cuprinse între 7.1-7.5 denotă un caracter ușor bazic, dar în limitele normelor. Conductivitatea electrică variază între 526 și 514, apa aparținând apelor oligo-minerale medii (ape de izvor) ceea ce o face perfectă pentru consum. Valorile TDS 258-252 exprimă faptul că această apă are o mineralizare optimă (100-300). În baza tuturor parametrilor, analizele experimentale efectuate asupra



mostrelor de apă colectate din diverse zone ale orașului confirmă că parametrii monitorizați – pH, conductivitate electrică și TDS – se încadrează în limitele prevăzute de standardele de calitate a apei potabile. În contrast, apa provenită din izvoare naturale are un pH mai scăzut, între 6.3 și 6.9, ceea ce indică un caracter slab acid. Deși aceste valori sunt acceptabile, ele sunt la limita inferioară a standardelor de potabilitate. Conductivitatea electrică este mult mai variabilă, între 838 și 1964 $\mu\text{S}/\text{cm}$, semnalând o mineralizare mai ridicată. Acest aspect este susținut și de valorile TDS, care variază între 411 și 962 mg/L, depășind considerabil intervalul optim pentru apă potabilă obișnuită. Astfel, se poate afirma că apa din rețeaua de distribuție analizată este sigură, echilibrată din punct de vedere mineral și potrivită pentru consumul zilnic, iar apa din izvoare, este o sursă de minerale ce o putem consuma ocazional.

În cadrul studiului realizat, s-au obținut următoarele valori medii pentru doi dintre parametrii esențiali ai calității apei potabile din rețeaua municipiului Chișinău: Conductivitate electrică medie: 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Total solide dizolvate (TDS): 256 mg/l Aceste valori au fost comparate cu datele oficiale publicate de S.A. „Apă-Canal Chișinău”. [11] Conductivitate electrică medie: 482.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Total solide dizolvate (TDS): 325 mg/l. Conductivitatea electrică obținută în cadrul studiului propriu este cu aproximativ 8.7% mai mare decât cea din sursele oficiale. În schimb, valoarea TDS este cu aproximativ 21.2% mai mică față de raportul oficial. Diferențele observate între datele proprii și cele oficiale sunt moderate și se încadrează în variațiile uzuale care pot apărea în cazul monitorizării apei potabile în timp și spațiu. Rezultatele confirmă faptul că apa din rețeaua publică se încadrează în limitele impuse de standardele sanitare.

BIBLIOGRAFIE

1. Roșu C., Vlaicu A., Boita S., *Studiu asupra calității apei potabile*. Conferința Națională de Inginerie Sanitară, Timișoara, 2022
2. Victor E. L. – *Apa: viață și energie*. Editura Universitară, București, 2015
3. Boyd C. E. – *Water Quality: An Introduction*. Springer International Publishing Switzerland, 2015.
4. Iluțiu – Varvara, D. A. - *Chimie aplicată*. Editura U.T. PRESS, Cluj -Napoca, 2023.
5. Vallero D. A. – *Fundamentals of Water Pollution: Quantifying Pollutant Formation, Transport, Transformation, Fate, and Risks*.
6. Government of Canada, *Publications-Healthy Living*. Accesat la data de 25 aprilie 2025
7. *Ordonanța nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman*, Partea I nr. 63 din 25 ianuarie 2023. Accesat la data de 25 aprilie 2025.
8. Craiovan S. – *Controlul și monitorizarea calității apei*.
9. Bartram J. & Ballance R. – *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. World Health Organization, Chapman & Hall, London, UK, 1996.
10. S.A. „Apă-Canal Chișinău” <https://www.acc.md/reports-2>. Accesat la data de 30 aprilie 2025



CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CONCENTRAȚIILOR DE NITRAȚI ÎN APELE PROVENITE DIN IZVOARE

Autori

Cristian Avram IANCU¹, Mario Eduard SERAFIM², Alexandru CALMIȘ³

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: incus8953@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: marioserafim310@gmail.com

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: sanducalmis123@gmail.com

Îndrumător

Conf. dr. ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă rezultatele unei analize experimentale privind concentrațiile de nitrați în apele provenite din mai multe izvoare naturale situate în județele Cluj, Hunedoara și zona municipiului Chișinău. Determinarea conținutului de nitrați a fost realizată prin metode spectrofotometrice, utilizând proceduri standardizate, conforme cu legislația în vigoare referitoare la calitatea apei potabile. Probele au fost prelevate controlat și analizate în laborator, iar valorile obținute au fost comparate cu limitele maxime admise prevăzute în Directiva 98/83/CE și în legislația națională (Legea nr. 458/2002). În urma interpretării rezultatelor, s-au constatat diferențe semnificative între diferitele regiuni investigate, cu posibile cauze legate de activitățile agricole, topografia zonei și compoziția geologică a solului. Studiul oferă date relevante privind calitatea surselor de apă analizate și subliniază importanța monitorizării regulate a acestora. Informațiile obținute pot fi utilizate pentru evaluarea riscurilor legate de consumul de apă contaminată și pentru fundamentarea unor măsuri de protecție a resurselor de apă din zonele vizate.*

Cuvinte cheie: nitrați, apă, izvor, analiză, probe.

1. Introducere

Calitatea apei potabile reprezintă un factor esențial pentru sănătatea publică, siguranța alimentară și protecția mediului. Printre indicatorii frecvent monitorizați în evaluarea calității apei se numără compușii azotați, în special nitrații (NO_3^-), care pot ajunge în apele de suprafață și subterane în urma activităților agricole (utilizarea îngrășămintelor chimice), a apelor reziduale netratate sau a infiltrării din soluri contaminate. Concentrațiile ridicate de nitrați în apa potabilă sunt asociate cu riscuri semnificative pentru sănătate, în special în cazul sugarilor și copiilor mici, la care pot provoca methemoglobinemie („boala albastră”). De asemenea, expunerea prelungită la niveluri mari de nitrați poate avea efecte negative asupra sistemului cardiovascular și poate favoriza apariția anumitor tipuri de cancer, potrivit unor studii epidemiologice. În Uniunea Europeană, valoarea maximă admisă pentru nitrați în apa potabilă este stabilită la 50 mg/L, conform Directivei 98/83/CE privind calitatea apei destinate consumului uman. Această limită este transpusă în legislația românească prin Legea nr. 458/2002, cu modificările și completările ulterioare. Având în vedere aceste aspecte, lucrarea de față își propune să investigheze concentrațiile de nitrați în apele provenite din diverse izvoare din județele Cluj, Hunedoara și zona municipiului Chișinău, să compare valorile obținute cu pragurile legale și să identifice eventualele surse de contaminare.

2. Materiale și metode

În cadrul studiului au fost colectate 11 probe de apă din izvoare naturale, dintre care 5 din Republica Moldova (zona municipiului Chișinău) și 6 din România, din județele Cluj (localitățile Gherla, Dej, Huedin), Hunedoara și Mureș (Reghin).



Aceste probe au fost supuse ulterior procesului de analiză în laborator, în vederea determinării conținutului de nitrați (NO_3^-).

Scopul a fost acela de a evalua dacă valorile înregistrate se încadrează în limita maximă admisă de 50 mg/L, conform cerințelor stabilite de Directiva 98/83/CE și Legea nr. 458/2002 privind calitatea apei potabile.

În Figura 1 sunt prezentate localitățile de proveniență a probelor.

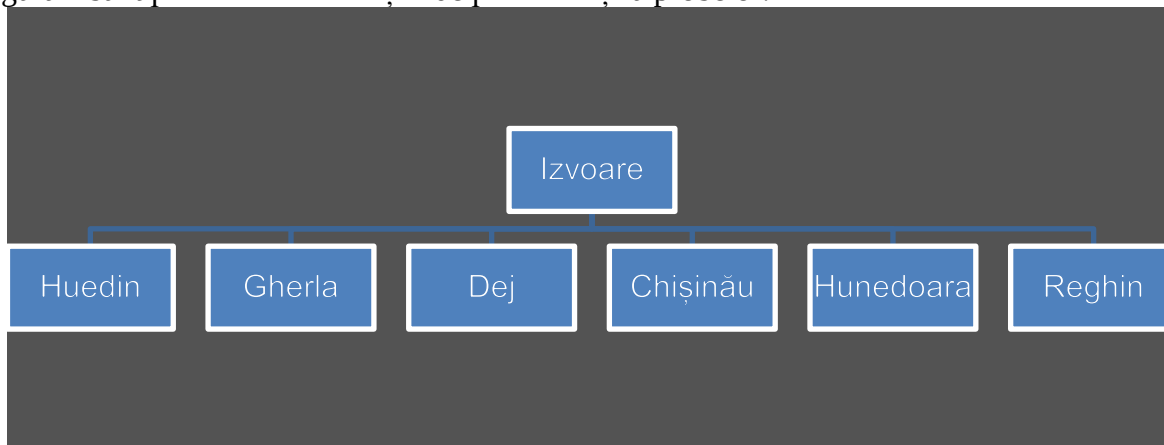


Figura 1. Sursa de proveniență a probelor de apă prelevate din izvoare

Probele au fost analizate urmărind următorii pași:

Prelevarea probei:

O probă reprezentativă de apă a fost introdusă într-un cuvet sau recipient special, curat și uscat, destinat analizei fotometrice.

Prima etapă de măsurare:

Recipientul cu proba de apă a fost introdus în unitatea de citire a fotometrului, unde s-a efectuat o calibrare inițială (zero) a aparatului, în absența reactivului, pentru stabilirea valorii de referință.

Adăugarea reactivului:

S-a adăugat conținutul unui plic de reactiv sub formă de pulbere, cu codul HI 93728-0, specific pentru determinarea nitraților în apă. Acest reactiv este conceput pentru a reacționa chimic cu ionii de nitrat, formând un compus colorat proporțional cu concentrația acestora.

Omogenizarea probei:

După adăugarea reactivului, recipientul a fost închis și agitat energic timp de aproximativ un minut, pentru a asigura dizolvarea completă a reactivului și desfășurarea uniformă a reacției chimice.

Reacția și măsurarea finală:

Recipientul a fost apoi introdus din nou în compartimentul fotometrului. După un timp de reacție de 5 minute, necesar pentru dezvoltarea completă a culorii, s-a efectuat citirea valorii absorbției.

Determinarea concentrației:

Valoarea absorbției obținute a fost convertită automat de aparat în concentrație de nitrați, exprimată în miligrame pe litru (mg/L NO_3^-), conform curbei de calibrare încorporate în sistem.

3. Rezultate și discuții

În urma analizei efectuate asupra celor 11 probe de apă, s-a constatat că **majoritatea valorilor determinate ale concentrației de nitrați se încadrează în limitele admise**, conform standardului de 50 mg/L.

Cu toate acestea, au fost identificate **două excepții semnificative**: o probă prelevată din zona municipiului **Chișinău** a înregistrat o concentrație de **97,2 mg/L**, iar o altă probă, provenită din localitatea **Dej**, a prezentat o valoare de **134,67 mg/L**.

Depășirea considerabilă a valorii maxime admise în aceste două cazuri poate fi atribuită, cu un grad ridicat de probabilitate, **utilizării intensive a îngrășămintelor chimice pe terenurile agricole din proximitatea surselor de apă**.

Acest tip de contaminare este frecvent întâlnită în zonele rurale sau periurbane, unde lipsa unor bariere de protecție adecvate între terenurile agricole și sursele de apă pot favoriza infiltrarea nitraților în apele subterane sau de suprafață.



În Figura 2 sunt reprezentate grafic probele din Chișinău.

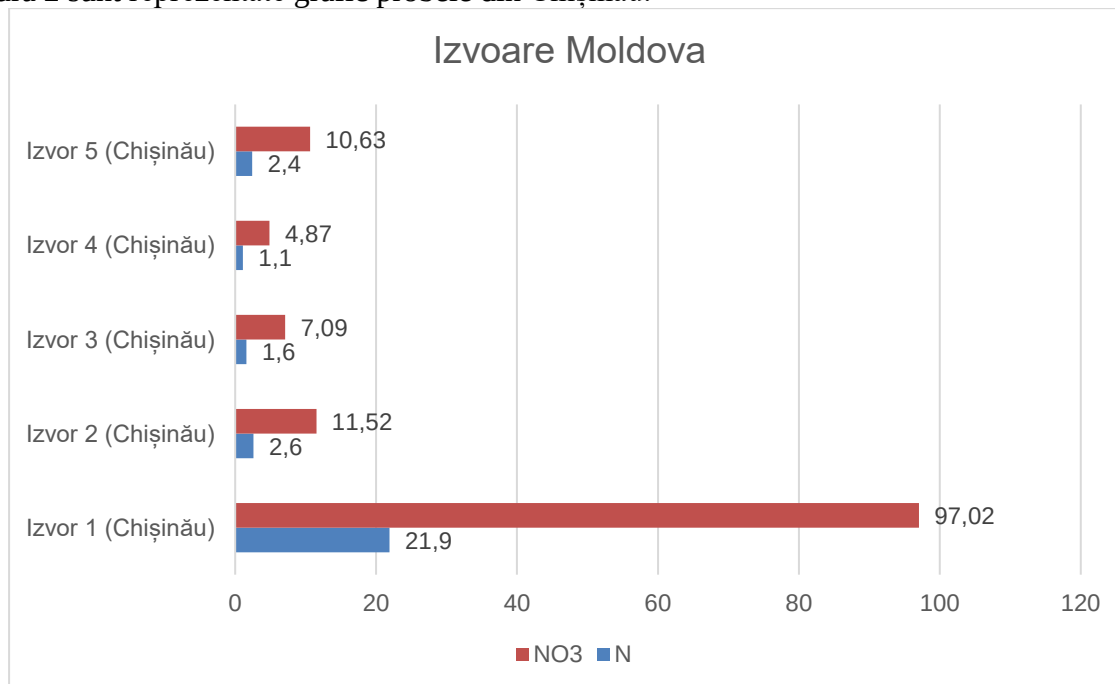


Figura 2. Conținutul de nitrați din izvoarele din Moldova

Probele de apă colectate din cinci izvoare situate în zona municipiului Chișinău (Republica Moldova) au prezentat variații semnificative în ceea ce privește concentrația de nitrați, cuprinse între 4,87 mg/L și 97,02 mg/L. Valoarea maximă depășește considerabil limita admisă, indicând o posibilă contaminare punctuală, în timp ce celelalte patru se încadrează confortabil sub pragul de 50 mg/L. A fost calculată și valoarea medie:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{97.02 + 11.52 + 7.09 + 4.87 + 10.63}{5} = \frac{131.13}{5} = 26.23 \text{ mg/L}$$

În Figura 3 sunt reprezentate grafic probele din România.

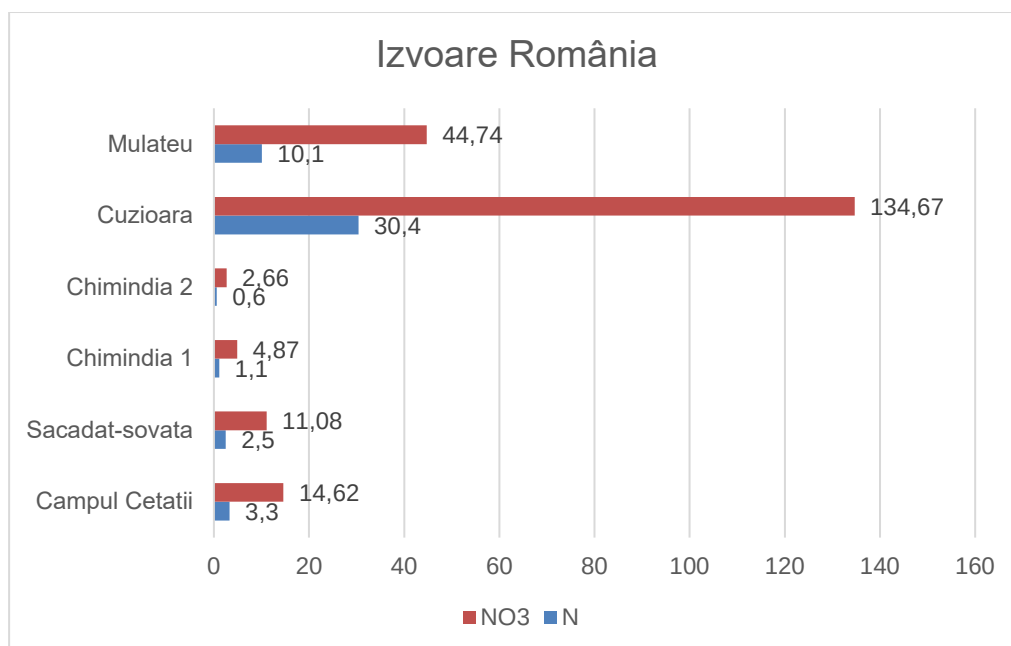


Figura 3. Conținutul de nitrați din izvoarele din România



Probele de apă prelevate din șase izvoare situate în județele Cluj (Gherla, Dej, Huedin), Mureș (Reghin) și Hunedoara au prezentat valori ale concentrației de nitrați variind între 2,66 mg/L și 134,67 mg/L. Cinci din cele șase probe se încadrează în limita maximă admisă de 50 mg/L, cu o excepție notabilă în localitatea Dej, unde s-a înregistrat o valoare de 134,67 mg/L, ceea ce indică o contaminare majoră, posibil cauzată de activități agricole sau surse punctiforme de poluare.

$$\bar{x} = \frac{14.62 + 11.08 + 4.87 + 2.66 + 134.67 + 44.74}{6}$$
$$\bar{x} = \frac{212.64}{6} = 35.44 \text{ mg/L}$$

4. Concluzie

În urma analizelor efectuate asupra mostrelor de apă provenite din diverse izvoare naturale situate în Republica Moldova și România, s-a constatat că majoritatea probelor se încadrează în limitele admise pentru concentrația de nitrați, conform reglementărilor naționale și europene în vigoare. Valorile determinate indică, în general, un nivel scăzut de contaminare, reflectând o calitate satisfăcătoare a surselor de apă analizate din punctul de vedere al conținutului de nitrați. Cu toate acestea, au fost identificate două depășiri semnificative ale limitei maxime admise de 50 mg/L: una în Republica Moldova (Chișinău), unde concentrația a atins 97,2 mg/L, și una în România (localitatea Dej), cu o valoare de 134,67 mg/L. Ambele cazuri reprezintă depășiri majore, cu potențial impact asupra sănătății umane în cazul consumului pe termen lung. Cea mai probabilă cauză a acestor valori ridicate este contaminarea surselor de apă ca urmare a activităților agricole desfășurate în apropiere, în special aplicarea excesivă a îngrășămintelor chimice pe terenuri arabile, urmată de infiltrarea nitraților în apele subterane. Limita maximă admisă de 50 mg/L pentru nitrați în apa destinată consumului uman este stabilită prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 7/2023, în conformitate cu Directiva (UE) 2020/2184 privind calitatea apei potabile. Rezultatele obținute evidențiază necesitatea unei monitorizări continue și riguroase a calității surselor de apă, precum și implementarea unor măsuri eficiente de protecție împotriva poluării cu nitrați, în special în regiunile agricole vulnerabile. Astfel de măsuri sunt esențiale pentru protejarea sănătății populației și pentru menținerea calității resurselor de apă pe termen lung.

BIBLIOGRAFIE

1. Parlamentul României. (2024). *Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman*. Monitorul Oficial al României.
2. Uniunea Europeană. (2020). *Directiva (UE) 2020/2184 a Parlamentului European și a Consiliului privind calitatea apei destinate consumului uman*, din 16 decembrie 2020. Jurnalul Oficial al Uniunii Europene.
3. Micle, V., & Ilieș, I. (2017). *Monitorizarea calității apei*. Cluj-Napoca, Editura Risoprint.
4. World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). Geneva: World Health Organization.
5. Bordean, D.-M., & Raba, D.-N. (2011). *Contaminanți chimici în alimente și mediu*. Timișoara, Editura Eurostampa.



CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CONCENTRAȚIILOR DE NITRAȚI ÎN APELE POTABILE PROVENITE DIN DIVERSE REȚELE DE DISTRIBUȚIE DIN ROMÂNIA

Autori

Radu-Ionuț ARCIUDEAN¹, Filip TIMOTEI², Cătălin MILĂR³

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: radu.ionu2004@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: timoteifilip7@gmail.com

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: milarcatalin05@gmail.com

Îndrumător

Conf. dr. ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Nitrații sunt compuși chimici naturali care conțin oxigen și azot. Sunt prezenți în mod natural în sol, apă, plante și într-o măsură mai mică în aer din cauza poluării aerului. Lucrarea curentă reprezintă un studiu asupra concentrațiilor de nitrați din ape potabile a rețelilor de distribuție din diverse locuri aflate în România. Lucrarea s-a desfășurat de-a lungul câtorva luni, timp în care s-au prelevat probe periodice în vederea supunerii eșantioanelor la diverse testări de laborator. Rezultatele au fost comparate cu Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024, care reglementează valorile nitraților.*

Cuvinte cheie: azot, nitrați, apă, rețele de distribuție, eșantioane.

1. Introducere

Apa care este destinată consumului uman poartă denumirea de apă potabilă, această poate fi găsită în stare naturală sau tratată în centre speciale, furnizată prin rețele de distribuție, rezervor sau sticle. Limita de reglementare pentru nitrați în rezervele publice de apă potabilă a fost stabilită pentru a proteja împotriva methemoglobinemiei la sugari, dar nu au fost luate în considerare alte efecte asupra sănătății. Riscul de cancer specifice și malformații poate avea loc când sunt ingerate valori mari de nitrați [1].

Treptat, cu creșterea populației planetei și a folosiri intensive și extensive a resurselor de apă susceptibile de a furniza apă potabilă, problema apei utilizabile a devenit o problemă vitală a omenirii. Apa joacă un rol fundamental din punct de vedere fiziologic, economic și industrial, de aceea parametrii de calitate ai apei au ajuns adesea să facă obiectul lucrărilor științifice de bază ale cercetătorilor. Printre acești parametri se află și nitrații, care reprezintă un oxoanion de azot, cu un rol bine stabilit în privința parametrilor de potabilitate ai apei. Importanța acestui parametru este dată din cauza nocivității pe care o au, iar astfel dacă nitrații se găsesc în cantități mari în apă pot deveni un risc pentru sănătate.

Nitrații din apă sunt compuși chimici formați din azot și oxigen, având formula chimică NO_3^- . Ei provin în special din: îngrășăminte chimice folosite în agricultură, dejecții animale, ape menajere insuficient tratate, descompunerea materiei organice. Odată ingerați, aceștia se transformă în nitriți – substanțe mult mai toxice decât nitrații, după contactul cu microflora bacteriană a stomacului. Efectele negative ale ingerării unei cantități mari de nitrați peste limita admisă pot fi: hipertensiune, intoxicație, disfuncții ale sistemului circulator și ale glandelor tiroide etc. Conținutul de săruri de nitrați mai mare de 10 mg/L este foarte nociv pentru sănătate [2].

Normativele europene au stabilit un prag maxim de 50 (mg/L) acceptat pentru nitrați în apa potabilă [3]. Reglementarea a fost adaptată pe urmă și în legislația internă, prin Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024 prin care s-a aprobat Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 7 din 18 ianuarie 2023 [4].

Nitrații se găsesc în mod natural în legume precum spanacul, salata verde și sfecla. Aceste plante absorb nitrații din sol, unde bacteriile transformă azotul atmosferic în nitrați printr-un proces numit fixare a azotului. Îngrășămintele folosite în agricultură sunt surse semnificative de nitrați. Ele sporesc



randamentul culturilor prin furnizarea de nutrienți esențiali, dar pot duce la contaminarea apelor subterane atunci când nu sunt gestionate corespunzător.

Nitriții sunt utilizați în mod obișnuit în mezeluri. Acționează ca și conservanți, inhibând creșterea bacteriilor dăunătoare, și contribuie la aroma și culoarea caracteristică a acestor produse [5]. De asemenea, organismul produce nitrați și îi secretă în salivă. Nitrații și nitriții circulă din sistemul digestiv în sânge, apoi în salivă și înapoi în sistemul digestiv. Nitrații și nitriții sunt reciclați fiziologic în sânge și țesuturi pentru a forma NO și alți oxizi de azot. Funcționează ca și compuși antimicrobieni în sistemul digestiv și pot ajuta la uciderea bacteriilor, cum ar fi Salmonella. Nitrații se găsesc și în mod natural în apă. În unele zone, utilizarea îngrășămintelor poate duce la niveluri ridicate de nitrați care pot fi dăunătoare copiilor. S-a concluzionat un risc crescut asociat cu ingerarea nivelurilor ridicate de nitrați din apă [6]. Din acest motiv, autoritățile sanitare au datoria de a reglementa nivelurile de nitrați din apa potabilă.

Unul dintre cele mai grave efecte asupra sănătății este methemoglobinemia, cunoscută și ca „boala albastră”, care afectează în special sugarii. În organism, nitrații sunt transformați în nitriți, care reduc capacitatea hemoglobinei de a transporta oxigen, provocând hipoxie. În plus, nitriții pot forma în stomac compuși, considerați cancerigeni, în special în legătură cu cancerul gastric. Alte efecte pe termen lung includ probleme la nivelul sistemului cardiovascular, nervos și endocrin, posibila afectare a fertilității și dezechilibre în funcționarea glandei tiroide [6].

La nivel de mediu, prezența nitraților în exces duce la eutrofizarea apelor – un proces în care dezvoltarea excesivă a algelor epuizează oxigenul din apă, afectând grav viața acvatică. De asemenea, nitrații infiltrați în pânza freatică duc la poluarea apei subterane, ceea ce pune în pericol sănătatea locuitorilor din zonele rurale, unde apa este adesea extrasă din fântâni [6].

2. Materiale și metode

În Figura 1 sunt indicate sursele de proveniență pentru prelevare.

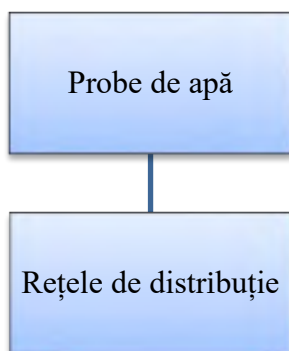


Figura 1. Proveniența eșantioanelor de apă.

În Figura 2 sunt prezentate localitățile surselor de proveniență a probelor.

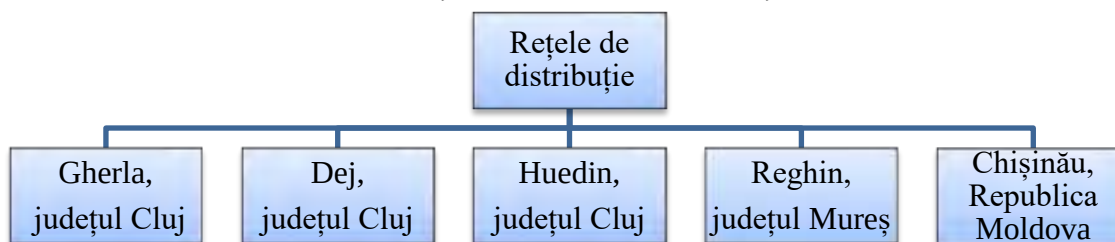


Figura 2. Sursa de proveniență a probelor de apă prelevate din rețele de distribuție.

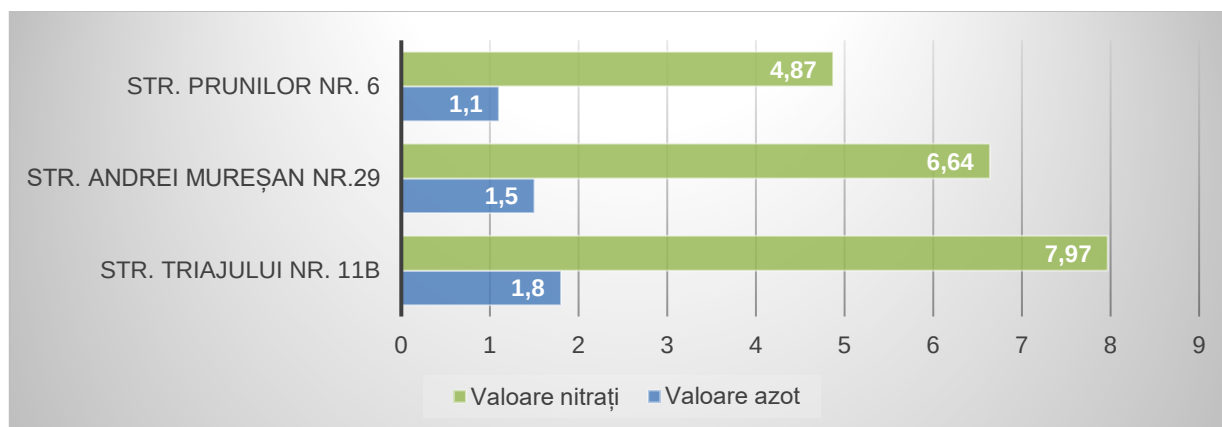
Pentru determinarea nitraților din eșantioanele de apă, a fost nevoie de utilizarea reactivului de tip pudră: cod HI 93728-0.



Determinările experimentale, privind nitrații existenți în eșantioanele de ape analizate, au fost comparate cu maximul admisibil de legislația în vigoare. După aflarea valorilor inițiale acestea au fost înmulțite cu valoarea de 4.43.

3. Rezultate și discuții.

În Figura 3 sunt prezentate valorile de azot și nitrați din rețeaua de distribuție a localității Dej. În ceea ce privește valorile rețelelor de distribuție, se poate observa faptul că acestea se încadrează în legislația în vigoare din România.



Figura

3. Valoarea concentrațiilor de azot și nitrați din rețeaua de distribuție din localitatea Dej.

În Figura 4 sunt prezentate valorile nitraților din localitatea Gherla. În ceea ce privește valorile corespunzătoare rețelelor de distribuție, se poate observa faptul că acestea se încadrează în legislația în vigoare din România. Probele au variație nesemnificativă.

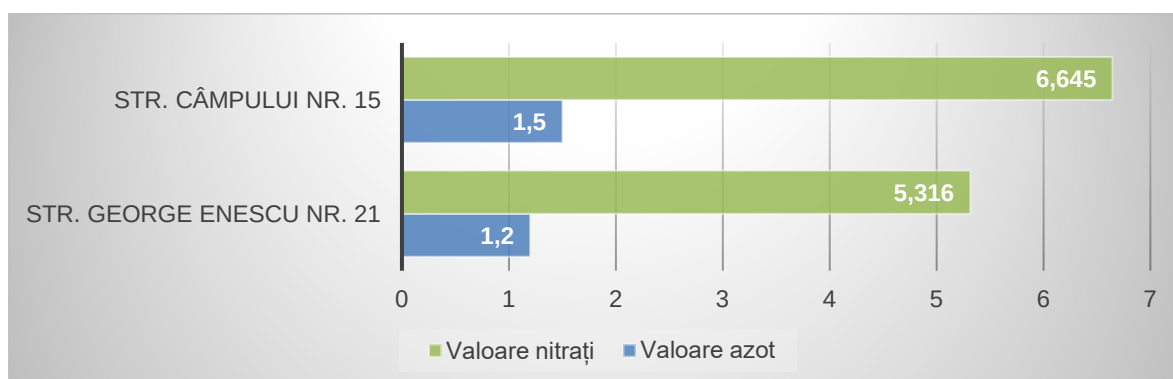


Figura 4. Valoarea concentrațiilor de azot și nitrați din rețeaua de distribuție din localitatea Gherla.

În Figura 5 sunt reprezentate valorile nitraților ale eșantioanelor de apă provenite din rețeaua de distribuție din localitatea Huedin, cu valori puțin mai ridicate în comparație cu celelalte rezultate.

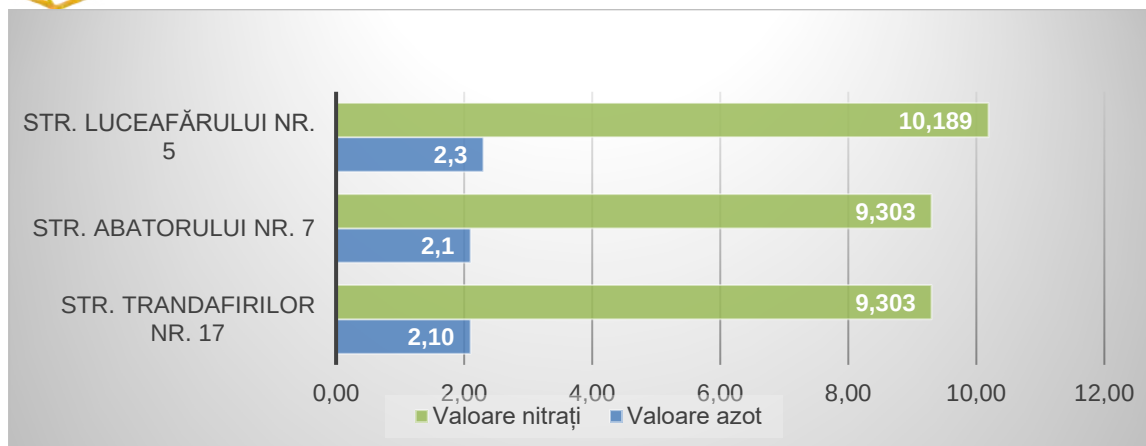


Figura 5. Valoarea concentrațiilor de azot și nitrați din rețeaua de distribuție din localitatea Huedin.

În Figura 6 este prezentată valoarea probei din localitatea Deva, care a avut cea mai mică concentrație dintre toate eșantioanele supuse testărilor de laborator.

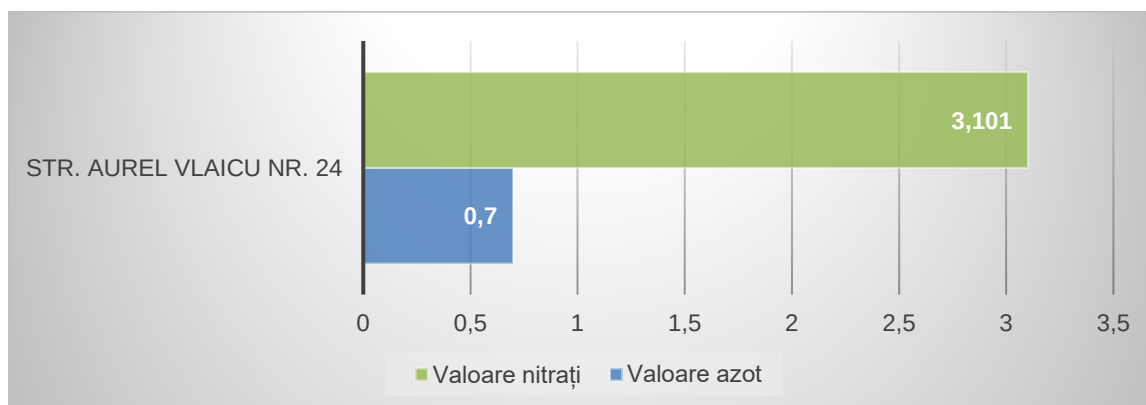


Figura 6. Valoarea concentrațiilor de azot și nitrați din rețeaua de distribuție din localitatea Deva.

În Figura 7 este prezentată valoarea probei din Republica Moldova, localitatea Chișinău, care a avut cea mai mare valoare dintre toate eșantioanele.

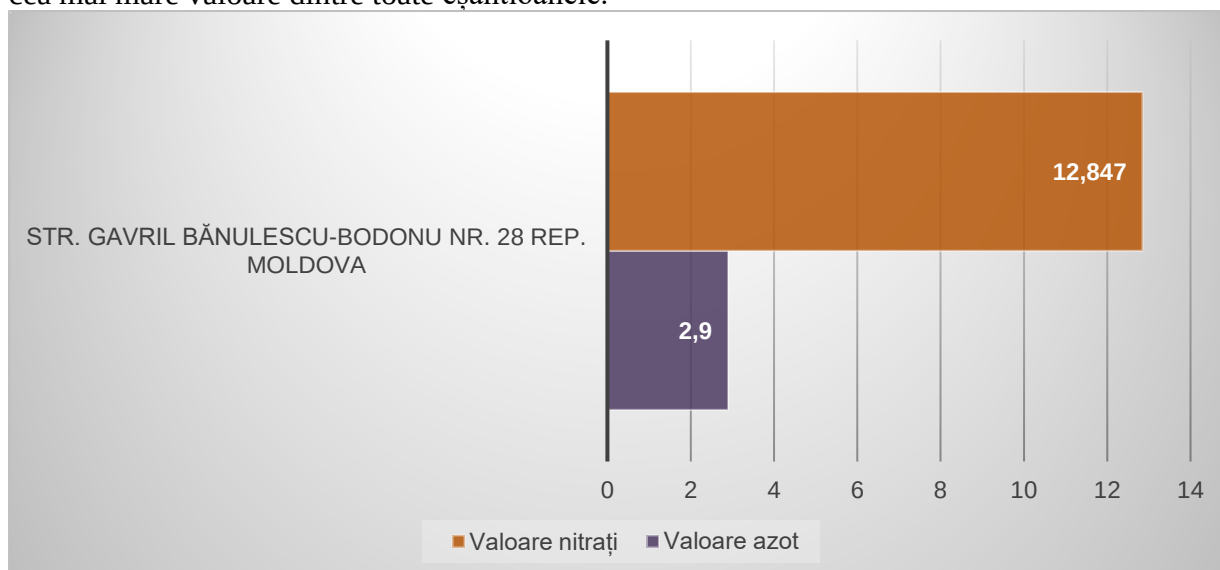


Figura 7. Valoarea concentrațiilor de azot și nitrați din rețeaua de distribuție din localitatea Chișinău.



4. Concluzii

Această lucrare prezintă o cercetare privind nivelurile de nitrați din apa potabilă furnizată prin rețelele de distribuție din diferite regiuni ale României și din Republica Moldova. Nitrații sunt substanțe chimice toxice care în cantități mari pot afecta sănătatea, care apar în mod natural în sol, apă și plante și, în cantități mai mici, în aer, din cauza poluării. Diferitele eșantioane au fost supuse testărilor de laborator, rezultatele sunt afișate grafic în decursul lucrării, valorile având totuși o fluctuație între ele, în anumite zone fiind considerabil mai mari, dar totuși s-au încadrat în măsura maximă prevăzută de lege.

BIBLIOGRAFIE

1. National Institute of Health, *Drinking Water Nitrate and Human Health*.
2. Wikipedia, *Nitrații în apă*, https://ro.wikipedia.org/wiki/Nitra%C8%9Bii_%C3%AE_n_ap%C4%83 (accesat la data de 13 aprilie 2025).
3. European Comision, *Nitrates*. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/nitrates_en (accesat la data de 14 aprilie 2025).
4. Parlamentul României, *Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024*.
5. Strop de rouă, *Nitrații*, https://stropderoua.ro/nitriti_nitrati.html (accesat la data de 13 aprilie 2025).
6. World Health Organization, *Nitrates*.
7. Iluțiu-Varvara, D.A., *Chimie aplicată*, Editura U.T. PRESS, Cluj-Napoca, 2023.



STUDIU ASUPRA UNOR PARAMETRI DE CALITATE AI APEI DESTINATE CONSUMULUI UMAN DIN MUNICIPIUL GHERLA, JUDEȚUL CLUJ

Autori

Radu-Ionuț ARCIUDEAN¹, Alexandru CALMIȘ²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: radu.ionu2004@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: sanducalmis123@gmail.com

Îndrumător

Conf. dr. ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA³

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro

REZUMAT: Parametrii de calitate ai apei sunt indicatori folosiți pentru evaluarea valorilor optime în privința consumului uman, irigații, industrie sau pentru ecosistemele acvatice. În prezenta lucrare este elaborat studiul asupra unor parametri de calitate ai apelor din rețeaua de distribuție din Municipiul Gherla și Comuna Mintiu-Gherlii, ambele situându-se în nordul județului Cluj. Pentru această lucrare s-au testat eșantioane prelevate periodic pentru: concentrația ionilor de hidrogen, totalul de solide dizolvate și conductivitatea electrică. Rezultatele au fost comparate cu O.U.G nr. 7 din 18 ianuarie 2023, aprobată de către Parlamentul României prin Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024.

Cuvinte cheie: apă potabilă, parametri de calitate, rețea de distribuție, ioni de hidrogen, total solide dizolvate, conductivitate electrică.

1. Introducere

Apa este elementul cel mai răspândit pe planetă și este o substanță absolut indispensabilă vieții, indiferent de forma acesteia [1]. Iar datorită acestor factori, dezvoltarea de tehnologii pentru controlul calității și purificării, plus cercetările de specialitate au devenit cu prioritate baza dezvoltării omenirii în materie de știință. Probele supuse testărilor pentru verificarea parametrilor de calitate au fost prelevate de la robineti de bucătărie, așadar va urma o mică prezentare pentru rețelele de distribuție a apei din cele două localități.

1.1. Conducta principală de alimentare cu apă a municipiului Gherla

A fost pusă în funcțiune în anul 1975. Conducta are un cu diametrul de Ø600 mm de tip PREMO din oțel, aducțiunea are o lungime de 4,9 km cu un rezervor cu o capacitate de 5000 m³ [2].

1.2. Conducta principală de alimentare cu apă din comuna Mintiu Gherlii

A fost pusă în funcțiune în anul 2019, ca parte a unui proiect major de infrastructură. Conducta are un diametru nominal de 315 mm, este confecționată polietilenă de înaltă densitate (PEHD), aducțiunea are 4,2 km lungime cu un rezervor de apă cu o capacitate de 200 m³ [3].

1.3. Stația de clorinare a apei din Municipiul Gherla

Este situată în zona sudică a orașului Gherla o stație de clorinare a apei potabile. Aceasta a fost construită de Compania de Apă Someș S.A. și este amplasată în zona extravilană, lângă rezervorul de 5.000 m³ situat pe drumul spre Sărătura. Scopul principal al acestei stații este de a asigura o dezinfecție suplimentară a apei, eliminând microbii care pot apărea de-a lungul conductei de aducțiune de la Cluj [4].

1.4. Apa potabilă

Este apa destinată consumului uman, aceasta poate: fi orice tip de apă în stare naturală sau după tratare, folosită pentru băut, la prepararea hranei ori pentru alte scopuri casnice. Cuprinde toate tipurile de apă folosită ca sursă în industria alimentară pentru fabricarea, procesarea, conservarea sau comercializarea produselor [5].



1.5. Testele

Au constat în primă fază în determinarea pH-ului, care reprezintă concentrația ionilor de hidrogen, măsurată prin intervalul care este de la 0 la 14 cu valori care se divizează în acide (cu concentrație mai mică de 7 unități pH) și alcaline (cu concentrație mai mare de 7 unități pH) [6]. Valoarea pH-ului reprezintă un parametru important ce caracterizează calitatea apei potabile. Apa potabilă prea acidă este nesănătoasă și totodată corodează conductele de transport ale apei. Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024 prevede o valoare admisibilă pentru apa potabilă, iar unitatea de măsură este "unități pH" [8].

În Tabelul 1 sunt prezentate valorile de pH, de la cea mai mică până la cea mai mare valoare aprobată de lege. Valorile au fost sustrate din legea nr. 96 din 12 aprilie 2024.

Tabelul 1. Valori admise ale pH-ului [8].

Parametru de calitate al apei	Valoare minimă admisă	Valoare optimă (neutră)	Valoare maximă admisă
pH (unități pH)	6.5	7	9.5

Următoarea etapă a fost determinarea TDS-ului (total solide dizolvate), un termen des întâlnit când se discută despre calitatea apei. Ca solvent universal, apa are capacitatea de absorbție și dizolvare a diferitor substanțe, mai exact, materialele organice și anorganice cum ar fi metale, minerale, săruri și ioni dizolvate într-un anumit volum de apă. Solidele care rămân după filtrare și evaporare ca reziduu reprezintă totalul de solide dizolvate. Potrivit reglementării Organizației Mondiale a Sănătății, valoarea TDS-ului pentru apa plată trebuie să fie minim 100 (mg/L) și optim 200-400 (mg/L) [9].

1.6 Instalațiile sanitare și electrocasnicele

Atunci când apa conține un nivel ridicat de calciu și magneziu, acestea vor conduce implicit la niveluri ridicate de TDS. Odată dizolvate, sărurile se adună în țevi și formează depuneri de calcar. Acest fapt va include înlocuiri costisitoare iar durata de viață a aparatelor devine mai scurtă. [10].

Concentrația TDS-ului poate fi determinată prin cunoașterea valorii conductivității electrice a apei, cu relația [11]:

$$TDS = \frac{EC}{2} \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (1)$$

unde TDS = total solide dizolvate; EC = conductivitate electrică.

În Tabelul 2 sunt prezentate valorile de TDS [10].

Tabelul 2. Valori a TDS-ului [11].

Nr. Crt.	TDS (ppm) sau (mg/l)	Caracteristica apei
1.	0-50	Mineralizare foarte slabă
2.	50-100	Mineralizare slabă
3.	100-300	Mineralizare optimă
4.	300-600	Mineralizare acceptabilă
5.	600-1000	Mineralizare ridicată
6.	>1000	Apă care afectează sănătatea

În cea de-a treia parte, probele au fost supuse testării pentru conductivitatea electrică. Aceasta reprezintă proprietatea apei de a conduce curentul electric și intensitatea acestuia. Se mai poate preciza că indică totalitatea sărurilor dizolvate în apă. De regulă apa aflată în natură, nu se poate găsi în stare pură, ci cu diferite elemente fizico-chimice dizolvate în ea. Conductivitatea apei crește odată cu conținutul acestora în substanțele dizolvate. Ca unitate de măsură se folosește microSiemens pe



centimetru ($\mu\text{S}/\text{cm}$) [12]. Conductivitatea depinde de: concentrația ionilor; natura ionilor; temperatura apei; vâscozitatea apei.

În Tabelul 3 sunt prezentate valorile conductivității electrice admise de lege.

Tabelul 3. Valorile conductivității electrice ale apei [8].

Parametrul de calitate al apei	Valori optime pentru conductivitate electrică $\mu\text{S}/\text{cm}$ la 20°C	Valoare maximă admisă pentru conductivitatea electrică $\mu\text{S}/\text{cm}$ la 20°C
Conductivitatea electrică a apei	<1000	2500

În Tabelul 4 sunt reprezentate valorile conductivității electrice pentru diferite tipuri de ape, și asocierea culorilor capacelor apelor îmbuteliate, în funcție de conductivitate.

Tabelul 4. Valori ale conductivității electrice pentru diferite tipuri de ape [11].

Nr. Crt.	Tipul apei	Valori ale conductivității electrice ale apei	Culoare capac
1.	Ape oligo-minerale slabe (ape plate)	51-200	Albă
2.	Ape oligo-minerale medii (ape de izvor)	201-1000	Albastră
3.	Ape minerale	1001-2500	Verde
4.	Ape minerale forte (ape minerale medicinale)	≥ 2501	Mov

2. Materiale și metode

În Figura 1 sunt prezentate zonele de proveniență a eșantioanelor, cu localizarea lor exactă și reprezentarea grafică pentru o mai bună asociere a rezultatelor cu locația.

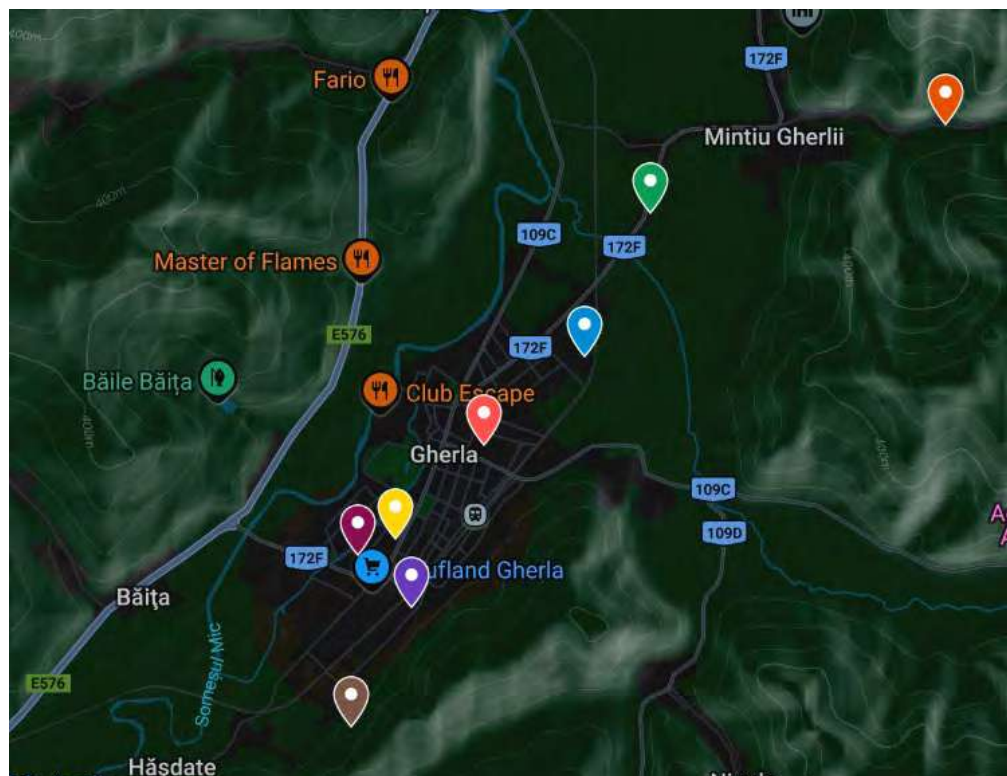


Figura 1. Locațiile de provenință a eșantioanelor de apă și a stației de clorinare.

1.  - Strada Principală nr. 226, Com. Mintiu-Gherlii.
2.  - Strada Principală nr.14, Com. Mintiu-Gherlii.
3.  - Strada George Enescu nr. 21, Mun. Gherla.
4.  - Strada Aleea Mesteacănului nr. 1, Mun. Gherla.
5.  - Strada Frasinului nr. 1, Mun. Gherla.
6.  - Strada Câmpului nr. 15, Mun. Gherla.
7.  - Strada Aleea Brazilor nr. 2, Mun. Gherla.
8.  - Stația de clorinare, Gherla.

2.1. Determinarea de pH, CE și TDS a apelor din rețeaua de distribuție

S-a realizat cu ajutorul pH-metrului de laborator, pahar Erlenmeyer, apă demineralizată și eșantioanele supuse determinărilor. Echipamentul folosit a fost de marca ORION 2 STAR, THERMO ELECTRON CORPORATION. Determinarea se bazează pe proprietatea unei soluții apoase de a conduce curentul electric, realizat prin metoda conductometrică, care respectă standardul European EN 27888:1997 [7]. După determinarea conductivității electrice a probelor de apă, cu ajutorul aparaturii de laborator de tip multiparametru, prin selectarea modului de măsurare "Cond" (pe baza valorii conductivității electrice a probei de apă, aparatul permite calcularea valorii de TDS).

3. Rezultate și discuții

În Figura 2 sunt prezentate rezultatele probelor de pH prelevate din data de 17 decembrie 2024 pentru probele de pH. O diferență însemnată între cele două localități, cu toate că sunt alipite una de cealaltă. În localitatea Mintiu-Gherlii apa este foarte acidă, mai bine de jumătate din rezultatele probelor nerespectând minimul acceptat de legea în vigoare.

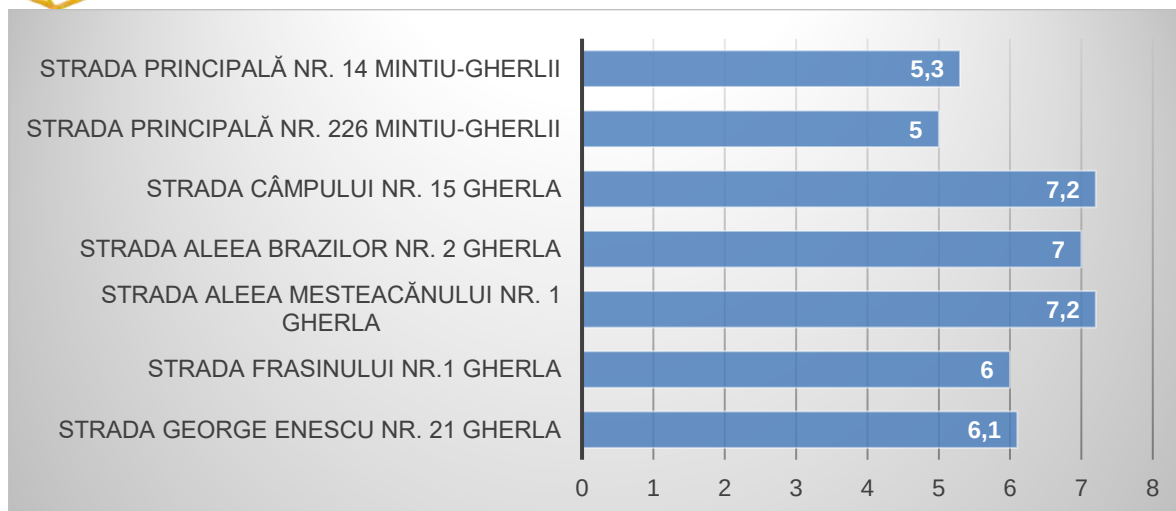


Figura 2. Rezultatele valorilor de pH în unități pH.

În Figura 3 sunt prezentate rezultatele probelor de TDS din data de 17 decembrie 2024, destul de apropiate ca mărime, dar în continuare cu valori mai mari în localitatea Mintiu-Gherlii.

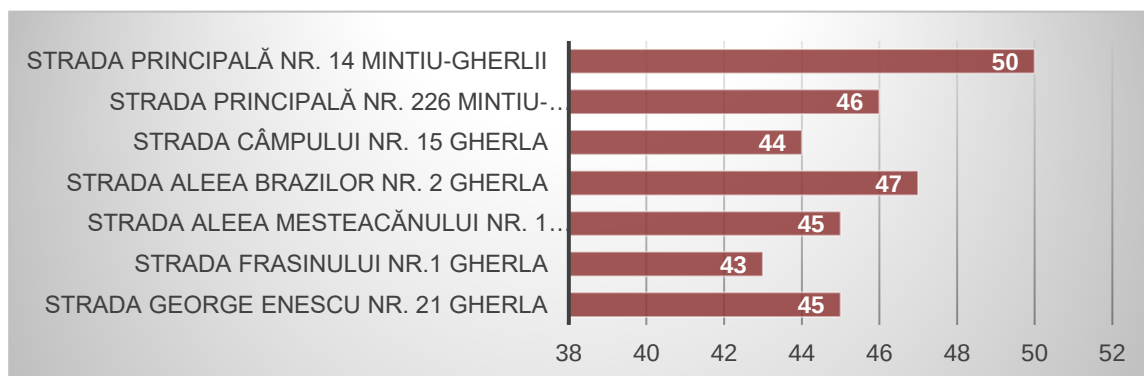


Figura 3.

Rezultatele probelor de TDS în mg/l.

În Figura 4 sunt prezentate rezultatele conductivității electrice pentru eșantioanele din data de 17 decembrie 2024, cu valori care diferă semnificativ între cele două localități.

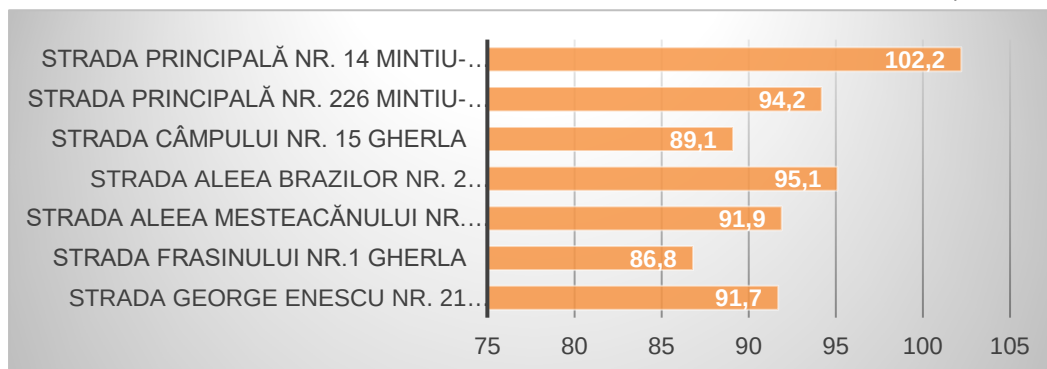


Figura 4. Rezultatele probelor pentru conductivitatea electrică în μS/cm.

În Figura 5 sunt prezentate rezultatele valorilor obținute experimental ale pH-ului. Probele au fost recoltate în data de 6 aprilie. De asemenea și la aceste probe, localitatea Mintiu-Gherlii menține un pH mult mai acid decât cel prevăzut de actele normative.

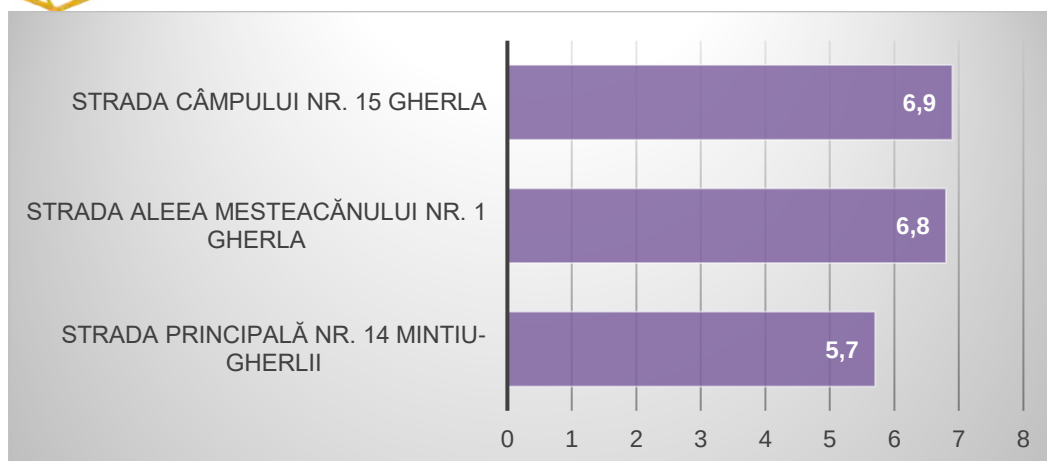


Figura 5. Rezultatele valorilor de pH în unități pH.

În Figura 6 sunt prezentate probele de apă din data de 6 aprilie 2025. Se poate evidenția faptul că nu există diferențe mari între valorile probelor din prima parte a probelor și acestea.

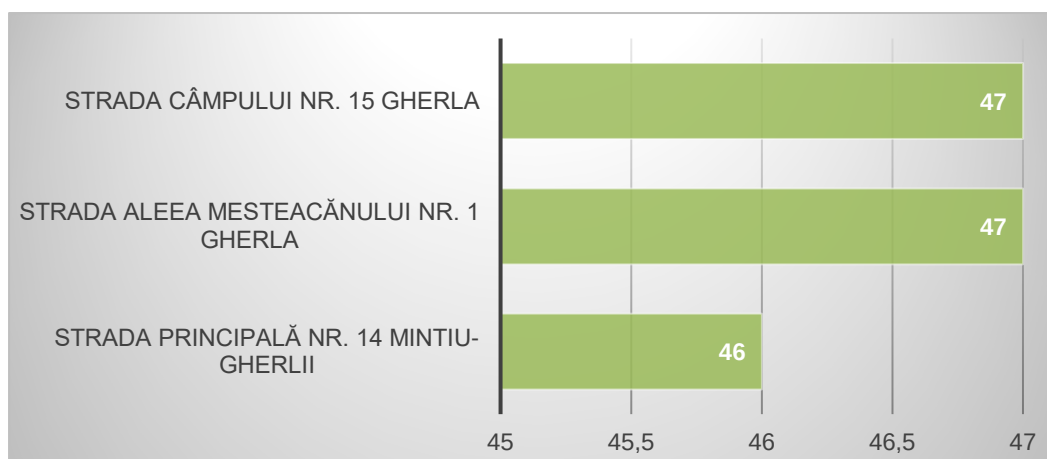


Figura 6. Rezultatele de TDS mg/l.

În Figura 7 sunt prezentate rezultatele ultimelor probe de conductivitate electrică din data de 6 aprilie 2025, de observat faptul că adresa din Mintiu-Gherlii (str. Principală nr. 14), care în probele anterioare a avut valoarea cea mai mare, a ajuns să fie mai mică față de celelalte probe.

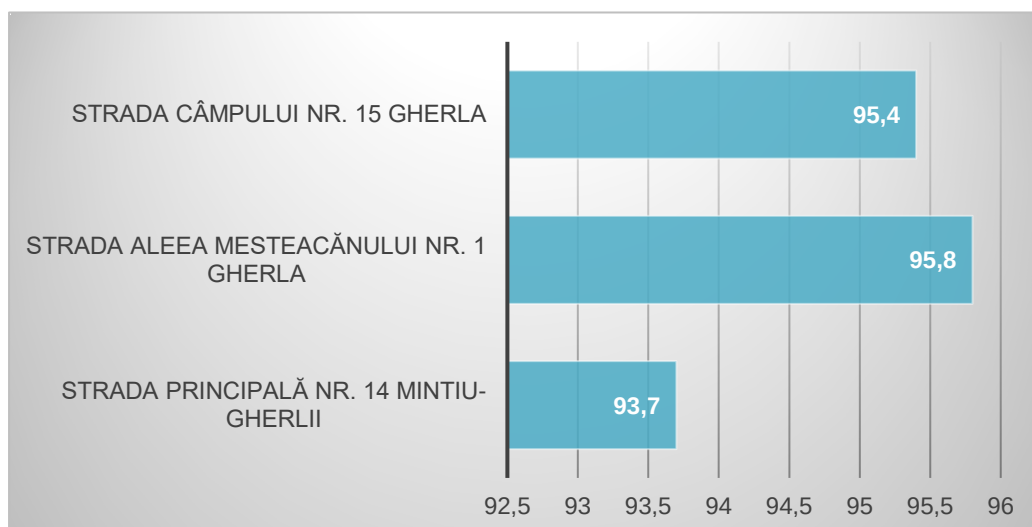


Figura 7. Rezultatele conductivității electrice μS/cm.

4. Concluzii

Apa este un element esențial mediului și omenirii, iar calitatea acesteia reprezintă o tematică principală pentru o dezvoltare propice. Studiul parametrilor de calitate efectuat pentru rețeaua de distribuție a localităților Gherla și Mintiu-Gherlii, a constatat în determinările experimentale care reflectă calitatea apei. Cu o testare efectuată din eșantioane prelevate în diferite perioade, a căror rezultate au avut ca



factor de referință legislația în vigoare la momentul testării, s-a demonstrat că parametrii obținuți cu ajutorul aparatelor de laborator au arătat că există diferențe observabile, cu abateri considerabile pentru anumiți parametri de calitate la nivelul celor două localități. Lucrarea a fost structurată cu informațiile necesare, detaliate pentru o mai ușoară înțelegere a fiecărui element, cu reprezentări grafice pentru a evidenția diferențele pentru fiecare rezultat.

BIBLIOGRAFIE

1. Mitchenko L., *Sfaturi pentru testerul TDS și de ce este mai bine să efectuați un test al apei*, 20 Noiembrie 2023, <https://www.ecosoft.com/ro/post/tds-tester-tips-and-why-a-water-test-is-better> (accesat la data de 8 aprilie 2025).
2. Primăria Municipiului Gherla, *Plan de analiză și acoperire a riscurilor*, <https://www.scribd.com/doc/223408990/gherla>, (accesat la data de 20 mai 2025).
3. Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, *Aviz de Mediu* <https://www.anpm.ro/documents/840392/66979658/draft-%2BCOMPANIA%2BDE%2BAP%C4%82%2BSOMES%2BSA%2B%28GHERLA%29%2BAutorizatia.pdf/0ddc6d91-052a-413f-b5ad-eb625449ead1> (accesat la data de 20 mai 2025).
4. GherlaINFO, *Stație de clorinare a apei din Gherla*, https://gherlainfo.ro/statie-de-clorinare-a-apei-la-gherla/?#google_vignette, (accesat la data de 20 mai 2025).
5. U.S. Environmental Protection Agency, *pH*.
6. Rețeaua de sănătate Regina Maria, *Totul despre pH-ul organismului: ce semnifica și care sunt valorile posibile*, 9 Mai 2023, <https://www.reginamaria.ro/articole-medicale/hematologie/totul-despre-ph-ul-organismului-ce-semnifica-si-care-sunt-valorile> (accesat la data de 13 aprilie 2025).
7. Britannica, *pH Definition, Uses, & Facts*.
8. Parlamentul României, *Legea nr. 96 din 12 aprilie 2024*.
9. World Health Organization, *Total dissolved solids*.
10. *Nivelul de TDS din apă – ce reprezintă și ce ar trebui să ai în vedere*, 31 Martie 2022, <https://www.clack.ro/nivelul-de-tds-din-apa-ce-reprezinta-si-ce-ar-trebui-sa-ai-in-vedere/> (accesat la data de 8 aprilie 2025).
11. Iluțiu-Varvara, D.A., *Chimie aplicată*, Editura U.T. PRESS, Cluj-Napoca, 2023.
12. Wikipedia, *Conductivitatea Electrică*, https://ro.wikipedia.org/wiki/Conductivitate_electric%C4%83, (accesat la data de 9 aprilie 2025).



SECȚIUNEA 3

**Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Inginerie Urbană și Dezvoltare Regională,
Amenajări și Construcții Hidrotehnice**



TEHNOLOGII SMART PAVEMENT PENTRU DRUMURI MAI SIGURE

Autori

Sara P. ȘTEȚCO¹, Vlad D. VENIAMIN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:sara.stetco24@gmail.com](mailto:sara.stetco24@gmail.com).

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:vladveniamin01@gmail.com](mailto:vladveniamin01@gmail.com).

Îndrumători

Prof.Dr.Ing. Andrei F. CLITAN³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro](mailto:andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro).

REZUMAT: *Smart pavement este un tip de infrastructură rutieră inteligentă, concepută pentru a îmbunătăți siguranța, durabilitatea și eficiența drumurilor prin integrarea de tehnologii avansate. Aceste drumuri includ senzori, materiale speciale și sisteme de comunicație care permit monitorizarea în timp real a traficului, a stării drumului și a condițiilor de mediu. Un aspect important al smart pavement este asfaltul autovindecător, o tehnologie inovatoare care permite asfaltului să își repare singur fisurile și deteriorările minore, prelungind astfel durata de viață a drumurilor și reducând costurile de întreținere. Astfel, Smart pavement contribuie la reducerea gropilor, la creșterea siguranței rutiere și la scăderea costurilor de întreținere.*

Cuvinte cheie: asfalt autovindecător, microcapsule polimerice, agenți de rejuvenare, costuri de întreținere.

1. Introducere

Infrastructura rutieră urbană joacă un rol esențial în funcționarea eficientă a orașelor moderne. Totuși, unul dintre cele mai frecvente obstacole întâlnite în administrarea drumurilor este degradarea rapidă a asfaltului, cauzată de trafic intens, condiții climatice variabile și întreținere insuficientă. Crăpăturile, fisurile și gropile nu sunt doar probleme estetice sau de confort, ele afectează siguranța circulației și generează costuri mari de reparații, de multe ori repetitive și ineficiente pe termen lung.

1.1 Necesitatea soluțiilor durabile și inovative în infrastructura urbană

În contextul urbanizării accelerate și al creșterii presiunii asupra infrastructurii existente, implementarea unor soluții durabile și inovative nu mai reprezintă o opțiune, ci o necesitate stringentă. În acest sens, abordările tradiționale nu mai răspund adecvat cerințelor actuale legate de eficiență economică, impact ecologic și reziliență pe termen lung.

Prin urmare, este imperativ ca dezvoltarea urbană să se orienteze către tehnologii care integrează sustenabilitatea, inovația și performanța, reducând astfel costurile de întreținere, emisiile de carbon și disconfortul pentru cetățeni. Soluțiile precum asfaltul autovindecător reflectă această tranziție către un model de infrastructură responsabilă, capabilă să se adapteze provocărilor viitorului fără a compromite nevoile generațiilor prezente.

2. Tehnologia asfaltului autovindecător

Tehnologia asfaltului autovindecător se bazează pe integrarea unor microcapsule în structura mixturii asfaltice. Aceste microcapsule conțin substanțe regeneratoare, cel mai frecvent bitum regenerat sau uleiuri sintetice/minerale compatibile cu liantul asfaltic. Rolul lor este de a repara microfisurile apărute în structura drumului, înainte ca acestea să evolueze în crăpături majore.

2.1 Principiul de funcționare al asfaltului autovindecător pe bază de microcapsule

Microcapsulele au un înveliș polimeric, de obicei ușor elastic, din materiale precum uree-formaldehidă, poliuretan sau alginat, care înconjoară un agent de vindecare, permițând să reziste în



timpul compactării și utilizării drumului. Când în asfalt apar microfisuri din cauza traficului sau a variațiilor de temperatură, acestea străpung învelișul capsulelor, determinând eliberarea agentului de vindecare. Substanța eliberată pătrunde în fisură și se răspândește capilar, refăcând coeziunea între particulele de agregat și liant.

Această reacție de autovindecare se produce fără intervenție externă, în condiții ambientale normale, contribuind la extinderea duratei de viață a drumului și reducerea intervențiilor de reparații.

2.2 Tipuri de microcapsule utilizate în asfaltul autovindecător

Microcapsule cu înveliș de uree-formaldehidă (UF).

Descriere: Aceste microcapsule sunt realizate prin polimerizarea ureei și formaldehidei, formând un înveliș rigid care poate rezista la temperaturile ridicate din timpul procesului de amestecare a asfaltului.

Performanță: Studiile au arătat că microcapsulele UF pot îmbunătăți proprietățile de autovindecare ale asfaltului fără a compromite semnificativ proprietățile mecanice.

Microcapsule cu înveliș de poliuretan (PU).

Descriere: Poliuretanul oferă un înveliș flexibil și durabil, capabil să reziste la solicitările mecanice și la variațiile de temperatură.

Performanță: Microcapsulele PU au demonstrat o capacitate bună de eliberare a agenților de rejuvenare și o compatibilitate ridicată cu matricea bituminoasă.

Microcapsule cu înveliș de alginat de calciu.

Descriere: Alginatele sunt biopolimeri naturali extrași din alge marine, care, în prezența ionilor de calciu, formează geluri stabile.

Performanță: Microcapsulele pe bază de alginat sunt biodegradabile și pot elibera agenți de rejuvenare în mod controlat, contribuind la repararea fisurilor fără a compromite integritatea structurală a asfaltului.

Agenți de rejuvenare utilizați în microcapsule.

Bitum moale:

Descriere: Bitumul cu o penetrare mai mare este utilizat pentru a restabili proprietățile originale ale bitumului oxidat din asfaltul îmbătrânit.

Performanță: Acesta poate îmbunătăți coeziunea și flexibilitatea asfaltului, contribuind la prelungirea duratei de viață a pavimentului.

Uleiuri vegetale (ex: ulei de floarea-soarelui, ulei de in).

Descriere: Uleiurile vegetale sunt agenți de rejuvenare ecologici care pot reduce rigiditatea bitumului oxidat și îl pot reactiva.

Performanță: Studiile au arătat că uleiurile vegetale pot îmbunătăți capacitatea de autovindecare a asfaltului fără a afecta negativ proprietățile mecanice.

Uleiuri minerale.

Descriere: Uleiurile minerale, cum ar fi parafinele și naftenicele, sunt utilizate pentru a restabili flexibilitatea bitumului îmbătrânit.

Performanță: Acestea pot oferi o compatibilitate bună cu matricea bituminoasă, dar au un impact ecologic mai ridicat comparativ cu uleiurile vegetale.

2.3 Mecanismul de funcționare al asfaltului autovindecător cu microcapsule

Asfaltul autovindecător bazat pe microcapsule funcționează printr-un proces de eliberare controlată a unui agent de vindecare în momentul apariției unor microfisuri în structura mixturii asfaltice. Aceste microcapsule sunt încorporate direct în compoziția stratului de uzură sau a stratului de bază în timpul procesului de fabricație, distribuindu-se uniform în masa bituminoasă.

Când în structura rutieră apar tensiuni mecanice sau variații termice, pot apărea microfisuri în mixtura bituminoasă. La intersectarea acestor fisuri cu o microcapsulă, învelișul polimeric al capsulei se rupe sub efectul stresului, eliberând agentul de vindecare – de obicei un bitum moale, un ulei vegetal regenerant sau un amestec rejuvenant. Odată eliberat, agentul pătrunde în fisură prin capilaritate și acționează asupra bitumului oxidat din jur, restabilind coeziunea și viscozitatea acestuia.

Procesul de autovindecare depinde de mai mulți factori: distribuția și concentrația microcapsulelor în mixtură, dimensiunea fisurilor, temperatura ambientală și natura chimică a agentului de vindecare. În condiții favorabile, această reacție contribuie semnificativ la extinderea duratei de viață a drumului, reducând necesarul de intervenții costisitoare și frecvente.

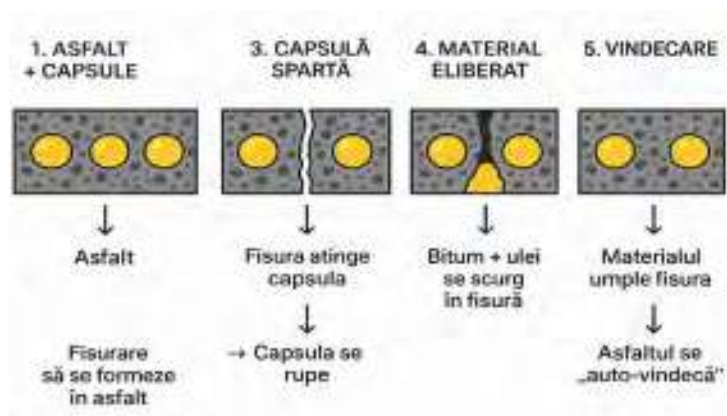


Figura 1. Procesul de autovindecare

3. Avantaje și provocări

3.1 Beneficii economice, ecologice și funcționale

Implementarea smart pavement pe bază de microcapsule bituminoase și uleiuri regeneratoare aduce o serie de avantaje cuantificabile și sustenabile.

Din punct de vedere economic, costul inițial mai ridicat este compensat de scăderea semnificativă a costurilor de întreținere și reabilitare pe termen lung. Reducerea frecvenței intervențiilor majore se traduce prin economii la nivelul bugetelor locale și al costurilor indirecte generate de blocajele în trafic.

Ecologic, asfaltul autovindecător contribuie la scăderea amprente de carbon prin diminuarea numărului de lucrări și, implicit, a consumului de materii prime, combustibili și energie asociată procesului de execuție. Mai puține reparații înseamnă emisii mai reduse și un impact mai mic asupra mediului urban.

Funcțional, capacitatea materialului de a-și închide microfisurile în mod autonom duce la o creștere considerabilă a durabilității stratului de uzură și la menținerea proprietăților mecanice în timp. Astfel, traficul rutier beneficiază de o infrastructură mai stabilă, cu mai puține deformări, denivelări sau pierderi de aderență.

4. Problema reală identificată

Un exemplu relevant în acest sens este Calea Motilor din Cluj-Napoca, reprezintă una dintre arterele principale ale orașului, având o importanță semnificativă atât pentru transportul rutier, cât și pentru infrastructura urbană generală. Însă, în ciuda importanței sale, această stradă se confruntă cu multiple probleme legate de degradarea asfaltului, care, pe termen lung, afectează atât traficul, cât și siguranța circulației. Într-un oraș în continuă expansiune, cu un trafic tot mai dens, menținerea unei infrastructuri rutiere durabile devine o provocare constantă. Reparațiile frecvente, necesare pentru menținerea siguranței și confortului rutier, implică investiții financiare semnificative, dar și disconfort pentru cetățeni. Lucrările de reabilitare generează blocaje majore în trafic, crescând nivelul de poluare și aglomerația. Aceste întreruperi frecvente afectează nu doar locuitorii din zonă, dar și activitatea economică locală, prin creșterea timpilor de deplasare și pierderi de productivitate. Costurile indirecte



asociate acestor intervenții — precum poluarea, consumul de combustibil suplimentar și pierderile economice — sunt, astfel, evidente și în continuă creștere.

Soluții inovative, cum ar fi asfaltul autovindecător, oferă o alternativă viabilă, reducând necesitatea intervențiilor frecvente și prelungind durata de viață a drumurilor. Prin auto-repararea fisurilor și crăpăturilor, asfaltul autovindecător poate reduce semnificativ atât costurile de întreținere, cât și disconfortul urban, asigurând o infrastructură mai durabilă și mai sustenabilă.

4.1 Comparatie: Asfalt Clasic vs. Asfalt Autovindecator (Smart Pavement)

Scenariu: Tronson de 500 m lungime, 10 m latime (5.000 mp), Calea Motilor, Cluj-Napoca, perioada analizata: 10 ani

Tabelul 1. 4.1 Comparatie: Asfalt Clasic vs. Asfalt Autovindecator (Smart Pavement).

Element	Asfalt Clasic (AC)	Asfalt Autovindecator (AA)
Cost inițial	778.800 lei	~1.100.000 lei (+40%)
Durata de viață	4–5 ani	8–10 ani
Nr. intervenții majore	2	1
Cost total în 10 ani	~1.557.600 lei	~1.100.000 lei
Timp total de lucrări	2 x 2 săptămâni = 1 lună	1 x 2 săptămâni
Disconfort pentru trafic	Ridicat (trafic blocat 2x)	Redus (blocaj 1x)
Impact CO2 (execuție)	Ridicat (mai multe lucrări)	Redus (mai puține lucrări)
Întreținere preventivă	Necesară periodic	Minimă
Cost mediu anual	~155.760 lei/an	~110.000 lei/an

Concluzie: Deși asfaltul autovindecător presupune un cost inițial mai mare, acesta aduce beneficii semnificative pe termen lung: mai puține lucrări, economie la buget, reducerea disconfortului urban și un impact ecologic mai scăzut. Este o soluție viabilă și sustenabilă pentru artere urbane intens circulate, cum este Calea Moților din Cluj-Napoca.

Implementarea tehnologiei de asfalt autovindecător pe Calea Moților ar putea aduce următoarele avantaje:

- Reducerea frecvenței reparațiilor: asfaltul autovindecător poate prelungi durata de viață a carosabilului, diminuând necesitatea intervențiilor frecvente.
- Economii financiare: scăderea costurilor de întreținere și reparații pe termen lung.
- Minimizarea disconfortului pentru cetățeni: reducerea lucrărilor de reparație înseamnă mai puține restricții de trafic și perturbări pentru locuitori.

Prin urmare, adoptarea unei astfel de tehnologii inovatoare ar putea reprezenta o investiție eficientă și sustenabilă pentru infrastructura rutieră a municipiului Cluj-Napoca.

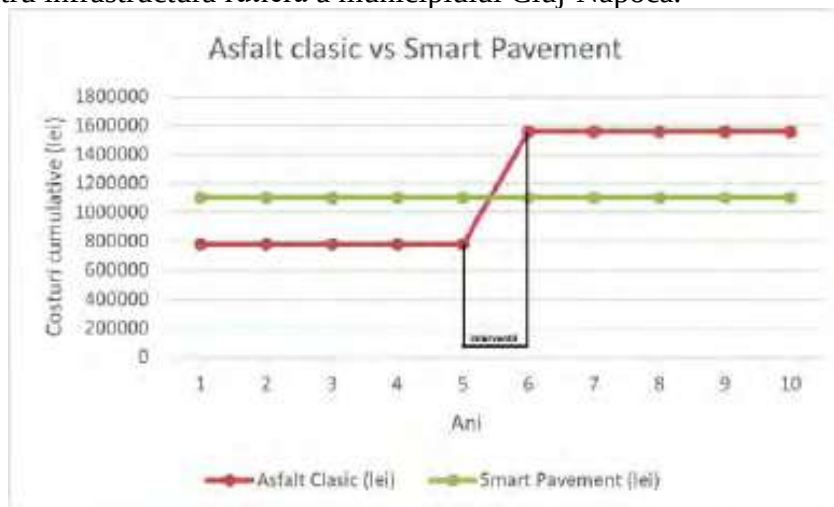


Figura 2. Comparație AC vs. AA



5. Concluzii și Recomandări

5.1. Pasul 1: Recapitulare Beneficii

Tehnologia de asfalt autovindecător cu microcapsule reprezintă o inovație semnificativă în domeniul infrastructurii rutiere, aducând numeroase avantaje comparativ cu asfaltul clasic. Printre cele mai importante beneficii se numără:

1. **Durabilitate crescută:** Asfaltul autovindecător are o durată de viață mult mai lungă, datorită capacității sale de a se repara automat atunci când sunt detectate fisuri. Acest lucru reduce necesitatea intervențiilor frecvente și costurile asociate cu întreținerea drumurilor.
2. **Reducerea costurilor pe termen lung:** Deși investiția inițială poate fi mai mare, costurile de întreținere și reparații sunt semnificativ reduse, ceea ce duce la economii considerabile pe termen lung. În plus, mai puține lucrări de reparație înseamnă mai puțin disconfort pentru trafic și mai puține emisii de CO₂ asociate cu procesele de reconstrucție.
3. **Beneficii ecologice:** Utilizarea asfaltului autovindecător contribuie la reducerea emisiilor de carbon, atât prin diminuarea necesității de reparații frecvente, cât și prin integrarea de materiale sustenabile, cum ar fi agenții de rejuvenare pe bază de uleiuri vegetale. Acest lucru are un impact pozitiv asupra mediului înconjurător.
4. **Creșterea siguranței și confortului rutier:** Datorită auto-reparării, riscul de apariție a craterelor sau fisurilor care pot pune în pericol siguranța vehiculelor și a pietonilor este mult redus. Acest lucru contribuie la un mediu rutier mai sigur și mai confortabil.
5. **Îmbunătățirea eficienței economice:** Asfaltul autovindecător aduce economii semnificative, atât din punct de vedere al costurilor de întreținere, cât și al timpului necesar pentru efectuarea reparațiilor, ceea ce poate permite redirecționarea fondurilor către alte proiecte de infrastructură.

Aceste beneficii fac din asfaltul autovindecător o soluție inovativă și sustenabilă, care poate adresa multe dintre provocările întâmpinate de drumurile urbane și nu numai. În etapa următoare, vor fi discutate provocările și recomandările pentru implementarea acestei tehnologii.

5.2. Pasul 2: Propunere de Testare Pilot pe Strada Moșilor, Cluj-Napoca

Pentru a evalua eficiența și fezabilitatea asfaltului autovindecător în condițiile din Cluj-Napoca, se propune implementarea unui proiect pilot pe Strada Moșilor, un tronson rutier semnificativ din oraș, cu trafic intens și expus la uzură rapidă din cauza condițiilor meteorologice variate și a traficului greu.

Scopul testării pilot:

- **Evaluarea performanței asfaltului autovindecător:** Testarea capacității acestuia de a se auto-repara și de a preveni deteriorarea rapidă a drumurilor în condițiile reale de trafic și climatică din Cluj-Napoca.
- **Analiza costurilor și eficienței pe termen lung:** Compararea costurilor de întreținere și reparație a asfaltului autovindecător cu cele ale asfaltului clasic.
- **Impactul asupra traficului și mediului urban:** Monitorizarea disconfortului creat pentru trafic în timpul implementării, precum și reducerea emisiilor și a consumului de resurse pentru reparațiile ulterioare.

Implementarea testului:

1. **Selecția tronsonului de drum:** Strada Moșilor este aleasă pentru testare datorită condițiilor sale de trafic și infrastructură. Aceasta are o lungime de aproximativ 1,5 km și este una dintre arterele principale de circulație din Cluj-Napoca.
2. **Pregătirea și aplicarea asfaltului autovindecător:** În prima etapă, se va pregăti un lot de asfalt autovindecător, care va fi aplicat pe o secțiune a străzii. În paralel, se va implementa o secțiune control, utilizând asfalt clasic, pentru a permite compararea performanței celor două tipuri de asfalt.



3. **Monitorizare și evaluare:** După aplicarea asfaltului, se va monitoriza continuu starea drumului, cu inspectarea periodică a fisurilor și a deteriorărilor. Se va utiliza tehnologia de detectare a fisurilor, iar procesul de auto-vindecare va fi evaluat în timp real.
4. **Evaluarea rezultatelor:** La finalul perioadei de testare, se vor analiza:
 - Performanța asfaltului autovindecător comparativ cu cel clasic;
 - Reducerea numărului și gravității fisurilor și crăpăturilor;
 - Costurile de întreținere și intervenție pentru ambele tipuri de asfalt;
 - Impactul asupra traficului și disconfortului urban.

Beneficiile testării pilot:

- Valoare educațională și demonstrativă: Proiectul va demonstra practic viabilitatea tehnologiei asfaltului autovindecător în condiții urbane reale, având potențialul de a atrage atenția asupra beneficiilor sale economice și ecologice.
- Oportunitate de extindere: Dacă testul pilot va dovedi succesul acestei tehnologii, se poate extinde utilizarea asfaltului autovindecător pe alte artere din orașe cu trafic intens.

6. Concluzie

Testarea pilot a asfaltului autovindecător pe Strada Moșilor poate fi un prim pas important către implementarea acestei tehnologii inovative în întreaga infrastructură rutieră a orașului Cluj-Napoca. Proiectul va oferi date valoroase despre performanța și viabilitatea pe termen lung a acestei soluții sustenabile.

BIBLIOGRAFIE

1. Boulter, P., & Swaddling, M. (2008). *An Investigation into the Development of Self-Healing Pavement Materials*. International Journal of Pavement Engineering.
2. Ghaffari, F., & Ghasemi, H. (2019). *Self-Healing Asphalt: Mechanisms, Materials and Applications*. Journal of Materials Science & Technology.
3. Suryawanshi, M., & Shrivastava, A. (2020). *Development of Self-Healing Asphalt Using Microcapsules for Sustainable Pavement Solutions*. Construction and Building Materials Journal.
4. Yuan, Z., & Li, X. (2021). *Use of Microcapsules in Asphalt: Improving the Durability and Sustainability of Roads*. Transport Research Part D: Transport and Environment.
5. Jones, D. C., & Hsu, S. C. (2017). *Asphalt Mixtures with Healing Agents: Advances and Applications*. Journal of Materials in Civil Engineering.
6. Kim, Y. R., & Lee, H. (2020). *Performance Evaluation of Self-Healing Asphalt Using Bitumen and Natural Oils*. Materials and Structures Journal.
7. Huang, Y., & Zhang, F. (2022). *Economic and Environmental Impact of Self-Healing Pavement Technology*. Sustainable Materials and Technologies Journal.
8. U.S. Department of Transportation (2021). *Smart Pavements and Self-Healing Materials in Infrastructure*. Federal Highway Administration.
9. Rostami, M., & Ebrahimi, M. (2018). *Self-Healing Properties of Asphalt and Its Impact on Road Maintenance*. Journal of Road Materials and Pavement Design.
10. Călin, G., & Ionescu, S. (2019). *Studii privind implementarea tehnologiilor de asfalt autovindecător în România*. Revista Tehnica Drumurilor și Podurilor.
11. Rădulescu, M. (2021). *Costurile implementării asfaltului autovindecător pe drumuri urbane în România*. Journal of Urban Infrastructure and Management.



CERCETĂRI EXPERIMENTALE CU PRIVIRE LA CARACTERISTICILE TEHNOLOGICE ALE ROCILOR EXPLOATATE PE CURSUL RÂULUI JIU

Autori

Valentin CIOABA¹, Elena MIHAIESCU²

¹Facultatea de Mine, Universitatea din Petrosani., , e-mail: vvali18@yahoo.com.

²Facultatea de Mine, Universitatea din Petrosani., , e-mail: mihaiescu.elena.16@gmail.com.

Îndrumător

Conf.Dr.Ing. Cătălin Marian NISTOR³

³Facultatea de Mine., Universitatea din Petrosani., , e-mail: nistor_catalin_marian@yahoo.com.

REZUMAT: Această lucrare a fost realizată în laborator și dorește a furniza profesioniștilor din domeniul proiectării și execuției drumurilor, date calculate experimental cu privire la caracteristicile tehnologice ale rocilor exploatate la nivelul județului GORJ și care pot fi folosite la îmbunătățirea terenurilor de fundare în zona bazinului minier ROVINARI. Au fost determinate valorile rezistențelor la uzură cu metoda LOS ANGELES, metoda DEVAL, abrazivitatea cu metoda BARON cât și reacția alcali-agregate. Aceste încercări au fost realizate pe probe recoltate din 8 puncte de pe cursul râului Jiu, dintre care 5 balastiere și 3 cariere. Rezultatele au fost prezentate ca valori medii dar am prezentat și valorile maxime și minime pentru fiecare sort și punct de recoltare în parte.

Cuvinte cheie: mecanica rocilor, drumuri, infrastructura, metoda Los Angeles, metoda Deval.

1. Introducere

Bazinul hidrografic al Jiului are o suprafață de 10.469 km² și o lungime de 348 de km.

Jiul de Vest are o lungime de 51,4 km și curge paralel cu creasta principală de sud a Munților Retezat și prin Depresiunea Petroșani primind numeroși afluenți atât din Munții Retezat cât și din Munții Vâlcan. Din Munții Retezat primește ca afluenți importanți Pârâul Buta, Urseasca, Toplița, Bilugu, Sterminos, Mierleasa, iar din Munții Vâlcan Rostovanul, Pârâul Mare, Valea de Pești, Pietroasa.

Jiul de Est-Ardelenesc are o lungime de 28 km și curge de la o altitudine de 820 m, primind ca afluenți mai însemnați Jiețul, Maleia, Bănița, Cimpa, Taia.

La Iscroni Jiul de Vest și Jiul de Est formează Râul Jiu al cărui curs primește în continuare numeroși afluenți ce își au obârșia atât în Munții Parâng cât și Munții Vâlcan. Din Munții Parâng Jiul primește ca afluenți Izvorul, Polatiștea și Sadul iar din Munții Vâlcan primește Bratcu, Porcu, Bistrița, Jaleșul, Șușița, Tismana și Motru.

Din punct de vedere geografic, Jiul traversează de la izvoare până la vărsare, în Dunăre, următoarele unități geografice de relief :

- unități muntoase- Sebeș, Retezat, Parâng, Vâlcan;
- Bazinul Petroșani;
- unități subcarpatice- Subcarpații Gorjului;
- unități de podiș -Strehaia și Olteț;
- unități de câmpie-Băilești și Romanați.

Din punct de vedere geologic, Jiul traversează două unități:

- unități carpatice ce includ structurile Munților Sebeș, Retezat, Parâng și Vâlcan, precum și structurile Depresiunii Petroșani și Getice.
- unități de vorland ce includ structura Platformei Valahe.

2. Rezistența la uzură. Metoda Deval

Atrițiunea este abraziunea (uzura unui corp prin frecare de alt corp) produsă de frecarea unor bucăți de roci între ele.



Pentru determinarea uzurii prin metoda Deval, probele de roc, au fost uscate în etuvă la 105°C până la o masă constantă. După uscare am realizat sortarea rocilor sfărâmate în bucăți cu dimensiunea cuprinsă între 31,5-50 mm, fiecare bucată cântărind aproximativ 100 g. După sortare am introdus în fiecare cilindru câte o probă constituită din sortul 31,5-50 mm, cu o masă totală de 5000 ± 10g. Materialul a fost supus unei mișcări de rotație timp de 5h 30', timp în care aparatul a executat 10.000 rotații. [1],[2],[3],[4].

$$U_d = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

unde: m_1 – masa inițială a probei uscate, g; m_2 – masa restului de pe sita cu ochiurile de 2 mm, după spălare și uscare la masă constantă, g.

În funcție de rezistența la uzură U_d se va stabili coeficientul de calitate C_c .

$$C_c = \frac{40}{U_d} \quad (2)$$

În funcție de valoarea acestui coeficient roca a fost clasificată conform tabelului 1:

Tabelul.1. Clasificarea rocilor în funcție de rezistența la uzură Deval

Rezistența la uzură R_{uz} . Metoda Deval	
Coeficient de calitate (C)	Categoria
$C < 7$	Rocă slabă
7 , 9	Rocă mediocră
9 , 11	Rocă acceptabilă
11 , 13	Rocă bună
13 , 15	Rocă foarte bună
$C > 15$	Rocă excelentă

Tabelul 2. Valorile rezistenței la uzură obținute prin metoda Deval.

Proprietatea tehnologică		Cariera		
Rezistența la uzură. Metoda DEVAL U_d [%]	Valori	Meri	Porceni Carpat Agregate	Porceni Domarcons
		Sortul 31,5 -50 mm		
	medii	2,4495	2,6675	2,5600
	minime	2,3391	2,4990	2,5000
	maxime	2,5600	2,8360	2,6200
Coeficientul de calitate C_c	medii	16,3629	15,0553	15,6336
	minime	15,6250	14,1042	15,2672
	maxime	17,1009	16,0064	16,0000

Tabelul 3. Valorile rezistenței la uzură obținute prin metoda Deval.

Proprietatea fizică		Balastiera				
Rezistența la uzură. Metoda DEVAL U_d [%]	Valori	Valea Sadului	Iezureni	Dragușești	Sărdănești	Ionești
	medii	1,4401	1,5000	1,5797	1,7083	1,9315
	minime	1,3861	1,4000	1,4991	1,6583	1,8936
	maxime	1,4940	1,6000	1,6600	1,7582	1,9694
Coeficientul de calitate C_c	medii	27,8152	26,7857	25,3869	23,4352	20,7177
	minime	26,7733	25,0000	24,0964	22,7500	20,3111
	maxime	28,8571	28,5714	26,6773	24,1205	21,1242

3. Rezistența la uzură. Metoda Los Angeles

Principiul metodei constă în determinarea procentului de material rezultat în urma uzurii agregatelor naturale datorită șocurilor produse de căderea bilelor metalice și a frecării granulelor între ele și cu suprafețele metalice ale pereților mașinii, la un număr precis de rotații ale mașinii tip Los Angeles [4],[5],[6]

Agregatele naturale au fost uscate până la o masă constantă, cântărite și încercate pe fiecare sort în parte.



Proba și încărcătura abrazivă cu masa corespunzătoare pentru fiecare sort supus determinării (tabelul 4) au fost introduse în cilindrul mașinii, imprimându-li-se o mișcare de rotație cu o viteză constantă de 30-33 rot/min.

Tabelul 4. Caracteristicile încercării [5]

Sortul	Masa probei, g	Numărul de bile abrazive	Masa bilelor abrazive, g	Numărul de rotații
3 – 8	5000±10	7	2920±15	500
7 – 16 8 – 16	5000±10	9	3750±20	500
16 – 25	5000±10	11	4580±30	500
25 – 40	10000±30	12	5000±30	1000
31 – 63 40 – 63	10000±50	12	5000±30	1000
63 – 90	10000±75	12	5000±30	1000
Balast 0 – 71	5000±17,5	12	5000±30	500

După realizarea numărului de rotații pentru fiecare sort (500-1000 rotații), materialul a fost scos din cilindru și cernut prin sita cu ochiurile de 1,60 mm. Materialul rămas pe sită a fost spălat pentru îndepărtarea prafului, uscat până la o masă constantă și cântărit.

Rezistența la uzură Los Angeles (LA) s-a calculat cu ajutorul relației (3):

$$LA = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (3)$$

în care:

m1 – masa inițială a probei g;

m2 – masa restului pe ciurul 1,60 mm după spălare și uscare g.

Rezultatul considerat a fost media a două determinări, care nu au diferit între ele cu mai mult de 15 %.

Tabelul 5. Valorile obținute ale rezistenței la uzură prin metoda Los Angeles.

Proprietatea tehnologică		Cariera					
Rezistența la uzură. Metoda Los Angeles, LA [%]	Valori	Meri		Porceni Carpat Agregate		Porceni Domarcons	
		Sortul [mm]					
		3-8	8-16	3-8	8-16	3-8	8-16
	medii	15,6500	15,0826	17,8573	17,8650	17,5598	17,5176
	minime	15,2800	14,7053	17,5546	17,4000	17,1621	16,9855
	maxime	16,0200	15,4600	18,1600	18,3300	17,9574	18,0497
		Sortul [mm]					
		16-25	25-40	16-25	25-40	16-25	25-40
	medii	16,2637	15,7650	15,9650	15,3097	15,9323	15,7861
	minime	15,6675	14,9825	15,6300	14,6120	15,1333	14,9978
	maxime	16,8600	16,5476	16,3000	16,0075	16,7312	16,5744
		Sortul [mm]					
		40-36		40-36		40-36	
	medii	16,9978		14,7248		15,3493	
	minime	16,7714		14,0368		15,0151	
	maxime	17,2242		15,4127		15,6834	

Tabelul 6. Valorile obținute ale rezistenței la uzură prin metoda Los Angeles.

Proprietatea tehnologică		Balastiera									
Rezistența la uzură. Metoda Los Angeles, LA [%]	Valori	Valea Sadului		Iezureni		Draguțești		Sărdănești		Ionești	
		Sortul [mm]									
		3-8	8-16	3-8	8-16	3-8	8-16	3-8	8-16	3-8	8-16
	medii	23,54	22,91	24,65	25,28	25,64	26,21	30,51	33,76	28,60	34,69
	minime	22,60	21,90	23,71	24,80	24,59	25,62	29,49	32,29	27,64	33,34
	maxime	24,49	23,93	25,60	25,76	26,70	26,80	31,53	35,23	29,56	36,04
		Sortul [mm]									
		16-25	25-40	16-25	25-40	16-25	25-40	16-25	25-40	16-25	25-40
	medii	22,15	24,41	26,12	28,05	27,05	30,48	35,24	36,22	36,53	38,68
	minime	21,54	23,28	24,95	27,25	26,10	29,85	33,70	35,55	35,76	36,77



	maxime	22,76	25,53	27,30	28,85	28,00	31,10	36,79	36,90	37,30	40,60
		Sortul [mm]									
		40-36	0-71	40-36	0-71	40-36	0-71	40-36	0-71	40-36	0-71
	medii	23,13	23,7933	26,32	25,28	33,36	34,25	36,16	34,73	34,25	34,98
	minime	22,25	23,3290	25,53	24,55	32,50	33,85	35,08	33,98	33,07	34,07
	maxime	24,02	24,2575	27,12	26,00	34,22	34,65	37,25	35,48	35,42	35,89

4. Abrazivitatea. Metoda Baron

Abrazivitatea a fost determinată în laborator prin metoda Baron [Todorescu 1984; Arad 1995], fiind caracterizată de uzura pe care o are un corp care vine în contact direct, prin frecare, cu o rocă. Abrazivitatea a fost realizată prin determinarea cantității de material pierdută de o tijă metalică într-o anumită unitate de timp (10 min.), după frecare prin mișcări rotative de suprafața neprelucrată a rocii analizate. Tijă metalică utilizată a avut un diametru de 0,8 cm și o lungime de 7,7 cm, având o anumită duritate Brinell și fiind supusă la o forță axială de frecare pe suprafața rocii de 15,10 N. Abrazivitatea a fost determinată cu ajutorul relației:

$$K_{abr} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{2n} \quad (4)$$

K_{abr} reprezintă abrazivitatea rocii, mg;

g_i – pierderea greutatei barei etalon la fiecare experiență pereche, mg;

n – numărul de încercări perechi.

Tabelul 7. Valorile obținute ale abrazivității prin metoda Baron.

Proprietatea tehnologică		Cariera			
Abrazivitatea K_{abr} [mg]	Valori	Meri	Porceni Carpat Agregate	Porceni Domarcons	
	medii	53,0167	54,1833	54,9167	
	minime	51,1500	52,4500	53,1500	
	maxime	54,5500	55,2500	56,9500	

5. Coeficientul de rezistență

Acest coeficient a fost pus în evidență de Protodiakonov pe baza ipotezei de rupere a rocilor Coulomb-Mohr [Hirian 1980; Teodorescu 1984; Arad ș. a. 2009; Arad, Goldan 2009]. Această proprietate tehnologică a fost determinată prin efectuarea în laborator, pe granitele analizate, a rezistenței de rupere la compresiune monoaxială, pe epruvete de formă cilindrică cu $d = h$. Coeficientul de rezistență a fost determinat cu ajutorul relației:

$$f = \frac{\sigma_{rc}}{100} \quad (5)$$

unde:

f reprezintă coeficientul de rezistență sau de tărie al lui Protodiakonov;

σ_{rc} – rezistența de rupere la compresiune monoaxială, MPa.[5],[6].

Tabelul 8. Valorile obținute ale coeficientului (Protodiakonov) de rezistență.

Proprietatea tehnologică		Cariera			
Coeficientul de rezistență, f	Valori	Meri	Porceni Carpat Agregate	Porceni Domarcons	
	în stare uscată				
	medii	17,546	17,085	16,769	
	minime	16,360	15,847	16,002	
	maxime	18,784	17,973	17,937	
	în stare saturată				
	medii	15,638	15,601	15,147	
	minime	14,269	14,218	14,566	
	maxime	16,440	16,372	16,627	
	după 25 de cicluri îngheț-dezgheț				
	medii	15,334	15,323	14,846	



	minime	14,236	14,108	14,027
	maxime	16,252	16,228	16,279

6. Reacția alcali-agregate

Reacția alcali-agregate pune în evidență reactivitatea și nocivitatea potențială a agregatelor ce conțin una sau mai multe forme ale bioxidului de siliciu de joasă cristalizare (opalul, alcedonia, tridimitul, cristobalitul) și sticle vulcanice bogate în bioxid de siliciu.[3]

Reacția alcali-agregate stabilește posibilitatea de utilizare a agregatelor împreună cu cimenturi pentru atenuarea sau anihilarea reactivității și nocivității. Acest caracter al agregatelor este determinat cu ajutorul diagramei (fig. 5.13) și al tabelului 5.68. Această determinare este necesară în cazul agregatelor folosite la realizarea betoanelor care vin în contact permanent sau alternativ cu apa sau cu un mediu umed [3].

Tabelul 9. Clasificarea rocilor după reacția alcali- agregate [3]

Clasa	Caracterizarea rocilor și agregatelor în funcție de S_c (mmol/dm ³) și R_c (mmol/dm ³)
A	Nereactive
B	În general nereactive
C	Reactivitate potențială pronunțată
D	Nocive

Tabelul 10. Valorile medii pentru reacția alcali-agregate.

Proprietatea tehnologică		Balastiera				
Concentrația de bioxid de siliciu, S_c [mmol/dm ³]	Valori	Valea Sadului	Iezureni	Draguțești	Sărdănești	Ionești
		Sortul [mm]				
		0-63				
	medii	4.36	40.96	41,9	40,7	41,3
	minime	42,2	40,2	42,2	41,2	42,1
Reducerea concentrației de hidroxid de sodiu, R_c [mmol/dm ³]	maxime	42,7	41,4	42,5	41,6	42,4
		Sortul [mm]				
		0-63				
	medii	39	36.8	37.6	36.8	37.6
	minime	38,7	36,2	37,2	36,2	37,2
	maxime	39,2	37,3	38,1	37,3	38,1

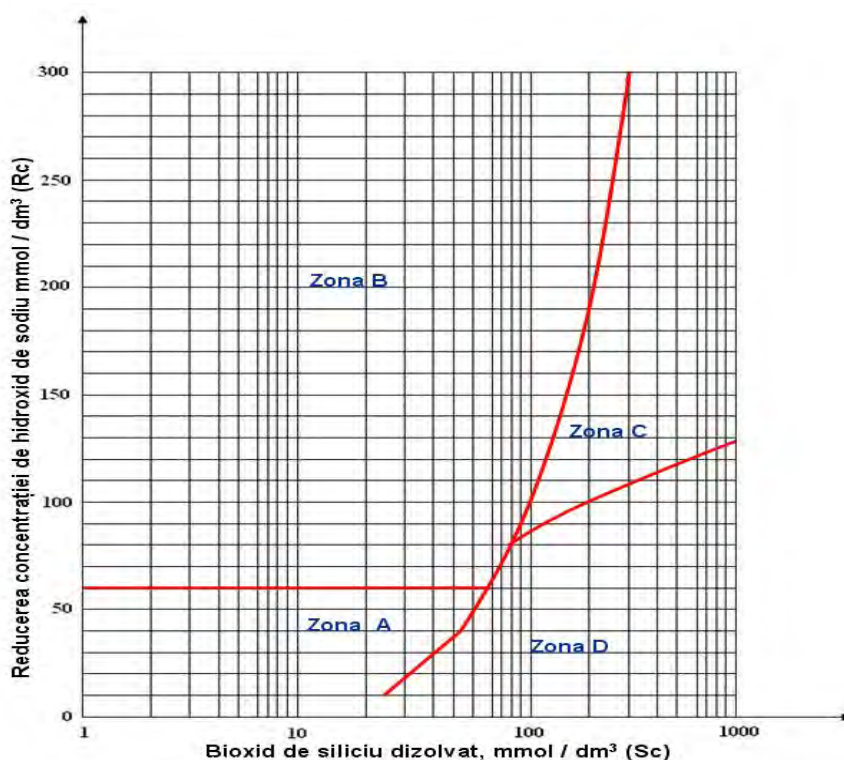




Fig. 1. Verificarea reacției alcali-agregate. (1 – agregatele din zona A sunt nereactive, ele se pot recomanda pentru utilizare; 2 – agregatele din zona B sunt în general nereactive; 3 – agregatele din zona C sunt caracterizate printr-o reactivitate potențială pronunțată; 4 – agregatele din zona D se consideră nocive).

7. Concluzii

În urma cercetărilor experimentale efectuate asupra agregatelor minerale provenite din perimetrele de exploatare situate pe cursul râului Jiu, se pot formula următoarele concluzii generale și specifice, cu relevanță atât din punct de vedere tehnologic, cât și practic:

Calitatea materialelor:

Rocile testate (agregate de râu) se încadrează în categoria materialelor cu caracteristici tehnologice favorabile pentru utilizare în lucrări de construcții. Valorile obținute la testele Deval, Los Angeles și Baroun au evidențiat o rezistență mecanică ridicată, o durabilitate bună la acțiuni abrazive și o comportare satisfăcătoare în condiții de exploatare rutieră.

Rezultatele testelor specifice:

Coeficientul Deval a înregistrat valori medii care confirmă o rezistență bună la uzură prin frecare, specifică materialelor aluvionare rotunjite.

Coeficientul Los Angeles a încadrat agregatele într-o clasă de calitate corespunzătoare pentru betoane și mixturi asfaltice, indicând o pierdere acceptabilă la impact.

Testul Baroun a evidențiat un comportament bun sub acțiunea alternanței umed-uscat, ceea ce sugerează o stabilitate dimensională și o rezistență crescută la cicluri de îngheț-dezghet.

Relevanța: locală. Agregatele provenite din zona Jiului prezintă o valoare economică importantă, fiind materiale naturale disponibile local, ceea ce reduce costurile de transport și facilitează utilizarea lor în proiecte de infrastructură regională.

Aplicații practice:

Caracteristicile tehnologice obținute recomandă utilizarea acestor materiale în:

- lucrări de terasamente;
- fundații pentru drumuri și căi ferate;
- realizarea de betoane obișnuite și armate;
- amenajări hidrotehnice (gabioane, diguri).

Aspecte de mediu și sustenabilitate:

Exploatarea responsabilă a acestor resurse este esențială pentru menținerea echilibrului ecologic al râului Jiu. Se recomandă monitorizarea constantă a impactului asupra mediului și aplicarea unor tehnologii moderne de extracție cu minimă intervenție în habitatul natural.

BIBLIOGRAFIE

1. ARAD, V., 1995 – MECANICA ROCILOR. Editura Didactică și Pedagogică, București.
2. Bomboe, P., Mărunțeanu, C., Geologie inginerescă vol.1, Facultatea de Geologie – Geografie, București, 1986.
3. STEMATIU, D., Mecanica rocilor pentru constructori, Ed.Conspress, București, 2008
4. ***SR EN 1097/1 Rezistenta la uzura cu masina DEVAL
5. ***SR EN 1097/2 Rezistenta la uzura cu masina DE ABRAZIUNE LOS ANGELES
6. *** SR EN 1097-1:2011 Incercari pe material pt cai ferate si drumuri
7. Popescu, R., Petrescu, A., Rădulescu, M. (2016). Geotehnică și fundații pentru ingineri constructori.



ACUMULATORI ARHIMEDICI

Autori

Alexandra D. BUTAȘ¹, Jenifer A. BOBOI²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: alexandraa.butas@gmail.com.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: bobojennifer@gmail.com.

Îndrumător

Sl.Dr.Ing. Marius L. Botos³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: marius.botos@mecon.utcluj.ro.

REZUMAT: O problemă de actualitate este producerea energiei electrice din surse regenerabile sustenabile, cu impact minim asupra mediului și asupra rețelelor de distribuție. Producerea energiei solare și eoliene devine din ce în ce mai accesibilă, dar ridică probleme legate de disponibilitate și impredictibilitate. Înmagazinarea surplusului de energie devine o problemă pentru sustenabilitatea acestor surse de energie. Soluțiile pe baza de acumulatori ce folosesc pământuri rare ridică probleme de acces la aceasta resursă. O metodă alternativă aflată într-o fază destul de avansată de implementare este bazată pe transformarea energiei electrice în energie potențială și inversarea procesului atunci când este nevoie. Sunt utilizate structuri de mari dimensiuni în care corpuri, acționate de motoare/generatoare cu sisteme de scripeți care transformă energia potențială stocată în energie electrică. Soluția necesită structuri costisitoare și mecanisme complexe, precum și limitări impuse de condițiile din amplasament. Pornind de la aceste exemple de stocare a energiei potențiale, propunem un mecanism asemănător, dar folosindu-ne de un lac de acumulare în interiorul cărui ne propunem să acumulăm energie potențială prin scufundarea unor corpuri flotante. Forțele arhimedice vor fi răspunzătoare pentru producerea energiei electrice prin lucrul mecanic efectuat de acestea la eliberarea corpurilor scufundate în drumul lor spre suprafața lacului.

Cuvinte cheie: forțe arhimedice, compensare, sustenabilitate, energie verde.

13. Introducere

Energiile regenerabile sau „verzi”, cum ar fi energia eoliană, solară, hidroelectrică, energia oceanică, geotermală, biomasa și biocombustibilii, reprezintă alternative mai puțin poluante la cea obținută în baza combustibililor fosili, contribuind semnificativ la reducerea poluării și diversificarea opțiunilor energetice disponibile [1]. Ele oferă avantajul reducerii dependenței de combustibili fosili tradiționali și susțin tranziția către un sistem energetic mai sustenabil și prietenos cu mediul înconjurător [1]. Deși energia regenerabilă are numeroase avantaje, precum impactul redus asupra mediului și se bazează pe resursele inepuizabile, există și dezavantaje, dependența de condițiile meteorologice și costurile ridicate de stocare a energiei [2]. Pentru a susține dezvoltarea acestor metode de producere a energiei alternative, tehnologiile de stocare reprezintă problema de interes pentru a accesa energia atunci când este cerere maximă și este nevoie de surse suplimentare. În prezent, acumulatorii cei mai utilizați pentru a stoca surplusul de energie sunt de tip Li-Ion, Ni-MH și Li-Po, fiecare având propriile caracteristici de performanță, cost și durabilitate [3][4].

14. Soluții existente de stocare a energiei

În contextul actual al tranziției către surse de energie verde și al creșterii ponderii energiilor regenerabile în mixul energetic național, România acordă o atenție din ce în ce mai mare tehnologiilor de stocare a energiei. Sistemele de acumulare joacă un rol crucial în echilibrarea producției și consumului de electricitate, mai ales într-un sistem energetic influențat de variabilitatea resurselor eoliene și solare.

Chiar dacă la momentul actual utilizarea acumulatorilor de energie la scară industrială este relativ redusă, mai multe proiecte majore se află în curs de dezvoltare. În general, aceste soluții de stocare utilizează tehnologii avansate, precum bateriile litiu-ion sau sistemele de tip flow, capabile să asigure stocarea energiei pe durate medii și lungi. Necesitatea extinderii acestor sisteme este evidentă:

producția de energie din surse regenerabile este caracterizată de intermitență, iar lipsa unor capacități de stocare eficiente limitează posibilitatea valorificării surplusurilor de producție. Astfel, integrarea acumulatorilor devine esențială pentru menținerea stabilității rețelei și pentru garantarea unui flux constant și sigur de energie electrică.

O altă metoda de a stoca energie atunci când cererea este mai mică decât cantitatea de energie produsă este stocarea energiei folosind hidrocentrale cu pompă (PHES – Pumped Hydroelectric Energy Storage). Aceasta reprezintă o tehnologie matură și eficientă de stocare a energiei la scară mare, bazată pe conversia energiei electrice în energie potențială a apei. În perioadele cu cerere scăzută și cost redus al electricității, energia este utilizată pentru pomparea apei dintr-un rezervor inferior într-un rezervor superior, situat la o altitudine mai mare. Ulterior, în intervalele de vârf de consum, apa este eliberată gravitațional prin turbine hidraulice, generând energie electrică. Turbinele sunt, de regulă, reversibile, funcționând atât ca pompe, cât și ca generatoare. Capacitatea de stocare ridicată și costurile operaționale reduse fac din PHES cea mai viabilă soluție pentru stocarea energiei regenerabile intermitente, însă implementarea implica costuri ridicate, probleme diverse de natura tehnică, și limitată semnificativ de condițiile geografice și geologice ale amplasamentului, precum și de disponibilitatea resurselor hidrice[4][5].

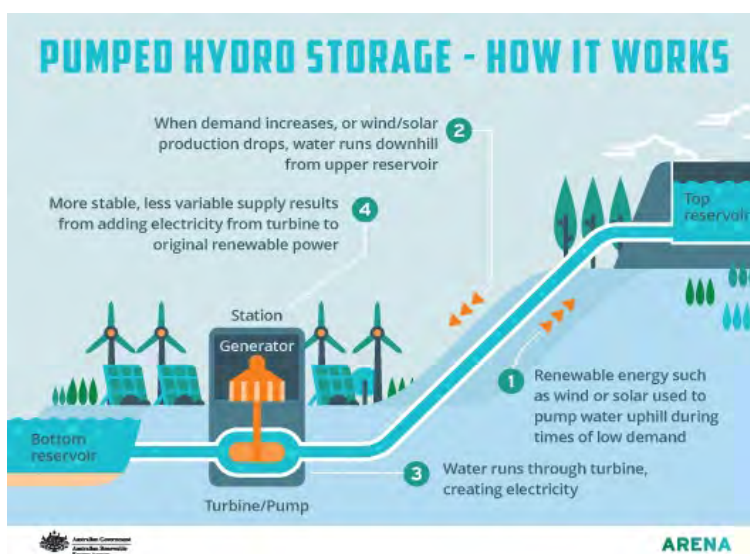


Figura 1. Stocarea energiei prin hidrocentrală cu pompă.[5]

Bateriile gravitaționale sunt sisteme care stochează energie folosind gravitația. Atunci când există surplus de electricitate, aceasta este folosită pentru a ridica greutatea mari, stocând astfel energie sub formă de energie potențială. Când este nevoie suplimentarea cantitatilor de curent în sistemul energetic, greutatea este lăsată să coboare, antrenând generatoare care produc din nou electricitate. Bateriile gravitaționale sunt durabile, nu poluează și pot funcționa foarte mult timp, însă necesită spațiu mare și sunt mai potrivite pentru stocarea de energie la scară industrială decât pentru utilizări mici[6].



Figura 2. Baterii gravitaționale [9].

15. Soluție propusă

Pornind de la exemplele mai sus, care se bazează pe posibilitatea de a stoca energia potențială în loc de a stoca energie electrică și de la sistemele de stocare a energiei prin hidrocentrala cu pompare, ne-am gândit la două soluții pe care să le implementăm la un sistem asemănător, dar să fie amplasat în apropierea unei acumulări existente.

16. Calcul energie stocată

Prima noastră soluție arată astfel:

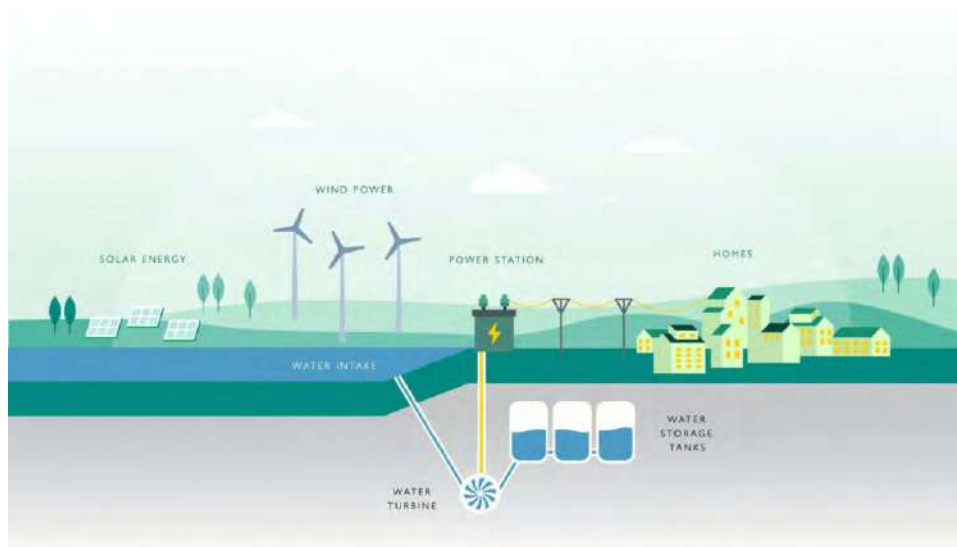


Figura 3. Sistem stocare cu pompaj. [7]

Spre deosebire de sistemul clasic PHES, sistemul propus folosește pomparea pentru a goli rezervoarele în acumulare existentă. Rezervoarele se amplasează pe fundul unui lac existent și nu necesită excavații suplimentare. Acest sistem reprezintă un model de microhidrocentrală gravitațională, conceput pentru a produce energie electrică prin utilizarea apei din acumulare existentă. Apa este captată printr-un grătar situat în partea superioară a aducțiunii și este direcționată către o turbină hidraulică. Energia potențială a apei este transformată în energie mecanică de către turbină, care ulterior este convertită în energie electrică. După ce trece prin turbină, apa este stocată într-un rezervor situat în partea inferioară a acumulării. Când în sistemul energetic nu există cerere pentru energia produsă, sistemul propus golește apa din rezervor în acumulare care găzduiește sistemul. Când sistemul este suprasolicitat de consumatori, instalația pornește turbina și produce energia necesară pentru echilibrare. Ideal este: conducta prin care intră apa în rezervor să fie cât mai scurtă pentru a limita pierderile de sarcină. Acest tip de sistem este eficient în zonele montane sau cu diferențe de nivel, valorificând energia potențială a apei.

Formula generală a energiei potențiale stocate:

$$E = \rho \cdot g \cdot V \cdot H \quad (1)$$

unde: E = energia [jouli, J]; ρ = densitatea apei (aproximativ 1000 kg/m^3); g = accelerația gravitațională (9.81 m/s^2); V = volumul corpului [m^3]; H este adâncimea de scufundare [m]; t este timpul de scufundare [s]

Dacă: $\gamma = \rho \cdot g$ și $Q = \frac{V}{t}$, atunci rezultă:

$$Ep = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000} \cdot \eta_{\text{pompa}} [\text{kW}] - \text{energia pompată}$$

$$Et = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000} \cdot \eta_{\text{turbina}} [\text{kW}] - \text{energia turbinată}$$

Randamentul ar fi estimativ în jur de 75%.

O altă soluție propusă de noi este prezentată în schița de mai jos:

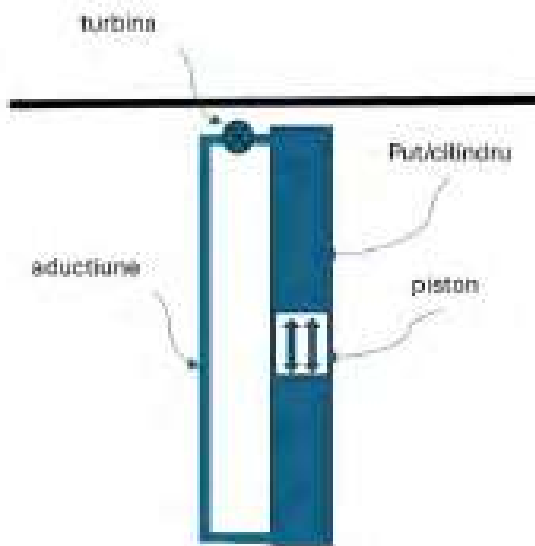


Figura 4. Sistem cilindru și piston arhimedic.

Acest sistem reprezintă un sistem alternativ de generare a energiei, bazat pe mișcarea oscilatorie a unui corp cu masă sau volum variabil într-un puț umplut cu apă în apropierea unei acumulări de apă. La partea superioară a puțului, corpul permite apei să pătrundă în interiorul său, provocând coborârea acestuia. În timpul coborârii, corpul se comportă ca un piston împingând apa prin puț și prin conducta atașată către o turbină, generând astfel energie electrică. La capătul inferior al puțului, apa din interiorul corpului este înlocuită de aer, determinând ridicarea corpului înapoi la suprafață sub acțiunea forțelor arhimedice, împingând din nou apa în conductă și menținând astfel ciclul de funcționare. Acest principiu valorifică energia potențială și lucrul mecanic al forțelor arhimedice pentru a crea un flux constant de apă prin turbină, având potențial de aplicare în microgeneratoare sau sisteme alternative de energie în medii închise.

17. Avantaje soluției alese

Primul sistem, bazat pe curgerea gravitațională a apei în sisteme de înmagazinare complementare acumulării existente, prezintă numeroase avantaje din punct de vedere al eficienței și fiabilității. Principalul avantaj este disponibilitatea rapidă a cuplării la sistemul energetic, deoarece energia potențială a apei este convertită imediat în energie mecanică și apoi electrică. În plus, este un sistem cu o funcționare continuă atâta timp cât există o sursă constantă de apă și o diferență de nivel disponibilă. Este un model consacrat, deja folosit pe scară largă în microhidrocentrale și oferă stabilitate în exploatare. Sistemul nostru presupune doar o implementare inedită. Deși are un randament mai slab, acesta va fi folositoare în momentele când e necesară o cantitate mare de curent și prețul de vânzare va crește.

Pe de altă parte, sistemul gravitațional are și unele dezavantaje semnificative. Funcționarea lui este condiționată de existența unui relief adecvat, respectiv o diferență de nivel între sursa de apă și turbină. În plus, necesită o sursă permanentă de apă, iar în lipsa acesteia, eficiența scade sau sistemul devine inoperabil. De asemenea, implementarea poate presupune lucrări hidrotehnice costisitoare, precum amenajarea unui bazin superior, montarea de conducte și construirea unui sistem de reglaj al debitului. Cel de-al doilea sistem, cel oscilant cu piston, aduce în discuție un concept inovativ, cu avantajul major că poate funcționa într-un sistem închis, fără surse naturale de apă semnificative sau diferențe mari de nivel. Este un sistem adaptabil pentru spații restrânse sau aplicații experimentale și educaționale. Un alt avantaj este caracterul său mecanic autonom într-o anumită măsură, ceea ce îl face interesant din punct de vedere al studiului principiilor fizice aplicate.



Cu toate acestea, acest al doilea sistem prezintă dezavantaje importante legate în principal de randamentul scăzut și de complexitatea tehnică. Fiecare ciclu necesită un impuls de energie externă, iar pierderile prin frecare, compresie și mecanismele interne afectează semnificativ eficiența generală. În plus, uzura mecanică este ridicată, întreținerea dificilă, iar debitul de apă împins este relativ mic, limitând puterea generată. Astfel, aplicabilitatea sa este redusă la scară industrială și rămâne mai potrivit pentru prototipuri sau cercetare.

18. Concluzii

Integrarea soluțiilor inovatoare pentru stocarea energiei devine tot mai necesară în contextul tranziției energetice globale. Sistemul propus, o combinație între tehnologia bateriilor gravitaționale și cea a centralelor hidroelectrice cu acumulare prin pompaj, oferă o alternativă fezabilă și sustenabilă pentru valorificarea surplusului de energie produs din surse regenerabile. Această metodă permite utilizarea unor infrastructuri deja existente, cum ar fi lacurile de acumulare, minimizând astfel costurile de implementare și impactul asupra mediului.

Avantajele precum durabilitatea, capacitatea mare de stocare și independența față de pământuri rare recomandă această soluție pentru aplicații la scară largă. Cu toate acestea, rămân aspecte tehnice de optimizat, cum ar fi randamentul, eficiența conversiei energetice.

Prin urmare, soluția propusă nu doar că adresează limitările principalelor tehnologii existente, dar oferă și o bază solidă pentru cercetări viitoare și posibile aplicații industriale în domeniul stocării energiei verzi fiind o soluție potrivită pentru perioade când este nevoie de energie electrică. Integrarea acestor sisteme în infrastructura energetică națională ar putea contribui decisiv la atingerea obiectivelor de neutralitate climatică și la stabilizarea rețelelor electrice alimentate din surse regenerabile.

