



Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studentești

15 MAI 2026



Cluj-Napoca
Editia a XXIV-a



SESIUNEA NAȚIONALĂ DE COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE STUDENTEȘTI

Ediția a XXIV-a

ISSN 3061 - 6336

ISSN-L 3061 – 6336

Cluj-Napoca, 15 Mai 2026



Editori:

Prof.dr.ing. Daniela Lucia MANEA

Conf.dr.ing. Mădălina CIOTLĂUȘ

Conf.dr.ing. Mariu BURU

Conf.dr.ing. Horia CONSTANTINESCU

Conf.dr.ing. Ciprian BACOȚIU

Conf.dr.ing. Mircea BONDREA

Conf.dr.ec. Sorina CIPLEA

Conf.dr.ing. Alexandra DANCIU

S.L.dr.ing. Crina FENEȘAN

S.L.dr.ing. Sandor GABOR

S.L.dr.ing. Adina LĂPUȘTE

S.L.dr.