BIBLIOGRAFIE

- 1.Parlamentul European. (2023). *Energia din surse regenerabile*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/70/energia-din-surse-regenerabile> (accesat 10.05.2025)
- 2.Parlamentul European. (2023). *Energia din surse regenerabile*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/70/energia-din-surse-regenerabile> (accesat 10.05.2025)
- 3.Asociația Prosumatorilor. (2023). *Bateriile care vor schimba jocul*. <https://asociatiaprosumatorilor.ro/bateriile-care-vor-schimba-jocul/> (accesat 10.05.2025)
- 4.Rehman, S., Al-Hadhrami, L. M., & Alam, M. M. (2015). Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 586–598. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.040>
- 5.ARENA (2023). What is pumped hydro and how does it work? Australian Renewable Energy Agency. <https://arena.gov.au/blog/what-is-pumped-hydro-and-how-does-it-work/> (accesat 10.05.2025)
6. Această clădire cu o inginerie genial de simplă are rol de baterie gravitațională, stocând energia regenerabilă fără litiu și fără apă <https://piataauto.md/Stiri/2023/10/Aceasta-cladire-cu-o-inginerie-genial-de-simpla-are-rol-de-baterie-gravitationala-stocand-energia-regenerabila-fara-litiu-si-fara-apa/> (accesat 10.05.2025)
7. Estonia's first pumped-hydro energy storage project <https://arcticstartup.com/zero-terrain-granted-e1-98m/> (accesat 10.05.2025)



ANALIZA DE MOBILITATE UTILIZÂND PISTOLUL RADAR ÎN MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA

Autori

Lucia-Maria CATARGIU¹, Alexandra PURCEL²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Catargiu.Va.Lucia@student.utcluj.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Purcel.Ve.Alexandra@student.utcluj.ro.

Îndrumători

S.L.Dr.Ing. Rodica CADAR³; S.L.Dr.Ing. Melania BOITOR⁴

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Rodica.Cadar@cfdp.utcluj.ro

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Rozalia.Boitor@infra.utcluj.ro

REZUMAT: Cercetarea de față prezintă analiza de mobilitate pe o arteră urbană din intravilanul Municipiului Cluj-Napoca, strada Dr. Louis Pasteur și aria sa de influență. Vitezele reprezintă un indicator de bază al mobilității urbane. În modelarea traficului rutier, viteza are mai multe accepțiuni. Viteza instantanee reflectă capacitatea unui vehicul de a respecta limitele de viteză impuse de legislație în orice moment al deplasării. Pentru cercetarea de față, au fost măsurate vitezele instantanee cu pistolul Radar din dotarea Laboratorului de Trafic al Facultății de Construcții. Prelucrarea acestora s-a realizat în Ms Excel prin analize statistice descriptive precum și grafice de tip histogramă. Acestea permit analize privind tendințele centrale ale setului de date: viteza medie aritmetică, viteza mediană (v50) și viteza mod. Mai mult, permit analiza vitezelor specifice care caracterizează fluxul de trafic din perspectiva siguranței rutiere v15 și v85. Rezultatele arată că artera analizată este specifică unei zone rezidențiale cu accesibilitate ridicată, artere scurte și intersecții apropiate. Cea mai mare viteză înregistrată este sub limita de viteză legală din localități. Suplimentar au fost evaluate emisiile GES generate de transport în aria de studiu. Acestea se ridică la 463 tCO₂e în anul de bază în care s-a evaluat traficul și vitezele pe artere.

Cuvinte cheie: viteza instantanee, pistolul Radar, viteza mediană, viteza modală, emisiile GES, Cluj-Napoca

1. Introducere

Vitezele ajută la caracterizarea circulației și la evaluarea impactului mobilității exprimat atât prin congestie cât și prin emisii de gaze cu efect de seră (GES). Măsurarea vitezei este esențială și pentru prevenirea accidentelor și menținerea siguranței publice.

Viteza instantanee reflectă capacitatea unui vehicul de a respecta limitele de viteză impuse de legislație în orice moment al deplasării. Viteza instantanee este egală cu limita raportului dintre distanța parcursă și intervalul de timp când intervalul de timp tinde spre zero.

Viteza este un indicator pentru siguranța rutieră. Conform Planului de mobilitate urbană durabilă (PMUD) al Municipiului Cluj-Napoca siguranța circulației se poate îmbunătăți prin realizarea coridoarelor dedicate pentru circulația pietonală și cu bicicleta, prin limitarea sau interzicerea accesului autoturismelor în zonele urbane cu trafic pietonal intens, precum și reducerea vitezei de circulație a vehiculelor motorizate în aceste zone [3].

Conform PMUD, în Municipiul Cluj-Napoca s-au aplicat mai multe măsuri și amenajări care vizează creșterea siguranței rutiere și calmarea traficului. Cea mai importantă este amenajarea de tip spațiu comun sau shared-space pe străzile din zona centrală precum Tipografie, Andrei Șaguna, Baba Novac, care reduce viteza de circulație a autoturismelor și reduce conflictele cu pietonii. O altă măsură importantă este instituirea zonelor cu limită de viteză 30 km/h sau a celor rezidențiale (sub 20 km/h). Cea mai frecventă măsură luată pentru calmarea traficului reprezintă instalarea de limitatoare de viteză pe mai multe străzi de tip prag la sol. Pe străzile cu mai mult de 2 benzi cu depășiri ale limitei de viteză au fost instalate de radare fixe [3].

Unul dintre cele mai folosite instrumente pentru măsurarea vitezei vehiculelor este pistolul Radar, un dispozitiv portabil care folosește unde electromagnetice pentru a determina viteza unui vehicul. Acesta emite un semnal radio sau laser care este reflectat de vehiculul aflat pe drum. Prin calcularea



diferenței de frecvență dintre semnalul emis și cel reflectat (un fenomen fizic cunoscut sub numele de efectul Doppler), radarul poate determina viteza exactă a vehiculului în acel moment.

Având în vedere că viteza are mai multe accepțiuni, trebuie menționat că pistolul Radar se utilizează pentru determinarea vitezei instantanee a vehiculelor ce circulă pe o arteră. Pe baza vitezelor intantaneec colectate pe o arteră, se pot determina pentru acel sector, din punct de vedere statistic, viteza medie aritmetică, mediană (V50) și valoarea mod a vitezei, precum și vitezele care caracterizează fluxul de trafic din perspectiva siguranței rutiere (v15 sau v85).

Viteza medie aritmetică este o măsură a tendinței centrale calculate prin adunarea tuturor vitezelor din setul de date și raportarea acestei sume la numărul de înregistrări din set. Viteza medie aritmetică se utilizează când toate valorile sunt relevante.

$$v_{med} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \quad (1)$$

unde: v_{med} – viteza medie aritmerică; v_i - viteze instantanee individuale; n - nr. de înregistrări.

Viteza mediană este o măsură a tendinței centrale poziționate reprezentând valoarea din mijlocul setului de date cu vitezele ordonate crescător (V50). Viteza mediană se utilizează când în setul de date apar valori extreme (outlieri) indicând o imagine mai realistă a circulației pe artera studiată. V50 reprezintă viteza „vehiculului mediu”, respectiv 50% dintre vehicule circulă cu o viteza mai mică, iar 50% cu viteză mai mare. Astfel, avem două posibilități:

Dacă numărul total de viteze sortate crescător, n este impar:

$$V_{50} = v_{(\frac{n+1}{2})} \quad (2)$$

Dacă numărul total de viteze sortate crescător, n este par:

$$V_{50} = \frac{v_{(n/2)} + v_{(n/2+1)}}{2} \quad (3)$$

V15 reprezintă viteza sub care circulă 15% dintre vehicule, aceasta indică fie condițiile de circulație precum traficul intens sau apariția unor accidente fie viteza vehiculelor mai lente precum vehiculele de tonaj mare, autobuze încărcate, tractoare, utilaje, pe două roți etc.

V85 reprezintă viteza de funcționare/operare a drumului, la sau sub care 85% dintre șoferi circulă pe un segment de drum în siguranță.

Viteza mod reprezintă valoarea care s-a înregistrat cel mai frecvent în setul de date.

2. Aria de studiu

Strada Dr. Louis Pasteur din Municipiul Cluj-Napoca reprezintă artera principală din acest studiu, dar aria de impact a analizei este mărginită de străzile: Observatorului, Viilor, Gheorghe Marinescu, Ion Creangă, Republicii, Rene Descartes, Ceahlău.

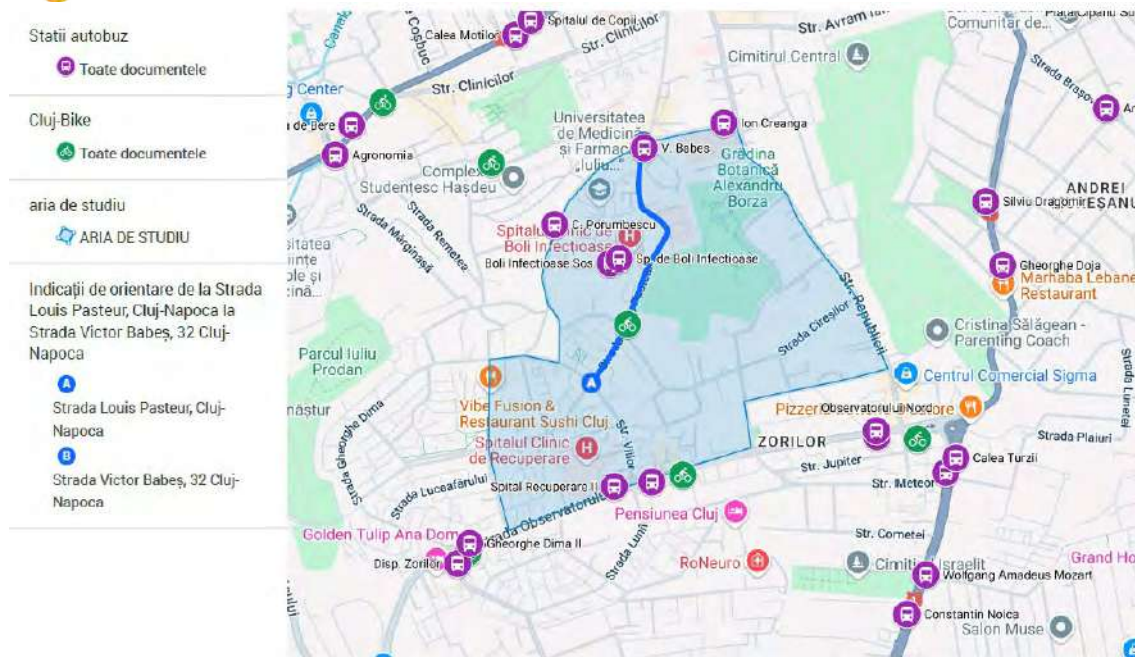


Figura 1. Aria de studiu

Se poate observa că aria de studiu este deservită insuficient de transport public, pe strada Pasteur existând doar o stație de biciclete Cluj Bike și o stație de microbuz la intersecția cu Victor Babeș. Această stație este pe linia 22 care face legătura între gară și Spitalul de Boli Infecțioase, de pe strada Iuliu Moldovan. Această cursă are doar 2 plecări pe zi în intervalul 06:00-07:30.

3. Colectarea datelor

Măsurătorile de viteze au fost realizate în data de 11.04.2024 (în perioada orelor de laborator a disciplinei Trafic și siguranță rutieră) între orele 10:00-12:00. Colectarea datelor s-a realizat prin măsurători cu pistolul Radar din dotarea Laboratorului de Trafic al Facultății de Construcții.



Figura 2. Pistolul Radar din dotarea Laboratorului de Trafic, Departament CFDP, Str. Observator 72

Colectarea datelor s-a realizat pe brațele fiecărei intersecții din figura de mai jos.

Intersectii model

- 1 Punct 1
- 2 Punct 2
- 3 Punct 3
- 4 Punct 4
- 5 Punct 5
- 6 Punct 6

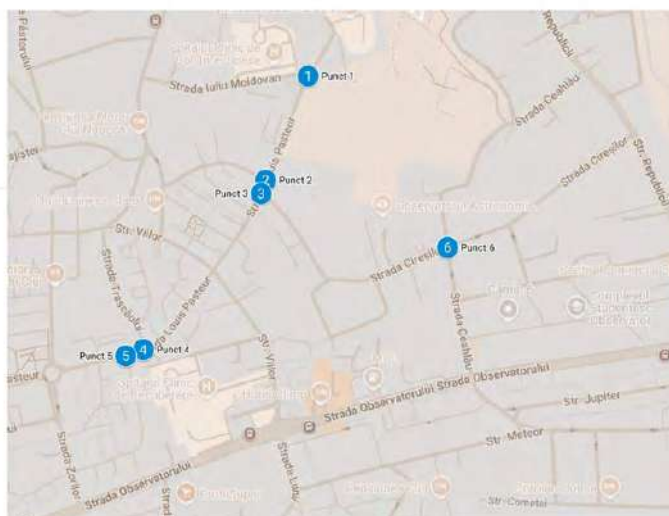


Figura 3. Intersecțiile în care au fost realizate măsurătorile de viteze

Intersecția nr. 1 Secțiunea 1 Strada Iulian Moldovan

1	35	2	25	3	23	4	33	5	30	6	21	7	29	8	20	9	22	10	21
11	34	12	44	13	26	14	14	15	15	16	24	17	32	18	33	19	40	20	41
21	35	22	16	23	20	24	35	25	33	26	29	27	16	28	29	33	30	25	
31	27	32	9	33	25	34	20	35	22	36	23	37	23	38	19	39	48	40	19

Intersecția nr. 1 Secțiunea 2 Strada Dr. Louis Pasteur

1	31	2	26	3	27	4	26	5	20	6	20	7	5	8	20	9	35	10	36
11	33	12	27	13	30	14	21	15	7	16	26	17	25	18	16	19	10	20	16
21	26	22	26	23	28	24	24	25	25	26	21	27	21	28	6	29	13	30	24
31	26	32	22	33	24	34	28	35	28	36	28	37	27	38	21	39	29	40	32

Figura 4. Rapoarte de înregistrare viteze pe două brate ale intersecției I1

Suplimentar, s-au realizat măsurători privind încărcarea de trafic pe brațele intersecțiilor, conform AND 584/2012 [2].

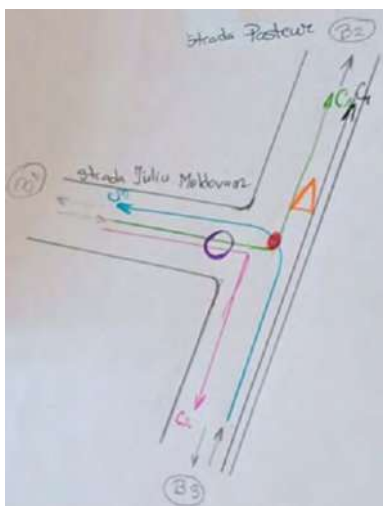


Figura 5. Modelare curenti de circulatie pe bratele intersectiei I1

Acestea permit determinarea cererii de trafic, conform PD 189/2012 [1].

[illegible]

Figura 6. Rapoarte de înregistrare vehicule pe bratele intersecției I1

Cererea de trafic permite calcularea emisiilor GES din sectorul transporturilor cu ajutorul Instrumentului Jaspers, folosind Metoda dezagregată. Instrumentul utilizează cererea de trafic (numărul de vehicule pe diferite tronsoane de drum) și detalierea acesteia (categorii de vehicule, consumul specific de combustibil sau energie electrică), permițând o analiză detaliată a impactului diferitelor măsuri de intervenție din transporturi.

4. Rezultate

Preluarea vitezelor s-a realizat în Ms Excel prin analize statistice descriptive precum și grafice de tip histogramă.

<i>Viteza [km/h] - str. Dr. Louis Pasteur</i>	
Medie aritmetică	23,55
Eroare Standard	1,166822
Valoare mediană	26
Valoare mod	26
Deviație standard	7,379632
Varianța	54,45897
Curtosis (aplatizare)	0,824925
Asimetrie	-0,98705
Amplitudine	31
Minimum	5
Maximum	36
Sumă	942
Număr înregistrări	40
Nivel de încredere (95.0%)	2,360121

<i>Viteza [km/h] - str. Iuliu Moldovan</i>	
Medie aritmetică	27
Eroare Standard	1,35057
Valoare mediană	25
Valoare mod	33
Deviație standard	8,541753
Varianța	72,96154
Curtosis (aplatizare)	-0,01237
Asimetrie	0,389287
Amplitudine	39
Minimum	9
Maximum	48
Sumă	1070
Număr înregistrări	40
Nivel de încredere (95.0%)	2,731785

Figura 7. Analiza statistică descriptivă a vitezelor de pe străzile din intersecția I1

Se poate observa că pe cele două străzi care se întâlnesc în I1 valorile vitezelor sunt apropiate. Pe str. Dr. Louis Pasteur viteza medie este de aproximativ 24 km/h iar pe Iuliu Moldovan 27 km/h. Valoarea mediană (v50) este de asemenea aproape egală, 26 km/h pe str. Dr. Louis Pasteur iar pe Iuliu Moldovan 25 km/h. Viteza modală, cel mai des măsurată diferă mult între cele două străzi fiind de 26 km/h pe str. Dr. Louis Pasteur iar pe str. Iuliu Moldovan 33 km/h. Astfel că pe str. Iuliu Moldovan se poate observa o variabilitate mai mare a traficului atât din valoarea modală a vitezei precum și din amplitudinea setului de date, respectiv 31 km/h pe str. Dr. Louis Pasteur iar pe str. Iuliu Moldovan 39 km/h.

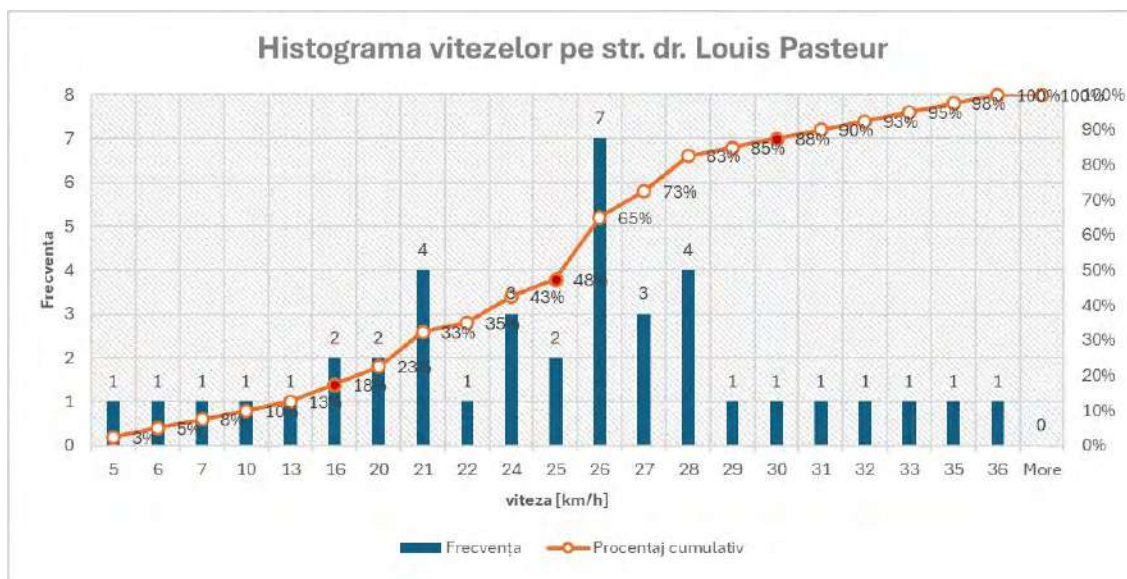


Figura 8. Histograma vitezelor de pe str. Dr. Louis Pasteur

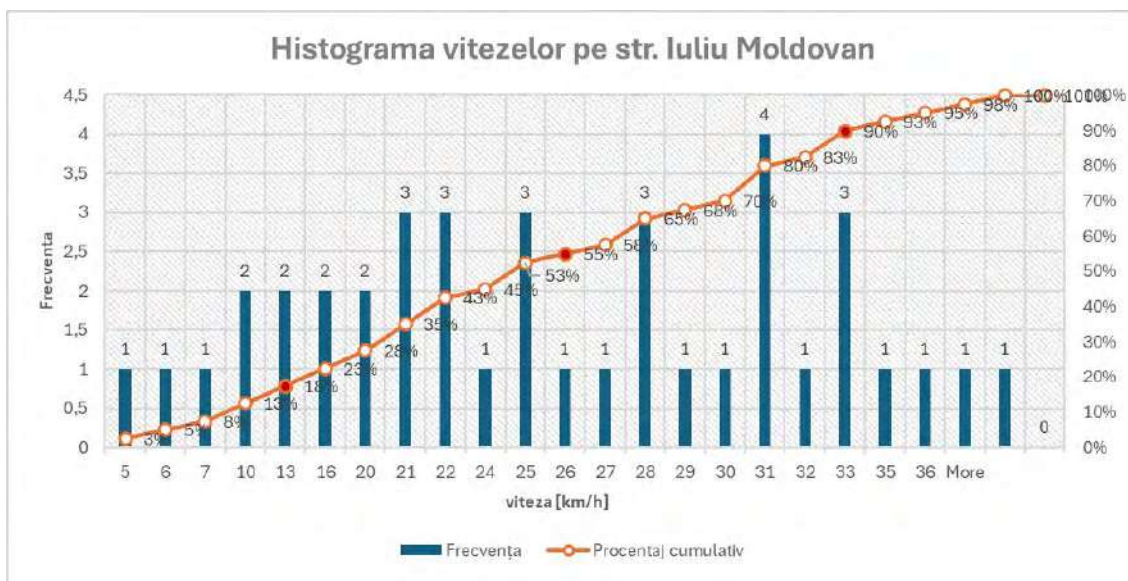


Figura 9. Histograma vitezelor de pe str. Iuliu Moldovan

Aceste date permit analize privind tendința centrală a vitezelor medii, precum și a vitezelor care caracterizează fluxul de trafic din perspectiva siguranței rutiere v15 și v85 pe arterele analizate. În tabelul de mai jos se pot observa rezultatele de pe străzile din intersecția 1 comparativ cu străzile din aria de studiu.

Tabel 1. Vitezele caracteristice V15, V50, V85, Vminimum și Vmaximum

Strada	Vmin (km/h)	V15 (km/h)	V50 (km/h)	V85 (km/h)	Vmax (km/h)
Dr. Louis Pasteur	5	14,5	26	36	36
Iuliu Moldovan	9	17,5	25	48	48
Aleea Mestecenilor	20	27,5	37	44,5	58
Cireșilor	6	12	20	32,5	48

Valorile vitezelor analizate pe cele 4 străzi din aria de studiu sunt specifice unei zone rezidențiale cu accesibilitate ridicată, artere scurte și intersecții apropiate. Astfel că cea mai mare viteză se înregistrează pe strada Mestecenilor de 58 km/h. Iar valorile vitezei V85 sunt toate sub limita de viteză legală din localități, de 50 km/h.



Emisiile GES sunt calculate cu Instrumentul Jaspers, utilizând lungimile arterelor din aria de studiu, viteza medie precum și cererea de trafic exprimată prin intensitatea maximă orară.

Tabel 2. Emisii Jaspers

Strada	Lungime (km)	Vmed (km/h)	Nr. Ore (h)	Intensitate de trafic maximă orară (vt)	Emisii GES (tCO ₂ e)
Dr. Louis Pasteur	0,751	26	8760	398	314
Iuliu Moldovan	0,312	33	8760	125	37
Aleea Mestecenilor	0,207	37	8760	49	9
Cireșilor	0,838	21	8760	109	103
Total aria de studiu					463

Emisiile GES din transporturi evaluate în aria de studiu se ridică la 463 tCO₂e în anul de bază în care s-a evaluat traficul și vitezele pe artere. Acesta permite analize de impact. Astfel, dacă se realizează un obiectiv nou în aria de studiu, acesta va induce trafic suplimentar ce va conduce la creșterea emisiilor GES.

5. Concluzii

Cercetarea de față utilizează date colectate de pe teren atât prin măsurători cu observatori umani cât și utilizând aparatură specializată precum pistolul Radar. Astfel au fost măsurate vitezele de pe str. Dr. Louis Pasteur precum și de pe câteva artere cu care se intersectează strada în aria de studiu. Astfel, au fost evaluate și comparate vitezele medii de pe cele 5 artere, vitezele mediane, vitezele modale precum și vitezele V15 și V85 care caracterizează circulația din punct de vedere al siguranței rutiere.

Valorile vitezelor analizate pe cele 4 străzi din aria de studiu sunt specifice unei zone rezidențiale cu accesibilitate ridicată, artere scurte și intersecții apropiate. Astfel că cea mai mare viteză se înregistrează pe strada Mestecenilor cu 58 km/h. Iar valorile vitezei V85 sunt toate sub limita de viteză legală din localități, de 50 km/h.

Pentru o cercetare ulterioară, se va utiliza un set de date de viteze de aproximativ 100 de înregistrări.

Suplimentar a fost evaluată cererea de trafic pe bază de numărători de scurtă durată. Mai mult, au fost calculate emisiile GES din sectorul transporturilor cu ajutorul Instrumentului Jaspers, folosind Metoda dezagregată. Aceste date vor permite evaluarea impactului unor intervenții în zona de studiu prin construirea de noi obiective sau modificări în rețeaua stradală.

Emisiile GES din transporturi evaluate în aria de studiu se ridică la 463 tCO₂e în anul de bază în care s-a evaluat traficul și vitezele pe artere. Valoarea obținută este una corectă. Aceasta poate fi comparată cu un alt studiu de caz, prezentat în documentul Strategiei Regionale de Mobilitate Urbană și Orașe Inteligente 2021-2027, în care a fost evaluată reducerea de emisii GES în scenariul construirii variantei ocolitoare în partea de sud a orașului Livada, județul Satu Mare [4]. Valoarea estimată la nivelul anului de studiu a fost de 605 tCO₂e.

Pentru o cercetare ulterioară se va utiliza ca scenariu creșterea deservirii ariei de studiu cu transport public. Pentru a degreva traficul de pe artera studiată, Strada dr. Louis Pasteur, una din alternative este crearea unui program fiabil al curselor pe linia 22. Această măsură ar facilita preluarea elevilor care se deplasează în zona centrală, încurajând utilizarea microbuzelor în detrimentul autoturismului personal.

BIBLIOGRAFIE

1. *Normativ pentru determinarea capacității de circulație și a nivelului de serviciu ale drumurilor publice, indicativ PD 189-2012*
2. *Normativ pentru determinarea traficului de calcul pentru proiectarea drumului din punct de vedere al capacității portante și al capacității de circulație, indicativ AND 584-2012*
3. *Planul de Mobilitate Urbană Durabilă Cluj-Napoca*, <https://primariaclujnapoca.ro/cetateni/dezbatere-publica/planul-de-mobilitate-urbana-durabila-cluj-napoca/>
4. *Strategia Regională de Mobilitate Urbană și Orașe Inteligente 2021-2027*



PĂMÂNTURI STABILIZATE CU LIANȚI PUZZOLANICI – ELABORAREA REȚETEI DE STABILIZARE

Autori

Andreea M. AVRĂMUȚ¹, Ionuț V. COSTENIUC²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, andreea_avramut28@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, costeniucvladut@gmail.com

Îndrumător

Drd.Ing. Andor-Csongor NAGY

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, andor.nagy@yahoo.com

REZUMAT: Această lucrare urmărește stabilizarea pământurilor argiloase utilizate în stratul de formă al unui drum, cu liant puzzolanic. Lianții puzzolanici sunt materiale silicioase și/sau alumino-silicioase, care nu au capacitate proprie de întărire, dar, în prezența apei și a varului, formează hidrocompuși cu proprietăți liante latente. Prin analize de laborator, se determină parametrii geotehnici relevanți, precum: granulometria, limitele de plasticitate, umflarea liberă și caracteristicile de compactare. Totodată, se stabilesc modulul de deformare edometric (M), modulul de deformare liniară (E), esențiali în calculul deformațiilor respectiv unghiul de frecare internă ($^{\circ}$) și coeziunea (c) înainte și după stabilizare. Materialul utilizat în elaborarea rețetei de stabilizare provine din halda de steril a combinatului de aluminiu de la Slatina, fiind un produs secundar obținut în urma procesului de extracție a aluminiului, care poate fi valorificat eficient pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale pământurilor argiloase utilizate în stratul de formă al drumurilor. În urma stabilizării pământului cu lianți puzzolanici, se urmărește îmbunătățirea capacității portante a stratului de formă, asigurând distribuția uniformă a încărcărilor din trafic și prevenind deformațiile premature.

Cuvinte cheie: liant puzzolanic, stabilizare, strat de formă, geotehnică, infrastructură.

1. Introducere

În domeniul ingineriei geotehnice, stabilizarea pământurilor cu lianți puzzolanici este o tehnologie avansată utilizată pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor de fundare. Aceasta este din ce în ce mai folosită în construcțiile de drumuri, autostrăzi și fundații, având un impact semnificativ asupra stabilității și durabilității structurilor ridicate pe terenuri instabile sau cu capacitate portantă scăzută. Tehnologia de stabilizare a pământurilor prin adăugarea de lianți puzzolanici, cum ar fi cenușa de termocentrală, reprezintă o soluție eficientă și sustenabilă, ce contribuie nu doar la îmbunătățirea caracteristicilor pământului, dar și la protejarea mediului prin utilizarea materialelor secundare în locul resurselor naturale.

1.1 Contextul tehnologic al stabilizării pământurilor cu lianți puzzolanici

În cadrul dezvoltării infrastructurii, stabilizarea pământurilor cu lianți puzzolanici devine o practică tot mai utilizată datorită avantajelor economice și ecologice. Pământurile instabile reprezintă o provocare semnificativă pentru inginerii geotehniști. Acestea pot duce la tasare, alunecări de teren sau deformări ale fundațiilor. Stabilizarea lor prin adăugarea de lianți puzzolanici ajută la obținerea unui pământ mai compact și mai rezistent la schimbările de volum, îmbunătățind astfel stabilitatea pe termen lung a construcțiilor. Cenușa de termocentrală este un material secundar provenit din procesele de ardere a cărbunelui și joacă un rol esențial în stabilizarea pământurilor. Aceasta conține compuși chimici activi care reacționează cu apa, formând legături stabile între particulele pământului și crescând astfel coeziunea acestora. Utilizarea cenușii de termocentrală contribuie la reducerea impactului asupra mediului, datorită reciclării unui material industrial care, în mod normal, ar fi fost aruncat.



1.2 Sinteză bibliografică

Studiile din literatura de specialitate au subliniat eficiența stabilizării pământurilor cu lianți puzzolanici. Conform articolului „Soluții moderne și eficiente de stabilizare a terenurilor de fundare” (2013) [1], lianții puzzolanici, precum cenușa de termocentrală, sunt esențiali pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor. Se pune accent pe selecția corectă a materialului de stabilizare, în funcție de tipologia pământului și condițiile de mediu ale fiecărui proiect. De asemenea, sunt menționate importanța testelor de laborator și a respectării standardelor de calitate pentru obținerea rezultatelor dorite. În schimb, articolul „Deficiențe apărute în exploatarea drumurilor cu straturi din agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală” (2015) [2] analizează provocările întâmpinate în implementarea acestei tehnologii, în special în construcția drumurilor. Deși stabilizarea cu cenușă de termocentrală prezintă multiple avantaje, pot apărea deficiențe legate de durabilitatea materialului, mai ales în condiții extreme de trafic sau de umiditate. Autorii sugerează că aceste deficiențe pot fi minimizate prin tehnici de compactare corespunzătoare și respectarea unor standarde stricte de calitate.

1.3 Normative și reglementări

Utilizarea cenușii de termocentrală în stabilizarea pământurilor este reglementată de mai multe norme și standarde. Normativele 577-2002 [3] și 576-2002 [4] sunt esențiale pentru utilizarea acesteia în construcții, iar normele CD 152-2002 [5] și CD 151-2002 [6] stabilesc specificațiile tehnice pentru implementarea materialelor în infrastructura rutieră și fundațiile industriale. De asemenea, CAR-2009 [7] reglementează utilizarea cenușii de termocentrală la CET Brașov, fiind un exemplu de implementare eficientă a acestei tehnologii în domeniul stabilizării pământurilor. Aplicarea acestor reglementări asigură respectarea cerințelor de mediu și de durabilitate, protejând resursele naturale și optimizând procesele de construcție.

2. Rolul stabilizării pământurilor utilizând cenușa de termocentrală și elaborarea rețetei de stabilizare

Pentru realizarea studiului privind stabilizarea pământurilor, a fost prelevată o probă de pământ argilos nisipos din zona Apahida. Acest material, caracterizat prin proprietăți geotehnice specifice terenurilor argiloase, a fost ales datorită potențialului său de îmbunătățire prin adăugarea unor agenți stabilizatori. În cadrul acestei cercetări, ca material de adaos s-a utilizat cenușa rezultată din activitatea termocentralei situate în proximitatea combinatului de aluminiu din Slatina, în scopul evaluării efectelor acesteia asupra comportamentului mecanic al pământului și a capacității portante a stratului de formă.

Aplicarea cenușii de termocentrală pentru stabilizarea pământurilor reprezintă o soluție eficientă atât din punct de vedere tehnic, cât și economic și ecologic. Acest material secundar, rezultat în cantități considerabile în urma arderii cărbunelui, poate fi valorificat în domeniul construcțiilor, contribuind astfel la reducerea impactului asupra mediului și la reutilizarea deșeurilor industriale într-un mod sustenabil.

Principalul beneficiu economic constă în diminuarea costurilor asociate stabilizării, prin înlocuirea parțială sau totală a lianților tradiționali, precum varul sau cimentul, cu un deșeu local, ceea ce elimină cheltuielile suplimentare de achiziție și transport. În plus, această alternativă contribuie la dezvoltarea unui sistem constructiv cu consum redus de resurse naturale.

Din perspectivă ecologică, integrarea cenușii în lucrări ingineresti reprezintă o metodă viabilă de valorificare a unui deșeu industrial, evitând astfel acumularea acestuia în depozite și reducând poluarea pământului și a apelor subterane. Acest tip de intervenție se aliniază obiectivelor de economie circulară și de protecție a mediului.

Un aspect esențial în ceea ce privește utilizarea cenușii în pământuri argiloase este creșterea stabilității volumetrice a acestora. Prin reacțiile fizico-chimice pe care le dezvoltă, cenușa contribuie la diminuarea fenomenelor de contracție și dilatare determinate de variațiile de umiditate, ceea ce conduce la o rezistență superioară în fața ciclurilor de îngheț-dezghet — o cerință fundamentală în construcția infrastructurii rutiere expuse la factori climatici variabili.



Rețeta propusă pentru experiment constă în următoarele proporții:

- 2000 g de pământ argilos nisipos, utilizat ca material de bază;
- 30% cenușă de termocentrală (echivalentul a 600 g), în vederea testării capacității de stabilizare;
- 10% apă (200 g), adăugată pentru a asigura umiditatea necesară desfășurării reacțiilor și pentru a permite omogenizarea corectă a amestecului.

Materialul obținut va fi supus unor analize de laborator, urmărindu-se determinarea principalilor parametri fizico-mecanici. Se elaborează probe și se introduc în aparate. După această etapă, se vor realiza teste în teren, pe tronsoane experimentale, cu scopul de a observa comportamentul real al stratului tratat. Pe șantier, vor fi monitorizate în special gradul de compactare și modulii de deformare, prin metode consacrate precum: metoda membranei impermeabile, metoda conului cu nisip, placa Lucas și placa Zorn. Aceste investigații vor permite validarea eficienței soluției propuse în condiții reale de execuție.



Figura 1. Proba de pământ



Figura 2. Proba de cenușă de termocentrală



Figura 3. Amestecul rezultat



Figura 4. Omogenizarea amestecului după adăugarea apei



Figura 5. Elaborarea probelor

3. Metode de testare a pământurilor stabilizate cu lianți puzzolanici

Testele de laborator sunt esențiale pentru evaluarea eficienței stabilizării pământurilor cu lianți puzzolanici. Aceste teste permit caracterizarea detaliată a comportamentului pământului stabilizat în fața diverselor tipuri de încărcături și condiții de umiditate. Printre cele mai importante teste se numără:

3.1 Determinarea modulului edometric

Acest test evaluează compresibilitatea pământului stabilizat și permite determinarea tasării acestuia sub sarcini statice. Procedura presupune:



- Pregătirea probelor (uscare, mărunțire și umidificare până la atingerea umidității optime de compactare);
- Compactarea în inele edometrice cu greutate specifică;
- Aplicarea de trepte progresive de presiune verticală: 25, 50, 100, 200, 300 și 400 kPa;
- Înregistrarea deformărilor verticale în timp;

În unele cazuri, se continuă cu testarea în regim de scurgere (prin inundarea probei) pentru a observa comportamentul în condiții saturate.



Figura 6. Aparat edometric

Rezultatele testului includ coeficientul de compresibilitate și modulul de deformare edometrică. Acestea indică în ce măsură stabilizarea a redus compresibilitatea pământului și i-a crescut capacitatea portantă.

3.2 Determinarea rezistenței la forfecare (test de forfecare directă)

Acest test este esențial pentru evaluarea rezistenței la alunecare a pământului stabilizat. Etapele sunt:

- Pregătirea și compactarea probelor în cutii de forfecare;
- Consolidarea sub sarcini normale de 100, 200 și 300 kPa;
- Aplicarea forței de forfecare până la cedare, cu înregistrarea deplasărilor și a forței;
- Calcularea coeziunii (c) și a unghiului de frecare internă (ϕ), atât în regim C-U (consolidat-nedrenat), cât și C-D (consolidat-drenat).



Figura 7: Aparat de forfecare directă

3.3 Determinarea umidității optime și a densității uscate maxime (încercarea Proctor normal)

Această încercare este esențială pentru stabilirea parametrilor optimi de compactare ai pământului utilizat în structuri de terasamente. Etapele sunt:

- Uscarea, mărunțirea și trecerea probei de pământ prin sita de 4 mm;
- Prepararea mai multor eșantioane prin adăugarea treptată a apei și omogenizarea amestecului;
- Compactarea fiecărui eșantion în trei straturi egale într-un cilindru standard, folosind un berbec de 2,5 kg lăsat să cadă de la o înălțime de 30 cm, cu 25 de lovituri pe strat;
- Determinarea greutății volumice a pământului compactat și calculul densității uscate pentru fiecare umiditate;



Figura 8: Proctor normal

4. Concluzii

Studiul privind stabilizarea pământurilor argiloase cu lianți puzzolanici, în special prin utilizarea cenușii de termocentrală provenită din proximitatea combinatului de aluminiu din Slatina, reprezintă o inițiativă promițătoare din punct de vedere tehnic, economic și ecologic. Deși rezultatele finale nu sunt încă disponibile, rețeta de stabilizare propusă se află în faza de testare, atât în laborator, cât și pe tronsoane experimentale în teren. Această etapă este esențială pentru validarea eficienței soluției în condiții reale de execuție. În continuare, prin monitorizarea atentă a parametrilor geotehnici relevanți și a comportamentului stratului stabilizat, se urmărește obținerea unor concluzii concludente privind capacitatea portantă și durabilitatea în timp a amestecului propus.

BIBLIOGRAFIE

1. Adrian Baron, Daniel Alupoae, Vlad ASuencei, Paulica Raileanu „Soluții moderne și eficiente de stabilizare a terenurilor de fundare” (2013)
2. Bogdan Andrei, Nicolae Popescu, Ludovic Zelici „Deficiențe apărute în exploatarea drumurilor cu straturi din agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală” (2015)
3. AND 577-2002
4. AND 576-2002
5. CD 152-2002
6. CD 151-2002
7. CAR-2009



ANALIZA DEGRADĂRILOR ȘI POSIBILITĂȚILE DE REABILITARE ALE UNEI PASARELE PIETONALE SUSPENDATE DIN CLUJ-NAPOCA

Autori

Delia-Corina S. BLANĂ, Andrei T.T. HĂSMĂȘAN

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: blanadelia02@gmail.com.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: andrei_hasmasan@yahoo.com

Îndrumători

S.L.Dr.Ing. Vladimir MARUSCEAC³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Vladimir.Marusceac@cfdp.utcluj.ro

Asist.Drd.Ing. Ionuț CHINDRIȘ⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Ionut.Chindris@cfdp.utcluj.ro

REZUMAT: Studiul include o evaluare tehnică a stării actuale, identificarea cauzelor degradării și propunerea unor soluții pentru reabilitarea podului, având în vedere aspectele tehnice, economice și de siguranță. În final, se va analiza fezabilitatea intervenției prin compararea diferitelor metode de reabilitare și prin estimarea impactului acesteia asupra utilizatorilor și mediului urban.

Cuvinte cheie: pasarelă pietonală, degradare, reabilitare, piloni.

1. Introducere

Podul situat pe strada Fabricii de Zahăr ce face legătură între cartierul Bulgaria și Iris, Zona Industrială de Est, este o pasarelă pietonală suspendată ce traversează râul Someș și se află într-o stare tehnică necorespunzătoare. Construit pentru a facilita traversarea pietonilor, podul prezintă semne vizibile de degradare care pun sub semnul întrebării siguranța și funcționalitatea sa pe termen lung. Această lucrare își propune să analizeze principalele tipuri de degradări structurale și funcționale ale pasarelei, inclusiv coroziunea elementelor metalice, degradarea cablurilor și deteriorarea suprafeței de rulare, dar și de a propune soluții de remediere ale acestor degradări.

- Istoric

“Podul de la Terapia” este o pasarelă pietonală construită înaintea anilor 1970, alcătuită dintr-o fundație de beton pe fiecare mal al râului Someș, 2 piloni din beton armat, calea și blocuri pentru ancorarea cablurilor metalice, iar podina este confecționată din lemn.

În ciuda istoriei sale și utilizării continue, pasarela se află într-o stare avansată de degradare vizibilă cu ochiul liber. Din păcate, construcția nu a fost întreținută corespunzător și de aici apariția degradărilor semnificative care au dus la decizia Primăriei Cluj-Napoca de a demola structura. Lucrarea noastră încearcă să găsească metode alternative de întreținere și reabilitare a podului deja existent, în ipoteza păstrării construcției actuale.

- Descrierea structurii

Pasarela pietonală, având deschiderea de 55.30 metri este alcătuită din 2 piloni de beton armat cu înălțimea de 9 metri, 8 cabluri de susținere a pilonilor (4 la fiecare capăt al pasarelei) și 6 cabluri pentru susținerea tablierului și a căii pe pod, iar pe lateralele pasarelei sunt prezente balustrade metalice cu plasă.

Calea de rulare este realizată din plăci de lemn sprijinite pe traverse metalice.

În ceea ce privește fundația, se pare că a fost realizată prin metoda directă, aceasta fiind alcătuită din 2 blocuri de beton la fiecare capăt al pasarelei.

- **Analiza stării tehnice**

Tipuri de defecte identificate:

1.1 Uzura cablurilor și problematica tensiunilor în structură



Figura 1. Uzura cablurilor și a elementelor de susținere



Figura 2. Uzura cablurilor și a elementelor de susținere



Figura 3. Uzura cablurilor și a elementelor de susținere

1.2 Exfolierea stratului de acoperire cu beton, fisuri în betonul rămas și coroziunea armăturilor longitudinale și transversale



Figura 4. Exfolierea stratului de acoperire cu beton



Figura 5. Fisuri în pilonii de beton



Figura 6. Coroziunea armăturilor descoperite



Figura 7. Exfolierea stratului de acoperire cu beton

1.3 Coroziunea elementelor metalice de delimitare (balustradă), prinderea elementelor slăbită



Figura 8. Prinderea elementelor metalice slăbite



Figura 9. Coroziunea balustradei la prinderi

1.4 Calea pe pod uzată cu crăpături și porțiuni lipsă



Figura 10. Uzura căii pe pod



Figura 11. Uzura căii pe pod

1.5 Calea de acces degradată (treptele și rampa)



Figura 12. Degradări ale căii de acces



Figura 13. Degradări ale căii de acces

Principala cauză a acestor degradări este întreținerea deficitară, dar acestea au putut proveni și din alți factori precum cei climatici (cicluri îngheț-dezgheț) [2].

2. Propuneri de reabilitare

Pentru coroziunea armăturilor, a cablurilor, a pieselor de îmbinare dintre cabluri (Fig. 3) și a celorlalte elemente metalice (Fig. 8) se pot opta metode precum curățarea mecanică manuală sau cu perii rotative, sablare (jet de nisip) sau hidrocurățare (jet de apă la presiune înaltă 2000+bar) [6].

În cazul de față, am ales sablarea cu nisip ca fiind cea mai eficientă metodă de curățare a elementelor, iar pentru protejarea acestora se va aplica un inhibitor de coroziune imediat după curățare, apoi aplicarea a 2-3 straturi de vopsea bogată în zinc. Costul estimat este de aproximativ 30.000€ (este inclusă curățarea suprafeței, vopsirea și manopera).

În cazul de față, având în vedere exfolierea gravă a elementelor de beton (Fig. 4), am ales varianta unei lucrări de cofrare cu cămășuire. Etape recomandate pentru reabilitarea exfolierii stratului de acoperire cu beton [3] :

- îndepărtarea betonului degradat
- curățarea armăturii
- aplicarea unui inhibitor coroziv
- reprofilarea zonei cu mortar de reparații
- finisarea cu glet structural
- dacă exfolierea este profundă se pot folosi fibre de carbon/cofrare cu cămășuire

Costul estimat pentru reabilitarea unui singur pilon este de aproximativ 600€ (prețul include și tratarea armaturii, manopera).

Pentru calea pe pod se poate opta pentru înlocuirea completă cu lemn termo-tratat, înlocuirea cu deck compozit sau plăci metalice/grătare zincate.

În cazul de față, având în vedere starea degradată a plăcilor de lemn existente (Fig. 11), dar și a circulației destul de intense din zonă, am ales varianta de înlocuire cu grătare metalice zincate [5]. Costul estimat pentru înlocuirea podinei de lemn este de aproximativ 6.000€ (incluzând grătarele, sistemele de fixare și manopera).

Deși poate nu oferă un grad ridicat de confort, grătarele metalice zincate sunt foarte avantajoase deoarece au o durată lungă de viață (până la 30+ ani), sunt antiderapante, permit drenajul rapid al apei, nu rețin murdărie și sunt rezistente la îngheț [5].

Pentru treptele degradate (Fig. 12) am ales demolarea și înlocuirea acestora cu trepte prefabricate, costul fiind aproximativ 1.000€ (acesta include demolarea treptelor vechi, așternerea stratului suport, prefabricatele, beton de fixare și cel de rosturi și montajul elementelor).



Având în vedere și iluminarea deficitară din zona pasarelei, am optat în plus și pentru montarea unor spoturi liniare care să îmbunătățească traversarea pasarelei pe timp de noapte, dar totodată să confere și un efect estetic acesteia.

Costul, pentru deschiderea de 55,30 metri ai pasarelei care include spoturile, profile de aluminiu, difuzoare, sursele de alimentare și cablare, dar și montajul este de 900€.

3. Concluzie

Deși poate părea costisitoare reabilitarea pasarelei, varianta aceasta este mult mai benefică și ieftină decât demolarea și reconstruirea unui alt pod nou, care este o investiție mult mai mare.

Într-un context în care întreținerea era organizată regulat, costurile nu ajungeau atât de mari la momentul actual sau poate nici măcar nu exista varianta reconstruirii altei structuri.

Concluzia la care am ajuns noi este că, deși într-o stare destul de degradată, “Podul de la Terapia” poate fi recondiționat și pus în continuare în funcțiune fără a fi nevoie de o structură nouă care să-l înlocuiască.

BIBLIOGRAFIE

1. And 522 - 2006 Instrucțiuni Tehnice Pentru Stabilirea Stării Tehnice A Unui Pod
2. Mihai Iliescu, Gabriela Viorel , Repararea și consolidarea podurilor de beton , Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
3. <https://shapeszonestudio.blogspot.com/2012/02/tehnologii-de-camasuire-stalpilor-din.html>
4. Mihai Iliescu, Gabriela Viorel , Lucrări de întreținere și reparații la podurile de beton Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
5. Soluții Silka pentru reabilitarea podurilor de beton
6. <https://ttonline.ro/articole/lucrari-de-reconditionare-a-podurilor-metalice>



BETON CU PROPRIETĂȚI DE AUTO-VINDECARE – INOVAȚIE DURABILĂ ÎN CONSTRUCȚII: AVANTAJE, COSTURI ȘI PERSPECTIVE DE APLICARE ÎN ROMÂNIA

Autor

Hajnalka F. M. Kocsis

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: kocsisfrideut@gmail.com](mailto:kocsisfrideut@gmail.com).

Îndrumător/îndrumători

Sl.L.Dr.Ing. Vladimir Marusceac

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Vladimir.Marusceac@cfdp.utcluj.ro](mailto:Vladimir.Marusceac@cfdp.utcluj.ro).

REZUMAT: *Lucrarea de față prezintă o analiză succintă a betonului cu proprietăți de auto-vindecare, un material inovator, capabil să repare fisuri minore autonom, fără intervenție externă. Lucrarea sintetizează date generale privind compoziția și mecanismele de funcționare ale acestui tip de beton, avantajele și dezavantajele sale, precum și aplicațiile în ingineria civilă, infrastructura rutieră, precum și pasarele pietonale. Studiul include informații economice relevante despre investițiile în cercetare și utilizare la nivel european și global, cu accent pe evoluția din ultimul deceniu. De asemenea, sunt evaluate costurile asociate implementării betonului cu proprietăți de auto-vindecare comparativ cu materialele convenționale și se analizează potențialul de aplicare în România, în contextul socio-economic actual. Lucrarea își propune să ofere o perspectivă clară asupra beneficiilor pe termen lung ale utilizării acestui material și să fundamenteze decizii viitoare privind adoptarea sa pe scară largă în construcții locale.*

Cuvinte cheie: beton, bacterii, polimer, inovație, cercetare.

1. Introducere

1.1 Contextul cercetării

Betonul este unul dintre cele mai utilizate materiale de construcții din lume datorită durabilității și costului redus. Fiind un material poros este predispus la fisuri care permit infiltrarea apei și a agenților agresivi, ceea ce conduce la coroziunea armăturii, ceea ce reduce durabilitatea structurii [2],[3],[18]. Din acest motiv, cercetări recente s-au concentrat tot mai mult pe dezvoltarea betonului cu proprietăți de auto-vindecare, deoarece aceasta poate prelungi viața construcțiilor și reduce costurile intervențiilor de întreținere [5],[15],[18].

Acest tip de beton este o inovație semnificativă, deoarece e capabil de a se repara singur în cazul în care apar fisuri. Printre metodele utilizate se numără adăugarea de agenți biologici sau chimici (formează cristale de calcar) sau prin utilizarea bacteriilor (produc carbonat de calciu în prezența apei) [4],[22].

După ce tehnologiile devin mai accesibile și economice, se așteaptă că acest tip de beton va fi mai utilizat și va contribui la construcția unor structuri mai durabile, rezistente, fiind o oportunitate semnificativă pentru industrie [6],[14].

1.2 Scopul și obiectivele lucrării

Scopul lucrării este de a scoate în evidență și a analiza potențialul betonului cu proprietăți de auto-vindecare, fiind o soluție inovatoare pentru creșterea durabilității și sustenabilității construcțiilor, în special în infrastructura de transport. Oferă o perspectivă asupra progreselor actuale, a materialelor utilizate, a impactului economic și ecologic folosind acest tip de beton [1],[14].

Obiectivele principale ale lucrării sunt:



- Analiza mecanismelor de auto-vindecare a betonului și identificarea principalelor tipuri de materiale utilizate.
- Evaluarea aplicațiilor ale betonului cu proprietăți de auto-vindecare în infrastructura rutieră, pasarele pietonale și în alte domenii ale construcțiilor.
- Analiză economică, investiții în cercetare, avantajele și dezavantajele utilizării acestui tip de beton (în special reducerea costurilor și a emisiilor de CO₂)
- Perspective de aplicare, potențial de implementare în România, având în vedere resursele disponibile și nevoia de infrastructură durabilă [6],[19].

2. Beton cu proprietăți de auto-vindecare – Prezentare generală

2.1 Definiție și principiu de funcționare

Biobetonul autovindecabil (sau biobetonul) e un material cu capacitate de auto-vindecare care conține microorganisme și folosirea lui poate fi o metodă de a prelungi durata de viață a structurilor din beton. Această tehnologie scoate în evidență capacitatea biologică ale unor microorganisme specifice (bacterii, ciuperci), care sunt esențiale pentru ca materialul să poată ajunge la capacitatea de a remedia autonom fisurile, contribuind astfel la menținerea integrității structurale [4],[17].

Mecanismul de auto-vindecare depinde de compoziția betonului și de tehnologia utilizată, care pot fi următoarele:

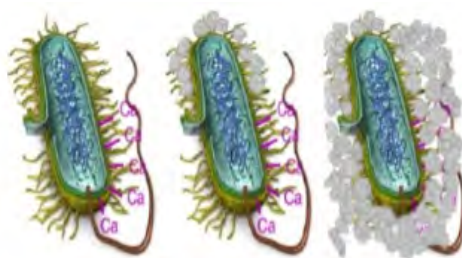
- Chimică (reacții continue de hidratare): hidratarea particulelor de ciment care nu au fost hidratate înainte. Când vine în contact cu apa, care pătrunde prin fisuri, particulele reacționează și formează produse noi care umplu fisurile.
- Biologică (bacterii): utilizarea bacteriilor sporulate (ex. *Bacillus subtilis*), care este adăugată în beton împreună cu nutrienți (lactat de calciu). Când apare o fisură și permite pătrunderea apei, bacteriile devin active și produc carbonat de calciu (CaCO₃), iar acesta închide fisura.
- Cristalizare artificială, aditivi speciali (agenți de umflare, capsule): în beton pot fi introduce capsule polimerice, fibre care conțin agenți de vindecare. La fisurare capsulele se sparg și substanțele formează geluri/cristale care umplu fisurile [9],[21].

2.2 Tipuri de beton cu auto-vindecare; materiale utilizate și mecanisme de auto-vindecare

Beton cu bacterii

Materiale: *Bacillus subtilis*, *Bacillus pseudofirmus*, alte bacterii sporulate; nutrienți; surse de calciu (Ca²⁺).

Mecanism: Fisurile din structuri de beton sunt umplute cu un calcar reparator produs de un amestec de bacterii (ex. *Bacillus*), împreună cu un nutrient (lactat de calciu), iar în timpul producerii betonului se amestecă azot și fosfor împreună cu celelalte ingrediente. Când apar fisuri, sporiile bacteriilor se activează când ajung în contact cu apă, hrănindu-se cu lactatul de calciu disponibil în beton, care se transformă în calcar insolubil, utilizând și de oxigenul. Astfel crește durabilitatea construcțiilor din beton armat cu oțel prin eliminarea oxigenului care influențează major procesul de coroziune a oțelului [17],[22].



Self-healing Concrete Bacteria

Figura 1. Bacteria folosită

Beton cu microcapsule

Materiale: peroxid de benzoil, rășină, agenți epoxidici

Mecanism: Se aplică asupra structurii un strat subțire de material cu microcapsule, care conțin peroxid de benzoil (BPO) sau rășină vinilesterică (VER). Când apare o fisură aceste capsulele se sparg, iar conținutul lor umple fisurile prin reacție chimică (polimerizare/hidratare). Este o metodă care rezistă la expunere la sare, dar variația de temperatură poate cauza schimbări mici în rezultate [8],[21].

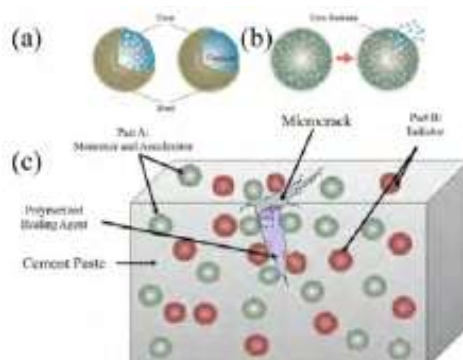


Figura 2. Mecanism de umplere a fisurilor

Beton cu nanomateriale

Materiale: Silice (n-SiO₂), Oxid de titan (TiO₂), Nanotuburi de carbon (CNTs).

Mecanism: Pentru a atinge potențialul maxim a nanomaterialelor, este nevoie de o tehnică de dispersie fiabilă și eficientă. Tehnica cea mai fiabilă sunt sonicatoarele de tip sondă, pentru a obține o dispersie nanometrică eficientă, chiar și în materiale foarte vâscoase, cum ar fi cimentul și betonul. Aceste particule se transformă în nanoparticule de ciment în timpul solidificării betonului. Particulele mai mici duc la o distanță mai mică între particule și la un material mai dens, mai puțin poros [9],[14].

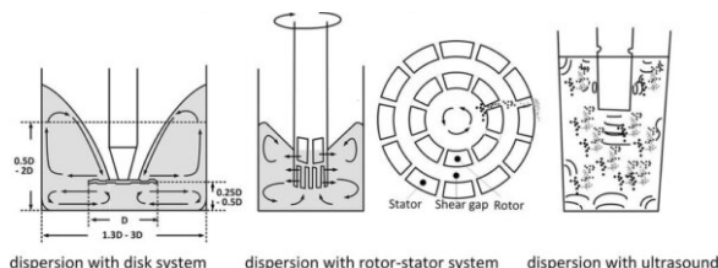


Figura 3. Comparatie între moduri de dispersie

Beton cu polimeri reactivi

Materiale: Polimeri reattivi.

Mecanism: Se obține prin mixarea unui polimer lichid cu un amestec alcătuit din ciment, nisipuri selectate, fibre elastice și alte materiale prestabilite. Are ca rezultat un material de consistența untului și poate fi întins pe suprafețe orizontale sau verticale. Tehnologia propriu-zisă constă în faptul că după întindere pe suprafață deja existentă, în aproximativ 24 de ore materialul vindecă placa/structura veche prin fenomenul prin care polimerii curg în fisuri și formează acolo legături chimice noi [10],[19].

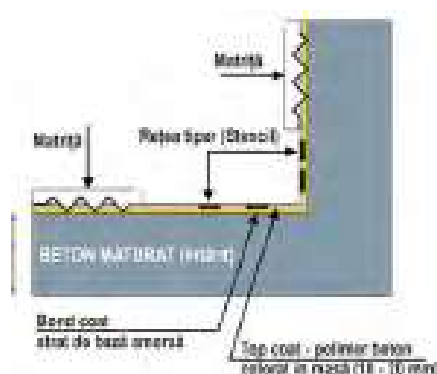


Figura 4. Mecanism-Beton cu polimeri reactivi



Beton cu fibre vasculare

Propriu-zis nu este un beton cu proprietăți de auto-vindecare, însă trebuie menționat pentru că și el are efect asupra fisurilor, cu diferența că previne apariția lor, nu le vindecă.

Materiale: fibre polimerice, de sticlă, de oțel

Mecanism: Sunt fibre sintetice utilizate pentru a înlocui plasele de sârmă sudată, și parțial, barele de armare. Acestea îmbunătățesc rezistența la încovoiere, abraziune, și impact, iar folosirea lor scade riscul de apariție a fisurilor și diminuează deschiderea acestora. Adăugarea fibrelor în compoziția betonului se face de către producător și are ca rezultat un amestec omogen cu un dozaj garantat de fibre cu distribuție optimă [5],[11].



Figura 5. Beton cu fibre vasculare

3. Avantaje și dezavantaje

3.1 Beneficii structurale și de durabilitate

Betonul cu proprietăți de auto-vindecare reduce impactul datorat apariției fisurilor și crește calitatea structurii prin umplerea automată a microfisurilor. Autovindecarea reduce permeabilitatea la apă, gaze, astfel previne coroziunea armăturii și își menține capacitatea portantă. Are o durabilitate crescută în medii agresive și are rezistență crescută la degradări cauzate de: îngheț-dezghet, soluții chimice (sare, clor, sulfati) și umiditate excesivă. Folosirea acestui tip de beton poate prelungi durata de exploatare cu până la 30% și se obțin per total emisii de CO₂ mai scăzute, deoarece necesită mai puține reparații, iar cantitatea de ciment și oțel folosit nu este suplimentată [5],[14],[23].

3.2 Limitări tehnice și economice

Limitări tehnice: Majoritatea sistemelor de auto-vindecare pot repara doar fisuri până la 1 mm, pentru repararea fisurilor mai mari e nevoie de intervenții manuale. O altă limitare este faptul că acești agenți pot pierde eficiență din motive diferite, cum ar fi temperaturi mari, alcalinitate sau inactivitate de prea mult timp. Poate duce la vindecare incompletă și distribuția neuniformă a materialelor autovindecabile, fiindcă este dificil de asigurat o distribuție uniformă a bacteriilor, microcapsulelor, nanomaterialelor în beton [3],[21].

Limitări economice: Pe termen lung este nevoie de investiții mai mici de întreținere, dar costurile inițiale sunt ridicate, fiindcă prețul betonului cu proprietăți de auto-vindecare este semnificativ mai mare din cauza materialelor speciale (ex. bacterii, polimeri) și procesului de fabricație mai complex. Reglementarea tehnologiilor încă nu este clară în multe zone și de aceea nu sunt folosite pe o scară largă, deoarece poate cauza neînțelegeri, confuzii și nesiguranță [6],[16].

- Aplicații în Ingineria Civilă și Infrastructură

Betonul cu proprietăți de auto-vindecare poate fi folosit în aproape fiecare domeniu, cel mai important aspect fiind necesitatea și bugetul alocat. Când vine vorba de poduri, drumuri, tuneluri sau piste de aeroport, acest tip de beton poate fi folosit pentru reducerea fisurilor și nevoii de reparare/întreținere, fiindcă închiderea lor periodică provoacă disconfort, și reduce costurile pe termen lung [5],[17]. La construcții hidrotehnice (baraje, rezervoare) are o importanță mare durabilitatea construcției, deoarece e în contact direct cu apa, și are o importanță extrem de mare să fie umplute fisurile cât mai repede

[20],[12]. Când vine vorba de clădiri rezidențiale și comerciale, folosirea betonului autovindecabil nu are o importanță foarte mare, fiindcă necesită o investiție inițială mare, iar reparațiile periodice sunt mai ușor făcute decât în cazurile anterioare [11].



Figura 6. A465 Heads of the Valleys – în proiect sunt incluse panouri de beton autovindecabil



Figura 7. Stația Maqun-Qilinmen – reparații de fisuri de până la 0,5 mm

- Analiză economică și investiții în cercetare

Costurile ridicate la investiție inițială poate descuraja investitorii de la adaptarea acestui tip de beton, mai ales dacă se lucrează cu un buget limitat. În caz în care este adoptat betonul cu proprietăți de auto-vindecare, se poate face o economie pe termen lung, fiindcă se reduce costul întreținerii periodice, reparațiilor și nu e nevoie de înlocuire totală sau parțială a elementelor deteriorate [6],[14]. În SUA se estimează o economie de 3,4 miliarde USD anual, din cauza aplicării pe scară largă a acestei inovații. Se estimează că poate prelungi durata de viață a unui structurii cu până la 30% [7],[19].

În prezent se oferă finanțări pentru tehnologii de genul și în SUA cât și în UE, iar și Asia și Orientul Mijlociu investesc în soluții durabile [7],[19]. Există colaborări între universități și firme de materiale de construcții pentru a găsi soluții cât mai bune. Cercetările au ca scop optimizarea eficienței mecanismelor (biologice, chimice) pentru rezultate cât mai bune care pot fi standardizate, dar în special reducerea costurilor ca pentru a putea fi implementate pe o scară cât mai largă. Provocările principale la moment actual sunt lipsa standardizării metodelor la nivel internațional și dificultatea de testare a durabilității, timpului câștigat prin implementarea tehnologiilor. Sunt necesare metode de testare eficiente și care dau rezultate corecte în condiții reale, întâmpinate în realitate [20],[23].

- Dezvoltarea betonului cu auto-vindecare în ultimul deceniu

În ultimul deceniu betonul cu proprietăți de auto-vindecare a ajuns de la un concept experimental la o tehnologie aplicabilă în construcții reale, sprijinit de industrie și instituții de stat [14],[6].

Până în 2020 acest tip de beton a fost studiat numai în laboratoare, iar după 2020 au apărut primele încercări pe structuri reale și mari (ex. A465 UK, în China). De la primele metode simple (bacterii, microcapsule) au trecut la inovații noi ca și polimeri reactivi sau materiale cu memorie de formă [19].

După 2018 a crescut interesul față de această tehnologie de la dezvoltatori, guverne, și a început să fie inclus în proiecte finanțate public (drumuri durabile, infrastructuri verzi). Astfel a crescut valoarea pieței globale, se estimează 1370 miliarde USD pentru 2034 comparativ cu 200 de milioane USD în 2015 [6],[20].

Fiindcă nu există standarde internaționale clare, nu există nici metode de testare uniforme pentru definirea comportamentului fisurilor, durabilitate sau compatibilitate cu alte materiale. În prezent direcția cercetărilor este în favoarea integrării inteligenței artificiale și folosirea senzorilor pentru monitorizare, se studiază autoregenaribilitatea (reparații multiple în aceeași fisură), și se ia în considerare sustenabilitatea (amprență CO₂ redusă), eficiență economică (prețuri accesibile) [21].



- Perspective de aplicare în România

În România există potențial de aplicare al acestui tip de beton în infrastructură, precum și în construcțiile civile urbane, dar este necesar un sprijin financiar din partea guvernului sau a altor instituții. Ar fi necesară folosirea acestei tehnologii în lucrări de infrastructură, fiindcă drumurile și podurile sunt predispuse la fisurare, iar costurile de reparație sunt mari și nu există mereu dorință sau buget pentru a remedia problema [1],[11]. S-ar putea folosi și la clădiri dar din cauza finanțării slabe, și fiind un sector privatizat, aceste soluții experimentale sunt evitate pentru un câștig mai sigur [10].

Există interes științific și academic în România în acest domeniu, dovadă fiind Teza de Doctorat [1]. Un obstacol este lipsa legislațiilor, standardelor și normativelor care să precizeze și acest tip de beton. Pentru dezvoltare se pot obține finanțări pe proiecte experimentale din fonduri europene (PNRR), care ar putea avea rezultate care ar putea transforma complet implementarea betonului cu proprietăți de auto-vindecare în România [1],[7].

Există deja proiecte terminate în țară, la care au folosit metode de îmbunătățire a betonului. Ca exemplu s-a construit recent o pasarelă în Cluj-Napoca din Parcul Rozelor, unde a fost folosită în premieră o tehnologie cu oxid de titan la o structură compusă oțel-beton [11].



Figura 8. Pasarelă boltită – Cluj-Napoca

4. Concluzii și propuneri

În concluzie betonul cu proprietăți de auto-vindecare se prezintă ca o soluție durabilă și inovatoare în ceea ce privește implementarea acesteia în lucrări de infrastructură, s-a dovedit eficientă în reducerea fisurilor și în extinderea duratei de viață a structurilor. Este fezabilă din punct de vedere tehnic, este deja testată în proiecte reale, dar este limitată utilizarea acestei soluții în mare parte datorită costurilor ridicate, iar momentan eventualele implementări se bazează pe sprijin instituțional [14],[6].

Propuneri: Obținerea și utilizarea fondurilor pentru cercetare și implementare de către universități, administrații locale în parteneriat cu firme de construcții. Se poate obține reducerea costurilor prin cercetări aplicative, de ex. folosind culturi de bacterii locale și mai multe materiale reciclabile. S-ar putea include betonul cu proprietăți de auto-vindecare în proiecte “green”, fiind o soluție sustenabilă, și prin această modalitate se poate câștiga publicitate, ar ajunge informația la mai multe persoane și poate ar fi sprijinit financiar și de sectorul privat [1],[19],[23].

BIBLIOGRAFIE

1. Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Teză de doctorat: Beton cu proprietăți de auto-vindecare. <https://doctorat.utcluj.ro/theses/view/fEY7luZKiOby4smU6Nm2rIRNbsBdY0EAGNeZ4FnB.pdf>
2. Gemite Products Inc., “Beton autovindecabil”, <https://gemite.tech/ro/beton-autovindecabil/>
3. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), “Self-healing cement” <https://www.pnnl.gov/available-technologies/self-healing-cement>
4. Self-healing concrete and environmental performance”, ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724047016>
5. Self-healing concrete – Engineering topics”, ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/self-healing-concrete>
5. Precedence Research, “Self-healing concrete market forecast”, <https://www.precedenceresearch.com/self-healing-concrete-market>



6. Universitatea Dunărea de jos din Galați, Rezumat teză doctorat – Drăghici, <https://www.ugal.ro/files/doctorat/sustineri/2023/REZUMAT-TEZA-DOCTORAT-Draghici.pdf>
7. “Schematic representing nano- and microcapsule-based self-healing approach”, ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representing-nano-and-microcapsule-based-self-healing-approach-a_fig1_348752732
8. Hielscher Ultrasonics, „Nano-ciment pentru beton”, https://www.hielscher.com/ro/nano_cement_concrete_01.htm
9. Creative Paving, ”Polimeri pentru beton”, <http://www.creative-paving.ro/polimer-beton.html>
10. Holcim România, „Fișa de produs – beton cu armare dispersă”. https://www.holcim.ro/sites/romania/files/2022-06/fisa-de-produs_beton-cu-armare-dispersa_ro_011119.pdf
11. BBC / HotNews, „Un drum de iad din Marea Britanie – Proiectul A465”, <https://hotnews.ro/un-drum-de-iad-din-marea-britanie-va-fi-gata-dupa-23-de-ani-relateaza-bbc-care-aminteste-ca-proiectul-a-stat-pe-multe-mese-inclusiv-pe-cea-a-lui-margaret-thatcher-video-1876987>
12. Wikimedia Commons, ”Baishuiqiao Station - China”, https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Baishuiqiao_Station
13. M. M. M. Likhon et al., „Self-healing concrete: Fabrication, advancement, and effectiveness for long-term integrity of concrete infrastructures”, ResearchGate. 2023, <https://www.researchgate.net/publication/370770415>
14. G. Suthar, „A review paper on self-healing concrete”, ResearchGate, 2016, <https://www.researchgate.net/publication/303172092>
15. A. Talaiekhozani et al., „A review of self-healing concrete research development”, ResearchGate, 2014, <https://www.researchgate.net/publication/260988558>
16. E. Schlangen et al., „Development of a bacteria-based self-healing concrete”, ResearchGate, 2014, <https://www.researchgate.net/publication/267716612>
17. N. De Belie, „A review of self-healing concrete for damage management of structures”, ResearchGate, 2021, <https://www.researchgate.net/publication/325196429>
18. L. Sarubbo, „Self-healing concrete: Background, development, and market prospects”, ResearchGate, 2021, <https://www.researchgate.net/publication/360562507>
19. N. De Belie et al, „Large scale application of self-healing concrete: Design, construction, and testing”, ResearchGate, 2018, <https://www.researchgate.net/publication/327429813>
20. N. De Belie, „Understanding the impacts of healing agents on the properties of fresh and hardened self-healing concrete: A review”, ResearchGate, 2021 <https://www.researchgate.net/publication/356868676>
21. M. Seifan, „Bioconcrete: Next generation of self-healing concrete”, ResearchGate, 2016 <https://www.researchgate.net/publication/292208328>
22. P. Nair, „Self-healing concrete: A promising innovation for sustainability – a review”, ResearchGate, 2022, <https://www.researchgate.net/publication/360285655>



RECICLAREA CAUCIUCULUI PENTRU FOLOSIREA ÎN STRATUL DE UZURĂ

Autori

Cristiana I. SZFARA¹, Tania C. COȘARCA²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: cristiana.szfara17@gmail.com.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: taniacosarca@gmail.com.

Îndrumători

S.L.Dr.Ing. Andrei F. CLITAN

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Andrei.Clitan@cfdp.utcluj.ro.

REZUMAT: *Reciclarea cauciucului reprezintă o soluție inovativă pentru reducerea impactului ecologic al deșeurilor din anvelope, contribuind totodată la dezvoltarea unor materiale durabile în diverse industrii. Utilizarea cauciucului reciclat în stratul de uzură al drumurilor aduce beneficii semnificative, inclusiv îmbunătățirea durabilității și aderenței suprafeței, reducerea zgomotului și creșterea rezistenței la temperaturi extreme. Prin procesul de reciclare, cauciucul este transformat în granule care pot fi integrate eficient în mixturile asfaltice, oferind astfel o soluție sustenabilă și economică. Pe lângă protecția mediului, această tehnologie contribuie la reducerea dependenței de resursele naturale și la gestionarea mai eficientă a deșeurilor. Astfel, acest tip de reciclare nu doar contribuie la protejarea mediului, ci răspunde și necesității de a crea infrastructuri mai durabile și mai prietenoase cu mediul.*

Cuvinte cheie: reciclare, cauciuc, strat de uzură, drumuri, material.

1. Introducere

Gestionarea deșeurilor reprezintă una dintre cele mai presante probleme de mediu la nivel mondial, iar anvelopele uzate constituie o categorie specială de deșeuri datorită volumului mare și a degradării extrem de lente în natură [2]. Depozitarea cauciucului implică riscuri de poluare a solului și a apei subterane, iar arderea acestuia eliberează substanțe toxice în atmosferă [8].

În acest context, reciclarea cauciucului provenit din anvelope uzate a devenit o prioritate atât pentru protecția mediului, cât și pentru dezvoltarea unei economii circulare durabile. O direcție inovatoare și eficientă pentru valorificarea cauciucului reciclat o constituie utilizarea acestuia în infrastructura rutieră, mai exact în compoziția stratului de uzură al drumurilor [1]. Această soluție nu doar că reduce impactul ecologic al deșeurilor de cauciuc, dar contribuie și la îmbunătățirea performanțelor tehnice ale îmbrăcăminților asfaltice.

În ultimii ani, numeroase studii și aplicații practice au demonstrat că asfaltul modificat cu pudra de cauciuc obținut din anvelope uzate prezintă avantaje considerabile comparativ cu asfalturile convenționale. Prin integrarea particulelor fine de cauciuc în mixtura, se obține o creștere a elasticității, o mai bună rezistență la fisurare, o reducere a zgomotului de rulare și o durată de viață extinsă a carosabilului.

În România, aplicarea acestor soluții se află încă într-un stadiu incipient, existând însă proiecte pilot care arată potențialul enorm al acestei tehnologii în contextul infrastructurii naționale [9]. Promovarea utilizării cauciucului reciclat în construcția și întreținerea drumurilor ar putea aduce beneficii majore atât din punct de vedere economic, cât și ecologic [5].

Prezenta lucrare își propune să analizeze metodele de reciclare a cauciucului și integrarea acestuia în stratul de uzură al drumurilor, evidențiind avantajele tehnice și ecologice, provocările actuale și perspectivele de dezvoltare în România.



Figurile 1,2,3,4. Etape de reciclare a cauciucului

2. Metode de reciclare a cauciucului

Reciclarea cauciucului provenit din anvelope uzate se poate realiza prin mai multe metode tehnologice, în funcție de caracteristicile materialului rezultat [4].

2.1 Măcinarea mecanică

Aceasta este cea mai utilizată metodă de reciclare a cauciucului datorită costurilor reduse și a eficienței procesului. Cauciucul este mărunțit mecanic folosind diverse tipuri de concasoare și mori industriale. Principiul acestei metode constă în a curăța anvelopele de impurități, de exemplu textil sau oțel, după care se trece cauciucul printr-o primă măcinare grosieră de 2-5 cm, iar ulterior se macină până la granulații foarte fine, sub 1 mm.

Avantajele acestei metode sunt costurile de producție relativ scăzute și poate fi utilizat direct în asfalt, însă dezavantajul este că poate genera particule de dimensiuni inegale fără control strict [4].

2.2 Criogenarea

În această metodă, anvelopele sunt răcite la temperaturi extrem de scăzute, folosind un azot lichid, devenind casante. Ulterior, cauciucul este măcinat cu ușurință în particule foarte fine și regulate. Această metodă se realizează în felul următor, se introduc anvelopele în camere de criogenare, unde răcirea are loc la temperaturi de -80°C până la -120°C . La sfârșitul procesului de răcire, materialul casant se macină în particule fine.

Avantajele acestei metode sunt obținerea unor particule uniforme, de calitate superioară și puțină deteriorare a proprietăților chimice ale cauciucului, dar dezavantajele sunt costuri ridicate, din cauza echipamentelor speciale și consumul de azot lichid, și nu este o soluție economică pentru volume mici [4].

3. Integrarea cauciucului reciclat în stratul de uzură

Integrarea cauciucului reciclat în mixturile asfaltice reprezintă una dintre cele mai promițătoare tehnologii de reutilizare a deșeurilor de anvelope.



Particulele fine de cauciuc pot fi încorporate în asfalt pentru a modifica caracteristicile bitumului sau ale întregului amestec asfaltic. Acest proces duce la obținerea unor drumuri cu performanțe superioare, atât din punct de vedere mecanic, cât și ecologic.

Există două tehnologii principale utilizate pentru integrarea cauciucului în asfalt: tehnologia de amestecare la cald și tehnologia de amestecare la rece.

În tehnologia de amestecare la cald, particulele de cauciuc reciclat sunt amestecate direct în bitum, rezultând bitum modificat cu cauciuc. Pașii tehnologici urmează astfel, particulele fine de cauciuc de dimensiune 0,5 – 2 mm sunt adăugate într-un bitum fierbinte, aflat la temperatura 160°C – 190°C. Amestecul este agitat și lăsat să reacționeze timp de 30-60 minute. Particulele de cauciuc absorb parte din uleiurile bitumului, umflându-se și modificând vâscozitatea materialului.

Avantajele sunt creșterea elasticității bitumului, reducerea crăpăturilor la temperaturi scăzute și creșterea rezistenței la deformări permanente. Dezavantajele sunt necesitatea instalațiilor speciale de amestecare și timpul de lucru este limitat, deoarece bitumul modificat trebuie utilizat rapid [1].

În tehnologia de amestecare la rece, particulele de cauciuc sunt adăugate direct în malaxorul de mixtura asfaltică, împreună cu agregatele minerale și bitumul obișnuit. Pașii tehnologici constau în introducerea cauciucului tocat în tamburul de amestecare înaintea sau simultan cu agregatele. Se utilizează cantități mai mari de cauciuc, până la 2-3% din masa mixturii, iar în acest caz nu se modifică compoziția bitumului.

Avantajele sunt adaptabilitatea la instalațiile standard de asfalt, iar costurile de implementare sunt mai mici. Dezavantajele sunt slaba interacțiune a cauciucului cu bitumul, iar proprietățile îmbunătățite ale asfaltului sunt mai puțin consistente comparativ cu procesul ud, explicat anterior [7].

Material de bază: Bitum + granule de cauciuc din anvelope măcinate
Granulometrie: Controlată pentru performanță optimă (1-3 mm particule de cauciuc)
Tipuri de amestec: Umed (cauciuc amestecat în bitum) sau uscat (cauciuc adăugat direct)
Metoda de punere în operă: Similară cu asfaltul clasic, dar cu control mai strict al temperaturii
Temperatura de aplicare: 160-190°C (pentru amestec umed)
Timp de lucru (open time): Mai mare decât la asfaltul clasic, reduce riscul de lucrări refăcute
Rezistență la uzură: Excelentă în zone de trafic intens sau frânări dese
Elasticitate / Flexibilitate: Ridicată, se adaptează mai bine la deformările terenului
Rezistență la apă și îngheț: Superioară asfaltului clasic
Compatibilitate cu reciclare ulterioară: Bună, poate fi reutilizat parțial în noi mixturi
Utilizare recomandată: Autostrăzi, parcuri, piste aeroport, benzi de frânare

Figura 5. Tabel tehnic-mixturi asfaltice cu cauciuc reciclat.

4. Proprietățile mixturilor asfaltice modificate cu cauciuc reciclat

Utilizarea cauciucului reciclat în mixturile asfaltice aduce îmbunătățiri semnificative față de mixturile tradiționale. Particulele de cauciuc contribuie la crearea unei rețele interne flexibile în asfalt, îmbunătățind comportamentul acestuia la solicitările dinamice și termice [1].

Una dintre principalele îmbunătățiri este creșterea elasticității mixturilor asfaltice. Cauciucul adăugat în liant sau în amestec acționează ca un amortizor de tensiuni, reducând riscul de apariție a fisurilor generate de variațiile mari de temperatură sau de trafic intens. Mixturile asfaltice modificate suportă mai bine deformările elastice repetate și se observă o creștere cu până la 40-60% a flexibilității la temperaturi scăzute [1].

Mixturile asfaltice tradiționale sunt predispuse la crăpături de contracție termică sau la crăpături de oboseală în timp. Prin adăugarea cauciucului se întârzie apariția crăpăturilor fine și a fisurilor longitudinale.

Integrarea cauciucului duce la scăderea nivelului de zgomot produs de interacțiunea pneurilor cu suprafața carosabilă. Nivelul de zgomot se poate reduce cu 3-5 dB, ceea ce este semnificativ pentru confortul ambiental [1].



Mixturile asfaltice cu cauciuc păstrează sau chiar îmbunătățesc aderența pneurilor pe carosabil umed. Structura poroasă poate contribui la reducerea acvaplanării. Cu toate acestea, în unele cazuri, compoziția mixturii trebuie optimizată pentru a menține un echilibru între amortizare și textură de suprafață.

Una dintre cele mai valoroase beneficii ale mixturilor asfaltice modificate cu cauciuc este comportamentul superior la temperaturi ridicate. La temperaturi de vară, mixturile asfaltice obișnuite tind să se înmoaie, favorizând deformările plastice permanente. În cazul cauciucului modificat, acesta îmbunătățește vâscozitatea și coeziunea bitumului la temperaturi ridicate, peste 60 °C, fără a suferi modificări majore de formă sau structură. Se reduce riscul de deformare sub sarcini dinamice mari [1].

Tabelul 1. Tabel comparativ. Proprietățile asfalt convențional VS. Asfalt modificat cu cauciuc.

Proprietate	Mixturi asfaltice convenționale	Mixturi asfaltice modificate cu cauciuc
Elasticitate	Scăzută	Ridicată
Rezistență la crăpare	Moderată	Excelentă
Durabilitate	10–15 ani	15–20 ani
Rezistență la deformare	Moderată	Ridicată
Amortizare zgomot rulare	Normală	Ridusă cu 3–5 dB
Comportament pe carosabil umed	Bun	Foarte bun

5. Avantaje și dezavantaje ale utilizării mixturilor asfaltice modificate cu cauciuc

Utilizarea cauciucului reciclat în realizarea stratului de uzură al drumurilor aduce numeroase avantaje tehnice, ecologice și economice, dar prezintă și anumite limitări care trebuie luate în considerare.

Un prim mare avantaj al asfaltului modificat cu cauciuc este creșterea semnificativă a elasticității și flexibilității stratului de uzură [3]. Prin integrarea particulelor fine de cauciuc, asfaltul capătă o capacitate mult mai mare de a suporta solicitările dinamice generate de trafic intens sau de variațiile de temperatură. Această proprietate conduce la o reducere considerabilă a fenomenelor de crăpare la rece și de deformare plastică la cald, contribuind astfel la extinderea duratei de viață a drumurilor cu până la 20–30% față de asfaturile convenționale [1].

Un alt beneficiu major este reducerea zgomotului de rulare. Drumurile realizate cu asfalt modificat cu cauciuc oferă un nivel de zgomot mai scăzut cu 3–5 dB, ceea ce are un impact pozitiv asupra confortului urban, mai ales în zonele rezidențiale sau intens circulate. De asemenea, datorită texturii speciale conferite de particulele de cauciuc, asfaltul modificat îmbunătățește aderența în condiții de carosabil umed, reducând riscul de acvaplanare și contribuind la sporirea siguranței rutiere [1].

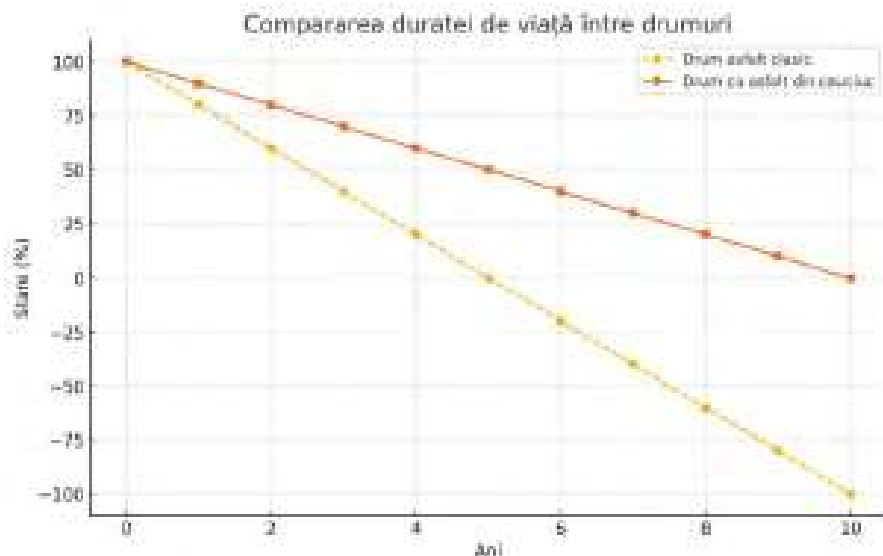


Figura 6. Compararea duratei de viață între drumuri

Din punct de vedere ecologic, utilizarea cauciucului reciclat ajută la rezolvarea problemei gestionării deșeurilor de anvelope, care altfel ar contribui la poluarea mediului prin depozitare necontrolată sau



ardere. Astfel, această tehnologie se înscrie perfect în principiile economiei și ale dezvoltării durabile [5].

Chiar dacă beneficiile sunt numeroase, există și anumite dezavantaje pe care nu le putem ignora. În primul rând, integrarea cauciucului reciclabil necesită, în multe cazuri, adaptarea instalațiilor existente sau achiziția de echipamente specializate, ceea ce implică un cost suplimentar semnificativ. De asemenea, procesul de fabricare și punere în operă necesită un control riguros al temperaturii și al timpului de reacție pentru a asigura omogenitatea și calitatea amestecului asfaltic [1].

Un alt aspect important este variabilitatea calității materialului reciclat. În funcție de proveniența și procesul de măcinare al cauciucului, pot apărea diferențe de comportament ale asfaltului modificat, ceea ce necesită o selecție atentă și standardizare riguroasă a materiilor prime [4].

Nu în ultimul rând, trebuie menționat că mixturile asfaltice modificate cu cauciuc are, în general, costuri inițiale mai ridicate decât asfaltul convențional, fiind estimat cu 15–30% mai scump la producție și implementare. Însă, aceste costuri suplimentare sunt compensate pe termen lung prin economiile realizate la întreținerea și reparațiile drumurilor.

Tabelul 2. Tabel rezumativ Avantaje VS Dezavantaje.

Aspect	Avantaje	Dezavantaje
Elasticitate și rezistență	Ridicată	Necesită control strict al procesării
Durabilitate	Durată de viață crescută	Costuri inițiale mai mari
Impact asupra mediului	Reciclare activă a anvelopelor uzate	Variabilitatea calității cauciucului
Economie	Costuri de întreținere reduse	Investiții în echipamente speciale
Zgomot de rulare	Nivel redus de zgomot	—

6. Exemple internaționale de utilizare a mixturilor asfaltice modificate cu cauciuc

Tehnologia mixturilor asfaltice modificate cu cauciuc este utilizată în mai multe țări, demonstrând beneficii semnificative atât din punct de vedere tehnic, cât și ecologic.

În Statele Unite, în special în statul California, mixturile asfaltice cu cauciuc reciclat sunt utilizate pe scară largă de mai bine de 50 de ani. Drumuri precum Interstate 10 au arătat o rezistență sporită la crăpare și o reducere a zgomotului de rulare [6].

În Spania, mixturile asfaltice modificate sunt folosite în regiuni cu temperaturi ridicate, ca Andaluzia, contribuind la creșterea durabilității infrastructurii și la reducerea zgomotului ambiental [6].

În Germania, mixturile asfaltice cu cauciuc au fost implementate pe autostrăzi și drumuri urbane pentru îmbunătățirea protecției fonice și a rezistenței la uzură, în special pe sectoare de trafic intens [6].

De asemenea, Australia utilizează mixturi asfaltice cu cauciuc în zonele sale cu climat extrem, obținând rezultate excelente în ceea ce privește rezistența la deformare și fisurare [6].

Aceste exemple demonstrează potențialul ridicat al acestei tehnologii pentru îmbunătățirea performanțelor drumurilor și protejarea mediului.

7. Situația actuală în România

În România, utilizarea mixturilor asfaltice modificate cu cauciuc sunt încă în fază incipientă, cu aplicări limitate și proiecte pilot. Deși tehnologia este recunoscută pentru beneficiile sale, implementarea pe scară largă este restricționată de factori precum lipsa standardelor naționale clare și investițiile necesare în echipamente specializate [9].

Cu toate acestea, există inițiative notabile care indică un interes crescut pentru această tehnologie. De exemplu, în cadrul proiectului Autostrăzii A8, care va conecta Moldova de Transilvania, au fost semnate contracte pentru mai multe secțiuni, inclusiv Ditrău - Grințieș, cu asocieri de companii românești și internaționale. Deși nu este specificat explicit dacă se va utiliza mixturi asfaltice modificate cu cauciuc, aceste proiecte oferă oportunități pentru testarea și adoptarea unor tehnologii inovatoare în construcția de infrastructură rutieră [9].

În concluzie, deși România se află în stadiile incipiente ale utilizării asfaltului modificat cu cauciuc, există premise favorabile pentru extinderea acestei tehnologii, în special în contextul noilor proiecte de infrastructură și al preocupărilor pentru durabilitate și protecția mediului.



8. Concluzii

Reciclarea cauciucului uzat și utilizarea acestuia în compoziția stratului de uzură al drumurilor reprezintă o soluție inovatoare, sustenabilă și eficientă, atât din punct de vedere tehnic, cât și ecologic. Tehnologia asfaltului modificat cu cauciuc oferă avantaje majore prin creșterea elasticității, rezistenței la crăpare și deformare, reducerea zgomotului de rulare și extinderea duratei de viață a infrastructurii rutiere.

Experiențele internaționale din Statele Unite, Spania, Germania și Australia demonstrează viabilitatea acestei soluții la scară largă, evidențiind performanțele superioare ale drumurilor realizate cu asfalt modificat comparativ cu cele convenționale. De asemenea, reciclarea anvelopelor uzate contribuie semnificativ la reducerea impactului asupra mediului, sprijinind principiile economiei și ale dezvoltării durabile.

În România, deși aplicarea acestei tehnologii se află într-un stadiu incipient, există premise favorabile pentru extinderea utilizării asfaltului cu cauciuc. Implementarea pe scară largă ar necesita standarde tehnice clare, investiții în modernizarea instalațiilor de producție și promovarea activă a beneficiilor acestei soluții prin politici publice orientate spre sustenabilitate.

În perspectiva dezvoltării infrastructurii naționale, adoptarea asfaltului modificat cu cauciuc poate reprezenta un pas important nu doar pentru creșterea calității drumurilor, ci și pentru protecția mediului și optimizarea cheltuielilor publice. Astfel, reciclarea cauciucului și integrarea lui în construcțiile rutiere nu mai trebuie privite ca simple alternative, ci ca o necesitate strategică pentru viitorul infrastructurii moderne și sustenabile.

BIBLIOGRAFIE

1. Smith, J., & Brown, L. (2020). Use of Recycled Rubber in Asphalt Pavements. *Journal of Road Materials and Pavement Design*.
2. Popescu, M., & Ionescu, A. (2019). Gestionarea deșeurilor de anvelope uzate: provocări și soluții. *Revista Română de Mediu*, 32(2), 123-135.
3. Garcia, R., & Lopez, M. (2018). Performance Improvements of Rubber Modified Asphalt. *Construction and Building Materials*, 166, 627-634.
4. Petrescu, D., & Marinescu, V. (2021). Tehnologii de reciclare a cauciucului din anvelope uzate. *Tehnologia Materialelor*, 54(1), 45-53.
5. Istrate, C., & Dumitrescu, F. (2022). Economia circulară în gestionarea anvelopelor uzate din România. *Studii de Mediu și Economie*, 8(1), 77-90.
6. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2020). *Use of Scrap Tires in Road Construction*. Washington, DC
7. Nguyen, T., & Park, S. (2019). Cold Mix Asphalt with Recycled Rubber: A Review. *Materials*, 12(21), 3550.
8. World Health Organization. (2017). *Environmental Impact of Tire Waste*. Geneva: WHO Publications.
9. Administrația Națională a Drumurilor (2023). *Proiecte pilot pentru utilizarea cauciucului reciclat în infrastructura rutieră românească*. București: ANDR.



INFLUENȚA MEDIULUI ASUPRA PODURILOR DIN BETON ARMAT

Autori

Catalin G. SPATARU¹, Vasile M. I. Juravle²

¹Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București, ,
e-mail: spatarugabi@yahoo.com

²Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București,
e-mail: juravlemarcel7@gmail.com

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Corina CHIOTAN³

³Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București,
e-mail corina.chiotan@utcb.ro

REZUMAT: *Lucrarea de față analizează impactul mediului asupra podurilor din beton armat, din punct de vedere al cerințelor de proiectare durabilă. Sunt prezentate principalele mecanisme de degradare cauzate de factorii de mediu (carbonatare, cloruri, cicluri îngheț-dezgheț, agenți chimici etc.) și clasificarea acestora în clase de expunere conform standardului SR EN 206-1. De asemenea, se detaliază un studiu de caz pentru un pod real – o grindă continuă pe 3 deschideri de pe Autostrada A1 Sibiu–Pitești (Lotul 5) – evidențiind condițiile specifice de mediu din amplasament, încadrarea elementelor structurale în clase de expunere și implicațiile asupra durabilității și a măsurilor de protecție adoptate. În final, se formulează concluzii privind proiectarea durabilă a podurilor din beton armat, subliniind importanța alegerii materialelor adecvate, a detaliilor constructive (acoperiri minime, protecții) și a respectării normelor tehnice pentru asigurarea unei durate de viață ridicată.*

Cuvinte cheie: durabilitate, beton armat, pod rutier, factori de mediu, clase de expunere, coroziune.

1. Introducere

Durabilitatea unei construcții din beton armat depinde în mare măsură de acțiunile mediului înconjurător pe parcursul exploatării. Factorii precum condițiile climatice (temperatură, umiditate), apă și substanțe chimice (apa de ploaie, zăpadă, gheață, agenți de dezgheț, ape subterane agresive, apă marină) sau solicitările fizice (uzură de la trafic, eroziune) pot produce în timp degradări ale betonului și ale armăturilor, afectând capacitatea portantă și siguranța podurilor.

Principalele mecanisme prin care mediul afectează betonul armat sunt: coroziunea armăturilor (indusă fie de carbonatarea betonului, fie de pătrunderea clorurilor), fisurarea și distrugerea betonului datorită înghețului și dezghețului repetat (mai ales când betonul este saturat cu apă), atacurile chimice (de exemplu de către sulfati sau acizi din sol/apă) și abraziunea suprafețelor de beton expuse la trafic sau particule abrazive. Toate acestea pot conduce la reducerea secțiunii de oțel prin ruginire, scăderea aderenței oțel-beton, fisuri și desprinderi ale stratului de acoperire, diminuând durata de serviciu a podului. Studiile au arătat că mecanismele menționate sunt responsabile pentru costurile mari de reparații dacă nu sunt controlate, de aceea normele moderne de proiectare impun abordări menite să asigure durabilitatea pe termen lung [6].

Pentru a sistematiza acțiunile mediului asupra betonului, standardele tehnice au introdus clase de expunere (conform SR EN 206-1 și normelor asociate), fiecare clasă corespunzând unui tip de agresivitate din mediul ambiental. Astfel, un element structural se încadrează într-una sau mai multe clase de expunere, în funcție de tipul de factor de mediu predominant [1].

Tabelul 1 din codul de practică CP 012 prezintă aceste clase și condițiile specific [8]. Pe scurt, clasele principale de expunere sunt:

- XC (coroziune prin carbonatare): atmosfere cu CO₂ care penetrează betonul și scad pH-ul acestuia, putând depasiva armăturile. Include subclase de la XC1 (mediu uscat sau beton permanent sub apă, risc minim) până la XC4 (umed cu alternanțe de uscare, ex. elemente exterioare expuse periodic la ploaie).
- XD (coroziune prin cloruri – din surse decăt cele marine): medii unde clorurile (de regulă din săruri de dezgheț folosite pe drumuri) pot pătrunde în beton și provoca coroziunea oțelului. De exemplu, clasa XD3 definește situația de umezire/uscăre alternativă în prezența sărurilor de



dezgheț, tipică pentru zonele stropite ale podurilor rutiere sau dalelor de parcare expuse soluțiilor saline [7].

- XS (coroziune prin cloruri din apa de mare): medii marine, unde structura este expusă sărurilor din apă de mare fie prin aerul marin (aerosoli salini până la distanțe de ~5 km de țărm – XS1), fie prin contact direct cu apa marină (imersie permanentă – XS2, zona de maree sau stropire – XS3).
- XF (îngheț – dezgheț): medii în care betonul este supus ciclurilor de îngheț și topire a apei. Severitatea crește dacă betonul este saturat cu apă și dacă sunt prezenți agenți de dezghețare. De la XF1 (îngheț cu suprafața ușor umezită, fără săruri – ex. pereți exteriori la ploaie) până la XF4 (beton saturat cu apă și expus direct la săruri de dezgheț – cazul celor mai expuse zone, precum suprafețele orizontale ale căilor rutiere tratate cu sare) [7].
- XA (atac chimic): medii cu substanțe chimice agresive pentru matricea de ciment. Subclasele XA1, XA2, XA3 corespund agresivității chimice crescânde (slabă, moderată, intensă) din soluri sau ape subterane cu sulfatați, ape acide, deșeuri industriale, etc. Betonul în aceste medii riscă disoluția hidroxizilor sau formarea de compuși expansivi (ex. etringită) ce cauzează fisurare.
- XM (uzură mecanică): medii unde betonul este supus abraziunii sau impactului mecanic. De exemplu, XM1 indică o solicitare moderată la uzură (cum ar fi trafic de vehicule cu anvelope pe o placă industrială), în timp ce XM3 reprezintă solicitare foarte intensă (trafic cu roți metalice, șenile, șocuri repetate) [7].

Mai mult, un element poate fi simultan expus la mai multe acțiuni ale mediului, deci va încadra într-o combinație de clase de expunere. De pildă, un pod rutier în climat temperat va fi încadrat, de obicei, concomitent în clasele XC (pentru carbonatare în aer liber), XD (dacă se utilizează sare de deszăpezire) și XF (dacă temperatura scade sub-0°C iarna și betonul poate reține apă). Clasificarea corectă a mediului de expunere este esențială deoarece stă la baza cerințelor de proiectare durabilă impuse de coduri: acestea prevăd valori limită pentru compoziția betonului și detalii constructive în funcție de clasa de expunere, cu scopul de a asigura durabilitatea. Astfel, pentru medii mai agresive se cere un beton de calitate superioară (clasă de rezistență mai ridicată, raport apă/ciment limitat, aditivi speciali, grad de compactare atent controlat) și o acoperire minimă a armăturilor mai mare. De exemplu, pentru clasa de expunere severă XD3, normele recomandă o clasă de beton cel puțin C35/45 și un raport maxim apă/ciment de 0,45, tocmai pentru a obține un beton cu porozitate scăzută și rezistență sporită la pătrunderea clorurilor [1][8]. Conform lui Neville [4], un raport apă/ciment redus contribuie semnificativ la creșterea durabilității betonului expus la îngheț și la pătrunderea clorurilor. Respectarea acestor cerințe (precum și a altora, de tipul conținut minim de ciment, aer oclus pentru clasele XF, utilizarea unui ciment rezistent la sulfatați pentru XA etc.) este obligatorie la proiectarea și execuția podurilor din beton armat moderne, conform prevederilor Eurocod 2 și ale normativelor naționale în vigoare.

2. Studiu de caz: Podul de încrucișare pe Autostrada Sibiu–Pitești, Lotul 5, peste DJ704H

Pentru a ilustra concret influența mediului asupra durabilității, se analizează cazul podului de încrucișare de pe Autostrada A1 Sibiu–Pitești, Lotul 5, peste DJ704H. Acest obiect este un pod rutier situat în zona de șes subcarpatică a județului Argeș, parte din tronsonul Curtea de Argeș – Pitești al autostrăzii. Suprastructura podului este reprezentată dintr-o grindă continuă cu 3 deschideri, având două reazeme intermediare (pile) și culee la extremități. Deschiderea centrală (deasupra drumului județean DJ704H) are deschiderea de 27 m, asigurând gabaritul necesar trecerii pe sub autostradă, iar deschiderile laterale sunt simetrice, având deschiderea de 21 m, rezultând un sistem static continuu pe trei travee. Suprastructura este realizată din beton armat precomprimat, din câte 30 grinzi prefabricate precomprimate solidarizate cu placă monolită de beton armat și anetretoaze pe pile și pe culee. Alegerea unei grinzi continue (față de grinzi simple) aduce avantaje structurale (momente mai mici în câmp și deformații reduse).

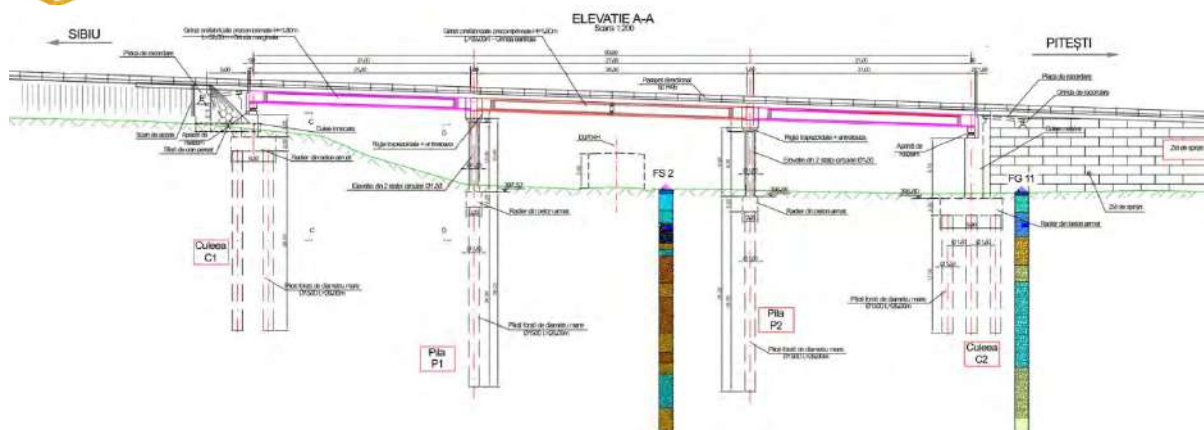


Figura 8. Elevație pod

Condițiile de mediu specifice amplasamentului. Podul se află într-o zonă cu climat continental moderat, caracterizat prin veri calde și ierni reci. Temperaturile scad sub-0°C iarna, ceea ce înseamnă cicluri frecvente de îngheț-dezgheț, uneori însoțite de depunerea zăpezii și formarea poleiului. Precipitațiile anuale sunt moderate, cu ploi abundente primăvara și toamna. Iarna, pe Autostrada A1 și pe drumul DJ704H se aplică săruri de dezgheț (clorură de sodiu sau clorură de calciu) pentru combaterea gheții, o practică standard de întreținere rutieră. De asemenea, în apropiere curenții de aer pot transporta particule fine de praf și noxe de la traficul intens de pe autostradă. Toate aceste elemente definesc un mediu potențial agresiv pentru structura podului, care trebuie luat în considerare la proiectare. În urma investigațiilor geotehnice s-a stabilit că pământul din amplasamentul podului are în compoziție ioni de sulfat, (SO₄), 2400mg/kg.

Încadrarea în clase de expunere. Având în vedere cele de mai sus, elementele podului de încrucișare se încadrează în mai multe clase de expunere conform SR EN 206-1 [1]. Mai departe, vom analiza fiecare element structural al podului prezentat și le vom încadra în clasa de expunere specifică.

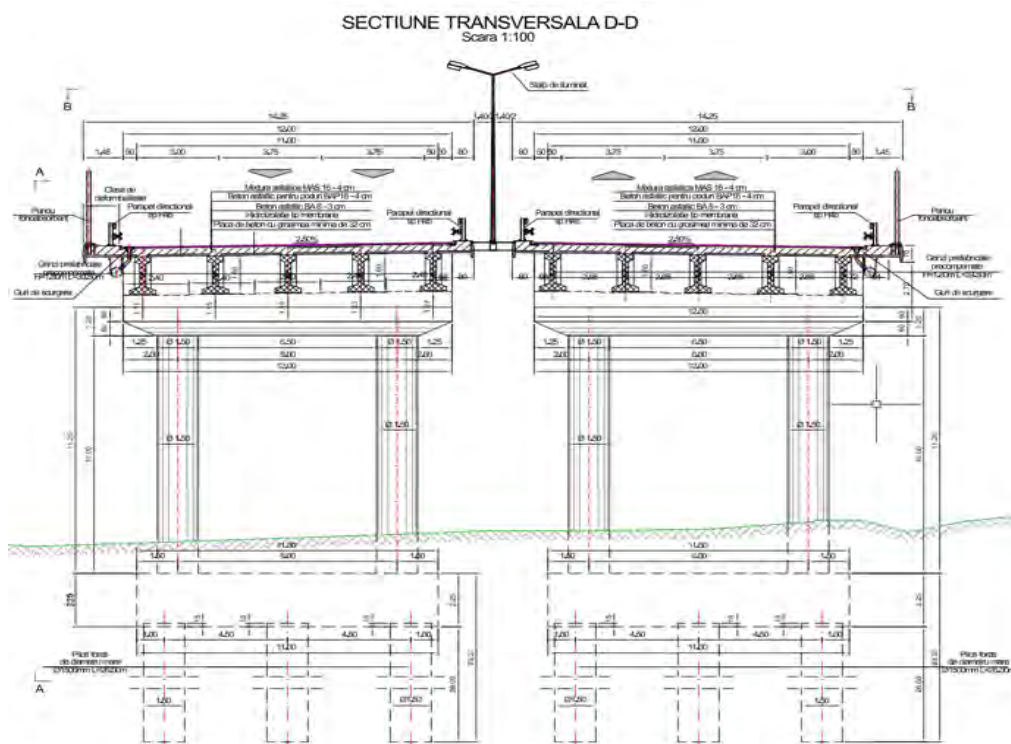


Figura 9. Secțiune transversală pod



2.1 Infrastructură

Piloți forai (fundăția pe piloți de 26 m) – Fiind complet îngropați în sol și în contact permanent cu pânza freatică, piloții se află într-un mediu permanent umed. Astfel, pentru coroziunea armăturilor prin carbonatare se încadrează în clasa XC2, corespunzătoare betonului aflat „umed, rareori uscat” (cum este cazul fundățiilor aflate sub nivelul apei subterane). De asemenea, solul și apa subterană din zona Argeș au un conținut moderat de sulfai, ceea ce impune clasificarea în clasa XA1 (agresivitate chimică slabă din sulfai) pentru a preveni atacul sulfaiilor asupra betonului. Piloții nefiind expuși la cicluri îngheț-dezgheț de la suprafață sau la cloruri de dezgheț din trafic, clasele XF și XD nu se aplică în mod semnificativ în cazul lor.

Radierul (blocul de coronament al piloților) – Este elementul de fundăție ce leagă piloții, situat sub cota terenului sau la nivelul inferior al infrastructurii. Radierul este în contact direct cu solul umed și eventual cu apa subterană, ceea ce înseamnă că betonul este menținut într-o stare de umiditate constantă. Din acest motiv, se încadrează în clasa XC2 (mediu umed, rareori uscat, specific elementelor de fundăție). În plus, datorită prezenței sulfaiilor în sol, betonul radierului va fi încadrat în clasa XA1 (agresivitate chimică moderată din soluri cu sulfai), similar piloților forai. Fiind îngropat, radierul nu este expus direct condițiilor atmosferice de îngheț sau la acțiunea sărurilor de dezgheț, deci clasele de îngheț-dezgheț (XF) și de cloruri (XD) nu sunt relevante pentru acest element în condițiile date.

Elevația pilei – Reprezintă partea verticală a infrastructurii, deasupra nivelului terenului, expusă mediului exterior. Pila este expusă la aer, ploii și cicluri de umezire/uscăre, deci pentru risc de coroziune prin carbonatare se încadrează în clasa XC4, corespunzând unui mediu cu „alternanță umiditate-uscăre” (specific suprafețelor exterioare periodic ude și uscate). Având în vedere utilizarea sărurilor de dezgheț pe carosabil, pilele vor fi expuse și la cloruri transportate de aerosoli sau stropire ocazională provenite de la traficul rutier. Astfel, armăturile pilei sunt supuse riscului de coroziune din cloruri, motiv pentru care elementul se încadrează în clasa XD3 (mediu cu alternanță umezire-uscărea în prezența clorurilor de la dezgheț – exemplu tipic: elemente de pod expuse stropirii cu apă sărată). Totodată, pila fiind un element vertical expus la intemperii, va suferi cicluri de îngheț-dezgheț. În absența agenților de dezgheț, suprafețele verticale ar fi încadrate în XF1; însă aici, din cauza aerosolilor sărați și posibilelor depuneri de sare, se aplică clasa XF2 (îngheț-dezgheț pe suprafețe verticale umezite moderat și expuse la săruri de dezgheț vehiculate de trafic). În concluzie, pentru pile se iau măsuri aferente unui mediu XC4, XD3, XF2 (carbonatare exterioară, cloruri de trafic, îngheț cu sare), asigurând protecția necesară armăturilor. Clasa XA1 nu este necesară aici, deoarece pila de pod nu mai este în contact direct cu solul agresiv (partea inferioară fiind protejată de radier).

Bancheta cuzinețelor – Este placa sau masa din beton armat pe care se sprijină aparatele de reazem. Acest element are suprafața superioară orizontală expusă direct infiltrațiilor de apă și sare de la rostul de dilatație și de la scurgerile de pe carosabil. Prin urmare, bancheta culeei este supusă unui risc sever de coroziune. Pentru carbonatare, condițiile de umezire frecventă urmată de uscăre o încadrează în clasa XC4 (mediul exterior cu alternanță umezeală-uscăre). În ceea ce privește clorurile, bancheta este direct expusă apei contaminate cu săruri de pe carosabil (mai ales iarna la dezgheț), deci se încadrează în clasa XD3, aceasta reprezentând situația de contact direct cu agenți de dezgheț și uscăre alternantă. De asemenea, bancheta culeei suportă acumulări de apă care pot îngheța; în combinație cu sarea depusă, aceasta constituie mediul de îngheț-dezgheț cel mai sever. Astfel, se atribuie clasa XF4 pentru acest element, întrucât corespunde „saturării puternice cu apă cu agenți de dezgheț, urmată de îngheț” – cazul suprafețelor orizontale de beton (platforme de reazem) expuse direct la ploaie/apă cu sare și îngheț. În concluzie, reazemul culeei va fi proiectat pentru condițiile combinate XC4, XD3, XF4, asigurând durabilitatea betonului și a armăturilor în acest mediu foarte agresiv. (Partea frontală verticală a culeei, sub banchetă, are expunere similară pilelor – exterior cu ploii și posibil stropiri cu sare – deci se apropie și ea de clasele XC4/XD3/XF2, însă porțiunea inferioară a culeei aflată în contact cu solul ar intra și în XA1. Aceste aspecte sunt gestionate prin hidroizolația culeei și betoane de calitate adecvată.)

2.2 Suprastructură

Grinzile prefabricate (bulbul și inima grinzii) – Grinzile precomprimate ale tablierului (atât talpa inferioară „bulb” cât și nervura centrală „inima”) se află sub placa de suprabetonare, în exterior, dar oarecum protejate parțial de expunerea directă la precipitații. Totuși, ele sunt într-un mediu exterior,



cu circulație a aerului, astfel încât are loc carbonatarea betonului în timp; fiind expuse la variații de umiditate (umezire prin condens sau infiltrații minore și uscare), se încadrează în clasa XC4 (mediul exterior cu alternanță umezeală-uscare) – deși o mare parte a suprafețelor este relativ adăpostită, zonele de la capetele grinzilor și marginile tablierului pot fi udate de ploi sau scurgeri. În sezonul rece, grinzile pot fi contaminate cu cloruri provenite din aerosoli de la traficul rutier (apa pulverizată cu sare de pe carosabil se poate depune pe suprafețele inferioare și laterale ale grinzilor, mai ales în zonele marginale ale podului). Această expunere la săruri impune clasa XD3 pentru grinzi, deoarece avem umezire periodică și uscare în prezența sărurilor de dezgheț (chiar dacă nu la fel de intens ca pe suprafața carosabilă, este suficient pentru a provoca coroziunea armăturilor dacă betonul nu este protejat corespunzător). Referitor la îngheț-dezgheț, grinzile fiind elemente verticale și orizontale expuse în aer liber, pot suferi cicluri de îngheț atunci când sunt umectate de apă (de exemplu, apă de condens sau stropi). În absența sării, riscul ar fi moderat (XF1 pentru suprafețe verticale cu umezire moderată); însă din cauza prezenței clorurilor depuse, se consideră clasa XF2 și pentru grinzi (cicluri îngheț-dezgheț pe suprafețe relativ verticale sau sub orizontale, cu umiditate moderată și expunere la sare de dezgheț). În concluzie, pentru grinzi se vor considera combinații de clase XC4, XD3, XF2, asigurându-se astfel că betonul are o compoziție și un nivel de protecție (acoperire cu beton, impermeabilitate) adecvate împotriva carbonatării, clorurilor și înghețului. Clasele XA nu sunt aplicabile (grinzile nu sunt în contact cu solul), iar o clasă de uzură mecanică (XM) nu este necesară, deoarece pe suprafața grinzilor nu se exercită trafic sau abraziune directă.

Platelajul podului – Placa din beton armat monolit care constituie platelajul este elementul de suprastructură cel mai expus acțiunilor care provin din întreținerea căii. Partea superioară a plăcii se află imediat sub sistemul rutier (hidroizolație și stratul de asphalt), fiind expusă în mod indirect apei și sărurilor (prin eventuale infiltrații, fisuri în hidroizolație, zone de scurgere la rosturi și rigole). Laturile și partea inferioară a plăcii sunt expuse aerului exterior sub tablier. În aceste condiții, carbonatarea poate avansa dinspre intradosul plăcii (partea de dedesubt, care este în aer liber), motiv pentru care betonul plăcii este încadrat în clasa XC4 (mediul exterior cu variații de umiditate, deoarece intradosul și zonele laterale ale plăcii pot fi periodic umede de la condens sau infiltrații și apoi uscate). Principala amenințare pentru durabilitatea plăcii o reprezintă clorurile din sărurile de dezgheț folosite pe carosabil: apa cu sare poate pătrunde prin eventuale fisuri ale hidroizolației sau la marginile plăcii (zona bordurilor și a rosturilor), ajungând la armături. Astfel, placa trebuie considerată în clasa XD3, corespunzător umezirii și uscării alternative în prezența clorurilor de dezgheț (specific suprafețelor de pod pe care se folosesc săruri). În plus, placa de suprabetonare suportă cicluri de îngheț-dezgheț severe pe partea superioară: temperatura scade sub 0°C iarna, iar apa provenită din precipitații sau topirea zăpezii (amestecată cu sare) poate îngheța și dezgheța în porii betonului (mai ales la marginile plăcii sau dacă hidroizolația este compromisă în zone). Deoarece acest beton este în contact cu apă bogată în agenți de dezgheț și se confruntă cu îngheț repetat, îl încadrăm în clasa XF4 (cicluri îngheț-dezgheț cu beton saturat de apă și sare, tipic pentru suprafețele orizontale de drum și pod expuse la dezgheț chimic). Combinarea acestor clase (XC4, XD3, XF4) dictează utilizarea unui beton de calitate superioară (ciment cu adaos puzzolanic sau rezistent la cloruri, raport apă/ciment scăzut, adaos de aer reținut pentru îngheț) și a unei acoperiri suficiente a armăturilor, precum și protecții (hidroizolație) pentru a îndeplini cerințele de durabilitate. Clasa XA1 nu este pertinentă pentru placa carosabilă (nefiind în contact cu sol natural), iar o clasă de uzură mecanică (XM) se consideră separat la nivelul stratului de uzură (asfaltul) – betonul structural al plăcii fiind protejat de acesta, nu este direct supus abraziunii traficului.

Bordurile (elementele marginale ale parapetelor și trotuarelor) – Bordurile din beton de pe marginile podului (la marginea trotuarului sau a carosabilului) sunt printre cele mai expuse subelemente. Acestea se află în zona de stropire directă cu apă și sare provenite de la roțile vehiculelor și în contact direct cu atmosfera exterioară, suferind frecvent umezire prin ploi/apă cu sare urmată de uscare. Astfel, din punct de vedere al carbonatării, bordurile se încadrează în clasa XC4 (mediul exterior cu alternanță de umiditate și uscare), fiind permanent expuse aerului și ocazional saturate de apă. Concentrarea sărurilor de dezgheț pe aceste elemente (prin stropire directă și depunere de aerosoli) face ca armăturile din borduri să fie supuse unui risc ridicat de coroziune clorurică, deci se aplică clasa XD3 (contact frecvent cu cloruri din dezgheț, urmat de perioade de uscare). În plus, bordurile trec prin cicluri intense de îngheț-dezgheț iarna, fiind udate de ploaie sau zăpadă topită și apoi expuse înghețului nocturn; în



prezența sării, acest fapt corespunde clasei XF4 (îngheț-dezgheț sever pe beton saturat cu apă cu agenți de dezgheț – specific suprafețelor expuse direct stropirii cu sare și înghețului). Din cauza acestor condiții dure, bordurile trebuie realizate din beton foarte durabil (de exemplu, cu aer intrat și aditivi hidrofobizanți, cu acoperire mare a armăturii și posibil protejate cu tratamente de suprafață). Uzura mecanică este și ea un factor: bordurile pot suferi lovituri și abraziuni de la lamele plugurilor de zăpadă sau de la roțile vehiculelor (în caz de impact ușor). Prin urmare, se poate considera clasa de expunere XM1 (solicitare moderată la uzură) pentru borduri, având în vedere frecarea/impactul ocazional cu echipamente de dezăpezire și traficul adiacent. În concluzie, bordurile sunt încadrate în clasele XC4, XD3, XF4 (mediu exterior cu carbonatare, cloruri de la sare, îngheț cu sare) și, adițional, necesită măsuri de protecție la uzură mecanică (XM1), fiind unele dintre cele mai expuse elemente ale podului.

Trotuarele (calea pietonală pe pod) – Trotuarele de pe pod constau din dale sau console din beton armat adiacente bordurilor, ce suportă traficul pietonal (sau ocazional vehicule de întreținere ușoare). Aceste suprafețe orizontale sunt expuse direct la precipitații (umezire) și la cicluri de îngheț, așa cum se întâmplă în climatul local. În plus, ele pot fi contaminate de săruri de dezgheț atât prin stropire laterală de la carosabil, cât și prin material antiderapant aruncat pe trotuar dacă se asigură dezăpezirea acestuia. Astfel, din perspectiva carbonatării, betonul trotuarelor se află în clasa XC4 (mediul exterior, cu alternanțe de umezire și uscare). Pentru coroziunea din cloruri, se atribuie clasa XD3, deoarece trotuarele sunt expuse la umezire periodică cu apă sărată urmată de uscare, similar carosabilului (chiar dacă cantitatea de sare poate fi mai redusă, riscul există). Referitor la îngheț-dezgheț, trotuarul este o suprafață orizontală pe care se poate acumula apă (lapoviță, zăpadă topită) ce apoi îngheață; în prezența sării de la dezgheț, condițiile corespund clasei XF4 (îngheț-dezgheț pe suprafețe orizontale saturate cu apă și agenți de dezgheț – cum ar fi trotuare și acostamente expuse). Prin urmare, trotuarele podului trebuie proiectate ținând cont de clasele combinate XC4, XD3, XF4, folosindu-se beton rezistent la îngheț și la penetrarea clorurilor, similar cu cel al plăcii de suprabetonare. În general, uzura mecanică (XM) pe trotuarele podului este redusă – traficul pietonal generează o uzură nesemnificativă comparativ cu traficul auto, astfel că nu se impune o clasă specială de abraziune (se poate considera totuși rezistența la uzură dacă trotuarul ar fi parcurs de utilaje de întreținere sau vehicule ușoare, dar în mod obișnuit acest aspect nu este critic).

Având această încadrare multiplă (XC4, XD3, XF4, eventual XA1), proiectanții au trebuit să adopte o serie de soluții tehnice pentru asigurarea unei durabilități corespunzătoare de 100 de ani: s-a propus un beton de calitate superioară (clasa minimă C40/50 la suprastructură și C35/45 la infrastructură, cu ciment cu adaosuri minerale pentru densificare și căldură redusă), cu un raport A/C în jur de 0,40, aditivat cu plastifianți și aeranți (pentru rezistență la îngheț). Literatura de specialitate susține utilizarea aeranților pentru îmbunătățirea rezistenței la cicluri îngheț-dezgheț, în special în condiții de expunere XF4 [5]. Armăturile au acoperiri de minim 45-50 mm la elementele exterioare expuse la cloruri, conform recomandărilor pentru clasa XD3/XF4. De asemenea, s-a aplicat o membrană hidroizolantă pe placa podului, sub stratul de asphalt, pentru a preveni infiltrarea apei. Rosturile de dilatație au fost proiectate etanș și s-au instalat sisteme de colectare a apelor pluviale pe pod, astfel încât apa (sărată) să nu băltească pe suprafețe și să fie evacuată rapid. La nivelul pilelor și al culeilor, s-au prevăzut protecții superficiale (de tip mortar de ciment hidrofob sau vopsea protectoare, acolo unde a fost necesar, de pildă pe suprafețele exterioare direct expuse intemperiilor) pentru a crește rezistența la carbonatare și la pătrunderea agenților agresivi. Toate aceste măsuri sunt conforme cu principiile de proiectare durabilă și cu normele (Eurocod 2, NE 012/2022 etc.) [2][3], menite să asigure că podul va atinge o durată de viață de proiect de cel puțin 100 de ani fără reparații majore.

3. Concluzii

Durabilitatea podurilor din beton armat este puternic influențată de condițiile de mediu. Încadrarea corectă în clase de expunere precum XC4, XD3 și XF4 permite adoptarea unor soluții tehnice adecvate, cum ar fi betoane performante, protecții împotriva clorurilor și detalii constructive adaptate. Studiul de caz al podului de pe Autostrada Sibiu–Pitești demonstrează că anticiparea acțiunilor mediului și aplicarea măsurilor de protecție sunt esențiale încă din faza de proiectare. Conform Eurocod 2, durabilitatea trebuie tratată la fel de riguros ca rezistența structurală, pentru a asigura o exploatare sigură și economică pe termen lung [2].



În concluzie, mediul înconjurător poate avea o influență severă asupra podurilor din beton armat, însă printr-o abordare corectă de proiectare durabilă – care să includă clasificarea expunerii conform normelor (XC, XD, XS, XF, XA, XM), prevederea unor materiale și detalii rezistente la acele acțiuni, precum și controlul calității execuției – se pot realiza structuri reziliente, cu costuri de mentenanță scăzute și o durată lungă de viață. Durabilitatea trebuie tratată cu aceeași importanță ca rezistența structurală, pentru a asigura sustenabilitatea investiției în infrastructura rutieră pe termen lung.

BIBLIOGRAFIE

1. SR EN 206-1 [1]:2006 – Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate. ASRO, 2006.
2. SR EN 1992-1-1 [2]:2004 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. ASRO, 2004.
3. NE 012/1-2022 – Normativ privind producerea betonului și executarea lucrărilor din beton [3], beton armat și beton precomprimat. Ministerul Dezvoltării, 2022.
4. Neville [4], A.M. – Properties of Concrete, 5th Edition, Prentice Hall/Pearson, 2011.
5. Mehta [5], P.K., Monteiro, P.J.M. – Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4th Edition, McGraw-Hill, 2014.
6. Basim Al-Haddad [6], D., Jokhio, G.A. – “Durability Design Approach and Exposure Conditions in Eurocode, British Standard and ISO 13823 Standards: A Review.” Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 473, Springer, 2024, pp. 203–213.
7. Heidelberg Materials România – Aplicații tehnice CEM I 52 [7], 5 R (Buletin tehnic privind clasele de expunere și performanța betonului), 2023.
8. Cod de practică CP 012-2007 [8] – Prescripții privind realizarea betonului durabil (incluzând clasificarea mediului și cerințe de compoziție a betonului) .



RECONSTRUCȚIA TUNELELOR FERROVIARE EXISTENTE LA GABARIT DE ELECTRIFICARE

Autor

Simota D. Ștefan

Facultatea Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea UTCB, e-mail: simotastefan1@gmail.com

Îndrumător

Prof.Dr.Ing. Doru Zdrenghia

Facultatea Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea UTCB, e-mail: doru.zdrenghia@utcb.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă diferite metode de reconstrucție la gabarit de electrificare a tunelurilor de cale ferată. Lucrările de reconstrucție ca și cele de reabilitare pot fi împărțite în două categorii, după modul de influențare a circulației: refaceri sub circulație în închideri locale de linie; refaceri în închideri totale de linie. O altă posibilă clasificare a acestui gen de lucrări este după modul de atacare al lucrărilor, de la interiorul sau de la exteriorul căptușelii existente. Tunelul Runcu este un tunel de cale ferată simplă de pe linia Valea Vișeuului - Petrova, între km.3 + 682,85 - 3 + 837,45, tunel care a fost reconstruit din interior asigurând gabaritul de electrificare. În lucrare, pe lângă descrierea diferitelor metode de reconstrucție a tunelurilor, sunt prezentate: descrierea terenului în care este executat tunelul, tehnologia de execuție, tipul de secțiune ales și calculul secțiunii*

Cuvinte cheie: tunel de cale ferată, gabarit electrificare

1. Introducere

Reconstrucția tunelurilor feroviare necesită o abordare sistematică pentru a asigura siguranța structurii și continuitatea traficului. Lucrările de reconstrucție ca și cele de reabilitare pot fi împărțite în două categorii, după modul de influențare a circulației: refaceri sub circulație în închideri locale de linie; refaceri în închideri totale de linie. O altă posibilă clasificare a acestui gen de lucrări este după modul de atacare al lucrărilor, de la interiorul sau de la exteriorul căptușelii existente.

Tunelul Runcu este un tunel de cale ferată simplă de pe linia Valea Vișeuului - Petrova, între km 3 + 682,85 - 3 + 837,45, tunel care a fost reconstruit din interior asigurând gabaritul de electrificare.

Tunelul a fost realizat în formațiuni de fliș, de vârstă cretacică - paleogenă, reprezentate local printr-o alternanță de conglomerate și gresii (subordonate cantitativ conglomeratelor). Rocile prezintă accidente tectonice : falii și decroșări. Structura de rezistență (tipul de susținere) a secțiunii transversale a fost stabilită în concordanță cu tipul rocilor străbătute.

Secțiunea transversală a tunelului este alcătuită din:

- susținere primară exterioară din beton cu grosimea de 15 cm, 2 plase de armatură cu diametrul de 8 mm și ochiuri 100x100 mm și ancore betonate cu diametrul de 20 mm;
- hidroizolație intermediară din folie PHD;
- secțiune cu o căptușeală interioară din beton armat de 30 cm grosime, Figura 1.

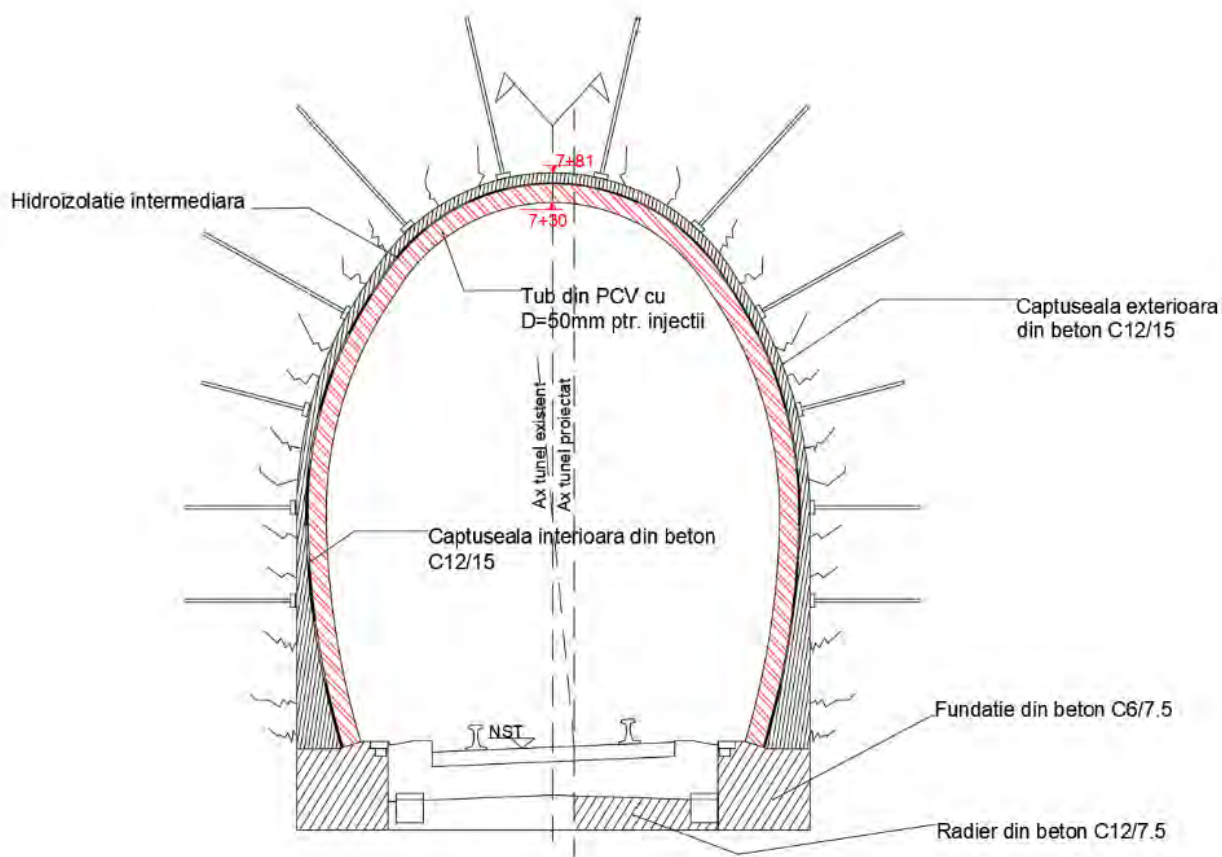


Figura 1. Secțiune transversală a tunelului

2. Fazele de Execuție

Faza I: Excavarea pe contur de pe platforma de lucru

Executarea excavării până la nașteri: excavarea se face progresiv, de la cheie spre nașteri, pentru a evita suprasolicitarea terenului.

Protecție: Aplicarea ancorelor și a plasei de sârmă pe conturul excavat.

Executarea șlițului central în etape succesive.

Progresiv cu executarea excavației la profil se montează ancorele 1 și 1' inclusiv plasa de sârmă pentru protecție.

Partea superioara a șlițului va fi tangentă la extradadosul căptușelii exterioare.

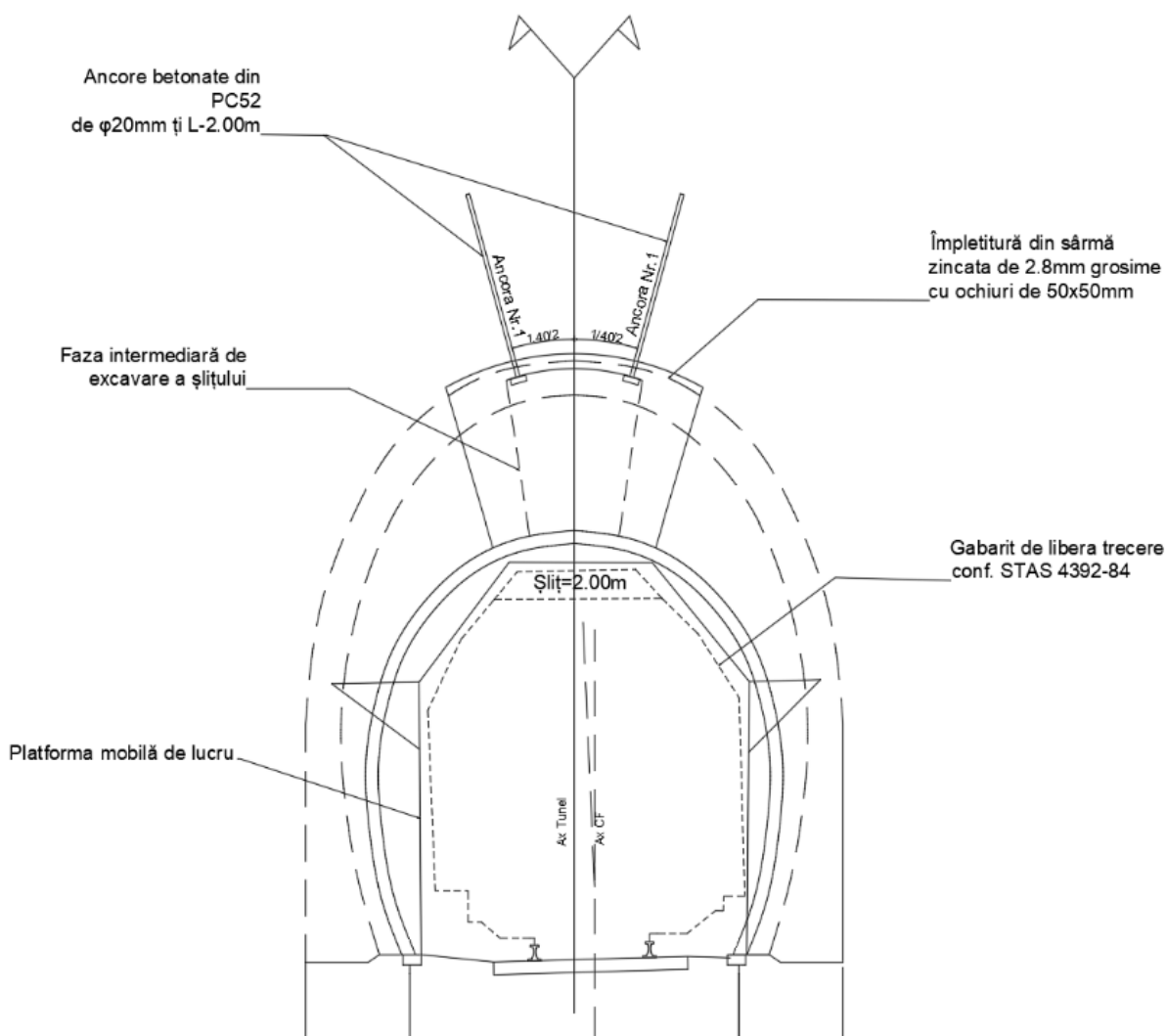


Figura 2. Faza 1 de execuție

Faza II: Excavarea picioarelor drepte și a fundațiilor

Tehnologia de excavare constă în executarea excavației pe contur în zona picioarelor drepte.

Operația se execută parțial de pe platforma mobilă de lucru, fie stând pe stanca excavată. Pe zone slabe se vor monta ancore betonate și plasă de armătură. Betonarea fundațiilor.

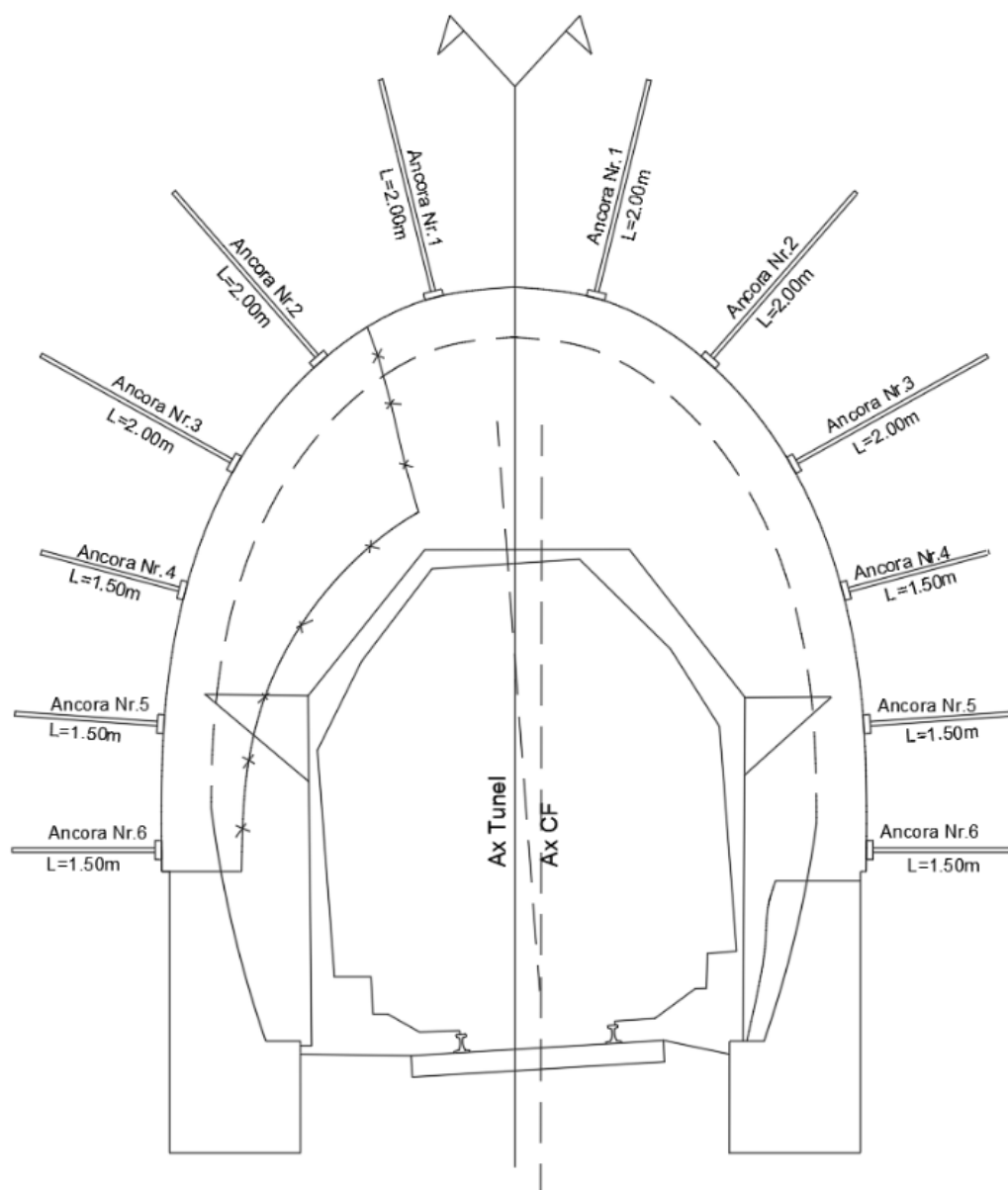


Figura 3. Faza 2 de execuție

Faza III-IV: Montarea cintrelor și betonarea căptușelii

Montarea cintrelor pe inele de 6.00m, necesare susținerii cofrajului căptușelii exterioare. Betonarea căptușelii exterioare începând cu picioarele drepte, apoi bolta.

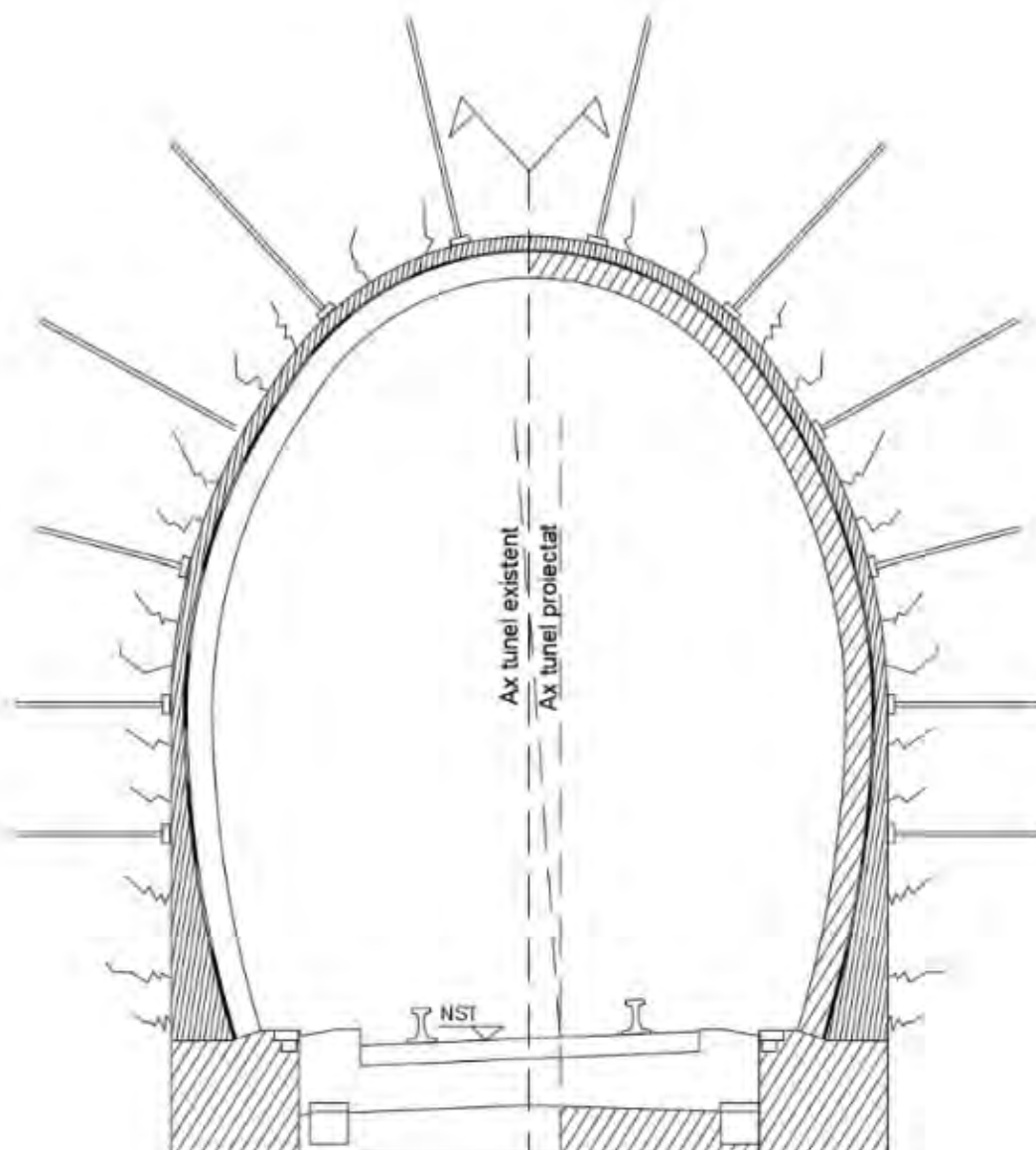


Figura 4. Fazele III-IV de execuție

Faza V-VI: Finisaje și închidere

Executarea radierului și a canalelor, executarea hidroizolației intermediare, executarea căptușelii interioare și montarea plaselor de armatură.

Montarea cintrelor pe inele de 6.00m necesare susținerii cofrajului căptușelii interioare.

Betonarea căptușelii (în zona bolții se montează țevi din PVC D=68mm pentru injecții).

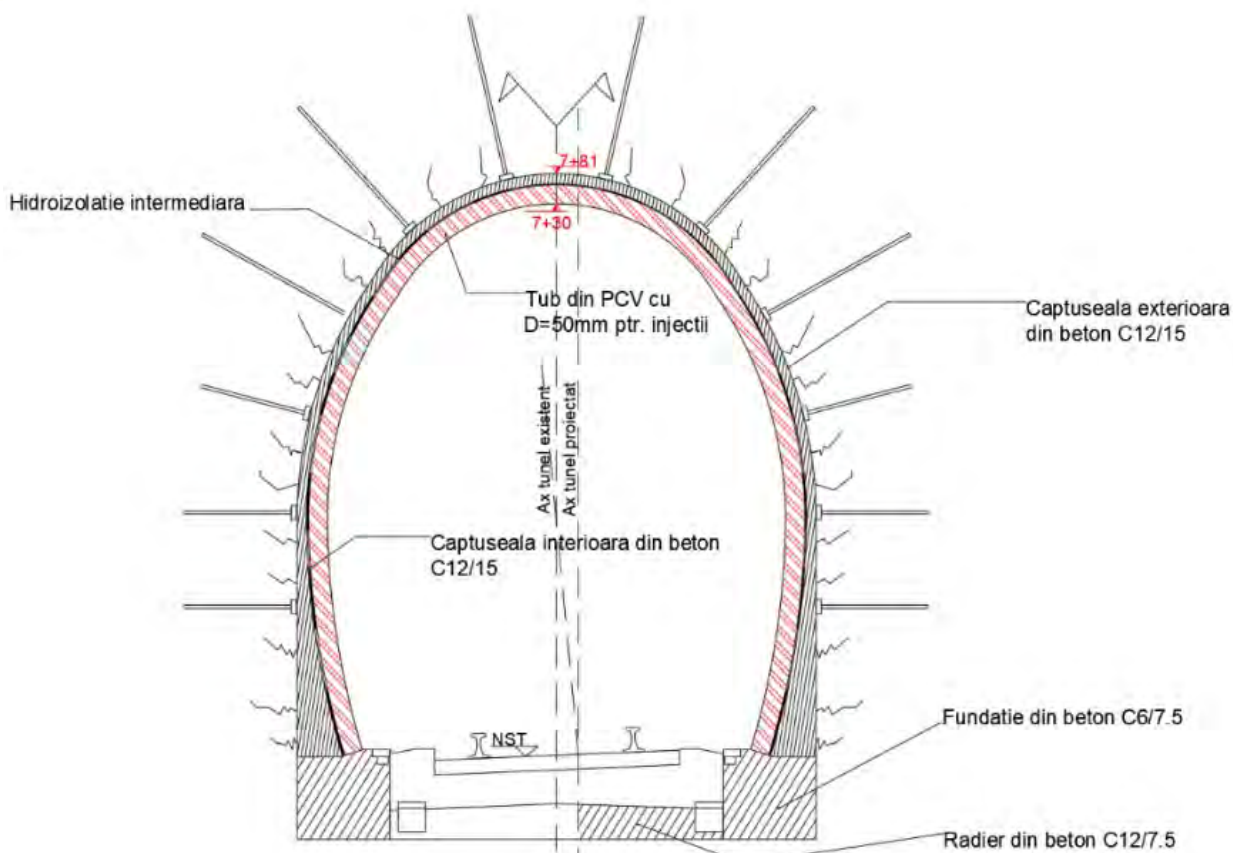


Fig.5 Fazele V-VI de execuție

Lucrări de finisare. Montarea podețelor provizorii tip U5C. Executarea excavațiilor pentru realizarea radierului și a canalelor de evacuare a apei. Montarea cofrajelor și betonarea radierului. Injectarea mortarului în zona cheii a interspațiului rămas între hidroizolație și extradusul căptușelii interioare. (operația de injectare se realizează prin tuburile montate în căptușeala interioară). Demontarea cintrelor și a podețelor provizorii. Montarea capacelor la canalele și căminele de scurgere a apei.

Pentru validarea și verificarea secțiunii au fost realizate calcule numerice cu ajutorul unui program de calcul cu elemente finite.

Modelul adoptat este grinda poligonală pe reazeme elastice.

Metoda grinzii poligonale aparține modelului unidimensional. Modelul unidimensional consideră căptușeala o bară curbă, iar încărcările se determină separat cu diverse teorii, dintre care mai cunoscute și utilizate sunt cele ale lui Protodiakonov și Terzaghi.

Metoda grinzii poligonale pe reazeme elastice ia în considerare conlucrarea structură-teren cu teoria lui Winkler ($\sigma = k \times y$, unde k =coeficient de pat, iar y =deplasare).

Conlucrarea structurii cu terenul este modelată prin niște penduli care nu preiau decât compresiune. Calculul realizat se referă la căptușeala interioară a tunelului.

Caracteristicile terenului

- greutatea specifică aparentă	- $\gamma = 2,30 \text{ g/cm}^3$
- unghi de frecare internă	- $\varphi = 55^\circ$
- coeziunea	- $c = 1,5 \text{ kgf/cm}^2$
- rezistența la compresiune	- $R_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$
- modulul de elasticitate static	- $E_s = 7 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
- modulul de elasticitate dinamic	- $E_d = 7,9 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
- coeficientul de tărie al rocii	- $f = 3,00$
- coeficientul de pat	- $k = 200 \text{ daN/cm}^3$



Diagramele de eforturi obținute în urma calculelor:

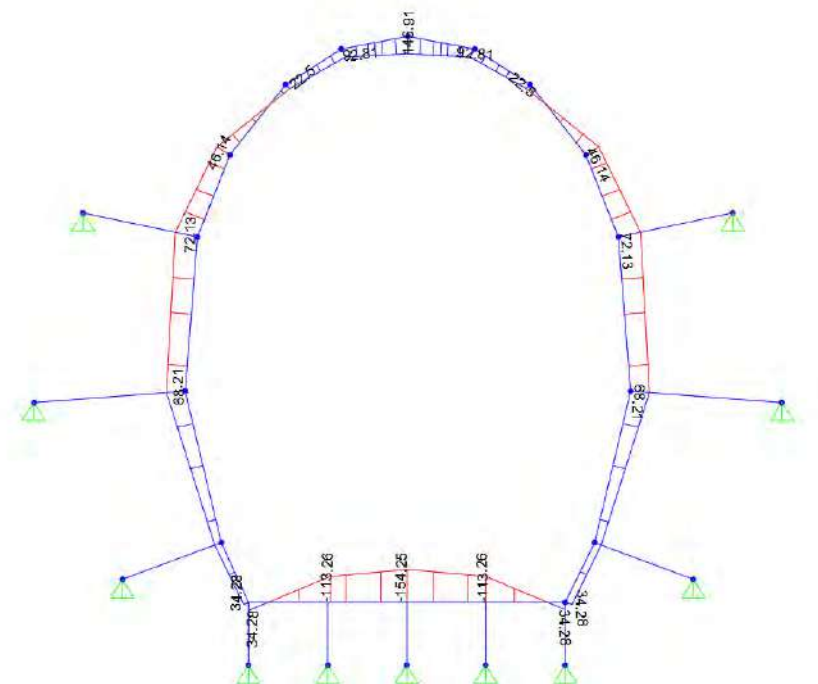


Figura 6. Diagrama M (kNm)

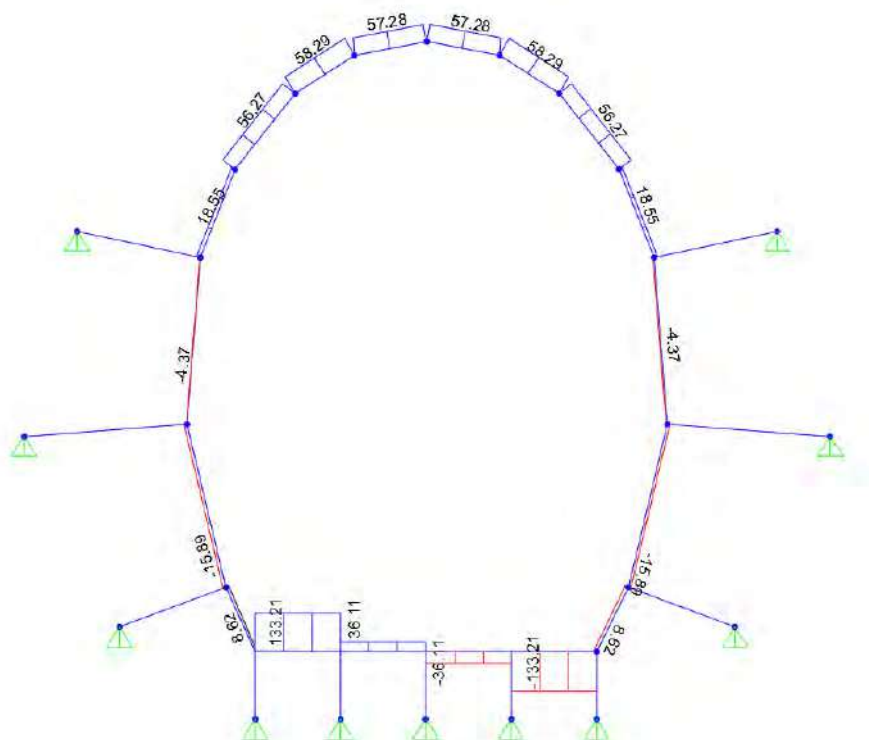


Figura 7. Diagrama T (kN)





PERFORMANȚE PRIN EȘEC. ACCIDENTELE ȘI INCIDENTE LA STRUCTURI HIDROTEHNICE

Autori

Ionela .B. Coțe¹, Antonia Sălăgean²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, ionela_bianca03@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, antoniasalagean2108@yahoo.com

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Lucian Ștefan

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, lucian.stefan@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: Barajele sunt construcții complexe, cu rol esențial în societatea modernă, fiind utilizate pentru producerea energiei hidroelectrice, controlul inundațiilor, irigații, alimentarea cu apă și agrement. Frumusețea construcției ascunde în spatele său un pericol major, prăbușirea, care apare rar, dar apariția ei are consecințe severe. Această lucrare prezintă câteva accidente importante din istoria barajelor, cu scopul de a evidenția cauzele comune, consecințele și mai ales lecțiile învățate. Printre acestea se numără accidentele de la St. Francis (SUA, 1928) și Vajont (Italia, 1963), precum și evenimentele de la barajul Banqiao (China, 1975) și de la barajele miniere din Brazilia (2015 și 2019). Lucrarea evidențiază faptul că accidentele la baraje au dus la schimbări majore în atenția oferită acestor tipuri de construcții și au impus dezvoltarea unor noi tehnologii de monitorizare. Metodele ingineresti de analiză și evaluare folosite în trecut precum și experiența acumulată la exploatarea acestor lucrări majore au modelat gândirea inginerilor din ziua de astăzi. Studiarea istoriei accidentelor la baraje este o componentă esențială în înțelegerea comportamentului structural care stă la baza proiectării unor lucrări sigure. Siguranța oamenilor și a mediului poate fi asigurată, atât prin evaluarea proiectelor din trecut, cât și prin monitorizarea continuă a barajelor care reprezintă o învățare constantă.

Cuvinte cheie: accidente baraje, inundații, lucrări hidrotehnice.

1. Introducere

Lucrarea prezintă o serie de accidente și incidente la construcții hidrotehnice, în special baraje. În prima parte se evidențiază întâmplări neașteptate la baraje din Franța, Italia, și S.U.A., în cea de-a doua se face trecerea la cele din România. Istoria accidentelor și incidentelor la construcții reprezintă o lecție valoroasă pentru ingineri deoarece aceasta scoate la iveală anumite vulnerabilități pe care structurile le au, în funcție de tipul acestora dar și fenomene complexe care nu au putut fi anticipate anterior. Lecțiile învățate în urma unor greșeli din trecut sunt esențiale pentru a asigura siguranța lucrărilor hidrotehnice, protecție asupra vieților omenești și mediului înconjurător. Cunoașterea greșelilor și a cauzelor care au dus la accidente în trecut oferă oportunitatea de a preveni repetarea lor.

2. Baraje ale lumii

2.1 Barajul Malpasset (Franța)

Barajul Malpasset din Franța a fost un baraj de tip arcuit, situat pe râul Reyran. Lucrările de construcție ale barajului au avut loc între anii 1951-1952, iar în exploatare a fost dat în anul 1954. Avea o înălțime de 66,5 m, 222 m lungime la coronament și 48 000 m³ volum de beton.

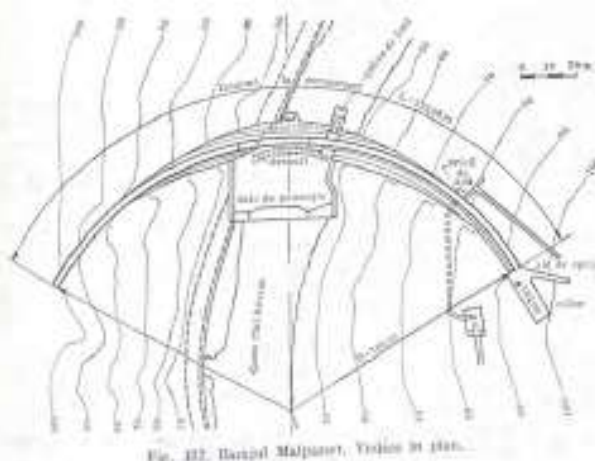


Figura 1. Barajul Malpaset. Vedere în plan [1].

Împingerea laterală a arcului la coronament era preluată de o culee de 15 m înălțime, pe malul stâng. Datorită grosimii la coronament de 1.50 m și 6.79 m la bază, a fost considerat drept cel mai zvelt baraj din lume, în momentul construcției sale.

Barajul a fost calculat cu metoda sarcinilor de probă, rezultatele fiind confirmate în urma unor calcule mult mai exacte, efectuate după ruperea barajului. De asemenea, cantitatea de fluid de injecții utilizată la realizarea voalului de etanșare a confirmat permeabilitatea foarte redusă a rocilor. Studiile de teren au fost efectuate între anii 1946-1949, barajul urma să fie amplasat pe un masiv cristalin, alcătuit din gnaise. În anul 1951, când proiectul a fost aprobat, a fost ales un alt amplasament, la cca 200 m distanță de amplasamentul vechi. Noile studii de teren au fost relativ sumare, constând în principal din 2 foraje în albie și câteva analize adiționale.

Accidentul s-a întâmplat relativ brusc, fără semne evidente că ar fi ceva în neregulă cu barajul. În apropierea barajului, la cca 300 m depărtare de baraj, au avut loc câteva explozii necesare pentru construcția autostrăzii Esterel. Înainte de ruperea barajului, a fost o săptămână ploioasă în care s-a identificat un fir de apă pe versantul drept, la aproximativ 20 m sub coronament. Acest fenomen nu a fost luat în considerare de către cercetători, dar e important de menționat că zona aceea a fost singura neafectată în urma căderii barajului. În ziua de 2 decembrie 1959, nivelul apei din acumulare a ajuns la 30 de cm sub cota deversorului, ultimii 4 m fiind umpluți rapid în doar 3 ore.

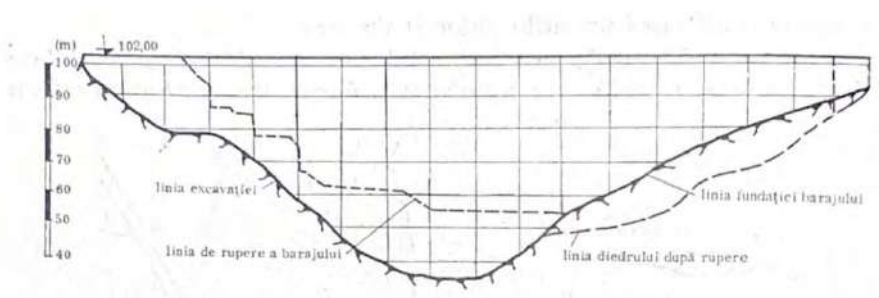


Figura 2. Barajul Malpaset. Vedere în aval [1].

După cedarea barajului au fost luate în considerare mai multe cauze care ar fi provocat accidentul, precum: acțiunile seismice, consecințe ale exploziilor efectuate pentru construcția autostrăzii Esterel, funcționarea golirilor și calitatea betonului, greșeli de proiectare, cauze de natură geologică.

În urma cercetărilor făcute după ruperea barajului Malpaset, cercetătorii au ajuns la concluzia că problema a fost mai mult de domeniul mecanicii rocilor, decât al geologiei convenționale. Versantul stâng a cedat din cauza presiunii interstițiale din rocă, fenomen produs datorită particularităților rocii. Acest tip de rocă prezintă discontinuități de toate tipurile. Malul drept era format din rocă șistoasă în partea inferioară și rocă mai masivă la partea superioară. Roca a barat complet trecerea apei prin infiltrare în condițiile în care împingerea barajului în mal era tot mai mare datorată creșterii bruște a nivelului apei. Presiunea apei a crescut rapid, până când a produs o deplasare a malului stâng care a cedat complet.

Accidentul de la Malpasset a scos în evidență un fenomen necunoscut la aceea dată: oprirea completă a infiltrațiilor poate fi extrem de periculoasă fiind de preferat acceptarea infiltrațiilor controlate în structură.

2.2 Lacul de acumulare Vajont (Italia)

Barajul Vajont este de tip arc și rost perimetral. Barajul are înălțimea de 265,5 m, lungimea la coronament de 190,5 m, grosimea la bază de 22,10 m și realizează o retenție de 168 milioane de metri cubi de apă.

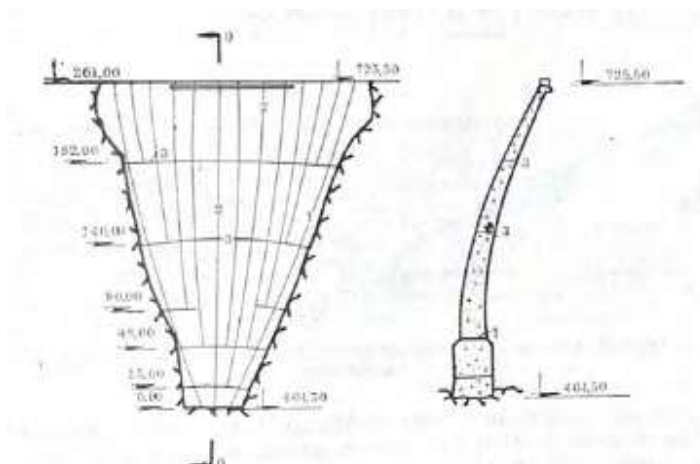


Figura 3. Barajul Vajont. Vedere din aval și secțiunea maestră [2].

La data punerii în funcțiune, în anul 1960, era cel mai înalt baraj arcuit din lume. A fost amplasat într-un defileu de calcar dolomit. Au fost identificate diferite grupe de falii minore și majore, paralele și perpendiculare față de chei. Studiile din 1928 au fost completate ulterior, în anul 1956. Destul de târziu, în anul 1959, cercetătorii au aflat conform unor studii amănunțite că există posibilitatea unei alunecări de teren a versantului stâng, în condiții puțin probabile. Elaborarea proiectului a început în anul 1920, lucrările de excavație au început în anul 1956 și betonarea în anul 1958 mai ales sub presiuni politice cunoscându-se prezența riscului de lunecare.

În seara de 9 octombrie 1963, în urma unei ploi torențiale, după o perioadă lungă de semne evidente de alunecare, o masă de cca 250 milioane m³ de apă s-a prăbușit de pe versant în lacul de acumulare, în doar 5 minute. Valul creat de alunecare a urcat brusc nivelul apei. Unda principală s-a lovit în malul drept, a deversat barajul și versantul ca un val imens, cu înălțimea de 70 m peste coronament căzând de la o distanță de aproximativ 280 m înălțime.

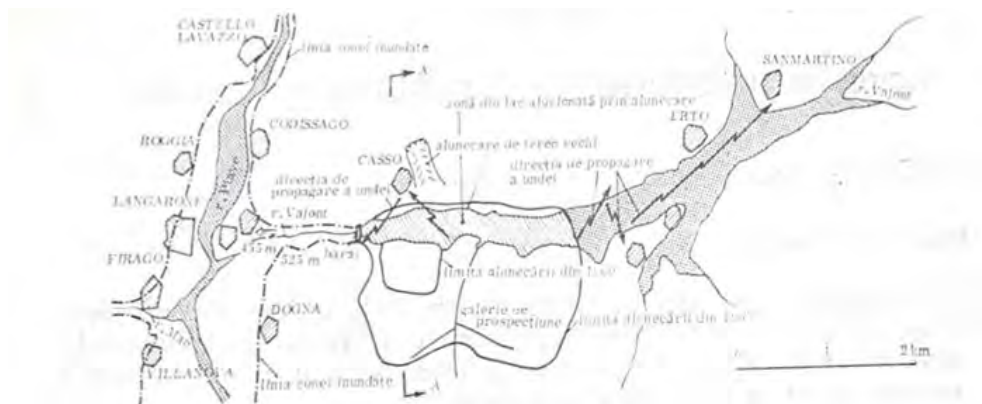


Figura 4. Barajul Vajont. Plan de situație al acumulării cu efectele alunecării de teren [2].

Analiza accidentului a confirmat observațiile studiilor inițiale care arătau că amplasamentul este necorespunzător pentru baraj. Masivele de rocă calcaroasă se sprijineau pe straturi argiloase, reprezentând astfel un risc major de alunecare de teren. În timpul contactului cu apa, argila s-a transformat într-o suprafață de alunecare, facilitând astfel mișcarea masivului stâncos.

Evenimentul extrem de trist (cca. 2000 decese) de la Vajont a arătat că implicațiile politicului trebuie obligatoriu evitate când tehnic se demonstrează că o soluție prezintă riscuri importante.

2.3 Barajul Saint Francis (S.U.A.)

Barajul Saint Francis, de greutate în arc, avea o înălțime de 63,4 m, o lățime de 4,9 m la coronament și 51,46 m la bază. Lungimea totală era de 213 m, fiind prevăzut cu un deversor și cinci conducte de evacuare. Umplerea lacului a început în martie 1926, iar în martie 1928 s-a produs ruperea barajului, după ce cu doar câteva zile înainte apa atinsese nivelul maxim.

Inițial, s-au semnalat infiltrații minore prin baraj. Debite mai mari, cu valoarea de 0,3–0,6 m³/s au fost depistate în fundații, la atingerea cotei de retenție a apei în lac. Cu 12 ore înainte de prăbușire acestea au crescut semnificativ, fără a fi considerate alarmante de către responsabilul exploatării.

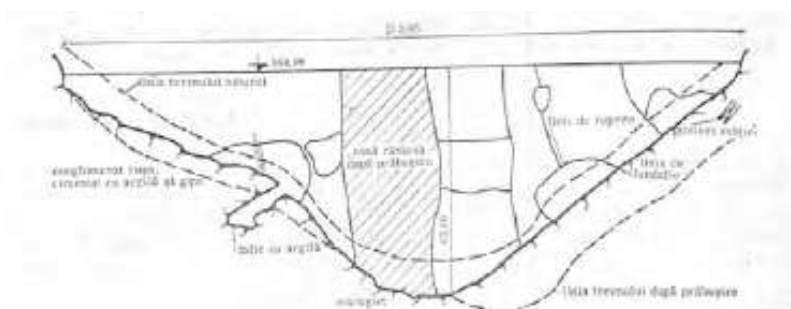


Figura 5. Barajul Saint Francis. Vedere de ansamblu, după rupere [2].

Distrugerea barajului a fost analizată de 6 comisii, concluzia principală fiind rezistența insuficientă a fundațiilor mai ales în prezența apei, care le reducea drastic rezistența; studii geotehnice incomplete care nu au evidențiat aceste probleme; lipsa unor măsuri de etanșare și de drenaj adecvate; neglijarea subpresiunii în calcule; inexistența instrucțiunilor de urmărire a comportării în timp a construcției.

Prăbușirea barajului de la Saint-Francis a redemonstrat că studiile detaliate, urmărirea comportamentului în timp și măsurile constructive sunt fundamentale la acest tip de structuri.

3. Baraje din România

3.1 Prima umplere a barajului Paltinu

Barajul Paltinu a fost executat între anii 1967-1971. Este un baraj arcuit cu o aripă de închidere parabolică pe malul stâng. Înălțimea lui ajunge la 108 m, grosimea este de 6 m la coronament și 16 m la bază, cu excepție în secțiunea centrală (22 m). Lungimea la coronament este de 460 m. Condițiile morfologice au impus prevederea unor culei pe ambii versanți.

Pe parcursul primei umpleri (1972) s-au observat cu ajutorul sistemului de supraveghere o serie de anomalii de comportare: deplasări asimetrice ale structurii centrale, cele de pe versantul stâng fiind mai mari decât cele de pe dreptul. Aproape de finalul primei umpleri, în luna iunie 1974 se înregistrează o serie de deplasări anormale pe versantul stâng, dar prezente și în dreptul zonei centrale. Deplasările au creat spații care au permis apei să se infiltreze. Incidentul a dat startul unor studii extinse asupra cauzelor și proiectarea unor lucrări de remediere și consolidare.

Principala cauză a deplasărilor atipice a fost acțiunea presiunii apei asupra unei falii prezente sub fundația de la baza barajului care e mai puțin permeabilă. Calculele pe baza unui model de elemente finite (Figura 6) confirmă că presiunea apei a cauzat fenomenele înregistrate.

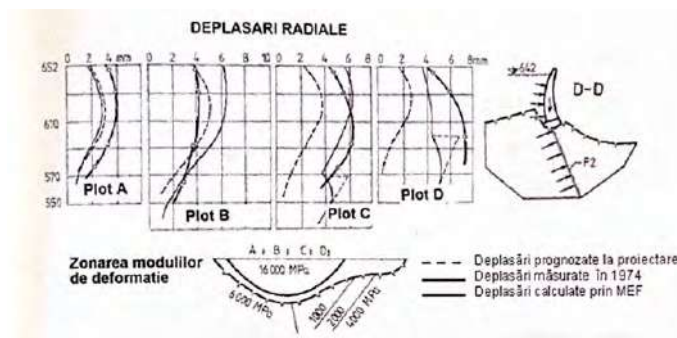


Figura 6. Discretizarea ansamblului baraj-teren de fundare [1].

Lucrările de punere în siguranță a barajului au constatat în: mărirea capacității de evacuare a debitelor, lucrări de drenare, etc. (vezi Figura 7). În urma lucrărilor s-a continuat umplerea acumulării, în 1995 fiind atins pentru prima dată nivelul normal al retenției.

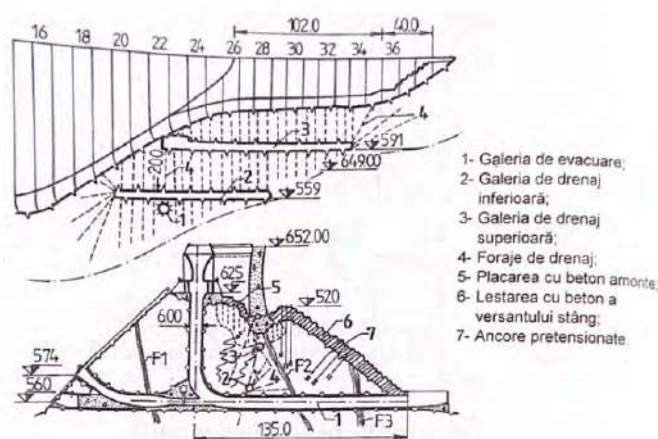


Figura 7. Lucrări de punere în siguranță a barajului [1].

Incidentul de la barajul Paltinu a arătat că, în construcțiile mari și complexe, natura relației teren – acțiunea apei nu trebuie subestimată niciodată. Monitorizarea joacă un rol foarte important, fără aceasta construcțiile fiind mult mai susceptibile la accidente majore.

3.2 Caverne erozionale la barajul Porțile de Fier I

Barajul Porțile de Fier I este construit pe fluviul Dunărea, amonte de orașul Turnu Severin, realizat de România și Serbia în egală măsură. Este un baraj din beton, de tip deversant de greutate. Cu o înălțime de 60 m, o lungime la coronament de 441 m și un volum de beton de 2.4 mil. m³ formează un lac de acumulare cu un volum de peste 1.5 mil. m³.

Tranzitarea viiturilor majore din 2005-2006 s-a efectuat diferit față de cele din 1979-1981, unele câmpuri deversoare fiind mult mai solicitate decât restul, deoarece au evacuat cele mai mari debite posibile cu cea mai mare durată a deversării. (vezi Figura 8.)

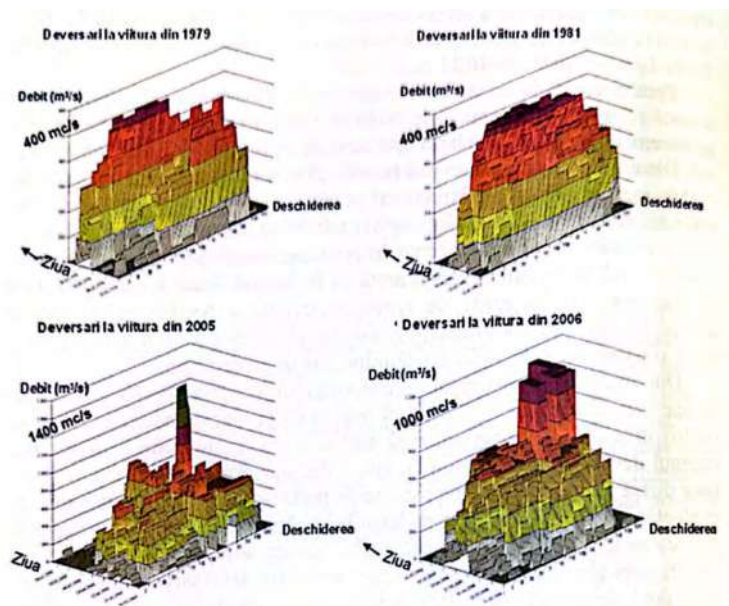


Figura 8. Modul de exploatare al viiturilor [1].

Datorită deversărilor neuniforme s-au creat modificări morfologice ale albiei în aval de baraj care au fost observate imediat după darea în exploatare a barajului. În urma viiturilor din 2005-2006 s-au efectuat măsurători privind starea fundului albiei în aval de disipator. Acestea au arătat că eroziunea albiei din aval a avansat considerabil față de starea din anii 1970-1980. În figura 9. sunt prezentate eroziunile aval de baraj descoperite la măsurătorile din anul 2013.

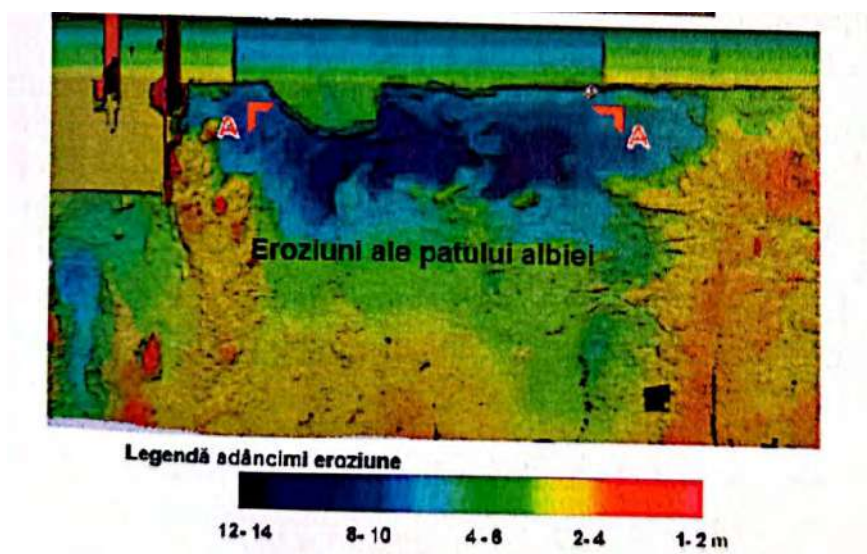


Figura 9. Eroziuni aval de baraj (2013) [1].

Se mai constată, pe lângă degradarea fundului albiei, degradarea betonului pînului aval de la disipator cu apariția de caverne erozionale cu adâncimi maxime de 3 m. Prin evoluție acestea pot penetra până la galeria de drenaj aval și pot pune astfel în pericol stabilitatea întregii structuri.

Securitatea barajului este afectată datorită caracterului evolutiv al cavernelor erozionale. Soluțiile punerii în siguranță și efectuate în anul 2021-2022: executarea unor coloane bine fundate, la 3 m distanță de prag astfel încât să asigure o protecție la subspălare; betonarea cavernelor și a spațiului dintre disipator și diafragma compusă din coloane.

Se evidențiază un alt incident care arată cât de importantă este cunoașterea terenului de fundare și ce efecte are apa asupra acestuia, analiza detaliată la schimbări ale regimului de exploatare, supravegherea construcțiilor pe parcursul exploatării, o atenție constantă la detalii și capacitatea de a acționa eficient la problemele apărute.

3.3 Infiltrații prin masca de etanșare a barajului Leșu

Barajul Leșu, construit între 1969 și 1973, este un baraj de anrocamente cu o înălțime de 60,5 m, o lungime de 180 m la coronament și dispune de o etanșare cu mască din plăci de beton armat pe paramentul amonte.

După punerea în funcțiune a barajului se observă numeroase infiltrații. În aprilie 1978, infiltrațiile ajung la o valoare importantă estimată la 1044 l/s. Odată cu golirea lacului se observă că infiltrațiile apăreau prin masca de beton armat. Se impune un program amplu de reparații locale cu etanșarea suplimentară a rosturilor și injectarea fisurilor (vezi Figura 10). În 1979, perioada 2001-2003, respectiv în 2007 se repetă incidente asemănătoare, folosindu-se în continuare soluții precum: nivele restricționate de exploatare, goliri ale lacului urmate de reparații locale, etc.

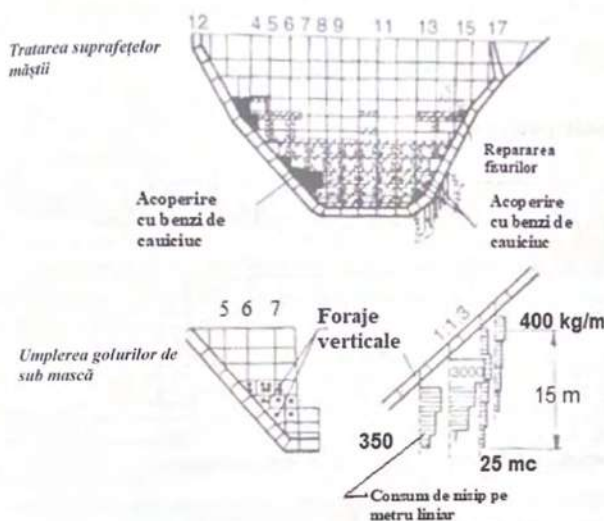


Figura 10. Lucrări de reparații [1].

Pentru ca barajul să fie exploatat la parametri nominali, trebuie obligatoriu asigurată etanșeitatea integrală a măștii amonte. Aceasta joacă un rol foarte important în siguranța construcției. Se constată că nu este deloc eficient modul de abordare al acestei situații repetitive, așadar, pe baza experienței de exploatare se decide o soluție bună atât tehnic cât și economic: etanșarea integrală a măștii de beton armat (cca 12000 m²) cu membrane impermeabile continue.

Pentru a fi evitate pe viitor astfel de scenarii e necesară o sporire a atenției la detalii, un sistem de monitorizare bine funcțional, o raționalizare economică a intervențiilor, intervenții favorabile pe termen lung.

4. Concluzii

Evenimentele evidențiate mai sus arată, prin exemple reale, cât de importantă este înțelegerea aprofundată a interacțiunilor apă-baraj-sol, a monitorizării continue și a întreținerii unor astfel de structuri masive care influențează funcționarea lor. Experiențele negative, precum fisurarea betonului sau instabilități ale versantului oferă lecții importante pentru proiectare, construcție și exploatare riguroasă. Consecințele creșterii siguranței barajelor sunt protejarea populației și a mediului înconjurător. Învățarea din greșeli este cheia durabilității și siguranței în construcții. Prezentarea istoriei construcțiilor în școlile de formare a inginerilor ar trebui să fie considerată ca indispensabilă și ca primă parte a experienței noului inginer.

BIBLIOGRAFIE

1. Dan Stematiu, *Accidente și incidente la construcții hidrotehnice. Relatări din experiență proprie*. Editura AGIR, (2018).
2. Institutul de studii și proiectări hidroenergetice, *Accidente la construcții hidrotehnice*. București 1984.



METODE PROBABILISTICE ÎN CALCULUL INFILTRAȚIILOR ȘI STABILITĂȚII

Autor

Mureșan A. Diana

Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, dianamuresan2002@gmail.com

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Lucian Ștefan

Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, lucian.stefan@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: Barajele sunt construcții de importanță sporită pentru stocarea apei, producerea de energie și prevenirea inundațiilor. Stabilitatea terenului, structurii, reprezintă factori importanți în analiza acestor lucrări hidrotehnice. Metodele clasice ignoră variabilitatea parametrilor geotehnici implicați. Metoda Monte-Carlo poate ajuta la modelarea distribuției statistice a parametrilor geotehnici și la generarea de scenarii posibile de cedare. Se poate evalua probabilitatea de apariție a cedării față de abordările clasice care compară solicitarea cu rezistența sub formă de raport numit coeficient de siguranță. Studiul lucrării se bazează pe o situație des întâlnită în realitate: analiza unui baraj de pământ considerând parametri geotehnici cu mare / necunoscută variabilitate. Stabilitatea barajelor este direct influențată de calculul infiltrațiilor. Cu parametrii geotehnici măsurați și a curbei de infiltrații se pot genera caracteristicile materialelor din baraj și propune, cu metode statistice, funcții de densitate de probabilitate (variație) pentru acestea. Simularea Monte-Carlo permite generarea a zeci de mii de scenarii cu seturi de valori posibile ale parametrilor, calculul coeficienților de siguranță și reunirea rezultatelor în funcții de probabilitate care oferă o imagine cantitativă a cedării respectiv probabilitatea de cedare (probabilitatea ca solicitarea să depășească rezistența). Metodele probabilistice pot reprezenta o alternativă sau o îmbogățire a metodelor clasice de analiză în anumite cazuri.

Cuvinte cheie: coeziune, greutatea specifică, Monte-Carlo, distribuție normală, infiltrații, stabilitate.

1. Introducere

Unul dintre cele mai importante obiective în proiectare este obținerea de construcții sigure. Un baraj sigur, după cum se definește în ghidul de proiectare al barajelor din Canada care e aplicabil și în țara noastră, e definit ca "barajul care nu crește riscul pentru persoane și bunurile din zona lui, care respectă normele de siguranță acceptate de normativ și de experții din domeniu" [1]. Calculul de stabilitate al barajelor în general și a celor de pământ în particular reprezintă o etapă importantă în partea de proiectare de construcții a barajului. Calculul de stabilitate se bazează pe calculul de infiltrații a apei prin baraj. Apariția apei în corpul construcției duce la incertitudini la determinarea parametrilor geotehnici care să reprezinte cât mai realist starea reală a materialului [2]. Incertitudinea provine din variabilitatea naturală a parametrilor pe teren, cunoașterea încă limitată a fenomenelor implicate, probe de laborator care pot supraestima/subestima comportamentul real. Pierderea stabilității sau supraevaluarea ei, ambele cu consecințe importante, se poate produce din cauza mai multor fenomene, unul dintre ele fiind evaluarea sau alegerea nepotrivită a caracteristicilor fizico-mecanice ale terenului sau a materialul folosit în cadrul corpului barajului.

Parametrii folosiți atât în calculul de stabilitate cât și în cel de infiltrații (greutate volumetrică, unghi de frecare, permeabilitate, ...) sunt determinați adesea experimental și pot avea o variație importantă. Rezultatele obținute plecând de la acești parametri de intrare au conceptual de asemenea cu o mare variabilitate. Din acest motiv, valorile folosite practic în proiectare (cele de intrare și rezultate) sunt "medii" recomandate de unele norme [3] sau reprezintă "medii uzuale" dezvoltate de către fiecare grup de proiectare abordarea fiind adesea deterministă.

Recent metodele statistice / probabilistice sunt abordate mai des în domeniul ingineriei. Aceste metode iau în considerare natura imprevizibilă a parametrilor de intrare și propun strategii pentru a obține valori care exprimă probabilistic cât de aproape suntem de o imagine fidelă a realității. Una dintre cele mai cunoscute și comune metode este metoda Monte Carlo, care simulează mii de scenarii



posibile pe baza distribuțiilor statistice ale parametrilor de intrare, ducând la probabilități ale parametrilor de ieșire.

Conform normativului NP 122-2010 [3] pentru stabilirea valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici, mai ales în cazul structurilor încadrate în categoria geotehnică 3 se recomandă utilizarea metodelor statisticii matematice. Aceste metode pot estima variația naturală a unor parametri ai terenului de fundare sau a pământurilor utilizate la baraje sau diguri.

Prezentul articol studiază o metodă de interpretare a "mediei" printr-o abordare statistică respectiv o metodă prin care proiectatul poate cunoaște o probabilitate de apariție a unui rezultat față de un set de date de intrare cu mare variabilitate. Se începe cu o scurtă bază teoretică a metodei folosite și apoi un studiu de caz pentru un baraj din pământ din zona Cluj. Studiul de caz analizează comportamentul infiltrațiilor, variabilitatea indicilor geotehnici și cum acești parametri incerti influențează performanța structurii.

2. Metode deterministe vs. statistice / probabilistice

Metodele deterministe folosesc la fiecare iterație a modelului aceiași parametri de intrare care conduc la același set de rezultate, neincluzând elemente de variație [4]. Aceste metode se folosesc pentru parametri care au o variabilitate relativ mică, un domeniu restrâns de valori. Cel mai comun exemplu este verificarea de solicitare comparată cu rezistența ($\sigma \leq R$). Răspunsul la această comparație este adevărat sau fals fără să precizeze "cât de" adevărat sau fals este.

Metodele probabilistice se folosesc când datele de intrare sau ieșire pot fi dificil prevăzute într-un interval relativ mic de valori (e.g. unghiul de frecare pentru o zonă cu lungimea de 15 km). Fiecare iterație a modelului va duce la rezultate diferite chiar dacă s-a pornit de la aceleași valori inițiale [4]. Aceste metode își propun să determine care e probabilitatea de a întâlni o anumită valoare de exemplu o solicitare mai mică ca rezistența atunci când parametri sunt variabili sau foarte variabili, bazându-se pe metode de distribuții statistice sau distribuții experimentale ale valorilor. Exemplul precedent ar conduce în acest caz la " $\sigma \leq R$ cu probabilitatea de 95%" ținând cont de domeniul larg de variabilitate al valorilor implicate.

Metode probabilistice

Simularea Monte-Carlo

Simularea Monte-Carlo cuprinde o gamă foarte largă de aplicații unde se folosește eșantionarea aleatorie repetată ca metodă de a obține o aproximare a unei valori sau a unei probabilități de apariție a unei valori. Principalii pași ai metodei, aplicați iterativ, sunt: (1) definirea parametrilor de intrare cu variabilitate (distribuție probabilistică) cunoscută; (2) generarea arbitrară a unui set de valori, o valoare pentru fiecare parametru de intrare; (3) aplicarea analizei deterministe asupra setului de valori; (4) analiza statistică a rezultatelor; (5) după de numărul de iterații este încheiat, interpretarea rezultatelor. Numărul de iterații trebuie să fie foarte mare (zeci sau sute de mii de iterații). Conceptual, dacă s-ar produce o infinitate de iterații s-ar putea găsi valoarea "adevărată" a rezultatelor. Metoda aceasta a fost folosită pentru a evalua probabilitatea de apariție a coeficientului de stabilitate în cadrul calculului de stabilitate din studiul de caz de mai jos.

Legea numerelor mari

Legea numerelor mari este o teoremă fundamentală a probabilităților care descrie rezultatele unui experiment repetat de mai multe ori. Conform acestei legi, când numărul de experimente independente crește, atunci rezultatul mediu converge către valoarea așteptată "adevărată" (adică cea care s-ar putea constata în realitate dacă evenimentul s-ar întâmpla, e.g. ruperea unei grinzi). Aceasta explică că abaterile întâmplătoare într-un sens se compensează reciproc, de aceea un număr mare de fenomene naturale tind spre o medie. De exemplu, într-o clasă sunt cam tot atâți elevi foarte buni câți sunt foarte slabi, buni câți slabi, majoritatea fiind în jurul unei medii (aceleași observații se pot face pentru nivelul de inteligență al unui grup, sau de sănătate, ...). Această lege a fost creată de Jakob Bernoulli și a pus bazele teoriei probabilităților [5]. Pentru metoda Monte-Carlo această lege

garantează că un număr suficient de mare de simulări v-a asigura o estimare stabilă și reprezentativă a rezultatelor.

Teorema limitei centrale

Teoria limitei centrale definește că indiferent de distribuția unei variabile aleatorii, media unui număr suficient de mare de eșantioane independente extrase din acea distribuție va tinde să se apropie de o distribuție normală (gaussiană), cu media și deviația standard corespunzătoare. Teorema ajută la formarea funcțiilor necesare pentru definirea datelor și interpretarea lor, asigurându-ne că se poate utiliza o distribuție normală chiar și pentru distribuții arbitrare dacă numărul de eșantioane / experimente este foarte mare.

Funcții de densitate de probabilitate (PDF)

O astfel de funcție exprimă care este probabilitatea ca o variabilă să se încadreze într-un anumit interval de valori, probabilitatea fiind dată de aria de sub funcție până la valoarea căutată [6]. Această funcție arată grafic unde este cel mai probabil să se găsească valorile unui parametru. O PDF foarte cunoscută este cea gaussiană (clopot) care se poate pune și sub o formă normală (normalizată). Spre exemplu, dacă se numără într-o clasă câți copii au note între 4 și 5, între 5-6, 6-7, 7-8, 8-9 și 9-10 și apoi numărul acesta se reprezintă într-un grafic, pe orizontală fiind notele și pe verticală numărul de elevi (frecvența de apariție a notei), atunci curba obținută este un PDF. Aria de sub curbă până la o notă reprezintă probabilitatea de apariție a notei în clasă (aria până la nota 7 este probabilitatea de a găsi un elev de nota 7 în clasă, e.g. 63%). Distribuția gaussiană este complet definită de doi parametri: media μ și deviația standard, σ (Fig. 1).

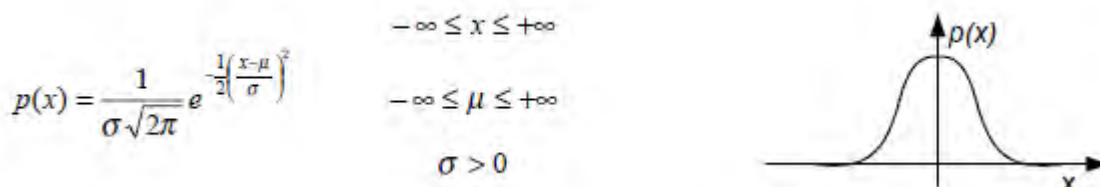


Figura 10. Funcție Gaussiană – normală de densitate de probabilitate [1].

Funcția cumulativă de distribuție (CDF)

Funcția cumulativă reprezintă probabilitatea ca o variabilă aleatorie să fie sau mai mică sau egală cu o anumită valoare [1]. O CDF are atașată un PDF din care se obține prin integrare între limita din stânga și valoarea față de care se determină probabilitatea. Această funcție este adesea folosită pentru interpretarea rezultatelor Monte-Carlo și poate ajuta la generarea mai multor valori care să respecte PDF.

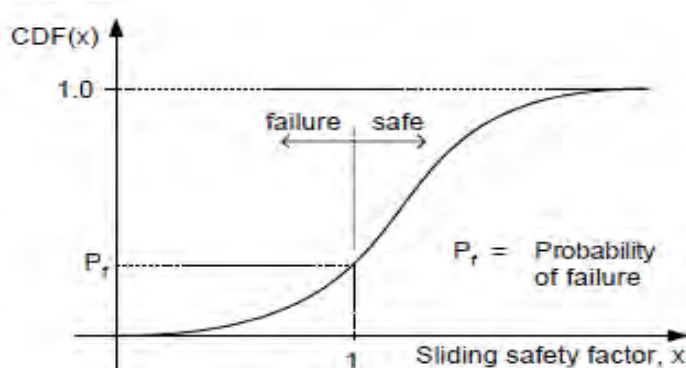


Figura 11. Funcția cumulativă de distribuție [1].

3. Metodologia de calcul

Calculul de stabilitate al unui baraj de pământ în forma în care a fost folosit la studiul de caz de mai jos este detaliat în acest paragraf. Acest calcul determinist începe cu evaluarea infiltrațiilor și

continuă cu evaluarea coeficientului de stabilitate. El a fost aplicat sistematic în iterațiile Monte-Carlo. Calculul concentrându-se pe abordarea statistică, a introdus unele simplificări față de un calcul standard de stabilitate, acestea nereducând însă generalitatea abordării.

Calculul infiltrațiilor

În construcțiile care folosesc materiale permeabile acest tip de calcul este adesea întâlnit. Permeabilitatea este o proprietate în relație cu scurgerea lichidelor prin porii materialelor poroase fiind folosită la determinarea vitezei și a debitelor infiltrate. Metodele de calcul ale infiltrațiilor furnizează, în general, curba de infiltrație (curba peste care conceptual presiunea apei este nulă) și debitele infiltrate. Există numeroase metode pentru acest calcul teoretic-experimental. Metoda Casagrande susține că curba de infiltrații este o parabolă care intersectează nivelul apei la o distanță de 0.7Δ față de piciorul amonte al barajului, Fig. 3. El propune o ecuație pentru parabolă care poate fi aproximată și cu o dreaptă. Această curbă/dreaptă este crucială pentru parametrii geotehnici din cadrul calcului de stabilitate [2].

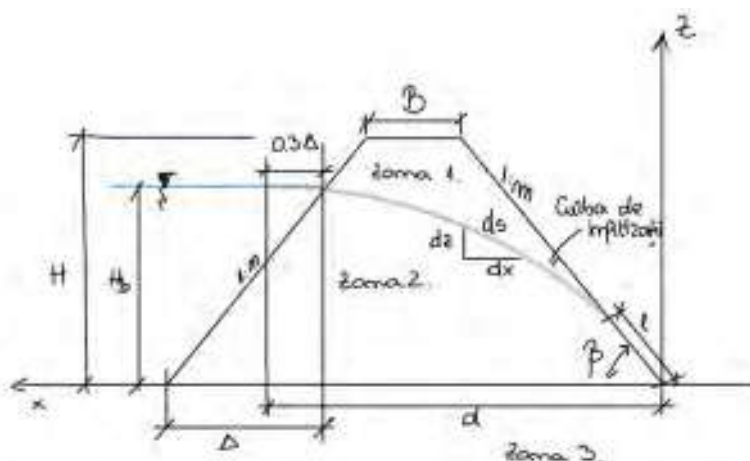


Figura 12. Curba de infiltrații în metode Casagrande.

În figura de mai sus s-au folosit următoarele notații: l - lungimea segmentului bc (b : intersecția curbei infiltrațiilor cu paramentul aval și c : piciorul aval), Δ - înălțimea în proiecție a apei în lac: $\Delta = H \cdot n$, unde n reprezintă panta amonte a barajului, m panta aval iar H este înălțimea apei. Cu Δ determinat se poate obține d , care reprezintă lungimea proiectată a curbei infiltrațiilor [2]:

$$d = 0.3\Delta + (H_b - H) \cdot n + B + H_b \cdot m \quad (1)$$

apoi:

$$l = \sqrt{d^2 + H^2} - \sqrt{d^2 - H^2 \cdot \cot^2 \beta} \quad (2)$$

și respectiv ecuația curbei de infiltrații (ecuația dreptei).

Calculul de stabilitate

Suprafața de alunecare se propune cilindrică iar pentru calculul ei se folosește curba de infiltrații care separă corpul în 3 zone distincte [2]:

- zona 1: umplutură uscată, deasupra zonei de infiltrații;
- zona 2: umplutură umedă, aflată între talpa fundației și curba de infiltrații;
- zona 3: terenul de fundare.

Cele trei zone influențează caracteristicile geotehnice ale materialului datorită prezenței apei. Pentru aflarea centrului cercului generator al suprafeței de alunecare se începe cu o "dreaptă directoare". După aflarea zonelor se va determina dreapta directoare: aceasta trece prin punctul aval al coronamentului și un punct aflat la cca. $5H_b$ amonte față de piciorul aval al barajului, Fig. 4.

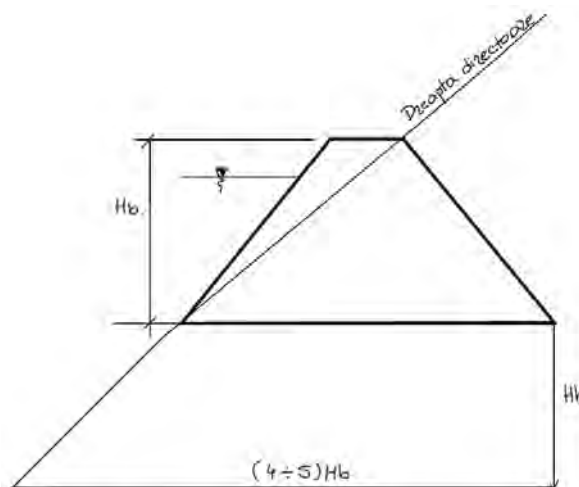


Figura 13. Determinarea dreptei directoare [2].

Se începe apoi calculul iterativ pentru determinarea poziției cele mai nefavorabile a centrului de alunecare. Centrul de alunecare se presupune ca fiind inițial pe dreapta directoare, calculând repetat se va găsi cea mai nefavorabilă (minimă) valoare pentru K (coeficientul de stabilitate la alunecare). Pentru fiecare poziție iterativă a centrului C se trasează un arc de cerc cu raza R (suprafața de alunecare) care s-a ales să treacă prin piciorul aval al barajului (se poate arăta că cel mai adesea curba de alunecare trece prin acest punct [7]). Arcul de cerc care trece prin corpul barajului se împarte într-un număr de fâșii verticale alese, N de lățime identică, b (metoda fâșiilor). Pe fiecare fâșie se consideră simplificat că acționează: greutatea pământului, forța de frecare, presiunea apei pe zona de alunecare iar cu acestea se determină K :

$$K = \frac{\text{Rezistența}}{\text{Solicitare}} = \frac{M_{\text{stabilizator fata de } C}}{M_{\text{alunecare fata de } C}} = \frac{\sum G_n \cdot \cos \alpha_n \cdot \tan \phi_i + \sum C_i \cdot l_n}{\sum G_n \cdot \sin \alpha_n} \quad (3)$$

unde G , l , α reprezintă greutatea volumetrică, lungimea pe cerc respectiv unghiul de poziție a fiecărei fâșii n ($n = 1..N$), iar ϕ , C , reprezintă unghiul de frecare respectiv coeziunea zonei i în care are loc alunecarea fâșiei ($i = 1..3$), Fig. 5.

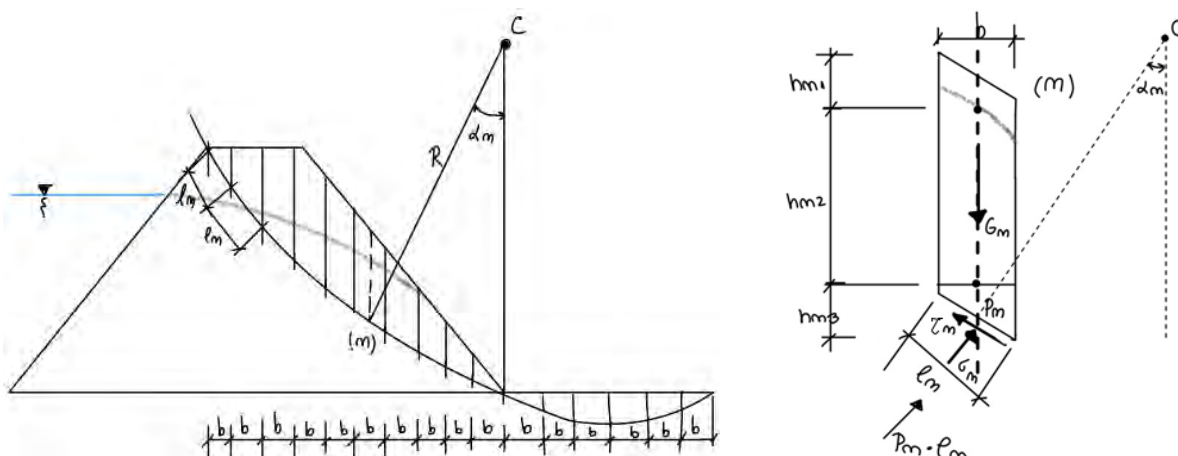


Figura 14. Metoda fâșiilor [2].

Din centrul găsit pe dreapta directoare (K_4 în Fig. 6) se trasează o perpendiculară și se repetă procesul pe noua dreaptă trasată până când se găsește cea mai mică valoare a lui K (K_8 în Fig. 6). Noul centru reprezintă centrul "cel mai bine aproximat" C al cercului de alunecare, O_8 . Alternativ, în locul folosirii metodei "drepte directoare" se poate genera un grid ortogonal și pentru fiecare punct din grid se calculează K , în final obținându-se prin comparație K minim [7].

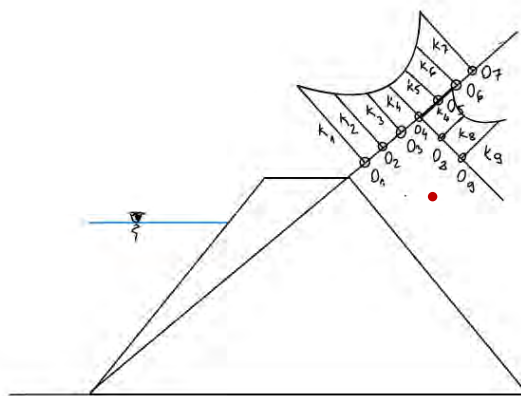


Figura 15. Modul iterativ de calcul pentru K [2].

4. Studiu de caz

Barajul analizat este din pământ cu pantă amonte de 1:3, coronament de 6 m și pantă aval 1:3.1. Înălțimea barajului este de 13 m iar a apei de 12.1 m. Mediile parametrilor geotehnici pentru zona 1 sunt $\gamma_1 = 18 \text{ kN/m}^3$, $\phi_1 = 16^\circ$, $C_1 = 30 \text{ kN/m}^2$ iar pentru zona 2 și 3 sunt $\gamma_{2,3} = 20 \text{ kN/m}^3$, $\phi_{2,3} = 16^\circ$, $C_{2,3} = 20 \text{ kN/m}^2$.

Parametrii de intrare se aleg astfel încât să aibă o variabilitate mare în concordanță cu reglementările din domeniu [3]. Deși parametrii pot fi influențați de efecte în timp, de apariția apei, particularitățile structurale ale pământului, etc. [3] totuși aceste influențe sunt ignorate în prezentul studiu. La generarea de valori aleatorii, în cadrul simulării Monte-Carlo, este esențial ca valorile generate să mențină forma PDF impusă. Pentru PDF uniformă aceasta nu reprezintă o dificultate dar pentru PDF normală (gaussiană) aceasta poate genera dificultăți. Există numeroase metode de generare valori pentru PDF normală (medie, deviație standard) între acestea fiind și lanțul Markov, folosit în această lucrare [8]. Pașii simulării Monte-Carlo sunt descriși în paragraful precedent (3.1).
Definirea parametrilor de intrare

S-au ales parametrii care conțin cea mai mare marjă de variație și care influențează cel mai mult coeficientul de siguranță al barajului. S-au folosit date experimentale și normativul NP 122-2010 pentru alegerea lor [3]. Parametrii aleatori aleși și PDF asociate sunt:

- greutate specifică, $\gamma \rightarrow$ distribuție normală;
- coeziune, $C \rightarrow$ distribuție normală;
- unghi de frecare internă, $\phi \rightarrow$ distribuție normală;
- opțional se pot folosi factori pentru imprecizia definirii centrului de alunecare (0.95-1.05), sau al dreptei directe (4-5, Fig. 4) $\rightarrow$ distribuție uniformă.

Generarea arbitrară a combinațiilor de valori

Se generează un număr mare de combinații de valori pentru parametrii menționați la punctul precedent. Algoritmii folosiți extrag valori respectând distribuțiile alese și "intervalul de confidență" introdus printr-o valoare minimă și maximă acceptată. Fiecare combinație de valori reprezintă un scenariu posibil al acestor parametri. Numărul de simulări trebuie să fie suficient de mare. Se recomandă un număr minim de 20000 ca să fie asigurată corectitudinea teoremelor prezentate precedent.

Calculul iterativ determinist al stabilității

Pentru fiecare combinație a parametrilor se calculează coeficientul de siguranță (stabilitate) cu metoda Casagrande și metoda fâșiilor și se stochează valorile lui K , verificând care îndeplinesc condiția de siguranță, $K >$ valoare impusă [2].

Analiza statistică a rezultatelor

Valorile care sunt stocate produc densitate de distribuție (PDF) respectiv o distribuție cumulativă (CDF) care permite calculul probabilității de cedare a barajului.



Interpretarea rezultatelor

În urma simulărilor preliminare s-au observat următoarele tendințe ale parametrilor:

- greutate specifică → influență medie/mică asupra rezultatelor;
- coeziune → influență majoră asupra rezultatelor;
- unghi de frecare internă → influență majoră asupra rezultatelor.

Se observă variații sesizabile în rezultatele experimentale ale parametrilor geotehnici iar folosind metoda Monte-Carlo aceste variații tind să furnizeze o probabilitate uniformă de cedare indiferent de numărul de scenarii analizate și de forma variației. În felul acesta se poate observa mai realist riscul de cedare iar spre deosebire de metodele deterministe această metodă ne spune nu doar dacă barajul este stabil ci și cu ce probabilitate.

5. Concluzii

Studiul prezentat își propune să arate importanța considerării caracterului imprevizibil puternic variabil uneori al factorilor geotehnici în calculul stabilității barajelor din materiale locale. Metoda Monte-Carlo este folosită pentru a obține o distribuție probabilistică a coeficientului de siguranță la alunecare dar și pentru a furniza o imagine mai realistă a riscurilor asociate (calculul probabilității de cedare prin alunecare).

Prin modelarea parametrilor variabili (coeziune, unghi de frecare, ...) sub forme de densități de probabilitate s-au putut simula mii de scenarii posibile care permit apropierea de comportamentul real la cedare al structurii, s-au putut analiza și care parametri influențează stabilitatea. Investigațiile experimentale sau teoretice pot fi direcționate către cei mai critici factori. Rezultatele obținute au fost transformate, la rândul lor, în densități de probabilitate respectiv probabilități de apariție (densități cumulate de probabilitate) care ajută în luarea unor decizii educate care nu se bazează doar pe estimări, medii sau experiența analistului.

Dacă determinist se poate răspunde prin calcul că *solicitarea este mai mică decât rezistența* (când cele două au o anumită variabilitate) cu metode statistice / probabilistice (e.g. Monte-Carlo) se poate răspunde că *probabilitatea ca solicitarea să fie mai mică decât rezistența este p%* chiar și atunci când atât solicitarea cât și rezistența au un domeniu foarte mare sau necunoscut de variabilitate. Abordarea Monte-Carlo pentru analiza barajelor din materiale locale poate arăta o perspectivă mai realistă, oferind proiectanților o măsură cantitativă a comportamentului structural *probabil* mai apropiată de realitatea din teren.

BIBLIOGRAFIE

1. Leclerc, M., Leger, P., *CADAM User's manual version 1.4.3* (2001).
2. Ghițescu, M.-A., Botoș, M., Nicoară, Ș.-V., Ion, M., *Construcții hidrotehnice. Partea a II-a.*, UT Press, Cluj- Napoca (2017).
3. ***, NP 122-2010. *Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici* (2010).
4. *Deterministic and probabilistic models -Secondary* (2013)
<https://seniorsecondary.tki.org.nz/Mathematics-and-statistics/Achievement-objectives/AOs-by-level/AO-S8-4/Deterministic-and-probabilistic-models>.
1. Yadolah Dodge, *The Concise Encyclopedia of Statistics*. Springer, New York, NY (2008)
https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1_224
2. Grinstead, Charles M.; Snell, J. Laurie (2009). *Grinstead & Snell's Introduction to Probability*. Orange Grove Texts. <https://math.dartmouth.edu/~prob/prob/prob.pdf>
7. Wright, S.G., Roecker, J.D., *Stability Evaluation for Earth Slopes. Example problems for slope stability computations with the computer program UTEXAS*, Center for Transportation Research The University of Texas at Austin, USA (1984).
8. (2021) *Markov chains and hidden models*.
<https://www.lancaster.ac.uk/stor-i-student-sites/martin-dimitrov/2021/05/13/markov-chains-and-hidden-models/>



ROLURILE GEOTEXTILELOR ÎN ÎMBUNĂTĂȚIREA COMPORTĂRII STRUCTURILOR RUTIERE ȘI A TERASAMENTELOR

Autor

Andreea N. CIUREA

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, andreea02.acc@gmail.com

Îndrumător

Conf.Dr.Ing. Gavril HODA

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, gavril_hoda@cfdp.utcluj.ro

REZUMAT: Lucrarea prezintă rolurile geotextilelor în îmbunătățirea comportamentului structurilor rutiere și a pământurilor din corpul drumurilor. În solurile necoezive, geotextilul îndeplinește funcții de separare și filtrare, în timp ce în suprastructuri și soluri coezive, acționează ca material de armare, contribuind la creșterea stabilității și rezistenței structurale. Lucrarea include de asemenea, informații generale despre geogrilă, precum și două studii de caz relevante, aplicate la situații reale din teren.

Cuvinte cheie: geotextil, drenant, rezistență, coeziv, necoeziv.

1. Introducere

În contextul dezvoltării accelerate a construcției de autostrăzi și drumuri expres din țara noastră, materialele geosintetice în special geotextilele, au devenit o componentă esențială în optimizarea comportamentului terenurilor de fundare și a terasamentului din corpul drumului. Aceste materiale versatile sunt apreciate pentru capacitatea lor de a îndeplini roluri multiple, precum separarea, filtrarea, armarea și drenajul, funcții ce se manifestă diferit în funcție de material și natura solului în care sunt utilizate. În figura 1 se prezintă rolul de armare al unui geogril într-o structură din beton de ciment rutier, fiind pus în evidență faptul că fisura produsă de contracția betonului existent, nu se mai transmite în straturile superioare de ranforsare (Figura 1).

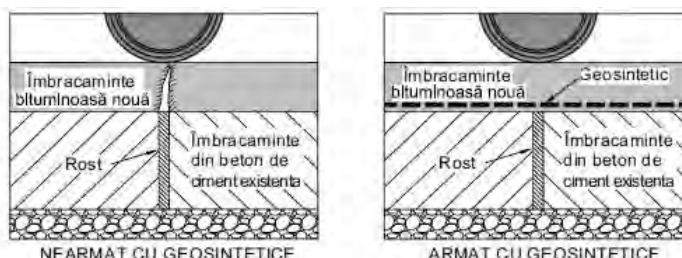


Figura 1. Armare structură rutieră cu geosintetic.

În cazul solurilor necoezive cum ar fi nisipurile și pietrișurile, geotextilele sunt valorificate în special pentru proprietățile lor de filtrare și separare. Acestea previn migrarea particulelor fine între straturi, menținând structura granulară stabilă și asigurând o drenare eficientă, în figura 2 fiind prezentat un dren cu geotextil care are rol de filtrare în jurul unui podeț tubular.

În schimb, în solurile coezive, caracterizate de plasticitate ridicată (precum argilele), geotextilul contribuie în principal la armare, distribuind uniform eforturile și crescând stabilitatea generală a terenului, figura 3 prezentând distribuția eforturilor din trafic în terasament, unde valoarea lor este mult redusă.

Prin durabilitatea, adaptabilitatea și eficiența lor economică, acestea sunt frecvent utilizate în lucrări precum construcția drumurilor, stabilizarea taluzurilor, controlul eroziunii sau realizarea fundațiilor.

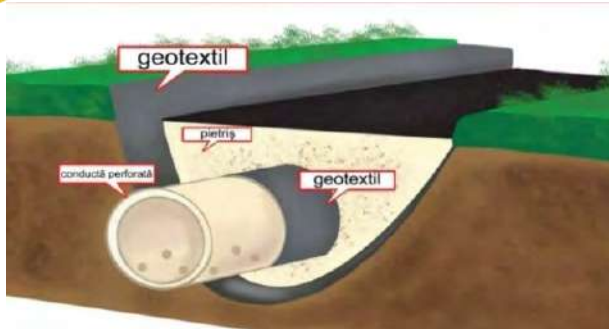


Figura 2. Geotextil cu rol drenant.

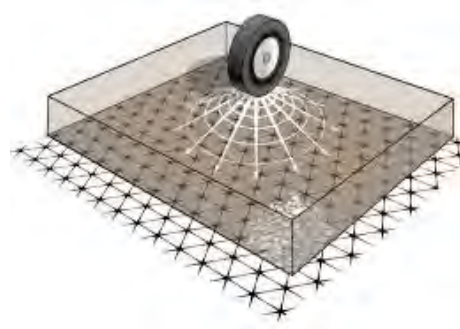


Figura 3. Dispersare tensiuni prin geogrilă.

2. Clasificarea solurilor

Clasificarea solurilor reprezintă un pas esențial în analiza comportamentului geotehnic al terenului și în alegerea soluțiilor adecvate de stabilizare și protecție, inclusiv a geotextilelor. Solurile pot fi clasificate după mai multe criterii, însă în ingineria geotehnică se utilizează cu precădere clasificarea în funcție de coeziune și granulație. Astfel, distingem două mari categorii: soluri coezive și soluri necozive. Terenurile coezive sunt alcătuite preponderent din particule foarte fine, cu dimensiuni sub 0,002 mm (argile) sau între 0,002 și 0,06 mm (nămoluri). Aceste particule prezintă o forță internă de atracție denumită coeziune, care conferă solului o capacitate mare de deformare fără pierderea completă a stabilității. Argilele, în special, sunt influențate de conținutul de apă, care modifică plasticitatea și volumul acestora. Aceste soluri au o permeabilitate redusă, dar o capacitate portantă variabilă în funcție de gradul de compactare și umiditate. În contrast, solurile necozive sunt compuse din particule groșiere (nisipuri și pietrișuri), cu o coeziune internă scăzută sau inexistentă. Stabilitatea lor se bazează pe frecarea dintre particule și pe aranjamentul granular. Aceste soluri au o permeabilitate ridicată, fiind favorabile pentru drenaj, dar necesită măsuri de consolidare pentru a susține sarcini importante.

3. Tipuri de geotextile

Geotextilele fac parte din familia materialelor geosintetice și sunt utilizate pe scară largă în construcții pentru a îndeplini funcții de filtrare, armare, separare, drenaj și protecție. Acestea sunt realizate din fibre sintetice precum polipropilenă sau poliester, datorită rezistenței ridicate la degradare biologică și chimică. În funcție de metoda de fabricație și de proprietățile structurale, geotextilele se împart în două mari categorii: *geotextile țesute* și *geotextile nețesute*.

Geotextilele țesute (Figura 4) sunt fabricate prin intercalarea ordonată a firelor longitudinale (urzeală) și transversale (bătătură), formând o structură asemănătoare unei pânze. Acestea oferă o rezistență mecanică superioară și sunt ideale pentru aplicații care necesită armare, cum ar fi stabilizarea terenurilor, fundații pentru drumuri, consolidarea taluzurilor sau a digurilor, dar oferă o permeabilitate lor este mai scăzută.

Geotextilele nețesute (Figura 5), sunt produse prin legarea fibrelor într-o rețea tridimensională, utilizând procese mecanice (aglutinare cu ace), termice (topire) sau chimice (adezivi). Acestea sunt mai puțin rezistente la tracțiune, dar au o permeabilitate mult mai mare, ceea ce le face adecvate pentru funcții de filtrare, drenaj și separare, în special în soluri necozive sau în zone predispuse la colmatare.

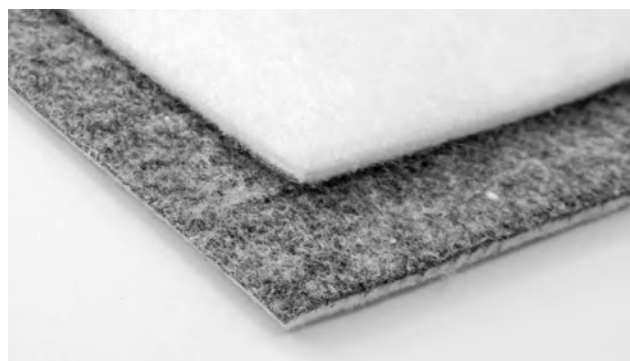




Figura 4. Geotextil țesut.

Figura 5. Geotextil nețesut.

Pe fondul provocărilor tot mai sofisticate din ingineria geotehnică, a devenit necesară utilizarea unor materiale capabile să îndeplinească simultan mai multe roluri esențiale. În acest context, au fost dezvoltate geocompozitele, soluții moderne care reunesc într-o structură unică avantajele mai multor tipuri de geosintetice, precum geotextilele, geogriile, geomembranele, geoplase sau geospumă, dispuse în straturi sau laminate, astfel încât să îndeplinească simultan mai multe funcții ingineresti.

Acestea pot fi clasificate în următoarele categorii:

- *Geocompozite de drenaj* (ex. geonetă între două geotextile) utilizate pentru evacuarea eficientă a apei din structuri geotehnice sau lucrări subterane
- *Geocompozite de filtrare-drenaj* combină rolul de filtrare al unui geotextil cu cel de conducere al apei oferit de o geonetă sau geospumă
- *Geocompozite de armare* formate din geogriile și geotextile, utilizate pentru creșterea capacității portante a solurilor slabe
- *Geocompozite de etanșare* cum sunt geomembranele compozite sau geocompozitele bentonitice (GCL), esențiale în lucrări de izolare hidraulică
- *Geocompozite pentru protecție* utilizate pentru protejarea altor straturi funcționale (ex. geomembrane) împotriva acțiunilor mecanice.



Figura 6. Punere în operă geocompozit.

Funcțiile de bază ale geocompozitelor includ: filtrare, drenaj, armare, separare, protecție și etanșare, uneori combinate într-o singură aplicație. Prin aceste funcții, geocompozitele contribuie semnificativ la reducerea riscurilor geotehnice, optimizarea costurilor de execuție, durabilitatea sistemelor de infrastructură și reducerea impactului asupra mediului.

În absența geocompozitelor, structurile care implică interacțiunea sol-apă-încărcare pot deveni vulnerabile la o serie de deficiențe critice: colmatarea drenurilor, infiltrații necontrolate, alunecări de teren, degradarea sistemelor de etanșare, precum și o scădere accelerată a duratei de viață a lucrării. În special în zone cu terenuri dificile sau în proiecte cu cerințe multiple (ex. drenaj + etanșare), soluțiile tradiționale pot deveni ineficiente sau inadecvate fără utilizarea geocompozitelor.

În figura 6, este prezentat modul de punere în operă al unui geocompozit într-un terasament de drum.



4. Studii de caz:

Studiul de caz 1: Utilizarea geotextilului cu rol de filtrare în cadrul lucrărilor de infrastructură rutieră – Autostrada A1, sectorul Curtea de Argeș – Pitești

În contextul realizării infrastructurii rutiere în zone cu complexitate geotehnică ridicată, utilizarea materialelor geosintetice a devenit o practică uzuală în vederea asigurării stabilității, drenajului eficient și durabilității terasamentelor. În cadrul proiectului Autostrăzii A1, pe tronsonul Curtea de Argeș – Pitești, caracterizat de terenuri argiloase sensibile la umiditate și expuse fenomenelor de instabilitate, s-a adoptat o soluție tehnică ce a inclus geotextile cu rol de filtrare și separare, în scopul optimizării comportării în exploatare a sistemului rutier.

Obiective și scopul intervenției

Principalul obiectiv al utilizării geotextilului în cadrul acestei lucrări a fost de a crea un strat de filtrare între solul natural și materialele granulare ale infrastructurii rutiere, prevenind migrarea particulelor fine și colmatarea stratului drenant, cu efect direct asupra creșterii durabilității terasamentului.

Date tehnice și implementare

Materialul geotextil utilizat este un geotextil nețesut din polipropilenă, cu o densitate de aproximativ 300 g/m². Acesta a fost folosit la baza terasamentului, având rol de separare și filtrare, precum și în zonele cu solicitări mecanice mai reduse, cum sunt cele din jurul gabioanelor și zidurilor de sprijin. Geotextilul este livrat sub formă de role cu lățimea de 6,5 metri și lungimi de până la 100 de metri, conform standardului EN ISO 11058:2019, permeabilitatea sa este mai mare de 10⁻³ m/s, rezistența la tracțiune a fost testată conform EN ISO 10319, având valori mai mari de 8 kN/m pentru BS8 și mai mari de 10 kN/m pentru BS10.

Metodologia de execuție a inclus decaparea și pregătirea terenului de fundare, urmată de așternerea geotextilului cu suprapuneri de minimum 30 cm între role. Peste stratul de geotextil s-au depus agregate cu dimensiuni de 25–63 mm, compactate în straturi succesive de 25 cm.

Rezultate obținute

Implementarea geotextilului în această lucrare a condus la o serie de beneficii semnificative, atât din punct de vedere geotehnic, cât și economic, beneficiile aduse lucrării fiind următoarele:

Eficiența hidrolică

Eficiența hidrolică se referă la capacitatea unui sistem de a gestiona și controla fluxul apei printr-un strat de sol, având un impact direct asupra modului în care apa este drenată și distribuită în sol. În cazul acestei lucrări s-a înregistrat o reducere a nivelului hidrostatic în stratul de fundare în medie cu 38–47 cm, conform măsurărilor efectuate cu piezometre în zonele tratate. Acest rezultat sugerează o îmbunătățire semnificativă a gestionării apei în sol și contribuie direct la stabilitatea structurii. Eficiența hidrolică este esențială pentru menținerea stabilității și durabilității structurilor construite, deoarece reducerea presiunii apei în stratul de fundare ajută la prevenirea unor probleme precum eroziunea solului, alunecările de teren sau colmatarea sistemelor de drenaj.

Eliminarea colmatării sistemului de drenaj

Un alt rezultat semnificativ este eliminarea colmatării drenajului pe perioada de monitorizare de 12 luni postexecuție. În contrast, în zonele martor, s-au constatat acumulări de până la 15–20% pierdere de permeabilitate în sistemele fără strat filtrant adecvat. Colmatarea drenajului apare atunci când particulele fine se acumulează în sistemele de drenaj, blocându-le și compromițându-le eficiența.

Îmbunătățirea stabilității terasamentului

Un alt beneficiu notabil a fost îmbunătățirea stabilității terasamentului, cu o reducere a tasărilor diferențiale de până la 40% în primele 6 luni de la finalizarea execuției. Acest rezultat a contribuit la consolidarea solului și la creșterea stabilității structurii, prevenind posibilele mișcări și alunecări ale terenului. Reducerea tasărilor diferențiale cu până la 40% a fost determinată pe baza monitorizării geotehnice realizate în primele șase luni după execuție, folosind echipamente topografice și marcatori de tasare. Comparativ cu zonele netratate, sectoarele unde s-a folosit geotextil au prezentat o comportare mecanică superioară datorită separării eficiente a solului de agregate și drenajului îmbunătățit. Aceste efecte au limitat migrarea particulelor fine și acumularea de apă, reducând astfel



deformările stratului de fundare. În zonele tratate cu geotextil s-au înregistrat tasări medii de 1,8–2,2 cm, comparativ cu 3,0–3,6 cm în zonele netratate.

Optimizarea volumetrică

Datorită utilizării geotextilului, s-a obținut un efect filtrant echivalent cu un strat de nisip de 30cm grosime prin utilizarea unui strat de geotextil cu o grosime de doar 3–5 mm. Această înlocuire a condus la reducerea semnificativă a cantităților de materiale necesare, cu impact direct asupra costurilor de transport și montaj. Pentru suprafața totală de 1.200.000 m² acoperită cu geotextil, s-a economisit o cantitate considerabilă de nisip, estimată la 360.000 m³. În plus, datorită dimensiunilor mult mai mici ale geotextilului comparativ cu nisipul, costurile de transport și montaj au scăzut considerabil. Cantitatea de material transportat și montat a fost semnificativ mai mică, iar cheltuielile pentru aceste operațiuni au fost reduse cu aproximativ 6.000.000 lei.

Concluzii

Utilizarea geotextilului cu rol de filtrare în cadrul tronsonului Curtea de Argeș – Pitești al Autostrăzii A1 a evidențiat un comportament tehnologic și funcțional performant. Geotextilul a acționat ca o barieră selectivă între solul natural și agregatele de fundație, permițând drenajul apei și reținând particulele fine. Această funcție a condus la o creștere semnificativă a capacității portante, stabilizării platformei și la reducerea degradărilor prematur apărute în lipsa unui sistem filtrant eficient.

Îmbunătățirea performanțelor geotehnice ale structurii, prin creșterea eficienței hidraulice și prevenirea colmatării drenajului, reducerea cantităților de material, economiile de costuri de transport și montaj, arată clar că utilizarea geotextilului a fost o alegere eficientă, atât din punct de vedere tehnic, cât și economic.

Studiul de caz 2: Stabilizarea drumului forestier Valea Popii, Brașov

Context general și necesitatea intervenției

Drumul forestier Valea Popii din zona Nouă, municipiul Brașov, este situat într-o regiune cu un relief predominant montan și cu frecvente condiții de umezeală crescută din cauza precipitațiilor și a stratului freatic superficial. Aceste condiții au condus în timp la o degradare semnificativă a structurii rutiere, determinând necesitatea unor lucrări de reabilitare și stabilizare a terenului de fundare. Pentru a testa eficiența diferitelor soluții de îmbunătățire a capacității portante a infrastructurii, proiectul a fost conceput sub forma unui experiment comparativ, împărțit în trei tronsoane tratate diferit, inclusiv o secțiune martor fără materiale geosintetice.

Tronson 1 (lungime 55 m, lățime 3,5 m) – a fost consolidat cu geogrilă biaxială o soluție dedicată armării mecanice a solului, cu o rezistență la tracțiune de 35 kN/m în ambele direcții.

Tronson 2 (lungime 66 m, lățime 3,5 m) – a fost stabilizat folosind geotextil nețesut un material performant cu rol dublu: de armare și de separare, având o rezistență la tracțiune de aproximativ 8 kN/m și o alungire la rupere de peste 50%, ceea ce îl face ideal pentru terenuri instabile sau umede.

Tronson 3 (lungime 195 m, lățime 3,5 m) – secțiune martor, tratată cu tehnologia clasică, fără materiale geosintetice, pentru a servi ca element de comparație.

Structura rutieră și costuri

Toate cele trei tronsoane analizate în cadrul lucrării au fost realizate cu același tip de agregate minerale, compactate în straturi succesive, diferența constând în materialul geosintetic utilizat (sau lipsa acestuia): geogrilă în primul tronson, geotextil în al doilea și fără material de armare în al treilea (tronsonul martor). (Tabel 1)

Tabel 1. Costurile inițiale pentru fiecare variantă de execuție

Tronson	Suprafață (m ²)	Cost unitar (lei/m ²)	Cost total (lei)
Geogrilă	192,5	87,17	16.778,23
Geotextil	231,0	67,56	15.612,36
Martor	682,5	49,73	33.938,93

La o primă analiză, soluția cu geotextil prezintă un avantaj economic evident față de cea cu geogrilă, având un cost unitar cu 19,61 lei/m² mai redus. În același timp, deși varianta martor prezintă cel mai mic cost unitar (49,73 lei/m²), aceasta este lipsită de orice element de stabilizare și prin urmare, se

confruntă cu deficiențe semnificative de comportare în timp, evidențiate prin deflexiuni mai mari, degradări premature și necesar crescut de întreținere.

În ceea ce privește comportamentul în exploatare, măsurătorile de deflexiune au arătat valori medii de 0,275 mm pentru tronsonul cu geotextil, 0,314 mm pentru cel cu geogrilă și 0,483 mm pentru cel martor. Această diferență este semnificativă: tronsonul fără geosintetic are o deformare verticală de aproape 1,8 ori mai mare decât cel cu geotextil, ceea ce indică o capacitate portantă inferioară și o susceptibilitate ridicată la deformări permanente și la apariția de tasări diferențiate. Pe baza acestor valori și a datelor din literatură, se poate construi un model estimativ de costuri de întreținere pe o perioadă de 10 ani. Se consideră că drumurile cu deflexiuni mari necesită reparații mai dese: o intervenție la fiecare 2 ani în cazul tronsonului martor, o intervenție la fiecare 5 ani în cazul geotextilului, și una la fiecare 4 ani în cazul tronsonului cu geogrilă. (Tabel 2.)

Tabel 2. Costuri estimative întreținere

Soluție	Suprafață (m ²)	Nr. intervenții/ 10 ani	Cost unitar întreținere (lei/m ²)	Cost total întreținere (lei)	Cost inițial (lei/m ²)	Cost total 10 ani (lei/m ²)
Martor	682,5	5	125,00	85.312,50	49,73	174,73
Geotextil	231,0	2	50,00	11.550,00	67,56	117,56
Geogrilă	192,5	3	75,00	14.437,50	87,17	162,17

Interpretând aceste rezultate, reiese cu claritate că, în pofida unui cost inițial moderat, varianta cu geotextil este soluția cea mai avantajoasă din punct de vedere economic pe termen mediu și lung, este nu doar mai eficient decât geogrilă ci și semnificativ mai rentabil decât varianta fără geosintetic. Prin urmare, se poate concluziona că utilizarea geotextilului nu doar că îmbunătățește performanțele mecanice ale corpului drumului, ci conduce și la o economie semnificativă în termeni de costuri totale de exploatare.

Pentru a determina performanța fiecărei soluții, s-au efectuat măsurători de deflexiune la șase luni după finalizarea lucrărilor, utilizând deflectometrul cu impact ușor, (Figura 7).

Capacitatea portantă - deflexiuni

Deflexiunea reprezintă deformațiile care apar atunci când solul sau stratul de fundație este supus unei încărcături (de exemplu, traficul rutier). Măsurarea deflexiunii este esențială pentru a evalua capacitatea portantă a solului și a determina dacă structura sau fundația respectivă este suficient de stabilă pentru a suporta sarcinile de trafic sau alte încărcături.



Figura 7. Deflectometru de impact ușor.

Un sector de drum forestier se consideră cu capacitate portantă suficientă dacă valoarea deflexiunii caracteristice (d_c) este sub 250 [0,01 mm], cu capacitate portantă mediocră dacă valoarea deflexiunii caracteristice este cuprinsă între 250 și 300 [0,01 mm] , iar cazul în care valoarea deflexiunii



caracteristice depășește 300 [0,01 mm], sectorul este considerat cu capacitate portantă insuficientă (conform CD 31-2002).

Conform acestor date au reieșit următoarele concluzii pentru cele trei tronsoane:

Tronson 2 (geotextil): deflexiuni d_a între 143 și 167 x 0,01 mm, indicând o capacitate portantă foarte bună.

Tronson 1 (geogrilă): deflexiuni d_a între 213 și 228 x 0,01 mm, ceea ce sugerează o capacitate portantă acceptabilă.

Tronson 3 (martor): deflexiuni d_a între 248 și 261 x 0,01 mm, reflectând o capacitate portantă slabă.

Comportamentul în exploatare – evaluare la 1 an

După un an de exploatare, starea suprafeței carosabile a fost reevaluată vizual:

Tronson 2 (geotextil): 0% degradări, suprafața fiind în stare excelentă, fără fisuri sau tasări.

Tronson 1 (geogrilă): aprox. 10% din suprafața a prezentat degradări minore, cum ar fi denivelări ușoare.

Tronson 3 (martor): peste 70% degradări, incluzând fisuri longitudinale, tasări semnificative și acumulări de apă.

3. Concluzii

Utilizarea geotextilului neșesut a oferit o soluție eficientă, din punct de vedere tehnic și economic, pentru stabilizarea infrastructurii rutiere în zone cu terenuri dificile.

Concluzia finală a lucrării

Studiul de față a prezentat importanța adaptării geotextilului în funcție de natura solului coeziv sau necoeziv și de cerințele specifice ale fiecărui context geotehnic. Rezultatele experimentale și studiile de caz analizate au confirmat eficiența geotextilelor în îmbunătățirea performanțelor mecanice și hidraulice ale solurilor, contribuind la realizarea unor structuri durabile, sigure și economice. De la lucrările de infrastructură rutieră până la stabilizarea versanților și drenajul în terenuri dificile, utilizarea adecvată a geotextilului se dovedește a fi o soluție esențială în proiectele moderne de inginerie civilă.

În concluzie, succesul aplicării geotextilelor depinde de înțelegerea profundă a interacțiunii dintre material și sol, precum și de alegerea corectă a tipului de geotextil raportat la funcția dominantă necesară în fiecare caz. Această abordare bazată pe criterii tehnice riguroase permite valorificarea maximă a potențialului geotextilelor și contribuie la dezvoltarea sustenabilă a infrastructurii.

BIBLIOGRAFIE

1. NE 012/1-2020 – Normativ pentru utilizarea geosinteticelor în lucrări geotehnice și de infrastructură.
2. Inginerie Geotehnică – Cursuri Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Construcții Civile.
3. <https://www.badomgeotex.ro/materiale-geosintetice/>
4. <https://www.scribd.com/doc>
5. <https://ro.xygeosynthetics.com/info/what-s-the-difference-between-woven-geotextile-42078231.html>
6. CD 31 – 2002 "Normativ privind proiectarea terasamentelor pentru drumuri"
7. CNAIR – Proiect tehnic și documentații de execuție A1 Curtea de Argeș–Pitești (2021–2023)
8. EN ISO 12956:2001, 10319:2015, 11058:2019 – Standarde europene



STUDIU ANALITIC ȘI EXPERIMENTAL ASUPRA COMPORTAMENTULUI UNUI POD REALIZAT DIN LEMN DE Balsa

Autori

Gabriela PÎRVU¹, Ioana A. ENACHE²

¹Facultatea de Inginerie în Limbi Străine, Universitatea Tehnică de Construcții București, [e-mail:gabriela.pirvu@student.utcb.ro](mailto:gabriela.pirvu@student.utcb.ro) .

²Facultatea de Inginerie în Limbi Străine, Universitatea Tehnică de Construcții București, [e-mail:ioana-alexia.enache@student.utcb.ro](mailto:ioana-alexia.enache@student.utcb.ro)

Îndrumători

Asist.Drd.Ing. Andrei SABĂU³

Asist.dr.ing. Ioana Teodorescu³

³Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Universitatea Tehnică de Construcții București, [e-mail:andrei-dan.sabau@phd.utcb.ro](mailto:andrei-dan.sabau@phd.utcb.ro); [e-mail:ioana.teodorescu@utcb.ro](mailto:ioana.teodorescu@utcb.ro)

REZUMAT: În cadrul acestei lucrări, se analizează comportamentul structural al unei machete compusă din ferme de lemn de balsa (care simulează un pod de lemn) proiectat, construit și testat în cadrul Concursului de machete de poduri și ferme din lemn « CADRE » desfășurat la Universitatea Tehnică de Construcții București, decembrie 2024. Studiul are ca obiectiv principal comparația dintre rezultatele obținute în cadrul testării mecanice a podului de lemn și rezultatele unui model de calcul analitic efectuat pentru structura testată. Calculul analitic va fi realizat cu ajutorul unui program de element finit. Astfel, utilizând datele obținute experimental prin încercarea structurii și prin încercări pe probe de material, lucrarea își propune să realizeze o analiză pentru confirmarea modelului de calcul analitic. Modelul numeric astfel obținut, coroborat cu rezultatele obținute prin testare, va contribui la propunerea unei soluții de pod de lemn cu proprietăți mecanice îmbunătățite. Această soluție urmează a fi testată la următoarea ediție a concursului « CADRE » .

Cuvinte cheie: rezistență, calcul, eficientizare, stabilitate, anizotropie.

1. Introducere

În cadrul acestei lucrări, autorii își propun obținerea unei configurații optimizate a unei machete de tip pod de lemn destinată să reziste la valori sporite ale solicitării de compresiune aplicate cu ajutorul unei prese mecanice.

În cadrul concursului «CADRE» desfășurat la Universitatea Tehnică de Construcții București, în luna decembrie 2024, autorii au participat cu un model de pod din lemn de balsa care a fost încercat în presă, structura cedând la o anumită valoare a forței aplicate $F[kN]$.

Lemnul de balsa are proprietăți specifice, maleabilitatea și greutatea redusă, dar este susceptibil la degradare din diverse cauze fiziologice și biochimice. Printre acestea se numără expunerea prelungită la umiditate, ce favorizează dezvoltarea mucegaiurilor și a altor microorganisme patogene, având ca efect scăderea performanței și durabilității materialului. Pentru prevenirea acestora în timpul execuției, se recomandă utilizarea adezivilor pe bază de rășini [1]. De asemenea, lemnul de balsa poate prezenta discontinuități în rigiditate din cauza defectelor naturale, cum ar fi nodurile, care influențează comportamentul mecanic și se recomandă a fi evitate.

Studiul de față începe prin modelarea structurii de tip pod încercată în cadrul concursului cu ajutorul unui program de calcul de element finit (ETABS 2022). Pornind de la valoarea forței de rupere a structurii determinată în cadrul concursului, se va determina deformația structurii ținând cont de tipul de material din care este alcătuită structura și anume lemn de balsa.

În continuare, studiul își propune analiza unor configurații diferite ale structurii podului care să conducă la îmbunătățirea răspunsului machetei în condițiile concursului « CADRE » de anul viitor.

2. Studiu de caz

2.1. Testare experimentală în cadrul concursului „CADRE”

Macheta de tip pod de lemn realizată pentru a fi testată are următoarea configurație, numită Configurație 1 (Figura 1 și Figura 2):

- 3 ferme de lemn trapezoidale, având talpa superioară, inferioară, montanți verticali și diagonale;
- Rigidizări din lemn amplasate în dreptul nodurilor de la talpa inferioară și superioară a fermelor. Suplimentar, sunt prevăzute rigidizări și între nodurile tălpilor inferioare în scopul creșterii rezistenței de ansamblu a structurii. Rigidizările sunt poziționate între ferme.

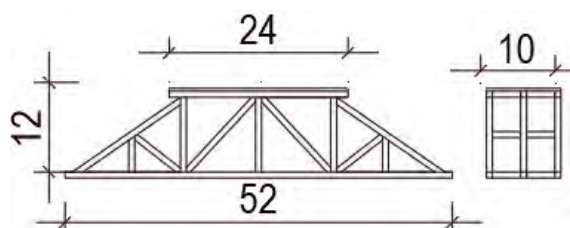


Figura 1. Configurația 1 a podului [cm].



Figura 2. Podul de lemn încercat în presă.

Rigidizarea structurii podului este realizată în plan longitudinal cu dispunerea fermelor, iar în plan transversal, prin formarea unui cadru, cu ajutorul rigidizărilor, pentru prevenirea deplasărilor laterale (preven flambajul).

Regulamentul concursului a impus tipul de structură modelat prin machetă, dimensiunile acestora și secțiunea elementelor folosite.

Pentru construcția machetei toate elementele componente de tip bară folosite au secțiunea de 0.8 x 0.8 cm.

Materialul folosit este:

- lemn de balsă, având densitatea medie 120 kg/m^3 ;
- adeziv rapid cianoacrilat de mare rezistență.

Pentru a putea fi încercată în presă, macheta are la partea superioară lipită o placă cu dimensiuni (L x l x h): 24 x 10 x 0.4 cm. Geometria machetei a fost optimizată pentru a asigura cât mai bine condițiile de încărcare: la partea superioară, placa este fixată pe elemente suplimentare de 0.8 x 0.8 cm, lipite peste cele 3 ferme (Figuri 4 și 5).

Construirea machetei a fost făcută cu mare atenție, astfel încât cedarea structurii să fie din motive de rupere a elementelor sau a nodurilor prin depășirea capacităților de rezistență, decât din motive constructive care țin de execuție defectuoasă.

Atât tăieturile elementelor cât și chertările s-au realizat cu un bisturiu pentru uz sanitar. Principiile de execuție au ținut cont de natura specifică a materialului, cu accent pe orientarea fibrei lemnului pentru a eficientiza rezultatele încercării.

Au fost realizate chertări simple cu înălțimea de 2 mm la îmbinarea dintre talpa superioară și talpa inferioară (Figura 3), introducând adeziv pe suprafețele de contact. În rest, îmbinările au fost realizate prin suprapunere, cu adeziv (Figura 4). În acest fel, toate nodurile structurii sunt noduri încleiate.



Figura 3. Detaliu chertare.

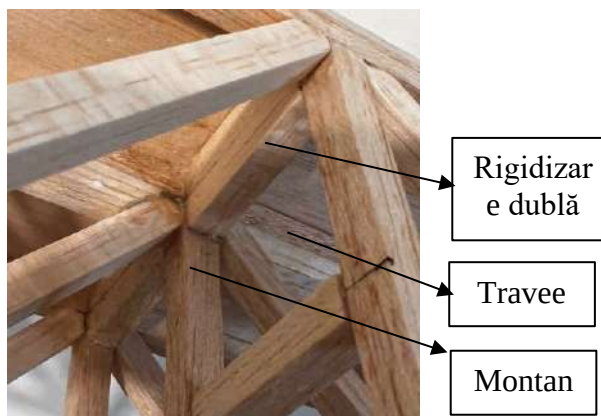


Figura 4. Detaliu îmbinare montan principal și diagonală.

S-a acordat o atenție deosebită distribuirii adezivului pe întreaga suprafață de contact dintre elementele componente, asigurând o aderență uniformă (Figura 5). În acest sens, suprafețele au fost prelucrate mecanic prin șlefuire, utilizând hârtie abrazivă, pentru a conferi un grad adecvat de rugozitate, procedeu recomandat de manualele de specialitate [1].



Figura 5. Detaliu îmbinare travee și montan.



Figura 6. Presă.

Macheta a fost testată în cadrul Laboratorului de încercări pentru materiale de construcții din cadrul Universității Tehnice de Construcții București, la o presă mecanică având suporti ficși cu deschiderea de 0.5 m (Figura 6). Presa permite încărcarea machetei cu o forță concentrată aplicată la mijlocul deschiderii, în mod gradual, până la cedarea acesteia.

În urma testării în presă, forța de rupere a machetei a fost $F = 1.54 \text{ kN}$.

S-a constatat că cedarea machetei s-a făcut concomitent prin ruperea tălpii inferioare (1) și a tălpii superioare în dreptul nodului (2) dintr-una dintre fermele marginale (Figuri 7 și 8).

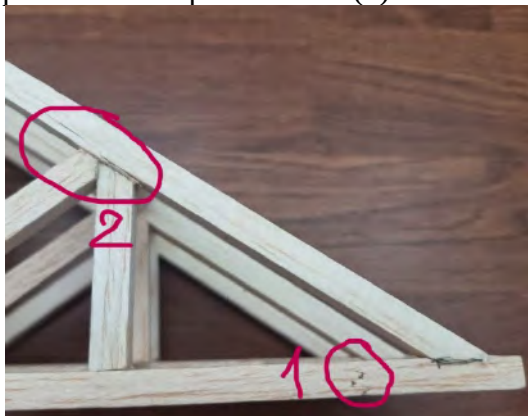


Figura 7. Punctele de rupere.



Figura 8. Cedarea barei în dreptul nodului

a. Modelare numerică a structurii Configurație 1

Structura de rezistență a machetei testate (Configurația 1) a fost modelată în programul de element finit (ETABS 2022), respectând configurația testată: dimensiunile podului, dimensiunile elementelor componente și caracteristicile de rezistență ale materialului lemn de balsă.

Nodurile realizate prin lipire sunt modelate ca noduri rigide, deoarece adezivul are o rezistență la forțe tăietoare mai mare decât lemnul și asigură, totodată, o legătură continuă între elemente.



Figura 9. Forma nedeformată a podului.
Configurația 1.



Figura 10. Forma deformată a Configurației 1.

Din literatura de specialitate, au fost preluate valori pentru modulul lui Young pentru cele trei axe ale elementului din lemn: 3120 MPa pentru axa longitudinală (E1 în ETABS), 144 MPa pentru direcția radială (E2 în ETABS) și 46.8 MPa tangențial (E3 în ETABS) [4].

Structura va fi încărcată la partea superioară, central, cu forță de rupere verticală $F = 1.54 \text{ kN}$, preluată din testul experimental.

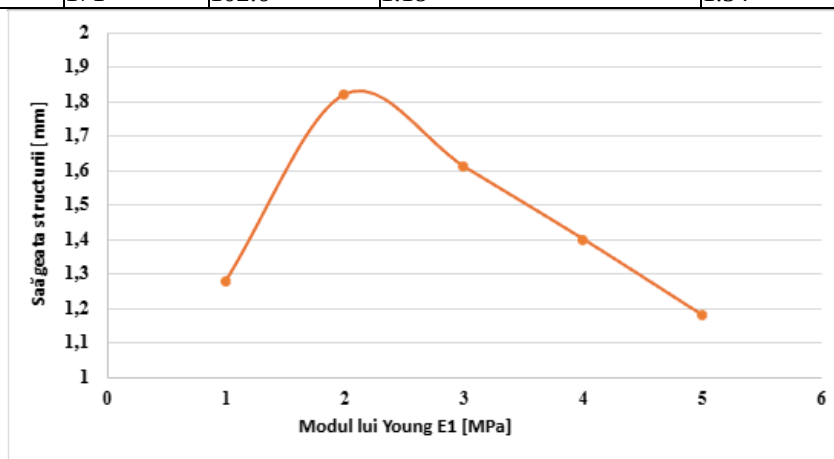
Va fi determinată deplasarea verticală (săgeata) obținută în mijlocul deschiderii podului (mm) (Test 1 din Tabel 1).

În continuare, vor fi efectuate 4 modelări suplimentare ale structurii în Configurația 1 în programul ETABS 2022, în care valoarea modulului lui Young va fi variată cu trepte de 300 MPa (increment ales arbitrar), rezultând săgețile podului corespunzătoare (Tabel 1).

Se urmărește compararea săgeților obținute în cele 5 modelări realizate.

Tabelul 1. Rezultate obținute pentru structura Configurație 1.

Test	Valoare E1 (MPa)	Valoare E2 (MPa)	Valoare E3 (MPa)	Săgeata în mijlocul podului f (mm)	Forță maximă aplicată (kN)
Test 1	3120	144	46.8	1.28	1.54
Test 2	2220	111	66.6	1.82	1.54
Test 3	2520	126	75.6	1.61	1.54
Test 4	2820	141	84.6	1.40	1.54
Test 5	3420	171	102.6	1.18	1.54



Grafic 1. Variația săgeții cu modulul de elasticitate E1 Mpa.

Din Graficul 1 se remarcă creșterea săgeții structurii în funcție de scăderea modulului lui Young, o constatare care confirmă influența rigidității materialului utilizat asupra deformabilității structurii.

2.2. Propunere de noi configurații pentru structura de pod

În continuare, se urmărește optimizarea modelului Configurație 1 în vederea participării la o nouă ediție a concursului « CADRE ».

Pentru aceasta, sunt propuse două noi configurații de structură de pod, numite Configurație 2 și Configurație 3 pentru care se vor realiza următoarele modificări geometrice:

- Modelul Configurație 2 utilizează diagonalele din secțiunea longitudinală dispuse diferit (Figura 11),
- Modelul Configurație 3 utilizează, în planul transversal, diagonale în schimbul rigidizărilor orizontale (Figura 12).

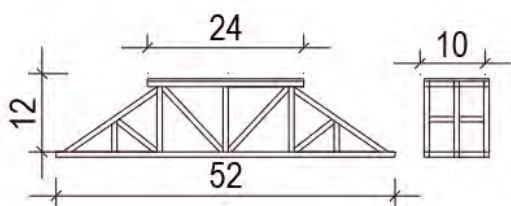


Figura 11. Forma nedeformată a Configurației 2 - schiță.

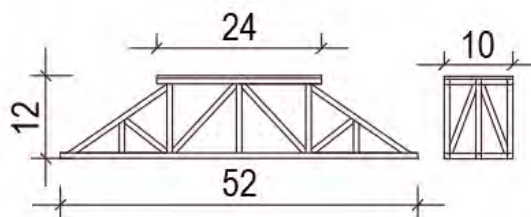


Figura 12. Forma nedeformată a Configurației 3 - schiță.

Cele două configurații noi propuse de structuri au fost modelate în programul ETABS 2022 și încărcate în mod similar cu forța de rupere verticală $F = 1.54 \text{ kN}$.

Pentru modelul lui Young se alege valoarea corespunzătoare Testului 1 (Tabel 1): 3120 MPa pentru axa longitudinală (E1 în ETABS), 144 MPa pentru direcția radială (E2 în ETABS) și 46.8 MPa tangențial (E3 în ETABS).

În urma analizei structurale, s-a obținut forma deformată a celor 2 configurații (Figura 10 și Figura 11).

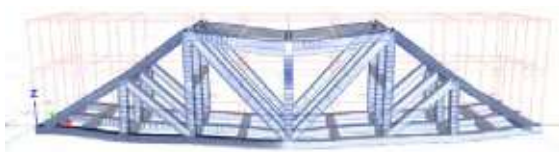


Figura 10. Forma deformată a Configurației 2.

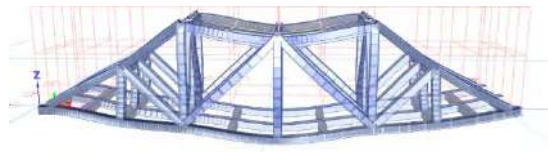


Figura 11. Forma deformată a Configurației 3.

În urma analizării structurilor în cele 3 configurații structurale au fost obținute deformațiile maxime în mijlocul deschiderii (Tabel 2). Se remarcă o îmbunătățire a rigidității structurii podului pentru Configurația 2 datorită schimbării modului de poziționare a diagonalelor în cadrul fermelor componente. Există o diferență de aprox. 20% între valoarea săgeților obținute pe modelul Configurație 1 (testat) și Configurație 2 (propus).

Tabelul 2. Rezultate pentru cele 3 configurații structurale

Test	Săgeată în mijlocul podului f (mm)	Forță maximă compresivă (kN)
Configurația 1	1.28	1.54
Configurația 2	1.07	1.54
Configurația 3	1.30	1.54



3. Concluzii

În cadrul studiului au fost analizate 3 tipuri de machete de structuri de pod, numite Configurație 1 – 3. Tipul Configurație 1 a fost testat experimental în cadrul concursului studențesc „CADRE”. Studiul de față analizează obținerea unor configurații structurale de machete cu performanțe mecanice sporite în vederea participării la următoare ediție a acestui concurs.

O primă concluzie obținută în urma simulărilor realizate cu ajutorul programului de calcul ETABS 2022 indică faptul că o creștere a modulului lui Young conduce la o diminuare a deformației elementelor supuse unei solicitări verticale.

Cea de-a doua concluzie indică faptul că modelul structural Configurație 2 (propus) are o capacitate de rezistență îmbunătățită, săgeata determinată în mijlocul structurii fiind mai mică cu 20% față de modelul inițial, testat. Modificarea poziției diagonalelor a permis îmbunătățirea modelului structural.

Astfel, modelul structural Configurația 2 analizat de autorii articolului reprezintă o soluție promițătoare pentru viitoarea ediție a concursului „CADRE”, oferind un model îmbunătățit în ceea ce privește rezistență și deformabilitate.

BIBLIOGRAFIE

1. Porteous J., Kermani A., *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Blackwell Publishing, 2007. 1.4.10.
2. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Centennial Edition*. General Technical Report FPL–GTR–190, 2010. Ch. 10–1.
3. Rajan, S. and Brunner, A. J. and Birk, T. K. and Hine, P. J. and Ward, I. M., *Characterization of balsa wood mechanical properties required for analytical modeling*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications. SAGE Publications, 2016. Vol. **230**, 1, 244–252.
4. Gregory D., Ken J., Brian K., Jason G. et. al., *A Review of Factors That Affect the Static Load-Bearing Capacity of Urban Trees*. Arboriculture and Urban Forestry, 2017. Vol. **43**, 89-106.



EVALUAREA FEZABILITĂȚII UTILIZĂRII BETOANELOR DE ULTRA ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ (UHPC) LA PODURI: STUDIU DE CAZ ȘI EVALUARE MULTICRITERIALĂ

Autori

Alexandra E. BRĂNESCU¹, Alexia M. RADU²

¹Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: alexandra-estefania.branescu@student.utcb.ro

²Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: alexia-maria.radu@student.utcb.ro

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Corina CHIOTAN³

³Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București, e-mail: corina.chiotan@utcb.ro

REZUMAT: *Lucrarea propusă are ca scop investigarea utilizării betoanelor de ultra înaltă performanță (Ultra-High-Performance Concrete – UHPC) în infrastructura rutieră. Tema urmărește să evidențieze implicațiile utilizării acestui material inovator în comparație cu soluțiile tradiționale din beton convențional, din perspectiva comportării structurale, a durabilității în exploatare și a eficienței economice.*

UHPC este un tip de beton cu compoziție optimizată, caracterizat printr-o densitate mare, un grad redus de porozitate capilară și o rezistență la compresiune care depășește în mod frecvent 150 MPa. Acest material integrează adaosuri minerale (precum silica fume și cenușă volantă), fibre metalice dispersate uniform, agenți superplastifianți și agregate fine, ceea ce îi conferă performanțe mecanice superioare, o ductilitate ridicată și o durabilitate excepțională în medii agresive. Utilizarea UHPC în elementele structurale ale podurilor poate conduce la reducerea dimensiunilor secțiunilor, la diminuarea armăturilor și la creșterea duratei de viață a lucrării.

În cadrul lucrării se vor analiza proprietăți fundamentale ale UHPC precum densitatea, porozitatea, compoziția și modul de fisurare, dar și aspecte aplicative, cum ar fi consumul de material, cantitățile de armătură necesare, eforturile interne și capacitatea portantă a grinzilor. Totodată, vor fi evaluate comparativ costurile de execuție și întreținere, prin modelarea comportării pe întreaga durată de viață a structurii. Aceste demersuri urmăresc să ofere o bază obiectivă pentru decizia de adoptare a UHPC în execuția de poduri rutiere moderne.

Cuvinte cheie: UHPC, pod, beton, performanță, durabilitate.

1. UHPC – compoziție și performanțe

Ultra-High Performance Concrete (UHPC) reprezintă una dintre cele mai inovatoare soluții în domeniul materialelor de construcții pe bază de ciment. Definirea modernă a UHPC a fost introdusă la începutul acestui secol în Europa, odată cu perfecționarea superplastifianților pe bază de poliacrilat și cu rafinarea principiilor de proiectare a compozițiilor, ceea ce a permis obținerea unor betoane cu performanțe deosebite la turnare și compactare, comparativ cu primele generații de compozite precum CRC (Compact Reinforced Composite) sau RPC (Reactive Powder Concrete). Primele încercări de modelare teoretică a densității maxime de compactare datează din anii 1930 (Andresen și Andressen), însă abia dezvoltarea superplastifianților și a tehnologiilor de dozare a fibrelor metalice a permis apariția UHPC ca material distinct [7].

Evoluția UHPC s-a accelerat semnificativ după anii 1990, odată cu dezvoltarea RPC la laboratorul Bouygues din Franța (1993), unde s-au atins pentru prima dată rezistențe la compresiune de peste 150 MPa. Ulterior, cercetătorii au introdus armarea cu fibre pentru a îmbunătăți proprietățile la tracțiune și comportamentul ductil, conducând la apariția UHPFRC (Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete) [7].

Conform definiției actuale din standardul european EN 206:2013, Ultra-High Performance Concrete (UHPC) este un tip de beton cu o rezistență la compresiune minimă de peste 100 MPa, deși în practică se obțin frecvent valori între 120 și 250 MPa [10]. Această rezistență este însoțită de o durabilitate excepțională datorită microstructurii sale dense, aproape neporoase. Eliminarea agregatelor groșiere se



face pentru a asigura o granulometrie optimizată și un grad de compactare ridicat (0,825–0,855) al matricei [10]. Utilizarea de adaosuri minerale reactive (silica fume, lianți suplimentari), superplastifianți pe bază de poliacrilat permit o lucrabilitate ridicată și o auto-compactare eficientă fără segregare. Incorporarea fibrelor metalice sau polimerice pentru armarea betonului conferă o rezistență la tracțiune crescută și creșterea densității. Se asigură în acest fel o rezistență crescută la medii agresive (corozive, marine, industriale) și o durată de viață a structurilor de peste 100 de ani fără întreținere intensă.

Microstructurii i se datorează permeabilitatea extrem de scăzută și porozitatea minimă. Ductilitatea și gradul de absorbție al energiei sunt vizibil mai ridicate, cel din urmă fiind de până la 300 de ori mai mare decât a betonului de înaltă performanță obișnuit - avantaje esențiale în zonele cu risc seismic ridicat, unde structurile trebuie să reziste la solicitări dinamice și deformări mari fără cedare fragilă. Degradarea în timp este redusă prin capacitatea de auto-compactare a microfisurilor în prezența umidității [9].

În domeniul ingineriei podurilor, UHPC a început să fie utilizat pe scară largă pentru realizarea de elemente structurale esențiale precum cele de legătură, grinzi principale, pile și suprabetonări. Utilizarea UHPC permite reducerea secțiunilor elementelor structurale și implicit a greutății acestora, facilitând proiectarea unor structuri mai eficiente, creșterea duratei de viață a construcțiilor, eliminarea rosturilor de dilatație (prin utilizarea elementelor de legătură din UHPC la podurile fără rosturi), crescând confortul utilizatorilor. Deși costurile inițiale ale UHPC sunt mai ridicate, avantajele și performanțele sale remarcabile în medii agresive sau la încărcări seismice justifică adoptarea sa tot mai largă în proiectarea și reabilitarea podurilor moderne [7].

UHPC este un material compozit cu o compoziție optimizată ce include ciment Portland de înaltă calitate (tipuri I, III sau ciment alb, cu finete de măcinare ridicată, Blaine > 3500 cm²/g), suplimentat cu materiale cimentante auxiliare (SCM) precum silica fume (5-25% din volumul binderului), cenușă volantă, zgură și pulberi minerale ultrafine. Silica fume, având particule extrem de fine (0,01–10 μm) și o suprafață specifică mare (~20.000 cm²/g), contribuie semnificativ la creșterea densității și compactității matricei, prin efectul de umplere și reacțiile pozzolanice care accelerează hidratarea cimentului. Cenușa volantă și zgura, cu granulometrie mai grosieră (30–50 μm), reduc căldura de hidratare și contracția endogenă, îmbunătățind durabilitatea, dar pot întârzia dezvoltarea rezistenței inițiale [3].

Raportul apă-ciment (A/C) reprezintă raportul dintre cantitatea de apă disponibilă pentru hidratarea cimentului și cantitatea de ciment din compoziție, fiind un parametru critic în definirea proprietăților finale ale betonului. În UHPC, raportul A/C este foarte scăzut, de regulă între 0,15 și 0,25, pentru a asigura o microstructură densă și o rezistență mecanică ridicată. Pentru a menține lucrabilitatea la aceste valori scăzute ale raportului A/C, se utilizează aditivi superplastifianți pe bază de policarboxilați, care dispersează eficient particulele de ciment, reducând forțele de agregare și eliberând apa liberă necesară pentru hidratare [10].

Agregatele fine sunt reprezentate predominant de nisip cuarțos cu granulometrie sub 1 mm, pentru a maximiza ambalarea particulelor și a reduce golurile. Alternativele includ nisip de râu, nisip calcaros, nisip reciclat sau nisipuri poroase ușoare, care pot influența lucrabilitatea, densitatea și durabilitatea. Fibrele metalice, cu dimensiuni și forme controlate, sunt adăugate pentru a spori rezistența la tracțiune, tenacitatea și controlul fisurilor.

Densitatea UHPC este în general în jurul valorii de 2400 kg/m³, similară betonului convențional, însă microstructura sa este mult mai compactă și omogenă. Această densitate ridicată este rezultatul unui amestec optimizat, cu un raport apă-ciment scăzut și utilizarea suplimentelor minerale ultrafine, care umplu golurile intergranulare și reduc porozitatea. Densitatea influențează direct proprietățile mecanice și durabilitatea, fiind un indicator al compactității matricei [11].

Studii recente arată că adăugarea fumului de silice poate crește ușor densitatea UHPC (aprox. +1% la 15% fum de silice față de 0%), datorită efectului de umplere a golurilor microscopice și a reacției pozzolanice ce generează produși solizi suplimentari în pori. De asemenea, prezența fibrelor de oțel (densitate ~7850 kg/m³) contribuie la masa specifică a compozitului; s-a observat experimental o ușoară creștere a densității betonului odată cu includerea unui volum moderat de fibre metalice, atribuită atât masei acestora cât și faptului că fibrele pot împiedica formarea și propagarea fisurilor sau a golurilor în timpul prizei (îmbunătățind compactarea). Totuși, un conținut excesiv de fibre poate



reduce lucrabilitatea, ducând paradoxal la creșterea porozității și la o densitate ușor mai scăzută (fenomen raportat la volume de fibre peste ~3%, când betonul devine dificil de vibrat) [11].

Porozitatea UHPC este extrem de redusă, datorită microstructurii dense și a rețelei discontinue de pori foarte fini, ceea ce limitează considerabil permeabilitatea. Utilizarea silica fume și a altor adaosuri ultrafine reduce dimensiunea și volumul porilor capilari, iar raportul scăzut apă-ciment minimizează formarea porilor de evaporare. Porozitatea totală este astfel mult mai mică decât în betonul obișnuit, ceea ce conferă UHPC o rezistență superioară la pătrunderea apei, a ionilor de clorură și a altor agenți agresivi [12].

S-a demonstrat că probe de UHPC supuse la 300–500 de cicluri îngheț-dezgheț nu prezintă deteriorări vizibile sau pierderi de masă, comparativ cu betoanele normale care ar suferi exfolieri și microfisuri în asemenea condiții [9]. De asemenea, adâncimea de penetrare a ionilor de clor și rata carbonatării la UHPC sunt practic nule pe termen lung, datorită porilor foarte mici și continuității lor reduse. Prin urmare, UHPC este considerat un material durabil, adecvat mediilor agresive, chiar și fără protecții suplimentare.

Controlul fisurilor este esențial pentru durabilitatea UHPC. Fibrele metalice acționează ca punți peste microfisuri, reducând lățimea și propagarea acestora. Astfel, fisurile sunt distribuite uniform și menținute sub praguri critice, limitând penetrarea agenților agresivi și prelungind durata de viață a structurilor. Gradul de fisurare depinde de conținutul și orientarea fibrelor, precum și de compoziția matricei [12].

Datorită fibrelor de armare dispersate, UHPC trece de la un material intrinsec fragil (asemenea betonului obișnuit sau ceramicii) la un material cu comportament ductil, capabil să suporte solicitări după fisurare. Fisurile care se formează sunt de dimensiuni reduse și numeroase, ceea ce are și beneficii de durabilitate: chiar fisurat sub sarcină, UHPFRC menținând o etanșeitate mai bună (fisuri mai fine, autovindecare facilitată) comparativ cu betonul tradițional care ar dezvolta o fisură larg deschisă [12].

Rezistența la compresie a UHPC depinde de dozajul cimentului, raportul apă-ciment, tipul și proporția de adaosuri, condițiile de maturare și prezența fibrelor. Valorile tipice sunt de peste 150 MPa, cu posibilități de creștere până la peste 230 MPa prin tratamente termice și chiar mai mult în condiții speciale. Optimizarea raportului apă-ciment este crucială, deoarece creșterea acestuia peste 0,22 determină scăderea semnificativă a rezistenței [3].

UHPC prezintă o rezistență la întindere superioară betonului convențional, datorită fibrelor care asigură un comportament post-fisurare cu valori de peste 5 MPa. Această caracteristică este esențială pentru elementele structurale supuse la solicitări de tracțiune și flexiune, oferind o capacitate ridicată de absorbție a energiei și prevenind propagarea fisurilor [3].

Modulul de elasticitate al UHPC este cuprins între 45 și 60 GPa, ceea ce indică o rigiditate superioară față de betonul obișnuit. Această proprietate contribuie la reducerea deformărilor și la o mai bună distribuție a sarcinilor în structuri, însă necesită o proiectare atentă pentru a evita comportamente fragile [13].

UHPC manifestă o contracție endogenă ridicată, cauzată de raportul scăzut apă-ciment și microstructura densă, care poate genera tensiuni interne și fisurare dacă nu este controlată. Utilizarea de adaosuri precum cenușa volantă, zgura și nisipurile poroase pentru curățare internă atenuează contracția prin menținerea umidității interne și susținerea hidratării continue. Contracția la uscare este redusă datorită impermeabilității ridicate a materialului [8].

2. Utilizarea UHPC în construcția de poduri

În contextul utilizării betonului cu performanță ultra-înaltă (UHPC) în construcția podurilor, există numeroase exemple internaționale relevante care evidențiază avantajele acestui material comparativ cu soluțiile tradiționale, din punctele de vedere ale eficienței economice, comportării structurale, durabilității și longevității [3]. Încă din anii 2000, UHPC a fost utilizat experimental în construcția și reabilitarea podurilor, atât rutiere cât și pietonale, oferind avantaje în ceea ce privește eficiența structurală și durata de serviciu [3]. În continuare sunt prezentate **5 exemple** din literatura tehnică, care ilustrează utilizarea UHPC fie la poduri noi, fie la reabilitarea podurilor existente.

Podul Pulaski Skyway, viaduct rutier istoric de 5,3 km între Newark și Jersey City, a necesitat în anii 2010 reabilitarea tablierului metalic cu dală de beton armat. Obiectivul a fost înlocuirea plăcii de

suprabetonare pentru o durată de viață de 75 de ani, cu mentenanță minimă și întreruperi reduse de trafic [1]. În 2012, s-a ales montarea unor predale prefabricate din beton armat pe grinzile existente, conectate cu UHPC turnat in situ. Această metodă a accelerat consolidarea tablierului și a oferit durabilitate superioară față de turnarea tradițională, care ar fi impus închideri mai lungi. Pulaski Skyway a fost printre primele proiecte din SUA care a folosit UHPC pentru placa de suprabetonare. UHPC asigură rosturilor rezistență și durabilitate cel puțin egale cu panourile, transformând rosturile în zone de înaltă performanță, impermeabile datorită porozității scăzute.

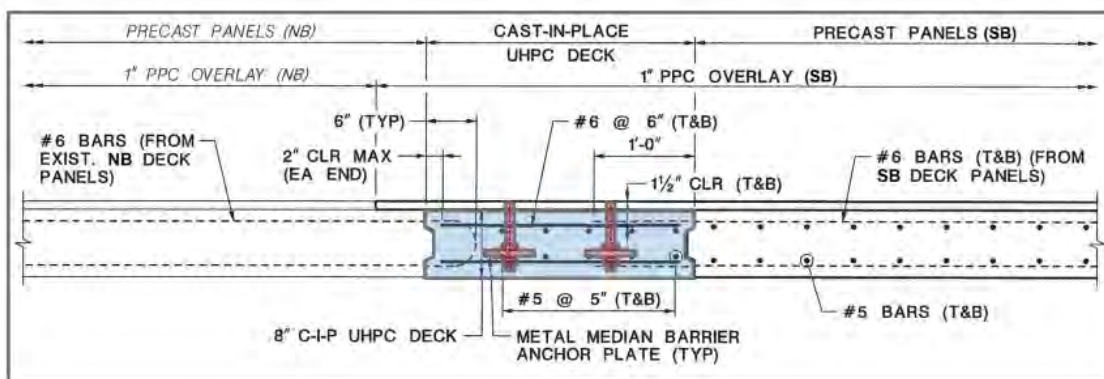


Figura 1. Turnare mediană de UHPC la rostul dintre tronsoane adiacente (sensul nord pe stânga, sensul sud pe dreapta).

În zonele mai mari, s-au folosit panouri compozite cu rețea metalică, conectate cu UHPC, a cărui fluiditate a facilitat umplerea spațiilor în jurul armăturilor dese.

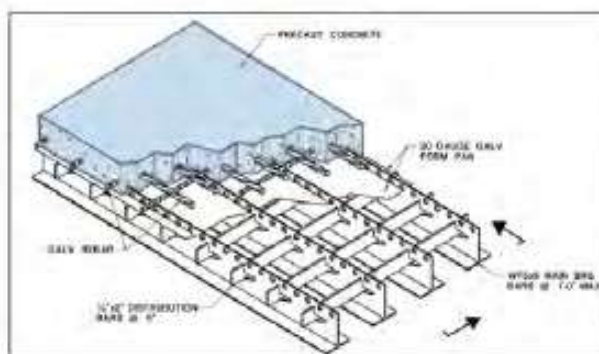


Figura 2. Vedere izometrică în secțiune a unui panou prefabricat compozit de tablier din grilă de oțel.

Rosturile de dilatație au fost eliminate, făcând tablierul o structură continuă și reducând costurile pentru întreținerea. Timpul rapid de priză a permis atingerea rezistenței structurale în câteva zile, scurtând perioada de închidere a podului față de 3–4 săptămâni necesare betonului convențional. Reutilizarea grinzilor metalice a impus pregătirea atentă a suprafețelor și monitorizarea comportării sistemului compozit oțel-beton-UHPC, asigurând o reabilitare durabilă și cu impact minim asupra traficului pe o arteră importantă din New Jersey [1].

Podul Jakway Park, inaugurat în 2008 în Buchanan County, Iowa, a fost primul pod rutier din America de Nord construit cu grinzi precomprimate din UHPC, reprezentând un proiect-pilot inovator [2]. Scopul a fost dezvoltarea unei secțiuni optimizate, profitând de rezistența ridicată și capacitatea UHPC de a lucra în întindere, pentru a obține elemente foarte zvelte și durabile, comparabile ca greutate cu cele din oțel. Soluția a fost o grindă cu secțiune în formă de „pi” (π), prefabricată integral din UHPC cu fibre, având două nervuri verticale și talpă inferioară lată, cu placa superioară integrată ca legătură între nervuri. Această configurație permite ca o singură grindă să preia lățimea unei benzi de circulație, reducând numărul total de grinzi necesare. Podul are trei deschideri: una centrală (~15,6 m) cu grinzi UHPC și două laterale (~15,3 m) realizate prin dale din beton armat turnate pe șantier, pentru a putea face compararea comportării segmentului inovator cu cel tradițional.

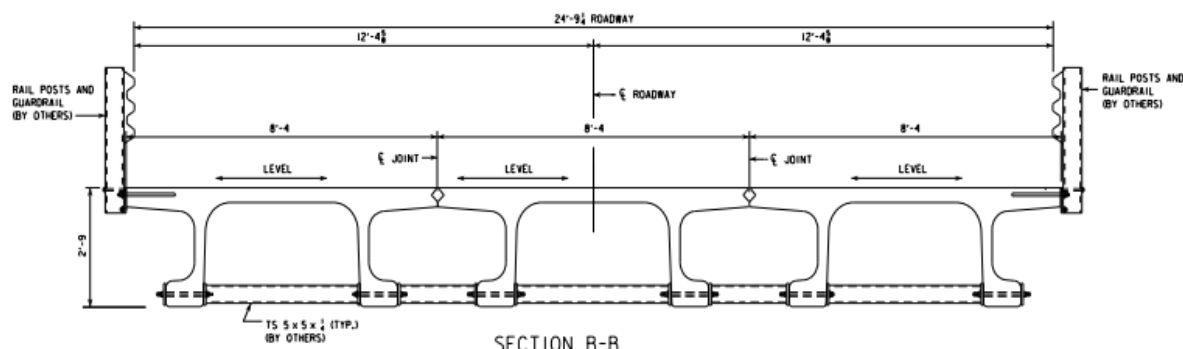


Figura 3. Secțiune transversală a deschiderii centrale [2].

Grinzile UHPC (două pe lățime) au fost sprijinite pe reazeme din neopren și solidarizate la capete cu diafragme din beton convențional (24 MPa) turnate monolit. Prototipurile secțiunii pi au fost testate în laborator, evidențiind necesitatea creșterii grosimii dalelor de la 7,5 cm la 10 cm și introducerea precomprimării transversale (post-tensionare) pentru prevenirea fisurilor și creșterea rigidității. S-au adăugat diafragme metalice sub talpa inferioară la sferturile de deschidere și bare transversale post-instalate prin nervuri, pentru o distribuție uniformă a sarcinilor între grinzi. Fabricarea și testarea celor trei grinzi UHPC (~15,3 m fiecare) au durat câteva luni, dar montajul a fost rapid, grinzi fiind instalate cu macaraua pe pile, urmate de turnarea diafragmelor și tensionarea cablurilor transversale. Întregul pod a fost finalizat în 52 de zile, cu deschidere înainte de iarnă, un timp comparabil cu cel al unui pod convențional similar, demonstrând că prefabricarea UHPC a compensat timpul suplimentar al inovării. Costul total a fost de circa 600.000 USD pentru ~35 m, mai mare decât un pod standard în Iowa. Datorită rezistenței ridicate a UHPC, secțiunea pi este mult redusă față de o grindă precomprimată convențională, eliminând armătura pasivă, fibrele metalice preluând acest rol, și reducând volumul de beton [2].

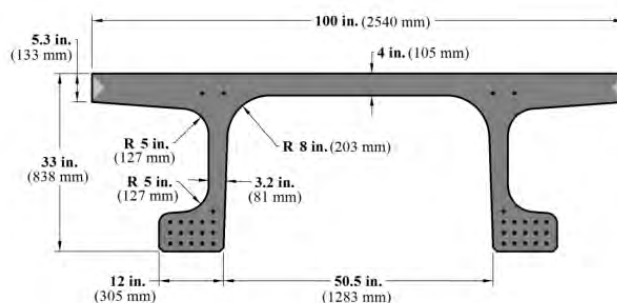


Figura 4. Secțiune transversală a unei grinzi cu secțiune în formă de pi (π).

Pentru o deschidere de ~15 m, două grinzi subțiri au înlocuit 3–4 grinzi robuste tradiționale, aducând economii de greutate și reducând solicitările asupra fundațiilor, permițând culee mai mici. Forma pi asigură și funcția de dală, economisind material suplimentar necesar unei plăci separate cu armătură densă [2]. Grinzile UHPC, deși subțiri, preiau încărcări rutiere obișnuite, prin precomprimare eficientă și folosirea rezistenței la întindere post-fisurare asigurată de fibre. Testele pe prototipuri au evidențiat comportament ductil la rupere, fără colaps brusc. Precomprimarea transversală a permis ca placa de 10 cm să distribuie încărcările satisfăcător, obținând rigiditate comparabilă cu un tablău convențional, dar cu mult mai puțin material [2].

Turnarea și tratarea termică a elementelor UHPC au impus proceduri speciale: menținerea temperaturii de ~46°C în hala de turnare și încălzirea treptată la 90°C timp de peste 48 de ore pentru accelerarea întăririi. Aceste cerințe au generat consumuri energetice și logistice ridicate. De asemenea, dispersia uniformă a fibrelor metalice a necesitat o amestecare atentă, pentru a evita segregarea betonului. Această soluție a demonstrat fezabilitatea și avantajele UHPC în domeniul podurilor, oferind o combinație remarcabilă de durabilitate, eficiență structurală și economie de material, cu un impact minim asupra calendarului de execuție [2].

Podul Gärtnerplatzbrücke din Kassel, Germania, inaugurat în 2007, este primul pod pietonal cu mai multe deschideri din Germania construit predominant din UHPC [4]. Lung de 132 m, cu 6 deschideri,

a înlocuit o pasarelă veche de lemn, urmărind durabilitatea pe termen lung și o geometrie suplă, estetică, integrată în peisajul urban. Structura hibridă combină o grindă cu zăbrele metalică spațială, cu diagonale și montanți din tuburi de oțel, cu elemente prefabricate UHPC pentru partea superioară și plăcile suprastructurii. Oțelul preia forțele de întindere, iar UHPC, datorită rezistenței ridicate și durabilității, formează platelajul rigid pentru circulație. Conceptul seamănă cu o grindă compusă oțel-beton, dar UHPC permite secțiuni mai subțiri și elimină armătura clasică din beton. Fiecare deschidere este alcătuită dintr-o fermă metalică spațială legată de plăcile prefabricate UHPC, care funcționează ca platelaj și element structural. Conexiunile s-au realizat prin lipire structurală cu adeziv epoxidic între plăcile UHPC și capetele fermelor, precum și prin șuruburi pretensionate pentru forțe de forfecare. Datorită grosimii reduse a plăcilor, lipirea pe toată suprafața a asigurat o legătură uniformă, evitând slăbirea elementelor prin conectori metalici convenționali. UHPC are suprafață densă și modul de elasticitate ridicat, ideale pentru lipire [4].

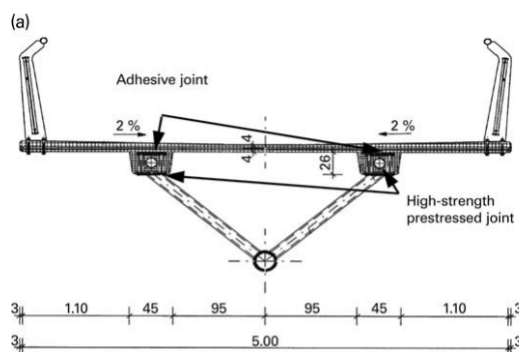


Figura 5. Secțiune prin podul Gärtnerplatzbrücke.

Un sistem complex de monitorizare urmărește tensiunile și deformațiile structurii, având în vedere caracterul inovator al soluției. Durabilitatea UHPC a fost confirmată după 10 ani, fără degradări semnificative, spre deosebire de betonul convențional, unde fisurile și coroziunea limitează durata de viață. Lipirea cu adezivi epoxidici a permis transmiterea uniformă a eforturilor între beton și oțel, fără întrerupere, iar rezistența inițială ridicată a UHPC a redus timpul de așteptare pentru preluarea solicitărilor [4].

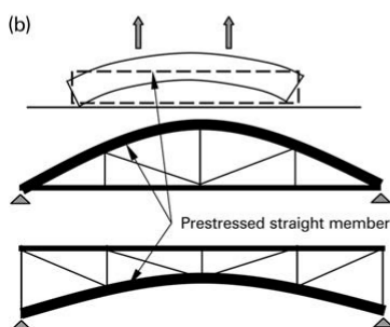


Figura 6. Schema de principiu a încovoierii segmentelor de UHPC, care au fost inițial turnate drepte.

Viaductele Chillon din Elveția sunt două poduri paralele din beton precomprimat, construite în anii 1960, fiecare de 2.120 m lungime cu 116 deschideri [5]. După ~45 de ani, au apărut degradări ale dalelor (fisuri, infiltrații, coroziune), iar creșterea traficului și noile norme seismice au impus sporirea capacității portante. Soluțiile tradiționale ar fi fost înlocuirea dalelor sau suprabetonări groase și consolidări locale, costisitoare și invazive. S-a adoptat o metodă inovatoare cu UHPFRC (UHPC armat cu fibre), prin turnarea in situ a unui strat subțire de 50 mm pe întreaga suprafață a dalelor superioare, pentru creșterea capacității structurale, durabilității și impermeabilității, și reducerea timpului de intervenție.

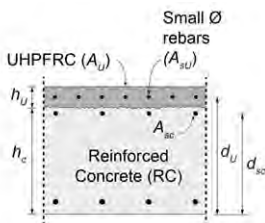


Figura 7. Secțiune transversală compozită tipică.

Procedura a inclus frezarea stratului de asfalt și a 5 mm din beton, urmată de turnarea stratului cu plasă sudată $\Phi 12$ la 125 mm pentru îmbunătățirea comportării post-fisurare [5]. După întărire (~7 zile), s-a aplicat o nouă îmbrăcămintă bituminoasă de 80 mm. Față de suprabetonările tradiționale groase (≥ 10 -12 cm cu conectori), UHPFRC a permis creșterea capacității portante cu mult mai puțin material. Rezistența la forfecare a crescut cu până la 20%, permițând viaductului să suporte sarcini mai mari conform normelor actuale. Rigiditatea și rezistența dalelor au crescut, reducând eforturile de oboseală în armături și sporind rezerva de forfecare și moment. Costul intervenției a fost de circa 200 USD/m², de aproximativ cinci ori mai mic decât o consolidare tradițională. Soluția a permis păstrarea integrală a structurii emblematică, evitând demolarea și impactul negativ asupra patrimoniului, fără modificări vizuale, dar cu performanțe tehnice actualizate [5].

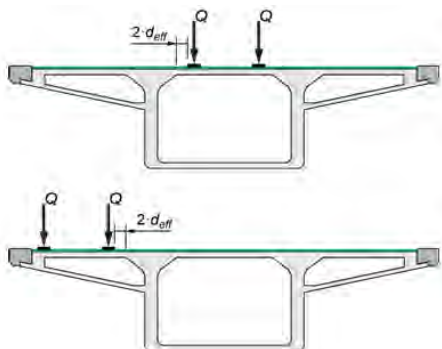


Figura 8. Poziția încărcărilor concentrate pentru potențiala cedare la forță tăietoare.

Un exemplu reprezentativ al aplicării betonului cu performanță ultra-înaltă (UHPC) în condiții climatice severe din Japonia este Podul Nagaoka Ohashi, situat în prefectura Niigata, o regiune caracterizată prin expunere intensă la cicluri repetate de îngheț-dezgheț și utilizarea frecventă a sărurilor pentru degivrare. În cadrul acestui proiect, UHPC a fost utilizat pentru elementele prefabricate ale suprastructurii, inclusiv grinzi și plăci, cu scopul de a asigura o durabilitate superioară și o rezistență crescută la coroziune a armăturii [6].

3. Concluzii

În ceea ce privește durabilitatea și longevitatea, UHPC se distinge prin microstructura densă și porozitatea extrem de redusă, care limitează pătrunderea apei, a ionilor de clorură și a altor agenți agresivi. Rezistența la coroziune a armăturii este astfel mult îmbunătățită, iar structurile pot atinge durate de viață de peste 100 de ani cu intervenții minime. Această performanță este susținută de capacitatea UHPC de autoreparare parțială a microfisurilor prin hidratarea continuă a cimentului nehidratat și reacțiile puzzolanice ale adaosurilor.

Cele cinci exemple prezentate demonstrează avantajele utilizării UHPC la poduri noi și reabilitări: secțiuni mai subțiri și ușoare, rezistență și rigiditate superioare, durabilitate crescută și execuție accelerată, deși costurile inițiale și complexitatea punerii în operă sunt mai mari. În fiecare studiu de caz, se arată că utilizarea UHPC a condus la performanțe îmbunătățite și, adesea, la costuri pe ciclul de viață reduse. Beneficiile economice pe termen lung și performanțele superioare justifică pe deplin utilizarea UHPC în infrastructura modernă, unde sustenabilitatea și fiabilitatea sunt esențiale. UHPC devine astfel un material strategic, iar cercetările continuă pentru optimizarea compozițiilor și extinderea standardizării, facilitând adoptarea sa largă în domeniul podurilor.



BIBLIOGRAFIE

1. Federal Highway Administration (FHWA), Pulaski Skyway Case Study: Accelerated Bridge Construction, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2014.
2. J. M. Rouse, T. J. Wipf, B. Phares, F. Fanous și O. Berg, Design, Construction, and Field Testing of an Ultra High Performance Concrete Pi-Girder Bridge, Iowa Highway Research Board (IHRB Project TR-574), Iowa Department of Transportation, Ames, IA, 2011.
3. Russell, H. G., & Graybeal, B. A., *Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community*, FHWA-HRT-13-060, 2013.
4. Fehling, E., Schmidt, M., & Walraven, J. (Eds.), *Ultra-High Performance Concrete UHPC: Fundamentals, Design, Examples*, Ernst & Sohn, Germany, 2012.
5. E. Brühwiler și M. Bastien-Masse, „Strengthening the Chillon viaducts deck slabs with reinforced UHPFRC,” în IABSE Conference Geneva 2015.
6. Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Application of Ultra High Performance Concrete (UHPC) to Bridges in Japan, Tokyo, Japonia, 2016
7. “Application of Ultra-High Performance Concrete in Bridge Engineering, Construction and Building Materials” - Zhou, M., Lu, W., Song, J., and Lee, G. CVol. 186, pp. 1256–1267, 2018.
8. Holcim România, Fișă de produs: Beton de înaltă performanță, martie 2023.
9. B. A. Graybeal, Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete, FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, Washington, DC, Aug. 2006.
10. Du, J., Meng, W., Khayat, K. H., Bao, Y., Guo, P., Lyu, Z., Abu-obeidah, A., Nassif, H., & Wang, H. (2021). New development of ultra-high-performance concrete (UHPC). *Composites Part B: Engineering*, 224, 109220.
11. Ullah, R., Qiang, Y., Ahmad, J., Vatin, N. I., & El-Shorbagy, M. A. (2022). Ultra-high-performance concrete (UHPC): A state-of-the-art review. *Materials*, 15(12), 4131
12. D.-Y. Yoo și J.-F. Choo, „Ultra-high-performance concrete (UHPC) for bridge rehabilitation: A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 273, art. nr. 121745, 2020.
13. Afroughsabet V., Biolzi L., Ozbakkaloglu T., High-performance fiber-reinforced concrete: A review of mechanical properties and usage in structural applications, *Materials*, Vol. 13, Nr. 14, 2020.



SOLUȚII SUSTENABILE PENTRU INFRASTRUCTURA VELO

Autor/autori

Diana COVACI¹, Dan COSTAN², Adriana COLCEAR³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, covacidiana39@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, dancostan917@yahoo.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, colcearadriana79@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Gavril HODA⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, gavril_hoda@yahoo.com

REZUMAT: *Lucrarea de față propune mai multe variante de amenajare a pistelor de biciclete, axate pe soluții moderne, ecologice și sustenabile, care asigură siguranță și confort sporit pentru utilizatori. Sunt comparate trei tipuri de piste: cele clasice cu microbule fosforescente, cele cu panouri solare pe stâlpi și cele cu panouri fotovoltaice integrate în carosabil. Se evidențiază că alegerea soluției ideale depinde de factori precum bugetul disponibil, condițiile climatice, durabilitatea și gradul de sustenabilitate dorit.*

Cuvinte cheie: piste de biciclete, microbule fosforescente, panouri solare, confort, sustenabilitate.

1. Introducere

În contextul actual al mobilității urbane durabile, infrastructura velo capătă o importanță tot mai mare în planificarea spațiilor urbane. În România, deși interesul pentru transportul alternativ este în creștere, rețeaua de piste pentru biciclete rămâne limitată și neomogenă, în special din punct de vedere al calității execuției și al integrării în structura urbană existentă.

Lipsa unor trasee continue, bine conectate și sigure reprezintă o barieră majoră în încurajarea utilizării bicicletei ca mijloc cotidian de transport. În acest context, apare necesitatea nu doar a extinderii infrastructurii velo, ci și a modernizării acesteia prin integrarea tehnologiilor verzi, capabile să sprijine eforturile de sustenabilitate ale orașelor. Proiectarea eficientă a acestor piste trebuie să îmbine aspectele de ordin tehnic (geometrie, straturi rutiere, materiale), cu cele legate de siguranță, confort și adaptabilitate la condițiile climatice locale.

Prezenta lucrare își propune să analizeze comparativ trei tipuri de piste pentru biciclete: piste convenționale cu microbule fosforescente, piste dotate cu panouri fotovoltaice montate pe stâlpi de iluminat și piste care integrează panouri solare în structura lor.

Obiectivul este de a identifica avantajele și limitările fiecărei soluții din punct de vedere al: costurilor, materialelor, condițiilor de implementare, cerințelor de întreținere și compatibilității cu normele tehnice românești în vigoare.

2. Considerații tehnice generale

Pista pentru biciclete reprezintă tipul de amenajare pentru biciclete cu cel mai mare grad de siguranță și eficiență.

În funcție de rolul lor în rețea și scop, pot fi de mai multe tipuri. În continuare vom aborda amenajările pentru biciclete cu scop în navetism în rețea principală.

Traseul în plan se proiectează, pe cât posibil, paralel cu axul drumului.

În profil transversal, pista pentru biciclete se amenajează cu pantă transversală de 2%, în funcție de tipul îmbrăcăminte stratului de rulare.

Declivitatea longitudinală a pistei de biciclete urmărește declivitatea părții carosabile a drumului. De regulă se proiectează astfel încât să se reducă la minimum volumele de lucrări și suprafața de teren ocupată, fără a se depăși declivitatea de 4 %, în cazuri excepționale 7%.

Lățimea minimă se proiectează în funcție de fluxul orar de bicicliști și numărul de benzi, prognozat pentru perioade de perspectivă de la 5 până la 15 ani. Se recomandă lărgirea pistei cu 0,5 m în curbe, pentru a compensa înclinarea bicicliștilor.[1]

Tabelul 1. Lățimile amenajărilor pentru biciclete.

Cod	Componentă	Lățime (m)
CRB1	Cale de rulare pentru biciclete* - 1 flux	1,20
CRB1a	Cale de rulare pentru biciclete* - 1 flux și spațiu pentru a efectua manevra de depășire între bicicliști.	de la 1,50 până la 1,80
CRB2	Cale de rulare pentru biciclete* - 2 fluxuri	2,40
ZS1	Zona de siguranță față de un obstacol jos cu înălțimea între 50 mm și 200 mm	0,20
ZS2	Zona de siguranță față de un obstacol mediu cu înălțimea de la 200 mm până la 600 mm	de la 0,25 până la 0,30

Conform ghidurilor internaționale, pista trebuie să permită o viteză de rulare sigură, de minimum 15–20 km/h. Astfel, pistele trebuie să fie suficient de late și să permită vizibilitate de cel puțin 25 m în curbe sau zone cu risc ridicat.

Raza minimă de curbura se determină cu relația:

$$R = 0.68 \cdot V - 3.62 \quad (1)$$

unde R = raza curbei (m); V = viteza de proiectare (km/h)

Standardul românesc definește mai multe tipuri de structuri rutiere pentru drumuri ușoare și piste, în funcție de tipul de trafic și categoria terenului de fundare. Un exemplu de structură rutieră conform SR10144-2/2024 [1] poate fi:

- Beton asfaltic pentru stratul de uzură (BA8) 4 cm
- Strat de bază din piatră spartă 14 cm
- Strat de fundație din balast 12 cm

În cazul drumurilor pentru biciclete care sunt parte a unor trasee de cicloturism, se pot stabili și sectoare din pământ compactat și stabilizat, balast stabilizat sau macadam.

Pavajul din piatră brută sau cubică este de asemenea o soluție posibilă în zonele istorice, unde contribuie la conservarea caracterului arhitectural, însă trebuie însoțit de măsuri care să asigure accesibilitatea pentru toți utilizatorii.

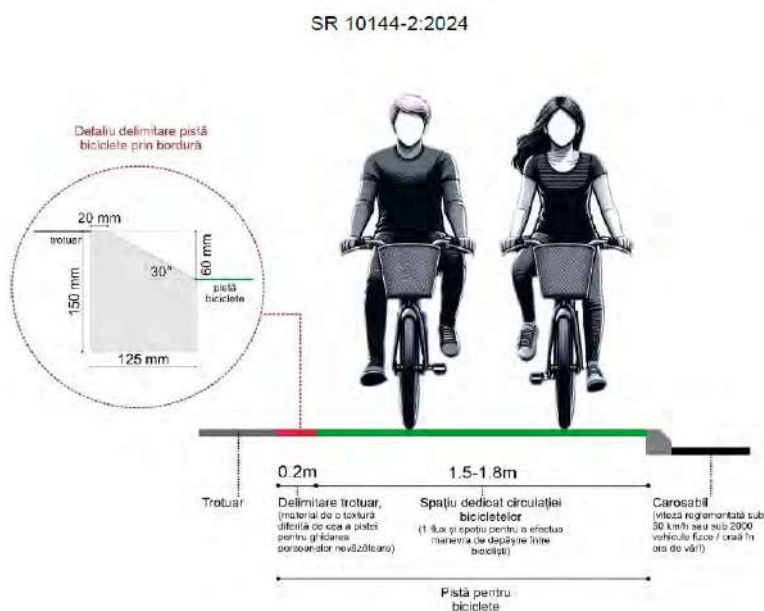


Figura 1. Profil transversal al pistei pentru biciclete adiacentă trotuarului [1].

3. Studiu comparativ

3.1 Piste clasice cu marcaj cu microbule fosforescente

Microbulele reflectorizante sunt particule microscopice sferice din sticlă, cu dimensiuni cuprinse între 60 și 1200 μm , utilizate pentru a îmbunătăți vizibilitatea marcajelor rutiere, inclusiv pe piste de bicicletă. Acestea funcționează prin reflexia luminii, redirectionând-o către sursa de iluminare, ceea ce sporește siguranța în trafic, în special pe timp de noapte sau în condiții de vizibilitate redusă. Această metodă este eficientă, rapidă și ușor de aplicat pe piste existente [2].



Figura 2. Pista cu marcaj cu microbule.

Punerea în operă:

Aplicarea vopselei și a microbulor reflectorizante pe o pistă de bicicletă începe cu pregătirea atentă a suprafeței, care trebuie să fie curată, uscată și netedă. Se aplică apoi un strat de vopsea rutieră, de preferință bicomponentă sau pe bază de solvent, în culoarea specifică pistei (verde sau roșu). Cât timp vopseaua este încă proaspătă, se presară microbule reflectorizante din sticlă, fie manual, fie cu un dispozitiv mecanic. Acestea se încorporează parțial în vopsea, rămânând vizibile pentru a reflecta lumina farurilor sau iluminatul public. După un timp de uscare de aproximativ 1–2 ore, marcajul este complet funcțional și pregătit pentru utilizare. Acest proces este simplu, rapid și poate fi aplicat cu ușurință pe piste existente, contribuind semnificativ la creșterea vizibilității și a siguranței bicicliștilor, mai ales pe timp de noapte.

Costurile pentru realizarea marcajelor reflectorizante pe o pistă de bicicletă, folosind vopsea rutieră și microbule din sticlă, sunt relativ accesibile și depind de mai mulți factori, precum tipul materialelor folosite și suprafața totală. Vopseaua rutieră bicomponentă, utilizată frecvent pentru acest tip de aplicații, are un preț estimativ între 420 și 650 lei pentru un recipient de 25 kg, cu un consum mediu de 4–6 kg pe metru pătrat, în funcție de grosimea stratului. Microbulele reflectorizante din sticlă, care se aplică imediat peste vopsea, costă între 185 și 250 lei pentru un sac de 25 kg, cu un consum de aproximativ 350–500 grame pe metru pătrat. Astfel, costul total pentru materiale variază între aproximativ 2,30 și 10 lei pe metru pătrat.

Un exemplu clar de bună practică este pista de biciclete inaugurată în august 2023 la Sibiu, cu o lungime de 3,6 km. Proiectul include asfalt verde, o pasarelă circulară unică, ziduri de sprijin din plastic reciclat și zone de relaxare cu bănci dotate cu panouri solare și încărcătoare wireless. [3]



Figura 3. Pista din Sibiu.

3.2 Piste cu panouri solare montate pe stâlpi

O variantă mai practică față de panourile integrate în carosabil este montarea acestora pe stâlpii de iluminat de-a lungul pistelor. Soluția oferă aceleași beneficii în ceea ce privește energia regenerabilă, dar este mai simplă de instalat și întreținut.

Panourile solare instalate pe stâlpii pistelor de bicicletă sunt alimentate cu energie regenerabilă, colectată pe parcursul zilei. Senzorii de mișcare și de intensitate a luminii permit activarea iluminatului doar atunci când este necesar, economisind astfel energia. De exemplu, pe măsură ce un biciclist se apropie de zona respectivă, senzorii detectează mișcarea și aprind treptat luminile, iar după ce zona rămâne liberă pentru o perioadă, iluminatul se diminuează sau se stinge complet. De la apus până la răsăritul soarelui, fluxul luminos este redus cu 80%. Când este detectat un pieton sau un biciclist, iluminarea se întoarce până la 100% pentru 100 de metri și apoi pista este iluminată pe măsura deplasării utilizatorilor, datorită detectoarelor. Acest sistem nu doar că economisește energie, dar și crește durata de viață a componentelor sistemului de iluminat.

Înclinarea panourilor:

Totuși, există și unele limitări. Eficiența panourilor depinde de amplasare, orientare și gradul de expunere la soare. De asemenea, instalarea necesită un spațiu lateral adecvat pentru stâlpi, ceea ce poate fi o provocare în zonele înguste sau aglomerate. Costurile, deși mai reduse decât în cazul panourilor integrate în carosabil, rămân un aspect important în planificarea bugetului. Pentru Cluj-Napoca unghiul de înclinare optim pentru panourile fotovoltaice este de 38° față de orizontală, orientate spre sud. Această înclinare maximizează captarea energiei solare pe parcursul întregului an.

Dacă panourile pot fi reglate în fiecare sezon, unghiurile optime sunt:

- Vară (iunie – august): 28°
- Toamnă (septembrie – noiembrie): 44°
- Iarnă (decembrie – februarie): 60°
- Primăvară (martie – mai): 36°

Costurile unui stâlp cu panou solar

Prețul unui stâlp de iluminat solar pentru o pistă de bicicletă poate varia între 2.000 și 4.500 de lei per unitate.

Aceasta include:

- Stâlpul (fabricat din materiale durabile, precum oțel galvanizat sau aluminiu).
- Panoul solar (cu capacitate variabilă în funcție de iluminatul dorit, între 50W și 150W).
- Bateria solară (pentru stocarea energiei pe timp de noapte).



- Sistemul de iluminat LED (eficient din punct de vedere energetic, cu o durată lungă de viață).
- Senzori de mișcare Doppler

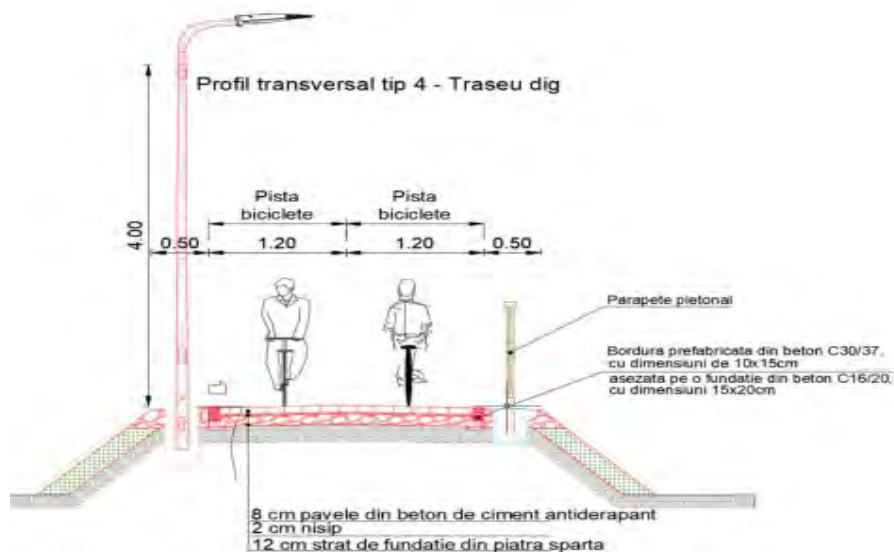


Figura 4. Profil transversal [5].

Cea mai frecventă utilizare a panourilor solare montate pe stâlpi este iluminatul public, esențial pentru siguranța bicicliștilor pe timp de noapte sau în condiții meteorologice nefavorabile. Pe lângă iluminat, energia generată poate susține și alte componente ale infrastructurii urbane, cum ar fi camere de supraveghere video, senzori pentru monitorizarea traficului, afișaje digitale informative sau stații de încărcare pentru biciclete electrice. Aceste soluții contribuie la crearea unei infrastructuri moderne, eficiente și inteligente [6].

3.3 Piste cu panouri solare integrate în carosabil

O direcție inovatoare în dezvoltarea infrastructurii sustenabile o reprezintă integrarea panourilor solare direct în stratul de rulare al pistelor pentru biciclete, fără a necesita spațiu suplimentar.

Un exemplu reprezentativ este proiectul SolaRoad din Olanda, considerat primul proiect din lume care a testat în practică această tehnologie, lansat în 2014.



Figura 5. SolaRoad – Tehnologia de execuție.



Figura 6. Estimare producție energie solară în PVGIS pentru Cluj-Napoca [8].

Pentru o lungime de 100 m de pistă solară cu lățime de 2 m, se poate instala o putere totală de 32 kWp, care generează aproximativ 32310.6 kWh/an în condițiile climatice din Cluj-Napoca (zona Zorilor) [8].

Tabel 2 – Producție energie solară.

Parametru	Valoare
Suprafață pistă (m ²)	200
Densitate instalare (kWp/m ²)	0.16
Putere instalată totală (kWp)	32
Producție specifică (kWh/kWp/an)	1009.705
Producție anuală estimată (kWh/an)	32310.56
Cost estimativ 2500 €/m ² (€)	500000
Eficiența energetică (kWh/€)	0.0646
Energie produsă (kWh/m ² /an)	161.5528

Deși producția energetică anuală de ~ 162 kWh/m² conform simulării PVGIS nu este neglijabilă, aceasta rămâne inferioară panourilor montate optim pe acoperișuri sau stâlpi (~160–200 kWh/m²/an).

4. Concluzii

Analizând cele trei soluții tehnologice pentru iluminarea și eficientizarea pistelor de biciclete, se observă un echilibru clar între costuri, fiabilitate și impactul ecologic. În funcție de bugetul și scopul administrației locale, o combinație între soluția clasică și panouri solare pe stâlpi poate reprezenta o variantă optimă pentru implementare la scară largă, urmând ca soluțiile cu panouri integrate să fie testate inițial în proiecte-pilot sau zone strategice.

BIBLIOGRAFIE

1. SR 10144-2:2024
2. <https://ro.schneider.com/ro/proiecte/iluminat-durabil-si-autonom-pentru-pista-de-biciclete-mandel>
3. https://platform.vox.com/wp-content/uploads/sites/2/chorus/uploads/chorus_asset/file/2447868/B0YaEfnIAAA5vPK.0.jpg?quality=90&strip=all&crop=0%2C0%2C100%2C100&w=1080
4. <https://cdn.adh.reperio.news/image-f/f7a882c0-1210-4122-b31f-892aeaed6590/index.jpeg?p=w%3D650%26f%3Dwebp%26q%3D91>
5. Ghid de proiectare a infrastructurii pentru biciclete
6. https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/340170013/Alex_van_Ginkel_2016_-_Solar_road.pdf
7. https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/340170013/Alex_van_Ginkel_2016_-_Solar_road.pdf
8. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
9. <https://www.outsideonline.com/outdoor-adventure/worlds-first-solar-road-opening-bike-path/>
10. <https://www.government.nl/topics/bicycles/documents/reports/2018/04/01/cycling-facts-2018>



SOLUȚII MODERNE DE INFRASTRUCTURĂ PENTRU PODURI: CULEE REALIZATE DIN PALPLANȘE METALICE UMLPTE CU PĂMÂNT ARMAT CU GEOSINTETICE-COMPORTARE, APLICABILITATE ȘI ANALIZĂ TEHNICO-ECONOMICĂ ÎN ROMÂNIA

Autori

Rareș L. POP¹, Viktoria POP², Alexandru A. AVRAM³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, poprare1618@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, pviky2003@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, avraul2001@gmail.com

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Vladimir MARUSCEAC⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, vladimir.marusceac@cfdp.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea analizează o soluție modernă de infrastructură pentru poduri, reprezentată de culeele realizate din palplanșe metalice, umplute cu pământ armat cu geosintetice. Această tehnologie îmbină avantajele palplanșelor ca elemente de susținere rapid montabile, cu stabilitatea și flexibilitatea pământului armat. Studiul explorează comportamentul structural al acestor sisteme, avantajele și dezavantajele lor comparativ cu soluțiile tradiționale (cum ar fi culeele masive din beton armat), precum și aspectele legate de tehnologia de execuție și estimările de cost. De asemenea, sunt evaluate posibilitățile de aplicare în contextul geotehnic și economic specific din România.*

Cuvinte cheie: palplanșe metalice, geogriile, culee.

1. Organizarea lucrării

Construirea și menținerea podurilor reprezintă o provocare din punct de vedere tehnic, economic și al timpului de execuție. Soluțiile clasice, bazate pe beton armat, implică costuri mari și durate lungi de execuție. Această lucrare propune o alternativă inovatoare: culee din palplanșe metalice și pământ armat cu geosintetice, cu scopul de a eficientiza aceste procese.

Lucrarea are ca obiectiv prezentarea soluțiilor tehnice moderne pentru culee de pod, compararea acestora cu soluțiile tradiționale și evaluarea fezabilității tehnico-economice prin analiza bibliografică și studii de caz.

2. Fundamente teoretice

Culeele de pod reprezintă elemente structurale esențiale ale infrastructurii unui pod, având rolul de a susține capetele suprastructurii și de a transmite încărcările către fundație sau direct în terenul de fundare. Culeele de pod se pot clasifica în funcție de materialul de construcție, după tipul structural, după funcție și după interacțiunea cu infrastructura.

După materialul de construcție:

- *Culee din beton armat* – utilizat predominant datorită rezistenței la compresie și durabilității. Culeele din beton armat sunt proiectate conform Eurocod 2, folosind armături din oțel B500C și betoane de clasă C25/30 sau superioară..
- *Culee din beton precomprimat* – adecvate pentru poduri supuse unor solicitări mari.
- *Culee din zidărie* – realizate din piatră naturală sau cărămidă, utilizate în poduri istorice sau cu încărcări reduse. Rezistența la compresie este limitată, iar utilizarea modernă este rară din cauza costurilor de execuție.
- *Culee metalice sau combinate (metal-beton)* – aplicate în poduri temporare sau structuri modulare, necesitând protecție anticorozivă.
- *Culee din lemn* - limitat la poduri pietonale sau temporare, cu durabilitate redusă datorită biodegradării și sensibilității la umiditate.



După tipul structural:

- *Culee masive (gravitaționale)* – funcționează prin greutatea proprie, transferând încărcările în mod vertical.
- *Culee-cadru* – alcătuite din elemente verticale și orizontale (pereți și grinzi), permit economie de material.
- *Culee cu contraforturi* – prevăzute cu elemente verticale suplimentare pentru preluarea forțelor orizontale, eficiente pentru deschideri mari.
- *Culee flexibile* – proiectate pentru a permite deformări controlate, recomandate în zone seismice.

După funcție:

- *Culee de capăt* – susțin extremitățile podului și transmit sarcinile către fundație.
- *Culee de rampă* – integrează rampele de acces, realizând o trecere funcțională între pod și terasament.
- *Culee intermediare* – utilizate în structuri de poduri de lungime mare, între tronsoane, pentru sprijin suplimentar.

După interacțiunea cu suprastructura:

- *Culee fixe* – restricționează deplasările suprastructurii, preluând atât forțele verticale, cât și cele orizontale.
- *Culee mobile* – permit mișcări relative ale suprastructurii (ex. dilatări termice), fiind echipate cu aparate de reazem mobile.

Rolul culeelor în infrastructura podurilor:

- Rol structural: Asigură sprijinul extremităților suprastructurii. Transferă încărcările în siguranță către fundație/teren.
- Stabilitate și rezistență: Contribuie la stabilitatea generală a podului în fața forțelor orizontale (ex. forțe de frânare).
- Tranziție între pod și terasament: Integrează rampele de acces, previn eroziunea terasamentului în zona de contact cu podul, prin utilizarea zidurilor de aripi și a altor elemente de protecție.
- Funcție estetică și arhitecturală: Pot influența aspectul general al podului, mai ales în cazul construcțiilor urbane sau monumentale.

2.1 Introducere în tehnologia palplanșelor metalice

Tehnologia palplanșelor metalice este utilizată pe scară largă în domeniul construcțiilor pentru realizarea pereților de sprijin, fie ca soluție temporară, fie permanentă, în special în lucrări de infrastructură (excavații adânci, protecția malurilor, fundarea podurilor etc.).

Palplanșele sunt elemente prefabricate din oțel, introduse în sol prin batere, vibrare sau presare, pentru a forma o barieră continuă care stabilizează solul și împiedică alunecările sau infiltrațiile.

Caracteristici principale: Sistem de interconectare: marginile palplanșelor sunt prevăzute cu sisteme de tip „nut și feder” sau „cârlig”, care permit interblocarea elementelor pentru formarea unui perete continuu și etanș.

Tipuri de profile:

- Profile Z: oferă rezistență crescută la încovoiere; recomandate pentru structuri permanente.
- Profile U: potrivite pentru aplicații cu solicitări moderate; mai economice.
- Profile drepte (ex. tip Hoesch): utilizate în aplicații speciale, cum ar fi realizarea de pereți etanși sau lucrări hidrotehnice



Figura 1. Palplanșe metalice.

2.2 Pământul armat cu geosintetice

Această tehnologie modernă este utilizată în construcțiile geotehnice pentru a crea structuri de sprijin durabile și economice, precum ziduri de sprijin, rampe de acces, taluzuri, dar și în consolidarea terenului de fundare.

Materiale componente sunt *geosinteticele* - materiale polimerice (ex. polietilenă, polipropilenă, poliester) utilizate ca armături în masa de pământ și *materialul de umplură* - sol granular (ex. nisip, pietriș) cu bune caracteristici mecanice, lipsit de argilă sau materiale organice.

Principii de funcționare: Pământul, de regulă slab la solicitări de întindere, este combinat cu geosintetice ce funcționează ca armături. La tendința solului de a se deforma lateral sub acțiunea sarcinilor verticale, geosinteticele opun rezistență prin forțele lor de tracțiune, stabilizând structura și prevenind alunecarea.

Concepte: Ziduri de sprijin în rampe și viaducte; Taluzuri armate; Fundații pentru drumuri, poduri și căi ferate; Lucrări de stabilizare a terenului în zone cu potențial de alunecare.



Figura 2. Cub din nisip armat ce susține o mașină.

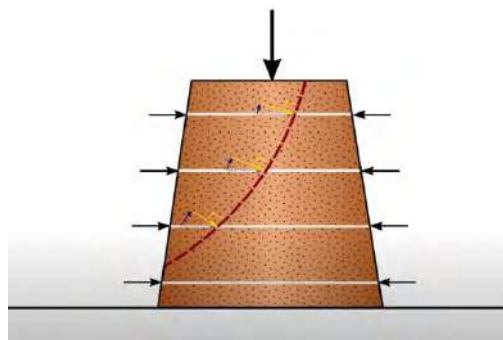


Figura 3. Schiță pamânt armat cu geogridle.

3. Soluția mixtă: palplanșe metalice + pământ armat

3.1 Descriere generală a structurii și mod de funcționare

Această culee este realizată sub forma unei incinte din palplanșe metalice, umplută cu pământ armat. Datorită acțiunii încărcărilor, structura este supusă unor solicitări de compresiune, ceea ce determină tendința de deformare laterală a umpluturii. Această deformare generează tensiuni de întindere în masivul de umplură.

Deoarece pământul are o rezistență neglijabilă la întindere, acesta este armat cu geogridle, care preiau tensiunile de întindere și contribuie la stabilizarea structurii. Palplanșele metalice dispuse lateral funcționează ca un sistem de constrângere laterală, împiedicând mobilizarea masei de pământ în direcție orizontală.

Astfel, în absența posibilității de deformare laterală, solicitările interne se transformă în forțe de compresiune, generând un regim de compresiune triaxială. Acest tip de solicitare este favorabil comportării pământului armat, întrucât crește capacitatea portantă și stabilizează structura prin mobilizarea frecării interne dintre particule.

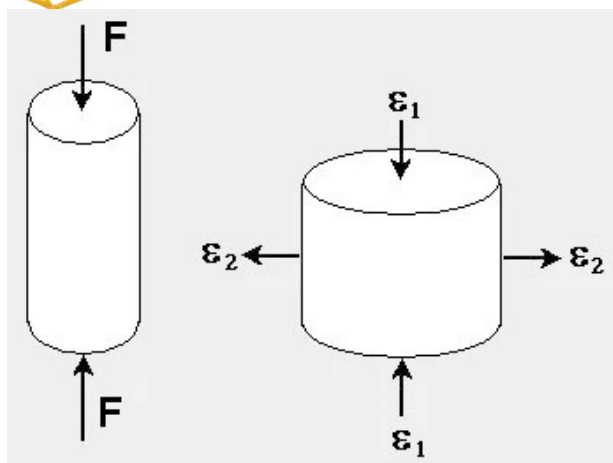


Figura 4. Coeficientul lui Poisson.

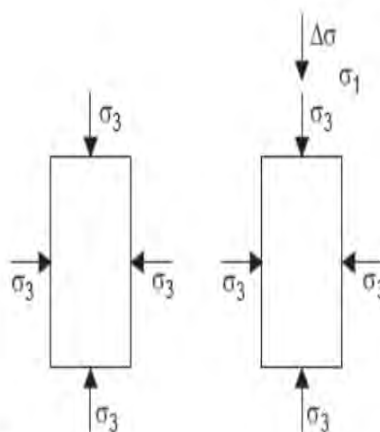


Figura 5. Compresiune triaxială.

Avantajele structurale și tehnologice ale soluției combinate sunt: rapiditate în execuție, costuri scăzute, materiale reutilizabile, greutate redusă a întregii structuri, flexibilitate ridicată.

3.2 Comparație cu culeea clasică din beton armat

Culeea clasică prezintă o capacitate portantă superioară, conferind o rezistență structural ridicată. Aceasta este, de asemenea, durabilă în timp, necesitând lucrări de întreținere reduse pe durata exploatarei.

În schimb, culeea realizată din palplanșe metalice și pământ armat oferă o soluție flexibilă și ușoară, caracterizată printr-o execuție rapidă și costuri de realizare mai reduse. Totodată, materialele utilizate sunt reutilizabile, aspect ce contribuie la eficiența economică și sustenabilitatea proiectului.

4. Comportarea structurală și durabilitatea

4.1 Rezistența și deformabilitatea ansamblului

Rezistența ansamblului format din palplanșe metalice și pământ armat nu atinge performanțele unei culee clasice din beton armat. Cu toate acestea, pământul armat, susținut de palplanșele metalice, conferă structurii o rezistență suficientă pentru a suporta suprastructura podului și un trafic rutier de intensitate moderată.

Structura prezintă un caracter plastic, ceea ce o face avantajoasă în cazul solicitărilor dinamice, cum ar fi cele induse de trafic sau de activitate seismică, datorită capacității de a absorbi și disipa energia.

Durabilitatea structurii este asigurată prin aplicarea unui strat de protecție anticorozivă pe palplanșele metalice, care previne degradarea în medii agresive. În eventualitatea apariției defectelor după o perioadă de exploatare, palplanșele metalice pot fi înlocuite cu ușurință datorită modularității sistemului, ceea ce facilitează întreținerea și reparațiile.

4.2 Comportarea la interacțiunea cu solul de fundare

Un avantaj semnificativ al structurii compuse din palplanșe metalice și pământ armat este comportarea excelentă în condiții de terenuri dificile, cum ar fi solurile cu capacitate portantă redusă, terenurile compresibile. Datorită greutății proprii reduse a ansamblului, eforturile transmise către terenul de fundare sunt considerabil mai mici comparativ cu o culee clasică din beton armat. Această distribuție uniformă și redusă a sarcinilor minimizează riscul de tasări diferențiate și contribuie la stabilitatea globală a structurii.

De asemenea, modularitatea și flexibilitatea sistemului permit adaptarea rapidă la condițiile geotehnice specifice ale amplasamentului. Palplanșele metalice, instalate prin vibrobaterie sau presare hidraulică, reduc necesitatea excavărilor extinse, diminuând impactul asupra terenului înconjurător. În combinație cu armăturile geosintetice sau metalice din pământul armat, structura optimizează transferul încărcărilor și sporește rezistența la forțele orizontale, cum ar fi cele generate de împingerea pământului sau de solicitările seismice.



Aceste caracteristici fac din culeele din palplanșe metalice și pământ armat o soluție eficientă și economică, în special pentru proiecte în zone cu constrângeri geotehnice sau logistice, asigurând atât performanțe structurale superioare, cât și o execuție rapidă.



Figura 6. Loess.



Figura 7. Turbă.

5. Aspecte tehnologice de execuție

5.1 Etapele de montaj ale palplanșelor și umplerea cu pământ

Lucrări pregătitoare: Trasarea în teren a aliniamentului palplanșelor, conform planului de execuție.

Montarea palplanșelor metalice: Introducerea palplanșelor se realizează prin batere cu ajutorul unui vibropercutor sau ciocan hidraulic, până la atingerea unei adâncimi corespunzătoare, care să asigure fundarea pe un strat portant și stabilitate laterală optimă. Aplicarea unei soluții anticorozive pe suprafața palplanșelor, în vederea protejării acestora împotriva acțiunii factorilor de mediu.

Umplerea cu pământ armat: Umplerea se face în straturi succesive, cu grosimi cuprinse între 20 și 30 cm. Fiecare strat este compactat corespunzător cu echipamente adecvate, precum maiul mecanic sau plăci vibratoare. La fiecare strat se dispune o geogrilă de armare, conform specificațiilor tehnice ale proiectului. Procesul se repetă până la atingerea cotei proiectate.

5.2 Echipamente pentru instalarea palplanșelor metalice

Vibrociocane – Echipamente utilizate pentru înfigerea palplanșelor metalice în teren, prin transmiterea de vibrații verticale sau orizontale, care reduc frecarea laterală și facilitează penetrarea în sol.

Presă hidraulică – Dispozitiv specializat destinat înfingerii palplanșelor prin presiune statică, fără generare de vibrații. Este recomandată în zonele urbane dens construite, în proximitatea clădirilor sensibile sau în regiuni cu risc seismic.

Macara – Utilizată pentru manipularea, ridicarea și poziționarea palplanșelor în aliniamentul proiectat, asigurând o instalare precisă și sigură.



Figura 8. Macara ce introduce palplanșe.

5.3 Echipamente pentru realizarea umpluturii din pământ armat cu geosintetice

Buldoexcavator – Echipament multifuncțional utilizat pentru transportul, așternerea și nivelarea materialului granular utilizat la realizarea umpluturii.

Mai mecanic (compactator manual) – Utilizat pentru compactarea straturilor de umplură, în special în zonele cu spațiu restrâns sau în apropierea structurii de sprijin.



Figura 9. Mai compactor.



Figura 10. Buldo excavator.

5.4 Tipuri de materiale geosintetice

Geogridurile uniaxiale – Elemente de armare fabricate din polietilenă de înaltă densitate (HDPE) sau polipropilenă, caracterizate printr-o rezistență ridicată la tracțiune într-o singură direcție (uzual direcția longitudinală). Se utilizează pentru consolidarea umpluturilor în lucrări de sprijin sau ramblee.

Geogridurile biaxiale – Geogridurile cu rezistență la tracțiune în ambele direcții (longitudinală și transversală), realizate din polipropilenă sau poliester. Sunt utilizate pentru stabilizarea straturilor suport și distribuirea uniformă a sarcinilor.

Geotextilele nețesute – Materiale fabricate din fibre sintetice (polipropilenă sau poliester), prin procedee de perforare mecanică (cu ace) sau termolipire. Sunt utilizate pentru filtrare, drenaj și separarea straturilor de sol.

Geotextilele țesute – Materiale textile obținute prin țeserea firelor sintetice, oferind rezistență mecanică superioară. Se utilizează în aplicații unde este necesară atât separarea cât și o rezistență ridicată la tracțiune.

Geomembrane – Folii sintetice impermeabile, realizate din polietilenă de înaltă sau joasă densitate (HDPE/LDPE) sau PVC, folosite pentru etanșarea lucrărilor, în special în zone cu pânză freatică ridicată sau risc de infiltrații.



Geocompozite – Sisteme compozite obținute prin combinarea a două sau mai multe tipuri de geosintetice (ex. geotextil + geogrilă, geotextil + geomembrană), utilizate pentru a îndeplini simultan mai multe funcții (filtrare, drenaj, armare, etanșare).

Geocelule – Structuri tridimensionale, în formă de fagure, realizate din benzi de polietilenă sudate, care se deschid la montaj și se umplu cu sol sau agregate. Se utilizează pentru stabilizarea pantelor, armarea umpluturilor și controlul eroziunii.



Figura 11. Geogrilă biaxială.

6. Avantaje economice pe termen lung

Structurile realizate din palplanșe metalice și pământ armat prezintă o serie de avantaje economice sustenabile, care contribuie la reducerea costurilor pe durata de exploatare a lucrării.

Costuri reduse de întreținere: Întreținerea acestor structuri este minimă și economică, axându-se în principal pe: Protecția împotriva coroziunii a elementelor metalice, Asigurarea funcționalității sistemului de drenaj, Inspecții periodice ale elementelor de armare și ale stării generale a structurii. De asemenea, palplanșele metalice pot fi reutilizate, iar materialul granular utilizat la pământul armat poate fi recuperat și refolosit, ceea ce reduce semnificativ costurile în cazul unor lucrări viitoare sau modificări ale structurii existente.

6.1 Adaptabilitatea soluției tehnice

Palplanșe metalice: Permit adaptarea ușoară la geometrii variate ale culeelor sau ale elementelor de sprijin. Pot fi instalate în spații restrânse, în proximitatea infrastructurilor existente (drumuri, poduri, fundații), fără a necesita excavații extinse sau intervenții invazive. Reprezintă o soluție optimă pentru terenuri cu capacitate portantă redusă, datorită greutateii proprii reduse și a posibilității de ancorare adâncă. Asigură un timp scurt de execuție, ceea ce implică economii directe de costuri și limitarea disconfortului în zonele urbane sau intens circulate.

Pământ armat cu geosintetice: Structurile din pământ armat sunt flexibile și pot acomoda tasări diferențiale, ceea ce le face adecvate pentru zone cu risc seismic sau cu condiții geotehnice dificile. Permite utilizarea materialelor locale pentru umplutură, reducând astfel costurile de transport și impactul asupra mediului. Asigură o durabilitate crescută și o comportare excelentă în timp, datorită interacțiunii eficiente între sol și armătura geosintetică.

7. Aplicabilitate în România

7.1 Adaptarea soluției la contextul geotehnic local

În anul 2023, rețeaua de drumuri publice din România totaliza 86.388 km, din care 17.677 km (20,4%) reprezentau drumuri naționale, 35.046 km (40,6%) drumuri județene și 33.665 km (39,0%) drumuri comunale.

În contextul actual al infrastructurii rutiere din România, lucrările prioritare vizează autostrăzile, drumurile expres și drumurile naționale, inclusiv cele de importanță europeană. Drumurile județene și comunale, în special cele din zone rurale cu trafic redus, beneficiază de alocări bugetare locale, care

sunt semnificativ mai restrânse. În consecință, utilizarea culeelor clasice din beton armat pentru aceste drumuri devine neeconomică, datorită costurilor ridicate și duratei extinse de execuție.

Soluția propusă constă într-o culee cu caracteristici optimizate pentru drumurile comunale și județene cu trafic redus. Aceasta se distinge prin costuri scăzute și o durată redusă de execuție, fiind o alternativă viabilă la culeele tradiționale din beton armat. Deși capacitatea portantă a soluției este inferioară, acest aspect nu reprezintă o limitare în condițiile unui trafic de intensitate scăzută, specific zonelor rurale.

Un avantaj semnificativ al soluției este masa proprie redusă, care minimizează încărcările transmise terenului de fundare. Această caracteristică o face ideală pentru amplasamente cu condiții geotehnice dificile, unde stabilitatea și deformațiile sunt factori critici.

Soluția este, de asemenea, adecvată pentru poduri provizorii, oferind avantaje în ceea ce privește montajul și demontarea rapidă. Materialele utilizate permit re folosirea, spre deosebire de culeele din beton armat, care implică procese complexe de demolare și gestionare a deșeurilor. Execuția simplificată contribuie la reducerea timpului și a costurilor asociate.

În concluzie, soluția propusă răspunde cerințelor specifice ale drumurilor rurale din România, oferind o alternativă eficientă din punct de vedere tehnic și economic pentru construcția și întreținerea infrastructurii rutiere cu trafic redus. Lucrări pregătitoare: Trasarea în teren a aliniamentului palplanșelor, conform planului de execuție.



Figura 12. Infrastructura rutiera corodată.

7.2 Exemple sau proiecte similare

În România nu există proiecte similare, astfel încât soluția propusă reprezintă o inovație. Cu toate acestea, cele două tehnologii principale – pământul armat și palplanșele metalice – sunt utilizate într-o multitudine de proiecte din această țară.

Exemple de proiecte în care este folosit pământul armat:

Autostrada A10 Sebeș-Turda: Pentru creșterea capacității portante a terasamentelor și prevenirea alunecărilor de teren, s-au utilizat structuri din pământ armat cu geogrilă.

Drumul de acces către pârtia de schi din Piatra Neamț: Pentru a asigura stabilitatea drumului afectat de alunecări de teren, s-a implementat o structură de sprijin din pământ armat cu geogrilă, completată de patru banchete cu lățime variabilă.

Exemple de proiecte în care sunt folosite palplanșe metalice pentru susținerea terasamentelor:

Autostrada A0, zona Glina: Au fost realizate două incinte cu palplanșe metalice de 10-12 metri lungime pentru susținerea terasamentelor în timpul construcției autostrăzii A0.

Protecția malului din Vișoara, județul Dâmbovița: S-a implementat un zid de palplanșe metalice tip IBO, cu o lungime de 7 metri, pentru a proteja malul unui curs de apă și a susține terasamentul adiacent.



7.3 Posibilități de standardizare și integrare în proiecte naționale

Pentru a permite standardizarea soluției propuse, este necesară proiectarea și execuția unor culee experimentale, în cadrul cărora să fie monitorizat comportamentul structural și funcțional al acestora sub diverse condiții de încărcare și exploatare. Pe baza datelor obținute, se va dezvolta un model de calcul analitic și/sau numeric, care să descrie cu acuratețe răspunsul culeei. Se vor analiza în detaliu avantajele și dezavantajele tehnice, economice și operaționale ale acestei soluții, inclusiv rezistența, stabilitatea, durabilitatea și impactul asupra infrastructurii adiacente. De asemenea, se va identifica metoda optimă de execuție, luând în considerare tehnologiile disponibile, constrângerile de șantier și cerințele normativelor tehnice în vigoare.

8. Concluzii și recomandări

Principala problemă a culeei clasice constă în timpul îndelungat de execuție. Prin utilizarea geogrilelor și a palplanșelor, capacitatea portantă a terenului de fundare poate fi îmbunătățită considerabil. Sistemul propus are o capacitate portantă suficient de mare pentru a putea fi utilizat în realizarea de poduri provizorii sau destinate unui trafic redus.

Printre principalele avantaje se numără rapiditatea execuției, costurile reduse și posibilitatea de reutilizare a materialelor. Soluția este adecvată pentru aplicare în România, în special pe drumurile județene și comunale, datorită simplității în execuție și a costurilor scăzute, capacitatea portantă fiind adecvată pentru traficul specific acestor categorii de drumuri.

Avantajele majore identificate sunt:

Rapiditate în execuție: Sistemul constructiv propus permite o reducere semnificativă a duratei de execuție comparativ cu soluțiile clasice;

Costuri scăzute: Prin eliminarea sau diminuarea lucrărilor de fundație tradiționale și utilizarea unor materiale cu preț accesibil, costurile totale de execuție sunt reduse. De asemenea, intervențiile tehnologice sunt mai puțin complexe, necesitând echipamente și utilaje de capacitate medie, ceea ce contribuie suplimentar la diminuarea cheltuielilor.

Greutate redusă a întregii structuri: Componentele utilizate în cadrul sistemului (geogrile, palplanșe) au o greutate specifică redusă, ceea ce duce la o masă totală scăzută a structurii. Acest aspect facilitează transportul, manipularea și montajul, reducând eforturile logistice și solicitările transmise către infrastructura de sprijin.

Materiale reutilizabile: Sistemul este conceput astfel încât o mare parte din materialele utilizate (palplanșe metalice, geogrile) pot fi recuperate și reutilizate în alte proiecte. Această caracteristică contribuie nu doar la reducerea costurilor pe termen lung, ci și la creșterea sustenabilității proiectului, prin minimizarea deșeurilor și optimizarea resurselor.

BIBLIOGRAFIE

1. FHWA – Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System (GRS-IBS), <https://www.fhwa.dot.gov>
2. ArcelorMittal – Bridge Abutments with Steel Sheet Piles, <https://sheetpiling.arcelormittal.com/download-center/bridge-abutments>
3. ScienceDirect – Experimental Studies on GRS Bridge Abutments 6, <https://www.sciencedirect.com>
4. AllanBlock – GRS-IBS, <https://www.allanblock.com/engineers/GRS-IBS.aspx>



PODURI DIN BETON ARMAT PE GRINZI SIMPLU REZEMATE SAU CONTINUE?

Autori

Diana Toromboli¹, Bogdan Ion²

¹Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București,
e-mail: diandroromboli04@gmail.com

²Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București,
e-mail: ionb305@gmail.com

Îndrumător

S.L.Dr.Ing. Corina Chiotan³

³Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București,
e-mail: corina.chiotan@utcb.ro

REZUMAT: *Lucrarea propune o analiză comparativă între două scheme statice utilizate în construcția podurilor din beton armat: grinzi simplu rezemate și grinzi continue. Scopul principal este de a identifica avantajele și dezavantajele fiecărei soluții din punct de vedere static, al rezistenței și al durabilității, precum și factorii economici pentru fiecare metodă. În prima parte a lucrării sunt prezentate și justificate schemele statice specifice, efectuându-se o paralelă între acestea. Partea practică include un studiu de caz care urmărește determinarea și compararea valorilor momentelor încovoietoare și ale forțelor tăietoare pentru ambele tipuri de grinzi. Pe baza interpretării rezultatelor, sunt formulate concluzii despre performanțele fiecărei soluții în raport cu cerințele de proiectare și exploatare. Această cercetare își propune să contribuie la o mai bună înțelegere a comportării structurilor de poduri și să ofere un fundament solid pentru deciziile ingineresti în proiectarea infrastructurii rutiere și feroviare.*

Cuvinte cheie: poduri, grinzi simplu rezemate, grinzi continue, beton armat, analiză comparativă.

1. Introducere

Podurile reprezintă construcții auxiliare esențiale ale căilor de comunicație terestră, cu o istorie ce se întinde pe o perioadă de peste 5.000 de ani. Odată cu dezvoltarea societății, metodele de concepere, proiectare și execuție a acestor structuri au avut o evoluție semnificativă, fiind susținute de diversificarea și îmbunătățirea continuă a materialelor de construcție. Astăzi, podul reprezintă o structură inginerască menită să asigure traversarea unui obstacol- fie acesta un râu, o vale, o altă cale de comunicație- permițând totodată continuitatea elementului traversat.

În România, rețeaua de poduri este vastă și diversificată, incluzând peste 5.500 de structuri rutiere și aproximativ 1.500 de treceri peste calea ferată. Mai mult, din cele aproximativ 4.400 de poduri aflate în administrarea CNAIR, peste 2.400 necesită intervenții de reabilitare, iar 53 se află într-o stare avansată de degradare. Aceste date evidențiază nevoia acută de intervenții strategice și decizii de proiectare justificate tehnic.

Alegerea tipului de rezemare influențează în mod direct comportarea statică a structurii, distribuția eforturilor interne, rigiditatea ansamblului structural, capacitatea de a prelua acțiuni dinamice (cum ar fi cele provenite din trafic sau cutremure), precum și durabilitatea acesteia în timp.

Sistemul de rezemare are un rol esențial în comportarea structurală a unui pod, determinând modul de transfer și redistribuire a sarcinilor provenite din suprastructură către infrastructură, influențând astfel atât mărimea și natura eforturilor interne generate în elementele de rezistență.

În contextul României, unde zonele seismice sunt prezente și întreținerea infrastructurii poate fi deficitară, alegerea schemei statice trebuie să țină cont de multiple criterii: condițiile geotehnice, intensitatea traficului, disponibilitatea tehnologiilor de execuție și capacitatea de întreținere pe termen lung. Astfel, alegerea schemei statice trebuie fundamentată pe o analiză riguroasă.

În cadrul acestei prezentări vom efectua o analiză comparativă între următoarele scheme statice:

- 1.1 Poduri din beton armat pe grinzi simplu rezemate
- 1.2 Poduri din beton armat pe grinzi continue



1.1 Poduri din beton armat pe grinzi simplu rezemate

- În general, lungimea totală a unui pod este împărțită în mai multe deschideri individuale;
- Pentru fiecare deschidere, elementul portant este simplu rezemat la ambele capete;
- Podurile cu grinzi simplu rezemate sunt recomandate atunci când variația dintre grinzi nu permite realizarea continuității;
- Podurile simplu rezemate pot fi preferate în cazurile în care podul face parte dintr-un ansamblu de infrastructură, cum ar fi un nod rutier, unde construcția etapizată presupune viitoare lucrări de adăugare sau demontare a uneia sau mai multor deschideri;
- Acestea sunt potrivite în zone unde este posibilă apariția unor tasări inegale ale fundațiilor;
- În general, sunt cea mai bună soluție pentru traversări scurte și în situațiile în care viteza de execuție este un factor important;
- Deschiderile sunt de la 21-40 m.

1.2 Poduri din beton armat pe grinzi continue

- La acest tip de poduri deschiderile sunt continue peste două sau mai multe reazeme;
- Acestea sunt structuri static nedeterminate;
- La podurile pe grinzi continue, momentul încovoietor și deplasările în orice punct al deschiderii sunt considerabil mai mici decât în cazul unei deschideri simplu rezemate. Această reducere a momentelor și a deformațiilor conduce, în final, la secțiuni mai economice ale podului;
- La podurile pe grinzi continue, eforturile sunt reduse datorită momentelor negative care se dezvoltă în zonele reazemelor intermediare;
- Podurile continue sunt, în general, preferate atunci când există o fundație solidă și când lungimile deschiderilor sunt mai mari;
- Pentru grinzile executate monolit, raportul deschiderilor se stabilește astfel încât valorile maxime ale momentelor din deschiderile marginale și cele centrale să fie apropiate. În cazul grinzilor continue monolite cu 3 deschideri, acest raport este:

$$L_c = (1.25 - 1.40) \times L_m \quad (1)$$

unde: L_c =deschiderea centrală; L_m =deschiderea marginală.

- Podurile pe grinzi continue cu înălțime variabilă se adoptă în cazul unor deschideri mai mari. În acest caz se adoptă următoarele valori:

$$\text{În cazul podurilor de șosea: } h = \left(\frac{L_c}{16} - \frac{L_c}{20} \right) \quad (2)$$

$$\text{În cazul podurilor de cale ferată: } h = \left(\frac{L_c}{10} - \frac{L_c}{14} \right) \quad (3)$$

$$\text{Înălțimea pe reazem: } H = (1.5 - 2) \times h \quad (4)$$

unde: h =înălțimea grinzii în câmp; H =înălțimea grinzii pe reazem.

2. Avantaje și dezavantaje pentru grinzi simplu rezemate și grinzi continue

2.1 Poduri din beton armat pe grinzi simplu rezemate

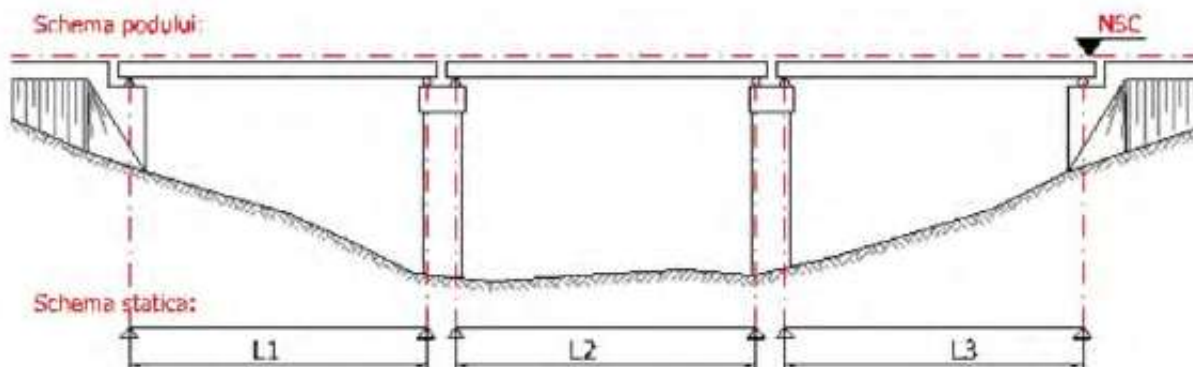


Figura 1. Pod pe grinzi simplu rezemate.

2.1.1 Avantaje:

- sunt simplu de proiectat și de executat;
- se pretează la prefabricarea suprastructurilor (beton sau metal);
- se pot folosi pe terenuri slabe de fundare, pentru că sunt sisteme static determinate.

2.1.2 Dezavantaje:

- mărimea deschiderilor este relativ redusă (18,00 – 40,00 m la beton precomprimat; 20,00 -50,00 m pentru poduri metalice);
- folosirea ineficientă a materialului din grinziile cu înălțime constantă. Solicitățile predominante (momentele încovoietoare) sunt inegale în lungul deschiderii și nu se justifică înălțimea constantă.

2.2 Poduri din beton armat pe grinzi continue

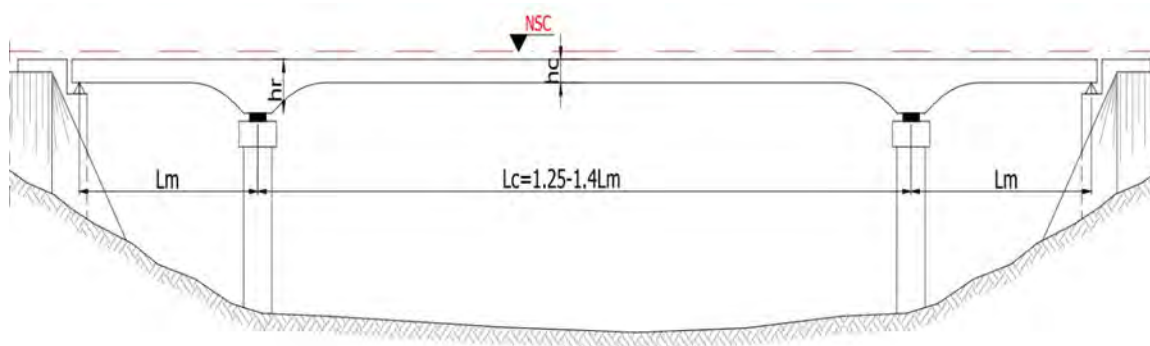


Figura 2. Pod pe grinzi continue.

2.2.1 Avantaje:

- Distribuția rațională a momentelor încovoietoare, prin alegerea rapoartelor între deschideri;
- Posibilitatea realizării unor suprastructuri economice față de grinziile simplu rezemate, datorită existenței momentelor negative care le micșorează pe cele pozitive;
- Dimensiuni mai mici ale pilorilor la partea superioară, pentru că pe bancheta cuzineților se montează un singur rând de aparate de reazem;
- Consum redus și rațional de material.

2.2.2 Dezavantaje:

- Sunt sensibile la cedări de reazeme (tasări ale infrastructurilor), care dau solicitări



suplimentare greu de evaluat în practică. Din această cauză este indicat să se folosească în amplasamente cu terenuri de fundare având rezistențe mari la compresiune și tasări reduse (stâncă, marnă, pietriș și bolovăniș) sau infrastructurile să fie fondate indirect, la adâncimi mari;

- Tasările fundațiilor influențează starea de eforturi în suprastructură, datorită schemei statice, static nedeterminate. Apar astfel, momente pozitive în zona pilei tasate, momente pentru care nu s-a dispus armătură la partea inferioară a grinzilor.

3. Studiu de caz

S-a studiat suprastructura unui pasaj pe bretea peste autostradă, care susține un drum expres cu o bandă de circulație pe sens, în aliniament. Suprastructura podului are, în secțiune transversală, următoarea alcătuire: opt grinzi prefabricate tronsonate de beton precomprimat cu armătură preîntinsă, solidarizate printr-o placă de monolitizare și prin antretoaze monolite. Grinzile au înălțime de 1.08m și sunt juxtapuse.

Lungimea totală a suprastructurii pasajului este de 71,50m, deschiderile marginale având fiecare 17,25 m, deschiderea centrală având 36,00 m.

În studiul de caz s-au calculat eforturile secționale din elementele de rezistență ale suprastructurii, considerând două scheme statice posibile ale pasajului: o succesiune de trei grinzi simplu rezemate, cu deschiderile precizate mai sus și o grindă continuă cu trei deschideri.

Pentru analiza statică au fost relevante următoarele acțiuni:

Acțiuni permanente:

- Greutatea proprie a elementului prefabricat

$$g_{gp} = \gamma_{BA} \times A_{gp} \quad (5)$$

$$\gamma_{BA} = 25 \frac{kN}{m^3} \quad (6)$$

$$A_{gp} = 0.49 m^2 \quad (7)$$

$$g_{gp} = 12,45 \frac{kN}{m}$$

unde: g_{gp} - greutatea proprie a grinzii prefabricate; γ_{BA} - greutatea specifică a betonului armat;

A_{gp} - aria secțiunii grinzii prefabricate

- Greutatea plăcii monolite și a antretoazelor:

Placa monolită:

$$g_{pm} = \gamma_{cale} \times A_{gp} \quad (8)$$

$$\gamma_{cale} = 24 \frac{kN}{m^3} \quad (9)$$

$$A_{placa.cale} = 0.351 m^2 \quad (10)$$

$$g_{gp} = 8,44 \frac{kN}{m}$$

unde: g_{pm} - greutatea proprie a plăcii de beton monolit; γ_{cale} - greutatea specifică medie a straturilor căii podului; A_{cale} - aria secțiunii plăcii de beton monolit;

- Antretoazele:

$$G_a = A_{a.1} \times \frac{1m}{2} \times \gamma_{BA} + A_{a.2} \times 0,25m \times \gamma_{BA} \quad (11)$$

$$\gamma_{BA} = 25 \frac{kN}{m^3} \quad (12)$$

$$A_{a.1} = 1,442 m^2 \quad (13)$$

$$A_{a.2} = 0,47 m^2 \quad (14)$$

$$G_a = 20,96 kN$$

unde: G_a -greutatea antretoazelor; γ_{BA} - greutatea specifică a betonului armat; $A_{a.1}$ -aria întregii fâșii; $A_{a.2}$ - aria golurilor



- Greutatea proprie a căii podului:

$$g_{cale} = \frac{A_{cale} \times \gamma_{cale} + g_{parapet.cale}}{4} \quad (15)$$

$$\gamma_{cale} = 24 \frac{kN}{m^3} \quad (16)$$

$$A_{cale} = 0,503 m^2 \quad (17)$$

$$g_{parapet.cale} = 150 \frac{kgf}{m} \quad (18)$$

$$g_{cale} = 12,45 \frac{kN}{m}$$

unde: g_{cale} - greutatea proprie a căii podului; γ_{cale} - greutatea specifică medie a straturilor căii podului; A_{cale} - aria secțiunii căii podului; $g_{parapet.cale}$ - greutatea parapetului direcțional

Pentru calculul forțelor tăietoare și momentelor încovoietoare din acțiuni permanente, a fost utilizat programul Ftool, considerând procesul de execuție al podului și cele două scheme statice: Grinda simplu rezemată:



Figura 3. Schema statică a deschiderii marginale.



Figura 4. Schema statică a deschiderii centrale.

Grinda continuă:

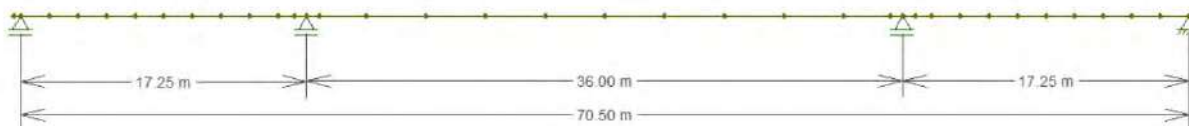


Figura 5. Schema statică a pasajului-grinda continuă.

Acțiuni din trafic: Convoiul de calcul LM1

- Sistemul tandem (TS): presupune încărcări concentrate cu două osii, în următoarele condiții:
 - pe fiecare bandă teoretică de circulație se consideră cel mult un sistem tandem (în lungul podului), considerându-se numai sisteme tandem complete;
 - pentru determinarea efectelor generale, fiecare sistem tandem se amplasează centrat, pe axa fiecărei benzi teoretice;
- Sistemul UDL (încărcări uniform distribuite):
Sistemul de forțe uniform distribuite se aplică numai pe zonele cele mai defavorabile ale suprafețelor de influență, longitudinal și transversal.

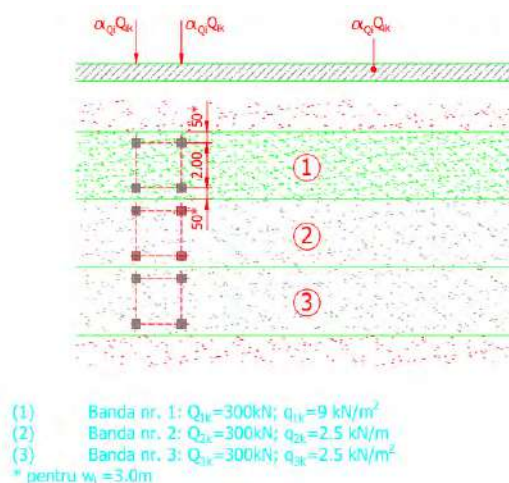


Figura 6. Aplicarea convoiului de calcul 1.

Calculul eforturilor secționale, momente încovoietoare și forțe tăietoare s-a făcut utilizând programul Ftool, pentru calculul în sens longitudinal și repartitia transversală prin metoda antretoazei elastice, dezvoltate de inginerul german Fritz Leonhardt.

Tabel 2 Momente încovoietoare pentru grinda simplu rezemată.

INFASURATOAREA MOMENTELOR ÎNCOVOIETOARE MAXIME/MINIME DE PROIECTARE, M_{Ed} , max/min, în kNm															
GRINDA SIMPLU REZEMATĂ															
Actiuni	ACTIUNI PERMANENTE					TRAFIC								M_{Ed}	
Sectiunea	$M_{Epp,k}$	$M_{Epm,k}$	$M_{Ecale,k}$	$M_{Eperm,k}$	M_{Epermd}	$M_{ETS,k}$		$M_{EUL,k}$		$M_{ELML,k}$		$M_{ELML,d}$		MIN	MAX
						+	-	+	-	+	-	+	-	-	+
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	166.70	113.01	45.40	325.11	438.90	328.35	0.00	130.28	0.00	458.63	0.00	619.16	0.00	438.90	1058.06
2	296.40	200.91	80.70	578.01	780.31	580.80	0.00	231.67	0.00	812.47	0.00	1096.84	0.00	780.31	1877.15
3	389.00	263.70	105.90	758.60	1024.11	757.35	0.00	303.97	0.00	1061.32	0.00	1432.78	0.00	1024.11	2456.89
4	444.60	301.37	121.00	866.97	1170.41	858.00	0.00	347.46	0.00	1205.46	0.00	1627.37	0.00	1170.41	2797.78
5	463.10	313.93	126.10	903.13	1219.23	882.75	0.00	361.96	0.00	1244.71	0.00	1680.35	0.00	1219.23	2899.58
6	444.60	301.37	121.00	866.97	1170.41	858.00	0.00	347.46	0.00	1205.46	0.00	1627.37	0.00	1170.41	2797.78
7	389.00	263.7	105.90	758.60	1024.11	757.35	0.00	303.97	0.00	1061.32	0.00	1432.78	0.00	1024.11	2456.89
8	296.40	200.7	80.70	577.80	780.03	580.80	0.00	231.67	0.00	812.47	0.00	1096.84	0.00	780.03	1876.87
9	166.70	113.01	45.40	325.11	438.90	328.35	0.00	130.28	0.00	458.63	0.00	619.16	0.00	438.90	1058.06
10	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	726.10	492.22	197.70	1416.02	1911.63	763.20	0.00	573.87	0.00	1337.07	0.00	1805.04	0.00	1911.63	3716.67
12	1290.80	875.02	351.50	2517.32	3398.38	1353.60	0.00	1020.21	0.00	2373.81	0.00	3204.65	0.00	3398.38	6603.03
13	1694.20	1148.52	461.30	3304.02	4460.43	1771.20	0.00	1279.99	0.00	3051.19	0.00	4119.10	0.00	4460.43	8579.53
14	1936.20	1312.59	527.20	3775.99	5097.59	2016.00	0.00	1530.32	0.00	3546.32	0.00	4787.53	0.00	5097.59	9885.11
15	2016.90	1367.28	549.20	3933.38	5310.06	2088.00	0.00	1594.08	0.00	3682.08	0.00	4970.81	0.00	5310.06	10280.87

Tabel 3 Momente încovoietoare pentru grinda continuă.

INFASURATOAREA MOMENTELOR ÎNCOVOIETOARE MAXIME/MINIME DE PROIECTARE, M _{Ed} ,max/min, în kNm																
GRINDA CONTINUUA																
Actiuni	ACTIUNI PERMANENTE						TRAFIC								M _{Ed}	
Sectiunea	M _{Epp,k}	M _{Epm,k}	M _{ESFP,k}	M _{Escale,k}	M _{Eperm,k}	M _{Epermd}	M _{ETS,k}		M _{EUL,k}		M _{ELML,k}		M _{ELML,d}		MIN	MAX
							+	-	+	-	+	-	+	-	-	+
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	157.72	106.37	-9.98	14.35	268.46	362.42	319.20	-82.08	116.01	-74.98	435.21	-157.06	587.53	-212.04	150.39	949.95
2	279.40	188.31	-19.96	18.89	466.64	629.96	550.20	-164.18	203.89	-149.87	754.09	-314.04	1018.02	-423.95	206.01	1647.99
3	364.02	245.13	-29.95	13.33	592.53	799.92	695.72	-246.26	262.97	-224.85	958.68	-471.10	1294.22	-635.99	163.93	2094.14
4	411.60	276.84	-39.93	-2.30	646.21	872.38	760.57	-328.35	299.73	-293.23	1060.30	-621.58	1431.41	-839.13	33.25	2303.79
5	422.13	283.43	-49.91	-28.03	627.62	847.29	756.86	-410.43	294.49	-374.71	1051.35	-785.14	1419.32	-1059.94	-212.66	2266.61
6	395.62	264.91	-59.89	-63.85	536.79	724.67	698.71	-492.53	266.94	-449.60	965.65	-942.12	1303.63	-1271.86	-547.20	2028.30
7	332.06	221.27	-69.88	-109.75	373.70	504.50	578.39	-574.61	210.59	-524.58	788.98	-1099.18	1065.12	-1483.90	-979.40	1569.62
8	231.46	152.52	-79.86	-165.74	138.38	186.81	406.30	-656.70	125.32	-599.46	531.62	-1256.16	717.69	-1695.82	-1509.00	904.50
9	93.8	58.66	-89.84	-231.81	-169.19	-228.41	194.49	-738.78	40.06	-703.35	234.55	-1442.13	316.65	-1946.87	-2175.28	88.24
10	0	0	-248.91	-307.98	-556.89	-751.80	95.50	-873.11	44.98	-935.21	140.48	-1808.33	189.64	-2441.24	-3193.04	-562.16
11	561.12	375.05	40.99	-110.27	866.89	1170.30	281.22	-375.97	27.15	-345.74	308.37	-721.71	416.30	-974.31	195.99	1586.60
12	1125.85	757.99	40.99	43.50	1968.33	2657.25	655.38	-206.90	223.34	-97.51	878.72	-304.41	1186.27	-410.96	2246.29	3843.51
13	1529.23	1031.45	40.99	153.34	2755.01	3719.26	969.06	-169.10	523.03	-79.67	1492.09	-248.77	2014.32	-335.85	3383.42	5733.59
14	1771.26	1195.52	40.99	219.24	3227.01	4356.46	1173.25	-131.30	695.70	-61.84	1868.95	-193.14	2523.09	-260.73	4095.73	6879.55
15	1851.94	1250.21	40.99	241.20	3384.34	4568.86	1239.53	-93.51	741.47	-44.10	1981.00	-137.61	2674.35	-185.77	4383.09	7243.21



4. Concluzii referitoare la studiul de caz:

- Pentru exemplul studiat, momentele din acțiuni permanente pe deschiderea marginală, cea de 17.25m, sunt pentru grinda continuă, 69.49%, față de momentele încovoietoare pe grinda simplu rezemată. Pe aceeași deschidere, momentele din acțiuni din trafic sunt 84.46%, față de cele de pe grinda simplu rezemată. În consecință, momentele totale, din acțiuni permanente și trafic pe deschiderea marginală sunt 78.17% față de cele de pe grinda simplu rezemată.
- Pentru exemplul studiat, momentele din acțiuni permanente pe deschiderea centrală, cea de 36.00m, sunt pentru grinda continuă, 86.03%, față de momentele încovoietoare pe grinda simplu rezemată. Pe aceeași deschidere, momentele din acțiuni din trafic sunt 53.80%, față de cele de pe grinda simplu rezemată. În consecință, momentele totale, din acțiuni permanente și trafic pe deschiderea centrală sunt 70.45% față de cele de pe grinda simplu rezemată.

Generale:

- Podurile cu schema statică grindă continuă au un număr mai mic de rosturi de dilatație, la capetele grinzilor continue;
- Momentele încovoietoare pentru grinzile continue sunt mai mici față de cele pe grinzi simplu rezemate.
- Momentele încovoietoare mai mici duc la posibilitatea reducerii înălțimii de construcție, pentru grinda continuă.

BIBLIOGRAFIE:

1. <https://romania.europalibera.org/a/rom%C3%A2nia-are-poduri-vechi-%C8%99i-deteriorate/31921102.html>
2. SR EN 1992-1-2-2004: Proiectarea structurilor de beton
3. SR EN 1991-1-1-2004: Acțiuni generale- Greutăți specifice, greutăți proprii, încărcări utile pentru clădiri
4. SR EN 1991-2: Acțiuni din trafic la poduri
5. A COMPARATIVE STUDY OF SIMPLY SUPPORTED AND CONTINUOUS R.C.C. SLAB BRIDGES Singh Shailendra*, Jain Utkarsh, Nimoriya Manish Kumar, Faraz Md. Islamuddin- International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 3, May-June, 2015 ISSN 2091-2730



SECȚIUNEA 4

Măsurători Terestre și Cadastru, master Topografie Digitală în Construcții și Cadastru



ADMINISTRAREA FUNCİARĂ MODERNĂ: PROVOCĂRI, SOLUȚII ȘI VIITORUL SISTEMULUI CADASTRAL ROMÂNESC

Autor/co-autori

Ionuț M. FUIA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Cluj Napoca, e-mail: ionutfuia56@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Mircea V. BONDREA

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Cluj Napoca, e-mail: Mircea.BONDREA@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: În contextul dezvoltării urbane și a complexificării structurilor imobiliare, de transport sau de utilități, sistemul cadastral românesc, care are ca scop la momentul actual identificarea, înregistrarea, descrierea și reprezentarea plană a tuturor imobilelor și construcțiilor necesită o modernizare pentru a asigura o administrare funciară modernă, precisă și transparentă. Lucrarea de față va analiza provocările tehnice, legislative și organizaționale ale unei posibile modernizări, tendințele actuale din acest domeniu, identificând posibile soluții ce pot asigura o administrare funciară corectă, precisă și modernă.

Cuvinte cheie: administrare funciară, dezvoltare, legislație, viitor.

1. Introducere

Este incomplet, atunci când se vorbește despre teren sau despre o parcelă, a ne raporta la acestea ca fiind simple fracțiuni de pământ delimitate geografic.

Din punct de vedere istoric, încă de la începuturile formelor de societăți organizate, terenul a însemnat mai mult decât un simplu bun pentru oameni, având o semnificație profundă în viața acestora, fiind nu doar o resursă economică, ci și un simbol al identității, libertății și stabilității.

În special în România, relația dintre oameni și pământ nu a fost una simplă. Adesea, aceasta a fost încărcată cu sensuri sociale și culturale, parcela sau terenul fiind asociate nu doar cu supraviețuirea, ci și cu demnitatea, cultura, apartenența sau libertatea. Astfel, deciziile asupra controlului sau utilizării acestora sunt și vor fi în continuare un subiect sensibil, toate acestea întărind nevoia de a fi luate cu mare responsabilitate.



Figura 1. Resurse asociate cu terenul.

De-a lungul timpului, caracteristicile unei parcele au devenit foarte complexe odată cu dezvoltarea umană, formele pe care terenul le poate lua fiind variate – de la ecosisteme, păduri, ape, resurse piscicole și multe alte cazuri. În asociere cu parcela, coexistă resursele naturale aferente acesteia – cum ar fi petrolul, gazele naturale, combustibili sau resurse minerale. Așadar termenul de „teren” cuprinde și partea fizică a acestuia împreună cu celelalte beneficii sau calități naturale asociate (Figura 1).

Cadrul juridic modern aduce un plus de complexitate acestora – asupra aceluiași teren pot exista mai multe drepturi care pot fi exercitate de persoane diferite, cum ar fi dreptul de proprietate, dreptul de a folosi copacii, iarba, resursele naturale de pe acea întindere sau dreptul de a-l traversa. Toată această complexitate justifică importanța administrării

Figura 2 – Resurse asociate cu terenul



corecte, precise și transparente ale terenurilor și bunurilor imobile și impune existența unui sistem bine definit, care să faciliteze administrarea, gestionarea și evidența clară a tuturor acestor aspecte.

La momentul actual, denumirea de LAS (Land Administration System) face referire la sistemele de administrare funciară care conțin, oferă și gestionează toate informațiile despre terenuri. În țara noastră, LAS-ul este reprezentat de **Sistemul Integrat de Cadastru și Carte funciară**, gestionat de **Autoritatea Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară (ANCP)**, acesta cuprinzând majoritatea operațiunilor, structurilor și procedurilor folosite pentru administrarea terenurilor și bunurilor imobile.

2. Cadastru și cartea funciară

Conform lucrării „Current Cadastral Trends” [1] - cadastrul este baza acestor sisteme de administrare (LAS), iar în cazurile în care acesta este bazat pe parcele, nu pe persoane, cadastrul devine o bază de date extrem de valoroasă care facilitează îndeplinirea majoritară a sarcinilor Sistemului Integrat de Cadastru și Carte Funciară.

Cadastrele, nu sunt o noutate, nevoia acestor sisteme se resimte încă din secolul al XVIII-lea. În prezent, cadastrul funcționează în asociere cu cartea funciară, proiectul cadastral românesc avându-și bazele din anii 90', odată cu legea cadastrului și a publicității imobiliare nr. 7 din 13 martie 1996: „Cadastrul și cartea funciară formează un **sistem unitar și obligatoriu de evidență tehnică, economică și juridică** [...], a tuturor imobilelor de pe întregul teritoriu al țării.” – prin această temelie se propunea finalizarea înregistrării proprietății pe întreg teritoriul României, proces care încă este în derulare.

Scopul LAS-ului românesc derivă din obiectul sistemului cadastral românesc numit **fond funciar**, definit de Legea nr.18/1991, acesta constituind **terenurile de orice fel**, indiferent de destinație sau regim juridic. Astfel, operând pe acest obiect, cadastrul general urmărește deducerea caracteristicilor tehnice, economice și juridice referitoare la fondul funciar, îndeplinirea publicității dreptului real imobiliar, a drepturilor personale sau alte raporturi juridice, colaborând cu sistemul de carte funciară.

Astfel, prin îndeplinirea scopurilor bazate pe obiectul fundamental al cadastrului, fondul funciar, acestui sistem îi sunt atribuite trei aspecte precizate de asemenea și în dispozițiile legale: **funcția tehnică** – prin determinarea caracteristicilor cantitative ale imobilelor, precum: forma, poziția, configurația sau suprafața, **funcția economică** – prin determinarea caracteristicilor calitativ-economice ale terenurilor sau construcțiilor și **funcția juridică** – prin care acest sistem îndeplinește identificarea situației juridice privitoare la drepturile asupra terenului sau a construcțiilor, persoanelor care le dețin sau a altor litigii.

Deși funcțiile prezentate sunt îndeplinite cu succes de LAS-ul actual, acesta are unele **limitări**. În cadrul administrării funciare, subiectul reprezentării datelor cadastrale cuprinde mai multe dintre aceste limitări în contextul utilizării tot mai intense a dimensiunii verticale ale terenului. Actual, reprezentarea fondului funciar și a construcțiilor cuprinse se face pe baza unui sistem bidimensional care efectuează redarea situației reale în teren.

Această reprezentare pe care se bazează sistemul cadastral actual funcționează doar în plan orizontal, neluând în calcul factorul vertical. Această limită a sistemului de administrare funciară românesc se poate observa prin lipsa soluțiilor în cadrul imobilelor suprapuse sau în locurile unde pot coexista mai multe drepturi asupra unui singur element de fond funciar dar la niveluri diferite. Prin urmare, nepermițând descrierea completă a tuturor imobilelor, se creează situații în care cadastrul bidimensional devine depășit.

3. Tendințele din domeniu și cadastrul tridimensional

Conform lucrării „Towards improved land governance” [2], modul de folosință a terenurilor a suferit schimbări odată cu creșterea populației și cu evoluția economică accelerată, iar urbanizarea tot mai intensă a mărit presiunea asupra resurselor de teren urban. Astfel, întinderea de teren a devenit tot mai insuficientă pentru a corespunde cu cerințele populației, de aceea tendințele în folosința terenului s-au concentrat pe verticală, sub teren și deasupra lui. Printre primele tipuri de locuințe care s-au



dezvoltat pe verticală sunt așa-numitele „*insulae*” (Figura 2) din vremea Imperiului Roman. Acest tip de locuințe erau prevăzute cu mai multe etaje, iar pe fiecare etaj mai multe apartamente.



Figura 2. „*Insulae*”.

Până la aceste cazuri, limita drepturilor asupra terenurilor se presupunea a fi din nucleul pământului până în văzduhul cerului, însă din complexitatea cu care omul a început să folosească terenul, s-au creat situații complicate care au necesitat definirea clară a unor limite și pe verticală. Sistemul Integrat de Cadastru și Carte Funciară pentru a oferi și a reprezenta clar limitele parcelelor, reprezintă grafic terenul sau a construcția sub forma unor poligoane bidimensionale. Astfel, fiecare imobil are un contur, care se unește perfect cu vecinii acestuia în plan orizontal, însă lipsesc detaliile verticale. La înregistrarea în sistem a unei parcele, LAS-ul românesc este creat astfel încât să nu permită niciun fel de suprapuneri ale acestor poligoane, fie ele reale sau virtuale. Dar ce se întâmplă în momentul în care într-adevăr suprapunerea este reală, iar pe aceeași suprafață de teren există mai multe drepturi deținute de persoane diferite ca în figura 2?

Lucrarea „Current Cadastral Trends” [1] oferă o analiză completă și foarte amplă a trendurilor actuale în cadastru folosindu-se de statistici ale publicațiilor tehnice privind cadastrul cum ar fi reviste, articole științifice, cărți și multe altele. Astfel, autorii identifică șase direcții majore de evoluție a cadastrului bazate pe analiza a 367 de lucrări publicate în ultimii 10 ani (Figura 3). Cele șase direcții sunt: **Cadastrul 3D**, **Cadastrul marin**, **Cadastrul adecvat nevoilor specifice**, **Cadastrul infrastructurii tehnice**, **Cadastrul gestionării dezastrelor** și **Cadastrul restricțiilor legale publice**. Se observă că aproximativ jumătate (Figura 3) din toate aceste lucrări sunt despre cadastrul tridimensional, așadar se poate spune că are cea mai mare posibilitate de a fi tendința cea mai populară din ultimul deceniu și din prezent, ceea ce ne trimite la întrebarea: Ce este defapt cadastrul tridimensional?

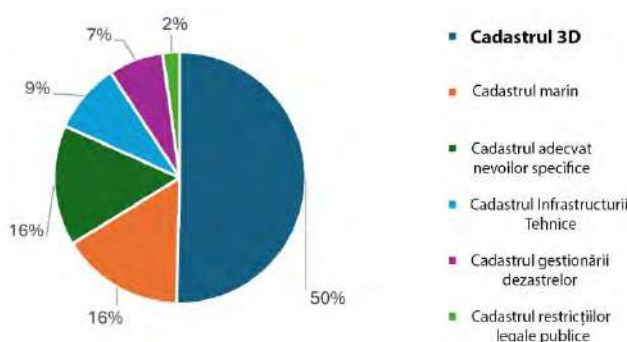


Figura 3. Trenduri în cadastru.

Cadastrul tridimensional este derivat din forma modernă a cadastrului actual care presupune îndeplinirea funcțiilor tehnice, economice și juridice în format bidimensional, iar cadastrul 3D este sistemul care permite înregistrarea, identificarea, reprezentarea, gestionarea drepturilor a fondului funciar în toate cele trei dimensiuni ale spațiului. Astfel, acest sistem modern trebuie să reprezinte relații spațiale între mobile și să asigure o înregistrare clară a drepturilor reale care se suprapun.

4. Sistemul actual de cadastru și carte funciară și limitările acestuia

Figura 4 - Pasajul Matei Basarab din București.



În cazul prezentat în figura de mai sus, pasajul „Matei Basarab” din București are o situație deosebită, facilitând traversarea din sectorul 1 în sectorul 6, însă această trecere se produce la înălțime, astfel pasajul supratran traversează patru străzi, o cale de rulare pentru tramvai și o stație aferentă acestuia, râul Dâmbovița și podul Grozăvești peste acest râu, magistrala CFR nr. 300 (București-Oradea) și o parcare supraetajată pe structură metalică.

Toate trecerile pe care acest pasaj le face peste edificiile amintite, creează situații în care cadastrul românesc bidimensional nu are soluții tehnice pentru evidența și reprezentarea spațiului folosit în sistemul cadastral românesc ceea ce înseamnă că sistemul integrat de cadastru și carte funciară nu poate rezolva înregistrarea, identificarea promptă a proprietarilor de drept și oferirea de date la zi despre edificiile prezentate din lipsa cadrului tehnic și juridic pe direcția verticală, deoarece regulile sistemului de administrare funciară răspund concis la problemele de suprapunere a imobilelor și le interzic sub orice formă.

Astfel din punct de vedere al reprezentării, orice parcelă asupra căreia există mai multe drepturi reale care se întind deasupra și sub teren, deținute de una sau mai multe persoane creează acele situații în care cadastrul general este limitat deoarece nu poate să îndeplinească în totalitate funcțiile sale și mai ales funcția tehnică și juridică. În cazul prezentat, soluțiile pe care sistemul le-a permis au fost: ignorarea pasajului prin înregistrarea doar a imobilelor care se află dedesubt așa cum se observă în captura de ecran (Figura 5) a aplicației eTerra.



Figura 5. Captură de ecran din aplicația de vizualizare cadastrală „eTerra”.

Analizând comparația de mai sus, se observă că funcția tehnică a fost îndeplinită doar parțial în acest caz, deoarece singurele părți ale pasajului care au putut fi înregistrate, identificate și reprezentate grafic sunt stâlpii de susținere ai pasajului, care din punct de vedere juridic au fost identificați ca fiind construcții aparținând străzilor pe care pasajul le traversează, ca de exemplu, construcția 5 și 6 din captura de ecran de alături, parte din extrasul de carte funciară (Figura 6) al șoselei Orhideelor, stradă traversată de pasaj.

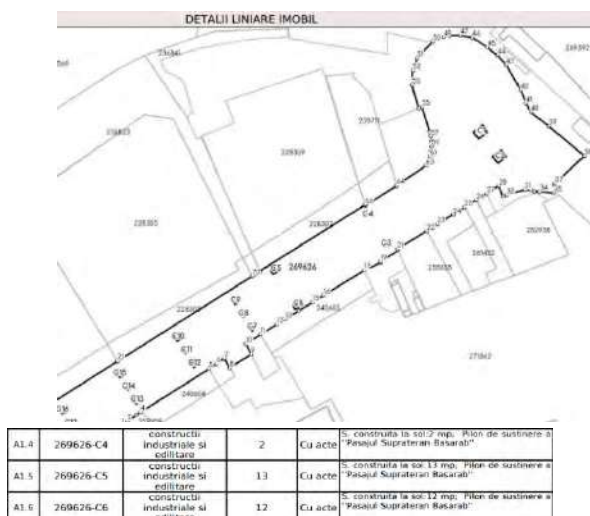


Figura 6. Situația tehnică și juridică din șoseaua Ordiheelor.

Așadar, tot pasajul, care are o lungime de aproape 2 kilometri a fost ignorat, nu a fost identificat și nici înregistrat în evidențele funciare, însă părți din acesta (precum sunt pilonii de susținere) au putut fi transferate în înregistrările străzilor și altor edificii prin faptul că amprenta acestora la sol se află pe acele parcele. Aceste probleme nu se întâlnesc doar la pasaje supraterane ca în cazul de mai sus, deoarece sunt nenumărate pe teritoriul țării, de la poduri peste râuri, pasarele pietonale, poduri feroviare, tuneluri de metrou, exploatarea miniere, clădiri care trec peste drumuri și multe altele.

Mai mult, situații precum cea a Pasajului suprateran Matei Basarab evidențiază perfect limitele sistemului actual prin inexistența soluțiilor de reprezentare și identificare a relațiilor spațiale dintre elemente suprapuse. Așadar, aplicarea cadastrului tridimensional în România devine o necesitate stringentă în contextul în care administrarea funciară este depășită de situațiile tot mai complexe a utilizării spațiului urban și extra-urban, unde drepturile de proprietate și folosință nu mai pot fi în totalitate reprezentate și gestionate adecvat în plan bidimensional.

5. Provocări naționale și soluții pe plan internațional

Pentru implementarea cadastrului tridimensional în România în vederea rezolvării anumitor limite și lipse de soluții ale sistemului actual este nevoie să se depășească multe provocări care țin atât de sfera juridică cât și de sfera tehnică și instituțională. Cadrul legislativ actual este creat ca să se plieze perfect pe un sistem cadastral bidimensional, fără a avea posibilitatea de a înregistra imobile suprapuse vertical în mod distinct. Din punct de vedere tehnic, este nevoie să se depășească lipsa modelelor de reprezentare 3D și integrarea acestora cu standarde internaționale precum este **LADM** (Land Administration Domain Model), concept care propune rezolvarea identificării proprietarilor sau persoanelor care au drepturi asupra volumelor spațiale care se suprapun.

În plus, pentru a depăși toate aceste provocări este nevoie de coordonarea unui efort național spre modernizarea infrastructurii cadastrale, care să includă pregătirea de specialiști în cadastru tridimensional cu programe educaționale actualizate sau actualizarea legislației.

În timp ce România se confruntă cu limitări, mai multe țări au reușit să depășească complet sau parțial acestea, iar în următoarele rânduri vor fi prezentate două situații ale eforturilor depuse spre implementarea cadastrului 3D pe plan internațional.

Țările de Jos – Netherlands

Denumită colocvial Olanda, această țară a urmărit în ultimii 15 ani dezvoltarea unui cadastru tridimensional derivat din cadastrul bidimensional. Agenția de cadastru a Olandei („Kadaster”) a adoptat în timp o implementare a administrării funciare 3D abordată pe faze.

Faza întâi, începută în anul 2016 a presupus folosirea cadrului legislativ de atunci și sistemului cadastral 2D al Olandei ca bază împreună cu anumite aspecte conceptuale de modelare spațială din cadrul standardului ISO LADM și anume, unități spațiale pe nivele care sunt asociate cu schițe 3D,



toate aceste fișiere fiind înregistrate ca acte oficiale. Această fază a necesitat un exercițiu mental pentru înțelegerea informațiilor expuse din parte celor care soluționau documentațiile, însă a creat un mediu bazat pe experiențe care să introducă toate părțile implicate în acest proces de schimbare al sistemului bazat în primă fază pe empirism.

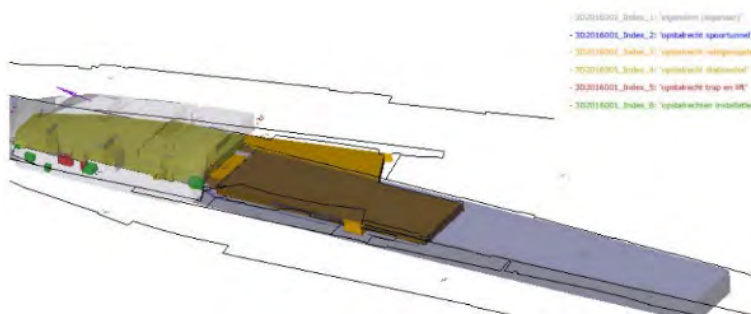


Figura 7. Prima înregistrare tridimensională în cadrul sistemului olandez.

Un exemplu al acestei faze este prima înregistrare a unor drepturi de proprietate pe mai multe nivele (Figura 7) și anume: cazul gării din orașul Delft, o zonă de 24 de hectare, complex construită, care conține tunele feroviare foarte lungi, holuri, parcuri subterane, peroane, stații de cale ferată subterane și multe alte spații publice asupra cărora există drepturi de proprietate diferite de la un nivel la altul, cum ar fi șase drepturi de proprietate legate de volume: zona călătorilor și tuneluri – către proprietarul infrastructurii publice feroviare din Olanda sau pentru instalațiile tehnice, sala gării, lift și scări – NS Vastgoed, iar restul drepturilor fiind ale municipalității orașului. În Figura 7 este prezentat un exemplu de fișier PDF interactiv anexat acestei prime înregistrări, fișier interactiv cu posibilitatea de a naviga în jurul volumului reprezentat. Se observă că fiecare volum legal nu a primit un număr cadastral după legislația în vigoare deoarece ar fi afectat regulile de numerotare cadastrală, astfel soluția aplicată a fost notarea fiecărui volum cu un ID complex 3D de diferite culori – exemplu: culoarea verde pentru încăperile cu instalații (Figura 8).

- 3D2016001_Index_6: 'opstalrechten installaties'

Figura 8. Exemplu de ID 3d.

A doua fază a implementării sistemului și cea în care se află în prezent, presupune integrarea completă a datelor tridimensionale în registrul funciar oficial, într-un mod legal, tehnic și operațional. Obiectivele acestei faze s-au concentrat pe asigurarea posibilității înregistrării directe și complete a datelor 3D folosind standarde precum LADM, CityGML, BIM și IFC, pentru a asigura compatibilitatea cu alte sisteme și eficiență în schimbul de date. Mai mult, eforturile au cuprins adaptări legislative, elaborarea unor fluxuri digitale prestabilite responsabililor cu documentațiile – de la crearea modelului 3D, la validarea și publicarea în registru, vizualizarea și accesul public 3D la o platformă digitală publică care să permită consultare de date legale în conext tridimensional, după cum se observă în captura de ecran din (Figura 9) care conține vizualizarea tridimensională a aceleași zone feroviare pe care s-a efectuat prima înregistrare tridimensională din faza întâi.

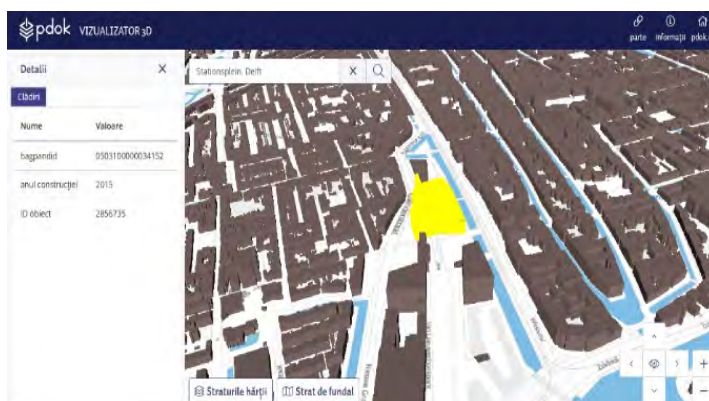




Figura 9. Sistemul digital de vizualizare tridimensională a imobilelor.

Astfel, Țările de Jos dețin la momentul actual unul dintre cele mai avansate sisteme de administrare funciară din lume după multe eforturi și investiții în dezvoltare, cercetare, colaborare și adaptare etapizată, iar după ani de proiecte pilot, dezvoltări tehnologice, Olanda a reușit să transforme un sistem cadastral tradițional bidimensional, într-un cadru modern capabil să reflecte complexitatea proprietății în mediul urban tot mai aglomerat.

Singapore (SG)

Alături de Țările de Jos, Singapore, o republică insulară din Asia, a pornit tot de la un sistem cadastral bidimensional pe care l-a consolidat de-a lungul timpului. Necesitatea administrării funciare tridimensionale în această țară a fost de asemenea mare din cauza densității urbane extrem de intense. Sistemul cadastral a fost modernizat constant încă din anii 2000, cu scopul de a fi digitizat, inițiative care au inclus introducerea cadastrului coordonat, crearea unui sistem digital pentru centralizarea documentațiilor (2005) sau crearea rețelei de poziționare prin satelit a țării (2006) (Figura 10).



Figura 10. Sistemul de stații permanente al țării Singapore.

Una dintre cele mai recente inițiative este crearea platformei CSMS (Cadastral Survey Management System) în 2018, sistem care introduce formatul SG Land XML, un concept digital modificat pe contextul legislativ al țării, care permite o pre-verificare automată a datelor cadastrale raportată la regulile cadastrului, rezultând într-un proces de muncă mai rapid și micșorarea erorilor umane. Odată cu acest sistem s-au înlocuit complet procesele bazat pe hârtie și totul s-a digitizat, de la depunerea documentației digitale, validare automată până la procesare și arhivare digitală. Astfel, acest sistem digitalizat a constituit o bază pentru cadastralul tridimensional.

În continuare, SLA (Singapore Land Authority) a introdus programe pilot în paralel cu avansul utilizării tehnologiilor BIM (Building Information Modelling) din construcții pentru testarea unei posibile integrări a cadastrului tridimensional. Astfel în anul 2023, SLA lansează platforma CORENET X împreună alte agenții de interes public – Autoritatea Națională de Mediu, Autoritatea în Construcții și Clădiri, Autoritatea de Remodelare Urbană și multe alte instituții cu care SLA reușește să împartă datele tridimensionale valoroase pentru foarte multe instituții publice. Astfel, soluțiile pe care această țară le-a găsit pentru integrarea celei de a treia dimensiuni în administrarea funciară s-au bazat pe metode interactive de tip SmartCity, de digitalizare, de folosirea unor formate noi, interoperabile cu concepte recunoscute internațional precum LADM, CityGML și IFC. În acest mod, platforma CORENETX devine o platformă guvernamentală unificată, care nu ajută doar la administrarea funciară tridimensională ci și la alte aspecte de interes public.

Singapore se poziționează în prezent printre liderii globali în transformarea sistemelor de înregistrare funciară pentru orașe inteligente. Etapa actuală, aflată încă în regim pilot, folosește ca soluții tot acele concepte des întâlnite de integrare a cadastrului 3D (LADM, CityGML, BIM etc.) și vizează demonstrarea fezabilității tehnice și legale a cadastrului 3D, urmând ca într-o etapă ulterioară să se realizeze integrarea completă a acestor înregistrări tridimensionale în registrul funciar național.

6. Soluții ale modernizării cadastrului românesc

După cum s-a observat în exemplele de sisteme cadastrale de succes, pentru a urmări trendurile de modernizare și pentru rezolvarea limitărilor sistemului actual este nevoie de un management mult

mai bun de date cu scopul de a găsi soluții tehnice și juridice – exact acele aspecte ale sistemului românesc în care cadastrul tridimensional ar avea probleme uriașe în cazul implementării. Astfel, pentru o mai bună manipulare a datelor, părțile responsabile de cadastru în țara noastră pot urma exemplele țărilor fruntașe la administrarea funciară 3D prin utilizarea standardului **LADM** (Land Administration Domain Model) - ISO:19152. Acest standard propune o structură flexibilă și foarte cuprinzătoare de management de date cu scopul de a digitaliza, standardiza și de a face cât mai clare toate aspectele administrării funciare. Conceptul este doar un model de referință care definește clase și relații între aspectele administrării funciare, însă cu puține modificări legislative la nivelul țării și cu un sistem bazat pe acest standard, **poate rezolva limitările funcției juridice a cadastrului românesc** în cazul drepturilor suprapuse.

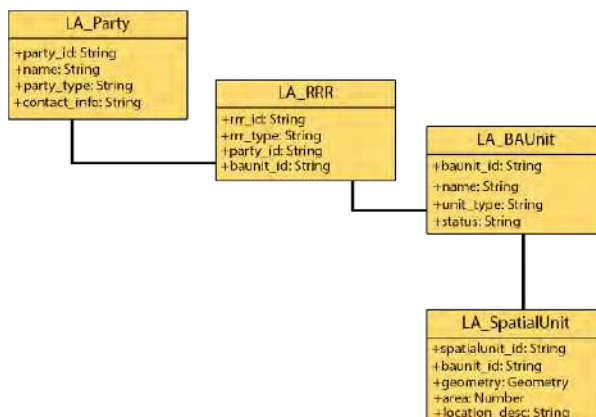


Figura 11. Principalele clase de date ale conceptului LADM.

Modul în care poate rezolva aceste probleme este prin separarea clară a instanțelor în cadastru, fiecare clasă având corespondenți clari, dar și prin abordarea conceptului de unități spațiale, fie volumetrice sau planimetrice, ceea ce impune limite clare ale proprietății. Astfel, soluțiile pornesc de la managementul de date propus de LADM (**FIG X**), clasa (**LA_Party**) conține informații despre **entitățile implicate** în fiecare situație de administrare funciară (pot fi persoane fizice sau juridice), clasa **LA_RRR** (drepturi, restricții, obligații) stochează toate drepturile din dosarul de administrație funciară (drept de proprietate, suprafață etc.), fiecare drept fiind legat de o entitate sau mai multe din clasa **LA_Party**, în clasa (**LA_SpatialUnit**) se află unitățile spațiale componente (care pot fi atât 2D cât și 3D cu o localizare clară) și sunt legate fiecare definind o unitate administrativă de bază, iar (**LA_BAUnit**) este unitatea administrativă de bază care unește toate aceste aspecte. Este bine de știut faptul că acest model conceptual nu este un model de date fizic ci doar structural.

Pentru o înțelegere mai bună despre cum acest standard are potențialul de a rezolva se poate aborda exemplul **Pasajului Matei Basarab** din București prezentat anterior, mai exact, locul în care traversează peste **Podul Grozăvești**, pod care trece **râul Dâmbovița** (Figura 12).

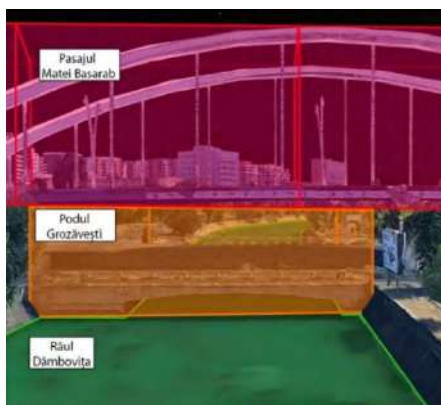


Figura 12. Situația de drepturi suprapuse a Pasajului Matei Basarab văzută cu ajutorul volumelor 3D.



Conform consultării documentelor oficiale, situațiile funciare ale imobilelor implicate sunt complexe, înscrierile privind dreptul de proprietate fiind: - **Statul Român** pentru Râul Dâmbovița, **Primăria Generală a Municipiului București** pentru Podul Grozăvești, iar din cauza imposibilității de a fi înregistrat în sistemul de cadastru și carte funciară, informațiile despre pasaj se regăsesc în Hotărârea de Guvern 235/20.10.2005, acesta fiind în administrația **Municipiului București**. În acest caz, cu ajutorul standardului LADM, prin separarea clară a instanțelor principale (LA_Party, LA_RRR, LA_BAUnit și LA_SpatialUnit) se reprezintă foarte concis și corect drepturile de proprietate suprapuse și se pot reprezenta cu precizie volumele 3D ale fiecărui edificiu din figura 12 cu ajutorul poziționării clare a unităților spațiale 3D. Astfel, fiecare entitate (Statul Român, Primăria Generală, Municipiul București) poate fi legată direct, fără ambiguitate, de propriul volum fizic, evitând confuziile legate de suprapunerea verticală.

De asemenea LADM rezolvă și **limitările tehnice** ale cadastrului actual prin introducerea acestei structuri conceptuale care permite modelarea proprietății în 3D, folosind unități spațiale volumetrice și relații explicite între geometrie, drepturi și părți implicate. Astfel, sistemul poate reprezenta corect entități suprapuse (ex. poduri, pasaje, subterane), evitând ambiguitățile din modelele 2D. Separarea clară între componentele juridice și cele spațiale permite interoperabilitatea cu GIS 3D, BIM și CityGML, oferind un cadru scalabil pentru modernizarea evidenței funciare.

7. Concluzii

În concluzie, provocările pe care instituțiile responsabile de cadastrul național vor trebui să le depășească sunt multe, însă nu sunt imposibil de îndeplinit în timp, la fel cum s-a observat în exemplele internaționale. O constantă în acele exemple este etapizarea modernizării, un aspect foarte important având în vedere că reformele nu sunt întotdeauna perfecte și decizia cea mai bună este aceea de a crea un mediu bazat pe experiențe pentru a vedea fezabilitatea unui posibil nou sistem. Acestea fiind spuse, la momentul în care sistemul cadastral românesc va necesita o modernizare spre includerea celei de a treia dimensiuni în acest sistem va fi nevoie de un efort național, digitalizare, de investiții în educație, tehnologie, sisteme și soluțiile moderne ale conceptelor tot mai des amintite ale cadastrului tridimensional.

BIBLIOGRAFIE

1. Uşak B, Çağdaş V, Kara A. Current Cadastral Trends—A Literature Review of the Last Decade. Land. 2024; 13(12):2100. <https://doi.org/10.3390/land13122100>
2. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/61349153-20d8-4802-86d5-ccfa15550e5e/content>
3. <https://www.ocpicluj.ro/istoric-cadastru-carte-funciara-cluj.php>
4. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/69491>
5. https://repository.tudelft.nl/file/File_b166a00f-b468-4dac-8064-9779ef034a97?preview=1
6. Sun, J.; Mi, S.; Olsson, P.-o.; Paulsson, J.; Harrie, L. Utilizing BIM and GIS for Representation and Visualization of 3D Cadastre. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, 8, 503. <https://doi.org/10.3390/ijgi8110503>
7. https://www.Figuranet/resources/Proceedings//2016/2016_3dcadastre/3Dcad_2016_37.pdf.pdf?
8. <https://app.pdok.nl/3d-viewer/>
9. https://www.researchgate.net/publication/266625888_Development_of_a_Model_For_Land_Survey_Data_based_on_I_SO_19156#pf2
10. https://www.Figuranet/resources/proceedings/2012/2012_3dcadastre/3Dcad_2012_42.pdf
11. https://ggim.un.org/meetings/2024/Fifth-EG-LAM/documents/4_Kean_Huat_Soon.pdf
12. https://gdmc.nl/3DCadastres/workshop2011/documents/030_presentation.pdf
13. <https://www.sla.gov.sg/>
14. http://revcad.uab.ro/upload/37_470_18_Savoiu_I.pdf
15. https://www2.pmb.ro/primarul/prioritati_proiecte/pasajul_basarab/pasajul_basarab.php
16. <https://www.oicrf.org/documents/40950/43224/Serbian+Profile+of+the+Land+Administration+Domain+Model.pdf/4bad425f-7a8e-187d-4521-842ede458ef3?t=1510195478234>



ANALIZA COMPARATIVĂ A METODELOR DE DETERMINARE A POZIȚIEI UTILIZÂND SISTEMELE GNSS

Autor/autori

Bogdan M. Bîrcea¹, Șerban A. Dan²

¹Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: Bircea.Du.Bogdan@student.utcluj.ro.

²Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca., e-mail: Dan.Va.Serban@student.utcluj.ro.

Îndrumător/îndrumători

S.L.Dr.Ing. Raluca C. Gâlgău³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca., e-mail: raluca.galgau@mtc.utcluj.ro.

REZUMAT: *Lucrarea analizează aplicarea tehnologiilor GNSS (Global Navigation Satellite System) în efectuarea măsurătorilor geodezice, evidențiind metodele utilizate, precum și avantajele și limitările acestora. Sistemele GNSS oferă o soluție modernă, rapidă și precisă pentru determinarea coordonatelor în teren, fiind esențiale în diverse aplicații geodezice și topografice. În cadrul lucrării sunt prezentate metodele cinematice în timp real (RTK), metodele statice și cele post-procesate (PPK), subliniind precizia și eficiența fiecăreia în contextul măsurătorilor geodezice. Aceste metode se bazează pe utilizarea semnalelor transmise de sateliți și sunt clasificate în funcție de modul de colectare și procesare a datelor. Alegerea metodei adecvate depinde de cerințele specifice ale proiectului, inclusiv precizia necesară, condițiile de teren și disponibilitatea echipamentelor. Integrarea acestor metode în practica geodezică permite realizarea de măsurători precise, eficiente și esențiale pentru diverse tipuri de lucrări aplicate.*

Cuvinte cheie: GNSS, precizie, geodezie, sateliți, metode satelitare.

Sistemele globale de navigație prin satelit (GNSS) transformă radical ramurile topografiei și cartografiei prin precizia ridicată de poziționare a punctelor pe care o oferă. Metoda topografică GNSS permite inginerilor din diferite industrii să realizeze măsurători exacte cu ajutorul semnalelor primite de la sateliți.

Tehnologia GNSS a devenit indispensabilă în activitățile zilnice, lumea devenind tot mai dependentă de sistemele bazate pe locație.

1. Descrierea sistemelor GNSS folosite:



Acuratețe RTK:

- Orizontal: 8 mm + 1 ppm
- Vertical: 15 mm + 1 ppm

- canale receptoare:555
- suportă orice tip de sateliți
- antena UHF

Figura 1. Sistem GNSS GeoMax Zenith35 Pro



Acuratețe STATIC:

-Orizontal: $\pm(2.5 + 1)$ mm

-Vertical: $\pm(5 + 1)$ mm

-antena UHF

-canale receptoare:220

-sateliți suportați: GPS, GLONASS, GALILEO.

Figura 2. Sistem GNSS Hi-Target V30



Acuratețe STATIC:

- Orizontal 2.5 mm + 0.5 ppm RMS

-Vertical 5 mm + 0.5 ppm RMS

-antena UHF

-canale receptoare:440

-sateliți suportați: GPS, BeiDou, GLONASS, GALILEO, SBAS

Figura 3. Sistem GNSS Hi-Target V30 Plus

2. Softuri de procesare utilizate în procesare



Figura 4. Hi-Target Geomatics Office

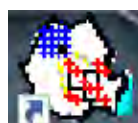


Figura 5. TransDatRO

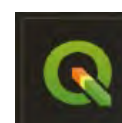


Figura 6. QGIS

3. Zona în care s-au efectuat măsurătorile

Măsurătorile s-au efectuat asupra unui imobil ce aparține Universității Tehnice din Cluj-Napoca situat pe strada Observatorului numărul 72-74 din municipiul Cluj-Napoca, județul Cluj.



Figura 7. Zona de Amplasament

4. Studiu de caz

Pentru a evidenția precizia și eficiența fiecărei metode de măsurare s-au efectuat asupra a 6 puncte din zona imobilului câte 3 seturi de măsurători distincte (RTK, BAZA-ROVER CU PUNCTE NECUNOSCUTE ȘI BAZA ROVER CU PUNCTE CUNOSCUTE) și încă un set de măsurători statice pentru 4 dintre acestea.

4.1 Metoda RTK

Măsurătorile RTK au fost realizate cu ajutorul unui sistem GNSS GeoMax Zenith35 Pro și a programului X-PAD Ultimate Survey. Pentru preluarea datelor a fost necesară crearea unui job, iar apoi în opțiunea survey points am măsurat fiecare punct, staționând pe acesta aproximativ 10 secunde.



Figura 8. Introducerea setărilor pentru măsurătorile efectuate cu metoda RTK.

4.2 Metoda Baza-Rover cu coordonate necunoscute

Pentru această metodă au fost folosite cele două sisteme GNSS GeoMax Zenith35 Pro și antenele UHF. Unul din sisteme a fost calat pe punctul 101 cu ajutorul bipedului, urmând a fi receptorul care emitea corecții (baza) către cel de-al doilea sistem (rover) calat în apropiere. Cu ajutorul controller-ului am intrat în funcția „Instruments” unde am setat sistemul Baza și sistemul Rover. Prin opțiunea „Curent position” și RTK position (unde am setat un interval de timp de 30 de secunde) s-au aflat coordonatele relative ale bazei, astfel cu roverul am ridicat fiecare punct aflând coordonatele.



Figura 9. Setările introduse pentru măsurătorile efectuate cu metoda cinematică Baza-Rover

4.3 Metoda Baza-Rover cu coordonate cunoscute (Automatic RTK)

Această metodă este similară cu metoda Baza-Rover cu coordonate necunoscute, am folosit aceleași două sisteme GeoMax Zenith35 Pro și punctul 101 ca bază. Am selectat opțiunea Automatic-RTK în loc de curent position și am introdus în sistemul bază coordonatele punctului 101. Coordonatele punctului 101 au fost determinate anterior prin măsurători geodezice clasice, punctul 101 este un punct vechi din incinta instituției.

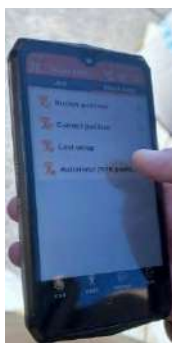


Figura 10. Setările introduse pentru măsurătorile efectuate cu metoda cinematică AutomaticRTK

4.4 Metoda Statică

Pentru a măsura punctele prin metoda statică au fost folosite cele două sisteme GNSS Hi-Target V30, respectiv sistemul GNSS Hi-Target V30 Plus și aplicația Hi-Survey. Am conectat controller-ul la sistem, am selectat opțiune static și am introdus setările aferente. Am fixat și calat sistemul GNSS cu ajutorul bipedului pe cele 4 puncte unde am staționat timp de o oră cu interval de măsurare de o secundă.

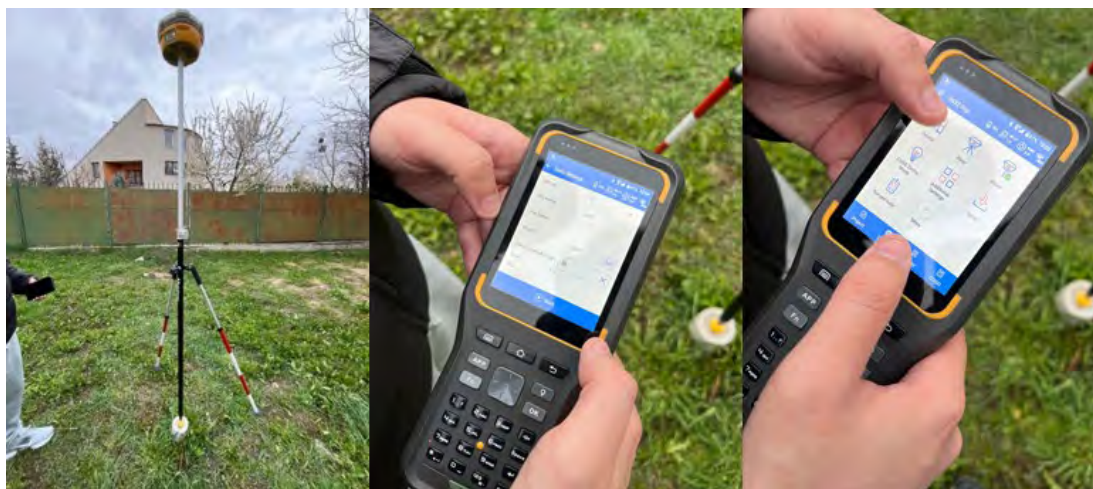


Figura 11. Setările introduse pentru măsurătorile efectuate cu metoda statică.

5. Procesarea datelor

Pentru procesarea datelor rezultate din măsurătoarea statică am folosit programele Hi-Target Geomatics Office și TransDatRO.

Pentru început s-au achiziționat datele RINEX înregistrate la stațiile permanente pentru fiecare punct în parte. În programul Hi-Target Geomatics Office am creat un nou proiect și am introdus setările necesare. Următorul pas a fost importarea fișierului .GNS descărcat din sistemul GNSS Hi-Target V30 Plus și a fișierului RINEX obținut de la stația permanentă. În continuare am introdus setările necesare pentru procesarea baseline-ului și am folosit opțiunea de ajustare a rețelei.

La final am obținut un raport al proiectului în care se află coordonatele geografice în ETRS89 necesare pentru continuarea procesării în programul TransDatRO. În programul TransDatRO se va face transformarea coordonatelor geografice în coordonate rectangulare în proiectia Stereo 70.

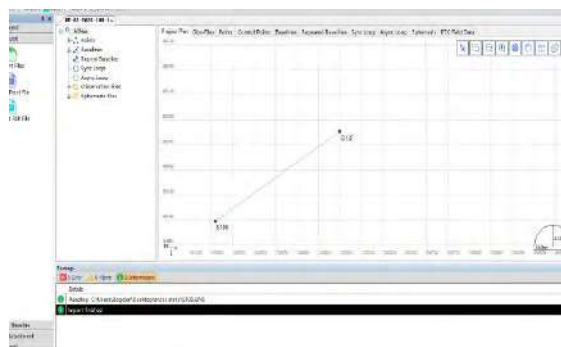


Figura 12. Importarea punctelor .GNS și RINEX.

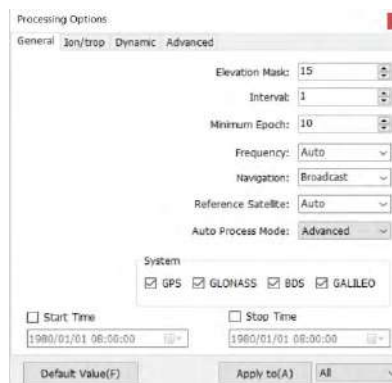


Figura 13. Setări procesare baseline.

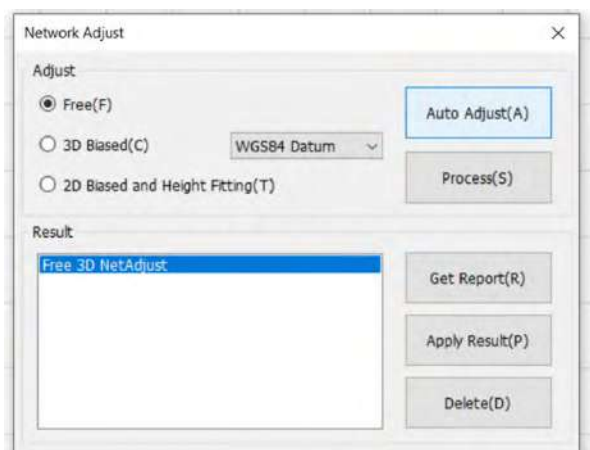


Figura 14. Obținerea raportului.



Figura 15. Transformarea coordonatelor

6. Rezultatele obținute

Pentru prelucrarea datelor am folosit programele Microsoft Excel și QGIS. În Microsoft Excel am calculat mediile pentru fiecare coordonată a punctelor, abaterea fiecărei măsurători față de valoarea medie calculată pentru acel punct, și valoarea medie pentru fiecare tip de măsurătoare. [1]

Formule utilizate:

$$\Delta x = x_{est} - x_{med} \quad (1)$$
$$\Delta y = y_{nord} - y_{med} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (3)$$

Unde: Δx și Δy reprezintă abaterile de la valoarea medie

S reprezintă eroarea

Obs: Eroarea este distanța dintre punctele rezultate din fiecare metodă și valoarea cea mai probabilă a punctelor.[2]

În tabelul nr. 1 sunt prezentate coordonatele punctelor, valorile medii ale coordonatelor calculate prin media aritmetică a valorilor fiecărei metode, modul de calcul al abaterii de la valoarea medie a fiecărui punct cu ajutorul formulelor (1), (2) și eroarea calculată cu formula (3).



Tabel 1. Tabel de calcul pentru punctele măsurate

	Nr.crt	X [m]	Y [m]	Z [m]	X med.[m]	Y med. [m]	ΔX [m]	ΔY [m]	Eroare [m]
B-R_AUTO	111	392230.5	584921.6	423.945	392230.49	584921.79	0.028333	-0.16433	0.166758
B-R_PctNec	111	392230.5	584921.9	427.388	392230.49	584921.79	-0.03067	0.087667	0.0928757
RTK	111	392230.5	584921.9	427.398	392230.49	584921.79	0.002333	0.076667	0.0767022
B-R_AUTO	104	392214.2	584960.2	423.385	392214.2	584960.48	0.006333	-0.25567	0.2557451
B-R_PctNec	104	392214.2	584960.6	426.83	392214.2	584960.48	-0.01967	0.124333	0.1258791
RTK	104	392214.2	584960.6	426.848	392214.2	584960.48	0.013333	0.131333	0.1320084
B-R_AUTO	101	392192.3	584966.9	425.012	392192.28	584967.18	0.00725	-0.3105	0.3105846
B-R_PctNec	101	392192.3	584967.2	426.471	392192.28	584967.18	-0.00375	0.0575	0.0576222
RTK	101	392192.3	584967.2	426.483	392192.28	584967.18	-0.02275	0.0465	0.0517669
STATIC	101	392192.3	584967.4	426.392	392192.28	584967.18	0.01925	0.2065	0.2073953
B-R_AUTO	110	392196.4	584913.4	423.695	392196.48	584913.74	-0.07625	-0.348	0.3562556
B-R_PctNec	110	392196.4	584913.7	427.165	392196.48	584913.74	-0.09425	0.002	0.0942712
RTK	110	392196.4	584913.8	427.131	392196.48	584913.74	-0.10425	0.029	0.1082084
STATIC	110	392196.8	584914.1	426.844	392196.48	584913.74	0.27475	0.317	0.4194956
B-R_AUTO	112	392263.4	584925.8	424.716	392263.39	584926.08	0.01325	-0.27975	0.2800636
B-R_PctNec	112	392263.4	584926.2	428.147	392263.39	584926.08	-0.00375	0.07925	0.0793387
RTK	112	392263.4	584926.2	428.181	392263.39	584926.08	-0.00575	0.10825	0.1084026
STATIC	112	392263.4	584926.2	428.169	392263.39	584926.08	-0.00375	0.09225	0.0923262
B-R_AUTO	108	392228	585013.3	422.364	392227.96	585013.59	0.02	-0.289	0.2896912
B-R_PctNec	108	392227.9	585013.7	425.81	392227.96	585013.59	-0.015	0.095	0.0961769
RTK	108	392228	585013.7	425.827	392227.96	585013.59	-0.001	0.109	0.1090046
STATIC	108	392228	585013.7	425.816	392227.96	585013.59	-0.004	0.085	0.0850941

În tabelul nr. 2 sunt reprezentate valorile medii ale erorilor în funcție de metoda de măsurare, care vor fi folosite mai departe în programul QGis.

Tabel 2. Erori medii

Eroare medie B-R AUTO	0.276516357
Eroare medie B-R Pct.Nec.	0.091027293
Eroare medie RTK	0.097682184
Eroare medie STATIC	0.201077791

Cu ajutorul programului QGis am făcut o comparație între poziționarea fiecărui punct în funcție de metodă. Pentru a evidenția abaterea de la valoarea medie a fiecărui punct am folosit instrumentul de geoprocesare Buffer pentru a crea o suprafață construită după valoarea erorii ce pune în evidență devierea fiecărui punct.



Figura 16. Reprezentare puncte pe ortofotoplan.



Figura 17. Introducere setări Buffer

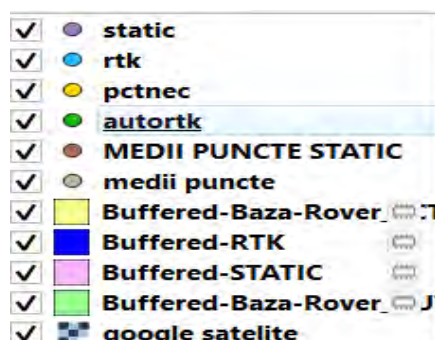


Figura 18. Repartizare date pe layer

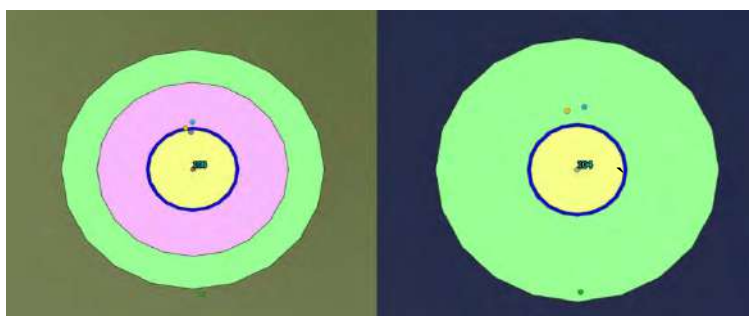


Figura 19. Rprezentare puncte 108,104 rezultate din tipurile de măsurători efectuate și reprezentarea erorilor pin intermediul Buffer-ului

7. Concluzii

Metoda GNSS statică oferă cea mai bună precizie, fiind ideală pentru lucrări geodezice de referință, dar necesită un timp îndelungat de observație și post-procesare.

Metoda de măsurare RTK (Real Time Kinematic) permite obținerea datelor în timp real cu precizie centimetrică, oferă mobilitate crescută deoarece se folosește doar un rover (receptor mobil), un timp scurt de măsurare și flexibilitate nedepinzând de raza limitată a unei baze.[3]

Măsurătorile realizate prin metoda cinematică Baza-Rover cu coordonate cunoscute se caracterizează prin reducerea erorilor sistematice și creșterea preciziei, dar necesită existența unui punct cu coordonate cunoscute și acces la acesta.

Baza-Rover cu coordonate necunoscute oferă flexibilitate deoarece stația poate fi montată oriunde fără a depinde de puncte existente, este utilă în terenuri greu accesibile sau unde nu există puncte cunoscute, dar precizia este mai scăzută în comparație cu metoda cinematică Baza-Rover cu coordonate cunoscute.

Calitatea măsurătorilor este puternic influențată de factorii externi cum ar fi acoperirea satelitară, obtinerea semnalului din cauza clădirilor și a vegetației. La planificarea măsurătorilor GNSS trebuie luate în calcul condițiile locale și efemeridele.

În concluzie, sistemele GNSS oferă abilitatea de determinare rapidă a poziției pe glob, acestea fiind esențiale în topografie și cadastru. Alegerea metodei de măsurare se face în funcție de precizia dorită, condițiile din teren și scopul lucrării.

BIBLIOGRAFIE

- [1].Moldoveanu C., *Geodezie*, Matrix Rom, București, 2002.
- [2].Grecea C., Bălă A.C., *Geodezie – Concepte*. Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Construcții, Colecția STUDENT, (2013).
- [3].Lee I.-S., Ge L., The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions. *Earth, Planets and Space*, 58, 515–522 (2006).
- 4.Neuner J., *Sisteme de poziționare Globale*, Editura Matrix ROM, București, 2000.
- 5.Nistor G., Greșiță C.-I., Onu C., Utilizarea tehnologiei satelitare GPS la monitorizarea construcțiilor. *Cadastru și Drept*, 33, 2013.



6. Gradinaru, Catalin Constantin. "Elemente De Suport Pentru Securitatea Națională Și Europeană Caracteristică Domeniului Geospațial." *Structuri Și Sisteme Satelitare În Ue Și Statele Membre–Stadiul Actual Și Tendințe (Geospațial Domain Support Measures for National And European Security. Satellite Systems and Structures In European Union and Member States–Present And Future)* (2015).
7. Rey J.M., Techniques GPS en mode cinématique. *Mensuration Photogrammetrie Genie Rural*, 95, 462–465 (1997).
8. Ramadhan S.A., *Analisis Pemanfaatan Layanan InaCORS BIG Untuk Survei GNSS dengan Metode Network RTK dan Rapid Static (Statik Singkat)*, Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021.
- https://www.ct.upt.ro/studenti/cursuri/grecea/Geodezie_Concepte.pdf
- <https://globalgpsystems.com/gnss/gnss-surveying-methods-exploring-accuracy-and-techniques/>
- <https://www.taoglas.com/gnss-technology/>
- <https://www.waps.net.au/wp-content/uploads/2017/02/3-Geomax-Zenith35-Pro-Presentation-v3.pdf>
- https://www.ecomexico.net/proyectos/soporte/HITARGET/INFO/Hi-Target%20V30%20GNSS%20RTK%20System%20Manual/V30%20GNSS%20RTK%20System%20Manual%20V2.0.0.pdf?srsId=AfmBOopj4sTb4fWP8vnEzeCERg096G-qwel_zYABVLrf2DY-JJ_mAC89
- <https://geoportal.ancpi.ro/imobile.html>
- <https://geoportal.ancpi.ro/portal/apps/webappviewer/index.html?id=faeba2d173374445b1f13512bd477bb2>



ANALIZA ERORILOR DE MĂSURARE A SMARTPHONE-ULUI PENTRU MODELARE 3D COMPARATIV CU INSTRUMENTELE TOPOGRAFICE DE ÎNALTĂ PRECIZIE

Autor/autori

Maria-Anastasia NACU

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, email: nacu.ana@yahoo.com

Îndrumător/îndrumători

Prof.Dr.Ing. Ioel Samuel VEREȘ

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, email: ioel.veres@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: *Măsurătorile topografice sunt esențiale în activitățile de teren din domeniul cadastrului și geodeziei, iar precizia acestora depinde de instrumentul utilizat și de metoda aplicată. Deși smartphone-urile nu sunt folosite pentru astfel de măsurători, lucrarea își propune să analizeze în ce măsură aceste dispozitive pot deveni o alternativă viabilă în viitor pentru efectuarea unor lucrări ce nu prezintă un grad înalt de dificultate. Experimentul presupune compararea preciziei și erorilor obținute cu smartphone-ul față de echipamentele topografice de actualitate. Rezultatele obținute vor clarifica în ce măsură smartphone-urile pot reprezenta o soluție rapidă și accesibilă pentru etapele inițiale ale unui proiect într-un domeniu în care precizia și acuratețea reprezintă factorul esențial.*

Cuvinte cheie: smartphone, echipamente topografice, precizie, soluție accesibilă.

1.Introducere

Studiul prezentat în cele ce urmează a apărut din curiozitatea de a răspunde la întrebări precum: Ar putea smartphone-ul îmbunătăți timpul de efectuare a unor măsurători de o dificultate redusă, dar cu un grad de precizie apropiată de cel al instrumentului înlocuit? În calculul cubajului buștenilor ar putea telefonul mobil reprezenta o variantă mai rapidă de preluare a datelor față de ruleta clasică? Care sunt parametrii care ne pot limita atunci când dorim să realizăm o scanare 3D a unui obiectiv de dimensiuni mari utilizând smartphone-ul? Care este probabilitatea ca prin utilizarea mobilului pentru scanare 3D să obținem date cu o precizie ridicată pentru calculul de distanțe, asemănătoare cu cele obținute în urma efectuării de măsurători cu o stație o totală?

Ipotezele formulate anterior au fost testate prin compararea smartphone ului cu doua aparate diferite, obținându-se astfel patru măsurători ce au fost prelucrate prin metode statistice. Evaluarea rezultatelor s-a făcut pe baza teoriei probabilităților, iar constatările desprinse au un rol important pentru evoluția tehnologica și aplicabilitatea acestora în viața de teren.

2.Instrumente folosite, modul de achiziție și prelucrarea datelor

Pentru realizarea lucrării s-au folosit: telefonul mobil Iphone 15, ruleta clasică cu o lungime de 10 m, stația totală.

Studiul a fost realizat în doua etape, astfel pentru calculul cubajului, observațiile s-au preluat în incinta unui furnizor de bușteni din județul Botoșani. S-au utilizat cinci bușteni de dimensiuni medii ce au fost măsurati mai întâi cu ruleta clasică, astfel obținând un set de valori pentru lungimea și diametrul



fiecărui buștean în parte, iar apoi s-a efectuat o serie de 190 de poze cu mobilul pentru a putea efectua modelarea 3D a acestora.



Figura1. Modul de preluare a datelor pentru unul dintre bușteni.

În urma achiziției datelor, pentru cei cinci bușteni, s-a determinat volumul fiecărui lemn în parte.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (1)$$

V – volumul unui buștean,

r^2 - diametrul,

h – lungimea unui buștean,

Tabelul 1. Determinarea volumului stivei de bușteni cu ruleta clasică.

Buștean	Diametru (cm)	Lungime (m)	Volum (mc)
1	24.5	0.31	0.119301981
2	19	0.38	0.113411495
3	17.5	0.295	0.08109236
4	18	0.37	0.104615035
5	16	0.315	0.079168135
Total			0.497589006

Pentru determinarea volumului buștenilor, după realizarea celor 190 de imagini cu smartphone-ul, acestea au fost importate în programul Agisoft Metashape, un software specializat în fotogrammetrie și modelare 3D. Procesul de prelucrare a constat în parcurgerea mai multor etape succesive: în primul rând, s-a efectuat alinierea fotografiilor, prin care software-ul identifică punctele comune dintre imagini și stabilește pozițiile relative ale camerelor. A urmat generarea norului de puncte dens, care a permis reconstruirea formei obiectelor fotografiate în spațiul tridimensional. Ulterior, s-a realizat modelul de suprafață (mesh), iar apoi s-a aplicat textura pentru a obține o reprezentare vizuală realistă a buștenilor. Din modelul final, s-au extras valorile necesare pentru calculul volumului fiecărui buștean în parte, pe

baza secțiunilor transversale și a lungimii măsurate cu ajutorul funcției "Ruler", ceea ce facilitează procesul, putând extrage datele cu ușurință din program.

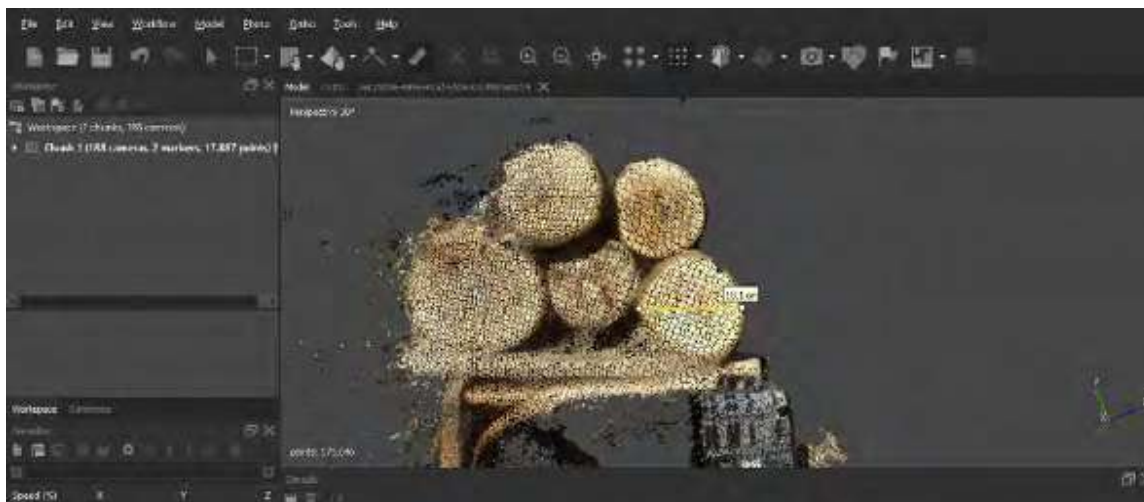


Figura2. Modul de preluare a datelor pentru bușteni în programul Agisoft Metashape

În urma achiziției datelor, s-a obținut următorul set de observații, care a fost prelucrat prin aceeași metoda ca în cazul precedent pentru a putea verifica gradul de încredere al metodei aplicate.

Tabelul 2. Determinarea volumului stivei de bușteni din modelul 3D.

Buștean	Diametru (cm)	Lungime (m)	Volum (mc)
1	24	0.30	0.113097
2	19	0.40	0.119381
3	17	0.29	0.07744
4	18.1	0.36	0.102353
5	16.6	0.31	0.080833
Total			0.493104

Pentru a evidenția diferențele dintre cele două metode de măsurare clasică (cu ruletă) și digitală (prin prelucrare fotogrammetrică în Agisoft Metashape) s-a realizat un tabel comparativ. În acesta sunt prezentate valorile diametrelor și lungimilor măsurate pentru fiecare buștean, volumul calculat în fiecare caz, precum și diferențele absolute dintre cele două metode. Această comparație permite evaluarea gradului de încredere în utilizarea smartphone-ului pentru calculul volumului pe un obiectiv de mici dimensiuni.

Tabelul 3. Determinarea volumului stivei de bușteni din modelul 3D.

Număr bușteni	Diametru			Lungime			Volum		
	Metoda 1	Metoda 2	Verificare	Metoda 1	Metoda 2	Verificare	Metoda 1	Metoda 2	Verificare
1	24.5	24	0.5	0.31	0.300	0.010	0.119302	0.11309	0.006205
2	19	19	0	0.38	0.400	-0.020	0.113411	0.11938	0.005969
3	17.5	17	0.5	0.295	0.290	0.005	0.081092	0.07744	0.003652
4	18	18.1	-0.1	0.37	0.360	0.010	0.104615	0.10235	0.002262
5	16	16.6	-0.6	0.315	0.310	0.005	0.079168	0.08083	0.001665

În urma calculului diferențelor dintre cele două metode putem observa că pentru obiecte de mici dimensiuni, telefonul ar putea reprezenta o variantă la îndemâna lucrătorilor comerciali și ar putea facilita procesul anevoios de măsurare a buștenilor cu ruleta clasică. Nu putem avea certitudinea că în cazul unei stive de mari dimensiuni performanțele pot atinge același prag.



În cadrul etapei de testare a smartphone-ului pe un obiectiv vast, măsurătorile s-au efectuat asupra Halei din cadrul Facultății de Construcții din Cluj-Napoca. Utilizând metodele topografice s-a utilizat stația totală pentru a efectua o ridicare topografică a obiectivului propus. Măsurarea cu stația totală a obiectivului ne oferă o perspectivă mai clară asupra datelor pe care le vom interpreta cu ajutorul telefonului mobil.

3. Preluarea datelor cu telefonul mobil

Inițial, s-a încercat o abordare aparent eficientă: realizarea unui videoclip complet al obiectivului, din care să se extragă automat fotografiile la intervale de 30 de secunde. Acest proces, deși rapid, a eșuat în partea de aliniere a fotografiilor în Agisoft Metashape, deoarece imaginile extrase nu conțineau suficientă informație, rezultând capturi ce nu aveau o localizare.

În următoarele serii de preluare a fotografiilor s-au întâmpinat probleme în captarea unei laturi dificil de accesat, astfel obținându-se fotografii ce nu cuprindeau o acoperire suficientă a laturii și în acest caz alinierea fotografiilor a eșuat. Trebuie să se țină seamă de un pas esențial în fotogrammetrie, imaginile trebuie să aibă detalii comune și o suprapunere de 60-70 %, să fie clare și să acopere obiectivul din cât mai multe unghiuri. Fără acestea, algoritmul de recunoaștere a punctelor cheie nu poate realiza legăturile între fotografii. Ca urmare, s-a trecut la realizarea fotografiilor cu ajutorul aplicației 3D Scanner App. Aceasta permite utilizatorului să fotografieze în timp ce creează automat și un model 3D vizualizabil în timp real. S-au capturat peste 200 de imagini în mai puțin de 15 minute, mișcându-se telefonul în jurul halei, la aceeași înălțime. În timpul procesului, s-a urmărit menținerea unei distanțe constante față de obiectiv, de aproximativ 2 metri. Pentru a evita umbrele dure sau reflexiile care pot afecta calitatea punctelor detectate, preluarea imaginilor s-a efectuat în cursul serii, într-un moment optim din punct de vedere fotogrammetric, când lumina naturală difuză a redus semnificativ prezența umbrelor dure. Această alegere a permis obținerea unor fotografii clare, fără umbre, favorabile procesului de aliniere. Modelul 3D generat în aplicație putea fi exportat în format ".obj", însă această opțiune nu permite adăugarea markerilor de scalare în Agisoft, care funcționează în condiții optime pe baza imaginilor brute. De aceea, a fost utilizată opțiunea "Transfer all data" din aplicația mobilă, prin care toate imaginile originale capturate au fost transferate pe laptop. Aceste fotografii au fost ulterior importate în Agisoft Metashape pentru prelucrare.

4. Prelucrarea datelor

Procesul de prelucrare a datelor a implicat parcurgerea mai multor etape succesive, esențiale pentru obținerea unui model tridimensional precis și realist în programul Agisoft. În prima parte, s-a realizat alinierea fotografiilor, etapă în care software-ul a identificat punctele comune dintre imagini, stabilind astfel pozițiile relative ale camerelor în spațiu. Ulterior, a fost generat norul de puncte dens (Build Dense Cloud), care a permis reconstrucția detaliată a geometriei obiectelor surprinse. Pe baza acestuia s-a construit modelul de suprafață (Build Mesh), peste care a fost aplicată textura (Build Texture), obținându-se o reprezentare vizuală fidelă a halei studiate.

Pentru a aduce modelul 3D al halei la scară reală, a fost necesară inserarea markerilor de control pe imaginile folosite pentru crearea modelului. S-a ales o latură a clădirii din partea de vest pentru care lungimea reală era cunoscută, măsurată anterior cu ruleta. Procesul a început prin identificarea colțurilor acestei laturi în imagini, s-a folosit instrumentul "Add Marker", prin care s-au plasat puncte de referință în aceleași poziții, colțuri ale halei, pe mai multe fotografii. Mai apoi s-a definit o distanță de control între cei doi markeri de la capetele laturii. Această valoare de 15,6 metri a fost introdusă în fereastra "Reference" la secțiunea "Scale Bars", asociind markerii corespunzători, astfel întregul model 3D a fost redimensionat la scara reală.

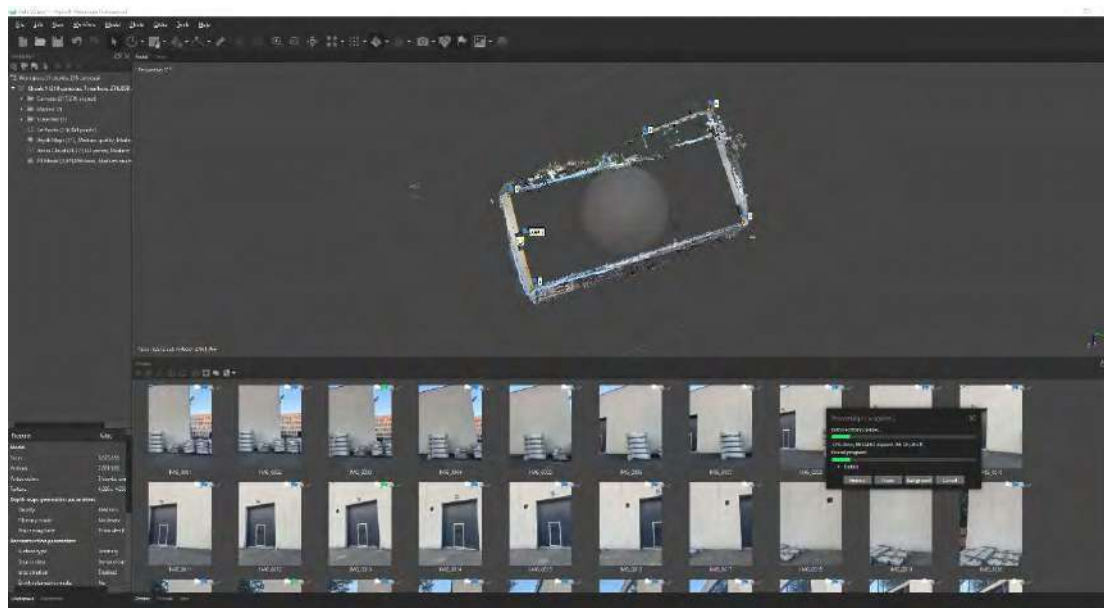


Figura 3. Crearea orthofotoplanului în programul Agisoft Metashape.

Am realizat un orthofotoplan pentru o perspectivă 2D a fațadei halei ce poate fi folosit pentru o documentație tehnică a clădirii.



Figura 4. Orthofotoplanului halei-reprezentarea fațadei.

Pentru a putea avea un plan topografic a fost necesară exportarea modelului de suprafață în AutoCad 3D unde am putut insera puncte în colțurile clădirii, astfel rezultând coordonate într-un sistem local cu ajutorul cărora am putut mai apoi calcula distanțe.

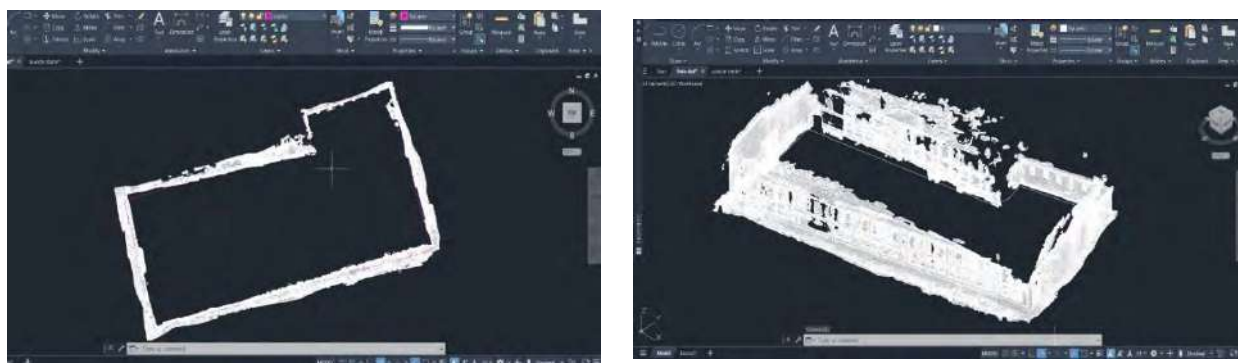


Figura 5. Modelul 3D al Halei în AutoCad

În urma realizării conturului halei în AutoCad, s-a constatat ca pe latura din partea de Nord, colțul a apărut rotunjit, ceea ce indică o eroare posibil cauzată de suprapunerea insuficientă a imaginilor. Această imperfecțiune a fost corectată pentru a reflecta o geometrie apropiată de realitate, conform datelor obținute din măsurătorile de referință.

Ulterior, această corecție a permis realizarea unei comparații între distanțele măsurate în modelul 3D obținut prin scanarea cu smartphone-ul și cele rezultate din ridicarea topografică efectuată cu stația totală.

Tabelul 3. Calculul variațiilor pe direcțiile x și y, distanțe.

Calculul distanțelor pentru fiecare latura a halei a fost efectuat cu formula topografică:

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (2)$$

Se observă că în urma verificării distanțelor măsurate pe modelul 3D generat cu smartphone-ul cu

Nr. Pct.	Metoda 1(din modelul 3D)		Metoda 2 (din stație)		Variații pe X[m]	Variații pe Y[m]	Distanțe	Metoda 1 D[m]	Metoda 2 D[m]	Verificare D[m]
	X[m]	Y[m]	X[m]	Y[m]						
1	988.967	193.634	988.282	193.525	-0.685	-0.109	D1-2	16.49	15.91	-0.58
2	972.908	197.385	972.878	197.515	-0.03	0.13	D2-3	38.04	37.79	-0.25
3	982.822	234.111	982.322	234.102	-0.5	-0.009	D3-4	19.85	20.51	0.66
4	1001.833	228.408	1002.091	228.634	0.258	0.226	D4-5	11.54	12.11	0.57
5	998.524	217.351	998.938	216.945	0.414	-0.406	D5-6	3.05	3.63	0.58
6	995.605	218.226	995.43	217.869	-0.175	-0.357	D6-1	25.47	25.37	-0.1

valorile reale obținute cu stația totală, există diferențe semnificative pe anumite laturi ale halei, ajungând chiar până la 0,7 metri. Aceste abateri evidențiază faptul că, în forma actuală, un telefon mobil nu poate fi considerat o soluție fiabilă pentru lucrări care necesită o precizie ridicată. Cu toate acestea, faptul că rezultatele se apropie de valorile reale, în ciuda lipsei unui senzor LiDAR și a altor componente specializate, demonstrează un nivel de performanță notabil pentru un dispozitiv nespecializat. Este de presupus că, utilizând un telefon echipat cu senzor LiDAR, precizia ar fi fost îmbunătățită semnificativ, iar abaterile ar fi fost mai mici.

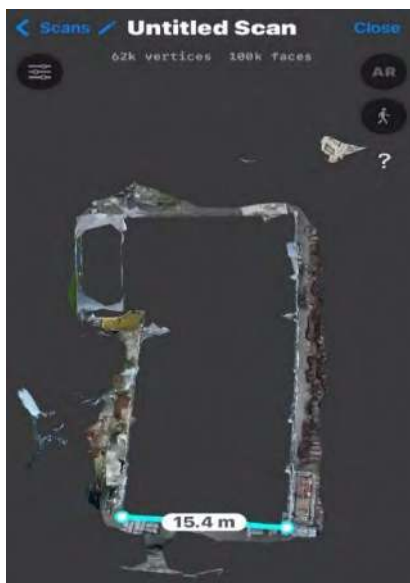


Figura 6. Măsurarea laturii în aplicația mobilă 3D Scan App.

Se poate observa că, în cadrul aplicației mobile 3D Scan App, eroarea aferentă distanței D1–D2 a fost de doar 51 de centimetri, o valoare semnificativ mai apropiată de distanța de referință determinată pe baza coordonatelor obținute cu ajutorul stației totale. Acest rezultat evidențiază un nivel ridicat de acuratețe al reconstrucției realizate prin intermediul platformei mobile. Cu toate acestea, se constată o creștere a diferențelor în cazul procesării datelor în software-ul Agisoft Metashape, aspect care necesită o analiză suplimentară. Această discrepanță ar putea fi atribuită unor factori precum: posibile erori în etapa de aliniere a fotografiilor. În acest context, se impune o evaluare detaliată a parametrilor de procesare și a fluxului de lucru utilizat în Metashape, pentru a identifica sursa exactă a erorilor și a îmbunătăți precizia reconstrucției finale.

5. Concluzii

Rezultatele obținute în urma comparării măsurătorilor pentru cubajul buștenilor arată diferențe volumetrice minime între metode: 0,4975 m³ cu ruleta clasică și 0,4931 m³ cu modelul 3D obținut din imagini realizate cu smartphone-ul. Diferența totală de 0,0045 m³, sub 1%, indică o precizie suficient de ridicată pentru aplicații ce nu impun toleranțe stricte. Totodată, timpul de achiziție cu telefonul a fost redus semnificativ, implicând doar 15–20 de minute pentru întregul set de imagini, ceea ce demonstrează eficiența metodei pentru lucrări de complexitate redusă. În cazul celor cinci bușteni analizați, timpul necesar pentru fotografiere a fost mult redus față de măsurarea manuală cu ruleta. Putem afirma că metoda poate fi folosită cu încredere pentru a ușura procesul de calculare a cubajului în domeniul silviculturii.

În cazul halei scanate, principalele limitări identificate au fost: acoperirea incompletă a anumitor laturi, dificultatea menținerii unei distanțe constante față de obiect. De exemplu, alinierea fotografiilor a eșuat în zone unde nu s-a respectat o suprapunere de minimum 60–70%, iar colțul din nord a apărut rotunjit în modelul 3D, necesitând corecții ulterioare în AutoCAD.

Comparând distanțele măsurate între cele 6 puncte ale halei, diferențele față de stația totală au variat între -0.10 m și +0.66 m, cu o medie absolută a erorilor de aproximativ 0.38 m. Deși aceste abateri sunt semnificative pentru lucrări ingineresti de precizie, ele pot fi considerate acceptabile pentru documentații preliminare sau estimări rapide. Astfel, smartphone-ul poate constitui o soluție de compromis în fazele incipiente ale proiectelor sau în zone greu accesibile.

Cu toate acestea, este important de remarcat că telefonul utilizat în studiu nu a fost echipat cu senzor LiDAR. Utilizarea unui dispozitiv dotat cu această tehnologie ar fi dus, cel mai probabil, la o reducere considerabilă a erorilor de distanță și la o modelare mai fidelă a geometriei obiectivului. LiDAR-ul permite măsurarea precisă a suprafețelor, ceea ce ar elimina multe dintre imperfecțiunile generate de metoda fotogrammetrică bazată exclusiv pe imagini.



Smartphone-ul ar putea deveni în viitor un instrument auxiliar valoros pentru topografi, mai ales în fazele preliminare ale proiectelor, în evaluări rapide sau în situații unde utilizarea echipamentelor clasice este dificilă. Cu integrarea senzorilor avansați, cum este LiDAR, și cu software-uri din ce în ce mai performante, se conturează perspectiva unei soluții accesibile și fiabile, potrivite pentru completarea lucrărilor topografice în condiții optime.

Studiul de caz poate fi aplicat de asemenea și în cazul releveelor sau în compararea telefonului mobil cu orice aparat topografic, în viitor putem lua în calcul ca acesta ar putea reprezenta o soluție care va ușura munca pe teren a unui topograf.

BIBLIOGRAFIE

1. Cornel Arsene - Fotogrammetrie, UTPRESS, 2024
2. Ionescu I. - Fotogrammetrie inginerescă. Modelarea digitală altimetrică a terenului, Editura Matrix ROM, 2004
3. Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 2.2



CONSIDERAȚII PRIVIND METODELE DE MĂSURARE A ELEMENTELOR TOPOGRAFICE

Autori

Mihai-Daniel D. ZAHA¹, Ana-Maria-Iuliana V. RĂTUȘANU², Cristian- Stelian S. PREAN³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: zahadaniel8@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: ratusanuanamaria27@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: preancristian@yahoo.com

Îndrumători

Asist.Drd.Ing. Dorin ISAC⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: mihai.isac@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Măsurătorile topografice reprezintă un proces esențial în realizarea planurilor și hărților utilizate în diverse domenii, precum construcțiile, infrastructura, agricultura sau cadastru. Metoda de măsurare și aparatura aleasă trebuie să asigure precizia necesară, adaptându-se condițiilor terenului și cerințelor proiectului. Așadar ne propunem să realizăm o diferențiere cât mai clară și corectă a acestor metode prin efectuarea unor serii de măsurători, care vor evidenția avantajele și dezavantajele diferitelor tipuri de echipamente topografice, analizând atât precizia cât și eficiența acestora.

Cuvinte cheie: precizie, metode, tipuri de echipamente, eficiență.

1. Introducere

Determinarea elementelor topografice cu un grad ridicat de precizie constituie un aspect fundamental în cadrul măsurătorilor terestre și cadastru, de aceea trebuie să cunoaștem care sunt cele mai bune metode, instrumente, ce avantaje și dezavantaje au acestea, cât și gradul ridicat sau scăzut de precizie al lor. Așadar, ne propunem ca în cele ce urmează să vă prezentăm metodele de măsurare a distanțelor cu diferitele moduri de operare ale instrumentelor cât și funcțiile acestora.

2. Descrierea aparaturii

Stația Totală Leica TCR407

Este un model clasic din seria TCR400, extrem de popular în anii 2000 datorită robusteții, fiabilității și performanțelor solide în condiții de șantier. Stația Totală Leica – TCR407 este destinată măsurătorilor topografice de precizie, suportând mai multe moduri de măsurare a distanței (EDM), atât cu prisma, cât și fără.



Figura 1. Stație Totală Leica TCR407, prismă mini , prismă standard.

Caracteristici tehnice generale:

- precizie unghiulară: 7"
- distanță de măsurare cu prismă: până la 3500m



- distanță de măsurare fără prismă: până la 80-100m
- precizie EDM: $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$
- compatibilă cu prisma mini 17,5mm
- compatibilă cu prisma round/standard 1,5m

Stația Totală Leica TS16



Figura 2. Stație Totală Leica TS16, prismă 360° + controler

Este o stație totală de generație nouă, complet automatizată, proiectată pentru a oferi precizie ridicată și eficiență în măsurătorile topografice complexe. Datorită funcției ATR (Auto Target Recognition), stația recunoaște și urmărește automat prisma, permițând lucrul cu un singur operator.

Caracteristici tehnice generale:

- stație totală robotizată și automatizată
- controler dedicat pentru operare de la distanță
- precizie unghiulară: 1"-5"
- distanță de măsurare cu prismă: până la 3500-5000m
- distanță de măsurare fără prismă: până la 1000m
- precizie EDM: $\pm(1 \text{ mm} + 1.5 \text{ ppm})$
- compatibilă cu prisma mini, prisma standard și 360°

GPS Hi Target V30

Este un echipament de topografie de înaltă precizie, utilizat pentru măsurători GPS/GNSS într-o gamă largă de aplicații, inclusiv cadastru, ridicări topografice și inginerie. Acest sistem GNSS oferă precizie centimetrică în moduri de lucru diferite precum RTK, utilizând semnale din mai multe constelații de sateliți. Este compact și ușor de utilizat, având o interfață prietenoasă, ceea ce permite operatorului să colecteze rapid și eficient date de teren.



Figura 3. GPS Hi Target V30 + controler

Caracteristici tehnice generale:

- precizie RTK: 1 cm + 1.5 ppm (orizontală), 2 cm + 2 ppm (verticală)
- controler portabil
- conectivitate Wi-Fi/Bluetooth

3. Etapa de măsurători

Primul pas a fost alegerea metodelor de lucru și stabilirea diferențelor pe care dorim să le evidențiem între cele trei tipuri de echipamente utilizate: o stație totală clasică Leica TCR407, o stație totală robotizată Leica TS16 și un receptor GNSS Hi-Target V30.

Zona de lucru a fost stabilită în incinta Facultății de Construcții (strada Observatorului nr. 72-74), un spațiu potrivit pentru amplasarea instrumentelor și vizibilitate între puncte.

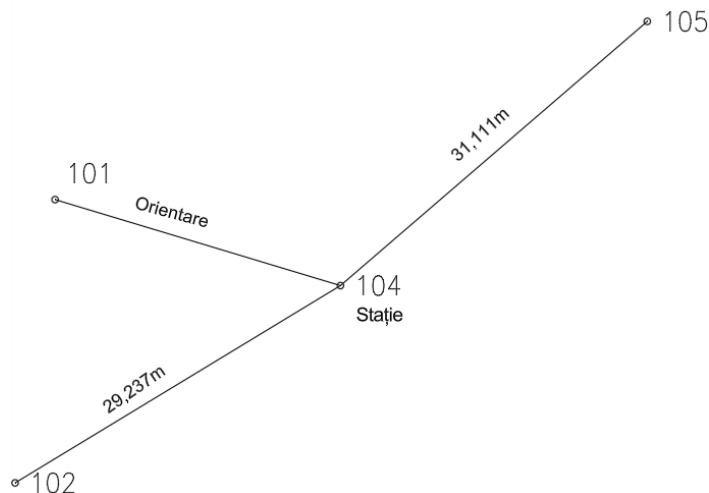


Figura 4. Reprezentarea schematică a punctelor de observație din teren

Am ales două puncte de vizare pentru a analiza diferențele în măsurarea distanțelor în două cazuri diferite. Punctul 104 a fost utilizat ca punct de stație, ca punct de orientare am folosit 101, iar măsurătorile efective ale distanțelor au fost realizate către punctele 102 și 105. Primele măsurători au fost cele directe, cu ajutorul ruletei, iar mai apoi am trecut la măsurătorile indirecte, cu ajutorul aparaturii de specialitate.

Tabel 1: Coordonatele absolute ale punctelor

ID	X	Y
104	584960,253	392214,206
101	584966,864	392192,287
102	584945,083	392189,213
105	584980,565	392237,772

Pentru calculul distanțelor pe baza coordonatelor a fost utilizată ecuația (1):

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta X_{A-B}^2 + \Delta Y_{A-B}^2} \quad (1)$$

unde: $\Delta X_{A-B} = X_B - X_A$; $\Delta Y_{A-B} = Y_B - Y_A$ – coordonatele relative pentru X și Y

Distanțele reprezintă elementele topografice de bază care se înregistrează pe teren prin metode directe sau indirecte, cu scopul obținerii poziției planimetrice și altimetrice a punctelor topografice.

I. Determinarea distanțelor pe cale directă

Măsurarea distanțelor pe cale directă s-a obținut prin parcurgerea efectivă a acestora, prin aplicarea instrumentului de măsurat. În cazul nostru s-a utilizat ruleta.

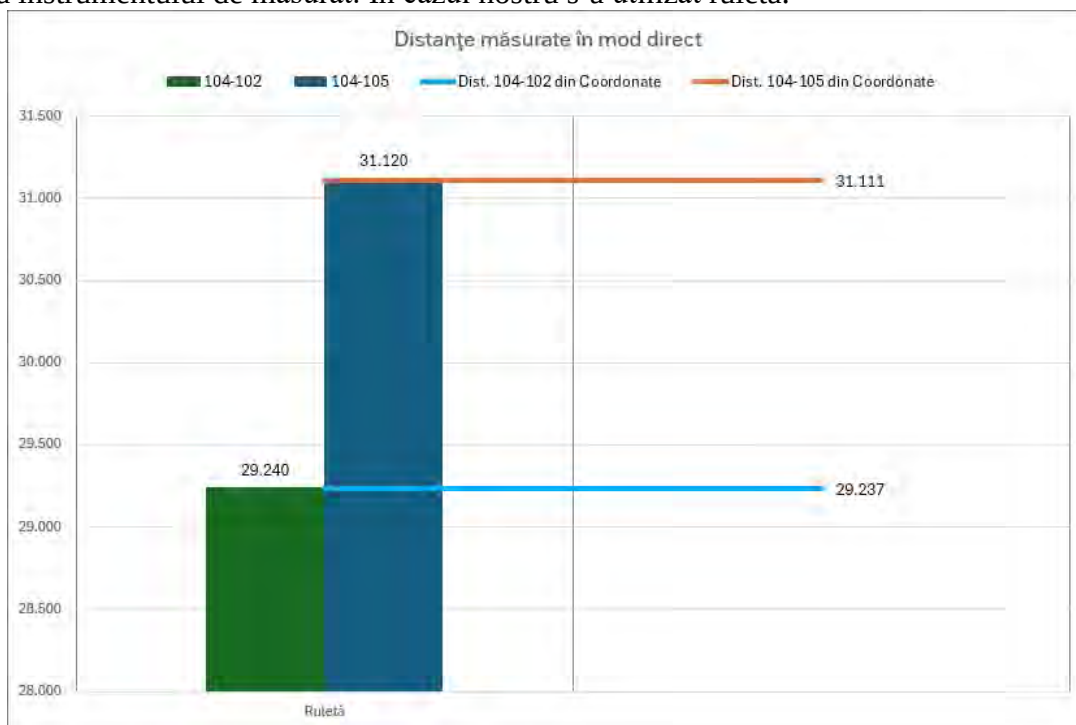


Figura 5. Reprezentarea grafică a distanțelor înregistrate cu ruleta, pe cale directă.

II. Determinarea distanțelor pe cale indirectă

Măsurarea distanțelor pe cale indirectă s-a obținut utilizând aparatura modernă, nefiind necesară parcurgerea efectivă a aliniamentului.

a. Stația Totală Leica TCR407

Pentru măsurătorile cu stația totală standard am utilizat atât modurile cu prismă, cât și cele fără prismă (reflectorless), testând următoarele setări EDM:

- IR-Fine (mini) 17,5 mm
 - Măsurători de mare precizie - 2mm±2ppm
 - Mai lent
- IR-Fast (mini) 17,5 mm
 - Măsurători rapide
 - Precizie mai mică decât IR-Fine - 5mm±2ppm
- IR-Track (mini) 17,5 mm
 - Precizie de 5mm±2ppm
 - Permite măsurători rapide și continue
- IR-Fine (round) 1,5 m

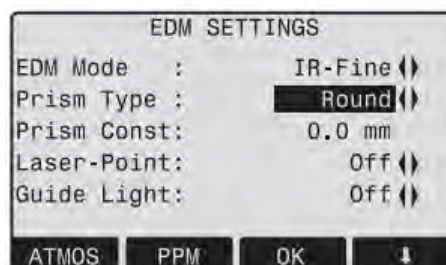


Figura 6. Interfața meniului de măsurare electronică a distanței (EDM) – Stația Totală Leica TCR407



- Similar cu IR-Fine (mini), dar optimizează semnalul pentru prisma rotundă standard
- Stabil la distanțe mari sau condiții dificile
- RL-Standard (none) 34,4 mm
- RL-Track (none) 34,4 mm
- RL-Prism (round) 1,5 m

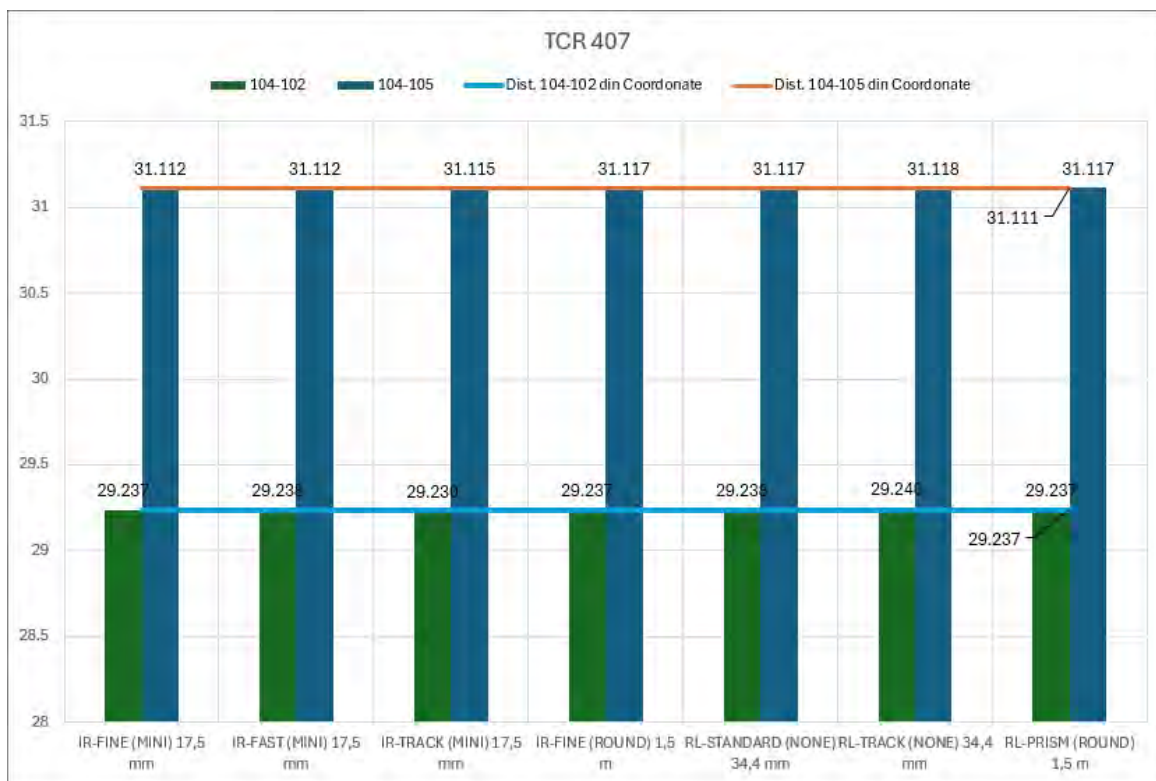


Figura 7. Reprezentarea grafică a distanțelor înregistrate cu Stația Totală Leica TCR407

b. Stația Totală robotizată Leica TS 16

Măsurătorile efectuate cu stația robotizată au fost realizate de la distanță, cu ajutorul controlerului care a fost configurat pentru a urmări o prismă 360° montată la o înălțime de 1,50 m și deplasată spre punctele 102, respectiv 105. Pentru aceste măsurători s-au utilizat două tipuri de prisme, una originală Leica și cealaltă de tip TOPCON. De asemenea, au fost efectuate măsurători folosind și mini-prisma.

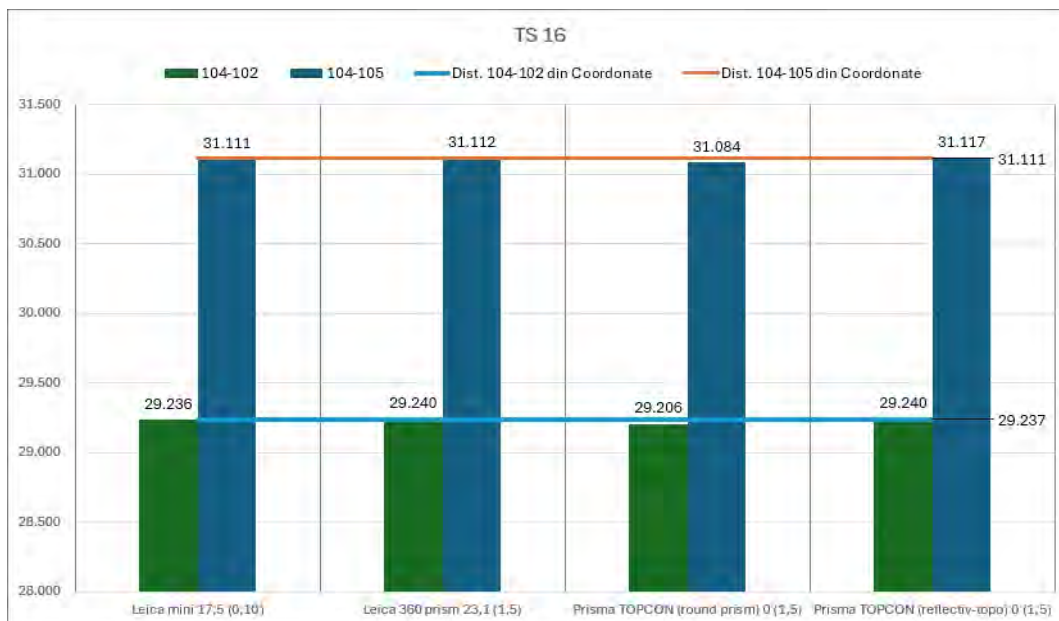


Figura 8. Reprezentarea grafică a distanțelor înregistrate cu Stația Totală robotizată Leica TS16.

c. Receptor GNSS Hi-Target V30

Măsurătorile realizate cu ajutorul receptorului Hi-Target V30 au fost efectuate în zile diferite, la intervale orare diferite și pe diferite condiții atmosferice, obținându-se următoarele valori:



Figura 9.

Reprezentarea grafică a distanțelor înregistrate cu Receptorul GNSS Hi-Target V30.

4. Rezultate și concluzii

Determinarea distanțelor în cadrul lucrărilor topografice presupune aplicarea unor metode diverse, fiecare caracterizată printr-un anumit grad de precizie și adaptabilitate la condițiile de lucru. Metodele folosite pentru determinarea distanței sunt diferite și fiecare are un grad de precizie diferit, de aceea cea mai exactă cale de determinare a distanței este dată prin calculul coordonatelor, dar nu întotdeauna avem acces la acestea și trebuie să ne adaptăm la instrumentele de care dispunem.

Metoda de determinare a distanței pe cale directă realizată cu ruleta este una rapidă, dar nu are un grad de precizie ridicată fiind influențată de către factorul uman.



Măsurătorile realizate în mod indirect cu ajutorul stației totale TCR407 arată diferențe între tipurile de prismă utilizate, unde diferența de înălțime a prismelor este una considerabilă. Măsurătorile de distanțe realizate cu mini-prisma fiind mai apropiate de cele rezultate din calculul coordonatelor deoarece înălțimea acesteia este mai apropiată de punctul materializat, iar gradul de înclinare al mini-prisme din timpul măsurătorii este unul mai mic decât în cazul utilizării prisme ce are o înălțime de 1,50 m.

Același lucru se poate observa și în cazul stației totale robotizate Leica TS16, rezultatele cele mai favorabile fiind înregistrate cu ajutorul mini-prisme setate la 10 cm deasupra punctului materializat în teren. S-au mai realizat măsurători de distanță și cu două modele diferite de prisme, o prismă ce aparține stației Leica TS16, ce a avut rezultate satisfăcătoare în determinarea distanțelor, dar și o prismă TOPCON în care s-au folosit două moduri diferite pentru determinarea distanțelor, Round Prism, ce a avut niște rezultate deloc satisfăcătoare obținându-se diferențe de ordinul centimetrilor comparativ cu distanța obținută din coordonate. Însă cu modul Reflectiv-Topo rezultatele obținute sunt mai precise și mai apropiate de celelalte rezultate obținute cu ajutorul celorlalte instrumente și de cele obținute prin calculul coordonatelor. Așadar se pot efectua măsurători și cu alte modele de prisme, dar trebuie avut în vedere modul în care se lucrează cu acestea și verificarea lor ca să ne asigurăm ca rezultatele obținute sunt cele corecte.

Măsurătorile realizate cu Receptorul Hi-Target V30 prezintă fluctuații între rezultatele obținute de-a lungul celor 3 zile în care s-au înregistrat măsurătorile. Acestea fiind înregistrate pe o vreme înnorată, o vreme de burniță și o vreme ploioasă, astfel am putut observa în timp real ce efecte au condițiile atmosferice asupra măsurătorilor și asupra diferențelor dintre distanțe. Intervalul orar în care s-au efectuat măsurătorile a variat și el, măsurătorile fiind realizate după-amiază, între orele 16:00-19:00. Un avantaj ce îl constituie modul de măsurare cu un astfel de instrument este acela că durata de execuție este una rapidă, fiind suficiente câteva minute pentru măsurarea punctelor indiferent de intemperii, dar și modul său de proiectare ce permite o rezistență crescută la schimbările atmosferice.

Calculul coordonatelor reprezintă metoda cu cea mai mare acuratețe, accesul limitat la datele necesare impune utilizarea aparaturii disponibile. Măsurătorile directe, precum cele efectuate cu ruleta, se remarcă prin rapiditate, însă sunt vulnerabile la erori. În schimb, metodele indirecte, realizate cu stații totale sau receptoare GNSS, oferă un nivel superior de precizie, influențat în mod semnificativ de tipul de prismă utilizat, modul de operare și condițiile atmosferice. Astfel, alegerea echipamentelor și a metodelor de lucru trebuie să fie fundamentată pe o analiză riguroasă a cerințelor proiectului și a contextului tehnic și climatic specific, în vederea obținerii unor rezultate cât mai apropiate de realitate.

BIBLIOGRAFIE

1. Curs topografie Conf. Dr. Ing. Sanda Naș
2. Leica TS16: Robotic Total Station.
<https://leica-geosystems.com/products/totalstations/robotic-total-stations/leica-ts16>
3. Stația Totală Leica TCR407.
<https://pdfcoffee.com/staia-totala-leica-tcr-407-pdf-free.html>
4. Hi-Target V30.
<https://en.hi-target.com.cn/wp-content/uploads/2020/11/V30-brochure-EN-20220608-s.pdf>
5. User Manual Leica TPS400 Series, Version 5.0 English.



EVALUAREA DIFERENȚELOR ÎNTRE MODELELE 3D OBTINUTE PRIN TEHNOLOGIILE LIDAR ȘI FOTOGRAMMETRIE AERIANĂ

Autor/autori

Ema V. BODESCU¹, Gabriela-Simona S. CANDALE², Maria-Raluca D. IUGA³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:emabodescu@yahoo.com](mailto:emabodescu@yahoo.com).

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:gabrielasimonacandale@gmail.com](mailto:gabrielasimonacandale@gmail.com).

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:iugamariaraluca@yahoo.com](mailto:iugamariaraluca@yahoo.com).

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing Mircea V. BONDREA⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Mircea.Bondrea@mtc.utcluj.ro](mailto:Mircea.Bondrea@mtc.utcluj.ro).

REZUMAT: Fotogrammetria este o metodă de reconstrucție 3D care folosește imagini suprapuse pentru a extrage informații despre forma și dimensiunea obiectelor. Lidar este o tehnologie de scanare care folosește fascicule laser pentru a măsura distanțele până la obiective. Rezultatul este un nor dens de puncte 3D, oferind o reprezentare precisă a poziției obiectelor. Pentru realizarea lucrării vom efectua 2 zboruri cu drona: unul folosind o cameră fotogrammetrică, iar celălalt utilizând o cameră LIDAR. Compararea se va face atât din punct de vedere al modului de utilizare ale celor 2 camere, cât și din punct de vedere al prelucrării datelor și al rezultatului finit obținut.

Cuvinte cheie: fotogrammetrie, U.A.V., LIDAR, reconstrucție 3D

5. Introducere

În prezent, în topografie, utilizarea dronelor cu camere fotogrammetrice sau senzori LiDAR are un avantaj imens și reprezintă o metodă rapidă și eficientă de captare a datelor. Deși ambele tehnologii vizează producerea de modele precise ale terenului și caracteristicilor, metodele și aplicațiile lor sunt diferite și fiecare are propriile avantaje și dezavantaje.

Pe de o parte, fotogrammetria se bazează pe captarea de imagini suprapuse prin camere optice. Are capacitatea de a oferi informații detaliate, inclusiv texturi, culori și contururi subtile.

LiDAR este o tehnologie importantă care măsoară distanțele utilizând pulsații laser, producând nori de puncte 3D foarte preciși. Această tehnologie este independentă de condițiile de lumină sau de complexitatea vegetației.

Astfel, care ar fi varianta optimă atunci când folosim drona: LIDAR sau fotogrammetrie?

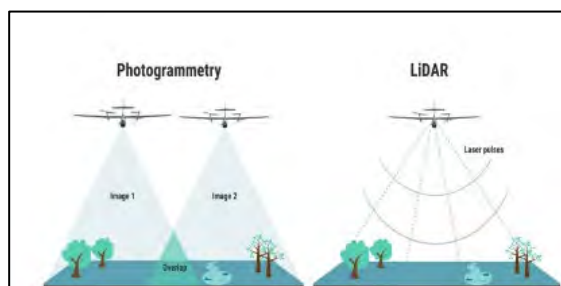


Figura 1. LIDAR sau fotogrammetrie

6. Prezentarea zonei de interes

Zona unde s-au desfășurat măsurătorile se situează pe strada Observatorului, nr. 72-74, Cluj, în perimetrul Facultății de Construcții.



Figura 2. Zona de interes

7. Descrierea aparaturii

Drona DJI MATRICE 300 RTK



Figura 3. DJI Matrice 300



Figura 4. DJI Matrice 300



Figura 5. Camera DJI Zenmuse P1



Figura 6. Camera DJI Zenmuse L1

DJI Matrice 300 RTK este o dronă profesională de înaltă performanță, care are următoarele caracteristici tehnice principale:

Autonomie de zbor: până la 55 de minute, în funcție de configurația payload-ului.

Viteză maximă: până la 82 km/h (23 m/s) în modul S.

Rezistență la vânt: până la 15 m/s.

Capacitate de încărcare utilă: până la 2,7 kg, permițând montarea simultană a până la trei payload-uri (de exemplu, o cameră fotogrammetrică și un senzor LiDAR).

Temperatura de operare: între -20°C și +50°C.

Grad de protecție: IP45, asigurând rezistență la praf și apă.

DJI Matrice 300 RTK este echipat cu baterii inteligente TB60, care oferă o capacitate de 5935 mAh și un timp de încărcare rapid de aproximativ 60 de minute folosind stația de încărcare BS60.

Eficiență ridicată: 200 hectare scanate dintr-un singur zbor

Precizie centimetrică: 5 cm verticală/10 cm orizontală

Rata efectivă a punctelor: 240.000p/s

Rezistența la apă: IP 45

Dimensiuni foto: 8192 × 5460 px (raport 3:2)

Interval minim între fotografii: 0,7 secunde;

Eficiență: poate acoperi până la 3 km² într-un singur zbor

Stabilizare: pe 3 axe (înclinare, rulare, panoramare)



8. Studiul de caz

4.1 Etapa de măsurători desfășurată în teren

Partea practică a acestei lucrări constă în realizarea a două zboruri cu drona, utilizând cele două tipuri de camere diferite. Primul zbor s-a efectuat cu ajutorul camerei fotogrammetrice, iar etapele pregătirii acestui zbor au fost următoarele: primul pas a constat în montarea camerei fotogrammetrice pe dronă, asigurându-ne că este fixată corespunzător; apoi, am generat o rută nouă cu ajutorul funcției de mapping; am efectuat planul de zbor, după care am stabilit anumiți parametri, cum ar fi altitudinea și procentul de suprapunere a pozelor care urmau să fie făcute. După aceea, am făcut o ultimă verificare înainte de începerea zborului, care conținea toate datele importante ale acestuia. Pe urmă, am apăsât pe butonul de start, iar drona a început să se ridice de la sol, urmând a efectua planul stabilit.

Aceleași setări și configurări, incluzând planul de zbor care a fost identic, înălțimea de zbor și ceilalți parametri, se aplică și în cazul utilizării dronei echipate cu senzor LIDAR.

În urma finalizării celor două zboruri, datele obținute au fost descărcate și am început prelucrarea acestora în cele două programe, AGISOFT și DJI TERRA, fiecare dintre acestea fiind specializat pentru o anumită extensie a datelor.

4.2 Etapa de prelucrare a datelor culese în urma zborului efectuat cu camera fotogrammetrică

Pentru procesarea informațiilor colectate se va utiliza programul AGISOFT. Acestă aplicație reprezintă un soft de fotogrammetrie de ultima generație care are ca scop transformarea fotografiilor digitale în date spațiale tridimensionale.

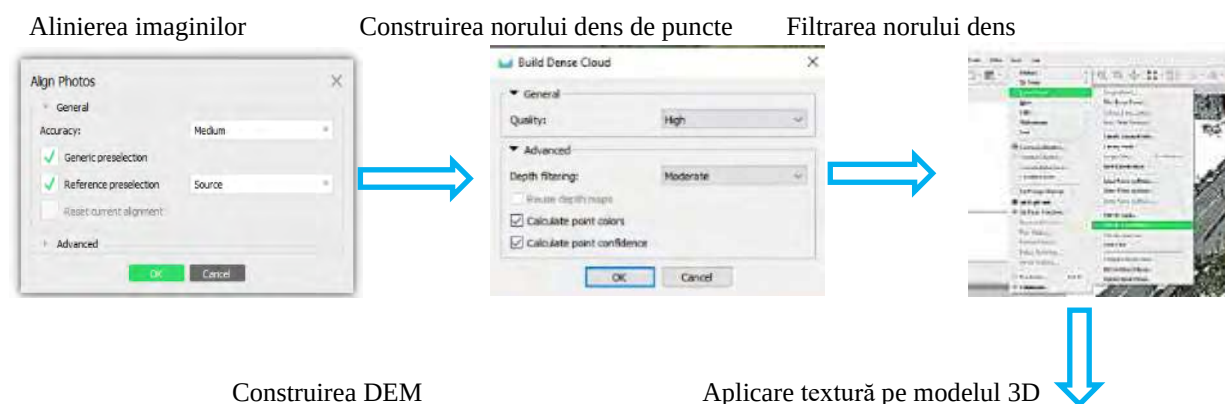
Prima etapă este reprezentată astfel de alinierea imaginilor, proces care constă în identificarea și corelarea punctelor comune dintre imaginile suprapuse, rezultatul finit al acestei etape fiind obținerea unui nor rar de puncte. Norul rar de puncte reprezintă un pas intermediar, dar nu oferă suficientă detaliere pentru un produs final de înaltă calitate. Pentru o reconstrucție mai precisă, am trecut la crearea norului dens de puncte, care oferă informații suplimentare pentru a completa detaliile.

Ulterior, am efectuat filtrarea norului obținut, pentru a elimina punctele nerelevante și incorecte, care ar putea fi reprezentate de punctele generate de reflexia geamurilor clădirilor, de mișcarea frunzelor copacilor sau de umbre.

După finalizarea procesului de filtrare, a fost generată și aplicată textura pe modelul 3D. Acest proces constă în acoperirea modelului 3D cu o textură, evidențiindu-se astfel detalii, cum ar fi culorile sau materialele existente în teren. Astfel, modelul ajunge o reprezentare cât mai fidelă a realității.

Ultima etapă a prelucrării o reprezintă construirea DEM-ului.

„Un **model digital de elevație** (în engleză *Digital elevation model - DEM*) este o reprezentare digitală 3D a suprafeței de teren - în mod obișnuit a unei planete (de ex. Pământ), Lună sau asteroid - creat din datele de altitudine ale unui teren. “[1]



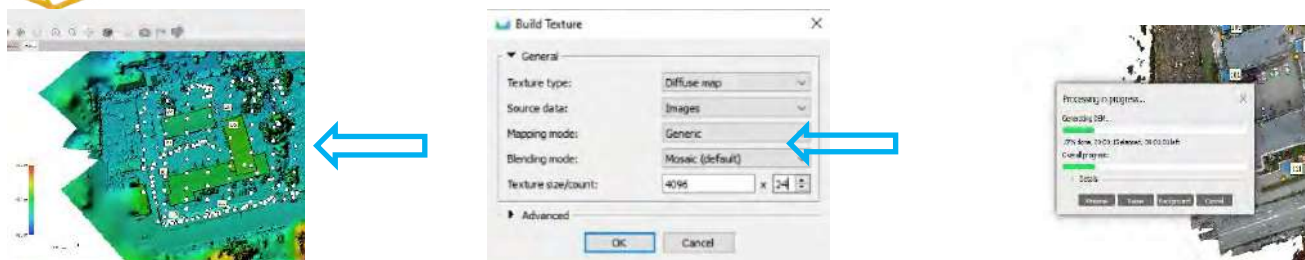


Figura 7. Etapele pentru prelucrarea în AGISOFT

4.3 Etapa de prelucrare a datelor culese în urma zborului efectuat cu camera LIDAR

În cazul procesării informațiilor obținute cu ajutorul tehnologiei UAV și al senzorului LIDAR, aplicația folosită pentru generarea produsului finit este DJI TERRA.

Un prim pas în prelucrarea datelor îl reprezintă selectarea unui nou proiect, urmată de alegerea tipului acestuia, adică folosirea unui nor de puncte LIDAR. Se denumește proiectul, iar mai apoi se importă fișierul necesar reconstrucției. Se realizează configurarea inițială a parametrilor necesari procesului de reconstrucție, etapă în care se stabilesc toate setările fundamentale pentru prelucrarea automată a datelor, cum ar fi: unificarea datelor din toate fișierele încărcate, rezultând un singur nor de puncte, densitatea punctelor care compun acest nor (10cm), alegerea formatului sub forma căruia se va construi modelul, acesta fiind în cazul nostru formatul LAS, și stabilirea intervalului în care va fi cuprinsă distanța dintre punctele norului. Ulterior, programul procesează în mod autonom toate etapele reconstrucției, derulându-le pe rând fără a necesita intervenție manuală, așa cum s-a întâmplat în cadrul programului AGISOFT. Astfel, se poate remarca și timpul de lucru mult mai restrâns în ceea ce privește prelucrarea datelor în cazul camerei LiDAR, față de cea fotogrammetrică.

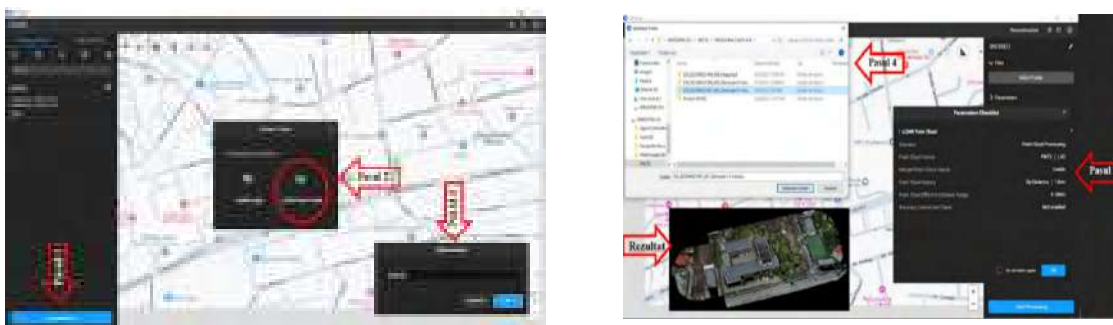


Figura 8. Prelucrarea în DJI Terra

În urma ambelor procese de prelucrare a datelor, s-a obținut **modelul 3D** al zonei de interes, care reprezintă în detaliu caracteristicile și forma suprafeței analizate.

4.4 Realizarea planurilor topografice rezultate în urma celor 2 zboruri

Scopul principal al acestei lucrări îl reprezintă compararea planurilor topografice generate pe baza datelor obținute prin utilizarea camerei fotogrammetrică și camerei LiDAR.

„Planul topografic este reprezentarea grafică convențională a unei suprafețe de teren mai restrânsă, care se întocmește la scări mai mari sau egale cu 1:10000, unde proiectarea punctelor de pe suprafața terestră se face ortogonal, iar efectul de curbura al Pământului se neglijează. Pe planurile topografice întocmite la scările: 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000 și 1:10000 se reprezintă în mod fidel forma geometrică și dimensiunile elementelor de planimetrie, precum și relieful terenului.”[2]

În realizarea planurilor topografice, prima etapă a fost reprezentată de digitizarea fiecărui model 3D, obținut atât din AGISOFT, cât și din DJI TERRA, în programul **Pix4DSurvey**.

4.5 Prelucrarea în Pix4DSurvey

Procesul de digitizare constă în identificarea și trasarea manuală a elementelor de interes pe modelurile 3D. Elementele digitizate sunt reprezentate de: clădiri, elementele de infrastructură, vegetație, cămine de vizitare, șanțuri, taluzuri etc.

Clădirile, elementele de infrastructură, șanțurile se digitizează cu ajutorul liniilor, cărora atribuim diferite layere în funcție de ce vectorizăm, iar canalele de vizitare, spațiile verzi și stâlpii de electricitate se marchează cu markeri.



Figura 10. Model 3D LIDAR



Figura 9. Model 3D Fotogrammetrie

4.6 Compararea celor 2 planuri rezultate

Elementele digitizate au fost exportate în AutoCad, unde au fost utilizate pentru realizarea planurilor topografice.

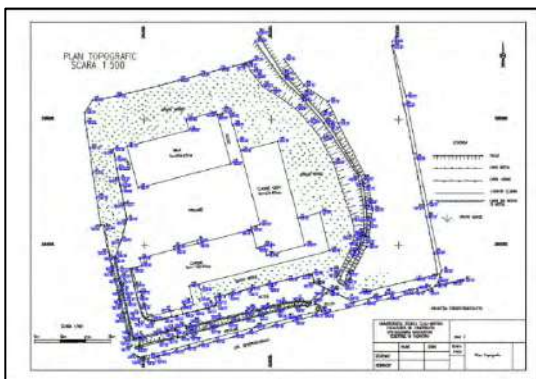


Figura 11. Planul topografic din fotogrammetrie

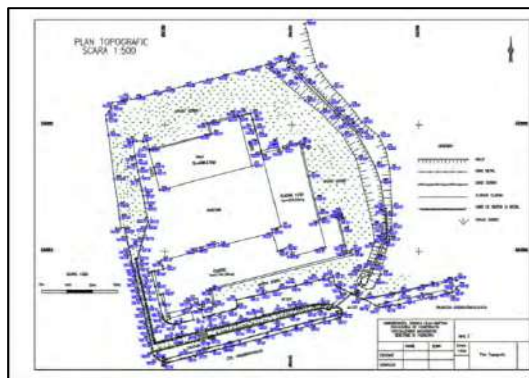


Figura 12. Planul topografic 3D LIDAR

Pentru realizarea acestui studiu comparativ între cele 2 planuri topografice, am efectuat suprapunerea acestora, pentru a observa dacă există diferențe între ele și care ar fi acestea.

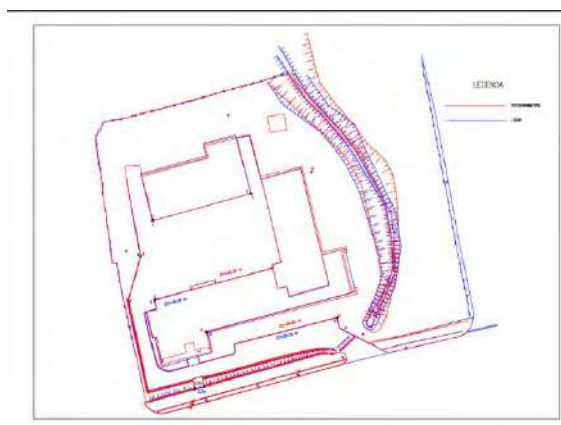


Figura 13. Suprapunerea celor două planuri



După cum se poate observa în imagine, între cele două planuri există diferențe evidente, atât în poziționarea detaliilor, cât și în reprezentarea acestora.

Pentru a identifica care sunt diferențele de poziționare între ele, am ales un număr de 6 puncte comune pe ambele planuri, a căror coordonate le-am identificat și le-am introdus în tabelul de mai jos.

Tabelul 1. Diferențele de poziționare

Nr. punct	Fotogrammetrie			Lidar			Diferența între fotogrammetrie și lidar			MEDIA DIFERENTELOR		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	584972.967	392197.673	424.750	584972.868	392197.493	425.37	0.099	0.18	-0.62	0.084	0.028	0.010
2	584982.495	392233.991	424.750	584982.504	392233.946	425.07	-0.009	0.045	-0.32			
3	584945.151	392198.248	426.270	584944.914	392198.095	425.58	0.237	0.153	0.69			
4	584960.355	392193.437	425.36	584960.355	392193.437	425.36	0	0	0			
5	584933.949	392217.334	426.270	584933.794	392217.638	426.13	0.155	-0.304	0.14			
6	584938.844	392265.995	426.560	584938.823	392265.903	426.39	0.021	0.092	0.17			

După cum se poate observa, diferențele între cele două tehnologii există, încadrându-se la nivelul centimetrilor.

Pentru a observa care dintre metode a avut o precizie mai mare, le-am comparat cu un plan topografic realizat cu ajutorul stației totale.

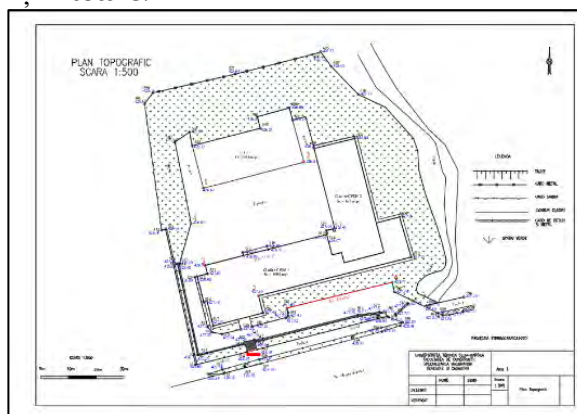


Figura 14. Plan topografic realizat prin metoda clasică

Acest lucru s-a realizat prin identificarea coordonatelor acelorași puncte de mai sus și calcularea diferențelor care există între poziția punctelor de pe fiecare plan realizat cu ajutorul tehnologiei UAV și planul topografic realizat cu ajutorul stației.

Tabelul 2. Diferențele de între coordonate

Nr. punct	foto			lidar			stație			Diferența între foto și stație			Diferența între lidar și stație		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	584972.967	392197.673	424.750	584972.868	392197.493	425.37	584973.076	392197.501	426.60	-0.109	0.172	-1.850	-0.208	-0.008	-1.23
2	584982.495	392233.991	424.750	584982.504	392233.946	425.07	584982.520	392233.996	426.41	-0.025	-0.005	-1.660	-0.016	-0.050	-1.34
3	584945.151	392198.248	426.270	584944.914	392198.095	425.58	584944.998	392198.245	426.92	0.153	0.003	-0.650	-0.084	-0.150	-1.34
4	584960.355	392193.437	425.36	584960.355	392193.437	425.36	584960.261	392193.058	426.60	0.094	0.379	-1.240	0.094	0.379	-1.24
5	584933.949	392217.334	426.270	584933.794	392217.638	426.13	584933.898	392217.539	427.61	0.051	-0.205	-1.340	-0.104	0.099	-1.48
6	584938.844	392265.995	426.560	584938.823	392265.903	426.39	584938.821	392265.986	427.77	0.023	0.009	-1.210	0.002	-0.083	-1.38
										0.031	0.059	-1.325	-0.053	0.031	-1.335
															Media

Analizând tabelul, se constată faptul că diferențele dintre planurile rezultate cu ajutorul tehnologiei UAV și cel rezultat cu stația, sunt mult mai mari. Astfel, observăm aceste diferențe care încep să crească de la 30 cm, ajungând să depășească chiar și 1m.

5 Concluzii

Analiza datelor prezentate în tabelele de mai sus evidențiază faptul că diferențele dintre planurile topografice realizate cu tehnologia UAV echipată cu cameră fotogrammetrică și cea dotată cu tehnologie LIDAR sunt relativ mici. Acest lucru sugerează că, pentru proiecte care nu necesită un nivel ridicat de precizie, ambele metode pot fi utilizate cu succes, oferind rezultate comparabile.

Pe de altă parte, o comparație între precizia planurilor topografice generate prin aceste tehnologii UAV și planul realizat cu stația totală relevă discrepanțe mai semnificative. Aceste diferențe indică faptul că cele 2 aparate furnizează precizii distincte, fiecare având avantaje și limitări specifice. De exemplu, utilizarea stației totale presupune un timp de lucru extins pe teren, însă aceasta compensează



printr-un proces de prelucrare mult mai rapid în birou, comparativ cu metodele bazate pe tehnologia UAV.

În ceea ce privește performanța camerelor montate pe drona DJI MATRICE 300, analiza raportată la planul realizat cu stația totală evidențiază faptul că performanța fiecărei camere alternează.

Deoarece am folosit pentru realizarea planurilor topografice digitizarea fiecărui element observabil, fiecare cameră a avut anumite porțiuni din suprafață unde a excelat. De exemplu, atunci când am digitizat clădirile, camera fotogrammetrică a avut un avantaj, deoarece detaliile erau mult mai clare și evidente de digitizat, pe când LIDAR-ul a fost mult mai eficient în zonele cu vegetație mai densă, cum a fost în cazul perimetrului pârâului, datorită capacității acestuia de a pătrunde prin vegetație.

Punctele prezentate în tabelul de mai sus sunt puncte care definesc, în principal, clădirile din plan, astfel explicându-se de ce media diferențelor dintre stație și fotogrammetrie este mai mică decât cea dintre stație și LIDAR.

Tabelul 3. Diferențele de între coordonate

Caracteristică	LIDAR	Fotogrammetrie
Precizie	Ridicat	Moderat
Pătrunderea vegetației	Da	Nu
Dependența de lumină	Nu	Da
Cost	Ridicat	Scăzut
Informații despre culoare	Limitat	Ridicat
Ușurință în utilizare	Moderat	Ușor
Versatilitate	Moderat	Ridicat
Timp de procesare	Rapid	Lent

BIBLIOGRAFIE

- [1]- [https://ro.wikipedia.org/wiki/Model_digital_de_eleva%C8%9Bie_\(DEM\)#:~:text=Un%20model%20digital%20de%20eleva%C8%9Bie,de%20altitudine%20ale%20unui%20teren](https://ro.wikipedia.org/wiki/Model_digital_de_eleva%C8%9Bie_(DEM)#:~:text=Un%20model%20digital%20de%20eleva%C8%9Bie,de%20altitudine%20ale%20unui%20teren)
[2]-<https://www.ct.upt.ro/studenti/cursuri/jianu/desen%20topografic%20si%20cartografic.pdf>



MONITORIZAREA STRUCTURALĂ ÎN TIMP PRIN DIFERITE METODE DE MĂSURARE CLASICE ȘI MODERNE A CENTURII ÎN VÂLCELE-APAHIDA

Autor/autori

Cordoș A. Cristina¹, Ungur Denisa²

¹Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mil: Andreeacordos.13@gmail.com

²Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mil: ungurdenisa21@yahoo.com

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Rădulescu Adrian

Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: adrian.radulescu@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Monitorizarea tasărilor și alunecărilor a zidurilor de sprijin din beton armat situate în proximitatea viaductului Vâlcele-Apahida. Se propune măsurarea alunecărilor de teren ale structurii în sine, precum și a terenului din zona limitrofă spre partea carosabilă. Vom utiliza mai multe metode de măsurare, crearea unei rețele planimetrice cu borne și mărci mobile (aprox. 8) amplasate pe zidul de sprijin, nivelment geometric de mijloc de mare precizie utilizând nivela digitală LS10, precum și un zbor cu drona pentru încadrarea zonei. Se va propune un ciclu de măsurători care se va compara cu datele obținute la o măsurătoare anterioară.

Cuvinte cheie: alunecare de teren, monitorizare structurală, măsurători de precizie, UAV.

1. Introducere

Necesitatea omului de a crea căi de comunicații cât mai eficiente, prin munți, dealuri, peste văi sau chiar pe teren plan sau înclinat instabil, a condus la crearea de lucrări de artă, numite și ziduri de sprijin. Nevoia creării acestor lucrări este influențată mai ales de capacitatea terenului de a fi stabil și de a rămâne pe loc chiar și după efectuarea lucrărilor de construcție a căii de comunicații. Zidurile de sprijin sunt adesea construite pentru a consolida terenul natural rămas, acestea fiind supuse mai multor forțe de deformare care pot duce de la mici fisuri până la prăbușirea zidului.

2. Studiu de caz

Prezenta lucrare își propune verificarea asigurării capacității portante a unui tronson a zidului de sprijin amplasat în zona limitrofă a centurii Apahida-Vâlcele. Măsurătorile au constat în efectuarea a două seturi de măsurători de precizie pentru a putea evidenția eventualele deplasări ce apar în timp și acționării forței masivului de pământului stabilizat, deoarece s-a observat o fisură pe zidul de sprijin.



Figura 1. Fisura observată pe zidul de sprijin. (sursă proprie)



3. Studiul amplasamentului

Amplasamentul prezentei lucrări se regăsește în județul Cluj, comuna Feleacu, la kilometrul 1 între hectometrii 6-7 spre Apahida, fiind reprezentat de un zid de sprijin.

Zidul de sprijin este un element de construcție de susținere cu caracter continuu folosit pentru protecția taluzurilor, malurilor împotriva eroziunii, alunecărilor de teren și prăbușirilor [1].



Figura 2. Amplasarea stațiilor în teren și a țintelor vizate (sursă proprie).

4. Descrierea aparaturii folosite

Stația totală Leica TS 06 Plus



Figura 3. Stația totală Leica TS 06 Plus (sursă proprie).

USB stick pentru un transfer de date cât mai eficient și rapid

Pinpoint EDM

Laser de ghidare electronică: pentru o măsurătoare de tip “stake-out” mai rapidă

Arctic version: permite utilizarea până la -35°C

Modul prismă

Precizie: + 1,5 mm + 2 ppm

Viteză: 1 secundă

Modul non-prismă

- Precizie: +2 mm + 2 ppm

- PinPoint EDM cu indicator laser coaxial, mic și fascicul de măsurare pentru țintire și măsurare precise

- Sunt necesare mai puține setări, deoarece țintele pe care nu este posibilă instalarea unui reflector pot fi măsurate folosind măsurarea fără reflector de până la 1000 metri.

Capacitate memorie internă: 100.000 puncte fixe, 60.000 măsurători



Compensator electronic cu ulei pe patru axe
Greutate: 5,1 kg [2]

GPS-ul Hi Target V90



Figura 4. GPS- ul Hi Target V90
(sursă proprie)

Canale: 220

Recepționează semnalele următorilor sateliți:

GPS simultan L1 C/A, L2 E, L2 C, L5

Glonass simultan L1 C/A, L1 P, L2 C/A (Glonaass doar M), L2 P

SBAS simultan L1 C/A, L5

Galileo: simultan L1 BOC, E5A, E5B, E5AltBOC1

BDS: B1, B2

QZSS: L1 C/A, L1 SAIF, L2C, L5

Precizii:

Static: 2,5 mm + 0,5 ppm în plan orizontal, 5 mm + 0,5 pmm pe verticală

RTK: 8 mm + 1 ppm în plan orizontal, 15 mm + 1 pmm pe verticală

Dimensiuni: 15,30 cm x 8,30 cm

Greutate: 950 g fără baterie

Acumulator: Li-ion, 5 Ah ce asigură funcționarea a 10 h în mod static și între 6-10 h în mod RTK.

Conectare automată la Rompos la pornire. Receiverul se conectează automat la Rompos, nu este nevoie de pornirea controller-ului și activarea receiver-ului. Modul vocal instalat în receiver, va anunța când se conectează la Rompos [3].

Controller Hi-Target iHunt30



Figura 5. Controller Hi-Target iHunt30
(sursă proprie)

Display LCD: 3,7" cu rezoluția de 480×640 pixeli și touchscreen rezistiv *Memorie RAM: 2 GB*

Stocare: 16 GB flash

Tastatură integrată: 27 de taste alfanumerice

Dimensiuni: 213 x 89 x 35 mm

Greutate: 440g fără baterie

Acumulator: Li-Ion 5200 mAh, asigură o operare continuă de până la 15 ore [3].



Nivela Digitală Leica LS10



Figura 6. Nivela Digitală Leica LS10 (sursă proprie)

Măsurarea înălțimii:

Cu miră de invar: 0,3 mm (deviație standard, 1 km dublu parcurs)

Cu miră standard: 1,0 mm (deviație standard, 1 km dublu parcurs)

Măsurarea distanțelor: de la 15 mm la 30 m, deviație standard, 500 ppm pentru distanțe de până la 50 m, 1000 ppm pentru distanțe mai mari de 50 m

Câmp de măsurare: distanța maximă 110 m cu miră standard de peste 3 m, 60 m cu miră invar

Timpul unei măsurători: 2,5 secunde

Display: 3,6 inch

Greutate: 3,7 kg

Baterie internă: Lithium-Ion, având o operare de 12 ore [4].

2.3 Metode de lucru folosite și efectuarea măsurătorilor

Pentru realizarea studiului am folosit 2 referi fixi, S1 și S2 din borne feno, amplasate în zone nedeformabile la distanță mai mare de 10 metri față de limitele zidului de sprijin. Urmărirea deplasărilor zidului s-a făcut, amplasând pe structura acestuia 6 ținte.

După analiza inițială a structurii, s-a constatat o fisură între reperii B1 și B2 pentru analizarea lor spațială. Restul reperilor, B3, B4, B5, B6 au fost distribuiți echidistant pe lungimea tronsonului studiat. Reperii B3 și B4 au cote diferite deoarece în acea zonă a existat o suprapunere a zidului de sprijin din cauza de funcționalitate, cota versantului fiind mai mare în acea zonă.

Determinarea coordonatelor bornelor feno, S1 și S2, a fost făcută prin metoda statică post-procesare. Verificarea planimetrică a punctelor s-a făcut utilizând stația totală, staționând pe borna S1 și verificând unghiurile și distanțele spre borna S2, iar pentru verificarea altimetrică s-a folosit nivela digitală Leica LS02, efectuând o drumuire de nivelmet geometric de mijloc constatându-se că nu există diferențe între cotele celor două borne. Coordonatele celor două borne sunt prezentate în tabelul următor:

Tabelul 1. Coordonatele bornelor

Denumire punct	X (m)	Y (m)	Z (m)
S1	578411.2438	395931.4032	654.2528
S2	578491.4600	395984.4931	657,6051

Am creat puncte noi de stație prin metoda retrointersecției, cât mai apropiate de mărcile mobile pentru a reduce eroarea de poziționare și citire a țințelor.

Măsurarea mărcilor mobile s-a făcut cu stația totală Leica TS06, efectuând citiri atât la cercul orizontal, cât și la cel vertical.

Ciclul 2 de măsurători a constat doar în măsurarea pentru a doua oară a mărcilor mobile, urmând ca rezultatele să fie prelucrate la birou.



2.4 Prelucrarea datelor și rezultate obținute

După prelucrarea datelor obținute din teren, s-au obținut următoarele seturi de coordonate pentru fiecare ciclu de măsurători:

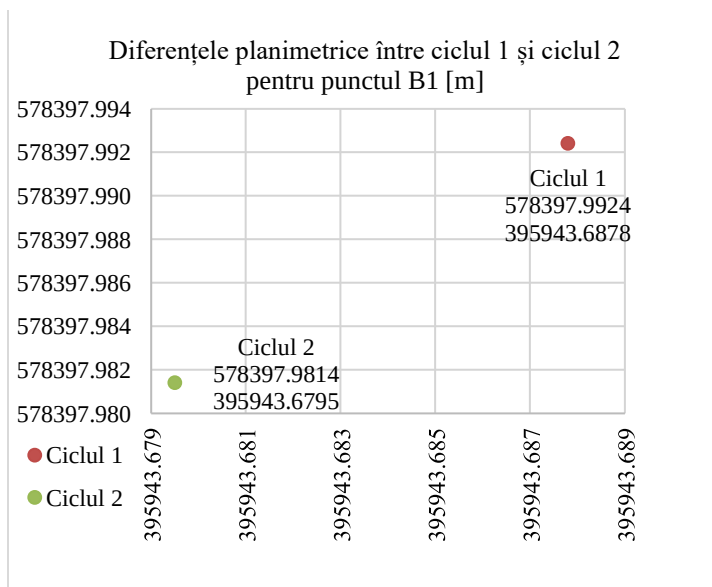
Tabelul 2. Coordonatele mărcilor mobile pentru ciclul 1

Denumire punct	X (m)	Y (m)	Z (m)
B1	578397.9924	395943.6878	656.6059
B2	578398.1452	395943.7868	656.6416
B3	578439.0266	395971.4398	661.3366
B4	578439.1550	395971.5074	662.6460
B5	578483.1024	396001.0363	665.3683
B6	578494.0623	396008.4675	666.6510

Tabelul 3. Coordonatele mărcilor mobile pentru ciclul 2

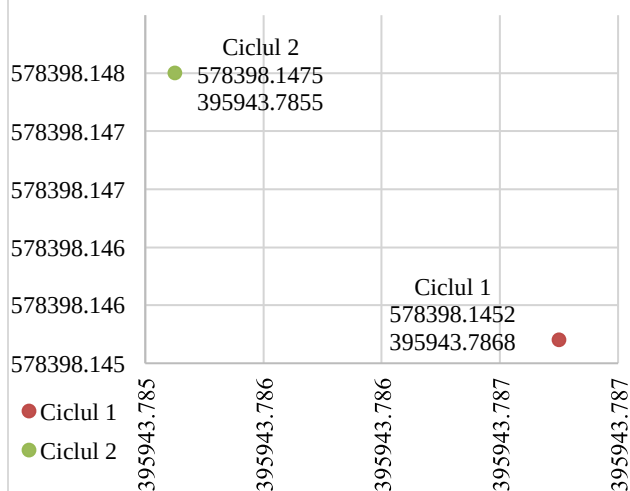
Denumire punct	X (m)	Y (m)	Z (m)
B1	578397.9814	395943.6795	656.6036
B2	578398.1475	395943.7855	656.6402
B3	578439.0252	395971.4384	661.3350
B4	578439.1538	395971.5052	662.6449
B5	578483.1047	396001.0386	665.3670
B6	578494.0601	396008.4697	666.6499

Diferențele dintre cele două cicluri de măsurători sunt evidențiate în următoarele grafice:

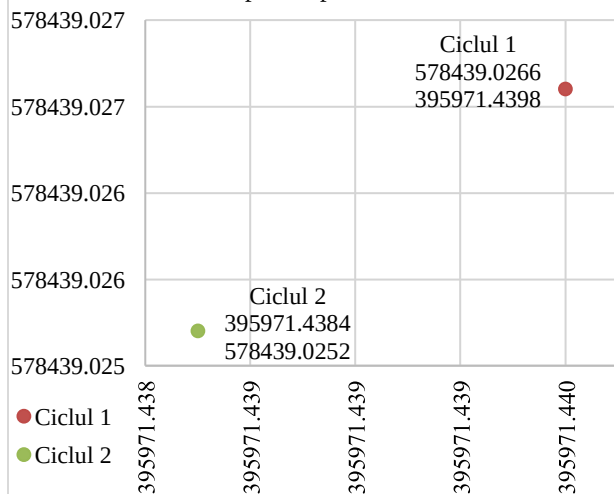




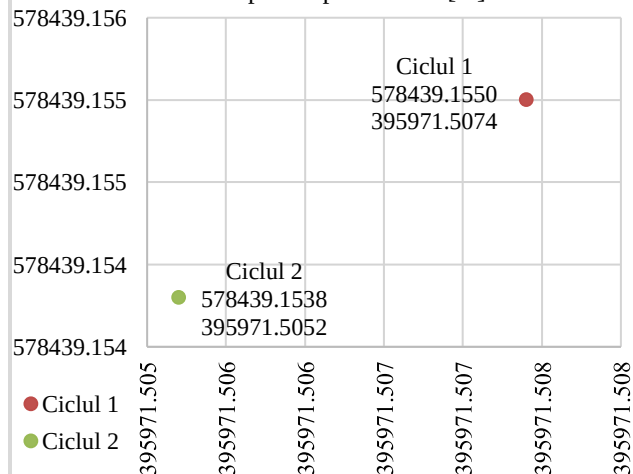
Diferențele planimetrice între ciclul 1 și ciclul 2
pentru punctul B2 [m]

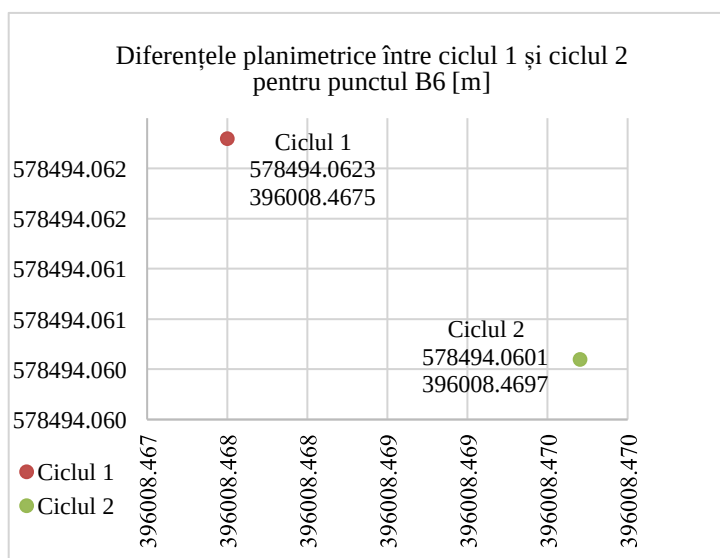
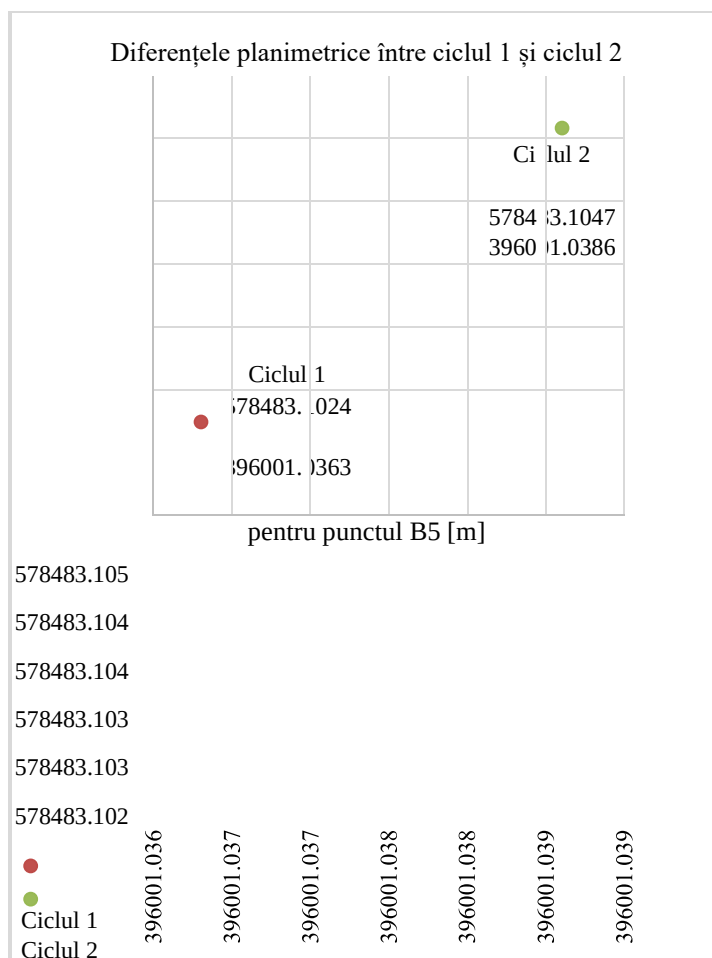


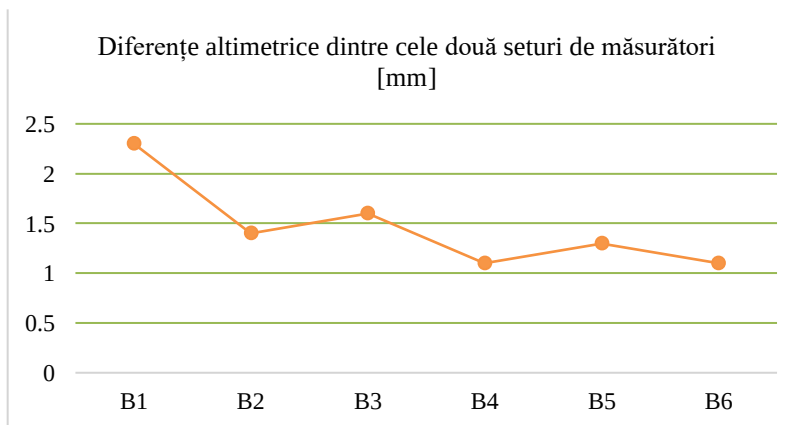
Diferențele planimetrice între ciclul 1 și ciclul 2
pentru punctul B3 [m]



Diferențele planimetrice între ciclul 1 și ciclul 2
pentru punctul B4 [m]







Tabelul 4. Diferențele dintre cele 2 cicluri de măsurători

Denumire punct	Diferențe pe axa X [mm]	Diferențe pe axa Y [mm]	Diferențe în plan orizontal [mm]
B1	11.0	8.3	13.8
B2	-2.3	1.3	2.6
B3	1.4	1.4	2.0
B4	1.2	2.2	2.5
B5	-2.3	-2.3	3.3
B6	2.2	-2.2	3.1

3. Concluzii

S-au constatat mici diferențe între mărcile mobile măsurate dintre cele două cicluri. Analizând și condițiile meteorologice din perioada dintre cele două cicluri de măsurători, prezența precipitațiilor au putut influența diferențele dintre cele două seturi de coordonate, îngreunând pământul, fapt ce duce la creșterea forței pe care acesta o exercită asupra zidului de sprijin.

În zona fisurii, între punctele B1 și B2, s-a constatat o deplasare mai mare față de celelalte mărci, și anume, între cele două cicluri sunt diferențe planimetrice de 1,4 cm și altimetrice de 2,3 mm, respectiv 1,4 mm. Efectuarea celor două cicluri de măsurători a fost benefică, deoarece cu ajutorul acestora am putut determina deplasări planimetrice și altimetrice de la o perioadă de timp la alta, putând fi prevenit în timp optim un dezastru.

BIBLIOGRAFIE

- https://ro.wikipedia.org/wiki/Zid_de_sprijin
- <https://www.topocadvest.ro/produs/statie-totala-leica-flexline-ts-06-plus-5-r500-usb-bluetooth/>
- <https://www.topocadvest.ro/produs/ecipament-gps-hi-target-v90plus-controller-ihand30/>
- <https://www.topocadvest.ro/produs/nivela-digitala-leica-ls10-03-mm/>



UTILIZAREA COMPARATIVĂ A TEHNICILOR CLASICE ȘI MODERNE PENTRU INTRODUCEREA UNUI PROIECT PILOT ÎN COMUNA TIHA BÂRGĂULUI

Autor/autori

Arsinica Maria CUREA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, miacurea@gmail.com.

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Mihai RĂDULESCU

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Mihai.Radulescu@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Studiul analizează utilizarea tehnicilor clasice (stația totală și GPS-ul) aceste metode au nevoie de un timp mai mare de preluare a datelor și metodele moderne (Tehnologia U.A.V.) au o serie de avantaje inclusiv costuri mai mici, timp redus de colectare a datelor pentru implementarea unui proiect. Metodele tradiționale, bazate pe consultări publice și planificare manuală, sunt comparate cu tehnologiile moderne, precum digitalizarea și analiza datelor. Scopul este identificarea celei mai eficiente abordări pentru optimizarea resurselor și implicarea comunității. Rezultatele evidențiază avantajele utilizării soluțiilor tehnologice pentru o implementare mai rapidă și sustenabilă. Pentru prelucrarea datelor s-au folosit următoarele soft-uri: AutoCAD, AgiSoft Metashape. Măsurătorile s-au realizat în județul Bistrița Năsăud, în localitatea Tiha Bârgăului.

Cuvinte cheie: Dronă, ortofotoplan, GNSS, plan de topografic, U.A.V, stația totală.

Introducere:

Prezenta lucrare cuprinde date referitoare la lucrarea de Cadastru Sistematic efectuate cu ajutorul tehnologiei GNSS și cu ajutorul stației totale, iar ortofotoplanul a fost întocmit cu ajutorul tehnologiei UAV. Pentru realizarea lucrării propriu-zise s-au analizat metodele prin care se poate realiza studiul zonei.

În final optând pentru utilizarea tehnologiei UAV îmbinată cu tehnologia GNSS pentru a marca în teren punctele de control la sol necesare georeferențierii ulterioare zborului cu drona. Cu ajutorul acestor metode am obținut precizia cerută

Descrierea aparaturii:

Sistemul RTK Hi-Target V30

Sistemul V30 GNSS RTK este proiectat cu un mecanism motorizat, permițând utilizatorilor să comute între diverse module de transmisie diferențială, în funcție de cerințele specifice.

Receptorul GNSS Hi- Target V30 este capabil să primească semnale de la sateliții constelațiilor GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo, SBAS și QZSS. Din cadrul constelației GPS, poate recepționa semnale pe frecvențele L1 și L2.

Prin metoda RTK, se obține precizii de 8 mm +0.5 pmm pe orizontală și 15 mm + 0.5 pmm pe verticală, cu un timp de inițializare mai mic de 10 secunde și o acuratețe a inițializării de peste 99.99%.



Figura 1. GPS-ul Hi-Target V30 și controller iHand 30 - sursă proprie

Stația totală Leica TC 805

Instrumentele tahimetrice electro-optice sunt instrumente capabile să determine elementele topografice: unghiuri, distanțe, diferențe de nivel, suprafețe, să efectueze calcule pe baza elementelor topografice măsurate, prin intermediul unor softuri dedicate și implementate și să stocheze în memoria internă datele din teren.

Instrumentele tahimetrice electro-optice intră în categoria instrumentelor topografice moderne, având ca principiu de funcționare principiul tahimetrului clasic. De la apariția lor, până în prezent, aceste aparate s-au dezvoltat, s-au perfecționat și s-au răspândit ajungând ca în acest moment să fie folosite aproape în exclusivitate în activitățile topografului modern. S-a ajuns la acest nivel de utilizare datorită avantajelor practice legate de precizie, confortul, manevrabilitatea și randamentul lor ridicat.

În domeniul de specialitate, instrumentele tahimetrice electro-optice sunt cunoscute în principal sub denumirea de stație totală. Denumirea a fost preluată din limba engleză – total station.

Structura generală a stației totale este:

Aparatul tahimetric electro-optic are un număr de trei axe, aceste axe sunt: axa verticală (SA), axa orizontală (KA) și axa de vizare a lunetei (ZA).

Setând $H_z = 0$ pe punctul de orientare, determin unghiul vertical/zenital (V) la cercul orizontal (HK) și direcția orizontală (HZ) la cercul orizontal (HK).

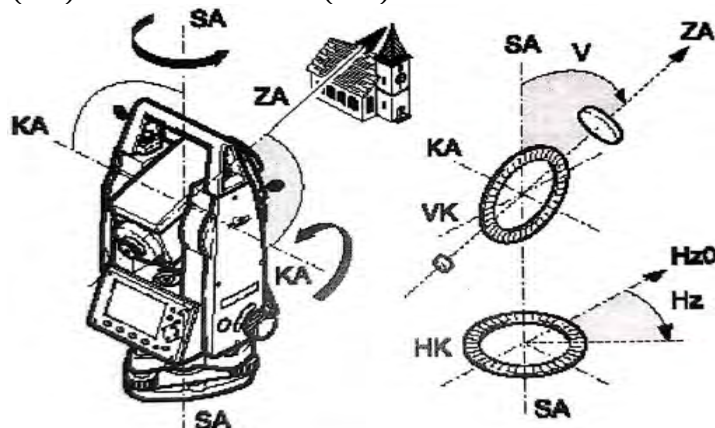


Figura 2. Axele principale ale instrumentului

Stația totală Leica TC 805 este un instrument cu o precizie bună, interfața stației este ușor de accesat. Este un aparat ușor de calat și ideal de folosit atât pentru ridicări simple, cât și pentru lucrări topografice mai complexe.



Figura 3. Stația totală din dotare și accesoriile – sursă proprie

Drona DJI MAVIC 2 ENTERPRISE

DJI Mavic 2 Enterprise este o dronă (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) proiectată să răspundă provocărilor apărute la locul de muncă și cerințelor care o să apară pe parcursul timpului. Drona este echipată cu un suport de extindere care permite adăugarea unor dispozitive suplimentare pe drona, ajutând la executarea diferitelor misiuni critice: far, reflectoare, difuzoare.

De la decolare, până la aterizare, DJI a optimizat experiența de zbor, facilitând interacțiunea cu drona și mediul înconjurător pentru o operare sigură și eficientă. Tehnologia DJI AirSense contribuie la întărirea siguranței aeriene, trimițând alerte în timp real despre apariția unor obstacole prezente în câmpul nostru de muncă.

Tehnologia avansată FlightAutonomy, este echipată cu detectoare omnidirecțională a obstacolelor, aceasta utilizează opt senzori vizuali de înaltă rezoluție și doi senzori infraroșu pentru a măsura cu precizie viteza relativă și distanța față de obiecte. Acest sistem permite un zbor mai stabil și o staționare sigură, oferind siguranța în diverse medii, de la spațiile deschise la zonele complexe.

Sistemul de preluare a imaginilor a fost creat cu două obiective principale: sprijinirea piloților în timpul misiunilor și garantarea că datele înregistrate sunt mai precise și mai sigure.

Mavic 2 Enterprise este dotat cu o cameră ce oferă un zoom digital de 3x, permițând operarea dronei în siguranță, fără a pune pilotul sau drona asupra unui risc. Camera înregistrează videoclipuri la rezoluția 4k, cu 30 de cadre pe secundă, datorită senzorului CMOS de 1/ 2,3” și de 12 mega pixeli. Toate imaginile sunt marcate cu coordonate GPS și informații temporale, asigurând precizia necesară pentru aplicațiile specializate.

Drona are un design compact și dimensiuni reduse, fiind ușor de transport. Cu o greutate de doar 905 g, drona poate fi pliată și desfăcută rapid pentru o utilizare mult mai ușoară. Drona Mavic 2 Enterprise vine cu o cutie de transport ce include accesorii suplimentare, precum un difuzor pentru transmiterea mesajelor sau sunetelor, un proiector pentru filmarea pe timp de noapte și un far care permite detectarea dronei de la o distanță de până la 5 km.



Figura 4. Drona DJI Mavic 2 Enterprise

Descrierea Soft-Urilor de prelucrare a datelor

Autocad 2013

AutoCAD este un program CAD utilizat în proiectarea în două dimensiuni (2D), mai puțin în trei dimensiuni (3D), dezvoltat și comercializat de compania americană Autodesk.

În cadrul proiectului meu am utilizat această aplicație pentru întocmirea documentației tehnice, mai exact partea desenată, planșele.

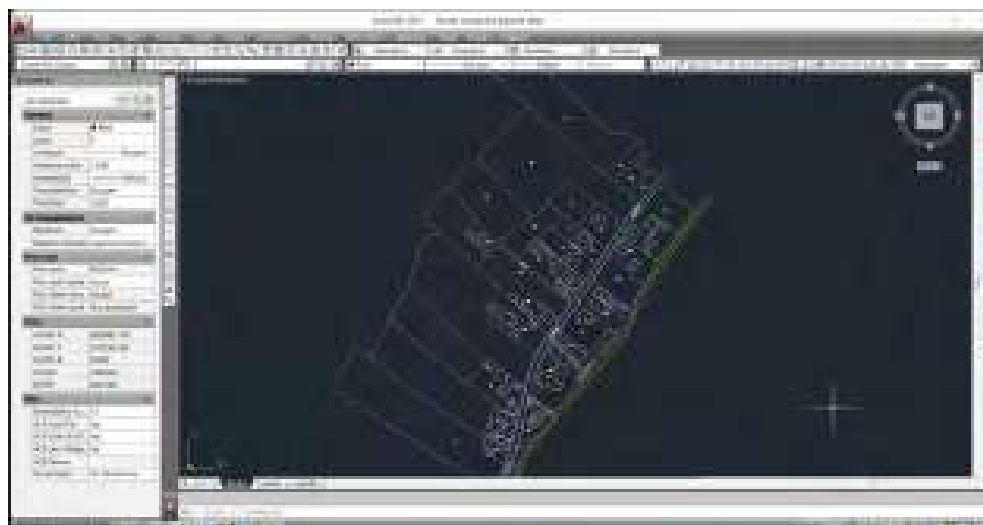


Figura 5. Întocmirea părții desenate ale proiectului – sursă proprie

Autocad Map 3D

AutoCAD Map 3D, cunoscut inițial sub denumirea de AutoCAD Map sau Autodesk Map, este un software de procesare a hărților bazat pe AutoCAD, dezvoltat de Autodesk. Acesta extinde funcționalitățile AutoCAD printr-un set de instrumente specializate pentru crearea, tematizarea și revizuirea hărților. Având un rol esențial în gama de produse Autodesk dedicate GIS, AutoCAD Map 3D se integrează cu „Map Guide Open Source” pentru publicarea online, Raster Design pentru procesarea hărților raster, AutoCAD Civil 3D pentru proiecte 3D în domeniul topografiei și, bineînțeles, cu AutoCAD pentru proiectare CAD.

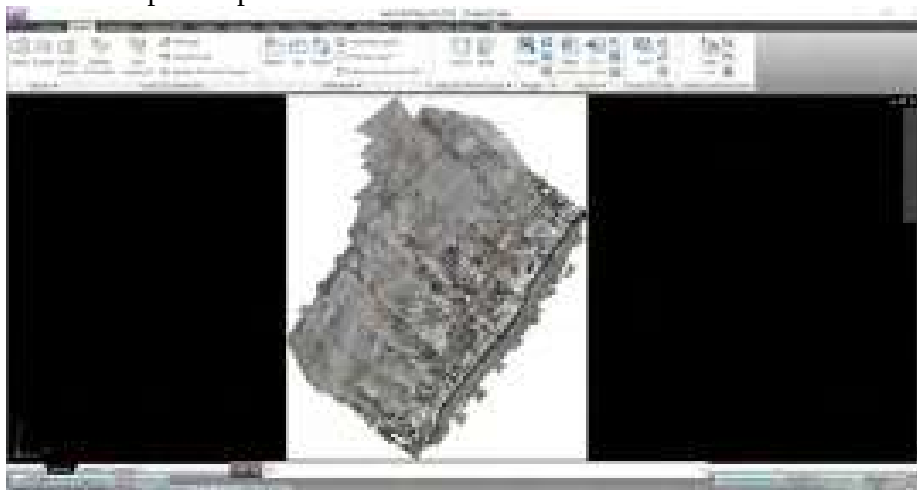


Figura 6. Introducerea Ortofotoplanului pe coordonate – sursă proprie

Dronedeploy

DroneDeploy este o platformă software bazată pe cloud, concepută pentru a simplifica și eficientiza colectarea de date aeriene. Aplicația permite zboruri automate, vizualizarea în timp real și partajarea datelor.

Funcționalități esențiale ale DroneDeploy:

- Crearea planurilor de zbor
- Decolare și aterizare automate
- Zbor și colectare automată a imaginilor
- Alternare între modurile manual și automat
- Măsurători de cote, distanțe, suprafețe și volume
- Partajarea datelor cu colaboratori

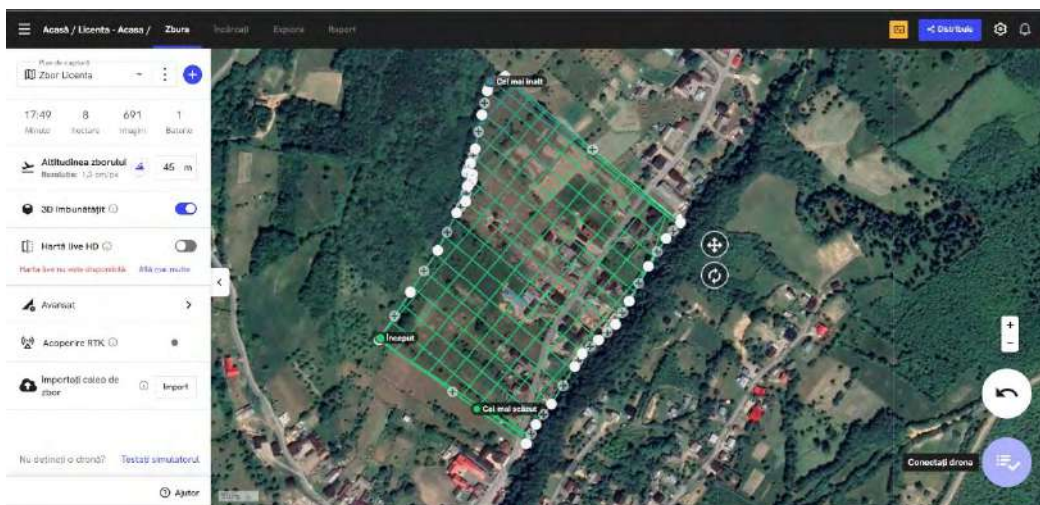


Figura 7. Întocmirea planului de zbor – sursă proprie

Agisoft metashape

Agisoft Metashape este un produs software de sine stătător care efectuează prelucrarea fotogrammetrică a imaginilor digitale și generează date spațiale 3D pentru a fi utilizate în aplicații GIS, documentarea patrimoniului cultural și producția de efecte vizuale, precum și pentru măsurători indirecte ale obiectelor de diferite scări.

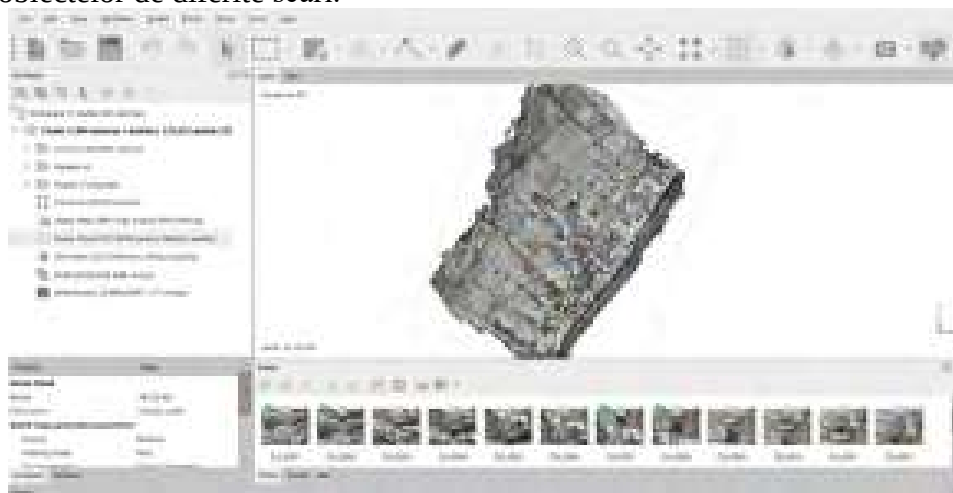


Figura 8. Prelucrarea Imaginilor – sursa proprie

Etapele de lucru

În ce constă efectuarea zborului cu drona - a fost necesară o vizualizare cât mai bună a terenului, motiv pentru care, am folosit aplicația Drone Deploy. Odată cu utilizarea aplicației și cu observarea amplă a terenului, s-au efectuat setările parametrilor de zbor, drona fiind setată să preia imagini 2D de la o altitudine de 45 m, măsurătorile fiind efectuate în 45:03 minute pe o suprafață de aproximativ 9.5 ha, în final rezultând 804 caturi și am folosit 2 baterii. Am materializat în teren 4 repere. Cu ajutorul reperelor s-a realizat trans calculul coordonatelor imaginilor din zona de studiu în așa fel încât acestea să fie în Sistemul de Coordonate Steriografică 1970 din punct de vedere planimetric și în Sistemul de cote Marea Neagră 1975 din punct de vedere altimetric. Pentru obținerea planului am utilizat drona, stația totală și GPS-ul. Mai apoi se va întocmi cadastru sistematic al sectorului respectiv.

Etapele de prelucrare a datelor

Primul pas este cel de a prelucra ortofotoplanului. Începem procesul cu aplicația Agisoft Metashape, importând imaginile din directorul în care au fost salvate și demarând procesul de prelucrare cu scopul de a obține un nor de puncte.

Datele obținute au fost procesate prin următoarele operații:

- încărcarea imaginilor în programul Agisoft Metashape
- verificarea imaginilor încărcate, ștergerea imaginilor neutilizabile
- aliniera fotografiilor



- inserarea unui fișier Notepad care conține coordonatele (N, E, H) a unor puncte din rețeaua geodezică care au fost vizibile din dronă, denumite markeri în program
- poziționarea markerilor pe fotografiile care conțineau punctele de coordonate cunoscute
- setarea în program a Sistemului de Coordonate Stereo 70
- realizarea norului de puncte
- construcția rețelei de puncte (build Tilted Model)
- generarea texturilor
- construcția modelului digital de elevație (DEM)
- obținerea ortofotoplanului
- obținerea modelelor digitale de teren și de suprafață (DTM/DSM)
- desenarea profilelor transversale
- exportarea rezultatelor



Figura 9. Ortofotoplanul

Cadastrul general este un sistem unitar și obligatoriu de evidență tehnică, economică și juridică prin care se realizează identificarea, înregistrarea, descrierea și reprezentarea pe hărți și planuri cadastrale a tuturor terenurilor precum și a celorlalte bunuri imobile de pe întreg teritoriul țării, indiferent de destinația lor și de proprietar.

Cadastrul sistematic se întocmește la nivel de sectoare cadastrale, în general pe extravilan iar categoriile de folosință predominante în cadastrul sistematic sunt Arabil, Fânețe, Vii, Livezi etc., în general cu destinație agricolă.

Înregistrarea imobilelor în sistemul unic de cadastru din România început în 2015, în cadrul Programului Național de Cadastru și Carte Funciară. Aceasta se efectuează la nivelul unei unități administrativ-teritoriale, respectiv comună, oraș, municipiu sau la nivelul unui sau mai multor sectoare cadastrale, în prezenta lucrare fiind vorba despre un sector din Tureac, Comuna Tiha Bargaului, Județul Bistrița-Năsăud.

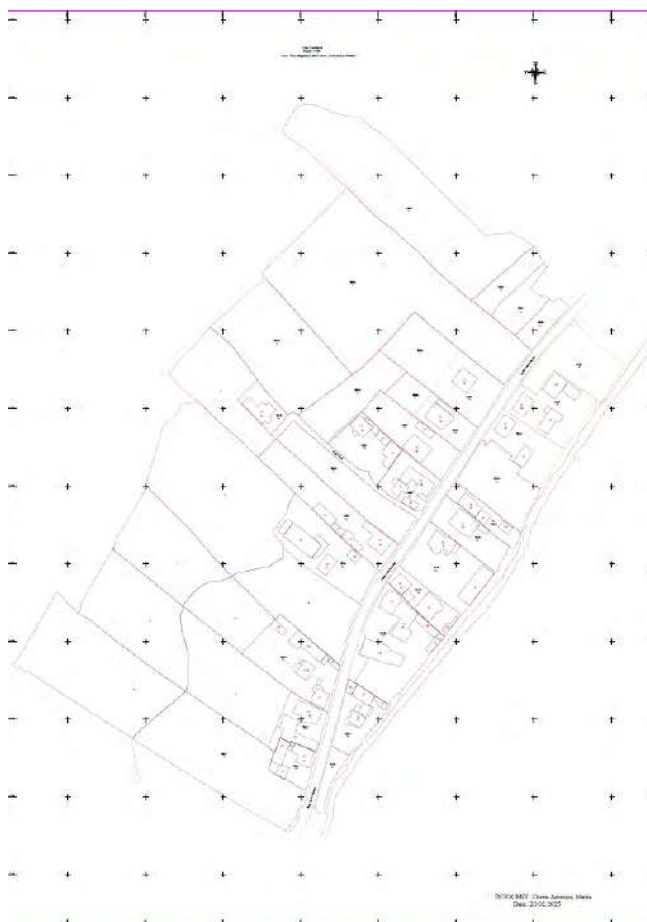


Figura 10. Planul Cadastral

BIBLIOGRAFIE

<https://dronshop.ro/drona-dji-mavic-2-enterprise>

https://www.wild-heerbrugg.shop/index.php?cPath=1_3_5_29_30

<https://ro.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>

<https://www.agisoft.com/>

Manual GPS Hi-Target V30

Monitorul oficial al României: Anexa la Ordinul Directorului general al Agenției Naționale de Cadastru și Publicitate Imobiliară nr. 600/2023 pentru aprobarea Regulamentului de recepție și înscriere în evidența de cadastru și carte funciară.



STUDIU COMPARATIV DE APLICARE A MODELULUI DIGITAL AL ELEVĂȚIEI ÎN MĂSURĂTORILE TERESTRE. STUDIU DE CAZ: CARIERĂ DE NISIP DIN OCNA SIBIULUI

Autor

Răzvan-Gabriel I. ALEXE¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: galexel1@yahoo.com

Îndrumători

Prof.Dr.Ing. Ioel Samuel VEREȘ²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: ioel.veres@mtc.utcluj.ro

Conf Dr.Ing. Sanda Marioara NAȘ³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: sanda.nas@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Modelul digital al elevației redă în mod fidel forma și aspectul reliefului suprafeței terestre, fiind aplicat indirect în geologie, hidrologie, arheologie, construcții și minerit, respectiv direct în domeniul ingineriei geodezice și al geomaticii. Prezenta lucrare descrie utilizarea modelului 3D în ramurile măsurătorilor terestre, folosind atât metodele topo-geodezice clasice, cât și mijloacele avansate de cartografiere și procesare. Studiul de caz a fost realizat în industria mineritului de suprafață, la un perimetru de exploatare din Ocna Sibiului. Scopul studiului este de a compara acuratețea măsurătorilor, eficiența activităților de teren și de birou, respectiv precizia de determinare a volumului de nisip extras și depozitat.

Cuvinte cheie: Curbe de nivel; model 3D; nor de puncte; scanare LiDAR; volum de nisip; mesh.

1. Introducere

1.1 Aplicabilitatea modelului digital al elevației

Modelul digital al elevației (Digital Elevation Model – D.E.M.) reprezintă un model tridimensional ce descrie forma, aspectul și configurația unei suprafețe topografice. Modelul digital se obține prin prelucrarea sau procesarea următoarelor tipuri de observații de teren:

- măsurători topo-geodezice clasice cu stație totală sau teodolit;
- poziționare folosind tehnologia G.N.S.S. (Global Navigation Satellite Systems) – adesea prin metoda R.T.K. (Real Time Kinematic);
- observații fotogrammetrice sau zboruri U.A.S. (Unmanned Aerial Systems) – prin Structure from Motion;
- scanare laser prin tehnologia LiDAR (Light Detection and Ranging);
- scanare RADAR (Radio Detection and Ranging) sau G.P.R. (Ground-Penetrating Radar);
- măsurători batimetrice folosind SONAR-ul (Sound Navigation and Ranging);
- imagini satelitare.

Suprafața terestră este cel mai des reprezentată prin planuri / hărți topografice, sau hărți geografice. În cadrul planșei cartografice, modelul digital tridimensional constituie baza pentru conturarea reliefului.

Relieful poate fi redat pe hărți prin:

- curbe de nivel;
- plan cotate;
- plan în relief;
- hașuri;
- tente de culori.

În cadrul științelor Pământului, din care fac parte și măsurătorile terestre, modelul 3D devine un element de bază pentru studiile fizico-geografice, geologice, hidrologice și de hazarde naturale. Cele



din urmă sunt reprezentate de studiile de inundabilitate, ori de susceptibilitate la eroziune, alunecări de teren sau prăbușiri. În toate aceste situații, D.E.M.-ul creat este utilizat pentru analizele morfometrice și morfografice ale reliefului (analize geomorfologice). Pentru geostiințe, metoda cea mai potrivită de redare a scoarței terestre este aleasă în fiecare situație particulară, în funcție de avantajele și dezavantajele pe care metoda ideală le implică.

Un alt domeniu de aplicabilitate al modelului digital al elevației este cel al industriei construcțiilor. Inginerul geodez are aici responsabilitatea de a cartografia zona de interes a unui nou proiect de construcții (clădiri, căi de comunicații, lucrări de artă). În timp ce hașurile, tentele de culori și planul în relief se folosesc mai des la realizarea hărților geografice, curbele de nivel și planul cotat (planul topografic / de situație) sunt reprezentantele modelului digital al elevației în construcții. Acestea se folosesc cu precădere în proiectarea obiectivelor de investiții, respectiv în determinarea cotelor proiectate și a pantelor proiectate.

Modelul 3D este des utilizat pentru activitatea de minerit. În exploatarea de suprafață (cariere și balastiere), D.E.M.-ul se aplică la crearea planului topografic și a profilelor transversale și longitudinale, necesare pentru deschiderea și închiderea perimetrelor. Totodată, inginerul geodez utilizează modelul digital pentru determinarea volumelor de agregate minerale extrase periodic din perimetru (nisip, pietriș, balast, marnă). Pe baza măsurătorilor și a determinărilor volumetrice, se calculează în final redevența minieră, ce reprezintă prețul cantității exploatare în ultimele luni. De asemenea, geodezul efectuează periodic observații asupra stocurilor de minerale pentru a le afla volumul prin modelarea spațială.

Figura 1. Cariera de nisip din localitatea Ocna Sibiului.



1.2 Formele modelului 3D:

Modelul digital al elevației constituie o reprezentare tridimensională și în format digital a suprafeței terestre sau a unei entități situate pe aceasta, deoarece tuturor punctelor definitorii ale obiectului le este atribuită câte o valoare numerică, referitoare la componenta spațială, care este altitudinea. În literatura de specialitate, modelul prezintă mai multe clasificări.

În funcție de modul de stocare, modelul 3D se poate reda în primă instanță sub formă de raster, la o rezoluție spațială dată și compus din pixeli cu valori numerice unice a cotei absolute. Cel mai des întâlnit model raster este fișierul GeoTIFF, iar un exemplu folosit în practica măsurătorilor terestre este ortofotoplanul. În al doilea rând, modelul digital poate fi compus dintr-un ansamblu de vectori, cum sunt curbele de nivel (linii de contur), punctele cu coordonatele de altitudine, sau rețelele neregulate de triangulație (T.I.N. – Triangulated Irregular Network).

Modelul digital al elevației (D.E.M.) poate fi folosit ca termen general pentru reprezentarea



terenurilor și a obiectelor de pe suprafața topografică. În caz particular însă, în funcție de măsurători, de scopul efectuării lor și de entitatea ce se dorește a fi reprezentată, se pot aplica alte tipuri de modele 3D.

Modelul digital al suprafeței (D.S.M. – Digital Surface Model) include atât suprafața terestră, cât și detaliile situate deasupra nivelului solului (vegetație; construcții). Crearea D.S.M.-ului se realizează prin selecția punctelor aflate la cota cea mai mare pentru fiecare element cartografiat. În principal, modelul suprafeței se asociază adesea cu planificarea teritorială și urbanismul.

Modelul digital al terenului (D.T.M. – Digital Terrain Model) include doar reprezentarea reliefului, descriind astfel configurația reală a suprafeței terestre, fără vegetație sau construcții. D.T.M.-ul se obține prin folosirea punctelor aflate la altitudinea cea mai joasă a tuturor entităților din zona cartografiată. Acest tip de model 3D este aplicat în majoritatea studiilor din cadrul științelor Pământului. În acest sens, modelul digital al terenului se utilizează pentru:

- a) identificarea zonelor vulnerabile la hazarde naturale;
- b) analize geologice și geomorfologice – studii despre relief; eroziune; sedimentare;
- c) delimitarea bazinelor hidrografice;
- d) studii de inundabilitate – modelarea și simularea scurgerii apelor pe versanți și a inundațiilor;
- e) proiectarea construcțiilor (clădiri; căi de comunicații; lucrări de artă; construcții hidrotehnice; rețelele edilitare);
- f) determinarea volumelor de minerale extrase din perimetrele de exploatare, a volumelor de stocuri și de terasamente;
- g) evaluarea suprafețelor de teren pentru viitoarele obiective de investiții;
- h) planificarea activităților, gestionarea și distribuția arealelor în ecologie, agricultură, silvicultură.

Modelul digital normalizat al suprafeței (nDSM – normalized Digital Surface Model) constituie rezultatul diferenței dintre modelul digital al suprafeței și modelul digital al terenului (nDSM = DSM – DTM). Acest tip de model 3D prezintă strict înălțimea elementelor situate pe teren (construcții și vegetație).

Mesh-ul reprezintă o rețea de figuri geometrice (triunghiuri sau patrulatere), care descrie tridimensional aspectul unei suprafețe. În multe cazuri, el este conturat printr-o rețea de triangulație neregulată (T.I.N. – Triangulated Irregular Network). Această entitate este alcătuită din:

- noduri sau puncte de coordonate spațiale cunoscute (X; Y; Z);
- laturi ce leagă punctele;
- fețe – triunghiurile sau patrulatele închise de laturi.

Mesh-ul este practic o modalitate de a reconstrui digital obiecte sau porțiuni din suprafața Pământului, prin folosirea unui set de date imagistice. Acesta este derivat din procesarea norului dens de puncte obținut în urma observațiilor fotogrammetrice sau de teledetecție. Diferența principală dintre norul de puncte și mesh este aceea că norul este redat printr-o colecție de puncte fără conexiuni, în timp ce vârfurile mesh-ului sunt mereu legate prin laturi, delimitând fețele și formând în final o suprafață continuă și netedă.

Mesh-ul se deosebește de modelul 3D, prin faptul că acesta constituie metoda de reprezentare geometrică a suprafeței terestre și / sau a elementelor de pe aceasta, în timp ce modelul digital al elevației este conținutul final, care prezintă arealul prin evidențierea altitudinii fiecărui obiect. Avantajele mesh-ului constau în decupajul porțiunilor inutilizabile din model, izolarea unor porțiuni din strat și înlocuirea unor părți componente din modelul digital.

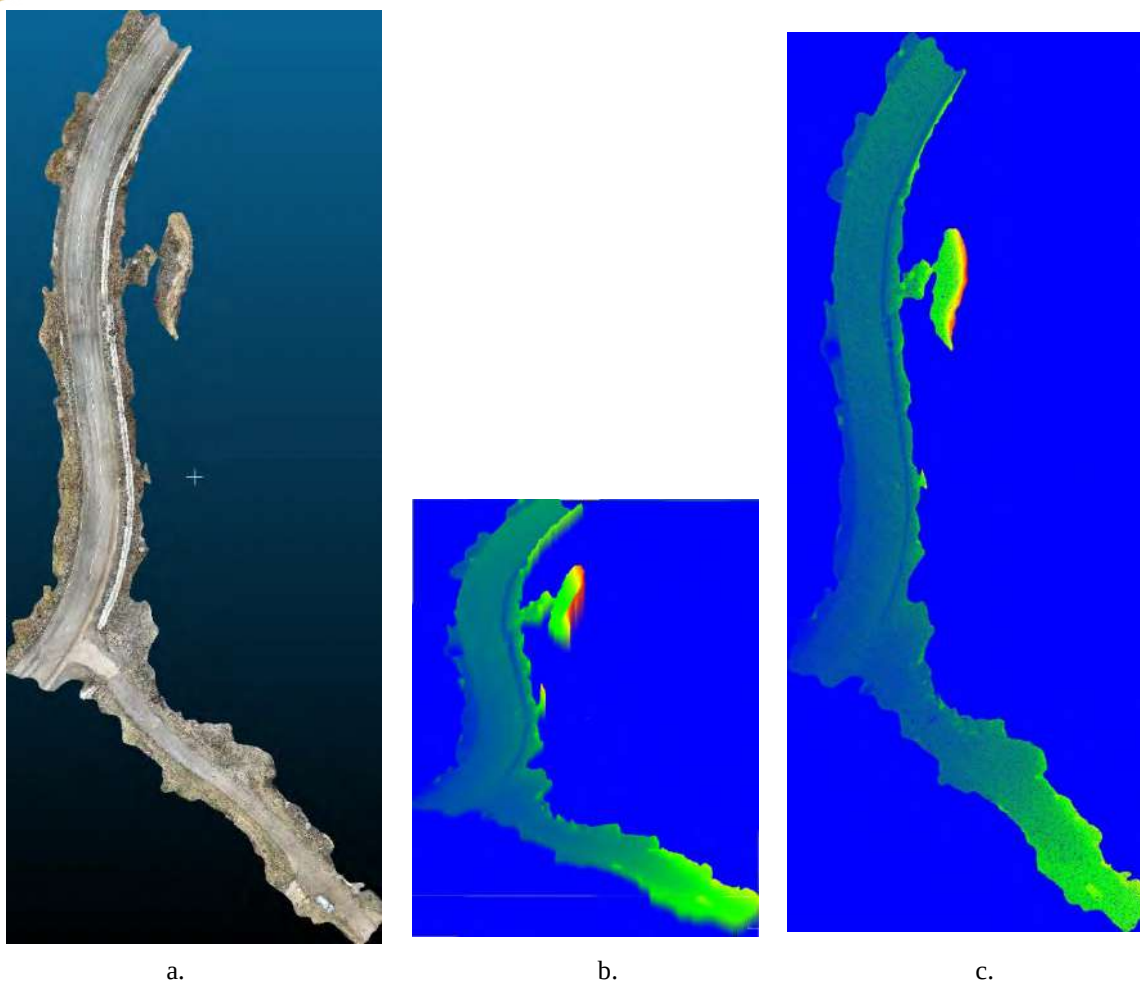


Figura 2. a) Nor de puncte, b) Model Digital al Suprafeței – Mesh, c) D.S.M. în format Raster – GeoTIFF

2. Aplicarea comparativă a modelului digital al elevației în măsurătorile terestre. Studiu de caz: carieră de nisip din Ocna Sibiului

Modelul digital al elevației este în esență o etapă intermediară dintre observațiile de teren și analizele, respectiv determinările obținute în urma prelucrărilor și procesărilor de date. Am realizat prezentul studiu de caz în întregime despre un perimetru de exploatare minieră de suprafață din orașul Ocna Sibiului, Județul Sibiu. În urma obținerii permisului de exploatare, s-a trecut la extracția de nisip și pietriș din această carieră. Am efectuat măsurătorile asupra zonei exploatare și a stocului de nisip, folosind în paralel tehnologia clasică și cea avansată. Obiectivele operațiunilor de teren și de birou au fost de a cartografia perimetrul și de a determina volumul de nisip exploatat. Scopul final al lucrării este de a compara modelele digitale ale elevației și rezultatele obținute prin cele două metode.

2.1 Cartografierea perimetrului de exploatare

Primele observații de la noul perimetru le-am efectuat cu ajutorul aparatului G.P.S. HiTarget vRTK și al stației totale Leica TS07. Pentru măsurătorile cu tehnologia G.N.S.S. am folosit metoda de poziționare cinematică în timp real (R.T.K.), iar pentru zonele inaccesibile din cauza reliefului accidentat am aplicat drumuirea sprijinită la capete pe puncte de orientare cunoscută. Această poligonatie a rezultat cu 6 puncte de stație (S1; S2;...; S6) și 2 puncte de orientare (A și B). Am determinat poziția spațială a celor 4 puncte ale bazelor cu aparatul G.P.S., prin staționare prelungită pe fiecare și efectuarea mediei aritmetice a valorilor obținute în urma poziționării. A doua sesiune de observații a constat în planificarea și desfășurarea unui zbor U.A.S., prin intermediul dronei DJI Phantom 4 R.T.K.. Rezoluția spațială a fotogramelor a fost de 2.52 cm/pixel. Parametrii din planul de zbor au fost următorii:

- Altitudinea de zbor = 110 m;
- Aria acoperită de zbor = 0.307 km²;
- Suprapunerea imaginilor = 80%;



- Timpul de zbor = 11 min.

La operațiunile de birou, am folosit observațiile topo-geodezice clasice (circa 1450 puncte măsurate) pentru a crea modelul digital al terenului în AutoCAD, folosind funcțiile programului TopoLT. După aceea, pentru a putea reprezenta relieful, am generat curbele de nivel.

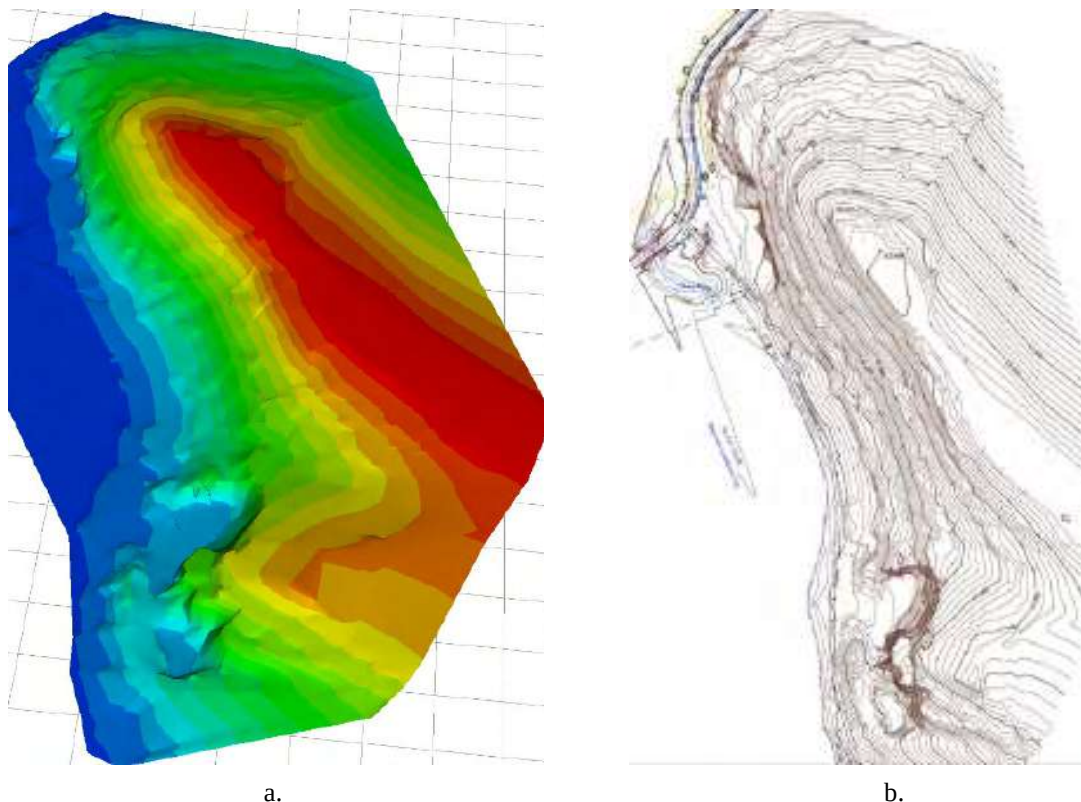
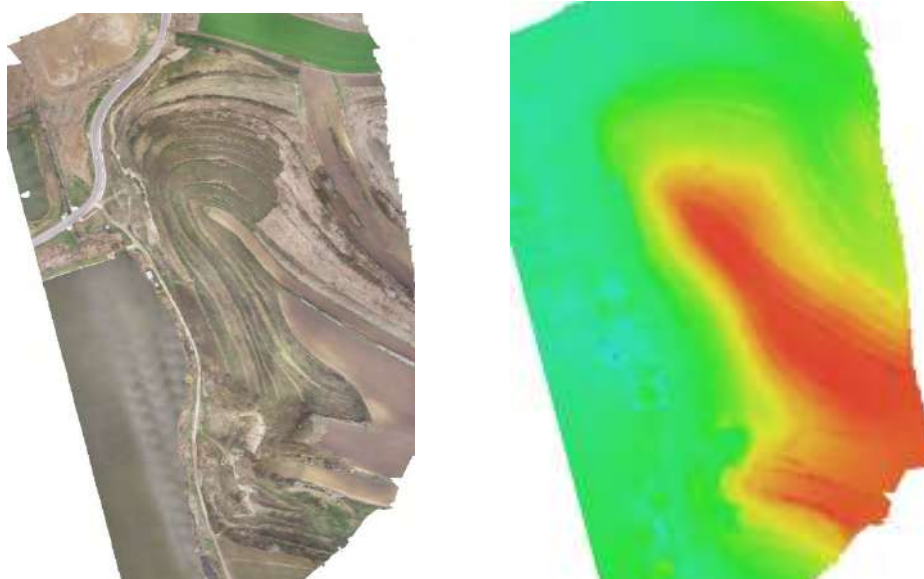


Figura 3. Modelul 3D (a) și curbele de nivel (b) obținute în urma măsurătorilor clasice

Pentru zborul cu drona am procesat imaginile fotografice în software-ul Agisoft Metashape Professional. Chiar dacă modulul R.T.K. al dronei a fost complet funcțional, eroarea medie de poziționare a camerei a avut o valoare prea mare, motiv pentru care a trebuit să georeferențiez imaginile fotogrammetrice cu ajutorul unor puncte de control la sol (G.C.P. – Ground Control Points). Pentru această procedură am utilizat cele 2 puncte de orientare și 4 puncte de stație. Valoarea erorii medii pătratice a coordonatelor G.C.P.-urilor a rezultat de ordinul centimetrilor, fiind mai mult decât satisfăcătoare. Astfel am putut trece la generarea norului de puncte, a modelului digital al elevației, a ortofotoplanului și a raportului final. Rezoluția modelului 3D rezultat a fost de 5.04 cm/pixel, iar densitatea de puncte a fost de 393 puncte/m².



a.

b.

Figura 4. Ortofotoplanul (a) și modelul digital al elevației (b) obținute din mijloacele avansate de prelucrare

În ciuda preciziei similare, din simpla analiză a produselor finale reiese că modelul digital al elevației obținut în urma zborului U.A.S. este mult mai detaliat, datorită numărului de puncte mult mai mare comparativ cu cel al observațiilor clasice. Dezavantajul acestuia este faptul că el constituie mai degrabă un model digital al suprafeței, deoarece camera dronei nu poate pătrunde prin vegetație pentru a surprinde relieful terenului, iar drona nu avea atașată un senzor LiDAR pentru a putea cartografia solul natural. Din fericire, în momentul zborului, vegetația nu era înaltă, ceea ce asigură buna utilizare a modelului 3D în studiile ulterioare de determinare a volumului de nisip exploatat.

2.2 Calculul volumului de nisip exploatat

Pentru determinarea volumului de nisip extras din carieră, am desfășurat două sesiuni de observații. Primele măsurători le-am realizat cu ajutorul aparatului G.P.S. HiTarget vRTK. Pentru observațiile G.N.S.S., am diferențiat prin coduri punctele situate la cea mai joasă cotă (baza) de cele situate la valorile altitudinale cele mai mari (nisip). Ulterior am utilizat senzorul LiDAR al unui smartphone iPhone 16 Pro pentru a scana stocul. Aplicația Polycam Pro a stat la baza scanării laser.

În general, în măsurătorile terestre, volumul se determină ca fiind un corp geometric luat între două suprafețe tridimensionale. În AutoCAD și TopoLT, aceste suprafețe sunt reprezentate de modele 3D (mesh-uri), astfel că se poate reconstrui în format digital entitatea măsurată într-un mod cât mai fidel realității. Programele software specializate disting întotdeauna o suprafață de bază și una superioară. În prelucrarea datelor am folosit 2 fișiere separate pentru aceste suprafețe, creând la fiecare câte un model 3D.

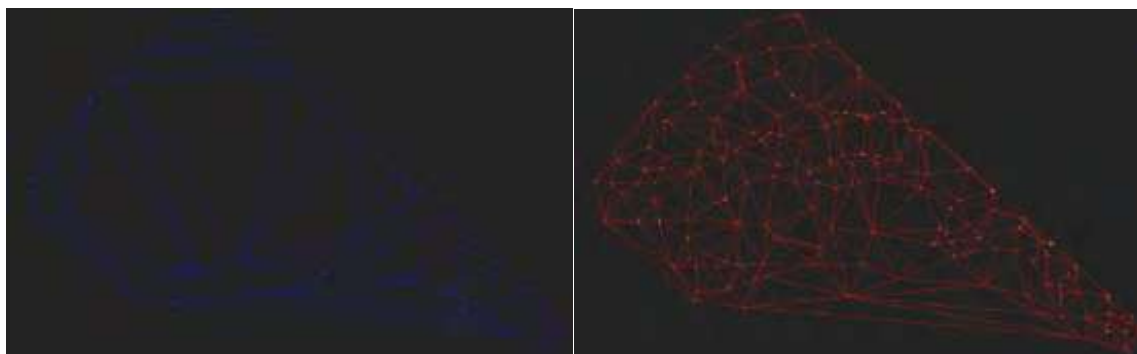


Figura 5. Crearea modelelor 3D pentru suprafața de bază (albastru) și suprafața de sus (roșu)

Pasul următor a constat în unirea celor două modele 3D. În acest sens, după ce am aplicat funcția

Calculate volume, am obținut valoarea volumului de nisip extras și depozitat de aproximativ 233 m³.

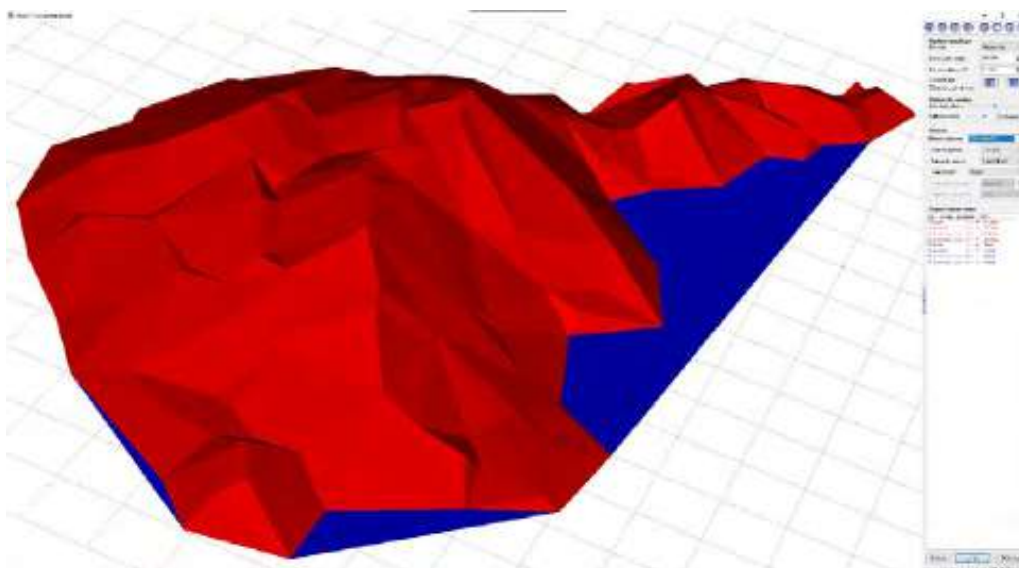


Figura 6. Determinarea volumului de nisip extras din carieră și stocat folosind metodele clasice

Scanarea cu iPhone-ul 16 Pro și a aplicației Polycam Pro a avut o durată similară cu cea a măsurătorilor G.N.S.S.. Pentru a asigura precizia și continuitatea norului de puncte, a trebuit să execut mișcări lente în timpul deplasării cu instrumentul și să mă asigur ca fiecare porțiune din stoc să fie scanată din toate unghiurile posibile. După parcurgerea unei întregi rotații în jurul stocului, a trebuit să asigur o suprapunere parțială cu zona scanată la început.

La finalizarea scanării am avut de procesat norul de puncte, pe care l-am importat în software-ul CloudCompare. În acest program am creat o suprafață plană sub stocul de nisip, iar din aceasta am format un nor de puncte ca bază pentru norul principal. După selecția celor două entități Cloud, am folosit funcția Volume din meniul Tools. În fereastra determinării volumetrice, la sol (Ground) am ales norul ce reprezintă suprafața plană de bază, cu înălțime minimă (minimum height), iar la plafon (Ceil) am selectat norul de puncte al stocului de nisip, împreună cu opțiunea de interpolare (interpolate). După o actualizare a calculului (Update), am obținut un volum de 197 m³.



Figura 7. Norul de puncte obținut din scanarea cu iPhone 16 Pro (CloudCompare)

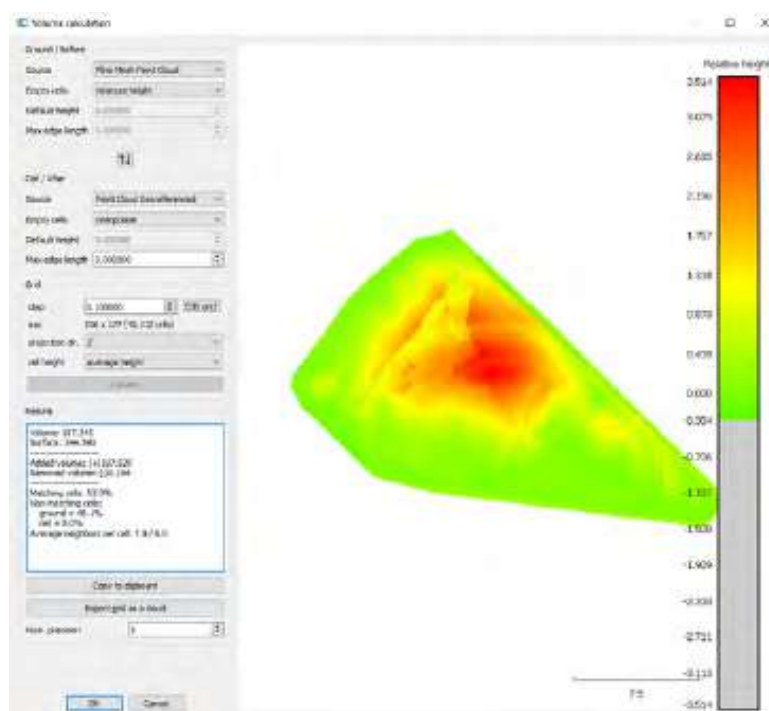


Figura 8. Calculul volumului de nisip prin mijloacele avansate – cu vizualizarea modelului digital al suprafeței

Având în vedere aceste valori, senzorul LiDAR al iPhone-ului 16 Pro a reușit să ofere un nor de puncte cu acuratețe ridicată, din care s-a putut obține un model digital al suprafeței adecvat pentru determinarea volumului de nisip. Întrucât prin tehnologia G.N.S.S. am măsurat doar 179 puncte, cu mult sub numărul dictat de scanarea laser, modelul 3D creat prin metodele clasice nu a urmat fidel în totalitate schimbările de direcție dintre componentele stocului.

3. Concluzii

Modelul digital al elevației există sub numeroase forme, fiind deseori aplicat în domenii precum geostiințele, construcțiile și mineritul. Modelul 3D reprezintă fundația pe care se dezvoltă studiile hidrologice, geologice și geomorfologice. El constituie baza pentru proiectare, analize și calcule de volume, și în special pentru cartografia modernă, datorită abilității sale de a reprezenta relieful suprafeței terestre în format digital.

BIBLIOGRAFIE

1. Naș S., *Topografie generală*, Note de curs, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2020-2021
2. Rădulescu M., *Aplicații în fotogrammetrie și teledetecție*, Note de curs, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2024-2025
3. Botsch M., Kobbelt L., Pauly M., Alliez P., Levy B. *Polygon Mesh Processing*, CRC Press, 2010
4. Li Z., Zhu Q., Gold C., *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*, CRC Press, 2005
5. Maune D.F., *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual* (2nd ed.), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 2007



COMISIA 5

Arhitectură, Construcții Civile, Industriale și Agricole, Masterat, Doctorat



DETECTAREA FISURILOR LA O GRINDĂ DIN BETON ARMAT PE BAZA MODURILOR PROPRII DE VIBRAȚIE

Autor/autori

M. Ioana-Maria BOLDOR¹, C.B. Ioan-Cristian-Paul CUCUIAN², K. Attila PÁL³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, mboldor58@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, ionel.c1991@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, palati88@gmail.com

Îndrumător/îndrumători Prof. Dr. Ing. Mihai NEDELCU⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca,
mihai.nedelcu@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: Detectarea daunelor în structurile de beton este deosebit de dificilă în scenariile cu zone de deteriorare sau când informațiile din starea nedeteriorată nu sunt disponibile. Acest studiu presupune o metodologie care se bazează pe Metoda Curburii Modale pentru detectarea anomaliilor. Se dorește identificarea atât a locației cât și severitatea deteriorării grinzilor de beton fără a necesita date din starea inițială nedeteriorată. Analiza se bazează pe modelări 3D în Abaqus a unei grinzi de beton armat în care se introduc avariile prin realizarea unor tăieturi în zona avariată. În urma analizei modale se extrag deplasările verticale și se analizează cu ajutorul unei aplicații în Python curbura grinzii, care este un parametru extrem de sensibil la fisuri perpendiculare pe axa longitudinală.

Cuvinte cheie: Detectarea daunelor, Metoda curburii modale, Python, Abaqus, grindă simplu rezemată.

1. Introducere

Detectarea avariilor structurale prin metode dinamice a devenit un subiect de mare interes în ingineria structurală, datorită avantajelor oferite de monitorizarea nedistructivă a sănătății structurilor. În acest context, **Metoda Curburii Modale**, introdusă de Pandey, Biswas și Samman (1991), s-a dovedit a fi una dintre cele mai eficiente tehnici pentru identificarea deteriorărilor în elemente de tip grindă, unde modificările locale de rigiditate se reflectă clar în comportamentul dinamic al sistemului.

Această metodă se bazează pe observația că **curbura formelor modale** ale unei structuri este semnificativ mai sensibilă la deteriorări decât deplasările modale propriu-zise sau frecvențele naturale. Atunci când într-o structură apare o fisură, aceasta afectează local rigiditatea, ceea ce conduce la variații sesizabile în curbura modului propriu. Această proprietate este exploatată pentru a detecta și localiza fisurile, fără a fi necesară cunoașterea prealabilă a stării inițiale nedeteriorate a structurii.

2. Dezvoltarea modelului în Abaqus

Pentru a avea un punct de pornire, modelul a fost creat în programul Abaqus. Acesta presupune o grindă simplu rezemată cu o serie de caracteristici specifice, geometria căreia a fost creată în meniul “Parts”, secțiunea fiind de 100 mm x 150 mm, iar lungimea de 2200 mm cu o deschidere de 2000 mm deoarece în realitate rezemarea nu este punctuală, iar astfel putem simula cu o precizie sporită un caz real. Fisurile au fost realizate prin crearea unei partiții care taie o bucată din element simulând astfel, cu o precizie suficient de bună, o fisură. Acestea au o deschidere de



3 mm, o adâncime de 10-100 mm, având aceste dimensiuni pentru a fi ușor de detectat vizual, și au fost generate 2 seturi de fisuri, primul fiind pe mijlocul deschiderii, acesta având 7 fisuri distribuite la o distanță de 50 mm una față de cealaltă, iar al doilea set se situează în proximitatea reazemului simplu și conține 3 fisuri cu o distribuție similară cu cea a primului set (Figura 1). Este de menționat faptul că fisurile sunt dezvoltate pe toată lățimea de 100 mm a grinzii. Pentru a avea un termen de comparație am realizat și un model nefisurat.

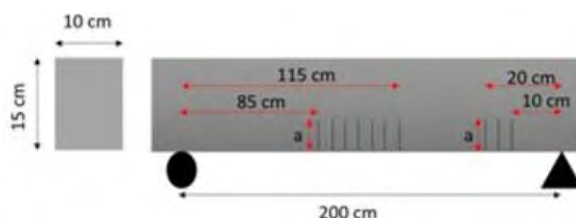


Figura 1. Modul de distribuție a fisurilor

Grinda studiată a fost aleasă cu aceste dimensiuni datorită faptului că este relativ ușor de testat în laborator pentru validarea rezultatelor.

Betonul din grindă are ca proprietăți valoarea modulului lui Young de 45 GPa, coeficientul lui Poisson de 0.18, iar densitatea de 2400 kg/m^3 , toate acestea putând fi atribuite grinzii din meniul “Materials”.

În următoarea fază au fost create reazemările prin crearea unor suprafețe dreptunghiulare sub grindă care au fost legate de un “Reference point” perfect încastrat care are rolul de a simula un obiect de rigiditate infinită pe care stă grindă. Interacțiunea dintre grindă și suprafața legată de acel punct se realizează din meniul “BC” unde se vor bloca deplasările U1, U2, U3 și rotația UR1 pentru unul din reazeme, iar pentru cel de-al doilea reazem se vor bloca deplasările U2, U3 și rotația UR1.

În ultima fază s-a discretizat grindă folosind Metoda Elementului Finit (MEF) din meniul “Mesh” pentru a obține o analiză cât mai precisă având în vedere grosimea redusă a fisurilor. Tipul de element finit folosit este C3D8R (“An 8-node linear brick, reduced integration, hourglass control”) cu o latură de aproximativ 8 mm, însă pot apărea diferențe în anumite regiuni provocate de prezența fisurilor. După finalizarea acestor pași se creează o analiză modală cu ajutorul meniului “Steps” unde am definit tipul de analiză “frequency”, iar în meniul “Analysis” am creat un “Job” pentru obținerea unui fișier de tip .odb care servește pentru vizualizarea modurilor normale de vibrație în cadrul programului Abaqus, dar și pentru prelucrarea datelor în aplicația Python.

În acest sens, s-au creat 4 modele care deservește pentru efectuarea comparației: un model nefisurat (Figura 2.a), un model cu fisuri de 10 mm adâncime (Figura 2.b), un model cu fisuri de 50 mm adâncime (Figura 2.c) și un model cu fisuri de 100 mm adâncime (Figura 2.d). În figurile de mai jos sunt prezentate fisurile din zona mediană a grinzii.

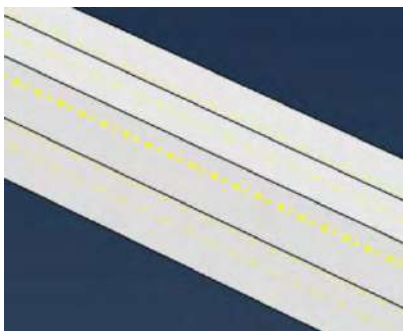


Figura 2.a

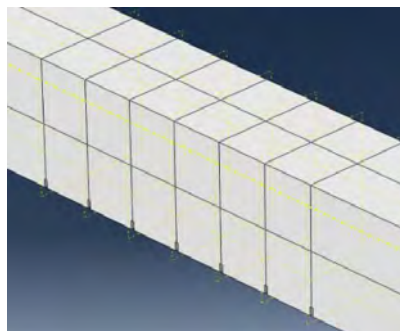


Figura 2.b

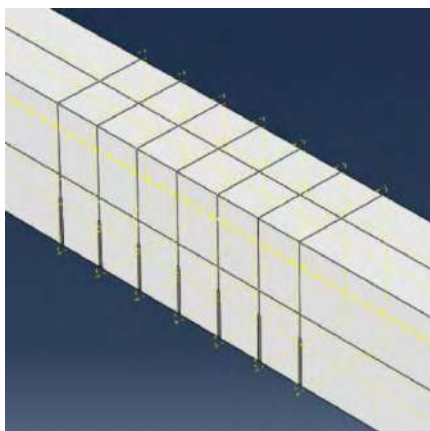


Figura 2.c

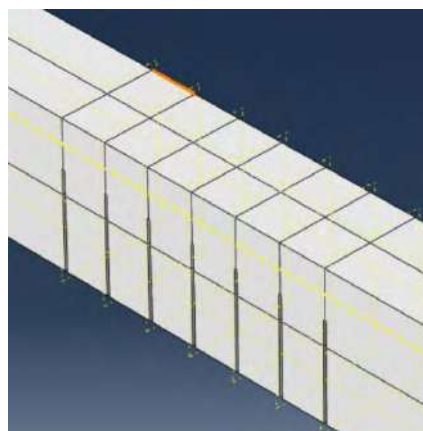


Figura 2.d

3. Dezvoltarea aplicației în Python

În ceea ce privește partea de programare în Python, am creat o aplicație web pentru a ne ușura munca atunci când trebuie să extragem date dintr-un fișier .odb generat de Abaqus și să le transformăm într-un format JSON, gata de analizat și vizualizat. Procesul devine astfel mult mai rapid și accesibil, fără a fi nevoie să rulăm manual scripturi sau să folosim interfața complexă a Abaqus.

Această aplicație permite încărcarea unui fișier Abaqus Output Database (.odb), procesarea automată a datelor din analiza modală și vizualizarea acestora într-un mod clar și intuitiv. În mod specific, sunt afișate grafice liniare care arată deplasarea UY în funcție de coordonata X (centrul de greutate al grinzii) pentru fiecare mod vibrațional.

Notă: Coordonatele X extrase corespund pozițiilor centrului de greutate ale grinzii modelate în Abaqus. Intervalul X utilizat în analiză este prestabilit în cod și nu poate fi modificat de utilizator din interfață.

Cum funcționează aplicația:

1. Încărcarea fișierului:

Utilizatorul selectează un fișier .odb direct din browser și poate denumi opțional fișierul JSON de ieșire (Figura 3).

UY Displacement for X in [0.1, 2.1]
(Descriptive Y=0.075, Z=0.05)

Upload ODB and Extract Displacement Data

Select ODB file: No file chosen

Desired JSON Output Name:

Figura 3. Interfața programului în browser



2. Executarea scriptului Abaqus:

- Fișierul .odb este salvat temporar pe server.
- Aplicația apelează Abaqus prin linia de comandă (abaqus.bat) pentru a rula scriptul Python extract_moduri.py.
- Acest script extrage coordonatele X și valorile deplasării UY pentru diferitele moduri vibraționale și salvează aceste date brute într-un fișier JSON în directorul de încărcare.

3. Procesarea datelor în aplicația web (Flask):

- Aplicația principală, scrisă în Python folosind framework-ul Flask, citește fișierul JSON generat.
- Datele sunt filtrate pentru a include doar punctele unde coordonata X se află într-un interval predefinit (de exemplu, între 0.1 și 2.1), setat direct în codul sursă.
- **Optimizare:** Dacă un mod conține peste 100 de puncte în acest interval, acestea sunt eșantionate pentru a nu încetini afișarea în browser. Se păstrează primul și ultimul punct, iar celelalte sunt distribuite uniform.

4. Afișarea rezultatelor:

- Datele procesate sunt afișate într-un șablon HTML:
 - o Tabel cu modul, coordonata X și deplasarea UY pentru fiecare punct selectat.
 - o Grafice liniare separate pentru fiecare mod, cu deplasarea UY în funcție de coordonata X.

5. Generarea unor tabele Excel corespunzătoare modurilor de vibrație cu deplasările

- La final programul oferă opțiunea de a genera tabele Excel care conțin coordonatele și deplasările tuturor punctelor (Figura 4) pentru a fi filtrate și mai apoi prelucrate numeric cu scopul generării derivatei de ordinul II utilizând formula din Figura 5.

Generated Excel Files



Figura 4. Interfața care generează tabelele Excel

$$\phi'' = \frac{d^2\phi(x)}{dx^2} \approx \frac{\phi(x-h) - 2\phi(x) + \phi(x+h)}{h^2}$$

Figura 5. Formula derivatei de ordinul II

4. Afișarea rezultatelor obținute în Abaqus cu programul în Python

În urma prelucrării datelor acestea au fost utilizate pentru generarea formelor modurilor de vibrație sub formă de grafice.

În Figura 6.a este prezentat modul 1 al modelului grinzii nefisurate din Abaqus, acesta va fi reperul în observarea diferențelor între un model neavariat și diverse fisuri cu adâncime variabilă. Figura 6.b conține același mod de vibrație, dar pe varianta cu fisuri de 10 mm adâncime, iar Figura 6.c și Figura 6.d conțin modelele cu fisuri de 50, respectiv 100 mm adâncime.

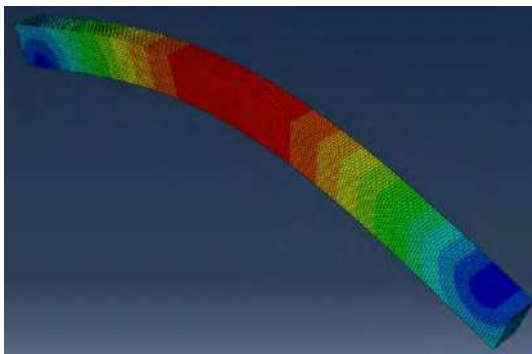


Figura 6.a

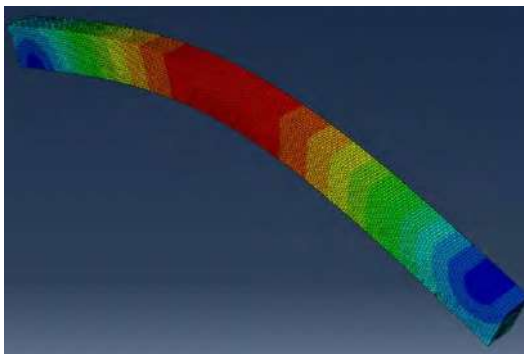


Figura 6.b

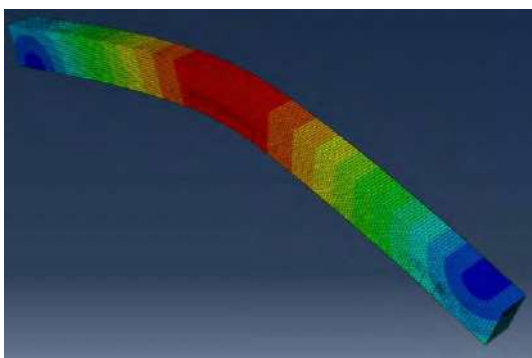


Figura 6.c

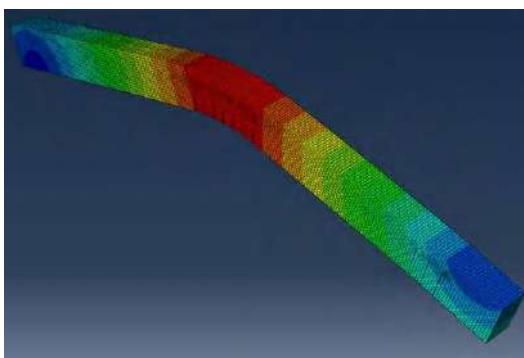


Figura 6.d

Între primele 3 figuri nu există diferențe foarte mari în urma unei inspecții vizuale, abia la ultima figură se observă o deformare mai proeminentă în zona mediană a grinzii. Pentru a observa mai bine diferențele au fost realizate cu ajutorul programului în Python grafice reprezentative fiecărui model.

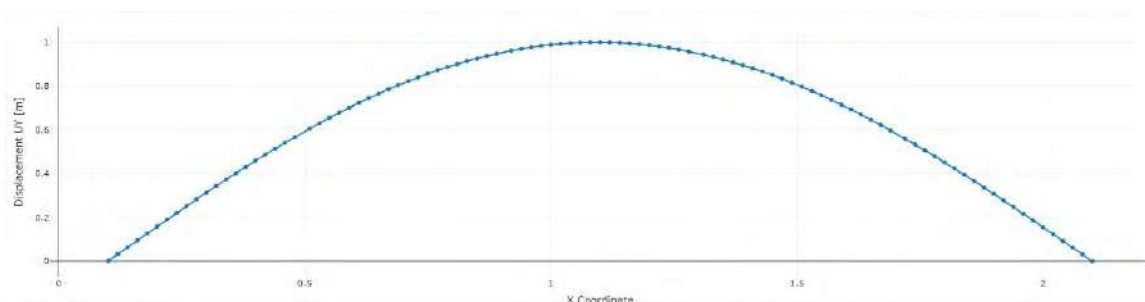


Figura 7.a. Graficul aferent modelului nefisurat

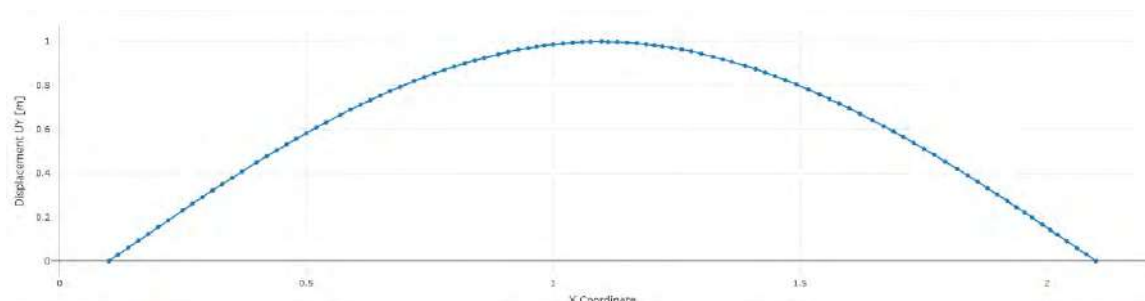


Figura 7.b. Graficul aferent modelului cu fisuri de 10 mm

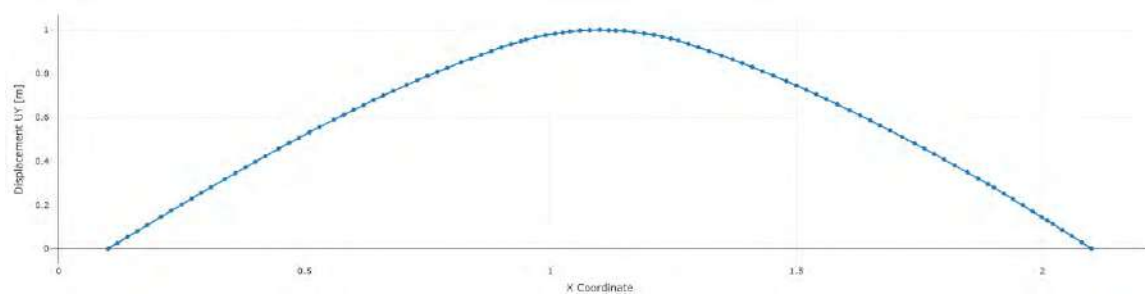


Figura 7.c. Graficul aferent modelului cu fisuri de 50 mm

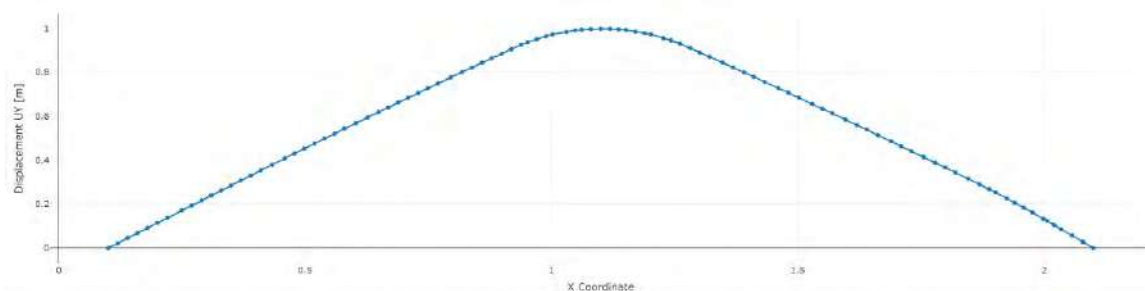


Figura 7.d. Graficul aferent modelului cu fisuri de 100 mm

În aceste grafice se observă o diferență considerabilă și între modelul cu fisuri de 10 mm și cel cu fisuri de 50 de mm, dar între cel nefisurat și cel cu avarii minore nu există o diferență vizibilă. De aceea am introdus prelucrarea datelor și utilizarea derivatei de ordinul II, care oferă o precizie sporită în detectarea avariilor minore.



După transmiterea datelor în Excel a fost aplicat un filtru care extrage toate punctele situate în centrul de greutate al secțiunilor în lungul axei X, iar apoi prelucrarea numerică a acestora a fost efectuată conform formulei din Figura 5, termenul “h” fiind distanța dintre punctul situat în secțiunea curentă și punctul din secțiunea precedentă, aceste date numerice fiind obținute în urma aplicării filtrului din Excel. Acest “h” variază între 7.983 mm și 8.333 mm din cauza prezenței fisurilor care afectează pasul de discretizare. Pentru a obține valorile derivatei de ordinul II s-a generat un grafic care arată cu precizie poziția fisurilor prin intermediul unei neregularități în grafic. Acest lucru se poate observa în Figura 8, unde este reprezentată grafic derivata de ordinul II a grinzii cu fisuri de 10 mm adâncime.

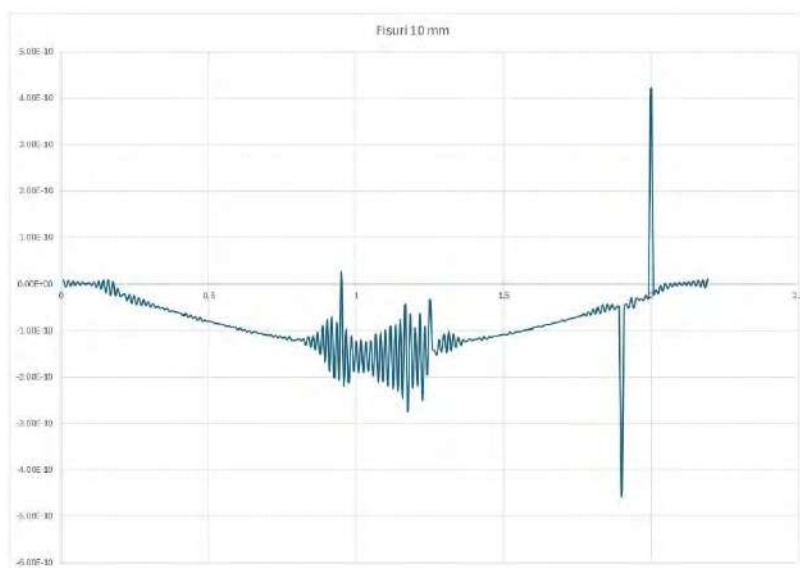


Figura 8. Afișarea poziției fisurilor

În figura de mai sus se observă un salt puternic în graficul derivatei de ordinul II, ceea ce indică începutul unei zone purtătoare de fisuri, exact în regiunea care a fost prelucrată în Abaqus pentru a simula o grindă avariată.

Exportarea în Excel și filtrarea împreună cu prelucrarea numerică a datelor s-a efectuat doar pentru modelul cu fisuri de 10 mm adâncime din cauza faptului că articolul se bazează pe detectarea avariilor minore la o grindă, iar pentru detectarea avariilor de o anvergură mai mare se pot utiliza alte metode.



5. Concluzii

Studiul de față demonstrează eficiența metodei curburii modale în detectarea și localizarea fisurilor în grinzi din beton armat, chiar și în absența datelor inițiale despre starea nedeteriorată a structurii. Prin modelarea 3D în Abaqus și integrarea unei aplicații dezvoltate în Python, a fost posibilă analiza automată a modurilor proprii de vibrație și evidențierea cu precizie a zonelor afectate de deteriorări. Rezultatele obținute confirmă că utilizarea derivatei de ordinul II a deplasărilor modale contribuie semnificativ la amplificarea diferențelor între stările structurale, permițând astfel identificarea chiar și a fisurilor superficiale. Această abordare poate servi ca bază pentru dezvoltarea unor instrumente eficiente de monitorizare structurală în timp real și evaluare nedistructivă a stării de sănătate a structurilor din beton.

BIBLIOGRAFIE

1. Pandey, A.K., Biswas, M., & Samman, M.M. (1991) – Damage detection from changes in curvature mode shapes
2. Fahime Sokhangou, Luc Chouinard, Pampa Dey, Luca Sorelli – A Reference-Free Machine Learning Approach for Damage Detection and Severity Assessment in Concrete Structures Using Modal Curvature and Outlier Detection Techniques
3. Doebling, S. W., Farrar, C. R., Prime, M. B., & Shevitz, D. W. (1996) Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics
4. Dassault Systèmes (2020) – suport tehnic pentru implementarea în Abaqus.



OPTIMIZAREA STRUCTURII DE REZISTENȚĂ PENTRU TURBINE EOLIENE DE MICI DIMENSIUNI

Autor/autori

D. GABRIAN¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:gabriandavid628@gmail.com](mailto:gabriandavid628@gmail.com).

Îndrumător/îndrumători

Prof.Dr.Ing. M. NEDELCU³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:mihai.nedelcu@campus.utcluj.ro](mailto:mihai.nedelcu@campus.utcluj.ro).

REZUMAT: *Lucrarea analizează proiectarea structurii de rezistență pentru un stâlp de susținere destinat unei turbine eoliene de mici dimensiuni. S-au estimat sarcinile acționate asupra acestuia, incluzând greutatea ansamblului și solicitările mecanice datorate vântului. Structura stâlpului este concepută modular, utilizând segmente de câte 2 metri, cu diametre și grosimi de perete variabile pentru optimizarea greutății și a stabilității. Materialul ales este un oțel structural S235, datorită rezistenței și costului redus. Lucrarea explorează, de asemenea, posibilitatea extinderii înălțimii stâlpului la 8, 10 sau 12 metri, păstrând aceleași principii constructive. Studiul subliniază importanța unei analize structurale detaliate pentru asigurarea unei rezistențe optime și a unei exploatare eficiente a turbinei eoliene.*

Cuvinte cheie: stâlp de susținere, greutatea, oțel structural S235, analiză structurală.

1. Introducere

Conform unui raport recent al Agenției Europene de Mediu, costurile economice generate de poluarea atmosferică provenită din instalațiile industriale din Europa au fost estimate între 102 și 169 miliarde de euro într-un singur an. [1] Aceasta afectând sănătatea publică și mediul înconjurător. O parte semnificativă a acestor daune este atribuită centralelor termoelectrice, în special celor care funcționează pe bază de cărbune. În acest context, tranziția către surse de energie regenerabilă devine o necesitate nu doar ecologică, ci și economică. România ocupă locul al șaselea în rândul celor mai mari poluatori industriali din Uniunea Europeană, potrivit unei liste recente publicate de Agenția Europeană de Mediu (AEM). [1]

Poluanții emiși în atmosferă de termocentralele pe bază de cărbune au efecte nocive asupra sănătății umane. Potrivit Organizației Mondiale a Sănătății, Agenției Europene de Mediu și altor organizații internaționale, acești poluanți contribuie la apariția bolilor respiratorii, cardiovasculare, oculare, dermatologice și neurologice, cresc riscul de cancer și accidente vasculare, și afectează dezvoltarea normală a plămânilor la copii.

În graficul de mai jos sunt prezentate principalele surse de energie electrică ale României în prezent: [2]

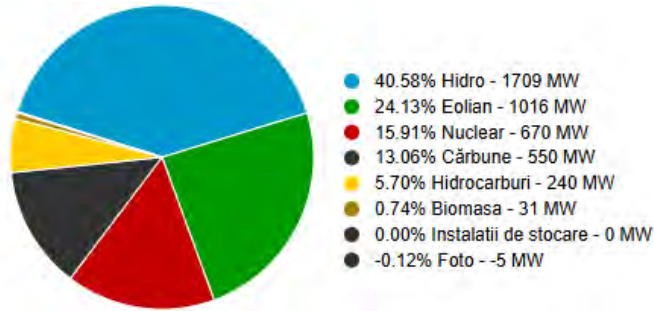


Figura 1. Sursele de energie ale României 2025

Cu toate că în topul surselor de energie electrică a României se află energia produsă de hidrocentrale și cea eoliană, sursele tradiționale nu lipsesc de pe listă. Mai bine de 30% dintre aceste surse provin din arderea cărbunelui sau a hidrocarburilor și energia nucleară, toate acestea prezentând un mare risc asupra sănătății oamenilor, pierderii recoltelor și alterarea stilului de viață cotidian.

Printre soluțiile viabile pentru diversificarea mixului energetic se numără turbinele eoliene de mici dimensiuni, care pot contribui la reducerea emisiilor în zonele rezidențiale sau semi-izolate. Lucrarea de față își propune să abordeze optimizarea structurală a unui stâlp metalic destinat susținerii unei turbine eoliene. Așadar scopul este de a îmbunătăți eficiența materială și comportamentul mecanic al structurii, contribuind astfel la dezvoltarea unor soluții sustenabile și accesibile pentru producția locală de energie verde.

2. Studiu de caz

După cum am menționat și mai sus această lucrare își propune să abordeze optimizarea structurală a unui turn pentru o eoliană de 6 m înălțime amplasat în afara localității Craiova. Mai jos voi prezenta etapele care au contribuit la finalizarea procesului de optimizare a structurii.

a. Caracteristicile materialelor utilizate

În ceea ce privește materialul ales pentru structura stâlpului, s-a optat pentru un oțel structural de clasă S235 cu limita de curgere caracteristică $f_{yk} = 235 \text{ MPa}$ și o densitate $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

b. Evaluare încărcărilor utile

După o evaluare a încărcărilor utile provenite din ansamblul turbinei, generator și coadă al eolienei și elicele acestuia s-au obținut două valori. Prima valoare obținută a fost o forță gravitațională de 2000 N (greutatea ansamblului), iar cea de a doua valoare a fost o forță laterală de 1500 N reprezentând forța generată de elice când vântul este aplicat pe acestea.

c. Forța generată de vânt

Calcul forței din vânt a început cu o viteză de referință a vântului $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$ corespunzătoare localității Craiova. În continuare s-au aplicat coeficienți de teren, direcție, sezon și orografie pentru a determina vitezele medii și de vârf la 6 m înălțime. De asemenea a fost calculată și intensitatea turbulenței și presiunea de vârf corespunzătoare. Ajunși în punctul de a calcula distribuția presiunii vântului pe înălțime ar fi fost necesar calcularea unui coeficient de presiune exterioară în funcție de numărul lui Reynolds și unghiul de

propagare al vântului pe secțiunea circulară. Din cauza lipsei de informații și explicații suplimentare în Eurocod [3] pentru calcularea unor valori intermediare s-a ales calculul unui alt coeficient, și anume coeficientul de forță (1). Acesta duce la o valoare rezultantă a forței din vânt (2) care ulterior este transformată într-o forță uniform distribuită pe cei 6 m înălțime având valoarea $q = 0,2103 \text{ kN/m}$.

$$c_f = c_{f_0} \cdot \psi_\lambda \quad (1)$$

unde c_f = coeficientul de forță, c_{f_0} = coeficientul de forță pentru cilindrii fără curgere liberă, ψ_λ = factorul efectului de capăt.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} \quad (2)$$

unde F_w = forța vântului, $c_s c_d$ = factorul structural, c_f = coeficientul de forță, q_p = valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului, A_{ref} = aria de referință.

d. Alegerea formei secțiunii

La o primă încercare am fi tentați să spunem că forma potrivită pentru un asemenea turn metalic este cilindrică, dar de fapt cea potrivită este conică, la următorul subtitlu voi exemplifica procesul prin care s-a ajuns la această formă.

e. Modelul numeric pentru optimizarea formei stâlpului

Pentru optimizarea formei structurale a stâlpului destinat susținerii unei turbine eoliene de mici dimensiuni, a fost implementat un model numeric în MATLAB. Acest model are ca scop minimizarea volumului total al materialului utilizat, sub constrângerea ca tensiunea maximă din stâlp să nu depășească limita de curgere a materialului și deplasarea la capătul liber al acestuia să nu fie mai mare decât $H/100$, adică 6 mm.

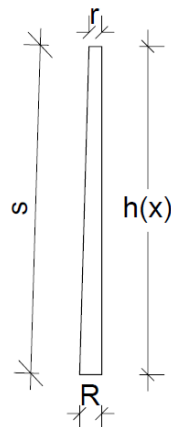


Figura 2. Secțiune trunchi con

Structura este un trunchi de con, cu rază variabilă de-a lungul înălțimii, definită printr-o rază superioară r_0 și o pantă s , astfel încât raza în funcție de înălțime devine (3):

$$r(x) = r_0 + s \cdot x \quad (3)$$

unde r_0 = raza din vârful trunchiului de con, s = panta, x = înălțimea.

Optimizarea s-a realizat cu ajutorul funcției *fminsearch*, aplicată unei funcții obiectiv care calculează volumul și penalizează configurațiile în care tensiunile și deplasările sunt prea mari. După identificarea parametrilor optimi, au fost evaluate distribuțiile de rază, arie, moment de încovoiere și tensiune pe înălțimea stâlpului.

Rezultatele prezentate în Figura 3 arată că forma optimizată respectă condițiile de rezistență și reduce semnificativ volumul materialului necesar, confirmând eficiența metodei propuse.

```
Optimal top radius r0 = 0.010000 m
Optimal bottom radius r_L = 0.134374 m
Optimal slope s = 0.020729
Minimum Volume V = 0.013607 m^3
Maximum stress = 135.12 MPa
delta_max =
0.0648
```

Figura 3. Rezultate obținute din MATLAB

De asemenea programul plotează un grafic cu variația tensiunii pe înălțimea turnului, unde punctul de 0 este capătul liber al stâlpului:

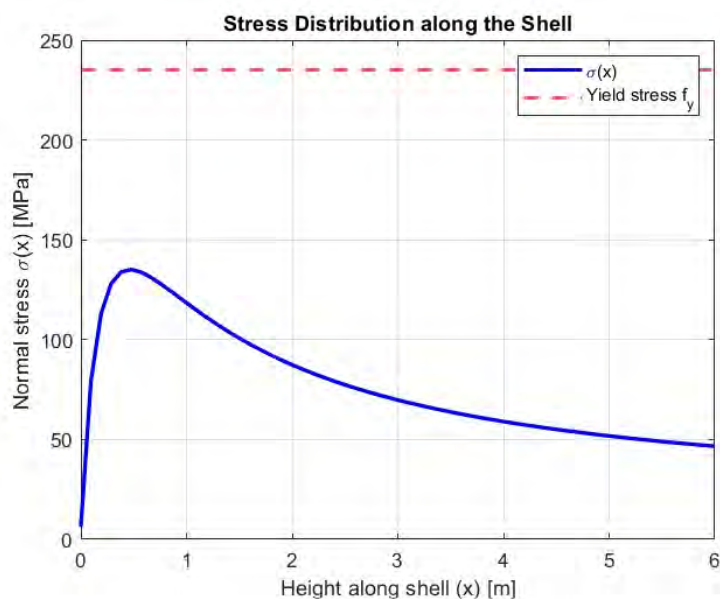


Figura 4. Curbă tensiune pe înălțime

f. Pregătire structură în Rhino3D

Înainte de a fi introdusă în programul de analiză structurală este nevoie ca scheletul structurii să fie desenat în Rhino3D. Pentru aceasta s-au folosit comenzi precum REVOLVE și exportare ca fișier DXF. Odată obținută forma 3D s-au generat elemente finite pătrate cu dimensiunea de 0,01 m, după care s-a exportat în programul de analiză structurală SAP2000 ca și un fișier DXF (în urma analizei structurii cu elemente finite mai mari s-a constatat o diferență în deplasările de la capătul liber de 12%, motiv pentru care s-a ales dimensiunea elementelor finite de 0,01m).

g. Modelare în SAP2000

Structura a fost importată în SAP cu elemente de tip shell atribuindu-se o grosime a shellului de 0,005 m:

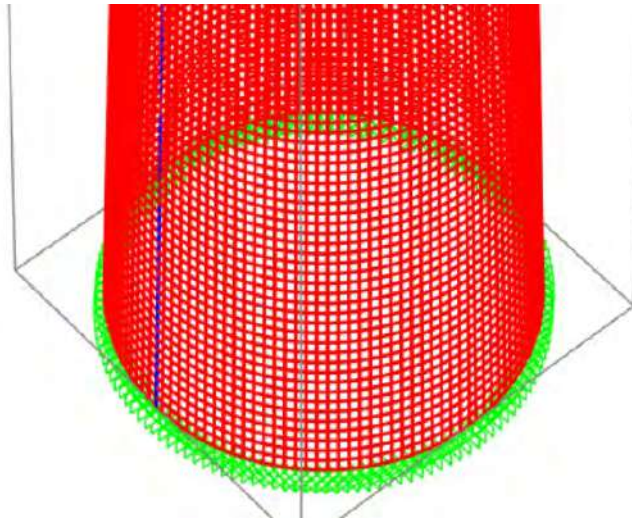


Figura 5. Elemente finite SAP2000

Următorul pas este definit de atribuirea încărcărilor menționate mai sus, forța verticală a fost împărțită ca și 128 forțe concentrate în cele 128 noduri din vârful stâlpului. Pentru forța orizontală s-a definit un mecanism de tipul diafragmă între cele 128 noduri din vârf după care a fost aplicată într-un singur nod. Iar forța din vânt a fost distribuită uniform pe un element de tip frame cu o rigiditate extrem de mică plasat pe aceeași axă verticală. Toate forțele aplicate au fost înmulțite cu un factor de multiplicare egal cu 1.

h. Rezultate SAP

Rezultatele analizei structurale s-au conformat așteptărilor, punctul de tensiune maximă fiind localizat la 5,53 m înălțime și având valoarea de aproximativ 117 MPa (Figura 6.).



Figura 6. Tensiuni maxime

i. Compararea rezultatelor din SAP cu cele din MATLAB

Conform valorilor rezultate din MATLAB, la aproximativ 0,47 m de la capatul liber s-a înregistrat valoarea maximă a tensiunii de 135,12 MPa. În programul de analiză structurală, la aceeași înălțime s-a înregistrat tensiunea maximă de aproximativ 117 MPa, diferența dintre cele două fiind de aproximativ 13%. În urma analizei efectuate, deplasarea maximă obținută în SAP2000 a fost de 0,0513 m (Figura 7.), în timp ce simularea realizată în MATLAB a indicat o valoare de 0,0648 m. Diferența procentuală dintre cele două rezultate este de aproximativ 26,2%, ceea ce sugerează că structura reală prezintă o rigiditate mai mare decât cea estimată prin modelul simplificat din MATLAB. Această diferență este justificabilă prin faptul că SAP2000 utilizează un model de calcul mai detaliat, care include influențe suplimentare precum distribuția exactă a maselor, condițiile de frontieră și rigiditatea geometrică pe întreaga structură.



Figura 7. Deplasare SAP

3. Concluzii

Lucrarea de față a evidențiat importanța proiectării optimizate a unui stâlp de susținere pentru turbine eoliene de mici dimensiuni, în contextul tranziției către surse de energie regenerabilă. Pornind de la estimarea încărcărilor reale aplicate asupra structurii – atât gravitaționale, cât și aerodinamice – s-a propus o geometrie conică, aleasă strategic



pentru a crește rigiditatea și a reduce consumul de material. Optimizarea numerică efectuată în MATLAB a permis obținerea unei forme eficiente din punct de vedere structural și economic, respectând criterii stricte de rezistență și deplasare admisibilă. Validarea modelului a fost realizată printr-o analiză comparativă în SAP2000, iar rezultatele au confirmat performanțele structurii propuse. Deși tensiunile și deplasările obținute au prezentat diferențe între cele două metode de calcul (diferență de 13% în tensiunea maximă și 26,2% în deplasarea maximă), această variație este explicabilă prin gradul diferit de complexitate al modelelor numerice. Modelul din SAP2000 include o discretizare mai fină, cu un control mai precis al condițiilor limită și al distribuției maselor, conducând la o estimare mai realistă a comportamentului structural.

Astfel, rezultatele obținute validează metodologia de optimizare propusă și confirmă potențialul utilizării structurilor conice din oțel S235 în cadrul proiectelor de energie eoliană de mică putere. Implementarea unor astfel de soluții poate contribui la diversificarea surselor de energie în mediul rural și semi-izolat, reducând totodată impactul asupra mediului și costurile de producție.

BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://www.greenpeace.org/romania/raport/1212/toxicitatea-carbunelui-costurile-de-sanatate-asociate-standardelor-slabe-propuse-de-ue-privind-poluarea-aerului/>
- [2] Transelectrica România - <https://www.transelectrica.ro/web/tel/sistemul-energetic-national>
- [3] EN 1991-1-4: 2005 - <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.4.2005.pdf>
- [4] SR EN 1991-1-4: 2006 - <https://magazin.asro.ro/ro/standard/249349>
- [5] <https://biblioteca.utcluj.ro/files/carti-online-cu-coperta/481-0.pdf>
- [6] <https://www.greenpeace.org/romania/articol/9725/de-ce-se-te-me-ministerul-energiei-de-energia-produsa-de-comunitati/>



CARACTERIZAREA MINERALO-PETROGRAFICĂ A GRANITOIDELOR DIN SUD – EST MUNȚII VÂLCAN

Autor/autori

E. MIHAIESCU¹, V.M. CIOABA²

¹Facultatea de Mine., Universitatea din Petrosani., , [e-mail: mihaiescu.elena.16@gmail.com](mailto:mihaiescu.elena.16@gmail.com).

²Facultatea de Mine., Universitatea din Petrosani., , [e-mail: vvali18@yahoo.com](mailto:vvali18@yahoo.com).

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr.Ing. C.M. NISTOR³

³Facultatea de Mine, Universitatea din Petrosani., [e-mail: nistor_catalin_marian@yahoo.com](mailto:nistor_catalin_marian@yahoo.com).

REZUMAT: Aceasta lucrare a fost realizată cu ajutorul conf.dr.ing. C.M.NISTOR în vederea utilizării pe scară largă a diverselor tipuri de roci în construcții, industria materialelor de construcții și în producția de materii prime necesită implicit o cunoaștere detaliată a caracteristicilor geo-mecanice ale acestora. Utilizarea rocilor la executarea diverselor lucrări este permisă numai dacă acestea se încadrează în anumite criterii de calitate. În acest context, în Laboratorul de Geomecanică din cadrul Universității din Petroșani a fost realizată o evaluare completă a proprietăților geo-mecanice ale rocilor din Masivul Vâlcăniș de Sud, în această lucrare prezentând numai o caracterizare mineralo - petrografică a rocilor studiate. Scopul principal al testelor de laborator a fost acela de a stabili dacă rocile provenite din această zonă geologică sunt adecvate pentru a fi utilizate în dezvoltări de construcții. Pentru atingerea acestui scop, caracteristicile determinate au fost comparate cu limitele impuse de standardele naționale care sunt în vigoare în prezent în România.

Cuvinte cheie: mineralogie, petrologie, roci, drumuri, construcții.

1. Introducere

Râul Jiu, în trecutul său geologic (și și astăzi), a fost o zonă importantă de roci epiclastice sedimentare (rămășițe), care abundă pe cursul râului de la izvor până la gura Dunării. [13], [9] Sunt definite ca roci epiclastice deoarece produsele lor provin de la limitele bazinului. În geologie, sunt cunoscute și sub alte denumiri, cum ar fi roci terigene pentru că au origine continentală sau roci detritice, deoarece resturile le-au provocat mecanice prin dezagregarea rocilor preexistente de pe suprafața Pământului.

Rocile epiclastice s-au format prin procese complexe de dezagregare mecanică (fragmentare progresivă) a rocilor aflate la baza scoarței de suprafață a Pământului sub influența factorilor exogeni.

Procesul de descompunere duce la fragmentarea rocii solide și la apariția așa-numitelor „clusters” care pot fi:

- litoclaste – adică fragmente de rocă;
- granoclaste – reprezentând boabe minerale din roci dezagregate.

Am făcut această afirmație deoarece agregatele de balast produse predominante în gropile de pietriș ale râului Jiu sunt litoclaste și granoclaste (sub formă de nisip).

Produsele studiate ale agregatelor de balast de pe râul Jiu sunt compuse numai din roci epiclastice necimentate (mobile), precum:

- roci psefitice (Rudyte) reprezentate de pietrișuri groase și grosiere, adică litoclaste și granoclaste de șisturi cristaline, granitoides (granite, grano - pietre verzi) și mai rar calcar;
- roci psamitice (Arenyte) reprezentate prin pietrișuri și nisipuri (granoclaste și mai rar litoclaste);

- roci aleuritico-petlitice (Silts –Lutites) reprezentate prin nisip fin și praf.

Abordarea sistematică a depozitelor epiclastice, bazată pe criterii de distribuție a mărimii particulelor, un criteriu larg acceptat și ușor de aplicat. Acesta a stat la baza clasificării agregatelor din gropile de pietriș studiate, împărțindu-le în patru clase de mărime: Psefiți, Psamiți, Aleuriți și Peliți (sau Rudytes, Arenytes, Silts și Lutytes, în etimologie latină). Dimensiunile clastelor sunt evaluate conform standardelor de gradăție pe scara UDDEN-WENTWERT, cu limite de 2 mm, 0,063 mm și 0,0039 mm. De asemenea, se menționează importanța științifică și economică a conceptului de „zonă sursă” în studiile petrografice recente ale rocilor epiclastice.

2. Zona sursă a agregatelor de pietriș pe debitul râului Jiu

Compoziția petrografică a unei „zone sursă”, care include toate rocile preexistente afectate de procesele de eroziune. Structura geologică a regiunii determină complexitatea compoziției petrografice a zonei sursă, care poate fi uniformă, compusă doar din roci magmatice, metamorfice sau sedimentare, sau diversificată, incluzând toate tipurile de roci, în funcție de bazinul hidrografic. Diversitatea petrografică a zonei sursă influențează natura granoclastelor și litoclastelor în sedimentele acumulate în bazinul adiacent. Textul se referă și la analiza bazinului râului Jiu, evidențiind diversitatea geologică și deschiderea naturală a zonei izvorului, care favorizează eroziunea mecanică a unei mari varietăți de roci. Râul Jiu, cu afluenții săi mai sus amintiți, traversează flancul sudic al munților Vâlcan și Parâng, prin structuri geologice cu o mare varietate de roci, apoi zona geografică a piemontului pentru a dezvolta o bandă în formațiunile sedimentare pliocene și cuaternare ale Depresiunii Gaetice.

În aceste condiții, diversitatea petrografică a zonei sursă se va reflecta în natura litoclastelor și granoclastelor existente în compoziția agregatelor de balast studiate: Ionești, Sărdănești, Drăgulești, Iezureni și Valea Sadului .[9]



Fig. 1.1 Locația gropilor de pietriș pe cursul mijlociu al râului Jiu

Produsele de pietriș ale râului Jiu își au zona de sursă în formațiunile geologice aparținând următoarelor unități tecto-genetice ale Carpaților Meridionali

- Autohtoni dunăreni;;
- Depresia Gaetică.

Diversele formațiuni geologice din zona râului Jiu și Munții învecinați. Napa Gaetică este compusă din șisturi mezo-katamorfe cristaline, cunoscute sub numele de Sebeș-Lotru Cristalin, care include gneisuri, paragneisuri, roci micacee, mica-șisturi, amfiboli, cuarțit, calcar cristalin și dolomit. Aceste formațiuni sunt greu de identificat în produsele de balast din râul Jiul de Est. Formațiunile similare apar și în Munții Pârang, Retezat și Vâlcan, iar produsele de balast în aval provin din zona sursă Autohtonul Dunării.

Mai sunt menționate Seria Vâlcan, formată din șisturi cristaline epi-metamorfe, și Seria Lainici-Păiuș și Seria Drăgășani, formate din șisturi cristaline și amfibolite. Aceste serii sunt surse semnificative pentru pietrișul din zona râului Jiu. De asemenea, masivele granitoide prehercinice, cum ar fi granitul, granodioritul și dioritele de cuarțit, sunt și ele surse importante de pietriș pe versantul sudic al Munților Vâlcan și Pârang. În plus, rocile sedimentare de pe acești versanți, incluzând calcarul organogen, gresii și marne, completează depozitele de pietriș ale râului Jiu. Aceste roci sedimentare fac parte din Învelișul Sedimentar al Autohtonului Dunării și sunt datate din perioada Carboniferului superior-Cretacicului inferior. [13]

Materialul sedimentar din zona sursă, inclusiv fragmente de antracit din Formația Schela (Carbonifer Superior), este regăsit în balastul gropilor de la Iezureni și Valea Sadu. Formațiunile pliocene din Depresiunea Gaetică, slab cimentate (argile, marne, nisipuri, cărbune), sunt ușor dezagregate și transportate de afluenții Jiului, contribuind la formarea componentei psametice a balastului de pe cursul mijlociu al râului.

3. Metodologie

Analiza a fost realizată în Laboratorul de Geomecanică al Universității din Petroșani, prin prelevarea de probe din cinci gropi de pietriș (Ionești, Sărdănești, Drăguțești, Iezureni și Valea Sadului) și două cariere de granitoide (Pleșa–Porceni și Meri). Determinările au inclus:

- analiza granulometrică;
- conținutul de argilă (STAS 4606/80);
- compoziția mineralogică prin lupă binoculară și microscop de polarizare;
- evaluarea gradului de rotunjire (Comparator vizual Ro);
- identificarea petrografică a litoclastelor. [3], [5], [6], [7]

4. Petrografia și compoziția mineralogică a produselor din gropile studiate

Pentru a aborda problemele teoretice și experimentale complexe legate de caracteristicile geologice și mecanice ale rocilor utilizate în infrastructura rutieră, am studiat cinci gropi de pietriș și două cariere. [11]

Cele cinci gropi de pietriș sunt situate pe cursul mijlociu al râului Jiu, între Filiași și Bumbești (Sadu), (Fig.1), pe raza localităților a căror denumire este luată:

Ionești, Sărdănești, Drăguțești, Iezureni, Valea Sadului.

Pentru compararea caracteristicilor geomecanice, au fost analizate produse din carierele de roci granitoide Pleșa–Porceni și Meri. Identificarea petrografică a materialelor din balastiere s-a

bazat pe observații directe ale litoclastelor mari (2–10 cm) și pe analiza microscopică a secțiunilor subțiri, în principal pentru evaluarea gradului de alterare a componentelor. Studiu efectuat pe litoclaste, în care a fost utilizat un comparator vizual pentru a analiza indicele de rotunjire (Ro). Aceasta a permis clasificarea litoclastelor din gropile de pietriș studiate în trei clase de angulație: sub-rotunjit, rotunjit și foarte rotunjit. Angularitatea agregatelor depinde de factori geologici, cum ar fi agentul și modul de transport, distanța parcursă și timpul de procesare. În cadrul studiului, au fost prelevate probe de nisip din balastiere pentru analiza compoziției mineralogice, realizată cu lupa binoculară după prelucrarea prin quartare, spălare și tratamente cu HCl. De asemenea, unele probe au fost analizate pentru conținutul de argilă conform STAS 4606/8. Probele pentru analiza mineralo-petrografică în secțiuni subțiri au fost colectate din carierele Pleșa–Porceni și Meri, utilizând microscopul de polarizare. Natura petrografică a gropilor de pietriș și a produselor din carieră. [11], [4]

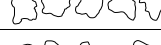
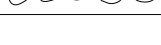
CATEGORII MORFOMETRICE	Angularitate	Indice de rotunjire	Aspect morfometric al granulelor
ANGULAR	3,00-2,00	1,125-0,250	
SUBANGULAR	1,90-1,60	0,268-0,330	
SUBROTUNJIT	1,50-1,10	0,353-0,466	
ROTUNJIT	1,00-0,60	0,500-0,660	
FOARTE ROTUNJIT	0,50,0,00	0,700-1,00	

Fig. 3.1 Comparator vizual destinat evaluării claselor de angularitate și rotunjire a clastelor

Caracteristicile petrografice ale balastului din diverse gropi de pietriș, inclusiv Ionești, Sărdănești, Drăguțești, Valea Sadu și Iezureni. Acest balast prezintă o mare diversitate litologică, incluzând cuarț, pegmatită, granit, șisturi, amfibolite și gneisuri, cu un grad variabil de rotunjire și procese de alterare (limonit, hematit). Gropile Ionești, Sărdănești și Drăguțești conțin litoclaste preponderent rotunjite, ceea ce sugerează un transport mai îndelungat, în timp ce Iezureni și Valea Sadu au litoclaste mai puțin rotunjite, indicând o distanță de transport mai mică și o energie mai scăzută a mediului de transport.

În ceea ce privește carierele Pleșa-Porceni și Meri, acestea sunt amplasate pe granitoide solide și se află pe un aliniament geologic denumit Aliniamentul Nedeu-Sadu-Șușița, care se întinde pe versanții sudici ai Munților Parâng și Vâlcan. Cariera Pleșa-Porceni este situată pe Valea Porcului, iar cariera Meri pe Valea Bratcu, ambele fiind afluenți ai râului Jiu. Această aliniere include granitoide pre-hercinice în concordanță cu Cristalina Lainici-Păiuș și are o textură porfiritică. Termenul de granitoides include mai multe soiuri de granit și granodiorite, dar și diorite cuarzifere, toate fiind însoțite de filoane de rocă precum pegmatita, aplit și lamprofir [11].

5. Compoziția minerală a gropii de pietriș și a produselor din carieră

Studiul mineralogic al nisipului (granule 2–0,05 mm) din gropile de pietriș evidențiază compoziția rocilor sursă. În Pietrișul Ionești predomină granoclastele de cuarț, cu variații de culoare de la alb lăptos la translucid și, rar, silex gri. Au fost identificate și feldspați (ortoclaz roz și alb) și lepidoblaste de muscovit cu luciu sidefat. Frația nisipoasă conține atât minerale



granoclaste, cât și litoclaste.

Fig. 4.1 Microfotografii ale compoziției mineralogice a nisipurilor (granoclastelor) din groapa de pietriș Ionești

Studiul nisipurilor din pietrișurile Ionești și Sărdănești evidențiază o compoziție mineralogică variată. La Ionești, pe lângă cuarțul abundent, apar granoclaste sporadice de turmalină și pirită, precum și litoclaste de cuarț, pegmatită, granit și sist cuarțito-grafitic. Se observă și litoclaste ciobite de lignit. În Sărdănești, nisipurile sunt dominate de cuarț, feldspat și muscovit, cu granoclaste de cuarț foarte rotunjite, uneori sticloase, de origine magmatică. Frația grosieră include litoclaste de cuarțit, pegmatit, granit și gneis, cu prezențe sporadice de cărbune. Feldspatul este reprezentat de ortoclază albă și roz [13], [3], [1].

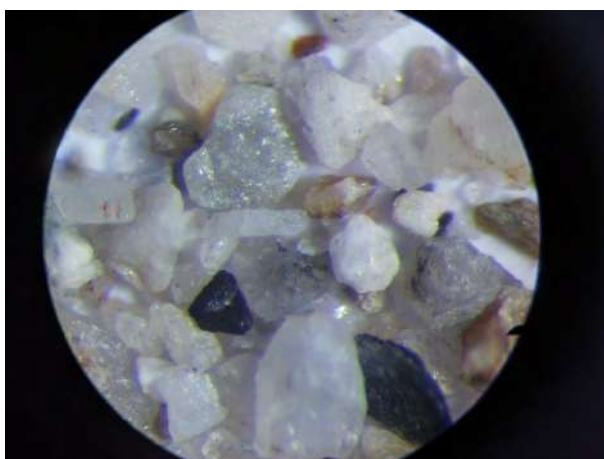


Fig. 4.2 Microfotografii ale compoziției mineralogice a nisipurilor (granoclastelor) din groapa de pietriș Sărdănești

Nisipurile din Pietrișul Drăguțești sunt bogate în granoclaste de cuarț, urmate de ortoclază și muscovit, cu un grad de rotunjire care variază de la rotunjite la subunghiulare. Se remarcă prezența semnificativă a lepidoblastelor și a muscovitului. În Pietrișul Iezureni predomină, de asemenea, granoclastele de cuarț, urmate de feldspați (ortoclază) și muscovit.



Nisipurile din Pietrișul Iezureni conțin preponderent granoclaste de cuarț, cu frecvență crescută a celor subunghiulare, indicând un grad redus de rotunjire. Frația brută este dominată de litoclaste albe și cenușii, amfibolit, pegmatit și granit, cu prezențe semnificative de antracit și lignit, ultimele în formă ciobită sau semi-rotunjită.

În Pietrișul Valea Sadului predomină granoclastele de cuarț, feldspat (ortoclază) și lepidoblaste de moscovit, mai frecvente în gropile aflate în aval. Frația brută include litoclaste de cuarțit, pegmatit, gneisuri amfibolice, granite, șisturi de grafit și antracit.

Carierele Pleșa–Porceni și Meri exploatează roci granitoide, precum granit, granodiorit, diorit și pegmatit. Mineralogia acestor roci include cuarț, feldspați (ortoclază, oligoclază), mică (muscovit, biotit) și hornblendă, cu minerale accesorii precum magnetita și pirita. Alterările frecvente determină aspecte tulburi ale suprafețelor mineralelor, cu o structură holocristalină și textură gneisică (masivă sau orientată). Sunt identificate soiuri precum granit cu biotit, granit cu muscovit și biotit, porfir de granit și gneis de granit.

Granodioritele prezintă o paragenză minerală similară granitului, dar conțin în proporții mai mari feldspat plagioclaz, biotit și hornblendă, lipsind muscovitul. Se caracterizează prin aceleași procese de alterare ca granitul, având o structură holo-cristalină și o textură masivă, neorientată.

Dioriții sunt alcătuiți din feldspat plagioclastic acid și neutru, biotit, hornblendă și cuarț, cu accesorii precum magnetita, titanul și ilmenita. Alterările frecvente includ clorizări și limonitizări, iar structura este holo-cristalină cu textură compactă, masivă și neorientată. În gropile de pietriș studiate predomină dioritele cuarțifere.

Pegmatitele apar sub formă de vene mici (de la câțiva inci până la decimetri), compuse din cuarț și ortoclază. Acestea au o structură neorientată și o textură grosieră, masivă, holo-cristalină.

6. Conținutul de argilă în nisipurile din gropile studiate

Etapele de pregătire a probei de nisip, pentru determinarea compoziției mineralogice și am constatat prezența particulelor de argilă în cantități variate, de la o balastieră la alta.

Determinarea conținutului de argilă al nisipului este important de știut, deoarece influențează caracteristicile geologice și mecanice ale acestuia, dacă este utilizat în infrastructura rutieră.

Pentru a determina conținutul de argilă din balastul de nisip studiat am folosit STAS 4606/80, obținându-se următoarele rezultate:

- Ionești Gravel Pit; $Pa=0.2773\%$;
- Sărdănești Gravel Pit; $Pa=0.2153\%$;
- Drăguțești Gravel Pit; $Pa=0.0186\%$;
- Iezureni Gravel Pit; $Pa=0.0098\%$;
- Valea Sadului Gravel Pit; $Pa=0.0047\%$

Există o creștere a conținutului de argilă între gropile de pe Valea Sadu și Ionești, cauzele fiind numeroase, astfel:

- Conținutul de argilă crește odată cu scăderea vitezei agentului de transport (apa râului Jiu);
- La ieșirea din defileu, curgerea râului Jiu traversează formațiunile mai tinere (pliocen) ale Depresiunii Gaetice, mai puțin coezive, care au implicat fragmentele și le suspendă în curgerea apei;
- Mișcarea albiei unui pârau, albie (zonă) de apă, cu o anumită viteză, mecanismul poate genera o așa-numită „forță de ridicare”, inducând un antrenament de ascensiune a clusterelor aleuritice sau pelitice, până la o distanță mai mare decât diametrul particulelor;



- După încetarea forței de ascensiune, din cauza inerției particulele aleurito-pelitice mai pot fi deplasate pe distanțe scurte;
- Când vâscozitatea fluidului purtător învinge inerția, aleurito-peliticul se clătește pe substrat, din cauza gravitației.

7. Concluzii

Produsele de pietriș studiate, încadrați în sistematica rocilor sedimentare sub denumirea de roci clastice necimentate (epiclastice sau silicio-clastice terigene), au fost analizate atât petrografic cât și mineralogic. Acestea includ roci psefitice, psamitice și aleuritico-pelitice, caracterizate printr-o compoziție variată și un grad de alterare redus.

Pe baza determinărilor fizico-mecanice (conținut de argilă, compoziție mineralogică, grad de rotunjire, prezența mineralelor dure și stabile, absența componentelor dăunătoare precum praful de cărbune sau fracțiunile argiloase excesive), se poate concluziona că agregatele de balast din gropile studiate îndeplinesc cerințele standardelor naționale în vigoare (STAS 4606/80 și altele relevante) și sunt adecvate pentru utilizare în lucrări de construcții, în special în infrastructura rutieră.

Această concluzie este susținută de:

- valorile reduse ale conținutului de argilă (sub 0,3%);
- predominanța cuarțului și feldspaților în compoziție;
- prezența agregatelor cu grad avansat de rotunjire și compoziție omogenă.

Prin urmare, rocile provenite din balastierile analizate pot fi utilizate în domeniul construcțiilor, cu respectarea cerințelor tehnice specifice fiecărui tip de lucrare (de exemplu, substrat pentru terasamente, umpluturi, beton rutier sau filtre de drenaj), conform evaluărilor efectuate în această lucrare.

Analiza petrografică și mineralogică a agregatelor de balast provenite din gropile situate pe cursul mijlociu al Jiului demonstrează o compoziție litologică variată, dar stabilă. Mineralogia favorabilă, gradul ridicat de rotunjire, precum și lipsa materialelor argiloase sau a impurităților dăunătoare, recomandă aceste materiale pentru utilizare în industria construcțiilor.

Prin urmare, rocile din balastierile analizate sunt conforme cu standardele tehnice în vigoare și pot fi utilizate cu succes în domeniul ingineriei civile, cu precădere în infrastructura rutieră și terasamente.

Direcții viitoare de cercetare

- Extinderea testelor geo-mecanice (rezistență la compresiune, încercări triaxiale);
- Evaluarea comportamentului la cicluri de îngheț-dezghet;
- Studiul impactului asupra mediului prin valorificarea balastului la scară mare.

Din cele expuse mai sus putem concluziona ca rocile din balastierile studiate sunt conforme cu standardele in vigoare pentru utilizarea in domeniul ingineriei civile, pentru ca nu au fost observate in masa acestora roci dăunătoare cum ar fi Praful de cărbune sau rocile argiloase.

BIBLIOGRAFIE



1. Budhu, M. (2020). Soil Mechanics Fundamentals. 4th Edition, Wiley.
2. Cod de proiectare geotehnică – Partea 1: Generalități. NP 074-2022.
3. SR EN ISO 17892 (seria 1–12) – *Metode de încercare pentru recunoașterea geotehnică a solurilor* (ultima versiune actualizată).
4. Lungu, I., & Dinescu, R. (2020)- *Mecanica pământurilor și lucrări geotehnice*. Editura Conspress.
5. SR EN ISO 4606/80 – Agregate naturale grele pentru betoane și mortare cu lianți minerali. Metode de încercare
6. SR EN ISO 1242/2-1983 – Teren de fundare. Cercetări geologico-tehnice și geotehnice specifice traseelor de căi ferate, drumuri și autostrăzi
7. SR EN ISO 1913/5-1985 – Teren de fundare. Determinarea granulozității
8. Danciu C., Moisuc-Hojda Daniel (2023)- *Geologie Inginerească-îndrumător laborator*, Editura Universitas, Petroșani
9. Buia Grigore, Nimara Ciprian (2018) – *Geografie Economica*, Editura Focus, Petroșani
10. Buia Grigore, Lorint Csaba R. (2011)- *Geologie*, Editura Universitas, Petroșani
11. ANASTASIU, N., - *Sedimentologie și petrologie sedimentară*, Ediție adăugită, Ed. Universității din București, 1998;
12. MUTIHAC V., *Geologia României*, Editura Tehnică București, 1994.
13. Rebrîșoreanu Mircea, Buia Grigore (1997)- *Geologie Generală*, Litografia Universității, Petroșani



TESTAREA PERFORMANȚEI MODELELOR EXISTENTE DE AI ÎN DETECTAREA DEGRADĂRILOR STRUCTURALE ALE PODURILOR

Autor/autori

Anamaria I. TOMPA (Cas. VIRVARUTI)

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: virvarutianamaria06@gmail.com](mailto:virvarutianamaria06@gmail.com)

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Alexandra DANCIU

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Alexandra.Danciu@cfdp.utcluj.ro](mailto:Alexandra.Danciu@cfdp.utcluj.ro)

Conf.Dr.Ing. Zsolt ORBAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Zsolt.Orban@cfdp.utcluj.ro](mailto:Zsolt.Orban@cfdp.utcluj.ro)

REZUMAT: În cadrul acestei lucrări se ia în considerare clasificarea unor defecte care pot apărea la podurile rutiere din beton armat și/sau precomprimat. Pentru fiecare tip de defect se vor prezenta o serie de fotografii surprinse la poduri existente, în cadrul cărora defectul se evidențiază. În continuarea lucrării se vor studia modelele de inteligență artificială care se găsesc în prezent în online, dintre acestea se vor alege cateva care recunosc, pe baza fotografiilor, defectele ce sunt reprezentate în acestea. Se urmărește o analiză a acestor modele AI și a procentului în care acestea ar putea să ajute la identificarea defectelor, în cadrul lucrărilor de expertizare a podurilor.

Cuvinte cheie: defecte poduri, fisurare, coroziune, dezagregare.

1. Introducere

În prezenta lucrare s-a pus accentul pe analizarea unor defecte la poduri, deoarece se știe ca un procent important din podurile de pe rețeaua de căi ferate și drumuri din România au durată de viață care depășește 50 ani, apropiindu-se unele de 100 ani [1], și este necesară aducerea lor la o clasă tehnică actuală, deoarece din 2010 în România s-au introdus Eurocod-urile cu aplicabilitate la podurile noi, care se impun a fi proiectate la încărcările și grupările de acțiuni, specifice noilor standarde [4].

În urma expertizelor efectuate la o serie de poduri, s-a constatat că în mică măsură s-a intervenit pentru refacerea hidroizolației, respectiv a plăcii de suprabetonare, ceea ce conduce la degradări importante ale podurilor de beton.

Podurile care prezintă defecte majore sunt un pericol pentru participanții la trafic. Se cunoaște cât de multe accidente rutiere au avut loc în ultimii ani, poduri care au intrat în colaps din cauza lipsei unei mentenanțe corespunzătoare, de exemplu Morandi Bridge [5] s.a. De asemenea, fiecare defect regăsit la un pod, impactează în mod negativ durata de viață a acestuia, astfel că datoria noastră, a inginerilor, nu este doar să construim, ci și să implementăm și anumite sisteme care ajută ca podul să aibă o durată de viață cât mai lungă.

În ceea ce urmează, vă vor fi prezentate o serie de defecte regăsite la structurile de poduri din beton armat și/sau precomprimat surprinse în imagini care au fost analizate cu ajutorul inteligenței artificiale, urmărindu-se dacă aceste modele AI recunosc defectele și totodată în ce măsură o fac.

De-a lungul timpului, s-a mai încercat urmărirea defectelor în domeniul drumurilor, al podurilor dar și al structurilor din beton cu ajutorul AI, sau prin rețele neuronale, de exemplu

Cercetarea Universității Catolice din Australia a dezvoltat o metodă pentru monitorizarea în timp real a sănătății structurale a podurilor, folosind podurile Chumchup, Gocong, Ongdau și Ongnhieu din Vietnam pentru a o testa; acest nou program de inteligență artificială utilizează datele de vibrație ale podurilor pentru a identifica cu exactitate defectele structurale minore înainte ca acestea să devină critice și apoi poate alerta echipajele de întreținere.

2. Metodologia cercetării

Metodologia urmată pentru realizarea acestei cercetări presupune următorii pași: Selectarea unei serii de 60 imagini realizate personal în cadrul expertizelor la care am luat parte, la diferite poduri de beton armat și/sau precomprimat. Pentru fiecare defect principal analizat s-au selectat undeva la 9-10 fotografii. S-au analizat fotografiile prin prisma normativelor românești, care permit realizarea expertizei tehnice a podurilor de beton [1,2], urmărind defectele care pot fi constatate vizual pe fiecare fotografie. Toate imaginile au fost introduse în 3 modele existente de AI pentru a testa capacitățile acestora de identificare a defectelor. Aceste modele AI, au fost cele care au răspuns cel mai bine, mai tehnic cerințelor lucrării și au fost alese din platforma Blackbox AI, care conține zeci de modele de inteligență artificială, însă nu toate sunt gândite să poată analiza imagini. Modele nu au necesitat antrenare, ele recunoscând defectele din poze (fiind probabil preantrenate). Din cele 60 imagini analizate vor fi prezentate în lucrare 5, datorită constrângerii de spațiu. Imaginile alese înglobează cele mai multe dintre defectele studiate.



Figura 1. Banchetă cuzineți



Figura 2. Pilă



Figura 3. Pilă



Figura 4. Vedere de jos platelaj



Figura 5. Intrados grinzi

În aceste imagini se observă câteva defecte uzuale ale podurilor :

1. Pete de rugină- se caracterizează prin prezența pe suprafața betonului a unor pete roșcat-maronii (rugină) de forme și mărimi diferite; acestea pot fi cauzate de coroziunea unor aparate de reazem sau a unor elemente metalice din suprastructură, corodarea armăturilor, folosirea unor cofraje metalice corodate la suprafața de contact cu betonul.
2. Infiltrații- reprezintă pătrunderea apei în masa betonului și au ca efect apariția unor urme sau pete pe suprafața acestuia; cauzele pot fi: o scurgere deficitară a apelor, betoane cu o permeabilitate crescută.
3. Coroziunea armăturii- este un proces chimic sau electrochimic, ea se produce la suprafața armăturii sub acțiunea oxigenului din apă și a unor agenți agresivi. Coroziunea



armăturii este evidențiată prin pete de rugină pe suprafața acesteia, prin fisuri pe suprafața traseului armăturii, exfolieri, desprinderi ale betonului și corodări ale armăturilor descoperite.

4. Exfolierea betonului- se caracterizează prin desprinderea unor zone din beton, de regulă stratul de acoperire al armăturilor și pot fi cauzate de fenomene de îngheț-dezghet repetate, coroziunea betonului, coroziunea armăturii, acțiuni mecanice accidentale, acțiuni seismice.
5. Fisuri sau crăpături ale betonului- reprezintă ruperea betonului, având, în cazul fisurilor, deschideri $< 2\text{mm}$ și al crăpăturilor $> 2\text{mm}$, acestea pot fi cauzate de depășirea rezistenței la întindere a betonului, contracția betonului, coroziunea armăturii, execuția necorespunzătoare sau acțiuni seismice;

După identificarea și descrierea tehnică a acestor câtorva defecte uzuale, surprinse în imagini, s-a încercat introducerea pozelor în trei modele distincte de AI, modele care sunt capabile să analizeze și poze, sunt antrenate în avans, astfel s-au ales : GBT-4.1-Nano [3], LLAMA-4-Maverick [3] și Grok 3 Mini Beta [3].

3. Rezultate

În urma analizei fiecărei imagini, de către toate din cele trei motoare de căutare AI, s-au obținut următoarele:

3.1 FIGURA 1.

GBT-4.1-Nano. Defecte recunoscute:

Crăpături și fisuri – există fisuri mari și zone de crăpături în beton, ceea ce indică probleme structurale sau stres excesiv.

Degradare a betonului – suprafața betonului este afectată, cu zone de dezintegrare și exfoliere, ceea ce poate compromite rezistența și durabilitatea.

Rugină și coroziune – dacă se observă armătură expusă sau ruginită, aceasta indică coroziune, care slăbește structura metalică;

LLAMA-4-Maverick

Defecte recunoscute:

Crăpături în beton: prezența unor crăpături semnificative în structura de beton, care pot indica o problemă de stabilitate; substrat deteriorat: betonul pare să fie distrus în anumite zone, ceea ce sugerează o degradare avansată; corodare a armăturii: vizibile urme de rugină pe barele de armătură expuse, ceea ce poate afecta rezistența structurală.

Grok 3 Mini Beta

Defecte recunoscute: Crăpături - Prezența unor crăpături vizibile în beton, care pot indica probleme structurale; Degradare a betonului: Betonul pare să fie deteriorat, cu porțiuni erodate, ceea ce sugerează expunerea la condiții climatice nefavorabile sau insuficientă întreținere.

Corodare: Urme de rugină pe armătură, ceea ce poate sugera că umiditatea a afectat structura internă. Pătare: Patarea de pe suprafață poate indica existența umidității sau a altor contaminanți, care pot compromite integritatea materialului.

3.2 FIGURA 2.

GBT-4.1-Nano

Defecte recunoscute: Degradare a suportului de beton – betonul de pe suportul vertical pare să fie deteriorat, cu zone de exfoliere și fisuri, indicând uzură sau probleme de calitate.

Corodare și rugină – armătura sau elementele metalice vizibile sunt ruginite, ceea ce sugerează coroziune și expunere la umiditate. Degradare a betonului și a suprafeței – suprafața betonului pare afectată de dezintegrare și praf, ceea ce poate compromite integritatea structurală



dacă se extinde. Infiltrații de apă sau umiditate – petele de pe suportul vertical pot indica infiltrații de apă, accelerând coroziunea armăturii și degradarea materialului.

LLAMA-4-Maverick

Defecte recunoscute: Coroziune a elementelor de susținere: Se observă rugină pe stâlpi, ceea ce indică deteriorarea metalului. Deteriorare a betonului: Există fisuri pe suprafața stâlpilor, ce sugerează posibile defecte structurale. Execuție necorespunzătoare: Porțiuni de beton lipsă sau exfoliate, care afectează integritatea structurală. Probleme legate de drenaj: Prezența vegetației și a apei în jurul fundației poate indica o problemă de drenaj, care contribuie la deteriorarea structurală. Instabilitate potențială: Deteriorarea vizibilă poate conduce la instabilitate, agravată prin condiții meteorologice extreme.

Grok 3 Mini Beta

Defecte recunoscute: Corodare a betonului: Se observă deteriorarea suprafeței, cu crăpături vizibile. Deteriorarea armăturii: În unele zone, armătura metalică este expusă, indicând o posibilă oxidare și slăbire structurală. Descompunerea betonului: Betonul prezintă exfoliere în zone, unde piesele de beton s-au desprins. Umiditate excesivă: Prezența vegetației sugerează posibile probleme cu drenajul. Instabilitate structurală: Aceste defecte pot conduce la compromiterea stabilității structurale a suportului.

3.3 FIGURA 3.

GBT-4.1-Nano

Defecte recunoscute: fisuri și crăpături în beton – fisurile vizibile, mai ales în zona de contact între elemente, indică stres sau probleme structurale. Degradare a betonului – zonele afectate de exfoliere și dezintegrare pot slăbi rezistența și durabilitatea structurii. Dezintegrare și desprindere a materialului – fragmente de beton desprinse și praf, semn de uzură accelerată sau defecte în turnare. Corodare și rugină – dacă se observă pete de rugină sau armătură expusă, aceasta indică coroziune, reducând rezistența și durabilitatea. Posibile infiltrații de apă – fisurile și zonele deteriorate pot permite infiltrarea apei, agravând coroziunea armăturii și degradarea betonului.

LLAMA-4-Maverick

Defecte recunoscute: coroziune a armăturii: prezența ruginii pe armătura metalică, ceea ce poate indica deteriorarea structurală și o pierdere a integrității. crăpături în beton: observați crăpăturile aparente pe suprafața betonului, care pot contribui la infiltrarea apei și la deteriorarea ulterioară. Decolorație și eroziune: suprafața betonului are zone de decolorare și eroziune, indicând o posibilă expunere la condiții adverse (umiditate, produse chimice). Deteriorarea stratului de finisare: stratul superficial al betonului pare să fie deteriorat prin exfoliere, ceea ce poate afecta și aspectul estetic al structurii.

Grok 3 Mini Beta

Defecte recunoscute: fisuri pe suprafața betonului: prezența unor fisuri vizibile care pot indica o degradare structurală. rugină pe armătură: semne de rugină pe barele de armătură, ceea ce sugerează o expunere la umiditate și o posibilă deteriorare a rezistenței structurale.

Dezintegrarea betonului: patches de beton care par a fi degradate sau desprinse, ceea ce poate afecta integritatea structurală. textură inegală: o textură inegală a suprafeței betonului, care poate indica probleme în procesul de aplicare sau că se află în stadiu avansat de deteriorare.

3.4 FIGURA 4.

GBT-4.1-Nano

Defecte recunoscute: fisuri și crăpături în beton – fisurile vizibile, în special în zona de contact între elemente, indică stres, uzură sau probleme în procesul de turnare, ceea ce poate compromite integritatea structurală.

Degradare a betonului – zonele afectate de exfoliere, dezintegrare și pete de uzură reduc rezistența și durabilitatea. Corodare și rugină – dacă se observă pete de rugină, aceasta indică



coroziune, reducând rezistența armăturii și a structurii. Infiltrații de apă – fisurile pot permite infiltrarea apei, agravând coroziunea armăturii și deteriorarea betonului.

LLAMA-4-Maverick

Defecte recunoscute: fisuri și crăpături: aparentă crăpături în betonul suportului. corodare: prezența ruginii pe grinzi, indicând corodare a armăturii din metal. Umiditate și vegetație: zone cu mucegai sau licră verde, ceea ce sugerează acumulare de umiditate. Dezintegrare a betonului: betonul pare să fie erodat la unele părți, ceea ce poate duce la pierderi structurale.

Materiale Spațiale: umezeala localizată în jurul suportului, ceea ce poate compromite stabilitatea.

Grok 3 Mini Beta

Defecte recunoscute: coroziune: observați urme de rugină pe structura metalică, ceea ce poate indica degradarea materialului și scăderea rezistenței structurale. Degradare a betonului:

Există zone cu exfoliere și crăpături vizibile pe suprafața betonului, ceea ce poate afecta integritatea structurală. Murdărie și alge: prezența mucegaiului sau a algelor pe suprafața betonului, ceea ce poate indica probleme legate de drenaj sau umiditate excesivă.

Lipsa de întreținere: semnele de degradare sugerează că structura nu a fost întreținută corespunzător de-a lungul timpului, ceea ce poate duce la probleme și mai grave.

3.5 FIGURA 5.

GBT-4.1-Nano

Defecte recunoscute: fisuri și crăpături în beton – fisurile vizibile, mai ales în zona de contact între elemente, indică stres sau probleme structurale, care pot compromite siguranța.

Degradare a betonului – zonele afectate de exfoliere și dezintegrare reduc rezistența și durabilitatea. Corodare și rugină – dacă se observă pete de rugină, aceasta indică coroziune, reducând rezistența armăturii și a structurii. Infiltrații de apă – fisurile permit infiltrarea apei, accelerând coroziunea armăturii și deteriorarea betonului. Dezintegrare a materialului – fragmente de beton desprinse și zone de exfoliere pot duce la agravarea deteriorării și slăbirea structurii.

LLAMA-4-Maverick

Defecte recunoscute: umiditate și mucegai: prezența petelor de mucegai și umiditate pe pereții superior sugerează o problemă de ventilație sau infiltrații de apă. rugină: coroziunea metalelor (chain) indică o expunere la condiții umede, ceea ce poate slăbi structura. Deteriorarea betonului: betonul pare crăpat și deteriorat, ceea ce poate afecta integritatea structurală a construcției. Fără acoperire corespunzătoare: o zonă expusă fără protecție adecvată, care poate accelera deteriorarea materialelor.

Grok 3 Mini Beta

Defecte recunoscute: umiditate și mucegai: prezența petelor de mucegai pe pereți indică probleme cu umiditatea. Rugină: coroziunea vizibilă a metalului (cablurile sau armătura) sugerează expunerea la apă și îmbătrânirea materialelor. Crăpături: crăpăturile pe suprafața betonului pot indica o degradare structurală și necesită evaluări suplimentare. Dezintegrarea betonului: eroziunea și desprinderea stratului de beton sugerează o deficiență în durabilitatea materialelor folosite. Structuri suspendate slab fixate: Cablurile suspendate pot reprezenta un risc structural, indicând că structura nu este adecvat fixată sau întreținută.

În urma acestor recunoașteri făcute de cele 3 aplicații AI, pentru o ușoară urmărire a capacității lor, s-a întocmit următorul tabel centralizator al defectelor recunoscute.

După cum se observă, toate defectele ce au fost expuse și detaliate anterior, conform AND 534-1998, sunt recunoscute de către cele trei modele AI, însă nu atât de detaliat, sau nu sub aceiași denumire, se poate spune că procentul de recunoaștere al acestora este de cca. 70%.

Tabel 1. Defecte recunoscute de către cele trei aplicații AI



Nr. Crt.	DEFECTE	01.GBT-4.1-NANO	02.LLAMA-4-Maverick	03-Grok 3 Mini Beta
1	Pete de rugină	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul ca și mucegai	Recunoaște defectul ca și murdarie
2	Infiltrații	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul
3	Coroziune	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul
4	Exfoliere	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul ca și exfoliere și deteriorare	Recunoaște defectul ca și degradare și dezintegrare
5	Fisuri sau crăpături	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul	Recunoaște defectul

4. Concluzii

În urma analizei tuturor fotografiilor din setul propus și al comparării defectelor recunoscute de către modelele AI cu cele prevăzute în AND 534-1998, s-a ajuns la următoarele concluzii: Inteligența artificială ar putea fi extrem de utilă în recunoașterea defectelor la structurile de poduri din beton armat și precomprimat, făcând fața discernerii între defectele uzuale care apar la structuri, însă deocamdată, din acest studiu, reiese că limbajul tehnic nu este unul întocmai potrivit, recunoașterea în profunzime nu este făcută, nu se dau detalii de gravitate ale defectelor, de exemplu, în cazul fisurilor și al crăpăturilor, nu se discerne exact dacă în imagine este fisură sau nu, nu se recunoaște în detaliu, ceea ce ar însemna ca ar mai fi de lucrat, fie prin încercarea de a folosi niște rețele neuronale antrenate, care să redea cu o fidelitate mai mare ceea ce văd în imagini, fie prin antrenarea acestor modele, astfel încât să se plieze mai bine pe ceea ce se dorește a fi obținut.

S-a încercat și decuparea fotografiilor, astfel încât în acestea să se regăsească doar unul dintre defectele care au făcut obiectul lucrării, însă în această situație, modelele AI nu au înțeles nimic din decupaj și nu au fost capabile să descrie ceea ce se vedea în imagini.

Pe viitor se dorește abordarea acestui subiect și poate reușirea de a se antrena acești boți, astfel încât să redea cât mai fidel posibil, cât mai detaliat și cât mai în ajutorul inginerilor și al experților tehnici toate defectele ce pot apărea la poduri, recunoscându-le în profunzime, deoarece este necesară o evoluție și reușita de a da soluții cât mai aproape de realitate pentru toate eventualele probleme care pot afecta durata de viață a unei structuri rutiere sau siguranța circulației.

BIBLIOGRAFIE

1. AND 534-1998. Manual privind identificarea defectelor la poduri.
2. Viorel Gabriela, Poduri de beton. Intretinere si Reparatii , UTPress.
3. <https://www.blackbox.ai/>
4. metodologie de evaluare a aptitudinii de exploatare a podurilor rutiere corespunzătoare cerințelor clasei “e” de încărcare – conform eurocod-uri <https://www.mdipa.ro/userfiles/Metodologie.pdf>
5. https://ro.wikipedia.org/wiki/Ponte_Morandi
6. Yoram Reich, Artificial Intelligence in Bridge Engineering in Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 11(6):433 - 445, 2008, DOI: 10.1111/j.1467-8667.1996.tb00355x
7. Barbara Vonarburg, Artificial intelligence helps with the design and maintenance of bridges, 2025, ETH Zurich
8. Brian Brenner, Bridge Alternatives Analysis: via Artificial Intelligence, 2023
9. Defectele podurilor detectate în timp real prin rețele neuronale și algoritmi AI <https://construct-intelligence.ro/defectele-podurilor-detectate-in-timp-real-prin-retele-neuronale-si-algoritmi-ai/>



INTEGRAREA IOT ÎN TRANSPORTUL URBAN INTELIGENT. STUDIU DE CAZ AL REȚELEI DE TRAMVAI CLUJENE

Autori

ing. Iulia-Melania Bălan¹, ing. Liviu Alexa²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Balan.Io.Iulia@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Alexa.Pe.Liviu@student.utcluj.ro

Îndrumător

Ș.L. Dr.ing. Zsolt László Orbán

¹ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, zsolt.orban@cfdp.utcluj.ro

REZUMAT: Orașele viitorului urmăresc să dezvolte o infrastructură de transport durabilă și eficientă, care să răspundă nevoilor tot mai mari ale societății. Sistemele de tramvaie urbane sunt parte integrantă a mobilității durabile, necesitând monitorizare continuă pentru a asigura siguranța, eficiența și longevitatea infrastructurii. În orașe precum Cluj-Napoca, în care modele diferite de tramvaie circulă pe aceleași linii, variațiile caracteristicilor vehiculului pot duce la uzura neuniformă a liniei, prezentând provocări pentru planificarea întreținerii. Acest studiu investighează o abordare bazată pe măsurători efectuate cu dispozitive IoT cu scopul de a propune o metodă alternativă de monitorizare a rețelei de tramvai din Cluj-Napoca prin folosirea senzorilor unui smartphone în analiza în timp real a stării căii de rulare. Prin valorificarea datelor de la accelerometre, giroscopae și GPS printr-o aplicație mobilă, autorii își propun să evalueze nivelurile de vibrații măsurate și identificarea potențialelor puncte fierbinți din perspectiva mentenanței căii de rulare. Rezultatele susțin inițiativele orașului inteligent din Cluj-Napoca, demonstrând fezabilitatea soluțiilor de monitorizare IoT scalabile și cu costuri reduse pentru transportul public. Integrarea acestor informații bazate pe date în strategiile de mobilitate urbană pot conduce la implementarea unui proces de întreținerea predictivă, reduce costurile operaționale și pot îmbunătăți eficiența generală a rețelelor de tramvai în orașele inteligente moderne.

Cuvinte cheie: sustenabilitate, IoT, tramvai, vibrații, mobilitate.

1. Introducere

Pe măsură ce societățile evoluează și cerințele cresc, sistemele de transport public urbane s-au îmbunătățit considerabil oferind soluții eficiente și ecologice de transport tuturor orașelor. Sistemul de tramvai face parte din rețelele de transport public urbane care contribuie la buna desfășurare a traficului în marile orașe și nu numai. Pornind încă din secolul al XIX-lea, tramvaiele au fost o soluție de a transporta atât oamenii cât și materialele utilizate pentru diverse activități. Astăzi, acest sistem este foarte popular în multe orașe din întreaga lume datorită eficienței sale și capacității de a transporta un număr mare de persoane într-un mod ecologic și economic. Tramvaiele sunt mijloace de transport pe cale ferată urbană, alimentate electric, care circulă pe rute predefinite, de obicei separate de alte vehicule sau pe drumuri publice.

În multe orașe, tramvaiele împart aceleași rute cu autobuzele sau troleibuzele pe anumite segmente de traseu. Acest lucru permite un flux mai mare de pasageri și o mai bună coordonare între diferitele forme de transport public. Liniile comune de transport din oraș pot reduce costurile de infrastructură, fiind mai accesibilă întreținerea și oferă flexibilitate și accesibilitate călătorilor. De asemenea, o linie de tramvai poate fi circulată de diverse tipuri

de tramvai, cum este cazul și în Cluj-Napoca, unde două tipuri de tramvaie merg pe aceeași cale de rurale. Acest lucru poate fi posibil datorită compatibilității șinelor și a infrastructurii cu tramvaiul.

În Cluj-Napoca sunt 3 linii de tramvai care traversează orașul: linia 100, 101 și 102.

Tabel 4: Liniile de tramvai din Cluj-Napoca – [1]

Linii	Trasee	Lungime	Număr stații
100	CUG ↔ Piața Gării	5.8 km	9
101	Cart. Mănăștur ↔ Piața Gării	6 km	11
102	Cart. Mănăștur ↔ Piața Gării ↔ Platforma CUG	11.7 km	19

Importanța monitorizării liniilor de tramvai în vederea implementării unui proces de întreținere eficient este esențială pentru asigurarea funcționării continue, sigure și eficiente a sistemului de tramvai. Monitorizarea continuă a infrastructurii și vehiculelor poate preveni deteriorarea prematură, reduce costurile de reparații și îmbunătățește experiența utilizatorilor.

Monitorizând constant calea de rulare putem evita apariția unor degradări grave și accidente. Detectarea timpurie a problemelor ne poate ajuta să reducem costurile de întreținere pe termen lung și totodată contribuie la îmbunătățirea experienței călătorilor, în special a siguranței.

2. Metode de monitorizare a liniilor de tramvai. Studii și cercetări.

Diverse tehnologii și metode sunt utilizate pentru a urmări în timp real starea infrastructurii și a vehiculelor, pentru a detecta eventualele defecțiuni și pentru a asigura o întreținere preventivă eficientă. Una dintre cele mai comune metode de monitorizare este instalarea de senzori pe tramvaie, care permit detectarea problemelor atât la componentele materialului rulant cât și la infrastructură. Sensorii de vibrații măsoară modul în care tramvaiele interacționează cu șinele, iar un nivel crescut de vibrații poate semnala o problemă de infrastructură sau un defect al tramvaiului. Multe țări utilizează vehicule aflate în mișcare care au sisteme de monitorizare și înregistrare încorporate pentru a evalua atât starea materialului rulant cât și a infrastructurii.

Dispozitivele smart, precum senzori de vibrație, presiune și temperatură, ajută la detectarea problemelor de infrastructură sau vehicul înainte ca acestea să provoace accidente. Tehnologiile IoT pot detecta diverse defecte atât la materialul rulant cât și la părțile componente ale infrastructurii sau deteriorarea geometriei căii, avertizând autoritățile pentru reparații sau înlocuiri rapide. Aceasta contribuie semnificativ la siguranța circulației.

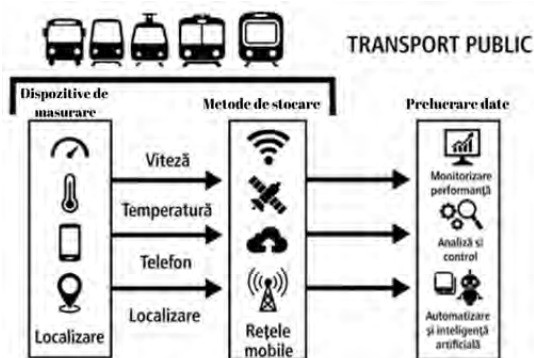


Figura 1. Adaptat după: Arhitectura IoT – [2]



De-a lungul timpului, cercetătorii au experimentat metode diverse de evaluare a căii de rulare a tramvaielor. În lucrarea: „The Analysis of Tram Tracks Geometric Layout Based on Mobile Satellite Measurements” elaborată de Cezary Specht et al s-a investigat o metodă modernă de evaluare a traseului geometric a căii de rulare a tramvaiului prin utilizarea tehnologiilor de măsurători satelitare mobile (GNSS – Global Navigation Satellite Systems). În locul metodelor tradiționale, autorii propun folosirea unui sistem montat pe un vehicul aflat în mișcare, capabil să colecteze date de poziționare de înaltă precizie. Datele înregistrate au fost procesate și cu ajutorul lor a fost construit un model digital al axului căii de rulare care a fost comparat cu axul real măsurat. Rezultatele studiului au dovedit că sistemul utilizat de autori este unul eficient în identificarea elementelor geometriei în plan ale traseului (lungimi aliniamente, curbe de racordare, curbe circulare, razele curbelor circulare, etc.) precum și deviațiile acestora față de valorile proiectate [3].

În studiul „Feasibility of Onboard Smartphones for Railway Track Geometry Estimation: Sensing Capabilities and Characterization” elaborat de Ákos Vinkó et al, autorii demonstrează aplicabilitatea măsurătorilor bazate pe senzorii inerțiali ai telefoanelor mobile în evaluarea geometriei căii pe o linie de cale ferată. În plus, aceste date au fost comparate cu datele unui vehicul dedicat pentru diagnoza căii - Track Recording Vehicle (TRV) echipat cu sistem de măsurare a geometriei caii (TGMS) și un sistem de măsurare a dinamicii vehiculului (VDMS). Valorile locale extreme au fost vizibile în seriile de date colectate prin ambele metode și prin corelarea datelor furnizate de telefonul mobil cu cele ale automotorului de diagnoză a căii s-a observat că giroscopul telefonului mobil poate furniza date referitoare la ruliul și tangajul materialului rulant în mișcare care sunt suficient de precise în detectarea schimbărilor mai mari de declivitate (10-15%). De asemenea razele curbelor mai mici de 600 m pot fi detectate cu o acuratețe de 5 m. În mod similar valorile supraînălțării și a torsiunii căii pot fi evaluate cu o suficientă precizie din datele culese de telefonul mobil și calculate cu metode quasi-stactice. [4]

3. Metodologie

Aplicația utilizată pentru înregistrarea datelor se numește Physics Toolbox Suite. Această aplicație a fost instalată pe două telefoane mobile și s-au efectuat câteva teste inițiale iar ulterior, înregistrările din interiorul tramvaiului care s-au analizat și prelucrat, au fost înregistrate cu un telefon Samsung Galaxy S20+. Telefonul a fost amplasat la nivelul podelei, pe consola din fata primului boghiu al tramvaiului, în spatele vatmanului. Relația între axele sistemului de coordonate ale căii sunt conform EN 13848-1:2019 Fig. Nr. 3. S-a înregistrat poziția vehiculului de-a lungul caii pe durata traseului atât prin date GPS.

Prin intermediul aplicației, am reușit să înregistrăm datele activând funcția multi-senzor a acesteia, selectând senzorii pentru giroscop, accelerometru și GPS. Am ales cei trei senzori deoarece:

- Giroscopul măsoară viteza unghiulară a tramvaiului pe cele trei axe: rotația pe axa z ne indică dacă tramvaiul face viraje iar rotația pe axele x și y ne indică mișcările mai subtile ale tramvaiului, oscilațiile și înclinările.
- Accelerometrul măsoară accelerațiile liniare pe cele trei axe: accelerația pe x ne indică dacă tramvaiul frânează iar accelerațiile de pe y și z ne indică mișcările laterale respectiv mișcările sus-jos cauzate de denivelări sau opriri bruște.
- GPS-ul oferă latitudinea și longitudinea tramvaiului. Aceste informații ne arată pe hartă traseul exact parcurs de tramvai pe durata înregistrării, în raport cu timpul.

Conform SR EN 12299-2009, standard european care se referă la evaluarea confortului pasagerilor în vehicule feroviare, există trei metode de evaluare a confortului călătorilor:



- Confortul mediu și confortul continuu: evaluează expunerea pasagerilor la vibrații pe termen lung și scurt, utilizând valorile efective ale accelerațiilor ponderate;
- Confor la racordul curbei: se utilizează valorile PCT, care indică procentajul de călători care sunt nemulțumiți de nivelul de confort din vehicul. Se analizează disconfortul resimțit de pasageri în timpul tranzițiilor între secțiuni drepte și curbe ale traseului.
- Confortul pe evenimente discrete: această evaluare se concentrează pe disconfortul cauzat de evenimente izolate, punctuale. Această analiză poate oferi detalii nu numai despre confortul călătorilor cât și despre eventuale probleme ale căii de rurale.

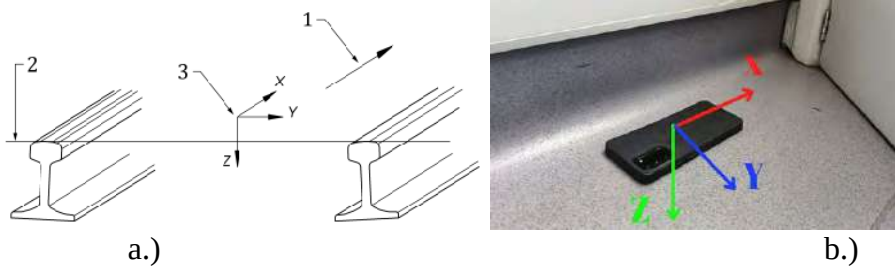


Figura 2. a) Relație între axele sistemului de coordonate ale căii [6]
b) Reprezentarea axelor conform aplicației Physics Toolbox Suite.

Legendă:

1. Direcția de deplasare
2. Intersecția dintre profilul transversal considerat și planul de rulare
3. Sistemul de coordonate ale căii

Cele trei axe de rotație ce descriu orientarea și comportamentul dinamic al tramvaiului sunt:

- axa X - reprezentată ca prelungire a căii în direcția de deplasare (ruliu);
- axa Y - axă paralelă cu suprafața căii de rulare (tangaj);
- axa Z - axă perpendiculară pe suprafața de rulare și orientată în jos (giratie);

Physics Toolbox Suite este o aplicație de învățare și experimentare în domeniul fizicii, care oferă o gamă largă de instrumente pentru măsurători și experimente interactive. Aplicația este destinată atât elevilor, cât și profesorilor, dar și celor care sunt pasionați de științele fizice și vor să exploreze diverse concepte fizice prin intermediul unui dispozitiv mobil (telefon sau tabletă).

Principalele caracteristici ale aplicației sunt:

- Măsurători multiple: Physics Toolbox Suite permite utilizatorilor să măsoare o varietate de parametri fizici, inclusiv accelerația, forța gravitațională, magnetismul, mișcarea și multe altele, folosind senzorii încorporați ai dispozitivului mobil.
- Experimente vizuale: Utilizatorii pot vizualiza datele în timp real și pot analiza graficele sau animațiile create în urma măsurărilor efectuate. Aceasta ajută la înțelegerea mai clară a fenomenelor fizice.
- Înregistrarea și analiza datelor: se pot înregistra datele obținute pe parcursul experimentelor. Acestea sunt exportate în fișier CSV pentru analiza ulterioară a accelerațiilor și rotațiilor în jurul celor trei axe pe anumite tronsoane din traseul studiat.
- Echipamente suplimentare: În anumite cazuri, aplicația poate fi utilizată împreună cu echipamente externe sau platforme educaționale pentru o experiență și mai detaliată. Putem vizualiza datele care se înregistrează în timp real folosind două device-uri, un telefon, cu care se efectuează înregistrările, și un laptop sau tabletă,

pe care putem urmări live datele. Acest lucru se poate realiza prin conectarea celor două device-uri activând funcția bluetooth.



Figura 3: Interfață aplicație - Physics Toolbox Suite

Obiectivul principal al acestui studiu este măsurarea accelerațiilor și rotațiilor în jurul celor trei axe: x, y și z. Prin înregistrarea acestor date, putem evalua câțiva parametri geometrici ai căii de rurale, ca de exemplu: denivelări longitudinale și defecte de direcție. În sprijinul acestei abordări, bibliografia de specialitate oferă mai multe modele de calcul care derivă parametri geometrici (precum curbura, schimbarea de declivitate sau denivelarea transversală) în funcție de componentele accelerației și rotației.

De exemplu, în lucrarea „Feasibility of Onboard Smartphones for Railway Track Geometry Estimation: Sensing Capabilities and Characterization” de Ákos Vinkó, Tamás Simonek, Csaba Ágh și Attila Csikós, autorii au explorat utilizarea senzorilor inerțiali integrați în smartphone-uri pentru estimarea geometriei căii ferate. Astfel, au urmărit estimarea înclinării șinei. Pentru această estimare s-a folosit următoarea formulă de calcul:

$$\hat{s} = (\Phi + \eta) \cdot u = \frac{u}{g} (v \cdot \psi_{bpf} + c \cdot a_{y,lpf}) \quad (1)$$

Unde: $\hat{s}$ – valoarea cvasi-statică a înclinării șinei(m);
 Φ – unghiul de înclinare al caroseriei tramvaiului (rad);
 η - diferența unghiulară dintre caroserie și înclinarea șinei(rad);
 u – distanța dintre punctele de contact ale cercurilor medii ale roților cu șinele (m);
 g – accelerație gravitațională (m/s^2);
 v – viteza (m/s);
 ψ_{bpf} – viteza de rotație (rad/s);
 c – constantă adimensională.
 $a_{y,lpf}$ - accelerația laterală măsurată a caroseriei (m/s^2);

$$c = \frac{2 \cdot g \cdot h \cdot m}{w^2 h} - 1 \quad (2)$$

Valoarea constantei c a fost obținută folosind ecuația (1), unde h – distanța dintre centrul de greutate și podeaua tramvaiului(m), w- este distanța componentelor verticale ale forțelor care acționează asupra caroseriei față de boghiu(m), m – masa caroseriei(kg).

De asemenea, Wang et al. în lucrarea: „Estimation of railway vehicle response for track geometry evaluation using branch fourier neural operator” propun un model bazat pe operatorul Fourier ramificat pentru estimarea răspunsului dinamic al vehiculului, facilitând evaluarea geometriei căii ferate [8].



Această ecuație modelează comportamentul dinamic al șinei sub acțiunea forțelor aplicate de roți.

În lucrarea „IOT - Driven track health monitoring for sustainable railway operation” scrisă de Hunor Sándor, Zoltán Szántó, Zsolt László Orbán, se propune o soluție conform căreia starea căii de rurale poate fi caracterizată pe baza înregistrărilor unei unități de măsurare inerțială (IMU) montată pe osia materialului rulant. Accelerațiile înregistrate de IMU pe direcțiile axelor Y și Z includ deja componentele centrifuge corespunzătoare acestor axe. Prin urmare, unghiul de rulu (roll) poate fi determinat direct folosind următoarea formulă:

$$\tan \gamma = \frac{a_y - a_c^y}{a_z - a_c^z} = \frac{a_y - a_c \cos \gamma}{a_z - a_c \sin \gamma} \quad (3)$$

Unde: a_y – accelerația transversală pe axa y [m/s^2];

a_c^y – componenta centrifugă pe axa y;

a_z – accelerația pe axa z [m/s^2];

a_c^z – componenta centrifugă pe axa z;

$a_c = \frac{v^2}{R}$ - relația dintre accelerația centrifugă, viteza tramvaiului și raza curbei;

$\cos \gamma = 1$;

$\sin \gamma = \tan \gamma$; [7]

În urma înregistrărilor efectuate vom observa unde apar variații bruște ale accelerațiilor și vom analiza semnificația:

- Accelerație verticală (a_z) - denivelări verticale, rosturi, tasări, etc.
- Accelerație laterală (a_y) - posibila degradare a direcției căii adică variații bruște ale săgeților, ecartament neregulat, uzura laterală, etc.
- Accelerație longitudinală (a_x) - frânări sau accelerații.

4. Studiu de caz

Sistemul de tramvai din Cluj-Napoca este alcătuit din 3 linii de transport 100, 101 și 102. Tramvaiele din Cluj-Napoca circulă pe linii care conectează zonele centrale cu cartierele periferice, facilitând accesul rapid și eficient al călătorilor. Infrastructura modernizată și tramvaiele echipate cu facilități moderne asigură un transport public de calitate. Lungimea totală a rețelei de tramvai este de 26,6 km (cale dublă). În circulație se află un număr de 28 de tramvaie, dintre acestea 4 sunt Tramvaie noi Pesa Swing din 2012 și 24 de tramvaie noi Astra Imperio din 2020. Compania de Transport Public Cluj-Napoca (CTP) operează o flotă modernă, tramvaiele Astra Imperio fiind fabricate în România de SC Astra Vagoane Călători SA Arad. Acestea sunt dotate cu facilități moderne, precum rampă pentru persoane cu dizabilități, sistem de climatizare, iluminare LED, Wi-Fi gratuit, monitoare informative și sistem de ticketing cu POS integrat [5].

Pentru studiul nostru am ales să analizăm un tronson din linia 101 (Str. Bucium – Piața Gării). Măsurătorile au fost înregistrate pe trei tramvaie diferite dar pe același tronson tocmai pentru a vedea dacă aceleași anomalii sau comportamente se regăsesc în toate cele trei seturi de date, acest lucru reflectând o problemă reală a infrastructurii, nu doar o variație a stării vehiculului. Fiecare tramvai poate avea caracteristici diferite – suspensii, uzură, distribuția masei etc. Prin analizarea mai multor vehicule, obținem o imagine mai obiectivă a stării căii de rurale.

Traseul studiat pornește din stația Cluj Arena și se termină în stația Facultatea de Litere, având o lungime de 2,0 km. Măsurătorile au fost efectuate pe ambele sensuri de mers, tur și retur. Am ales aceste stații deoarece traversează zona cea mai aglomerată și anume centrul orașului. Tramvaiele pe care am realizat înregistrările sunt numerotate cu numerele 86, 92, 58, toate sunt tramvaie noi, Astra Imperio, din anii 2020 și 2021.

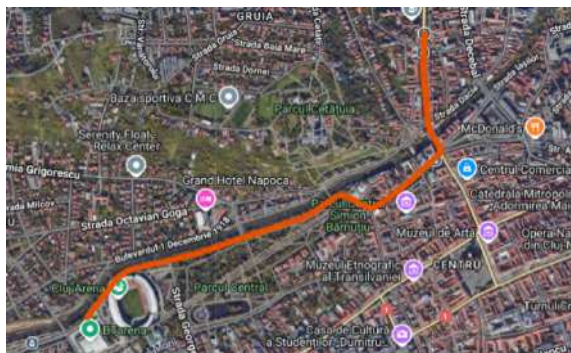


Figura 4: Hartă traseu – creată în Google My Maps

5. Analiza rezultate

Au fost efectuate măsurători pe același traseu, cuprins între stația Cluj-Arena și stația Facultatea de Litere, utilizând trei tramvaie diferite. Scopul acestui demers a fost de a compara rezultatele înregistrate pentru a identifica dacă eventualele neregularități se datorează infrastructurii (căii de rulare) sau vehiculelor (tramvaielor) utilizate.

Se observă că în prima parte a traseului, pe o distanță de aproximativ 270 de metri, valorile înregistrate sunt semnificativ mai mari, ceea ce indică posibile neconformități la nivelul căii de rulare în acea zonă.

La finalul traseului, datele înregistrate au fost exportate în format CSV și analizate, prin generarea următoarelor grafice:

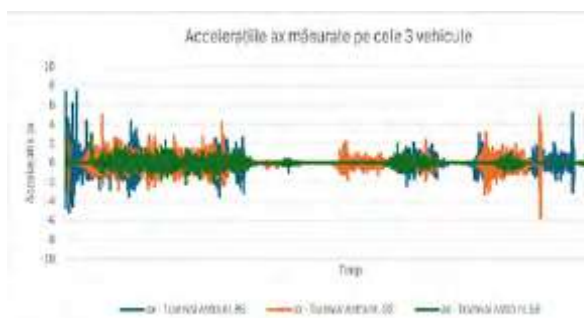


Figura 6. a) Accelerațiile ax înregistrate pe cele trei vehicule

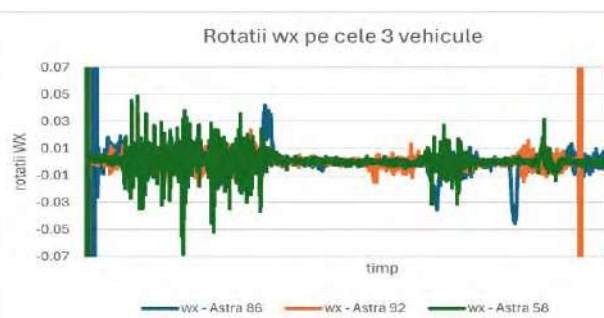


Figura 6. a) Rotațiile wx înregistrate pe cele trei vehicule

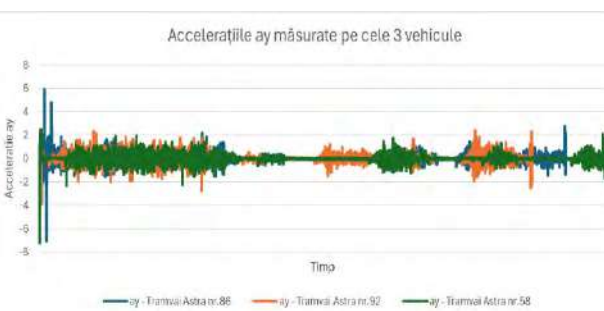
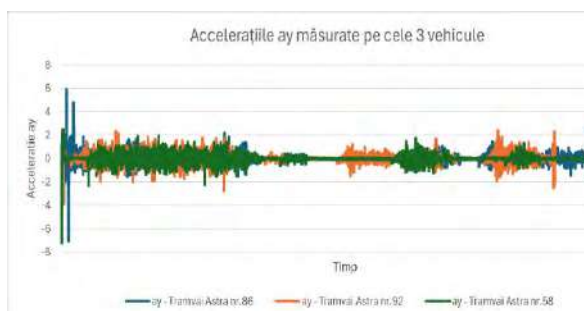


Figura 7. a) Accelațiile a_y înregistrate pe cele trei vehicule

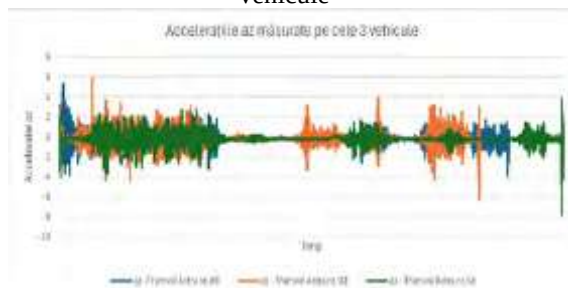


Figura 7. a) Rotațiile w_y înregistrate pe cele trei vehicule

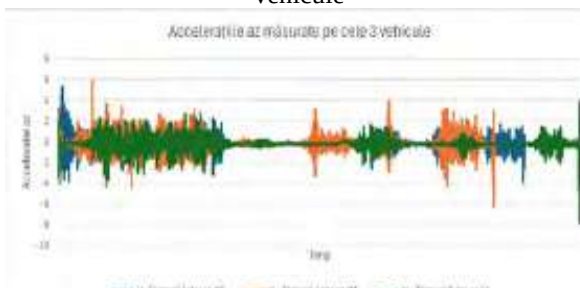


Figura 8. a) Accelațiile a_z înregistrate pe cele trei vehicule

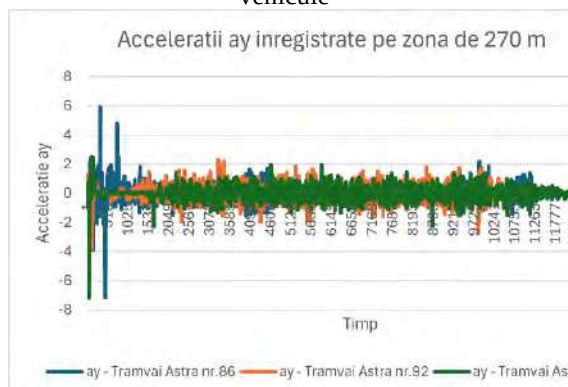


Figura 8. b) Rotațiile w_z înregistrate pe cele trei vehicule

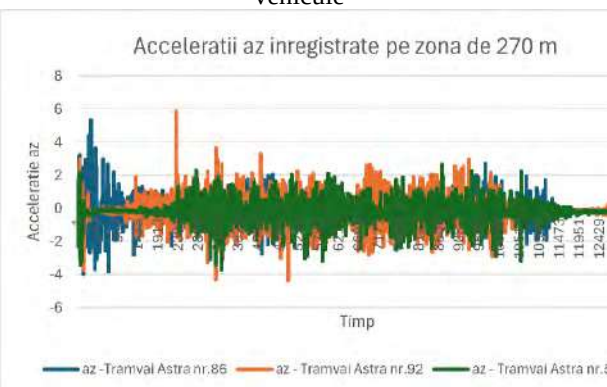


Figura 9. a) Accelațiile a_y înregistrate pe cele trei vehicule pe zona cu cele mai mari valori

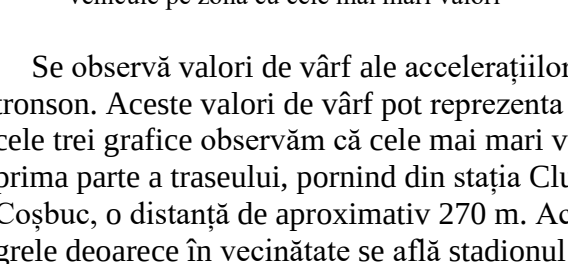
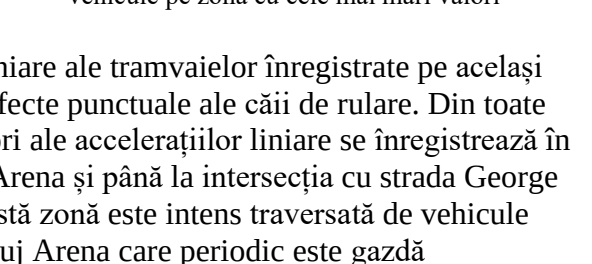


Figura 9. b) Accelațiile a_z înregistrate pe cele trei vehicule pe zona cu cele mai mari valori



Se observă valori de vârf ale accelerațiilor liniare ale tramvaielor înregistrate pe același tronson. Aceste valori de vârf pot reprezenta defecte punctuale ale căii de rulare. Din toate cele trei grafice observăm că cele mai mari valori ale accelerațiilor liniare se înregistrează în prima parte a traseului, pornind din stația Cluj Arena și până la intersecția cu strada George Coșbuc, o distanță de aproximativ 270 m. Această zonă este intens traversată de vehicule grele deoarece în vecinătate se află stadionul Cluj Arena care periodic este gazdă evenimentelor sportive și concertelor culturale. Se observă o diferență a accelerațiilor pe axa z între Astra 86 și celelalte două tramvaie (Astra 58 și Astra 92), ceea ce înseamnă că poate fi o problemă de uzură a materialului rulant și nu a căii de rulare. În curbele de traseu, se identifică vârfuri noi ale accelerațiilor pe a_y , acestea se pot datora unor defecte de direcție ale căii de rulare sau uzuri laterale pronunțate. Valorile mari pot reprezenta denivelări, porțiuni defectuoase la nivelul șinei.

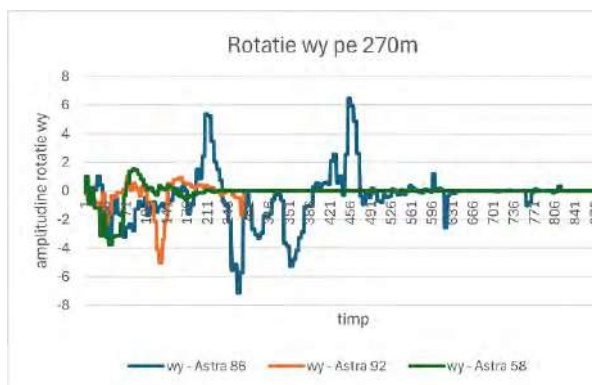
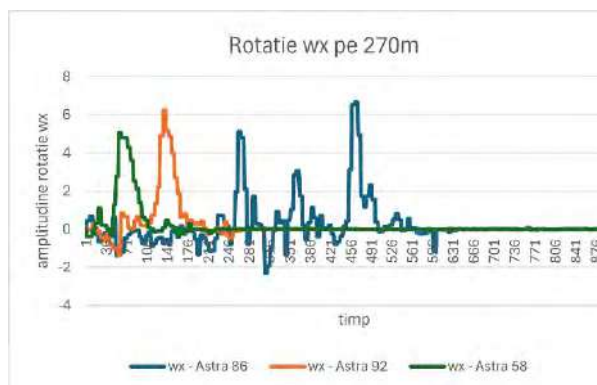




Figura 10. a) Accelerațiile a_y înregistrate pe cele trei vehicule pe zona cu cele mai mari valori

Figura 10. b) Accelerațiile a_z înregistrate pe cele trei vehicule pe zona cu cele mai mari valori

Datele giroscopului (rotația în jurul axelor X, Y, Z) aduc informații suplimentare despre comportamentul dinamic al tramvaiului. Totuși, activitatea dominantă se observă pe axele Y și Z. W_y , prezintă multe vârfuri și variații rapide înregistrate pe tramvaiul Astra 58, ceea ce semnaleză mișcări de înclinare înainte/înapoi, datorită frânarilor și accelerărilor, la pornirea și oprirea în stații sau la trecerea peste zone denivelate. Axa w_z are oscilații specifice, uneori destul de clare, reprezentată de viraje datorate curbilor iar w_x , nu oscilează foarte mult, rămâne aproape de 0, ceea ce indică puțină înclinare laterală.

Graficele valorilor înregistrate pe tramvaiele Astra 86 și Astra 92 prezintă valori asemănătoare pe toată perioada traseului în timp ce pe Astra 58 observăm apariția unor valori mari pe axa y, acest lucru poate reflecta faptul că tramvaiul 58 poate avea suspensia sau sistemul de frânare uzat sau neuniform.

6. Concluzii

În urma analizării datelor colectate de senzorii de accelerație și rotație (giroscop) de pe un dispozitiv mobil prin intermediul aplicației Physics Toolbox Suite, corelate cu poziționarea GPS am reușit să aflăm care este starea generală a traseului și zonele cu eventuale probleme. În general, traseul analizat prezintă un nivel bun de stabilitate, majoritatea segmentelor înregistrând vibrații și rotații de intensitate scăzută. Acest lucru indică o infrastructură feroviară solidă, fără denivelări majore sau elemente de disconfort semnificativ pentru pasageri.

Cu toate acestea, au fost identificate și mai multe zone punctuale cu valori ridicate ale accelerației liniare și rotației, ceea ce poate semnala prezența unor denivelări, zone slab întreținute, curburi strânse sau elemente ale traseului aflate într-o stare mai degradată.

Toate aceste informații poate reprezenta un prim pas spre îmbunătățirea sistemului de transport din orașul Cluj-Napoca. Studiul sugerează că smartphone-urile pot oferi date fiabile despre dinamica vehiculului și pot detecta secțiunile cu defecte la nivelul căii de rulare sau anumite defecte la materialul rulant.

Tehnologia modernă ne permite să identificăm rapid problemele și să implementăm soluții eficiente, asigurând dezvoltarea unei infrastructuri urbane optime.

Aplicațiile mobile care utilizează senzorii interni ai telefoanelor (accelerometru, giroscop, GPS- în cazul studiului nostru) oferă o soluție accesibilă și rapidă pentru evaluarea infrastructurii publice de transport. Cu toate acestea, întâlnim limitări și provocări.

O limitare ar fi faptul că o aplicație de acest tip poate evalua la modul general starea infrastructurii însă nu poate prezenta punctual unde se află o defecțiune a căii și nici nu poate preciza tipul și gravitatea defectului. De asemenea, dacă dispozitivul este amplasat în interiorul vagonului, datele înregistrate reflectă mai mult nivelul de confort perceput de pasageri în timp ce dacă device-ul este amplasat pe boghiu, poate capta mai direct neregularitățile căii de rulare.

O provocare ar fi monitorizarea în timp real a infrastructurii prin acest tip de dispozitiv IoT, astfel încât să putem primi informații live despre starea căii de rulare și despre gradul de confort al călătorilor pe toată rețeaua de tramvai din Cluj-Napoca.

BIBLIOGRAFIE

1. Wikipedia - https://ro.wikipedia.org/wiki/Tramvaiul_din_Cluj-Napoca



2. Anders Skretting, Malte Bieler, Philippe Budinger, Tor-Morten Grønli - Survey of Automated Fare Collection Solutions in Public Transportation
3. Cezary Specht, Władysław Koc, Piotr Chrostowski, Jacek Szmagliński - The Analysis of Tram Tracks Geometric Layout Based on Mobile Satellite Measurements
4. Ákos Vinkó, Tamás Simonek, Csaba Ágh, Attila Csikós - Feasibility of Onboard Smartphones for Railway Track Geometry Estimation: Sensing Capabilities and Characterization
5. Conferinta Club Feroviar - Infrastructura, 21-22 Mai, Oradea, Prezentarea Companiei de Transport Public Cluj-Napoca (CTP Cluj), Liviu Neag - Manager General
6. SR EN 13848-1 – Aplicații feroviare. Cale. Calitatea geometriei căii. P1: Caracterizarea geometriei căii.
7. Hunor Sándor, Zoltán Szántó, Zsolt László Orbán - IOT - Driven track health monitoring for sustainable railway operations – 8th International Conference on Road and Rail Infrastructure, DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/cetra.2024.1584>
8. Qingjing Wang, Wenhao Ding, Qing He, Ping Wang - Estimation of railway vehicle response for track geometry evaluation using branch fourier neural operator.
9. SR EN 12299:2009 - Aplicații feroviare. Confortul de mers al călătorilor. Măsurare și evaluare.



PLANIFICAREA STRATEGICĂ ÎN CONCEPEREA ACOPERIȘURILOR DE TIP ȘARPANTĂ

Autori

Beatrice-Cosmina I. Miron¹, Claudia I. Stefan² (Dragu)

¹Facultatea de Constructii, Universitatea Ovidius Constanta, , bettymrn07@gmail.com .

²Facultatea de Constructii, Universitatea Ovidius Constanta, , claudiadragu88@yahoo.com

Îndrumător

Ș.l. dr. ing. Gabriela. Draghici³

³Facultatea de Constructii., Universitatea Ovidius Constanta., draghici.gabriela@univ-ovidius.ro

REZUMAT: *Lucrarea analizează planificarea strategică a acoperișurilor de tip șarpantă în zone costiere, cu accent pe municipiul Constanța. Se evidențiază importanța adaptării materialelor și soluțiilor constructive la condițiile climatice specifice: umiditate ridicată, salinitate, radiații UV și vânturi puternice. Sunt analizate caracteristicile tehnice ale mai multor tipuri de învelitori, cu accent pe țigla ceramică de tip Nelskamp și țigla metalică de tip Bilka. Lucrarea aduce un element de originalitate prin integrarea unui studiu de caz aplicat unei locuințe din Constanța, evaluând comportamentul acoperișului stratificat prin simulări termice (Ubakus®) și analiza SWOT. Rezultatele arată că, deși țigla metalică oferă avantaje economice și de montaj, prezintă vulnerabilități în medii agresive. Țigla ceramică, în schimb, asigură o durabilitate superioară, izolație fonică și comportament termic performant, fiind astfel aleasă de beneficiar. Lucrarea contribuie la înțelegerea procesului decizional privind învelitorile durabile în climat marin și propune o abordare strategică integrată, cu aplicabilitate practică în proiectarea acoperișurilor pentru zonele expuse riscurilor climatice.*

Cuvinte cheie: planificare strategică; acoperișuri de tip șarpantă ;durabilitate; analiză tehnico-structurală; adaptare climatică

1. Introducere

1.1 Definirea conceptelor

Planificarea strategică în conceperea acoperișurilor se referă la alegerea celei mai bune soluții de acoperiș în funcție de climatul costier, condițiile arhitecturale ale zonei în care este localizată viitoarea construcție și bugetul beneficiarului [1].

În acest sens ne referim la managementul strategic al dezvoltării proiectului. Concret, beneficiarului; i se recomandă, argumentat, tipul de material pentru acoperiș (ex: tablă tip țiglă, țiglă ceramică, țiglă metalică cu acoperire minerală (bazaltică) etc.) în funcție de restricțiile ce trebuie respectate și bugetul disponibil [2].

După luarea deciziei urmează proiectarea propriu-zisă în funcție de materialul ales.

Principalele obiective urmărite, în stabilirea soluției unui acoperiș sunt, conform [3]:

1. Rezistența mecanică și stabilitatea



2. Etanșeitatea și izolația termică și fonică;
3. Durabilitatea și protecția împotriva factorilor de mediu (precipitații, vânt, radiații UV etc.);
4. Menținerea;
5. Estetica integrată în arhitectura generală a construcției;
6. Adaptabilitatea la diferite tipuri de învelitori și tehnologii moderne.

Aceste obiective sunt tratate în cadrul unei viziuni care include alegerea atentă a materialelor, a pantei și a sistemului de montaj, pentru fiecare soluție, în parte [4].

2. Stabilirea parametrilor analizați pentru alegerea învelitorii

Adaptarea acoperișului la contextul climatic local este esențială pentru asigurarea comportamentului funcțional, a durabilității și a eficienței energetice a construcției. În zonele costiere, precum municipiul Constanța, acoperișurile sunt supuse unor condiții de mediu specifice, printre care se numără: umiditatea atmosferică ridicată, salinitatea aerului, radiațiile UV intense și vânturile puternice cu caracter frecvent [1]. Aceste condiții impun utilizarea unor materiale rezistente la coroziune, soluții constructive etanșe și ventilate, precum și o fixare mecanică adecvată a elementelor de învelitoare și a accesoriilor [2].

Un factor de risc adesea subestimat este reprezentat de acțiunea păsărilor marine, în special a pescărușilor, care pot produce deteriorări ale învelitorii prin efectul coroziv al excrementelor acide, pot obstrucționa jgheaburile cu resturi organice și pot afecta accesoriile acoperișului în perioadele de cuibărit. De asemenea, umiditatea constantă favorizează apariția condensului în lipsa unei ventilații corespunzătoare, în timp ce variațiile frecvente de temperatură și radiațiile solare accelerează procesul de îmbătrânire a materialelor. Aceste aspecte justifică integrarea, în etapa de proiectare, a unor măsuri preventive, precum: utilizarea materialelor cu rezistență chimică sporită (la acizi și săruri), aplicarea de straturi protectoare suplimentare și montarea de sisteme pasive pentru descurajarea păsărilor [4].

Alegerea corectă a învelitorii unui acoperiș reprezintă un proces esențial în proiectarea construcțiilor civile, influențând direct comportamentul structural, durabilitatea și eficiența energetică a clădirii. Pentru a determina soluția optimă, este necesară analiza unui set de caracteristici tehnice, funcționale și economice, astfel: grosimea medie a țiglei; coeficient de transfer termic (λ); densitatea aparentă; capacitatea termică specifică; absorbția la apă; rezistența la îngheț-dezghet [5].

Pentru ilustrarea acestor parametri pot fi analizate două tipuri distincte de învelitori. Primul exemplu este țigla ceramică de tip Nelskamp, care se remarcă printr-o densitate aparentă ridicată, între ~ 1800 și 2100 kg/m^3 , oferind astfel stabilitate dimensională, rezistență mecanică și o inerție termică crescută [6].

Absorbția redusă a apei, evaluată la sub 10% conform standardului EN 1304 [7], este asigurată prin tratamente de suprafață de tip engobat (cu absorbție de până la 6%) și glazurat (sub 3%), datorită prezenței unui strat vitrificat cu rol protector împotriva infiltrațiilor și atacului chimic. Această caracteristică reduce semnificativ riscul de degradare structurală prin îngheț-dezghet și limitează acumulările biologice sau saline [6].

Țigla este clasificată în clasa I de calitate conform EN 1304 [10], ceea ce implică îndeplinirea cerințelor privind rezistența la acțiuni climatice severe, precizia dimensională și comportamentul la apă [6].

Grosimea medie a elementului de acoperire este de 30 mm, contribuind la capacitatea portantă și la protecția împotriva radiațiilor și a șocurilor mecanice moderate [6].



Coeficientul de transfer termic (λ) este estimat în intervalul $\sim 0,85 - 1,10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, specific materialelor ceramice arse, care, deși nu oferă izolație propriu-zisă, contribuie la un transfer termic relativ lent și la uniformizarea temperaturii în structura acoperișului [6].

Capacitatea termică specifică, situată între ~ 800 și $1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, indică o capacitate bună de stocare a energiei termice, având rolul de a amortiza variațiile bruște de temperatură [6].

Rezistența la îngheț-dezgheț este ridicată, cuprinsă la valori ≥ 150 cicluri, asigurând o durabilitate sporită în climate reci sau cu variații frecvente de temperatură [6].

Cel de-al doilea tip de învelitoare analizat este țigla metalică profilată tip Bilka, care prezintă caracteristici tehnice distincte față de varianta ceramică.

Țigla metalică profilată tip Bilka are o greutate redusă, situată între ~ 3 și 5 kg/m^2 , ceea ce o face ușor de manevrat și reduce încărcarea pe structura de șarpantă. Aceasta este realizată din tablă de oțel galvanizat, cu grosimi variabile între $0,4$ și $0,6 \text{ mm}$, fiind protejată prin acoperiri multiple: strat de zinc (Zn sau ZnMg), grund pasiv, vopsea poliesterică sau poliuretanică, care oferă rezistență moderată la coroziune și radiații UV.

Absorbția de apă este practic nulă, dar comportamentul la condens depinde de stratificarea sistemului și de ventilația sub învelitoare. Coeficientul de transfer termic (λ) este ridicat, specific metalelor ($\sim 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), ceea ce impune completarea cu straturi termoizolante eficiente pentru asigurarea confortului termic.

Capacitatea termică specifică este scăzută ($\sim 500 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$), determinând o inerție termică redusă și reacție rapidă la variațiile de temperatură. Protecția împotriva înghețului este asigurată indirect, prin evitarea acumulării de umiditate, întrucât metalul nu suferă degradare structurală prin îngheț-dezgheț, dar riscă coroziune în condiții de expunere constantă la umiditate și sare, dacă protecțiile superficiale sunt compromise [7].

Forma șarpantei joacă un rol esențial în rezistența generală a acoperișului, în special în condiții climatice extreme precum cele din zona costieră. O pantă suficient de mare (de regulă peste 35°) permite evacuarea rapidă a apelor pluviale și a zăpezii, reducând riscul de infiltrații sau suprasarcini. Din punct de vedere structural, elementele componente ale șarpantei — căpriori, pane, popi, ferme — trebuie dimensionate astfel încât să reziste la forțele exercitate de vânt, dar și să asigure stabilitate în timp [8].

În climat costier, un aspect important este forma dinamică a acoperișului, adică adaptarea geometriei acestuia pentru a reduce presiunea eoliană. Acoperișurile cu pante regulate, unghiuri bine definite și coame continue sunt mai eficiente în disiparea fluxului de aer și în reducerea riscului de smulgere a elementelor de învelitoare. Prin evitare a formelor plate sau a zonelor de stagnare a aerului, se minimizează turbulențele și zonele de suprapresiune sau depresiune cauzate de vânturile puternice [9]. În acest sens, proiectarea aerodinamică a acoperișului contribuie direct la creșterea durabilității și siguranței structurale a întregii construcții [1].

3. STUDIU DE CAZ: Evaluarea a învelitorilor de tip șarpantă în zona Constanța

3.1. Prezentarea contextului studiului de caz

Locuința analizată este o casă unifamilială cu parter și mansardă, amplasată într-o zonă rezidențială din apropierea falezii Constanța. Clădirea este folosită permanent, iar mansarda este locuibilă, cu funcțiuni de dormitor și birou. Lipsa obstacolelor naturale expune acoperișul la furtuni de nisip, vânturi constante, salinitate ridicată și umiditate ridicată – factori critici care au influențat toate deciziile tehnice legate de învelitoare și stratificația acoperișului.

3.2. Soluția de șarpantă implementată



Structura acoperișului este realizată din lemn de rășinoase clasa C24, în sistem dulgheresc pe scaune, cu o pantă de 30°. În urma dimensionării elementelor structurale utilizând metoda de calcul analitică conform EUROCOD 5 [8], componentele structurale includ:

- căpriori 10×12 cm,
- pane intermediare și de coamă 10×15 cm,
- popi 10×10 cm,
- contravântuiri 10×15 cm și
- clești 2.5×25 cm pentru rigidizare.

Această configurație oferă o distribuție clară a sarcinilor, sprijină un spațiu interior utilizabil eficient și este ușor de executat, fără compromisuri asupra stabilității în fața vânturilor constante din zona litorală.

3.3. Configurația stratificată a acoperișului conform 3.2

- Compoziția în secțiune verticală este:
- finisaj interior cu gips-carton,
- barieră de vapori PE (0,2 mm),
- vată bazaltică 15 cm între căpriori,
- astereală din OSB 3 (15 mm),
- folie anticondens,
- șipci + contrășipci pentru ventilație,

Învelitoare: țiglă metalică profilată tip Bilka, fixată mecanic.

Această soluție a fost inițial selectată pentru greutatea redusă, montajul rapid și costurile mai accesibile ale sistemului metalic, dar au fost efectuate simulări comparative pentru a evalua dacă acest tip de învelitoare este sustenabil în mediu costier pe termen lung.

3.4. Metode de analiză strategică aplicate

Pentru luarea deciziilor privind alegerea învelitorii s-au utilizat:

- consultații cu producători și studii de caz din zone similare climatice.
- analiza SWOT, pentru a evidenția avantajele și limitările fiecărui sistem, (vezi Tabelul 1, Tabelul 2)
- simulări termice Ubakus®, pentru a evalua performanța energetică a acoperișului stratificat cu fiecare tip de învelitoare (metalică vs. ceramică) (vezi Figura 3.4.3, Figura 3.4.4).



Tabelul 1 Analiza SWOT pentru Țigla ceramică de tip Nelskamp

Puncte tari (Strengths)	Puncte slabe (Weaknesses)
✓ Greutate redusă (~3–5 kg/m ²)	✗ Izolare fonică și termică slabă (fără strat suplimentar)
✓ Montaj rapid și ușor	✗ Rezistență redusă la medii saline fără protecții speciale
✓ Rezistență mecanică bună raportată la greutate	✗ Durabilitate mai mică în zone cu UV și ceață salină
✓ Costuri mai reduse comparativ cu materialele ceramice	✗ Sensibilitate la zgomot în caz de precipitații
✓ Diversitate estetică (forme și culori variate)	✗ Posibilă deformare la dilatații termice mari
✓ Ușor de înlocuit în caz de deteriorare	✗ Risc de zgâriere și coroziune la tăieturi
Oportunități (Opportunities)	Amenințări (Threats)
✓ Posibilitatea utilizării de acoperiri avansate (ZnMg, poliuretanic)	✗ Coroziune accelerată în prezența sării (zone maritime)
✓ Utilă în construcții rapide sau cu buget redus	✗ Acțiunea păsărilor (excremente acide) poate deteriora stratul protector
✓ Compatibilă cu structuri ușoare și prefabricate	✗ Radiațiile UV pot degrada vopseaua în timp
✓ Creștere în popularitate pentru clădiri rezidențiale moderne	✗ Fixarea necorespunzătoare duce la dislocări în caz de vânt
✓ Se poate recicla integral	✗ Limitări arhitecturale pentru zone de patrimoniu



Tabelul 2 Analiza SWOT pentru Țigla metalică de tip Bilka

Puncte tari (Strengths)	Puncte slabe (Weaknesses)
✓ Durabilitate ridicată (>50 ani)	✗ Cost de achiziție și montaj mai ridicat
✓ Rezistență excelentă la coroziune și salinitate	✗ Necesită structură de șarpantă solid dimensionată
✓ Stabilitate cromatică și estetică pe termen lung	✗ Montaj mai lent și laborios față de învelitorile metalice
✓ Protecție fonică naturală (atenuare ploaie, grindină)	✗ Greutate mare per m ² (~45 kg/m ²)
✓ Izolație termică pasivă mai eficientă (inerție termică)	
✓ Compatibilitate cu stiluri arhitecturale diverse	
Oportunități (Opportunities)	Amenințări (Threats)
✓ Creșterea cererii pentru materiale ecologice și durabile	✗ Variații de preț și disponibilitate la import (Germania)
✓ Reducerea costurilor de întreținere pe termen lung	✗ Greutatea poate limita aplicațiile la clădiri ușoare
✓ Imagine de calitate și plus-valoare arhitecturală	✗ Erori de montaj pot duce la infiltrații sau deplasări
✓ Adaptabilitate la medii agresive (sare, UV, îngheț-dezghet)	✗ Necesită manoperă specializată

Simulări termice Ubakus®

Ubakus® este un program online specializat în calculul performanțelor termo-higrometrice ale elementelor de construcție, utilizat frecvent de arhitecți, ingineri și consultanți energetici în etapa de proiectare sau evaluare a soluțiilor constructive.

Platforma UBAKUS permite simularea comportamentului straturilor unui perete, acoperiș sau planșeu, pe baza parametrilor fizici reali ai materialelor selectate: coeficientul global de transfer termic (U-value), capacitatea de stocare a căldurii, rezerva de uscare a stratului, conținutul de umiditate, timpul de uscare și amortizarea variațiilor termice (1/TAV).



Figura 3.4.3 Simulare termică în Ubakus pentru Tigla ceramică tip Nelskamp

Rezultatele au arătat că sistemul cu țiglă ceramică Nelskamp respectă cerințele de eficiență energetică prevăzute de standardul GEG 2020/24. Are un coeficient de transfer termic redus (U -value de $0,158 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) și o bună capacitate de stocare a căldurii, ceea ce contribuie la menținerea confortului interior. De asemenea, permite o difuzie controlată a vaporilor, importantă în climatul umed, și oferă o atenuare fonică eficientă, în special împotriva zgomotului provocat de ploaie. Durabilitatea estimată este de peste 50 de ani, ceea ce o face o soluție fiabilă pe termen lung.



Fig 3.4.4 Simulare termică în Ubakus pentru Tigla metalică tip Bilka
Această configurație obține valori tehnice comparabile, cu:

- U -value = $0,154 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Rezervă de uscare: 91 g/m^2
- Capacitate de stocare termică: $19,4 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$
- Amortizarea amplitudinii termice ($1/\text{TAV}$): 5,8

Țigla metalică Bilka a fost apreciată pentru:

- montajul rapid și greutatea redusă ($\sim 5 \text{ kg/m}^2$ față de $\sim 45 \text{ kg/m}^2$ la ceramică),



- costuri mai reduse de achiziție și manoperă,
- adaptabilitate ridicată la diverse forme arhitecturale.

Totuși, acest sistem prezintă:

- rezervă de uscare mult mai scăzută, care necesită implementarea unui sistem de ventilație sub învelitoare bine calculat,
- timp de uscare mai mare (83 zile) și risc crescut de condens în lipsa ventilației corecte.

În afară de cele două materiale comparate, mai există și a treia variantă care s-ar putea utiliza cu următorii parametri: sistemul Novatik NATURA, din tablă de oțel zincat acoperită cu rocă vulcanică. Acesta are o greutate redusă și rezistă la vânturi de până la 200 km/h. Stratificarea minerală asigură protecție la umiditate, salinitate și radiații UV. Montajul prin panouri mici, cu prindere ascunsă, reduce riscul de smulgere, iar textura rugoasă favorizează scurgerea apei. Sistemul are și un efect de atenuare a zgomotului provocat de precipitații.

Concluzii

Planificarea strategică a acoperișurilor vizează adaptarea soluției constructive la condițiile climatice și arhitecturale locale, în special în zone costiere precum Constanța. Alegerea învelitorii ține cont de factori precum umiditate, salinitate, radiații UV, vânturi puternice și chiar acțiunea păsărilor.

Materialele propuse trebuie să asigure rezistență mecanică, etanșeitate, izolație, durabilitate și estetică. Studiul de caz a analizat o locuință din Constanța și a comparat două tipuri de învelitori: țigla ceramică Nelskamp și țigla metalică Bilka. Deși varianta metalică oferă montaj rapid și costuri reduse, are performanțe mai slabe în medii agresive. Țigla ceramică, deși mai grea și costisitoare, oferă protecție fonică superioară, inerție termică ridicată și durabilitate de peste 50 de ani. Pe baza analizelor SWOT, simulărilor termice și cerințelor climatice, beneficiarul a ales țigla ceramică Nelskamp, prioritizând sustenabilitatea pe termen lung în detrimentul economiei imediate.

BIBLIOGRAFIE

1. Marius Telișcă, Climatologie – suport de curs, UT "Gh Asachi" Iasi, 2020, https://hgim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/03/Climatologie_2020.pdf
2. Mintzberg, H., Ahlstrand, B., & Lampel, J. (1998). "Strategy Safari: A Guided Tour Through the Wilds of Strategic Management" P 100-P1
3. Ghid tehnic pentru proiectarea acoperișurilor în zone umede și saline – Institutul Național de Cercetare în Construcții https://www.mdipa.ro/userfiles/reglementari/Domeniul_VIII/VIII_5_GP_120_2013.pdf
4. Ministerul Lucrărilor Publice – Normativ C107/3 privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor
5. Nelskamp Dachziegelwerke GmbH, Fișe tehnice și documentație de produs – țiglă ceramică F15, F12U, Nibra DS5, disponibil pe www.nelskamp.de
6. Novatik – Manual tehnic NATURA / Specificații oficiale produs <https://novatik.ro/themes/frontend/site/assets/pdf/GHID-MONTAJ-NATURA.pdf>
7. EN19951-1: Eurocod 5
8. Buletin Tehnic al Universității Tehnice de Construcții București, nr. 2/2017 http://bs.rs.utcb.ro/arh/arhiva2017/doctoral_nr2_2017.pdf
9. EN 1304:2013, Ceramic roofing tiles and fittings – Product definitions and specifications, Comitetul European de Standardizare (CEN)



EXAMINAREA FORMULELOR DIN CR 1-1-4/2012 FOLOSIND ANALIZA CFD

Autor/autori

Mátyás L. FEKETE¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: fekete.la.matyas@student.utcluj.ro](mailto:fekete.la.matyas@student.utcluj.ro).

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Ferdinand Zsongor GOBESZ²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: go@mecon.utcluj.ro](mailto:go@mecon.utcluj.ro).

REZUMAT: Odată cu apariția construcțiilor înalte în țara noastră și a celor cu forme arhitecturale deosebite, se pun semne de întrebare asupra relevanței formulelor din normative și asupra perioadei în care acestea mai rămân aplicabile, având în vedere și schimbările climatice. În această lucrare prezint baza analizei CFD și o comparație între rezultatele obținute astfel, cu rezultatele obținute urmărind formulele din CR 1-1-4/2012 (EN 1991-1-4:2005). Luând în considerare diferența dintre aceste rezultate, voi propune niște modificări pentru formulele din normative.

Cuvinte cheie: evaluare acțiune vânt, CFD, Cod Român, Eurocod.

1. Introducere

Acțiunea vântului asupra construcțiilor este din ce în ce mai importantă din cauza schimbărilor climatice. Înălțimile și formele arhitecturale ale clădirilor impun o anumită experiență pentru evaluarea corectă a acestei acțiuni, iar normativele oferă formule și valori practice pentru situații des întâlnite. Inginerii proiectanți preferă variante mai simple și clare pentru calcule, bazându-se pe prevederile normativelor. Acestea ar trebui să fie acoperitoare, oferind siguranța dorită pentru utilizarea construcțiilor pe durata de viață proiectată. Pentru a putea compara modul de evaluare a acțiunii vântului pe baza normativului și prin analiza computațională a dinamicii fluidelor (CFD - computational fluid dynamics), s-a considerat o clădire de forma unui paralelipiped dreptunghic, cu baza de 20x20 m și înălțimea de 15 m. În urma simulărilor prin analiza CFD, am comparat rezultatele cu valorile obținute din CR 1-1-4/2012, pentru a evalua acuratețea valorilor din normativ, privind acțiunea vântului asupra construcțiilor.

2. Despre normativ

CR 1-1-4/2012 stabilește metodologia de evaluare a acțiunii vântului asupra construcțiilor, bazându-se pe EN 1991-1-4:2005 (Eurocod 1- Acțiuni asupra structurilor – Partea 1-4: Acțiuni ale vântului). Normativul oferă metode standardizate pentru calculul forțelor de vânt, ținând cont de și condițiile de teren.

În cazul de față, ecuația examinată este:

$$w_e = \gamma_{Iw} \cdot c_{pe} \cdot q_p(z_e) \quad (1)$$

unde w_e = presiunea/sucțiunea; γ_{Iw} = factorul de importanță; c_{pe} = coeficientul aerodinamic de presiune/sucțiune și $q_p(z_e)$ = valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului la cota z_e .

De fapt, accentul este pus pe coeficientul aerodinamic c_{pe} pentru zonele în care acesta este valabil, precum și pe distribuția presiunii pe laturile clădirii în cazul în care lățimea acesteia este mai mare decât înălțimea ei.

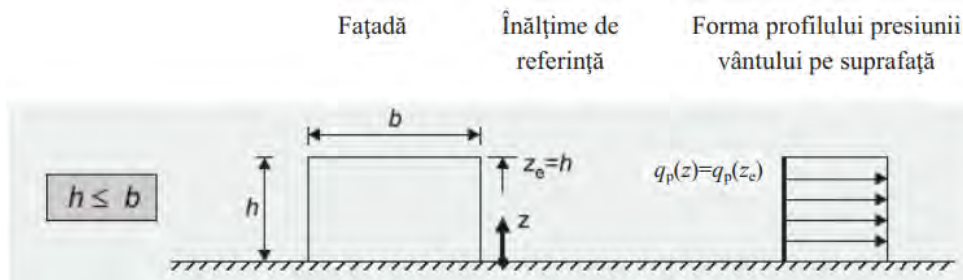


Figura 16. Forma profilului presiunii vântului pe suprafață [1].

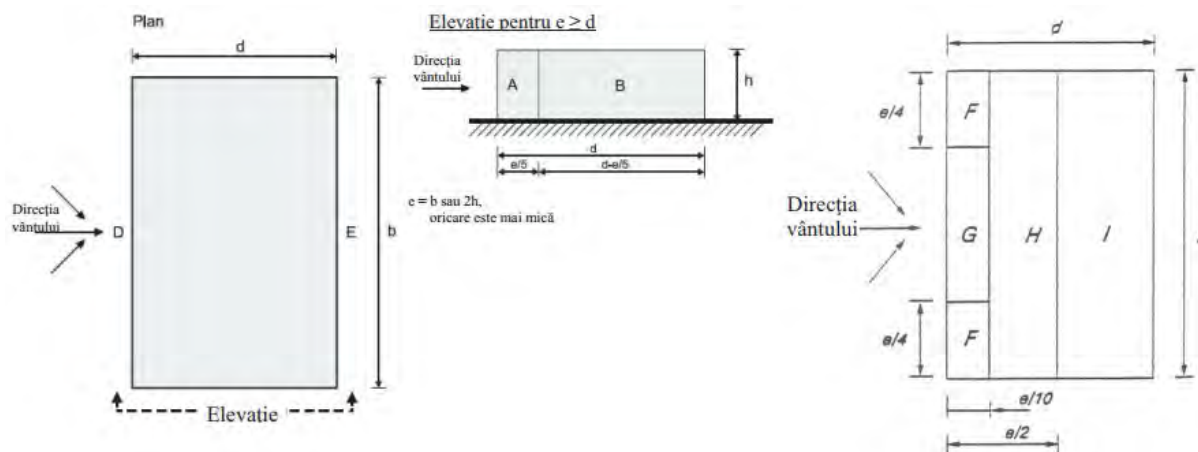


Figura 17. Zonele pentru coeficientul aerodinamic pe acoperiș plat [1].

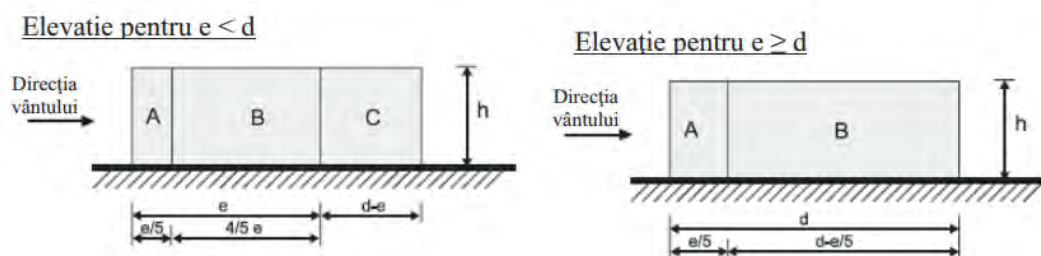


Figura 18. Zonele pentru coeficientul aerodinamic pe fațada paralelă cu vântul [1]

3. Despre analiza CFD

Analiza computațională a dinamicii fluidelor (CFD) este o metodă de simulare numerică a curgerii fluidelor și a efectelor acestora asupra obiectelor solide, folosind modele matematice. Această analiză se bazează pe trei principii fundamentale: conservarea masei, conservarea impulsului și conservarea energiei.

Un model adecvat pentru a conduce o analiză CFD este RANS $k-\varepsilon$ (Reynolds-averaged Navier-Stokes), unde k este energia turbulenței și ε este rata de disipare a turbulenței. Acest model face o mediere în timp și modelează efectele turbulenței prin ecuații suplimentare. Utilizarea ei este suficientă pentru inginerie civilă, fiind rapidă și stabilă. O altă posibilitate este prin metoda LES (Large Eddy Simulation), care poate să simuleze vortexuri mari și este mult mai precis decât RANS, dar și are nevoie de resurse computaționale mai mari decât metoda RANS. Alte metode semnificative sunt: URANS (unsteady RANS), similar cu RANS $k-\varepsilon$, dar păstrează variațiile în timp, respectiv DES (Detached Eddy Simulation), un hibrid între RANS și LES, care folosește RANS în apropierea pereților și LES în regiunile cu turbulențe mari.

Pentru a realiza această cercetare am folosit pachetul software-ul Dlubal RFEM și Dlubal RWIND3, care folosește un model simplificat de RANS $k-\varepsilon$. Comparat cu Ansys sau

OpenFOAM, are opțiuni limitate de personalizare: discretizarea (mesh) este realizată automat, deci nu poate fi rafinat, iar condițiile de capăt pot fi definite numai prin „inlet-outlet-walls”, adică pereți-intrare-ieșire. Cu toate aceste limitări, are toate instrumentele necesare pentru a găsi rezultate exacte [2].

În literatura de specialitate sunt date valorile de $5h$ ca lungimea minimă de intrare (d^-), ca distanța minimă față de marginile laterale (w^+ și w^-) și ca înălțime suplimentară a domeniului de calcul (h^+). Ca distanță de ieșire (d^+) se recomandă o valoare minimă de $15h$. În cazul clădirii paralelipipedice cu $h = 15$ m, rezultă $5h = 75$ m, respectiv $15h = 225$ m [3,4,5].

Folosind aplicația RFEM 6.10, am ales din setările inițiale includerea modulul de simulare a vântului în analiză, după care am introdus geometria exterioară a clădirii. Din meniul „Load Wizard - Wind Simulation” (Asistent încărcare - Simulare vânt) [2] au fost definite parametri pentru analiză (figura 4), după care au fost definite dimensiunile tunelului de simulare a acțiunii vântului (figura 5).

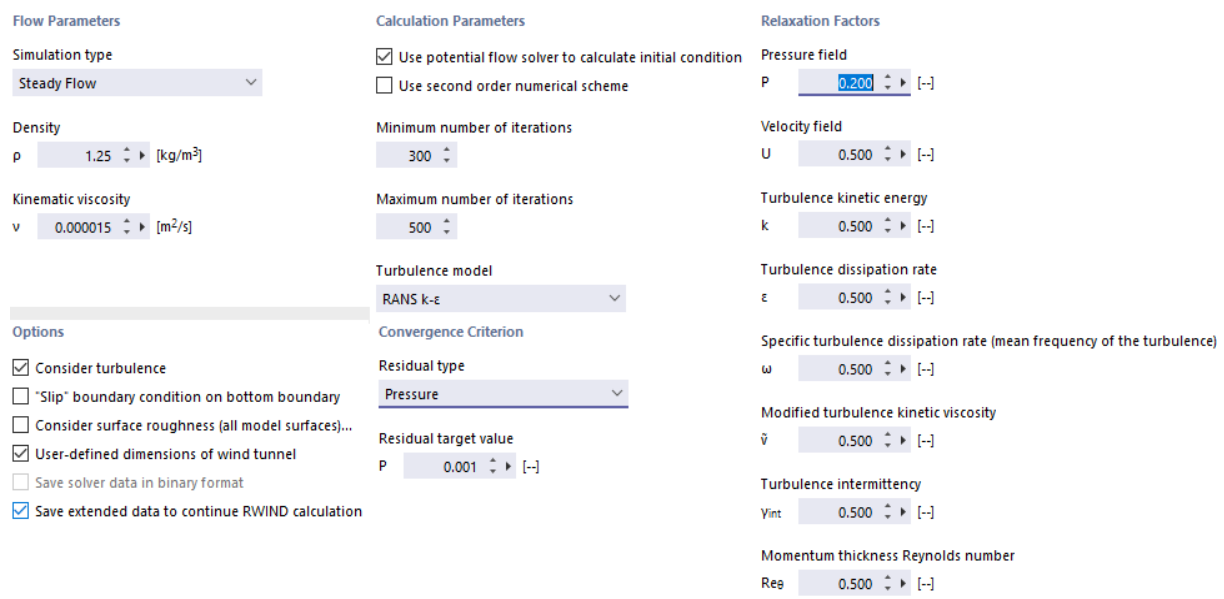
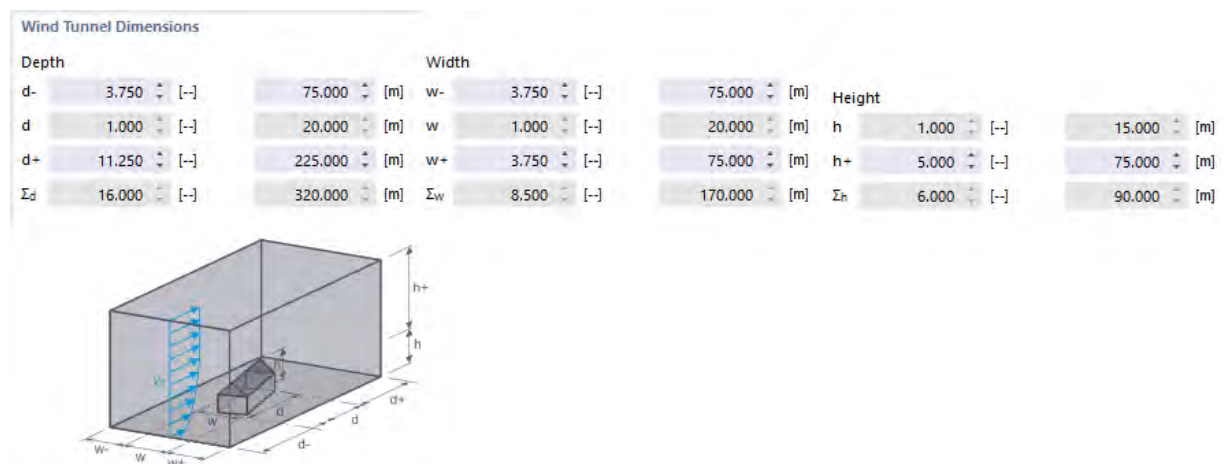


Figura 4. Setările analizei CFD



Depth			Width			Height		
d^-	3.750 [-]	75.000 [m]	w^-	3.750 [-]	75.000 [m]	h	1.000 [-]	15.000 [m]
d	1.000 [-]	20.000 [m]	w	1.000 [-]	20.000 [m]	h^+	5.000 [-]	75.000 [m]
d^+	11.250 [-]	225.000 [m]	w^+	3.750 [-]	75.000 [m]	Σ_h	6.000 [-]	90.000 [m]
Σ_d	16.000 [-]	320.000 [m]	Σ_w	8.500 [-]	170.000 [m]			

Figura 5. Dimensiunile tunelului virtual de vânt.

După obținerea rezultatelor, modelul din tunelul virtual de vânt și rezultatele analizei se pot exporta în programul RWIND3, apăsând butonul „Open RWIND” (Deschide RWIND) și selectând cazul de vânt [2].

4. Compararea rezultatelor

4.1 Rezultatele obținute urmând CR 1-1-4/2012

Considerând clădirea de test (de forma unui paralelipiped dreptunghic cu baza de 20x20 m și înălțimea de 15 m) într-o zonă cu $q_b = 0.7$ kPa, pe un teren de categoria II, valorile presiunii și coeficienții care rezultă din normativ sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1: Valorile presiunii și ale coeficienților de presiune/sucțiune

Zona	A	B	D	E	F	G	H	I
c_{pe} [-]	-1,2	-0,8	+0,8	-0,5	-1,8	-1,2	-0,7	$\pm 0,2$
w_e [kN/m ²]	-2,64	-1,76	1,76	-1,1	-3,96	-2,64	-1,54	$\pm 0,44$

4.2 Rezultatele obținute din analiza CFD

După metoda descrisă în normativ, fața expusă direct la vânt (zona D) este considerată încărcată cu o presiune uniform distribuită pe fațadă. Din analiza CFD însă, pe fața expusă rezultă o altă distribuție (figura 6), cu valoarea maximă de 1,064. Totodată, pe o fâșie de 0,50 m lățime, presiunea scade semnificativ, astfel coeficientul mediu pe această față este 0,80 (valoare egală cu cea din normativ).

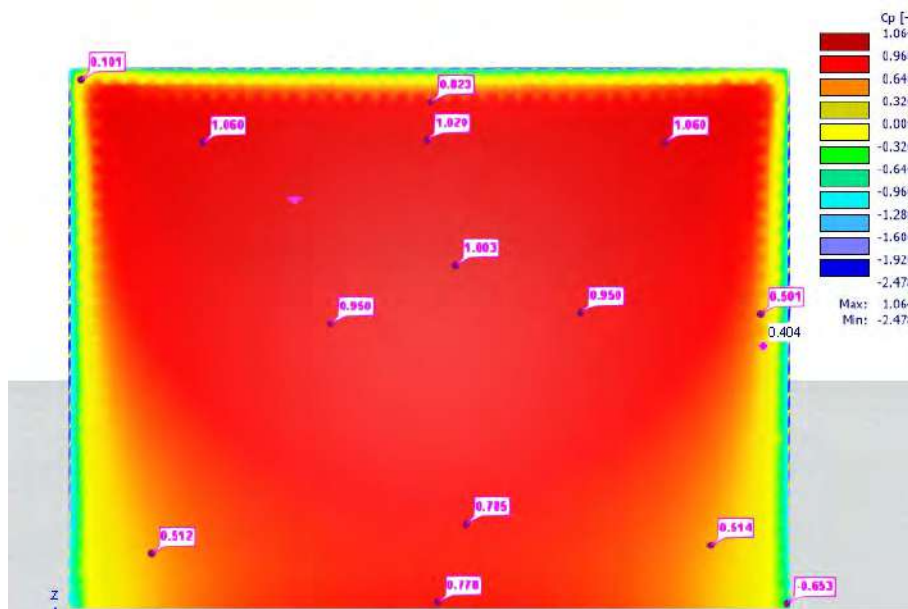


Figura 6. Variația coeficientului de presiune/sucțiune, pe fața expusă direct la vânt.

Fața laterală, paralelă cu direcția vântului (figura 7), poate fi împărțită în mai multe feluri:

- Două zone, A și B; conform CR 1-1-4, cu $c_{pe,A}$ între -2,36 și -1,00 (cu valoarea medie de -1,22) și cu $c_{pe,B}$ între -1,00 și -0,30 (valoarea medie fiind de -0,78).

- Trei zone, I, II și III; unde fâșia I are o lățime de $0,65 \text{ m} \cong \frac{e}{30}$, unde $e = \min(b, 2h)$, conform CR 1-1-4. Valorile $c_{pe,I}$ variază între -2,36 și -1,70 (rezultând o medie de -2,01). Fâșia II are o lățime de $7,00 \text{ m} \cong \frac{e}{3}$, cu valoarea medie a coeficientului de presiune/sucțiune $c_{pe,II}$ de -1,10 și o variație între -1,70 și -0,50. Fâșia III are o lățime de $12,35 \text{ m} \cong \frac{5 \cdot e}{8}$, cu o variație a coeficientului $c_{pe,III}$ între -0,50 și -0,30 și o valoare medie de -0,38.

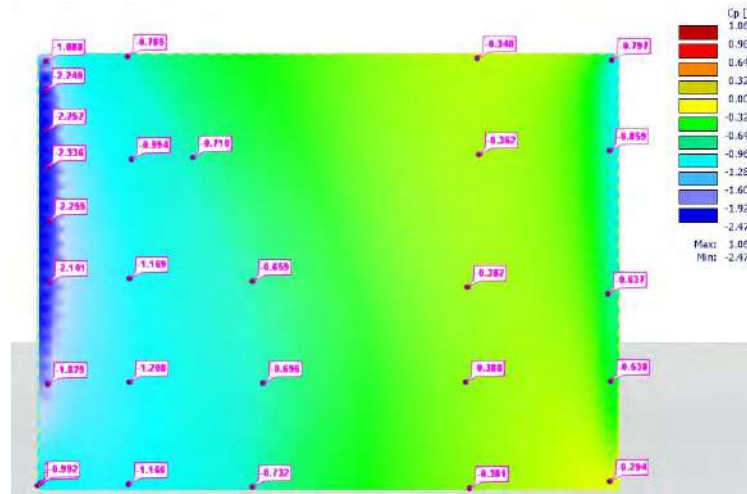


Figura 7. Variația coeficientului de presiune/sucțiune pe fața paralelă cu direcția vântului.

Zonele care apar pe acoperiș (figura 8) sunt asemănătoare cu cele de pe latura paralelă cu direcția vântului. În acest caz, valorile $c_{pe,F}$ nu corespund cu cea din normativ. Valoarea maximă este -1,83, iar valoarea medie rezultă -1,37, față de -1,80 din normativ. Coeficientul $c_{pe,G}$ are o valoare medie de -1,56, depășind valoarea de -1,20 din normativ. Și în cazul zonei I analiza CFD prezintă coeficientul $c_{pe,I}$ cu valori mai mari, între -0,55 și -0,35, față de valoarea -0,20 din normativ.

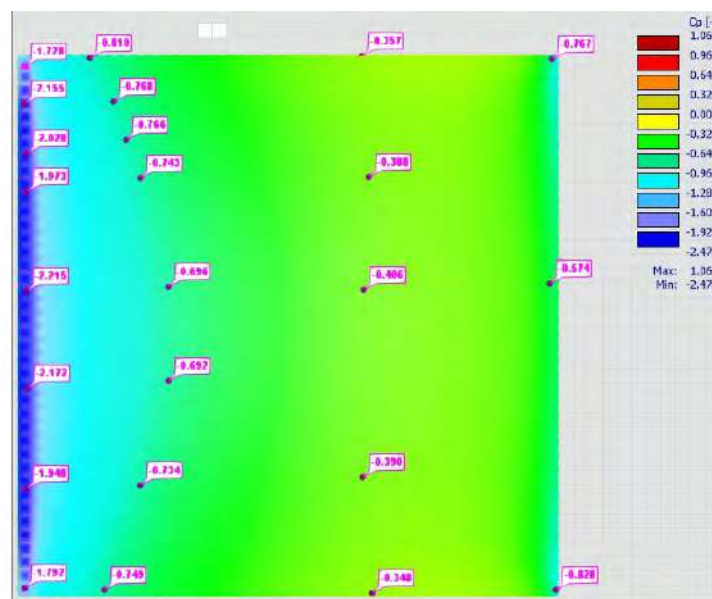


Figura 8. Variația coeficientului de presiune/sucțiune pe acoperișul plat.

Încărcarea fațadei posterioare (figura 9) este asemănătoare cu cea prevăzută în normativul CR 1-1-4. Fața neexpusă direct la vânt (zona E) prezintă valori între -0,63 și -0,20, cu valoarea medie de -0,41. Pentru raportul $\frac{h}{d} = 0,75$, valoarea $c_{pe,E}$ rezultă -0,43 din normativ.



Figura 9. Variația coeficientului de presiune/sucțiune pe fața posterioară.

5. Concluzii

În cazul construcției de control s-au identificat discrepanțe semnificative între valorile coeficientului de presiune/sucțiune dat de normativ și obținut prin analiza CFD. Aceste diferențe au fost mai mari în cazul acoperișului, unde deviația maximă a fost de 23,07%. O asemenea subestimare a încărcărilor poate conduce la probleme în dimensionarea și verificarea părților structurale în acele zone.

Pe baza rezultatelor obținute se poate observa faptul că metoda prescrisă de normativ nu ține cont de maxime locale ale încărcării fațadelor, care apar pe zone mici. În majoritatea construcțiilor asemenea maxime locale nu afectează structura, deoarece ele apar aproape de colțurile sau laturile construcțiilor, unde există de regulă elemente structurale care să preia încărcările. Însă, pot apărea probleme locale, mai ales în cazul în care aceste încărcări sunt pe elemente de închidere, cum ar fi ferestrele de colț sau balcoane închise ulterior. Deși normativul CR 1-1-4/2012 este practic pentru verificarea elementelor structurale, pentru surprinderea unor efecte locale sau pentru verificarea unor elemente nestructurale supuse la încărcarea din vânt, analiza CFD poate fi utilă.

BIBLIOGRAFIE

1. CR 1-1-4/2012. *Cod de proiectare a structurilor. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor*. Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, București, 2013.
2. Dlubal Software. (2023). *Online Manuals – RWIND3* (Versiunea 3.05). Dlubal Software GmbH. <https://www.dlubal.com>
3. Tamura T., *Reliability on CFD estimation for wind-structure interaction problems*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (81). 1999. 117-143.
4. Tominaga Y., et al, *AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (96). 2008. 1749-1761.
5. Franke J., Hellsten A., Shlünzen H., Carissimo B., *The COST 732 Best Practice Guide for CFD simulation of flows in the urban environment: A summary*. International Journal of Environment and Pollution (44). 2011. 419-427.



ANALIZA COMPORTĂRII SEISMICE A CLĂDIRILOR DIN PANOURI MARI PREFABRICATE DIN BETON ARMAT ÎN URMA INTERVENȚIILOR NEAUTORIZATE ASUPRA STRUCTURII

Autor

Ghițulescu Mihai-Valentin

Facultatea de Construcții, Universitatea Ovidius din Constanța, mihaighitulescu170@yahoo.com

Îndrumător

Ș.l.dr.ing. Sunai Gelmambet

Facultatea de Construcții, Universitatea Ovidius din Constanța, gelmambets@univ-ovidius.ro

REZUMAT: România se numără printre cele mai expuse țări europene la riscurile generate de activitatea seismică, în special din cauza cutremurelor de adâncime intermediară generate în zona seismică Vrancea. În acest context, una dintre cele mai problematice categorii de construcții o reprezintă clădirile realizate din panouri mari prefabricate din beton armat. Aceste structuri au fost realizate prin intermediul normativelor de proiectare din acea perioadă, dar, prin declanșarea numeroaselor acțiuni seismice, au fost luate măsuri substanțiale pentru a reduce riscul de colaps și de a îmbunătăți performanța acestora. Odată cu liberalizarea pieței imobiliare, proprietarii au început să își adapteze locuințele după nevoi personale, fără a consulta un inginer structurist sau a obține avize legale. Această lucrare tratează comportarea seismică a unei clădiri situate în București, formată din panouri mari prefabricate ce a dispus intervenții neautorizate. Structura studiului de caz este formată din trei analize esențiale: comportarea clădirii în stare originală, eliminarea pereților interiori, și intervenții neautorizate asupra pereților exteriori. Pentru aceste scenarii au fost realizate diferite modele spațiale pentru a evidenția apariția deformațiilor și mecanismul de cedare al structurii. Această lucrare are scopul de a înțelege importanța cunoașterii riscurilor care pot apărea dacă se dorește orice modificare a compartimentării.

Cuvinte cheie: intervenții, deformații, comportare, modificare, îmbunătățiri.

1. Introducere

Clădirile din panouri mari prefabricate din beton armat, construite între 1960–1989, sunt printre cele mai vulnerabile. Proiectate conform normelor acelei perioade, acestea nu îndeplinesc cerințele actuale privind performanța, disiparea energiei și comportamentul în domeniul plastic. Deși eficiente inițial ca timp și cost, expertizele efectuate după anul 1990 au arătat o vulnerabilitate structurală crescută.

Sistemele utilizate presupuneau elemente prefabricate verticale și orizontale: panouri prefabricate și planșee, acestea fiind montate pe șantier. Îmbinările dintre panouri erau realizate prin betonare în situ sau conectori metalici, dar adesea execuția nu era atent controlată. Planșeele, de regulă prefabricate sub formă de dale, contribuiau la rigidizarea structurii pe orizontală și la transmiterea forțelor către pereții verticali.

Lucrarea analizează o clădire P+4E din București în trei scenarii: în stare inițială și cu intervenții asupra pereților interiori și exteriori. Cu ajutorul modelărilor numerice sunt evidențiate deformațiile, deplasările maxime de nod și tensiunile principale.



La cutremurul din 1977 s-au înregistrat fisurări în rosturi, desprinderi de panouri, prăbușiri de scări sau stâlpi. Problemele identificate includ lipsa de continuitate structurală, distribuția inegală a tensiunilor și rosturi neconform realizate.

2. Diferențe între normele de proiectare seismică vechi și cele actuale

În analiza comportării seismice a clădirilor din panouri mari prefabricate, o componentă esențială este comparația riguroasă între normele de proiectare antiseismică din perioada construcției, în special P100/78, și cele actuale, precum P100-1/2013. Această diferență reflectă o schimbare fundamentală de paradigmă în concepția structurală și abordarea siguranței clădirilor la cutremur.

Normele anterioare anului 1990, cum sunt P13/63, P13/70 și P100/78, erau fondate pe o abordare de tip elastic, fără a include comportamentul post-elastic sau ductilitatea necesară. În perioada 1963–1977, normele P13/63 și P13/70 se bazau pe accelerații reduse și spectre de răspuns simplificate. După cutremurul din 4 martie 1977, valorile de calcul au fost modificate, iar hărțile de zonare s-au actualizat.

În normativul P100/78 sunt formulate cerințe antiseismice la nivel național, dar într-un mod rigid, cu soluții tipizate, fără control asupra ductilității sau detaliilor de armare. În contrast, normele actuale, P100-1/2013 și EUROCOD 8, includ concepte precum SLU, SLS, perioade de revenire, clase de importanță și spectre adaptate solului, absente anterior.

Un alt aspect fundamental este legat de valoarea accelerației de vârf de proiectare, care a fost semnificativ subestimată în vechile norme. Spre exemplu, conform tabelului 1 din [7], pentru București, accelerația proiectată conform P13/63 era de 0.025g, în P100/78 de 0.20g, iar în P100-1/2013 de 0.30g, ceea ce implică o creștere substanțială a nivelului de proiectare antiseismic. De asemenea, valorile perioadelor fundamentale de colț (T_c) au fost adaptate în funcție de zonarea seismică și categoria terenului, aspecte care lipseau în anii '70–'80.

Tabelul 1, selectat doar pentru municipiul București, din [7].

Nr.	Localitate	Normativ/Cod					
		P13/63	P13/70	P100/78	P100/92	P100/2006	P100/2013
		K_s	K_s	K_s	a_s/g	a_s/g	a_s/g
1	București	0.025	0.030	0,200	0,20	0,24	0,30

Normativele moderne, în special P100-1/2013 și EUROCOD 8, impun o abordare bazată pe cerințe de performanță, prin definirea stărilor limită: funcționalitate, avarie controlată, prevenirea colapsului. Se introduce conceptul de factori de comportare q , care permit reducerea forțelor de calcul dacă structura disipează energia în mod ductil. Astfel, proiectarea urmărește comportarea controlată în domeniul nelinier, nu o rezistență absolută.

În trecut, normele prevedeau metoda statică echivalentă, aplicabilă tuturor clădirilor. În prezent, se impune analiza modală sau neliniară pentru structuri înalte, neregulate sau cu mase și rigidități complexe. Conform [6], analiza neliniară „pushover” este obligatorie pentru evaluarea corectă a structurii în cazul unor intervenții sau consolidări.

Până în anii 2000, conform [7], hărțile de hazard seismic erau simplificate, fără diferențiere pe sol. Ulterior, în P100-1/2006 și P100-1/2013, acestea au fost reformulate pe baza studiilor realizate de INFP și INCERC, introducând hărți de accelerație și perioade de colț, în funcție de categoria de teren, pentru o proiectare adaptată realității geotehnice.



Figura 1. Zonarea seismică a teritoriului României, din STAS 2923-63



Figura 2. Zonarea seismică a teritoriului României, din STAS 11100/1-91 și STAS 11100/1-93

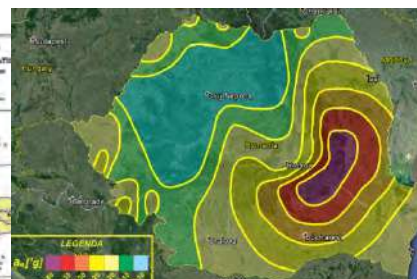


Figura 3. Harta de zonare seismică (PGA) din [3]

Comparând Figura 1, în care este reprezentată zonarea seismică a teritoriului României din STAS 2923-63 cu cea din Figura 2 din STAS 11100/1-91 și STAS 11100/1-93, se observă că, la nivelul municipiului București și conform [4], după producerea cutremurului din 4 martie 1977, s-a trecut de la zona de grad macroseismic 7 în scara MSK la cea de intensitate 8 MSK. Această situație are mai mult caracter conjunctural, pentru a “liniști” populația.

Figura 3 reprezintă creșterea substanțială a valorilor accelerației de vârf comparativ cu cele din STAS 2923-63, STAS 11100/1-91 și STAS 11100/1-93, la cea de 0,30g pentru zona București.

3. Studiu de caz: Clădire din panouri mari prefabricate situată în București

Pentru a evalua impactul intervențiilor neautorizate asupra comportamentului seismic al clădirilor din panouri mari prefabricate, a fost selectată o structură din București, localizată în cartierul Drumul Taberei, ridicată între anii 1979–1980. Clădirea face parte dintr-un ansamblu de locuințe executate conform normativului P100/78, având o structură cu regim de înălțime P+4E, panouri prefabricate pe ambele direcții și planșee prefabricate tip dală.



Figura 4. Prezentare generală a clădirii în software-ul SCIA Engineer

Studiul de caz a urmărit comportamentul structural în trei situații distincte, care reflectă evoluția stării construcției în timp: în starea inițială, după intervenții asupra panourilor



exterioare, constând în eliminarea acestora pentru executarea unor ieșiri tip balcon, și intervenții asupra panourilor interioare, pentru a interconecta camere. Pentru realizarea fiecărui scenariu a fost elaborat un model tridimensional al clădirii, conform Figurii 4, utilizând software-ul SCIA Engineer, care permite evidențierea deplasărilor maxime de nod, eforturilor principale și a deformațiilor.

Clădirea analizată este alcătuită din câte cinci apartamente de 100 m² pe fiecare nivel. Structura este de formă dreptunghiulară în plan, cu dimensiuni de 50x15 m, și o dispunere simetrică a panourilor prefabricate pe direcțiile longitudinală și transversală. Materialele au fost introduse cu caracteristicile inițiale: beton de clasă C20/25 și armături tip OB37 și PC52. În cadrul scenariilor analizate, s-a avut în vedere și efectul degradării în timp, specific îmbătrânirii materialelor.

Panourile prefabricate au dimensiunile de 5x2,8 m și sunt conectate prin stâlpișori și centuri cu secțiuni de 20x20 cm. Grosimea panourilor verticale este de 20 cm, iar cea a planșeului de 14 cm. În interiorul clădirii a fost modelat și golul destinat scării de circulație verticală.

Pentru evaluarea încărcărilor permanente s-a utilizat normativul SREN1991-1-1:2004. Astfel, s-au determinat următoarele valori ale încărcărilor specifice: 6,38 kN/m² pentru etajele curente și 5,56 kN/m² pentru terasa necirculabilă.

Încărcările utile, conform normativului SREN1991-1-1:2004, s-au ales astfel: pentru etajul curent de 1,5 kN/m² și pentru terasă de 0,75 kN/m².

Din formula pentru calculul încărcării zăpezii neaglomerate, conform CR1-1-3/2012, este:
 $S = \gamma_{1s} * C_e * C_t * \mu * s_k$; unde reiese că $S = 1,60 \text{ kN/m}^2$

3.1. Scenariul 1 – Starea inițială a clădirii

Studiul de caz începe cu analiza stării inițiale a clădirii, fără a se lua în calcul eliminarea panourilor prefabricate. În programul SCIA Engineer au fost introduse datele necesare pentru efectuarea calculului structural. Analiza se concentrează pe rezultatele privind deplasările maxime ale nodurilor, tensiunile principale și deformațiile pe direcțiile axelor X și Y. Pentru o evaluare detaliată, structura a fost împărțită în patru axe principale: două exterioare (una longitudinală și una transversală) și două interioare, selectate în mod similar.

În cadrul acestui scenariu a fost analizat în special axul cu deplasări semnificative, respectiv axul transversal exterior. Astfel, Figura 5 evidențiază deplasările maxime ale nodurilor.

În acest sens, pe direcția axei Y, s-a înregistrat valoarea maximă de 4,4 mm pe axul transversal exterior, iar pe axul longitudinal interior pe direcția X valoarea 3 mm. În ceea ce privește distribuția tensiunilor principale, acestea se concentrează în dreptul golurilor de ușă pe axul longitudinal interior, respectiv la extremitățile golurilor de fereastră pe axul exterior. Un exemplu relevant este prezentat în Figura 7, care ilustrează distribuția tensiunilor principale pe axul transversal pentru gruparea seismică, comparativ cu Figura 8, care ilustrează tensiunile în cazul grupării fundamentale.

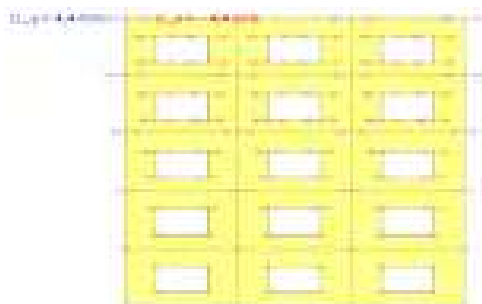


Figura 5. Deplasările maxime de nod ale axului transversal exterior

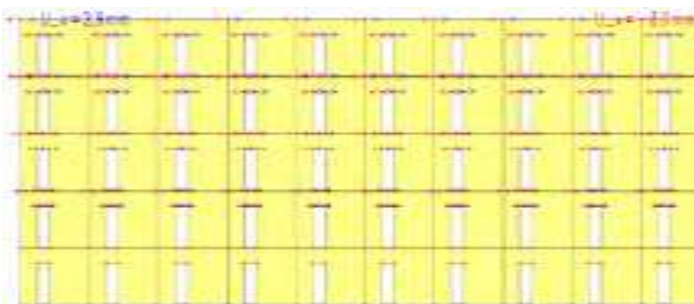


Figura 6. Deplasările maxime de nod ale axului longitudinal interior

Se remarcă diferențe semnificative la nivelul distribuției tensiunilor principale ale panourilor prefabricate, ceea ce subliniază importanța grupării seismice în procesul de proiectare a unei astfel de structuri. Modelarea a condus la următoarele observații: în comparație cu cerințele actuale, structura prezintă deficiențe în ceea ce privește flexibilitatea, iar disiparea energiei se produce predominant în zona extremităților golurilor din interiorul panourilor, aspect evidențiat în Figura 7.

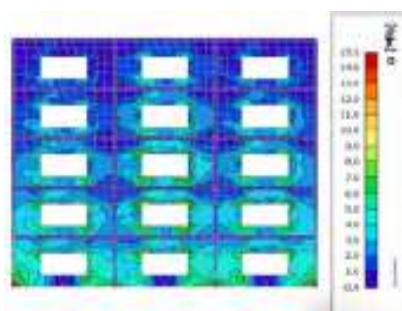


Figura 7. Tensiunile principale din Gruparea Seismică ale axului transversal exterior

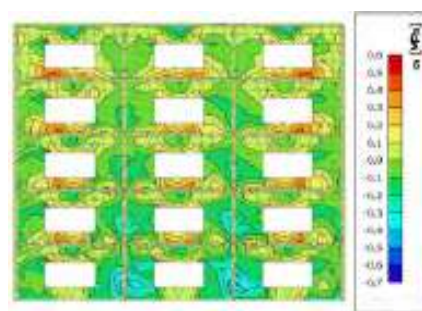


Figura 8. Tensiunile principale din Gruparea Fundamentală ale axului transversal exterior

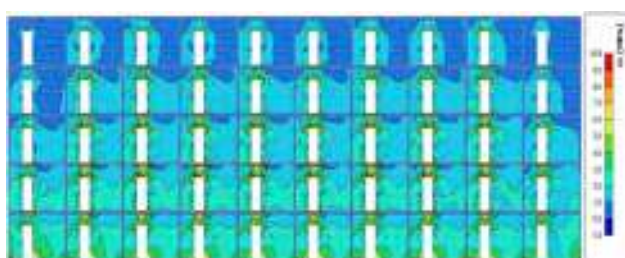


Figura 9. Tensiunile principale din Gruparea Seismică ale axului longitudinal interior.

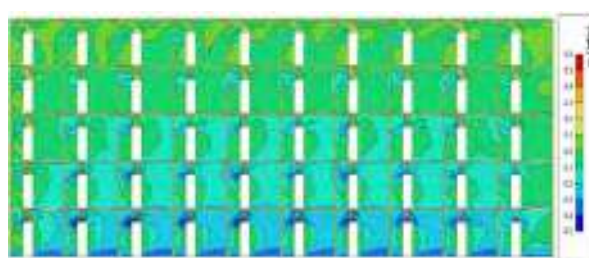


Figura 10. Tensiunile principale din Gruparea Fundamentală ale axului longitudinal interior.

3.2. Scenariul 2 – Intervenții asupra pereților exteriori

În acest scenariu, este analizată eliminarea unor panouri prefabricate ce aparțin axului transversal exterior, în vederea amenajării unor terase. În modelul realizat în SCIA Engineer, această intervenție a fost simulată prin eliminarea treptată a panourilor și efectuarea calculelor structurale aferente axei vizate. Modificarile au fost aplicate atât în plan longitudinal, cât și transversal, însă în cadrul acestui scenariu au fost evidențiate în special rezultatele aferente axei transversale, considerată reprezentativă pentru evaluarea comportamentului structural.

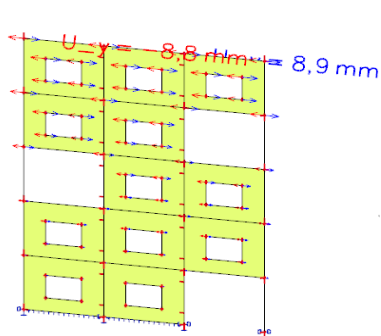


Figura 11. Modificarea deplasărilor maxime de nod ale axului transversal exterior

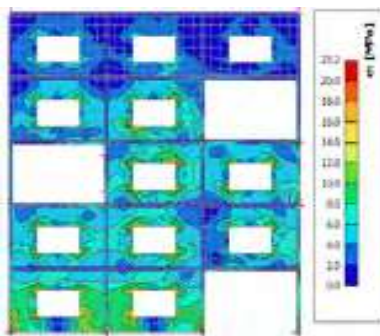


Figura 12. Modificarea tensiunilor principale din Gruparea Seismică

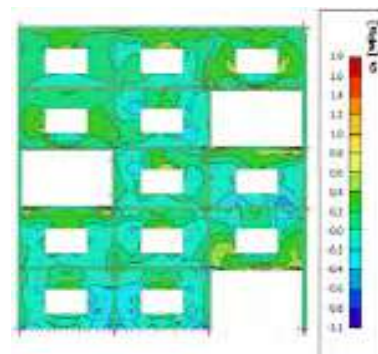


Figura 13. Modificarea tensiunilor principale din Gruparea Fundamentală

Așa cum reiese din Figura 11, deplasarea maximă de nod ajunge la 8,9 mm, ceea ce reflectă o reducere semnificativă a rigidității globale a structurii și o creștere a vulnerabilității la acțiuni seismice. Conform Figurilor 12 și 13, tensiunile principale se redistribuie, generând solicitări suplimentare asupra panourilor rămase. Această nouă configurație structurală evidențiază un risc crescut de apariție a avariilor locale, în special în zonele în care panourile preiau acum sarcini mai mari decât cele pentru care au fost inițial proiectate, precum golurile pentru ferestre. Diferențele semnificative dintre distribuțiile tensiunilor din gruparea fundamentală și cea seismică, comparativ cu primul scenariu, subliniază comportamentul necorespunzător al clădirii în urma intervențiilor neautorizate.

3.3.Scenariul 3 – Intervenții asupra pereților interiori

În ultimul scenariu este analizată îndepărtarea neuniformă a panourilor prefabricate de pe axele transversale și longitudinale interioare, cu scopul de a crea deschideri între camere. Aceste intervenții alterează semnificativ traseul de transmitere a forțelor seismice, care conduc la discontinuități structurale importante și reduc capacitatea portantă a clădirii, ducând chiar și la colaps.

Pentru a evidenția impactul acestor modificări, a fost analizat axul longitudinal, considerat relevant pentru acest scenariu. În acest caz, conform reprezentării din Figura 14, deplasarea maximă crește semnificativ, ajungând la 3,9 mm, față de valoarea de 3 mm înregistrată în starea inițială a clădirii, respectiv în Figura 6.

În Figura 15, sunt prezentate tensiunile principale din Gruparea Seismică, iar în Figura 16 din Gruparea Fundamentală. Acestea, comparativ cu cele din Figurile 9 și 10, se concentrează în zonele de joncțiune, generând un risc considerabil de cedare structurală în dreptul golurilor. Acest comportament reflectă o pierdere accentuată a stabilității globale a structurii și subliniază necesitatea unei intervenții urgente de consolidare.

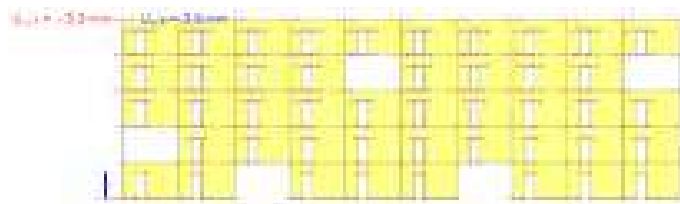


Figura 14. Modificarea deplasărilor de nod ale axului longitudinal interior în urma intervențiilor.

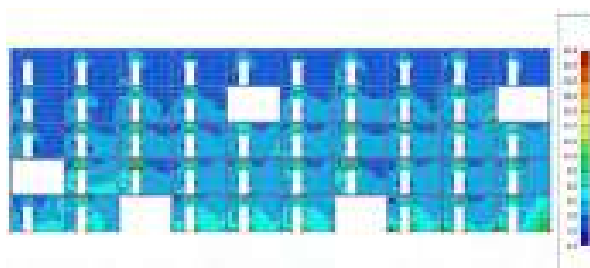


Figura 15. Modificarea tensiunilor principale din Gruparea Seismică după intervenții.

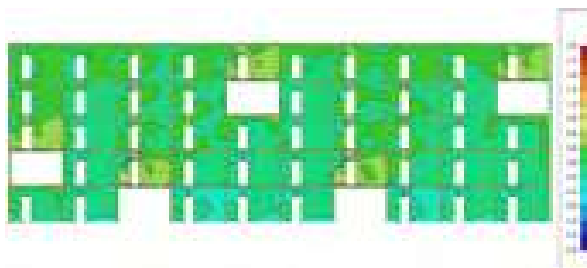


Figura 16. Modificarea tensiunilor principale din Gruparea Fundamentală după intervenții.

4. Analiza rezultatelor și interpretarea comportamentului structural

Compararea celor trei scenarii analizate evidențiază o degradare progresivă a performanței structurale pe măsură ce sunt efectuate intervenții neautorizate. Îndepărtarea panourilor conduce la efecte structurale severe, caracterizate prin deplasări excesive și apariția unor concentrații locale de eforturi, care pot favoriza colapsul parțial sau chiar total al structurii.

În acest context, se subliniază importanța efectuării de expertize tehnice în teren, precum și necesitatea unei evaluări riguroase a fiecărei modificări operate asupra acestor tipuri de structuri.

5. Soluții de consolidare pentru clădirile din panouri mari prefabricate afectate de intervenții neautorizate

Evaluarea structurală arată clar că imobilele din panouri mari cu intervenții neautorizate necesită consolidări, iar metoda aleasă depinde de tipul modificărilor, starea structurii, funcțiunea clădirii și de criteriile economice sau practice.

O metodă frecvent utilizată este reconstruirea pereților eliminați sau subdimensionați, prin realizarea de pereți noi din beton armat turnat monolit, ancorați la fundație și planșeu cu tije filetate, bare de oțel sau conectori mecanici speciali. Armătura trebuie detaliată pentru comportament ductil, conform P100-1/2013, pentru a permite disiparea controlată a energiei.

Dacă reconstruirea nu este posibilă, o alternativă viabilă este adăugarea de elemente verticale, precum contravântuiri metalice sau diafragme rigide, montate în zone comune, colțuri sau apartamente neocupate temporar. Contravântuirile, sub formă de cadre metalice în X sau V, pot include amortizoare pentru disiparea energiei și sunt ușor de integrat în structura existentă.

O soluție modernă, conform [13], este aplicarea de materiale compozite (plase și benzi din fibre de carbon), lipite cu adezivi epoxidici pe suprafețe structurale. Aceste materiale sunt



ușoare și rezistente la tracțiune, fără a necesita intervenții invazive sau adăugare de masă structurală semnificativă.

6. Concluzii

Lucrarea și-a propus să analizeze comportamentul seismic al clădirilor realizate din panouri mari prefabricate din beton armat în contextul intervențiilor neautorizate, cu aplicabilitate directă asupra fondului construit urban existent în România. Prin modificările aduse, locatarii pot genera un risc major de colaps al clădirii, chiar dacă aceasta nu prezintă deficiențe în condiții statice, comportamentul ei schimbându-se însă considerabil în timpul acțiunii seismice. De aceea, este obligatoriu ca orice intervenție asupra structurii să fie evaluată de un expert tehnic autorizat. Astfel, prin evaluare tehnică, simulare numerică și interpretarea modelării structurale, s-a demonstrat că aceste clădiri prezintă vulnerabilități semnificative după intervenții.

Un aspect important este discrepanța dintre normele de proiectare din perioada construcției și cele actuale. Normativul P100/78, deși adecvat la acea vreme, nu includea concepte moderne precum comportamentul privind performanța, disiparea energiei sau detalierea riguroasă a armăturilor, acestea fiind detaliate în normativele în vigoare, P100-1/2013 și EUROCOD 8.

Studiul de caz, o clădire P+4E din București realizată din elemente prefabricate, a arătat degradarea comportamentului structural prin intervenții antropice. Eliminarea panourilor duce la pierderea rigidității, creșterea deplasărilor de nod, scăderea masei antrenate și concentrații suplimentare de eforturi.

BIBLIOGRAFIE

1. P 100-1/2013 – “Cod de proiectare seismic , Partea I”.
2. P100/78 – “Normativ proiectarea antiseismica a constructiilor de locuinte, social-culturale , agrozootehnice si industrial”.
3. Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației (MDLPA) – “Harta interactivă a zonării seismice după valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului”.
4. Emil-Sever Georgescu, Claudiu Sorin Dragomir, Ioan Sorin Borgia – “Zonarea seismica a Romaniei in contextul cerintelor standardelor europene”.
5. P13/63 – “Normativ conditionat pentru proiectarea constructiilor civile si industrial din regiuni seismice”.
6. Enciclopedia in Inginerie Civila – “Analiza PUSHOVER”.
7. Radu Petrovici – “Evolutia prevederilor de proiectare seismica pentru structurile si elementele nestructurale din zidarie in perioada 1963 – 2013”.
8. P13/70 – “Normativul pentru proiectarea constructiilor civile si industrial din regiuni seismice”.
9. STAS 11100/1-91 si STAS 11100/1-93 – “Macrozonarea teritoriului Romaniei; Harta de zonare a intensitatii seismice”.
10. SR EN 1998-1:2004/NA:2008 (Eurocod 8) – “Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur. Partea I: Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri. Anexa națională”.
11. P 100-1/2006 – “ Cod de proiectare seismica, PARTEA I, Prevederi de proiectare pentru cladiri”, pagina 23.
12. STAS 2923-63 – “ Macrozonarea teritoriului R. P. Romane ,Harta de zonare a intensitatii seismice”.
13. Revista Construcțiilor, SC MAPEI ROMANIA SRL: -“Sistemul FRP Mapei. Sistem pentru consolidarea statica si antiseismica a structurilor”.
14. CR 1-1-3/2012-“ Cod de proiectare. Evaluarea zăpezii asupra construcțiilor”.
15. SREN1991-1-1:2004-“Acțiuni asupra structurilor”.



BETON ECOLOGIC CU CAUCIUC

Autor/autori

Anita VASS¹, M. VÂRTELEAN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: vass.le.anita@student.utcluj.ro](mailto:vass.le.anita@student.utcluj.ro),

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: vartelean.du.ma@student.utcluj.ro](mailto:vartelean.du.ma@student.utcluj.ro).

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Camelia. NEGRUȚIU

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: camelia.negrutiu@dst.utcluj.ro](mailto:camelia.negrutiu@dst.utcluj.ro)

REZUMAT: Industria automobilistică produce deșeuri de cauciuc pe nivel global, având un efect poluant asupra mediului. Prin reciclarea deșeurilor de cauciuc și încorporarea acestor materiale în domeniul construcțiilor este posibil reducerea efectului și realizarea structurilor mai ecologice. Pentru a combate poluarea naturii de anvelope, este posibil înlocuirea agregatelor în beton.

Cuvinte cheie: beton, cauciuc, reciclare, ecologie.

1. Introducere

Pentru realizarea unui beton mai ecologic trebuie să luăm în considerare proprietățile materialului pe care îl adăugăm pentru a îmbunătăți structura acestuia. Cauciucul are un volum și o densitate diferită față de agregatele din nisip și pietriș. Betonul simplu (nearmat) prezintă o rezistență ridicată la compresiune dar o rezistență slabă la întindere. Pentru a combate poluarea naturii de anvelope, este posibil înlocuirea agregatelor în beton [1].

2. Metode și materiale

Ambele amestecuri sunt experimentale, una fiind amestecul de bază cu agregate naturale și alta în rețeta căruia agregatele naturale au fost înlocuite cu cauciuc reciclat.

2.1. Materiale

Materialele folosite în compoziția unui beton obișnuit sunt agregate, ciment, apă, și plastifianți. Cauciucul folosit are diametrul maxim de 4 milimetri care este reciclat din anvelope. Acest tip de cauciuc este adeseori folosit la terenuri de fotbal, aici a fost folosit ca o alternativă la agregatele de râu.



Figura 1. Cauciuc reciclat folosit la un teren de fotbal

În urma trecerii prin ciururi, am realizat granulozitatea, care indică că majoritatea particulelor au diametrul de 2 milimetri [2]. Comparativ cu agregatele obișnuite de nisip sau pietriș folosit la betonul obișnuit care au diametrul între 0 și 16 mm, acest material nu are curba granulometrică în zona favorabilă, din cauza constrângerilor pieții de reciclare.



Figura 2. Fibre textile din cauciucul folosit

Cauciucul folosit a fost uscat înainte de a fi pus în manoperă timp de o zi într-o etuvă la 50 de grade Celsius. Cauciucul avea în compoziție fibre textile rămase de la reciclarea anvelopelor. Aceste anvelope au de obicei incorporată în structură componente textile, care pot să susțină rezistența la încovoiere a compozitului.

A fost folosit un aditiv lichid pentru a asigura aderența probei. Acest tip de aditiv pentru betoane și mortare îmbunătățește rezistențele unei material în a cărui structură este folosit.

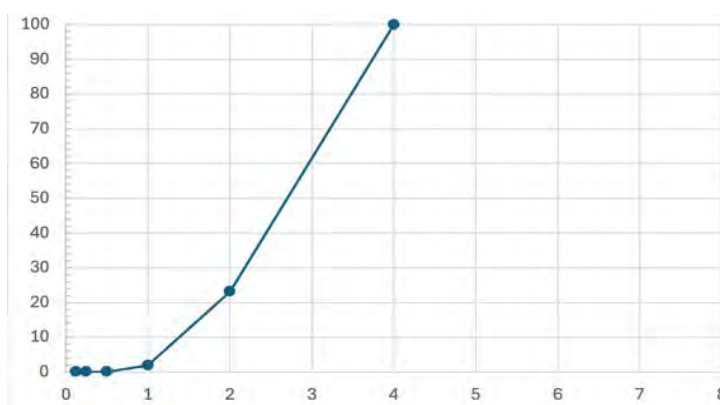


Figura 3. Curba granulometrică

Tabelul 1. Date granulozitate

Latura ochiului pătrat	Restul pe ciur(g)	Restul pe ciur corectat (g)	Trecerea masică prin ciur (g)	Trecerea procentuală prin ciur (%)
4	0	0	1000	100
2	768,6	768,6	231,4	23,14
1	211,9	211,9	19,5	1,95
0,50	18,9	18,9	0,6	0,06
0,25	0,1	0,1	0,5	0,05
0,125	0,2	0,2	0,3	0,03
Rest pe tavă	0,6	0,3	0	0

2.2. Metode

Pentru realizarea amestecului de beton am folosit un malaxor cu 1,5 litri și am realizat trei cuburi de 50x50x50 mm și două prisme de 40x40x150 mm din ambele rețete, pentru a testa rezistența la compresiune și încovoiere [3]. Am turnat și un cub din beton cu cauciuc de dimensiuni mai mari de 100x100x80 mm pentru a verifica cantitatea de apă care trece prin porii structurii. Sub acest cub de dimensiuni mai mari am pus un strat de pietriș de un centimetru, pentru drenaj. Decofrarea și testările au fost efectuate la șapte zile după turnare.

2.2.1. Rețete de beton

Tabelul 2. Materiale folosite

	1 m ³ (kg)	1,5 l = 0,0015 m ³ (kg)
CEM I 52,5R	300	0,45
apă	187	0,27
suerplastifianți	5,7	0,00855
cauciuc/agregat	829,5	1,244

2.2.2. Rezistența la compresiune

Rezistența la compresiune reprezintă forța maximă pe care un material o poate suporta la strivire. Această rezistență este măsurată în N/mm² sau MPa. Această proprietate este importantă pentru materiale folosite în construcții, cum ar fi betonul, piatra și cărămida. Betonul prezintă o rezistență ridicată la compresiune, dar o rezistență slabă la întindere. Determinarea acestei rezistențe se face prin teste de laborator efectuate pe epruvete standardizate.

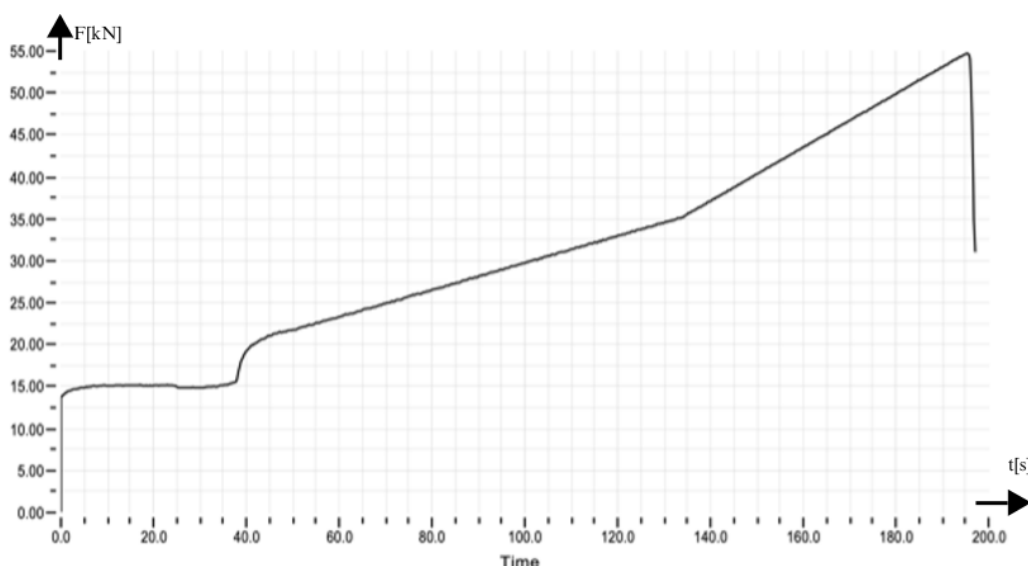


Figura 4. Diagrama încercării la compresiune a betonului cu agregate naturale

În urma testărilor am constatat că betonul făcut din rețeta martor a avut o rezistență bună la compresiune, însă în betonul cu cauciuc nu este posibil înregistrarea unei schimbări datorită elasticității materialului și reorganizarea granulelor de cauciuc în pori în urma solicitării.

$$f_{cd,c} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

unde F = valoarea maximă a forței; A = aria secțiunii cubului.

$$\text{Cubul 1: } f_{cd,c} = \frac{54,73 \cdot 1000}{50^2} = 21,89 \text{ N/mm}$$

$$\text{Cubul 2: } f_{cd,c} = \frac{49,70 \cdot 1000}{50^2} = 19,88 \text{ N/mm}$$

$$\text{Cubul 3: } f_{cd,c} = \frac{50,09 \cdot 1000}{50^2} = 20,04 \text{ N/mm}$$



Figura 5. Încercarea betonului simplu la compresiune



Figura 6. Încercarea betonului cu cauciuc la compresiune

2.2.3. Rezistența la încovoiere

Rezistența la încovoiere a unui element structural se exprimă în N/mm^2 (sau MPa) și reprezintă comportamentul acestuia când este supus unei solicitări externe aplicate perpendicular pe axa longitudinală. Această proprietate este esențială pentru metale (cabluri și armături). Determinarea se realizează pe epruvete standardizate.

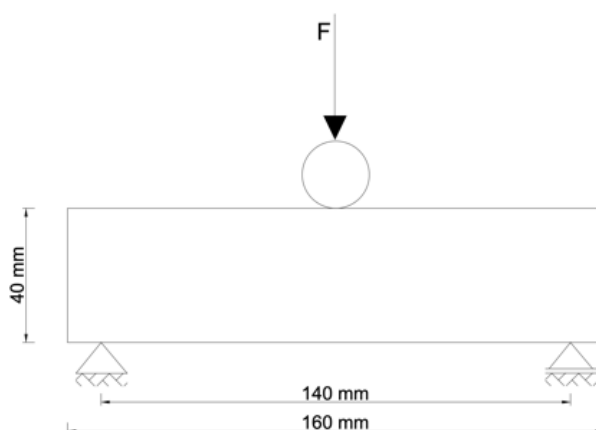


Figura 7. Determinarea rezistenței la întindere prin încovoiere prin aplicarea unei forțe concentrate

În urma testărilor am constatat că rezistența betonului ecologic la întindere este slabă, materialul se rupe foarte ușor și nu poate fi înregistrat o valoare de rezistență ca și la betonul obișnuit.

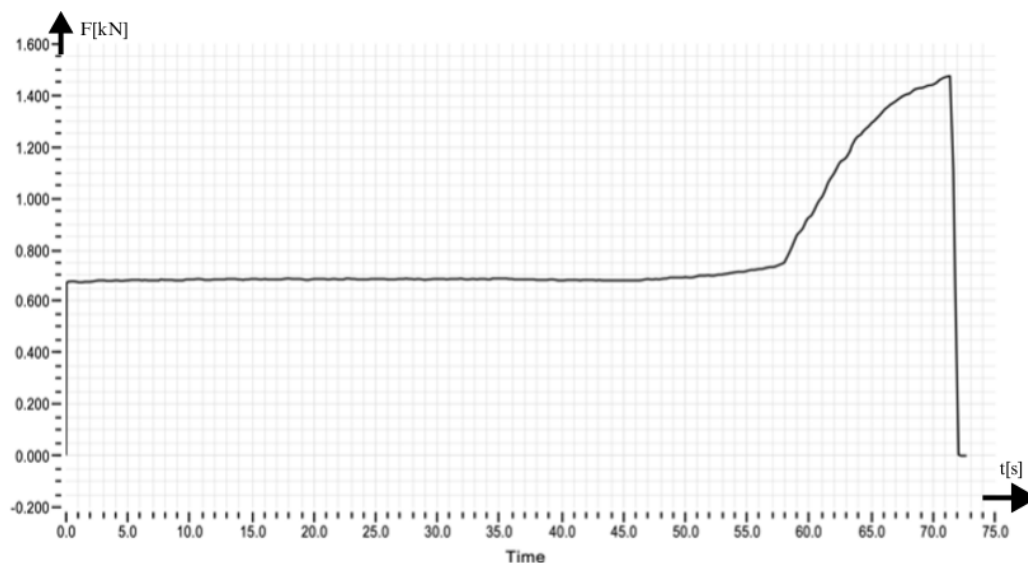


Figura 8. Diagrama încercării la încovoiere în funcție de timp a betonului cu agregate naturale

Pentru determinarea rezistenței la întindere pe cuburile de beton a fost folosită relația:

$$f_{ct,fl} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{d^3} \quad (2)$$

unde F = valoarea maximă a forței; l = distanța dintre reazeme; d = latura secțiunii transversale a prisme.

$$\text{Prisma 1: } f_{ct,fl1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1476 \text{ N}}{50^3 \text{ mm}} = 0,017712 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$\text{Prisma 2: } f_{ct,fl2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1336}{50^3 \text{ mm}} = 0,016032 \cdot \text{N/mm}^2$$



Figura 9. Încercarea betonului simplu la încovoiere



Figura 10. Încercarea betonului cu cauciuc la încovoiere

3. Rezultate și discuții

În urma testărilor efectuate putem constata, că acest tip de beton nu are rezistențe mari la compresiune sau la încovoiere, însă structura lui fizică este elastică. Prin optimizare există posibilitatea de a cerceta comportamentul acestui tip de beton. Ținând cont de înlocuirea



agregatului cu cauciuc, există posibilitatea de a adăuga și agregat împreună cu cauciuc în compoziția betonului, pentru a-l îmbunătăți.

4. Concluzii

Acest tip de beton ecologic nu are rezistențe mari la compresiune sau la încovoiere, deci nu poate fi folosit la structuri mari. Însă, este potrivit pentru pavaje în parcuri publice datorită elasticității sale. Porozitatea sa permite absorbția apei, care la pavaje este un avantaj mare, apa fiind transmisă direct la sol, evitând astfel costurile necesare pentru canalizări suplimentare și oferind confortul unor suprafețe fără acumulări de apă torențială.

BIBLIOGRAFIE

1. Ahmad, J., Zhou, Z., Majdi, A., Alqurashi, M., Deifalla, A. F., *Overview of Concrete Performance Made with Waste Rubber Tires: A Step toward Sustainable Concrete*. Materials. 2022; 15(16):5518. <https://doi.org/10.3390/ma15165518>
2. Azunna, Sunday U., Aziz, Farah N. A. A., Rashid, Raizal S. M., Bakar, Nabilah B.A., *Review on the characteristic properties of crumb rubber concrete*. Cleaner Materials, 2024; Volume 12, 100237, <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100237>
3. Vineet Jaiswal, Aditya Vishvakarma, Baljeet Yadav, Manish Sharma, Govind, *Utilization of Waste Tire Rubber in Concrete and Its Characteristics*, Lucknow India, MKSES Publication Lucknow, 2023, pp. 386–396. doi: 10.5281/zenodo.10361543



BETONUL CU ADAOSURI INDUSTRIALE ȘI APLICABILITATEA ACESTUIA

Autor/autori

Georgiana D. ALUPEI¹, Irina I. BATIN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: georgiana.alupe@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: irina.batin24@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

S.L.Dr.Ing. Ioan SOȘA³

CONF.Dr.Ing. Camelia NEGRUȚIU⁴

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: Pavel.Sosa@dst.utcluj.ro

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , e-mail: Camelia.Negrutiu@dst.utcluj.ro

REZUMAT: Cercetarea pornește de la premisa că producția de ciment generează aproximativ 8% din emisiile globale de CO₂, subliniind necesitatea implementării unor soluții alternative. Lucrarea de față investighează performanțele tehnice, economice și ecologice ale betonului modificat prin înlocuirea parțială a cimentului Portland cu reziduuri industriale, în contextul necesității reducerii impactului negativ al industriei construcțiilor asupra mediului. Se analizează comparativ trei tipuri de beton: unul clasic, unul cu cenușă zburătoare și unul cu praf de silice, utilizate ca înlocuitori ai cimentului în compoziție. Studiul include testări mecanice pe eșantioane standardizate pentru determinarea rezistenței la compresie, evaluări economice privind costurile de producție, estimări ale amprentei de carbon asociate fiecărei variante precum și pretabilitatea compozițiilor de beton pentru imprimarea 3D. Scopul general este identificarea unor compoziții de beton care să răspundă cerințelor moderne de rezistență, durabilitate și reducere a impactului asupra mediului, susținând astfel tranziția către construcții ecologice și eficiente.

Cuvinte cheie: beton, cenuși zburătoare, praf de silice, amprentă de carbon, proprietăți mecanice

6. Introducere

Betonul reprezintă unul dintre cele mai utilizate materiale de construcții la nivel global, datorită versatilității, durabilității și capacității sale de a prelua sarcini structurale semnificative. Deși indispensabil dezvoltării infrastructurale moderne, producerea betonului convențional implică un consum energetic ridicat și emisii considerabile de dioxid de carbon, în principal din procesul de fabricare a cimentului Portland – componenta principală a betonului.

În contextul actual al schimbărilor climatice și al presiunilor pentru dezvoltare sustenabilă, industria construcțiilor își orientează eforturile către soluții tehnologice care să reducă amprenta de carbon fără a compromite performanțele mecanice sau durabilitatea materialelor [1]. O direcție promițătoare o reprezintă integrarea adaosurilor industriale, precum cenușa zburătoare și praful de silice, în compoziția betonului. Utilizarea acestor adaosuri aduce multiple beneficii: reducerea amprentei de carbon prin diminuarea consumului de ciment Portland; valorificarea deșeurilor industriale, contribuind la economia circulară; scăderea costurilor de producție pentru beton, în special prin înlocuirea parțială a cimentului cu materiale cu preț mai scăzut; îmbunătățirea proprietăților betonului, precum lucrabilitatea, rezistența la îngheț-dezghet și rezistența la atacuri chimice. De asemenea, avansul tehnologic în domeniul construcțiilor, exemplificat prin metode inovatoare precum imprimarea 3D a betonului, necesită amestecuri adaptate cu proprietăți reologice și de întărire controlate. Betoanele modificate cu cenușă



zburătoare și praf de silice, care conțin și fibre de polipropilenă, prezintă caracteristici superioare de lucrabilitate și stabilitate, ceea ce le face candidați ideali pentru astfel de aplicații de vârf.

Lucrarea de față își propune să investigheze comparativ proprietățile betonului simplu și ale betoanelor modificate cu adaosuri industriale, prin prepararea și testarea de probe realizate în laborator, având ca obiectiv evidențierea impactului acestor adaosuri asupra performanțelor mecanice și asupra potențialului de lucrabilitate pentru utilizarea în tehnologii de turnare avansate.

În ceea ce privește adaosurile industriale, am ales procentul de 25% deoarece în majoritatea studiilor amestecurile de beton care încorporează aceste adaosuri au demonstrat o rezistență la compresiune îmbunătățită, înlocuind 20% - 30% din cantitatea de ciment cu cenușă zburătoare respectiv praf de silice, rezultând performanțe optime [2].

Tabelul 1. Analiză procentaj adaosuri [3, 4, 5].

Cenusi zburătoare			Praf de silice		
Procente	Rezistanta la compresiune	Observații	Procente	Rezistanta la compresiune	Observații
0%	45MPa	Referință	0%	45MPa	Referință
15%	46MPa	Ușoară îmbunătățire, întărire similară	10%	58-62MPa	Rezistență mare, microstructură densificată
25%	47-50MPa	Rezistență mai mare pe termen lung	15%	60-63MPa	Rezistență maximă, lucrabilitate scăzută
35%	44MPa(28 zile), 52MPa(90zile)	Întărire lentă, dar superioară ulterior	20%	58-60MPa	Mică scădere a lucrabilității, risc de fisurare
50%	40MPa(28 zile), 49MPa(90zile)	Rezistență întârziată, dar bună durabilitate	30%	55-58MPa	Rezistență ridicată, dar cu contracție accentuată

2. PROGRAM EXPERIMENTAL

2.1 Compoziția betonului

Pentru realizarea părții experimentale a lucrării, am elaborat și calculat trei compoziții de beton. Compoziția de bază este formulată utilizând ciment CEM I 52,5R, produs de Holcim, în combinație cu agregate fine de două tipuri de nisip de granulozitate diferită. De asemenea, în amestec am incorporat fibre de polipropilenă, având rolul de a îmbunătăți rezistența la solicitări de întindere, de a limita apariția fisurilor plastice și de a asigura compatibilitatea compoziției cu tehnologia de imprimare 3D a betonului. Pentru optimizarea lucrabilității și reducerea cantității de apă necesare fără a compromite rezistența finală a betonului, am adăugat superplastifiantul MasterGlenium ACE 440.

Raportul apă/ciment (A/C) este controlat riguros, fără a depăși valorile optime necesare pentru asigurarea performanțelor mecanice și durabilității betonului. Cantitatea de agregate este determinată pe baza relațiilor de calcul specifice pentru dozarea betonului, ținând cont de volumul ocupat de fiecare componentă în amestec.

$$A_{ag} = \rho_{ag} \left(1 - \frac{C}{\rho_c} - \frac{A}{\rho_a} - \frac{S}{\rho_s} - \frac{P}{\rho_a} \right) \quad (1)$$

unde ρ_{ag} = densitatea agregatelor (2700 kg/m^3); C = cantitatea de ciment; A = cantitatea de apă; S = cantitatea de superplastifiant; P = cantitatea de aer oclus agregate (20 l/m^3); ρ_c = densitatea

cimentului (3000 kg/m^3); ρ_a = densitatea apei (1000 kg/m^3) și ρ_s = densitatea superplastifiantului (1150 kg/m^3).

În ceea ce privește adaosurile industriale, am ales procentul de 25% deoarece se încadrează în cele utilizate în alte cercetări (prezentate în cap. 1), astfel prima turnare este realizată utilizând rețeta de bază descrisă anterior iar pentru celelalte două compoziții, se aplică o substituție parțială a cimentului: 25% din masa cimentului este înlocuită, în primul caz, cu cenușă zburătoare de la centrala de la Mintia, iar în al doilea caz, cu praf de silice Elkem Microsilica de la Elkem Materials. Restul proporțiilor materialelor componente (agregate, apă, aditivi) este menținut constant, pentru a izola efectul influenței materialelor adăugate asupra caracteristicilor finale ale betonului.

Compoziția betonului am gândit-o inițial pentru 1 m^3 de material, ulterior fiind adaptată în funcție de volumul necesar pentru realizarea probelor destinate testării proprietăților mecanice. Pentru fiecare rețetă se realizează 4 cuburi cu dimensiunile de $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ și 3 prisme cu dimensiunile de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$. În dimensionarea cantităților se iau în considerare și pierderile tehnologice, precum și volumul suplimentar necesar pentru efectuarea testelor de reologie, estimate la 15%. Astfel, volumul total de beton necesar pentru fiecare rețetă rezultă aproximativ $0,0015 \text{ m}^3$.

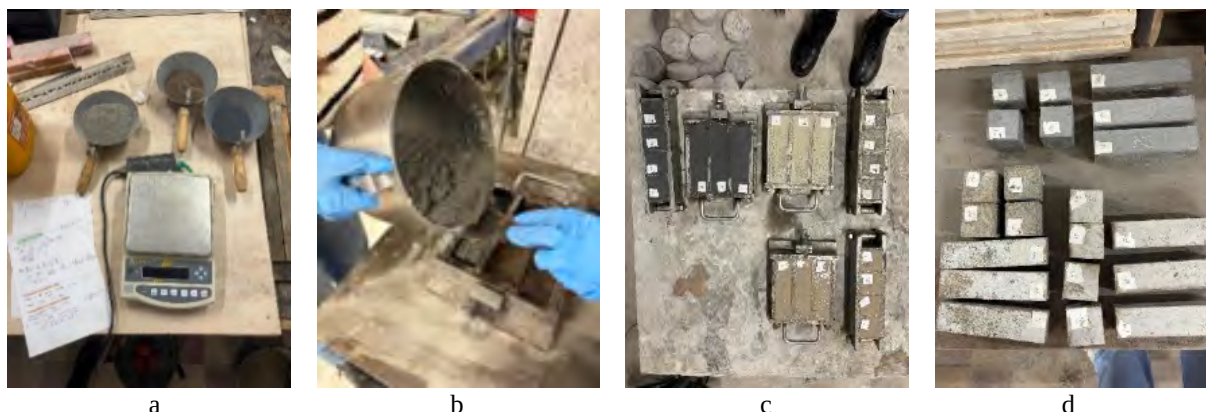


Figura 1. Cântărirea materialelor (a), turnarea amestecului (b), probele cofrate (c), probele după decofrare (d)

Tabelul 2. Compoziția betonului

	Nisip [g]		Ciment [g]	Cenuși zburătoare [g]	Praf de silice [g]	Fibre de polipropilenă [g]	Super plastifiant [ml]	Apă [ml]
	0..4 [mm]	0..1 [mm]						
Beton obișnuit	1804	773	600	0	0	1,5	33	360
Beton cu praf de silice	1804	773	450 (75%)	0	150 (25%)	1,5	33	360
Beton cu cenuși zburătoare	1804	773	450 (75%)	150 (25%)	0	1,5	33	360

Materialele componente au fost cântărite cu precizie. Componentele solide au fost omogenizate separat, iar cele lichide au fost preparate distinct, în această fază fiind încorporate și fibrele. Ulterior, amestecul solid și cel lichid au fost transferate în cuva malaxorului electric pentru procesul de amestecare. În timpul omogenizării, a fost nevoie să adăugăm suplimentar câte 15 ml de superplastifiant și 60 ml de apă pentru fiecare rețetă experimentală. După finalizarea omogenizării, compoziția de beton a fost turnată în tipare, apoi probele au fost supuse unui

proces scurt de vibrație pentru aproximativ 10 secunde, pentru eliminarea aerului reținut și asigurarea compactării optime.

2.2 Analiza probelor

La 19 zile de la turnarea betonului, fiecare probă a fost individual evaluată prin măsurare și cântărire, în vederea determinării densității aparente. Ulterior, s-au efectuat încercări mecanice pentru stabilirea rezistenței la compresie pe cuburi utilizând presa hidraulică, respectiv a rezistenței la încovoiere pe prisme, cu același echipament, înregistrându-se totodată și săgeata specifică aferentă fiecărei solicitări.

Tabelul 3. Rezistențele la compresie pe cuburi

Material	Proba	Volum [mm ³]	Densitate [kg/m ³]	Forța maximă [kN]	Rezistență compresie [MPa]	Media rezistenței [MPa]
Beton simplu	1	114368	2180	84,99	34,69	34,32
	2	125475	2110	76,03	31,03	
	3	127633	2115	89,54	36,54	
	4	114727	2123	85,81	35,02	
Beton cu praf de silice	1	128750	2098	108,56	44,31	42,78
	2	124324	2132	104,54	42,67	
	3	126030	2103	105,32	42,98	
	4	125423	2113	100,86	41,16	
Beton cu cenuși zburătoare	1	128220	1998	72,26	29,49	31,45
	2	128094	2030	79,47	32,43	
	3	125218	2029	83	33,87	
	4	127613	1992	73,56	30,02	



a



b



c



d

Figura 2. Testarea la compresie (a), testarea la întindere (b), cuburile după testarea la compresie (c), prisma după testarea la întindere (d)

Analizând valorile prezentate în tabelul de mai sus, am constatat că betonul modificat cu praf de silice înregistrează cele mai ridicate valori ale rezistenței la compresie la 19 zile de la turnare, depășind cu 24,64% performanțele betonului cu compoziție clasică. Această creștere semnificativă se datorează reacțiilor pozolanice intense generate de prezența microsilicii, care determină o microstructură mai densă și o reducere a porozității capilare, conducând astfel la îmbunătățirea proprietăților mecanice. În cazul betonului cu cenușă zburătoare, se observă o rezistență la compresie inferioară celei a betonului simplu cu 8,36% după 19 zile. Acest comportament este atribuit cineticii mai lente de reacție a compușilor pozolanici prezenți în cenușa zburătoare, care contribuie semnificativ la dezvoltarea rezistenței mecanice pe termen

lung. Conform Eurocodului 2, betoanele cu adaosuri pozolactice, în special cele pe bază de cenușă zburătoare, ating valorile caracteristice de rezistență chiar și după 28 sau 56 de zile, în funcție de condițiile de maturare și de proporțiile utilizate în amestec.

Conform SR-EN-1992-1-1-2004 [6] în anumite situații, este necesară determinarea rezistenței la compresiune a betonului la o vârstă diferită de cea standard de 28 de zile. Această rezistență, la un moment t , este influențată de tipul de ciment utilizat, temperatura mediului și condițiile de îngrijire după turnare. În cazul unei temperaturi medii de 20°C și al unei tratări conforme cu standardul EN 12390 [7], rezistența la compresiune a betonului la vârsta t , se calculează prin următoarele relații:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} \quad (2)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s_c \left[\left(1 - \sqrt{\frac{t_{ref}}{t}} \right) \cdot \sqrt{\frac{28}{t_{ref}}} \right] \right\} \quad (3)$$

unde $f_{cm}(t)$ = rezistența medie la compresiune a betonului la vârsta t zile; f_{cm} = rezistența medie la compresiune a betonului la trei zile; $\beta_{cc}(t)$ = un coeficient de întărire care depinde de vârsta t a betonului; t = vârsta betonului, în zile; s_c = coeficient care depinde de tipul de ciment și t_{ref} = vârsta la care este determinată rezistența betonului.

Aplicând aceste relații, în cazul nostru, cu o rezistență la compresiune de 31,45 MPa, obținută la 19 zile de la turnare, am ajuns la o rezistență de 38,13 MPa, la 56 de zile, prin amplificare cu un coeficient $\beta = 1,2124$.

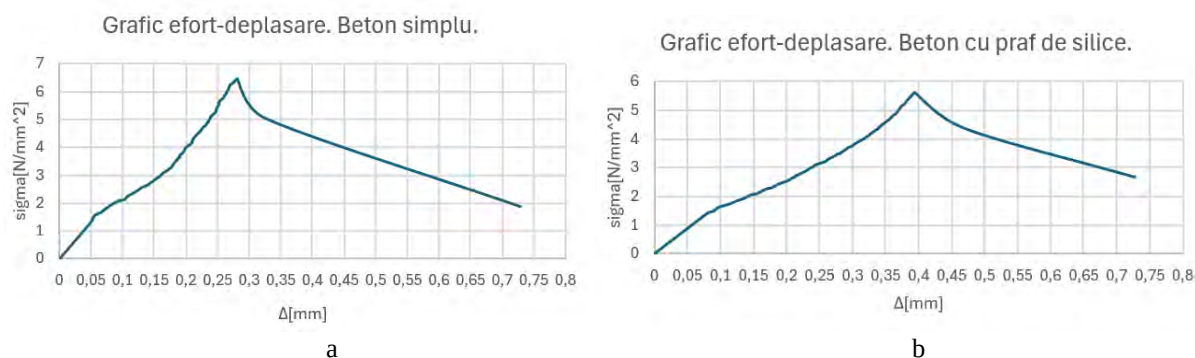


Figura3. Comportarea la încovoiere a betonului simplu (a), comportarea la încovoiere a betonului cu praf de silice (b)

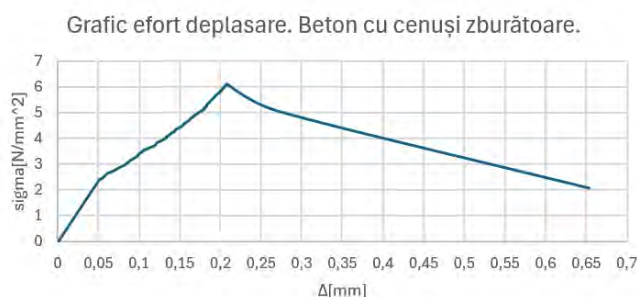


Figura 4. Comportarea la încovoiere a betonului cu cenuși

Analiza graficelor efort-deplasare evidențiază comportamentul mecanic la încovoiere al celor trei tipuri de beton analizate: beton simplu, beton modificat cu praf de silice și beton cu adaos de cenușă zburătoare.

Pentru betonul simplu se înregistrează un efort maxim de 6,48 N/mm², corespunzător unei deplasări verticale (săgeată) de 0,28 mm. În cazul betonului cu praf de silice, efortul maxim



atins este de $5,60 \text{ N/mm}^2$, la o deplasare de $0,394 \text{ mm}$, ceea ce sugerează un comportament mai ductil față de betonul simplu, însă cu o capacitate portantă ușor inferioară. Pentru betonul cu cenușă zburătoare, am obținut un efort maxim de $6,12 \text{ N/mm}^2$, la o deplasare de $0,208 \text{ mm}$, ceea ce reflectă o rezistență bună, apropiată de cea a betonului simplu, însă o deformabilitate redusă.

Prin urmare, cea mai mare rezistență la încovoiere după 19 zile de la turnare este înregistrată pentru betonul simplu, ceea ce poate fi explicat prin maturizarea rapidă a pastelor fără adaosuri pozolanic-active care reacționează mai lent. Pe de altă parte, betoanele modificate prezintă avantaje legate de comportamentul ductil (silice) sau de dezvoltarea rezistențelor în faze ulterioare (cenușă zburătoare), aspecte care pot deveni semnificative pe termen lung.

3. Imprimarea 3D

Imprimarea 3D a betonului reprezintă o tehnologie inovatoare în domeniul construcțiilor, care permite realizarea de structuri complexe într-un timp scurt, cu un consum minim de materiale. Această metodă elimină necesitatea cofrajelor tradiționale, reduce semnificativ deșeurile de construcție și oferă o libertate sporită în proiectarea arhitecturală. Totodată, contribuie la creșterea sustenabilității în construcții, prin eficiență materială și reducerea impactului asupra mediului [8].

În acest context, utilizarea unor aditivi minerali, precum praful de silice și cenușa zburătoare, este esențială pentru adaptarea betonului la cerințele specifice ale procesului de imprimare 3D. Acești aditivi influențează atât comportamentul proaspăt al amestecului, cât și proprietățile mecanice și de durabilitate ale betonului întărit. Praful de silice contribuie la creșterea vâscozității și coeziunii amestecului, reducând segregarea și îmbunătățind stabilitatea straturilor depuse. Cu toate acestea, în doze ridicate, poate diminua extrudabilitatea. Din punct de vedere mecanic, acest aditiv duce la densificarea matricii cimentului și la creșterea rezistenței la compresiune. Cenușa zburătoare, datorită particulelor sale sferice, îmbunătățește lucrabilitatea și capacitatea de pompare a betonului, facilitând procesul de imprimare. Totuși, utilizarea sa în cantități mari poate reduce rezistența mecanică inițială. Pe termen lung, însă, contribuie la creșterea rezistenței la agenți chimici, la cicluri de îngheț-dezgheț și la reducerea fisurării.

Pentru a asigura performanța betonului imprimat 3D, este necesară o formulare atentă a amestecului, care să asigure extrudabilitate, stabilitate dimensională și aderență între straturi. În acest sens, se utilizează aditivi speciali (superplastifianți, agenți de vâscozitate, acceleratori de priză, stabilizatori de apă) pentru creșterea lucrabilității fără creșterea raportului apă/ciment, menținerea formei, scurtarea timpului de întărire între straturi și pentru a preveni segregarea. Un alt element important îl reprezintă fibra de polipropilenă, care joacă un rol esențial în stabilizarea amestecului. Aceasta îmbunătățește coeziunea și reduce riscul de fisurare plastic, oferă o armare dispersată, conferind rezistență inițială la solicitări mecanice, stabilizează straturile succesive, îmbunătățind capacitatea amestecului de a susține greutatea straturilor depuse ulterior fără deformare.

4. Studiul amprenteii de carbon

În contextul actual al schimbărilor climatice și al intensificării reglementărilor privind sustenabilitatea în construcții, evaluarea amprenteii de carbon a materialelor de construcție devine o componentă esențială a analizei de mediu. Sectorul construcțiilor este responsabil pentru un procent semnificativ din emisiile globale de dioxid de carbon mai ales prin producția de ciment. Astfel, integrarea materialelor cu caracter de adaos mineral, precum cenușa zburătoare și praful de silice, oferă oportunități reale de reducere a Potențialului de Încălzire Globală (Global Warming Potential – GWP) asociat ciclului de viață al betonului. Analiza

comparativă a diferitelor rețete de beton, din perspectiva GWP exprimat în echivalenți CO₂, permite identificarea variantelor cu performanțe ecologice superioare, fără a compromite cerințele structurale sau de durabilitate impuse în domeniul construcțiilor moderne [9].

Tabelul 4. Amprenta de carbon

Project name	Product [kg CO ₂ eq]	Construction Process [kg CO ₂ eq]	Total [kg CO ₂ eq]
Fly ash concrete	4655,027455	239,1697853	4894,19724
Silica fume concrete	4416,828409	226,958537	4643,786946
Ordinary concrete	5520,67762	282,4889073	5803,166528

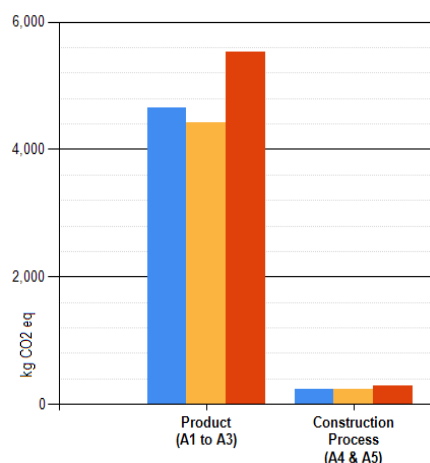
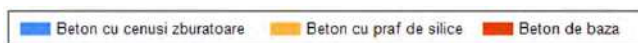


Figura 5. Comparison of Global Warming Potential By Life Cycle Stage

Analiza realizată în programul Athena Impact Estimator for Building, evidențiază diferențele de impact asupra mediului între 1 mc din cele trei tipuri de beton, evidențiind avantajele utilizării adaosurilor minerale în reducerea amprente de carbon (tabelul 4 și figura 5). Se poate observa că betonul cu praf de silice are cel mai mic impact în faza de producție, semn că substituirea cimentului reduce eficient emisiile, betonul cu cenuși zburătoare este foarte apropiat de cel cu praf de silice, iar betonul clasic folosește mult ciment Portland, care este cel mai mare generator de CO₂.

5. Analiza economică

Din punct de vedere economic, analiza celor trei compoziții de beton evidențiază diferențe semnificative de costuri, direct corelate cu proveniența și procesarea fiecărui material. Betonul de referință, având în compoziție 400 kg de ciment Portland pe m³, implică un cost total estimativ de aproximativ 659 lei/m³. În cazul în care 25% din ciment este înlocuit cu cenușă zburătoare, costul scade la aproximativ 600 lei/m³, datorită prețului foarte redus al acestui reziduu industrial, disponibil în România ca subprodus al centralelor termoelectrice. În contrast, substituirea a 25% din ciment cu praf de silice crește costul, până la circa 820 lei/m³, dat fiind că acest material este un reziduu provenit din procese industriale de înaltă temperatură (obținerea siliceului), iar prelucrarea și importul său generează costuri mai ridicate.

Totuși, analiza strict economică nu este suficientă. Producția de ciment Portland are un impact major asupra emisiilor globale de CO₂, fiind una dintre cele mai poluante activități industriale, în acest context, utilizarea materialelor secundare cu potențial pozzolanic, precum cenușa zburătoare și praful de silice, devine nu doar o alternativă economică viabilă, ci și o necesitate ecologică. Cenușile zburătoare, oferă un raport foarte bun calitate-preț și contribuie la reducerea consumului de resurse primare.

Pe de altă parte, chiar dacă praful de silice implică un cost mult mai ridicat, utilizarea sa este justificată în aplicații speciale, unde este necesară o performanță superioară a betonului – de exemplu, în structuri supuse la agresiune chimică, îngheț-dezghet sau sarcini extreme. În aceste cazuri, raportul cost-performanță devine favorabil prin prisma durabilității sporite, a reducerii întreținerii și a duratei de viață extinse a elementelor structurale.



Astfel, alegerea compoziției optime de beton nu trebuie făcută exclusiv pe criterii de cost imediat, ci ținând cont și de impactul asupra mediului și de ciclul de viață al materialului. Integrarea adaosurilor din reziduuri industriale în amestecurile de beton reprezintă o direcție strategică spre sustenabilitate, reducând amprenta de carbon a construcțiilor și promovând economia circulară în sectorul construcțiilor.

6. Concluzia

Studiul de față confirmă potențialul considerabil al adaosurilor industriale, precum cenușa zburătoare și praful de silice, în optimizarea compoziției betonului din perspectiva performanței mecanice, a eficienței economice și a sustenabilității ecologice. Înlocuirea parțială a cimentului Portland cu aceste materiale demonstrează beneficii semnificative, în special în reducerea amprentei de carbon și în creșterea durabilității betonului. Praful de silice a condus la cele mai bune rezultate privind rezistența la compresiune, fiind adecvat pentru aplicații de înaltă performanță, în timp ce cenușa zburătoare s-a remarcat printr-un echilibru foarte bun între cost și impact ecologic. De asemenea, compatibilitatea acestor amestecuri cu tehnologiile moderne, precum imprimarea 3D a betonului, deschide noi direcții pentru dezvoltarea construcțiilor sustenabile. Prin urmare, integrarea adaosurilor minerale în compoziția betonului nu reprezintă doar o soluție tehnică viabilă, ci și o necesitate strategică în contextul tranziției către o industrie a construcțiilor mai verde și mai responsabilă.

BIBLIOGRAFIE

1. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Singh, H., & Raju, S. (2024). Partial Replacement of Cement with Fly Ash in Concrete. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/390277006>
3. Malhotra, V. M. (1986). Durability of concrete incorporating high-volume of low-calcium (ASTM Class F) fly ash. Cement and Concrete Research, 16(3), 487–494. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0008884686901390>
4. Priyadharshini, R., & Kandasamy, S. (2024). Experimental Investigation on Ductility in Fly Ash Aggregate Concrete. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/381540035>
5. Siddique, R. (2011). Effects of Silica Fume on the Strength and Durability Properties of Concrete. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/327258417>
6. SR EN 1992-1-1:2023, Proiectarea structuralor din beton. Partea 1-1: Reguli generale si reguli pentru constructii, poduri si structuri de inginerie civila.
7. EN 12390-3:2019. Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization.
8. Zhang, Y., Wang, H., & Zhao, Y. (2023). Utilization of industrial by-products in green concrete: A review. Cleaner Materials, 8, 100263. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923000698>
9. Juenger, M. C. G., Winnefeld, F., Provis, J. L., & Ideker, J. H. (2018). Advances in alternative cementitious binders. Cement and Concrete Research, 114, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>



IZOLATORI SEISMICI PE BAZĂ DE FLUIDE NENEWTONIENE

Autor/autori

Bianca IRIMIEA, Alessia MARIȚA, Silviu V. GLIGOR

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, irimiea.gh.bianca@student.utcluj.ro

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, marita.va.alessia@student.utcluj.ro

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Gligor.Va.Vasile@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Șef Lucrări Dr. Ing. Dumitru V. MOLDOVAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Dumitru.Moldovan@campus.utcluj.ro

Șef Lucrări Dr. Ing. Mihaela DUMITRAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Mihaela.Dumitran@campus.utcluj.ro

REZUMAT: Fenomenul natural cu consecințele cele mai devastatoare și dificil de prezis este seismul. În timp, seismologii au reușit să identifice anumiți parametri și să creeze modele care pot indica un cutremur iminent, precum ar fi schimbările în activitatea seismică și mișcarea subterană a magmei fără a ne putea oferi însă o soluție fiabilă. De aceea, s-au căutat și realizat soluții tehnice (modalități de rezolvare) și tehnologice (metode și mijloace de prelucrare a materialelor) pentru atenuarea efectelor sale, precum coduri de proiectare seismică, dezvoltarea unor sisteme de alertă timpurie, creșterea gradului de pregătire a populației etc. Din punct de vedere structural, cea mai eficientă soluție este reprezentată de izolatorii seismici, care se amplasează la baza clădirii pentru a reduce energia pe care cutremurele o pot introduce în structură. În acest cadru general, se propune un concept inovator, de utilizare a fluidele nenenewtoniene, care au o variație neliniară între tensiunea tangențială (forfecare) și viteza de deformare (comportament în timp, sub acțiunea solicitării), în particular cele pentru care vâscozitatea crește cu viteza de deformare (se comportă ca un solid sub acțiunea solicitării și ca un lichid în absența acesteia). Autorii își propun să prezinte o analiză multicriterială comparativă între această metodă și soluțiile curente, evaluând eficiența, costurile și aplicabilitatea sa în domeniul construcțiilor. Metoda ar putea deveni o soluție ieftină și eficientă, asigurând siguranța oamenilor.

Cuvinte cheie: seism, fluid nenenewtonian vâscozitate, vibrații, izolator.

1. Introducere

Atunci când se proiectează o clădire, durata de viață a acesteia este estimată în jur de 100 de ani, sub acțiunea unor acțiuni diferite, precum încărcări permanente, vânt, zăpadă, sau încărcări speciale, precum seism sau chiar explozii. Progresul tehnologic ne furnizează materiale de construcții cu proprietăți superioare care pot avea, uneori, un ritm lent de adoptare în practica curentă din motive de cost și tradiție locală. Acest decalaj poate uneori pune în pericol siguranța oamenilor (spre exemplu, structurile din zidărie portantă, fără conformare structurală anti-seismică).

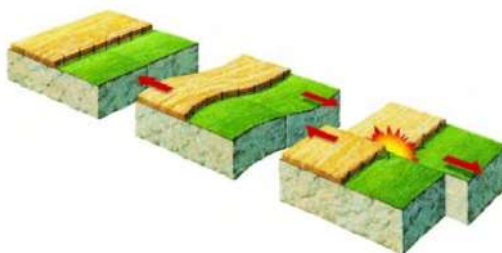


Figura 1. Reprezentare a hazardului seismic. *British Geological Survey*.

Fenomenul natural cel mai dificil de preconizat (locăție; intensitate - efectele distructive pe care un cutremur le are asupra construcțiilor, modificările de la suprafața liberă a terenului și impactul asupra comportamentului oamenilor, deci o descriere subiectivă a severității unui seism sau magnitudine - energia eliberată în focar în momentul declanșării cutremurului, deci o descriere obiectivă care măsoară energia seismică pe o scară logaritmică zecimală; moment) este seismul, o acțiune adeseori zilnică, sub forma unei zguduiri bruște a Pământului, cauzată de eliberarea rapidă a energiei acumulate în roci. Spre exemplu, în epicentrul unui cutremur situat într-o zonă nelocuită, pentru o magnitudine de 7 grade (pe scara Richter), intensitatea este zero, în timp ce pentru o zonă locuită același cutremur ar putea fi apreciat cu o intensitate de 7..8 grade (foarte puternic, spre distructiv, pe scara Mercalli).

Adeseori, în cazul cutremurelor puternice, pot avea loc alunecări de teren sau incendii, iar în zonele de coastă sau vecine unor acumulări masive de apă (lacuri) se pot produce valuri uriașe (tsunami)[1], pe lângă distrugerile de clădiri și infrastructură. În Japonia, de exemplu, au loc seisme de mai multe ori pe zi, cu magnitudini între 2 și 5 grade pe scara Richter, acestea fiind puțin sesizabile, însă, au existat și câteva cu efecte devastatoare, cu peste 18 000 de morți și peste 123 000 de edificii distruse, cutremurul provocând și un tsunami de până la 10 (zece) metri în înălțime (cutremurul din Tōhoku, 11 martie 2011, magnitudine 9,1 pe scara Richter, considerat cel mai devastator din istoria țării).

Din punct de vedere structural, soluțiile propuse pentru a reduce efectele cutremurelor constau în:

- Sisteme de izolare, care presupun separarea clădirii de fundație, și intercalarea unor materiale flexibile care absorb vibrațiile, precum cauciucuri, arcuri sau rulmenți;
- Sisteme de amortizare, care disipează vibrațiile cutremurelor, protejând structura;
- Implementarea unor reguli stricte de proiectare și conformare, care propun folosirea unor materiale și detalii de armare adecvate;
- Tehnologia Shibashira, un stâlp central flexibil, similar cu cel al pagodelor;
- Alte materiale avansate, cum ar fi compozitele din ciment flexibile.

În România, zona Vrancea este cea mai afectată, fiind raportate zilnic cutremure mici. În anul 1802 a avut loc cel mai mare cutremur înregistrat, de 8 grade pe scara Richter, iar de aceea dezvoltarea unor soluții pentru a preveni efectele seismelor este esențială, cum ar fi dezvoltarea unor izolatori seismici.

2. Cum ajută izolatorii seismici în general la stabilizarea structurii?

Izolatorii seismici contribuie la stabilitatea unei structuri în timpul unui cutremur prin limitarea transmiterii directe a mișcărilor solului către clădire.



Figura 2. Izolator seismic. *prosistem.ro*

1. Separă structura de mișcarea solului – izolatorii sunt montați între fundație și partea superioară a clădirii, și permit mișcări ale solului fără a se transfera întreaga energie către construcție;
2. Diminuează accelerațiile și forțele seismice – absorb o parte din energia seismică, reducând astfel solicitările asupra elementelor structurale;
3. Permit mișcări controlate ale clădirii – facilitează deplasări limitate, care previn deteriorările grave;
4. Protejează componentele nestructurale și instalațiile – prin diminuarea vibrațiilor, se reduc și riscurile de avarii la pereți interiori, țevi, echipamente sau mobilier.

3. Fluide newtoniene

Amestecul de amidon cu apă, cunoscut drept oobleck, un experiment interactiv pentru copii, are un comportament deosebit în ceea ce privește vâscozitatea, atât de lichid cât și de solid, dacă asupra sa se aplică o forță, devenind cu atât mai rigid cu cât forța este mai mare, având un comportament pseudo-plastic (conform clasificării specifice).

Desigur, oobleck-ul nu este singurul tip de fluid newtonian, însă acest compozit ar putea fi cel mai ieftin de produs în masă. Fluidele newtoniene sunt fie materiale care devin vâscoase atunci când asupra lor se aplică o forță (fluide care se îngroașă la forfecare), fie fluide care se subțiază la forfecare, cum ar fi ketchup-ul, pasta de dinți, maioneza și chiar sângele. În figura de mai jos este reprezentat un grafic cu materiale în toate stările cunoscute, în care:

- τ = tensiunea tangențială;
- $\dot{\gamma}$ = viteza de deformare.

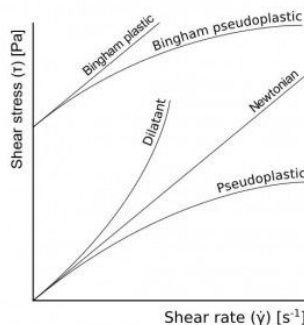


Figura 3. Tensiune tangențială vs. viteză de deformare. *aft.com*

Apa este în categoria fluidelor newtone, care nu își schimbă vâscozitatea, în schimb ce oobleck-ul s-ar încadra în categoria lichidelor pseudo-plastice. Tensiunea de curgere înseamnă că fluidul nu curge deloc până când nu i se aplică o forță minimă. După ce începe să curgă, vâscozitatea scade dacă viteza de forfecare crește — adică devine mai „fluid” cu cât este agitat mai intens.

4. Soluția propusă

Inițial, s-a pornit de la realizarea unor cărămizi cu un astfel de tip de lichid, care ar fi permis distribuția uniformă a diferitelor tipuri de șocuri, astfel încât edificiul să fie rezistent la vibrații seismice și chiar la explozii. Aceste cărămizi ar fi fost unite printr-un sistem de tip lego, îmbrăcate într-un plastic semi-elastic, care ar fi avut structuri rigide doar pe colțuri, cu un gol la mijloc, exact ca în imagini, prin care ar fi curs o țeavă cu apă de temperatură constantă, atât pentru vâscozitatea lichidului, cât și pentru menținerea căldurii în complex:

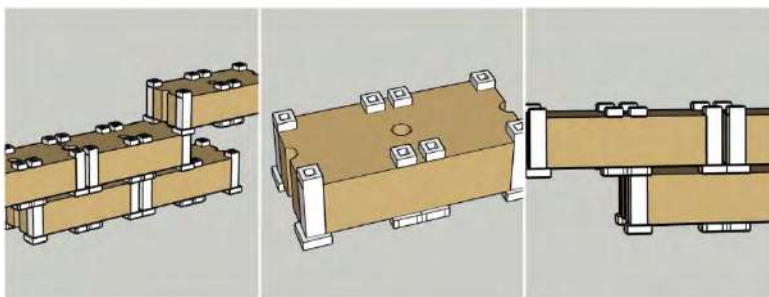


Figura 4. Zid din cărămizi

Pe parcurs, am înțeles comportamentul fluidelor nenewtoniene și am realizat că majoritatea materialelor de construcții au o durată de viață limitată (de exemplu, lemnul tratat: 30-50 de ani, conform P118/99, "Construcții din lemn", Prof. Ungureanu), iar investiția într-un material care trebuie menținut în stare umedă este nepractică. De aceea, am optat pentru izolatoarii seismici, cu aplicabilitate mult mai largă, în următoarele configurații:

- a) Combinația fluid nenewtonian cu arcuri la toate cele 4 extremități:

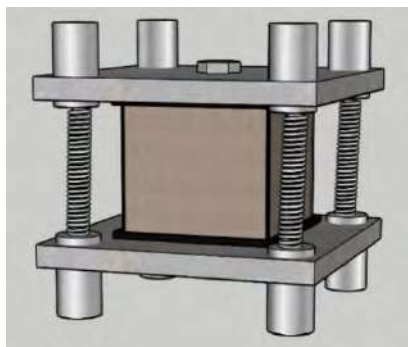


Figura 5. Model de izolator 1

Componentele sunt: lichid, arcuri, placă de conectare din beton, șuruburi, un strat subțire din cauciuc, care să permită interconectarea între beton și stratul din plastic.

- b) Combinația cu structuri verticale din PVC:

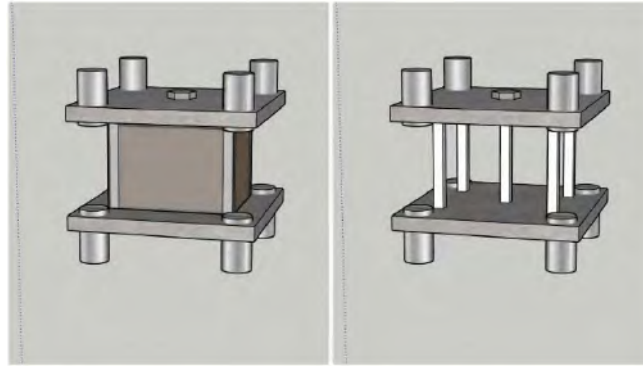


Figura 6. Model de izolator 2

Componentele diferite: cei 5 montați, care dau o formă lichidului și previn ulterioarele impedimente, în cazul în care acesta își modifică fluiditatea.

În această combinație, lichidul este îmbrăcat într-un strat ermetic de plastic elastic, confecționat din materiale reciclate, pentru a reutiliza materiale care nu ar mai putea fi folosite din motive de igienă, cum ar fi PVC-ul moale reciclat, de la cabluri și jucării, poliuretanul sau chiar baloane topite.

Aceste modele sunt de tip hibrid, și combină soluții existente cu fluide nenenewtoniene. Inovația propusă este utilizarea unui fluid și nu a unui polimer cu comportament elastic, lichidul fiind încapsulat etanș, într-un strat care îi permite să absoarbă vibrațiile, pentru a preveni scurgerile și evaporarea apei. După un cutremur, sistemele permit auto-centrarea pasivă, adică revenirea la forma inițială. Plasticul transparent va permite monitorizarea comportamentului lichidului, atât pe timpul testelor, cât și în practică.

Din motive obiective, s-a optat pentru realizarea experimentală a unui model redus la scară, care constă într-o casetă etanșă din plastic, umplută cu lichid. Blocul va fi imprimat în 3D.

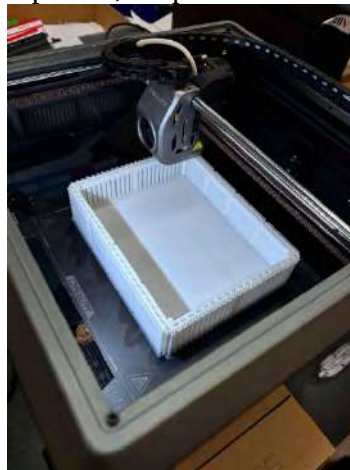


Figura 7. Imprimarea 3D

Blocul va fi alcătuit din 3 (trei) module, cu un sistem de interblocare, alcătuit dintr-unun gol la partea inferioară care se conectează cu cel de la partea superioară a modulului inferior:

- Cilindrul interior – înălțime: 1 cm, diametru: 7 mm;
- Cilindrul exterior- înălțime exterior: 1 cm, înălțime interior: 12 cm, diametru: 5 mm;
- Dimensiuni nivel cu 3 etaje- lățime: 19 cm, lungime: 15 cm, înălțime: 13 cm (cu tot cu cilindrii exteriori).



Figura 8. Etaj din clădire

Soluția propusă este în curs de testare, iar rezultatele obținute vor fi diseminate în curând.

5. Care sunt soluțiile similare?

Fluidele nenewtoniene își modifică vâscozitatea în funcție de viteza de forfecare la care sunt supuse. Astfel, la viteze de forfecare mari aceste fluide se comportă ca un solid, deosebindu-se de lichidele newtoniene care au o vâscozitate constantă indiferent de forța și viteza aplicată.

Astfel de fluide au fost mult studiate până în prezent, pentru a înțelege mai bine proprietățile lor reologice și a le utiliza în aplicații ingineresti. După ce inițial au fost definite ca o problemă în procesele industriale, cum ar fi acoperirea și amestecarea, mai recent, proprietățile lor unice au fost utilizate pentru a crea materiale și structuri inteligente. Fluidele nenewtoniene au atras atenția și pentru proprietățile lor de absorbție a șocurilor sau impacturilor, motiv pentru care se utilizează în așa numitele amortizoare vâscoase. De aceea, se va investiga posibilitatea utilizării lor și pentru amortizarea vibrațiilor generate de un seism.

Dezvoltarea unui fluid nenewtonian care să își modifice vâscozitatea în anumite condiții de presiune și temperatură și care să prezinte stabilitate pe toată durata preconizată de serviciu va fi obiectivul de bază al investigațiilor viitoare.

6. Ce aditivi ar trebui utilizați pentru stabilitatea de lungă durată a amestecului?

Fluidul nenewtonian realizat pe baza rețetei alcătuite din amidon și apă nu este foarte potrivit pentru utilizarea acestuia în izolatori seismici reali din cauza unor limitări fizico-chimice ale acestui amestec.

Din fericire, există câțiva aditivi pe care-i putem adăuga la rețeta de bază pentru a-i spori stabilitatea, aditivi precum:

- Guma xanthan – agent de îngroșare și stabilizator (cunoscută pentru stabilitatea sa la de variații de temperatură și PH);
- Lecitina – emulgator natural (stabilizează emulsiile și previne separarea diferitelor faze ale acestora);
- Amidon modificat – pentru stabilitate crescută;
- Glicerina – agent de hidratare (ajută la hidratarea amestecului și reținerea apei).

Care este comportamentul la întindere și compresiune?

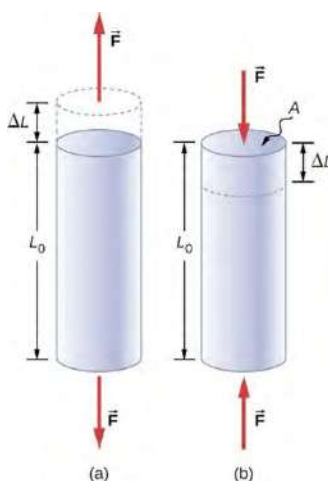


Figura 9. Întindere și compresiune. Telework.ro

„Fluidele nenewtoniene își schimbă vâscozitatea sau comportamentul de curgere sub stres. Dacă aplici o forță asupra unui astfel de fluid (de exemplu, îl lovești, îl agiți sau sari pe el), aplicarea bruscă a stresului poate determina fluidul să devină mai gros și să se comporte ca un solid.” [14] (*Science Learning Hub- University of Waikato, Noua Zeelandă*)

- La întindere bruscă, acest lichid opune rezistență și poate părea că se rupe brusc, în schimb, dacă este tras lent, curge încet, comportându-se ca un lichid vâscos.
- La compresiune rapidă, acesta se comportă ca un solid (dacă aplici o forță bruscă sau o presiune mare, particulele din suspensie se blochează între ele) → formează o rețea temporară solidă. Pe de altă parte, la compresiune lentă, acesta se comportă ca un lichid vâscos.

7. Concluzii

Autorii consideră că este posibilă realizarea unui fluid nenewtonian cu comportament de lungă durată stabil, care să devină parte integrantă a unui izolator seismic în practica aferentă.

Evaporarea sau separarea apei din amidon este principala cauză identificată care compromite utilizarea de lungă durată a amestecului, deci cel mai mare dezavantaj al acestei soluții. Nu doar că izolatorii nu ar mai absorbi vibrațiile, ci ar contribui la instabilitatea structurii, devenind, din păcate, o cauză suplimentară de probleme structurale.

BIBLIOGRAFIE:

- Despre Cutremur – Primar.” RoEduSeis, https://www.roeduseis.ro/wp-content/uploads/2014/12/Despre_cutremur-primar.pdf.
- “The Day of the 2011 Japan Earthquake and Tsunami.” NOAA National Centers for Environmental Information, <https://www.ncei.noaa.gov/news/day-2011-japan-earthquake-and-tsunami>.
- “Japan Meteorological Agency Earthquake Information.” Japan Meteorological Agency, <https://www.data.jma.go.jp/multi/quake/index.html?lang=en>.
- “Earthquake-Resistant Buildings in Japan.” Tokyo Portfolio, <https://tokyoportfolio.com/articles/earthquake-resistant-buildings-in-japan/>.
- “Earthquake Engineering.” Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake_engineering. Accessed 10 May 2025.



“Earthquake-Resistant Buildings in Japan.” Tokyo Portfolio, <https://tokyoportfolio.com/articles/earthquake-resistant-buildings-in-japan/>.

“Cutremurul din 1802 (România).” Wikipedia,

[https://ro.wikipedia.org/wiki/Cutremurul_din_1802_\(Rom%C3%A2nia\)](https://ro.wikipedia.org/wiki/Cutremurul_din_1802_(Rom%C3%A2nia)).

“Non-Newtonian Fluid.” Weird Science, <https://weirdscience.eu/Non-Newtonian%20Fluid.html>.

“Non-Newtonian Fluids: How to Model the Soap, Silly Putty or Shampoo in Your Pipe Network.” Applied Flow Technology, <https://www.aft.com/support/product-tips/non-newtonian-fluids-how-to-model-the-soap-silly-putty-or-shampoo-in-your-pipe-network>.

“Guma Xanthan vs. Alte Agenți de Îngroșare.” Top Ingredient, <https://topingrediente.com/blog-ro/ingrediente-alimentare/ingrediente-speciale/gume-si-stabilizatori/guma-xantan-vs-alte-ageni-de-ingroare>.

Yu, Jianhui, et al. “Effect of Xanthan Gum on the Quality of Modified Atmosphere Packaged Fresh Wet Noodles.” Food Chemistry, vol. 339, 2021,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620319336>.

“Non-Newtonian Fluids.” Science Learning Hub, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1502-non-newtonian-fluids>.

“Complex Fluids in Energy Dissipating Systems.”

Science Learning Hub – Pokapū Akoranga Pūtaiao. “Non-Newtonian Fluids.” Science Learning Hub, 28 July 2017, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1502-non-newtonian-fluids>

Earthquake-Resistant Design Concepts (FEMA P-749). Federal Emergency Management Agency, https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_earthquake-resistant-design-concepts_p-749.pdf.



PROIECTAREA STRUCTURILOR DE LEMN: O COMPARATIE INTRE ABORDARILE EUROPENE SI AMERICANE

Autor/autori

I.A. PAVEL, V.M. NISTOR

¹Facultatea de Constructii, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, , [e-mail: allepavel20@gmail.com](mailto:allepavel20@gmail.com).

²Facultatea de Constructii, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, [e-mail: vladutz050703@gmail.com](mailto:vladutz050703@gmail.com).

Îndrumător/îndrumători

S.L. Dr. Ing. T. MILCHIS

³Facultatea de Constructii, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, [e-mail: tudor.milchis@mecon.utcluj.ro](mailto:tudor.milchis@mecon.utcluj.ro).

REZUMAT: În această lucrare se abordează o analiză comparativă între Eurocoduri și standardele americane în proiectarea structurilor de lemn. Această comparație evidențiază diferențele fundamentale în abordarea calculului, dimensionării și siguranței structurilor de lemn în cele două sisteme normative. Un aspect central al analizei este proiectarea unui deck de lemn conform ambelor standarde. Eurocodurile promovează o abordare riguroasă, cu accent pe evaluarea încărcărilor combinate și comportamentul global al structurii. Pe de altă parte, standardele americane oferă mai multă flexibilitate, punând accent pe practici tradiționale și soluții standardizate pentru condiții uzuale. Îmbinarile joacă un rol critic în performanța structurilor de lemn. La finalul lucrării se prezintă și utilizarea lemnului armat, un material modern ce combină lemnul natural cu elemente de ranforsare (fibre de sticlă, carbon).

Cuvinte cheie: structuri din lemn, normativ european, normativ american, capacitate portantă.

1.Introducere

În domeniul construcțiilor din lemn, normele de proiectare joacă un rol esențial în asigurarea siguranței, eficienței și durabilității structurilor. La nivel internațional, două dintre cele mai utilizate sisteme normative sunt Eurocodurile europene și standardele americane (de exemplu ANSI/AWC NDS). Deși ambele urmăresc scopuri similare, abordările lor tehnice și practice diferă în mod semnificativ. Pentru a pune în evidență aceste diferențe am realizat câte un deck reprezentativ pentru fiecare tip de normativ.

2. Normativul European

Pentru normativul European (SR EN 1995-1-1-2004) [1][2][3], am proiectat o terasă din lemn de dimensiuni 8mx3m care reprezintă o structură versatilă și estetică, dar care impune cerințe riguroase în ceea ce privește proiectarea elementelor de rezistență. În acest caz, stâlpii din lemn de clasă de rezistență C18, cu secțiunea de 15x15cm, și o înălțime de 1,5m, alături de grinzile principale din lemn de clasă C14, cu secțiunea de 12x25cm sunt elemente cheie ale structurii.

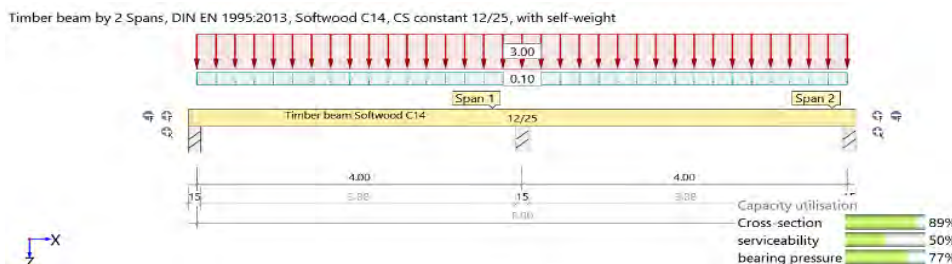


Figura 1. Grinda de secțiune 12x25 cm [1]

Încărcare permanentă : Se aplică cu un **coeficient parțial de siguranță de 1.35**, ceea ce sugerează o **creștere a încărcării** față de scenariul inițial, pentru a reflecta condițiile de operare mai severe sau pentru a lua în calcul diverse condiții de siguranță. Aceasta este încărcarea constantă pe care o va suporta structura pe toată durata de utilizare.

Încărcare variabilă : Tipul de încărcare variabilă (Categorie A) este aplicată cu un **coeficient parțial de siguranță de 1.50** în această combinație. Aceasta înseamnă că, în scenariul combinat, încărcarea variabilă este **mult mai mare** decât în condițiile de bază. Acest coeficient reflectă un scenariu de maximă încărcare, cum ar fi utilizarea completă a structurii sau condiții extreme de operare.

Combinația utilizată este cea în care încărcările sunt majorate semnificativ și au efectul cel mai defavorabil (în special încărcările variabile), iar structura este analizată în condiții **extreme**. Această combinație va fi probabil utilizată pentru a evalua performanța structurală în scenarii **de maximă solicitare**, unde toate încărcările sunt la valori **ridicate**, asigurându-se astfel că structura poate face față condițiilor severe.

2.1. Grinda de secțiune 12x25 cm

Grinda cu cele 2 deschideri egale de 4 metri fiecare și cu secțiunea transversală de 12x25 cm [4], a fost evaluată structural, rezultând o utilizare de **89% din capacitatea la încovoiere** [4], și doar **32% din capacitatea la forță tăietoare** [4]. Acest raport arată clar că grinda este solicitată în principal la încovoiere, iar această solicitare devine criteriul determinant în dimensionare. Valoarea ridicată de 89% la încovoiere semnalează că grinda funcționează aproape de limita admisă, ceea ce poate fi acceptabil în cazul unor încărcări cunoscute și constante, dar lasă o marjă redusă pentru suprasarcini sau modificări ulterioare în exploatare. În schimb, solicitarea de doar 32% la forță tăietoare indică o rezervă semnificativă în această zonă, ceea ce sugerează că secțiunea grinzii este supradimensionată din punct de vedere al forței tăietoare [4]. Această distribuție a solicitărilor sugerează că, pentru optimizarea consumului de material, ar putea fi analizată posibilitatea utilizării unei grinzi cu o secțiune mai eficientă la încovoiere (cum ar fi una cu înălțimea mai mare).

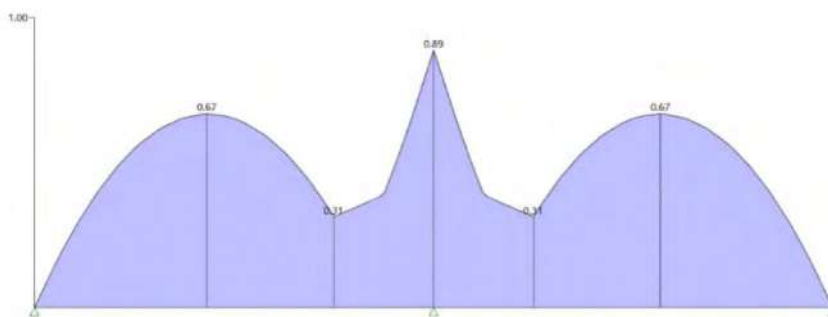


Figura 1.2 Diagrama pentru capacitatea portantă la încovoiere [4]

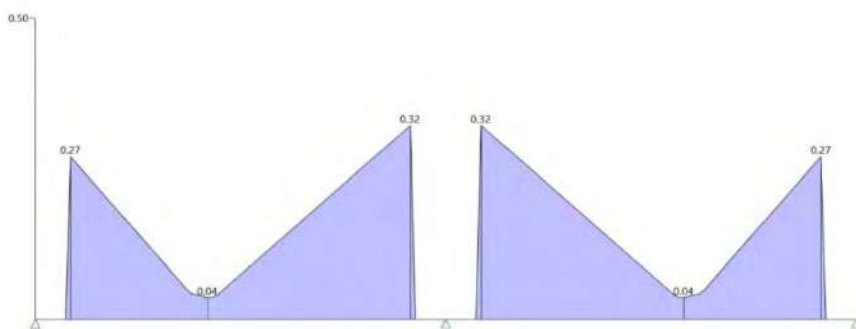


Figura 1.3. Diagrama pentru capacitatea portantă la forță tăietoare [4]

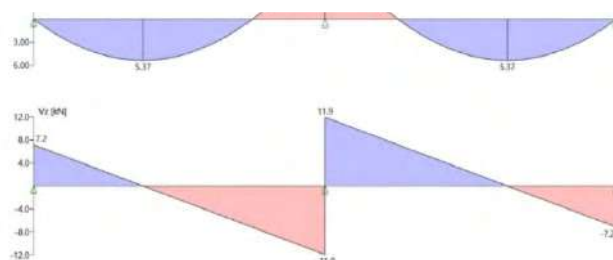


Figura 1.4. Diagrama de moment incovoiator si forță tăietoare [4]

2.2. Stâlp de secțiune 15x15cm

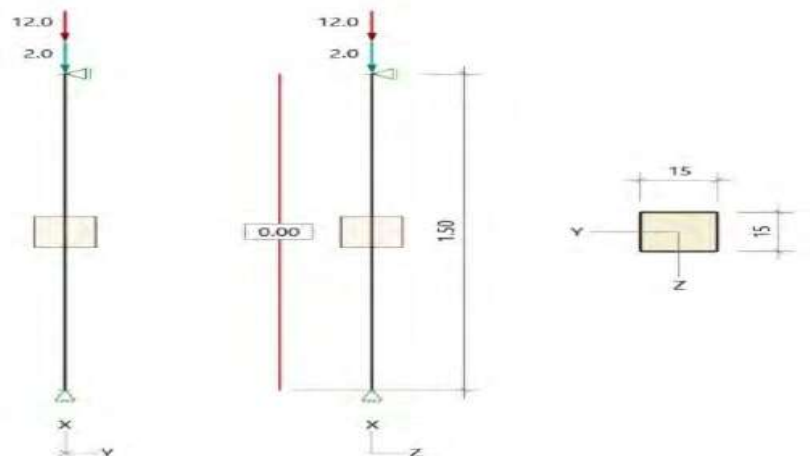


Figura 1.5. Stâlپ de secțiune 15x15 cm [4]

În această combinație [4], atât încărcarea permanentă (G_1), cât și încărcarea variabilă (Q_2) sunt maximizate (încărcarea permanentă este aplicată cu un coeficient de $1.35 \cdot G_1$, iar încărcarea variabilă rămâne aproape la nivelul său normal, $1.05 \cdot Q_2$). Acesta poate reprezenta un scenariu extrem, în care structura este supusă unei încărcări maxime permanente și simultan la o încărcare maximă variabilă. Acest tip de combinație este tipic pentru situațiile de verificare a **comportamentului structural** în condiții extreme.



Coeficientul η din analiza structurală reflectă eficiența secțiunii în utilizarea materialului pentru a rezista la încărcarea aplicată.

Verificare compresiune (N_x): Valorile η mici (0.08 pentru N_x) sugerează că secțiunea structurală nu este utilizată eficient în fața încărcărilor de compresiune. Aceasta indică o capacitate scăzută a secțiunii de a rezista la aceste încărcări, ceea ce poate conduce la instabilitate, deformări neliniare și chiar rupturi locale.

Verificarea stabilității (N): Valorile η mici (0.09 pentru N) sugerează o capacitate scăzută de rezistență a secțiunii structurale la instabilitate și flexiune. Secțiunea este probabil subdimensionată pentru aceste încărcări și poate prezenta riscuri de flambaj sau deformații neliniare sub încărcarea aplicată.

Figura 1.6. Diagrama de efort axial [4]

3. Normativul American

Pentru normativul American (IRC 2021) [8], am proiectat un deck din lemn de dimensiuni 24'-9-3/8''x9'-4-3/8'' (7.56mx2.85m). În acest caz, stâlpii din lemn de clasa de rezistență SPF#2, cu secțiunea de 4''x4'' (10.16cmx10.16cm) și o înălțime de 4'11'' (aproximativ 1.5 m), alături de grinziile principale din lemn de clasa SPF#2, cu secțiunea de 4-1/2''x11-1/4'' (11.43cmx28.57cm) reprezintă elementele principale ale structurii.

3.1. Grinda de secțiune 4.5''x 11.25''

Încărcarea permanentă a structurii este de **9 PSF**, ajustată prin coeficientul de 0.9, care reflectă o reducere a încărcării pentru condițiile normale de operare. Acestea includ greutatea proprie a structurii, finisajele și orice altă încărcare permanentă aplicată. Încărcarea variabilă este de **40 PSF**, fără ajustare, deoarece coeficientul este 1. Aceasta include încărcarea de utilizare variabilă, precum oameni, mobilier, echipamente sau alte elemente temporare care pot varia în funcție de utilizarea reală a structurii.

Momentul negativ de **-4898 ft-lb** este semnificativ, dar nu atinge capacitatea maximă admisă de **7960 ft-lb**, ceea ce indică o utilizare de **62%** din capacitatea totală admisibilă pentru momentul negativ. Aceasta sugerează că grinda[7] poate susține încărcarea aplicată în această zonă fără riscuri imediate, dar există o rezervă semnificativă (38%) înainte ca structura să



Figura 2.1. Grinda de secțiune 4-1/2''x11-1/4'' [5]

ajungă la limita de siguranță. În general, această valoare sugerează un comportament satisfăcător al grinzii sub momentul negativ.

Forța tăietoare de **1645 lb** este mult mai mică decât capacitatea admisă de **4556 lb**, ceea ce indică o utilizare de doar **36%** din capacitatea maximă admisibilă. Aceasta înseamnă că secțiunea grinzii este mult mai robustă decât este necesar pentru solicitările actuale de forță tăietoare. Grinda are o rezervă semnificativă în ceea ce privește forța tăietoare, iar acest lucru sugerează că secțiunea grinzii este dimensionată mai mult decât suficient pentru a susține încărcările aplicate în această zonă, lăsând loc pentru orice schimbări sau suprasarcini viitoare.

3.2. Stâlp de secțiune 4''x4''

În cazul acesta, stâlpul suportă o **încărcare permanentă** de **776 lb** și o **încărcare variabilă** de **3104 lb**. Folosind coeficienții pentru **Dead Load(0.9)** și **Live Load(1.0)**, putem calcula combinația de încărcări pentru o situație tipică de design, de exemplu, în cazul unei **combinații D+L** (Dead Load + Live Load). Acest calcul arată că pentru această combinație de încărcări, stâlpul va trebui să suporte un total de **3802.4 lb**.

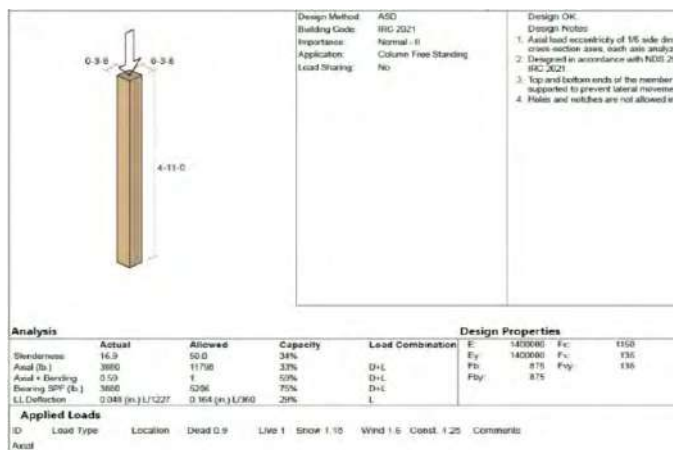


Figura 2.2. Stâlp de secțiune de 4-1/2''x11-1/4'' [5]

care descrie gradul de „zveltețe” al unui stâlp, adică raportul dintre înălțimea stâlpului și dimensiunea secțiunii sale transversale. Un raport de zveltețe mai mare sugerează o **instabilitate mai mare** a stâlpului și poate duce la riscuri de **flambaj**. În acest caz, **slenderness = 16.9** este mult mai mic decât limita maximă permisă de **50.0**, ceea ce înseamnă că stâlpul [5] este **robust** și este **mult mai puțin predispus la flambaj**. Acesta este un semn pozitiv pentru stabilitatea stâlpului.

În această analiză, vom discuta diferitele tipuri de verificări efectuate asupra stâlpului, conform rezultatelor oferite. Vom analiza fiecare secțiune a raportului pentru a înțelege performanța structurală a stâlpului și pentru a verifica dacă acesta respectă cerințele de siguranță și de performanță.

Slenderness ratio este un parametru care descrie gradul de „zveltețe” al unui stâlp, adică raportul dintre înălțimea stâlpului și dimensiunea secțiunii sale transversale. Un raport de zveltețe mai mare sugerează o **instabilitate mai mare** a stâlpului și poate duce la riscuri de **flambaj**. În acest caz, **slenderness = 16.9** este mult mai mic decât limita maximă permisă de **50.0**, ceea ce înseamnă că stâlpul [5] este **robust** și este **mult mai puțin predispus la flambaj**. Acesta este un semn pozitiv pentru stabilitatea stâlpului.



Forța axială reprezintă forța verticală aplicată pe stâlp, care poate fi o forță de compresiune. În acest caz, **3880 lb** reprezintă forța aplicată, iar limita permisă este **11798 lb**. **33%** din capacitatea maximă indică faptul că stâlpul este **subutilizat** în ceea ce privește capacitatea sa de a suporta forța axială. Aceasta este o valoare bună, deoarece stâlpul are o rezervă semnificativă de capacitate și nu este aproape de limita de rupere.

Tabelul 1. Compararea rezultatelor EUROCOD vs USA

Criteriu	EUROCOD	USA
Dimensiune secțiune grindă	12x25 cm	4.5''x11.25''(11.43x28.6cm)
Lungime totală	8 m (2 deschideri de câte 4 m)	26'2''=7.98m (2 deschideri de câte 13'1'')
Material	Lemn rășinoase C14	SPF#2 (spruce-pine-fir#2)
Încărcări	G=0.1 kN/m , q=3kN/m	Dead=10psf (0.48 kN/m) Live=40psf (1.92 kN/m)
Moment maxim solicitant	-9.55kNm	-4898ft-lb=-6.64 kNm
Forță tăietoare maximă	11.9kN	1645lb=7.32kN
Deformație totală	Wfin=L/200 admis , n=0.50	0.121in (L/1251)-admis, maxim 0.631in (L/240)
Capacitate portantă la încovoiere	89 % din capacitatea permisă	62% din capacitatea permisă
Capacitate portantă la forță tăietoare	32% din capacitatea permisă	36% din capacitatea permisă

Tabelul 2. Compararea rezultatelor EUROCOD vs USA

Criteriu	EUROCOD	USA
Dimensiuni secțiune stâlp	15x15 cm	4''x4''(10.16x10.16 cm)
Înălțime	1.5 m	4'11''(1.5 m)
Material	Lemn rășinoase c18	SPF#2
Incarcari	G=2 kN/m , q=12 kN/m	Dead=776 lb , Live=3104 lb
Efort Axial	20.9 kN	3880 lb (17.26 kN)
Capacitatea portanta la efort axial	8% din capacitatea permisă	33% din capacitatea permisă

Rezumat avantaje/dezavantaje:

- **EUROCOD:** Secțiune mai mică, dar rezistă la încărcări mai mari. Moment și forță tăietoare mai ridicate. Utilizează mai puțin material, dar este mai apropiată de limita admisibilă (89% la încovoiere).



- **USA:** Secțiune mai mare, dar cu deformații mult mai mici. Rezervă mai mare de siguranță (62% la încovoiere, 36% la forță tăietoare). Încărcări totale mai mici, dar performanță mai bună la deformații.

Alegerea optimă depinde de cerințele proiectului:

Pentru structuri unde încărcările sunt mari și se dorește economie de material: **EUROCOD**.

Pentru structuri unde deformațiile trebuie minimizate și se acceptă o secțiune mai mare: **USA**.

Dacă încărcările din USA ar fi identice cu cele din EUROCOD, grinda USA ar putea avea performanțe inferioare din cauza dimensiunilor diferite. În acest caz, **EUROCOD pare mai eficient**.

4.Reinforced timber (Lemn armat)

Lemnul armat [6] (reinforced timber) este o tehnologie care combină avantajele lemnului cu elemente de armare pentru a îmbunătăți performanțele mecanice. Acest material îmbunătățește distribuția tensiunilor și reduce deformațiile, fiind potrivit pentru structuri de rezistență. Lemnul este rezistent la compresiune, dar slab la tracțiune și forfecare, iar armătura preia aceste tensiuni. Pentru îmbunătățirea rezistenței lemnului la solicitări de întindere și forfecare se poate folosi oțelul, fibră de sticlă, carbon sau compozite. Lemnul armat oferă o rigiditate mai mare și reduce săgeata elementului. Procesul de realizare include proiectarea, inserția de armături, adezivi speciali și testarea finală. Avantajele includ capacitate portantă sporită, risc redus de fisurare și sustenabilitate. Aplicațiile principale sunt în poduri, clădiri cu deschideri mari și structuri din zone seismice.



Figura 4. Lemn armat [6]

5. Îmbinări

Îmbinările pentru lemn folosite la terase și garduri includ o gamă variată de opțiuni, precum colțare, console, legături pentru terase și stabilizatori. Aceste componente sunt esențiale pentru fixarea lemnului în proiecte exterioare, cum ar fi terasele, gardurile și alte construcții similare.

5.1. Tipuri de îmbinări

5.1.1. BVLZ Brick Veneer Ledger Connector (Conector de Fixare pentru Cărămizi Aparente)

Acesta fixează o grindă de lemn de structura casei prin stratul de cărămidă [7]. Acest kit de conectare, în curs de brevetare, reprezintă o alternativă viabilă la construirea unei terase independente și se instalează fără a fi necesară îndepărtarea sau înlocuirea unor secțiuni mari din fațada de cărămidă.



Figura 5. BVLZ [7]



Figura 5.1. Îmbinare BVLZ [7]

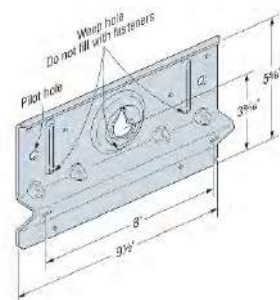


Figura 5.2. Ilustrație BVLZ [7]

5.1.2. Alte îmbinări

Printre alte tipuri de îmbinări se numără: **Deck Post Tie** (Stâlpi verticali montați lateral pe vanguri, cadre sau alte elemente din lemn), **Stair Case Angle** (Pentru utilizare în structuri rezistente ale cadrului scărilor), **Deck Tension Tie** (utilizat ca element de fixare în aplicații cu pereți de forfecare ușoară și panouri de perete consolidate), **Deck Joist Tie** (Proiectat pentru a fixa grinzi de terasă de dimensiunea 2x pe lateralul stâlpilor de susținere de dimensiunea 4x sau mai mari), **Pipe Grip Tie for an interior corner** (designed for attaching wood fence rails to metal fence posts on interior corners), etc.

6. Concluzii

Normativul european și normativul american diferă prin abordarea proiectării structurilor din lemn, primul punând accent pe modelare detaliată, iar al doilea pe simplitate și standardizare. Lemnul armat îmbunătățește performanța prin combinarea lemnului cu armături, diminuând limitările naturale ale materialului. Diversitatea îmbinărilor, de la plăci metalice la adezivi, este esențială pentru adaptabilitate, iar integrarea celor mai bune practici din ambele sisteme contribuie la structuri din lemn mai sigure și eficiente.

BIBLIOGRAFIE:

1. Structural Timber Design to Eurocode 5
2. SR EN 338-2010, SR EN 1995-1-1-2004-1
3. https://www.academia.edu/21831993/CONSTRUC%C5%A2II_DIN_LEMN (mai, 2025)
4. <https://www.frilo.eu/en/product-category/calculate-components-from-timber/> (mai 2025)
5. <https://pwtewp.com/software/> (accesat mai 2025)
6. <https://www.greenbuildingfactory.com/en/innovations/steel-reinforced-laminated-wood> (accesat mai 2025)
7. https://www.strongtie.com/decksandfences_woodconnectors/category (accesat mai 2025)
8. IRC 2021



ANALIZA COMPORTAMENTULUI ÎMBINĂRILOR GRINDĂ-STÂLP METALIC CU PLACĂ DE CAPĂT EXTINSĂ

Autori

A.-B. SÜTÖ¹, N. URSZULY², B.-A. LŐRINCZ³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: suto.abigail@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: urszuly.sz.nora@student.ro

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: barnabas.lorincz@campus.utcluj.ro

Îndrumători

Prof.Dr.Ing. ZS. NAGY⁴ Conf.Dr.Ing. Ș. M. BURU⁵

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Zsolt.Nagy@dst.utcluj.ro

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Marius.Buru@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: Această lucrare prezintă rezultatele unor studii analitice și numerice privind evaluarea rezistenței și rigidității unor îmbinări metalice marginale cu placă de capăt extinsă. Abordarea analitică are la bază Metoda Componentelor, iar studiile numerice au fost realizate utilizând două programe bazate pe metoda elementelor finite, Consteel și IDEA StatiCa, dedicate analizei structurilor metalice. În softul Consteel, determinarea capacității îmbinărilor metalice este fundamentată pe Metoda Componentelor, iar în Idea Statica este aplicată metoda CBFEM (Component Based Finite Element Method). Rezultatele investigațiilor indică faptul că în cazul îmbinărilor analizate, cele mai sensibile componente sunt inima stâlpului, solicitată la forfecare (componenta comprimată) respectiv placa de capăt, solicitată la întindere. În consecință, a fost derulat un studiu parametric ce a vizat evaluarea influenței grosimii plăcuței de capăt și a unor rigidizări suplimentare asupra capacității portante a specimenelor studiate.

Cuvinte cheie: structuri metalice, îmbinări cu placă de capăt extinsă, îmbinări semi-rigide, metoda Componentelor, metoda CBFEM

1. Introducere

În cadrul acestui studiu au fost analizate îmbinările testate în cadrul unor programe de cercetare experimentală, ale căror rezultate au fost publicate în referința [1]. Această lucrare prezintă rezultatele unor metode analitice și numerice efectuate pentru evaluarea rezistenței și rigidității îmbinărilor metalice marginale cu placă de capăt extinsă, fără a lua în considerare elementele din beton. De asemenea, a fost realizat un studiu parametric având ca obiectiv evaluarea influenței grosimii plăcii de capăt și a unor rigidizări suplimentare asupra capacității portante și a rigidității specimenelor analizate. Evaluarea analitică a îmbinărilor metalice, prezentate în referința [1], a fost realizată utilizând metoda componentelor, conform standardului european SR EN 1993-1-8:2006 [2]. În paralel, analiza numerică a acestor îmbinări s-a efectuat cu ajutorul softurilor Consteel și Idea Statica, care aplică metode diferite: Metoda componentelor și Metoda cu element finit bazată pe componente (CBFEM).

Specimenele testate au fost concepute astfel încât să reproducă îmbinări izolate dintr-un cadru cu mai multe deschideri, având deschideri de 7.00 m și o distanță între cadre de 4.00 m, cu încărcări utile de până la 4 kN/m². În cazul specimenelor testate, grinzile au fost realizate din profile IPE270, iar stâlpii din profile HEA220. Între grinzile IPE270 și placa de beton armat

s-a realizat o conexiune rigidă prin interacțiune completă, utilizând 8 conectori de forfecare. Îmbinarea metalică a fost alcătuită dintr-o placă de capăt extinsă cu grosimea de 12 mm, sudată de grindă și fixată de talpa stâlpului prin intermediul a 6 șuruburi M20 de clasă 8.8. Placa de capăt a fost aliniată cu talpa profilului la partea superioară a grinzii, iar la partea inferioară a fost extinsă pentru a obține un comportament similar sub acțiunea momentelor pozitive și negative. Pentru componentele metalice s-a utilizat oțel de calitate S235.

În cadrul experimentelor prezentate în referința [1] au fost realizate patru teste pe noduri externe: E3 și E4 au evaluat comportarea îmbinării stâlp metalic–grindă mixtă, iar E5 și E6 reprezintă îmbinările elementelor structurale mixte. Rezultatele analitice și numerice au fost comparate cu testul E3, unde încărcarea verticală a generat un moment negativ. Configurațiile experimentale investigate sunt ilustrate în Figura 1, iar rezultatele referitoare la rigiditatea inițială ($S_{j,ini}$) și la capacitatea acestora ($M_{j,Rd}$) sunt prezentate în tabelul 1.

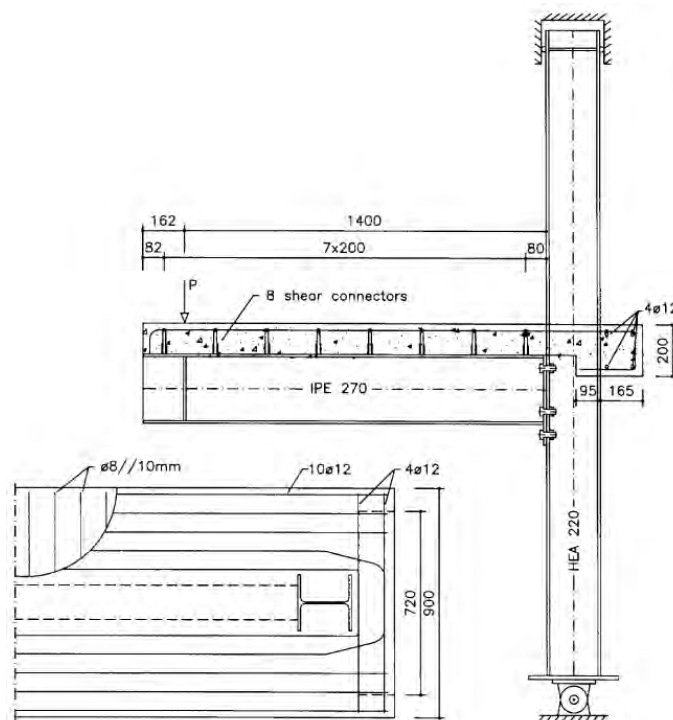


Fig. 6. External node, steel column.

Figura 1. Specimenul E3, testat în cadrul programului experimental [1].

Tabelul 1. Rezultatele specimenului E3 testat în cadrul programului experimental [1].

	$S_{j,ini}$ (kNm/rad)	$M_{j,Rd}$ (kNm)
E3	27000	111.3

În cadrul programului experimental [1] au fost determinate proprietățile mecanice și dimensiunile nominale ale componentelor metalice, asociate specimenului E3. Elementele metalice aferente configurației E3 au fost confecționate din material provenit din LOT 1.

2. Evaluare analitică

Metodele analitice au fost realizate în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1993-1-8:2005 [2], prin aplicarea Metodei Componentelor, conform căreia fiecare componentă este caracterizată printr-o curbă neliniară forță–deformație, așa cum este menționat și de J. Jaspart

[3]. În cadrul analizei au fost determinate principalele proprietăți mecanice relevante pentru caracterizarea îmbinării, respectiv rigiditatea inițială ($S_{j.ini}$) și capacitatea portantă a îmbinării ($M_{j.Rd}$).

Pe baza metodelor analitice, cele mai sensibile componente ale îmbinării metalice studiate sunt placa de capăt și inima stâlpului. Ținând cont de aceste constatări, au fost efectuate analize parametrice în vederea evaluării influenței grosimii plăcii de capăt, precum și a efectului rigidizărilor. Rezultatele nu au evidențiat o creștere semnificativă a capacității portante la moment încovoietor odată cu creșterea grosimii plăcii de capăt, în timp ce rigiditatea îmbinării a înregistrat o ușoară creștere.

Tabelul 2 prezintă valorile rigidității inițiale ($S_{j.ini}$) și ale rezistenței la moment încovoietor ($M_{j.Rd}$) pentru îmbinarea analizată, determinate analitic în funcție de grosimea plăcii de capăt. Totodată, sunt evidențiate și variațiile procentuale ale rigidității inițiale ($S_{j.ini}^{12+}$), raportate la configurația de referință cu placă de capăt de 12 mm grosime.

Tabelul 2. Rezultatele analitice ale îmbinării studiate [1], în funcție de grosimea plăcii de capăt.

	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$S_{j.ini}^{12+}$ (%)
A-p12mm	9642.34	48.59	0
A-p14mm	9970.42	48.59	3.40
A-p16mm	10152.51	48.59	5.29
A-p18mm	10255.21	48.59	6.35
A-p20mm	10312.32	48.59	6.95
A-p22mm	10341.87	48.59	7.25

Tabelul 3 include valorile rigidității inițiale ($S_{j.ini}$) și ale rezistenței la moment încovoietor ($M_{j.Rd}$) pentru îmbinarea studiată, determinate analitic în funcție de poziția plăcuțelor de rigidizare: fără rigidizări (A-fr), cu rigidizări orizontale la nivelul tălpii inferioare și superioare a grinzii (A-roși), cu rigidizări superioare (A-rs) și doar cu rigidizări inferioare (A-ri). În plus, tabelul indică și variațiile procentuale ale rigidității inițiale ($S_{j.ini}^{fr+}$) și ale rezistenței la moment încovoietor ($M_{j.Rd}^{fr+}$), comparativ cu varianta fără rigidizări. Menționăm faptul că valorile prezentate în Tabelele 2 și 3 au fost obținute utilizând proprietățile mecanice teoretice ale oțelului de calitate S235.

Tabelul 3. Rezultatele analitice ale îmbinării studiate [1], în funcție de poziția plăcuțelor de rigidizare.

	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$S_{j.ini}^{fr+}$ (%)	$M_{j.Rd}^{fr+}$ (%)
A-fr	9642.34	48.59	0	0
A-roși	14552.30	49.99	50.92	2.88
A-rs	14552.30	49.99	50.92	2.88
A-ri	14514.02	49.73	50.52	2.35

3. Evaluare numerică

În vederea evaluării îmbinării metalice a configurației E3, au fost dezvoltate modele numerice utilizând softurile Idea Statica și Consteel. Configurația E3 a fost formată dintr-un stâlp metalic și o grindă compozită, însă în cadrul analizelor numerice s-a realizat studiul îmbinării dintre un stâlpul metalic și o grindă metalică. În Consteel, comportarea îmbinărilor este analizată prin metoda componentelor, în timp ce Idea Statica aplică metoda CBFEM în cadrul evaluării îmbinărilor. CBFEM îmbină principiile Metodei Componentelor cu cele ale analizei cu Elemente Finite. Aplicarea acestei metode presupune împărțirea îmbinării în componente



distincte, fiecare fiind analizată printr-un model neliniar, ținând cont de imperfecțiunile existente a materialelor constitutive. Această abordare permite evidențierea interacțiunilor dintre componente, influențând direct capacitatea portantă și rigiditatea îmbinării, așa cum subliniază și Lubomír Šabatka [4]. IDEA StatiCa utilizează o discretizare automată bazată pe elemente finite de tip shell, având o dimensiune minimă a elementului de 8 mm și una maximă de 50 mm.

În Idea StatiCa au fost realizate trei modele distincte pe baza specimenului E3. În modelul IS-Lot1-bweld, talpa superioară a grinzii este sudată de placa de capăt prin sudură de adâncime, iar muchia superioară a plăcii de capăt se aliniează perfect cu talpa superioară a grinzii metalice. În cadrul acestui model, au fost integrate proprietățile mecanice reale ale materialului utilizat, determinate prin teste de rezistență la tracțiune. În modelele IS-S235-bweld și IS-S235-fweld au fost implementate proprietățile mecanice teoretice ale materialelor. Diferența dintre cele două modele constă în tipul sudurii executate dintre talpa superioară a grinzii metalice și placa de capăt. În modelele numerice au fost utilizate dimensiunile standardizate ale elementelor de oțel conform cataloagelor, fără a se lua în considerare dimensiunile lor nominale.

Softul Consteel prezintă anumite limitări. Una dintre acestea este incapacitatea de a defini diferite tipuri de oțel pentru o secțiune transversală, spre deosebire de Idea Statica, care permite specificarea unor materiale diferite pentru talpa și inima secțiunii transversale, în cazul profilelor de tip I și H. Din această cauză, în modelul Consteel s-au utilizat proprietățile mecanice teoretice ale oțelului S235. Totodată, în Consteel nu este posibilă modelarea sudurii de adâncime, ceea ce impune utilizarea sudurii de colț între talpa superioară a grinzii IPE270 și placa de capăt. Această abordare implică automat o distanțare de aproximativ 10 mm a plăcii de capăt față de talpa superioară a grinzii. Prin urmare, modelul creat în Consteel, denumit CS-S235-fweld, nu reflectă cu exactitate configurația testată în cadrul experimentului E3.

În softul Idea StatiCa a fost realizat un model identic cu cel dezvoltat în Consteel, pentru a permite compararea celor două metode de calcul. Rezultatele obținute nu au evidențiat diferențe semnificative, abaterile rămânând sub 10% în ceea ce privește rigiditatea inițială ($S_{j,ini}$), cât și rezistența la moment încovoietor ($M_{j,Rd}$) ale îmbinării studiate. În Tabelul 4 sunt prezentate rezultatele analizelor numerice.

Tabelul 4. Rezultatele numerice ale îmbinării studiate, conform [1].

	$S_{j,ini}$ (kNm/rad)	$M_{j,Rd}$ (kNm)
E3 [1]	27000	111.30
IS-S235-bweld	8776.53	48.30
IS-S235-fweld	8684.66	47.80
IS-Lot1-bweld	8099.42	57.50
CS-S235-fweld	9307.98	46.48

Îmbinările studiate au fost analizate în softul Idea StatiCa parametric prin schimbarea grosimii plăcii de capăt și a tipurilor de rigidizări: configurație fără rigidizări (N-fr), cu rigidizări orizontale superioare și inferioare (N-rosi), doar superioare (N-rs), doar inferioare (N-ri), cu rigidizări orizontale și verticale (N-rov) și cu plăcuțe de rigidizare dublate la inima stâlpului (N-rd). Rezultatele sunt prezentate în Tabelele 5–8.

S-a evidențiat că în Consteel nu se poate modela rigidizarea verticală utilizată în Idea StatiCa. Pentru îmbinările fără rigidizări, cele două programe oferă rezultate apropiate (diferențe <10%). În schimb, pentru configurațiile cu rigidizări (cu excepția configurației N-fr), diferențele între rezultatele obținute în cele două softuri variază între -16,67% și 43,97% pentru rigiditatea inițială ($S_{j,ini}$) și între 5,45% și 30,13% pentru rezistența la moment încovoietor ($M_{j,Rd}$). Modelele realizate în softul Idea StatiCa sunt ilustrate în figurile 2 – 7.



Figura 2. Îmbinarea N-roși în Idea StatiCa



Figura 3. Îmbinarea N-rs în Idea StatiCa

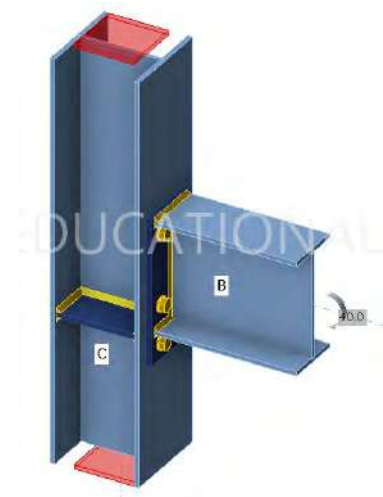


Figura 4. Îmbinarea N-ri în Idea StatiCa



Figura 5. Îmbinarea N-rov în Idea StatiCa

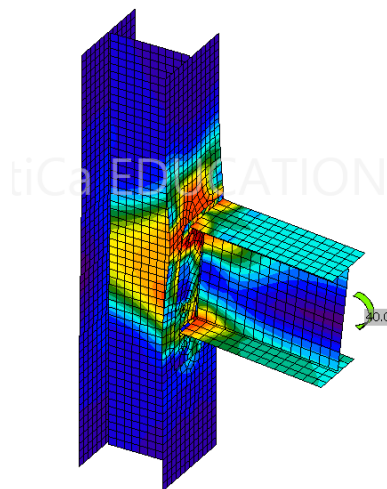




Figura 6. Îmbinarea N-rd în Idea StatiCa

Figura 7. Analiză specimen IS-S235-fweld

Tabelul 5. Rezultatele numerice ale îmbinării studiate, în funcție de grosimea plăcii de capăt.

	CS-S235-fweld		IS-S235-fweld		Diferența	
	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$\Delta S_{j.ini}$ (%)	$\Delta M_{j.Rd}$ (%)
N-12mm	9307.98	46.48	8684.66	47.80	-6.70	2.84
N-p14mm	9770.24	47.90	9023.85	48.60	-7.64	1.46
N-p16mm	10049.26	47.97	9237.46	49.50	-8.08	3.19
N-p18mm	10222.49	48.05	9403.29	50.40	-8.01	4.89
N-p20mm	10332.3	48.08	9535.78	51.40	-7.71	6.91
N-p22mm	10402.49	48.08	9659.03	52.40	-7.15	8.99

Tabelul 6. Rezultatele numerice ale îmbinării studiate, în funcție de rigidizări.

	CS-S235-fweld		IS-S235-fweld		Diferența	
	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$\Delta S_{j.ini}$ (%)	$\Delta M_{j.Rd}$ (%)
N-fr	9307.98	46.48	8684.66	47.8	-6.70	2.84
N-roși	11327.43	48.03	13581.78	62.5	19.90	30.13
N-rs	9158.5	46.44	11598.91	60	26.65	29.20
N-ri	11534.64	46.75	9612.05	49.3	-16.67	5.45
N-rov	-	-	13962.67	62.8	-	-
N-rd	13272.48	54.49	19108.16	62.8	43.97	15.25

Tabelul 7. Rezultatele numerice ale îmbinării studiate și comparația acestora în funcție de grosimea plăcii de capăt.

Rezultate din Idea StatiCa	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$S_{j.ini}^{12+}$ (%)	$M_{j.Rd}^{12+}$ (%)
N-12mm	8684.66	47.8	0	0
N-p14mm	9023.85	48.6	+3.91	+1.67
N-p16mm	9237.46	49.5	+6.37	+3.56
N-p18mm	9403.29	50.4	+8.27	+5.44
N-p20mm	9535.78	51.4	+9.8	+7.53
N-p22mm	9659.03	52.4	+11.22	+9.62

Tabelul 8. Rezultatele numerice ale îmbinării studiate și comparația acestora în funcție de rigidizări.

Rezultate din Idea StatiCa	$S_{j.ini}$ (kNm/rad)	$M_{j.Rd}$ (kNm)	$S_{j.ini}^{fr+}$ (%)	$M_{j.Rd}^{fr+}$ (%)
N-fr	8684.66	47.8	0	0
N-roși	13581.78	62.5	+56.39	+30.75
N-rs	11598.91	60	+33.56	+25.52
N-ri	9612.05	49.3	+10.68	+3.14
N-rov	13962.67	62.8	+60.77	+31.38
N-rd	19108.16	62.8	+120.02	+31.38

4. Rezultate și discuții

Idea StatiCa permite determinarea atât a valorii rigidității inițiale a îmbinărilor, cât și a naturii acestora. Pe baza rezultatelor obținute în cadrul analizelor se evidențiază că îmbinarea metalică

izolată din configurația prezentată în referința [1], poate fi clasificată ca fiind semirigidă, aspect confirmat de rezultatele incluse în Tabelul 9 și de diagrama prezentată în Figura 8. Se observă că valoarea rigidității inițiale ($S_{j,ini}$) se încadrează între limitele corespunzătoare unei îmbinări rigide ($S_{j,R}$) și cele ale unei îmbinări articulate ($S_{j,P}$).

Tabelul 9. Încadrarea în funcție de rigiditate pe baza analizei în Idea StatiCa.

	$S_{j,ini}$ (kNm/rad)	$S_{j,R}$ (kNm/rad)	$S_{j,P}$ (kNm/rad)	Categorie
IS-S235-fweld	8684.66	182020.96	3640.42	semirigid

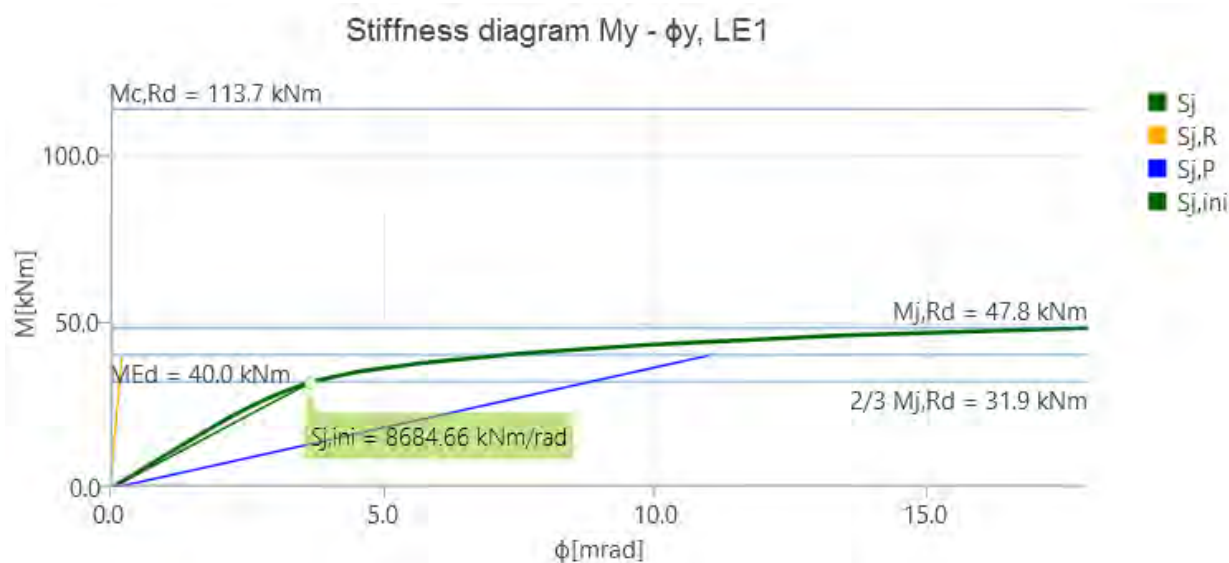


Figura 8. Diagrama de rigiditate a îmbinării metalice analizate din referința [1].

În cazul îmbinării metalice, izolată din configurația prezentată în referința [1], comparația rezultatelor analitice și numerice a indicat diferențe sub 10% la nivelul rigidității inițiale și a capacității portante a îmbinării studiate. În Tabelul 10 sunt prezentate comparația rezultatelor analitice și numerice.

Tabelul 10. Comparația rezultatelor analitice și numerice ale îmbinării studiate [1].

	Rezultate analitice		Rezultate numerice IS-S235-fweld		Diferența	
	$S_{j,ini}$ (kNm/rad)	$M_{j,Rd}$ (kNm)	$S_{j,ini}$ (kNm/rad)	$M_{j,Rd}$ (kNm)	$\Delta S_{j,ini}$ (%)	$\Delta M_{j,Rd}$ (%)
A-p12mm	9642.34	48.59	8684.66	47.80	-9.93	-1.63
A-p14mm	9970.42	48.59	9023.85	48.60	-9.49	0.02
A-p16mm	10152.51	48.59	9237.46	49.50	-9.01	1.84
A-p18mm	10255.21	48.59	9403.29	50.40	-8.31	3.59
A-p20mm	10312.32	48.59	9535.78	51.40	-7.53	5.47
A-p22mm	10341.87	48.59	9659.03	52.40	-6.60	7.27



De asemenea, softul Consteel, bazat pe Metoda Componentelor, și softul Idea StatiCa, care utilizează CBFEM, au furnizat rezultate similare privind rezistența la moment încovoietor și rigiditatea inițială.

Analizele efectuate au arătat că placa de capăt și inima stâlpului sunt cele mai sensibile componente ale îmbinării. Studiile parametrice au indicat că, peste 14 mm grosime a plăcii, creșterea rigidității și capacității portante devine nesemnificativă. Pe baza analizelor efectuate în Idea StatiCa, s-a observat că plăcuțele de rigidizare contribuie semnificativ la creșterea rigidității îmbinării: utilizarea rigidizărilor inferioare și superioare aduce o creștere de 56%, în timp ce aplicarea unor rigidizări dublate pe inima stâlpului generează o creștere de până la 120%.

Conform referinței [1], capacitatea portantă a îmbinării corespunzătoare configurației E3 a fost de 111,30 kNm, în timp ce specimenul IS-Lot1-bweld, compus din elementele metalice și analizat în cadrul acest studiu, a înregistrat o valoare semnificativ mai mică, de doar 57,5 kNm, ceea ce reprezintă o abatere de 48,33%. Rigiditatea inițială a specimenului E3, determinată experimental, a fost de 27 000 kNm/rad, depășind considerabil valorile estimate prin modele numerice pentru îmbinările compuse din piese metalice. În cazul modelului IS-Lot1-bweld, rigiditatea a fost de doar 8 099,42 kNm/rad, ceea ce reprezintă 29,99% din valoarea obținută experimental, fiind cu 70,01% mai mică.

5. Concluzie

Metodele analitice și numerice au confirmat că îmbinările metalice studiate sunt semirigide și capabile să preia momente negative. De asemenea, atât Metoda Componentelor, cât și CBFEM au oferit valori similare pentru rezistența la moment încovoietor și rigiditatea îmbinărilor analizate, diferențele rămânând în limite acceptabile în cazul fără rigidizări, iar pentru configurațiile cu rigidizări au fost observate abateri mai mari.

Rezultatele prezentate evidențiază avantajele îmbinărilor compozite, care oferă o capacitate portantă mai mare comparativ cu îmbinările realizate exclusiv din metal.

Etapa următoare a programului de cercetare constă în calibrarea modelelor ABAQUS pentru îmbinările metalice și mixte, utilizând datele din referința [1]. Această etapă va fi urmată de dezvoltarea unui program experimental care va analiza două tipuri de îmbinări: pe de o parte, îmbinări între elemente exclusiv metalice, iar pe de altă parte, soluții de îmbinare între stâlpi metalici și grinzi compozite.

6. Mulțumiri

Autorii își exprimă recunoștința față de Asociația Muzeului Ardelean pentru sprijinul acordat în cadrul acestui proiect de cercetare.

BIBLIOGRAFIE

1. da Silva L. S., Simoes R. D., Cruz P. J. S., *Experimental behaviour of end-plate beam-to-column composite joints under monotonical loading*. Engineering Structures, **23** (11), pp. 1383-1409 (2001).
2. SR EN 1993-1-8:2005: Design of steel structures-Part 1-8: Design of joints, 2005.
3. Jaspart J.-P., Weynand K., *Design of joints in steel and composite structures*. ECCS-European Convention for Constructional Steelwork, Ernst & Sohn, Brussels, (2016).
4. J Šabatka L., Wald F., Kabeláč J., Kolaja D., Pospíšil M., *Structural Analysis and Design of Steel Connections Using Component-Based Finite Element Model*. Journal of Civil E



DIMENSIONAREA UNEI SUPRAETAJĂRI METALICE CONSIDERÂND INFLUENȚA RIGIDITĂȚII CONEXIUNII DE LA BAZA STÂLPILOR

Autor

Eduard PÎNZARU

Facultatea de Construcții Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: pinzaru04@gmail.com

Îndrumători:

Conf. Dr. Ing. Marius BURU¹, Asist. Dr. ing. Florin BLA²

¹Facultatea de Construcții Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail:
marius.buru@mecon.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail:
florin.blaga@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea de față reprezintă o continuare și o extindere a cercetării anterioare, intitulată „Influența rigidității conexiunii stâlp-stâlp asupra deplasării relative de nivel în cazul unei structuri supraetajate”, în care au fost evidențiate principalele particularități care apar în cazul adăugării unui etaj suplimentar cu structura în cadre din beton armat. Studiul prezent analizează o alternativă structurală, abordând o soluție de supraetajare realizată din structură metalică. În acest context, sunt analizate două metode variate de considerare a conexiunii dintre stâlpii metalici propuși și construcția existentă – încastrare și articulație – în vederea evaluării influenței acestora asupra comportării întregului ansamblu. Pentru ambele soluții se vor realiza modele MEF avansate pentru determinarea rigidității reale a conexiunilor propuse, iar valorile obținute se vor folosi în programul de calcul structural.*

Cuvinte cheie: Analiză MEF, supraetajare, ancore chimice, analiză neliniară

1. Introducere

Având în vedere tendința ascendentă a numărului de locuitori din zonele urbane, creștere ce are impact asupra orașelor universitare, este necesară extinderea suprafețelor utile din orașe. În fiecare an orașele cu centre universitare puternic dezvoltate, primesc mii de studenți din alte orașe, pentru a-și continua studiile superioare. În orașe universitare, precum Brașov, unde spațiul este limitat și există constrângeri teritoriale, extinderea pe verticală a construcțiilor poate fi o soluție eficientă pentru a satisface nevoile de dezvoltare. Prin construirea clădirilor cu mai multe etaje și exploatarea înălțimii, se poate maximiza utilizarea terenului disponibil fără a extinde periferiile în mod excesiv. Acest lucru ar putea contribui la conservarea mediului înconjurător și la menținerea caracterului distinctiv al orașului, în timp ce se asigură spațiul necesar pentru creșterea infrastructurii universitare.

Această tematică a fost studiată de către autor și în cadrul lucrării [1], prezentată în cadrul SNCSS2024, în care s-au studiat principalele detalii ce intervin în cazul proiectării unei supraetajări având structura în cadre din beton armat. Lucrarea de față reprezintă o continuare a studiilor anterioare, în care structura nou propusă este cea de cadre metalice. Sunt studiate 3 configurații diferențiate prin modul de considerare a rigidității prinderilor în bază a stâlpilor metalici propuși.

2. Studiu de caz

Etapa I. Alegerea construcției

În marea majoritate a cazurilor, clădirile care au nevoie de lărgiri de suprafețe sunt locuințele unifamiliale, clădirile de birouri, spitalele etc. În această lucrare s-a luat în considerare extinderea pe verticala ale unei clădiri de birouri existente - Figura 1.1, la care se propune realizarea unui nivel suplimentar peste etajul 3 - Figura 1.2.

Sistemul structural existent al clădirii constă în cadre de beton armat bidirecționale și propunerea supraetajării este făcută pe structură ușoară – structură metalică. În prezenta lucrare s-a făcut un calcul tridimensional deoarece profilele laminate au caracteristici geometrice și de rigiditate diferite în raport cu direcțiile principale.

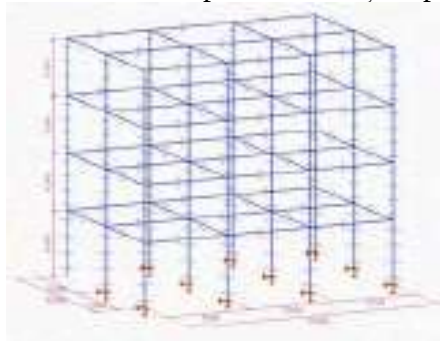


Figura 1.1 Clădire existentă

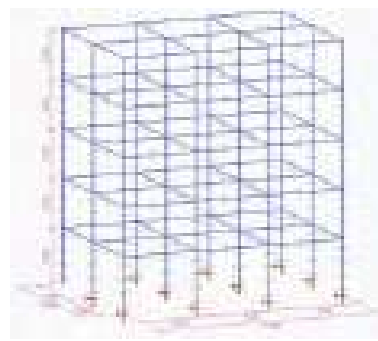


Figura 1.2 Clădire existentă + supraetajare

• Etapa II. Evaluarea încărcărilor

1. Încărcări permanente

Greutatea proprie a structurii (1)

$$G = \sum_{k=1}^n V_n \times \rho \times g \quad (1)$$

Unde: G – greutatea proprie;
 V_n – volumul elementului structural “n”;
 γ_c – greutatea volumică a betonului armat;
 g – accelerația gravitațională;

Încărcarea din straturi de finisaj+planșee (2)

$$G_{finisaj} = h \times \rho \times g \quad (2)$$

Unde: $h=0.07\text{m}$ – grosimea stratului de pardoseală;
 $\rho=2200\text{kg/m}^3$ – densitatea betonului simplu;
 g – accelerația gravitațională;

2. Încărcări variabile

Încărcări utile:

→ încărcarea utilă pe suprafață pentru planșee, datorate aglomerațiilor umane (3):

$$q_k \quad (3)$$

Unde: $q_k=2.5\text{kN/m}^2$ – încărcarea pe suprafață, conform Eurocod 1, Tabel 6.2 [2];

→ încărcarea utilă pe suprafață din acțiunea zăpezii pe planșeu (4):

$$S = \gamma_{Is} \times \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (4)$$

Unde:

$\gamma_{Is}=1.00$ – coeficientul de importanță-expunere pentru acțiunea zăpezii, conform CR 1-1-3/2012, Tabel 4.1 [3], pentru clasa de importanță expunere III;
 $\mu_i=0.8$ – coeficientul de formă, conform CR 1-1-3/2012, Tabel 5.1 [3];



$C_e=1.00$ – coeficientul de expunere al construcției în amplasament conform CR 1-1-3/2012, Tabel 4.2 [3];

$s_k=2.00\text{kN/m}^2$ – valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol conform CR 1-1-3/2012, Figura 3.1 [3];

$C_t=1.00$ – valoarea coeficientului termic conform CR 1-1-3/2012 [2];

→încărcarea utilă pe suprafață din acțiunea vântului (5):

$$w_e = \gamma_{i,w} \times C_{pe} \times q_p(z_e) \quad (5)$$

Unde:

$\gamma_{i,w}=1.00$ – valoarea factorului de importanță-expunere pentru acțiunea vântului pentru categoria de teren III conform CR 1-1-4/2012, Tabel 3.1 [4];

C_{pe} – valoarea coeficientului aerodinamic de presiune/sucțiune exterioară în funcție de dimensiunile ariei expuse vântului;

$q_b=0.6\text{kN/m}^2$ – valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului conform CR 1-1-4/2012, Tabel A.1 [4];

$q_p(z_e)$ – valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului evaluată la cota z_e

3. Încărcarea din seism

$T_C=0.7\text{s}$ (2013) – perioada de control (colț) a spectrului de răspuns pentru componentele orizontale ale mișcării seismice conform Codul P100/2013, Figura 3.2 [5];

$T_B=0.14\text{s}$ – perioada de control ale spectrului de răspuns pentru componentele orizontale ale mișcării seismice conform Codul P100/2013, Tabelul 3.1 [5];

$T_D=3.00\text{s}$ – perioada de control ale spectrului de răspuns pentru componentele orizontale ale mișcării seismice conform Codul P100/2013, Tabelul 3.1 [5];

$\beta_0=2,5$ – limita maximă a spectrului de proiectare conform Codul P100/2013, Figura 3.3 [5];

$a_g=0.2g=1.962\text{m/s}^2$ – accelerația terenului pentru proiectare conform Codul P100/2013, Figura 3.1 [5];

$c=1$ – coeficient de amplificare al deplasărilor în domeniul inelastic conform Codul P100/2013, Anexa E [5],(6):

$$1 < c = 3 - 2.3 \times \frac{T_1}{T_C} < \frac{\sqrt{T_C \times q}}{1.7} \quad (6)$$

T_1 – perioada proprie de vibrație;

$v=0.5$ – factor de reducere care ține seama de intervalul de recurență mai redus al acțiunii seismice asociat verificărilor pentru SLS conform Codul P100/2013, Anexa E [5];

$\gamma_{t,e}=1$ – factorul de importanță-expunere pentru acțiunea seismică conform Codul P100/2013, Tabelul 4.2 [5].

• Etapa III. Calculul static al structurii

Pentru stabilirea secțiunilor necesare ale elementelor structurale, pentru nivelul propus s-a folosit programul de analiză structurală AxisVM X7. Pentru dimensionarea structurii s-au considerat mai multe scheme statice : cadre necontravântuite încastrate în bază (CNI) – Figura 2.1, cadre necontravântuite articulate în bază (CNA) – Figura 2.2, cadre contravântuite articulate în bază (CCA) – Figura 2.3, cadre necontravântuite prinse semirigid în bază (CNS) și cadre contravântuite prinse semirigid în bază (CCS). Din considerente arhitecturale, contravântuirile dispuse sunt în planul acoperișului și în planul cadrelor marginale transversale. Pentru determinarea rigidității la rotire, s-a propus o prindere prin 4 buloane de ancoraj $d=16\text{mm}$ (HILTI HIT-Z M16 8.8 [6]) și o placă de bază $400 \times 400 \times 25\text{mm}$. Dimensionarea elementelor structurale pentru fiecare caz considerat s-a facut prin respectarea condițiilor de

rezistență și de rigiditate (limitarea deplărilor laterale) regăsite în P100/2013 [5], respectiv EC3 [6]. Gruparea acțiunilor s-a făcut conform CR 0/2012 [7].



Figura 2.1 CNI

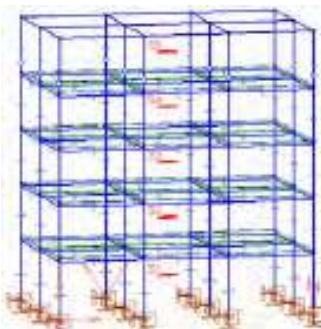


Figura 2.2 CNA

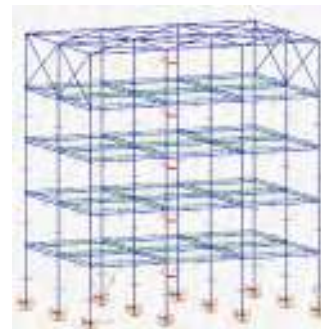


Figura 2.3 CCA

- **Etapa IV. Determinarea rigidității conexiunii semirigide**

În vederea verificării valorii rigidității la rotire folosite în calculul static, s-a realizat un experiment numeric în programul Abaqus asupra îmbinării propuse – Figura 3.

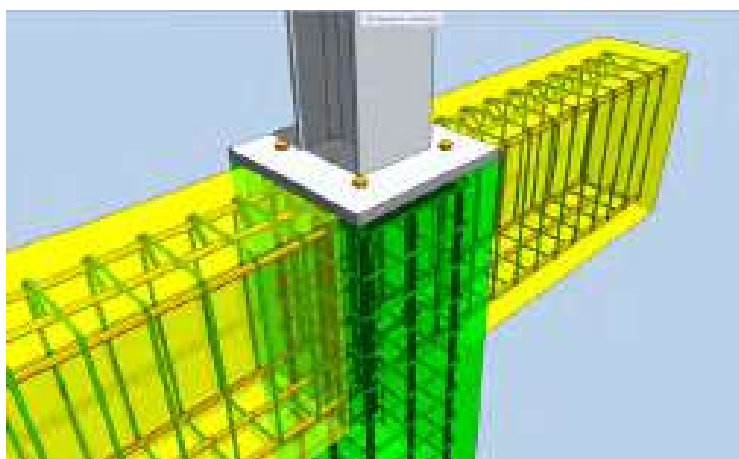


Figura 3. Nodul de calcul studiat în modelul numeric

Pentru definirea comportării oțelului s-a folosit curba caracteristică σ - ϵ pentru oțel BST 500 S. Pentru domeniul elastic, comportarea oțelului este definită prin modulul de elasticitate longitudinal și coeficientul lui Poisson. Pentru comportarea inelastică a oțelului s-au introdus perechi de valori σ - ϵ inelastic. Detalii pot fi consultate în [1].

Pentru definirea caracteristicilor betonului, s-a folosit curba caracteristică a betonului de clasă C25/30, cu coeficienții de material aferenți. Datorită comportamentului diferit al betonului la compresiune și întindere, trebuie introduse perechi de valori sigma-epsilon inelastic pentru ambele sollicitări, așa cum se prezintă în lucrarea [1]

Pentru definirea caracteristicilor oțelului structural, s-a folosit un model elastic - plastic cu reconsolidare. Limita de curgere s-a considerat 355N/mm², rezistența la rupere 510N/mm², deformația ultimă 0.145.

Similar s-a modelat și comportarea tijelor metalice ancorate chimic în structura existentă. Caracteristicile de material considerate sunt: $f_y=640\text{N/mm}^2$, $f_u=800\text{N/mm}^2$, $\epsilon_{ps\_ultim}=0.1$

În ceea ce privește condițiile de rezemare, extremitățile grinzilor și stâlpului existent s-a considerat încastrate. Bulioanele de ancoraj și armăturile s-au considerat a fi înglobate perfect (fără lunecări) în volumul de beton (prin folosirea constraint-ului de tip Embbeded region din

programul Abaqus). Contactul dintre placa de bază și structura existentă are două componente: una tangențială considerată prin coeficientul de frecare de 0.8 [9], respectiv una normală de tip Hard-Contact (nu se permit penetrări între componentele în contact). Discretizarea s-a făcut în elemente finite de dimensiunea maximă 50mm. Volumele de beton s-au discretizat în EF de tip C3D8R (prisme patrulate cu 8 noduri și un punct de integrare), Profilul metalic și placa de bază s-au modelat cu elemente de tip shell S4R (patru noduri și un punct de integrare), iar armăturile și tije de ancoraj cu elemente de tip truss cu două noduri T3D2.

Încărcarea structurii s-a făcut cu control în lungimea de arc (Analiza de tip static *Riks*) pentru surprinderea cedării structurii. Pentru determinarea rigidității la rotire pe cele două direcții principale ale conexiunii s-au aplicat distinct două încărcări la vârful stâlpului – Figura 4.1, Figura 4.2.

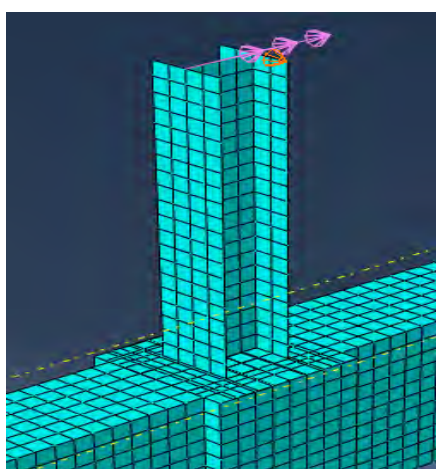


Figura 4.1 Încărcare pe direcția tare

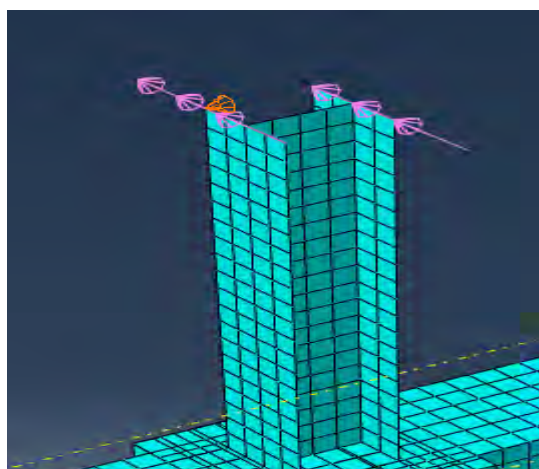


Fig. 4.2 Încărcare pe direcția slabă.

3. Rezultate obținute.

Curbele moment – rotire pentru cele două situații considerate sunt reprezentate în Figura 5.1 și Figura 5.2. Corespunzător limitelor elastice de comportare au rezultat următoarele valori ale rigidității conexiunii de la baza stâlpului:

$K_{ry}=9000,85\text{kNm/rad}$ – rigiditatea articulației aferentă axei y ;

$K_{rz}=8294,097\text{kNm/rad}$ – rigiditatea articulației aferentă axei z ;

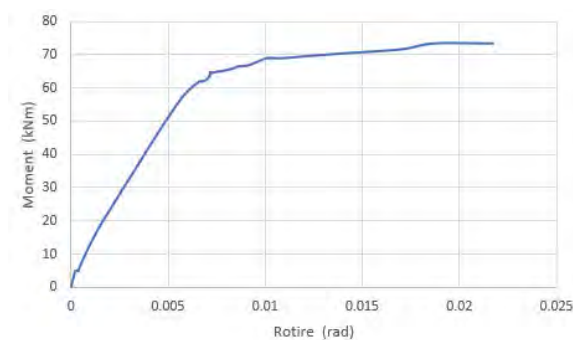


Figura 5.1 Curba moment-rotire pentru încărcarea pe direcția puternică

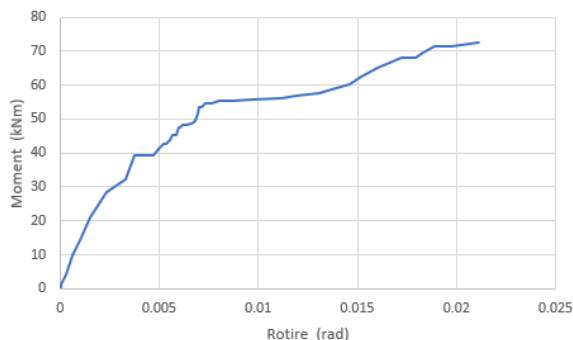


Figura 5.2 Curba moment-rotire pentru încărcarea pe direcția slabă

Configurația deformată a structurii asociate limitelor elastice considerate poate fi observată în Figura 6.1 a și Figura 6.2. Factorul scalar de reprezentare este 25.

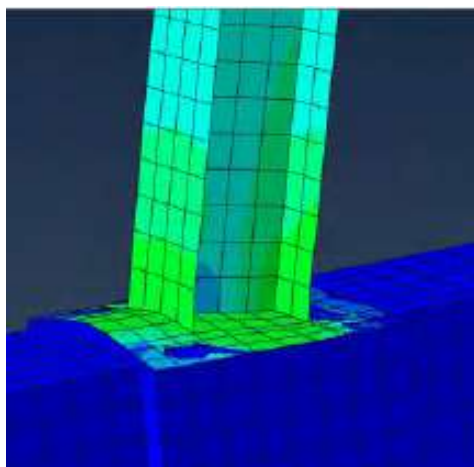


Figura 6.1

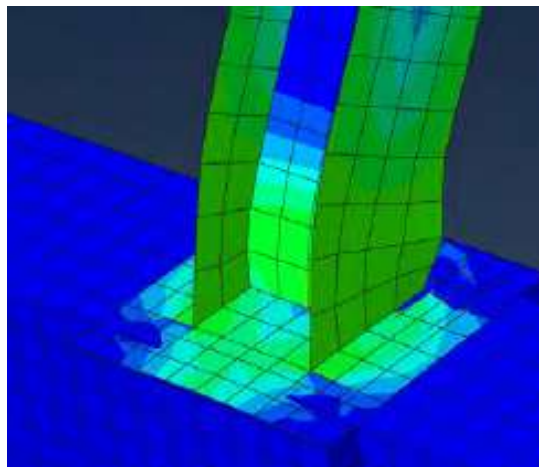


Figura 6.2

Folosind detaliile de mai sus, dimensionarea celor 5 structuri a condus la următoarele secțiuni transversale și valori maxime ale deplasărilor relative de nivel.

Tabel 1.

	Stâlpi	Grinzi	Contravântuiri	Consum oțel aferent stâlpilor (kg)	Deplasări relative de nivel max. SLS/SLU (mm)
CNI	HEA200	IPE220	-	1624.32	11.27/22.51
CNA	HEA300	IPE220	-	3390.72	15.60/31.20
CCA	HEA320	IPE220		3747.84	16.01/32.03
CNS	HEA200	IPE220	-	1624.32	15.60/31.20
CCS	HEA220	IPE220		1939.2	11.79/23.58

4. Concluzii

Lucrarea de față prezintă un studiu comparativ privind alegerea soluției optime din punct de vedere economic pentru considerarea comportării prinderii stâlpilor metalici asociați unei structuri supraetajate. S-au considerat variantele teoretice de rezemare (încăstrare pură și articulație pură), respectiv varianta conexiunii semirigide pentru care rigiditatea la rotire s-a determinat printr-o analiză neliniară condusă în programul Abaqus.

Studiile au evidențiat că soluția cea mai economică este obținută în cazul prinderilor încăstrate, însă aceasta variantă este pur teoretică deoarece nu se poate asigura încăstrarea perfectă în cazul prinderilor cu ancore chimice. Mai mult, limitările dimensionale nu permit dispunerea depărtată a buloanelor de ancoraj.

Soluția în cadre articulate în bază, necontravântuite este cea mai costisitoare din punct de vedere al consumului de material. Folosind rigiditatea reală a conexiunii s-a obținut o reducere a consumului cu 52,1% în situația cadrelor necontravântuite, respectiv 48,2% în varianta cadrelor contravântuite.

Trebuie menționat că dimensionarea este guvernată de limitarea deplasărilor în cazul sistemelor necontravântuite, respectiv în cazul structurilor contravântuite.



BIBLIOGRAFIE:

1. Pînzaru E., Influența rigidității conexiunii stâlp-stâlp asupra deplasării relative de nivel în cazul unei structuri supraetajate , SNCSS 2024
2. Eurocod 1-1/2004 Acțiuni asupra construcțiilor – Partea 1-1, ASRO 2004
3. CR 1-1-3/2012 Cod de proiectare. Evaluarea Acțiunii Zăpezii Asupra Construcțiilor, ASRO 2012
4. CR 1-1-4/2012 Cod de proiectare. Evaluarea Acțiunii Vântului Asupra Construcțiilor, ASRO 2012
5. Codul P100-1/2013 Cod de proiectare seismică – Partea 1, ASRO 2013
6. Eurocod 3-1-8/2006 Proiectarea structurilor de oțel – Partea 1-8, ASRO 2006
7. CR 0/2012 Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor, ASRO 2012
8. Manual Anchor Fastening Technology Version 2023, Hilti.com 2023
9. https://www.concreteconstruction.net/how-to/friction-factor-for-concrete-on-concrete_o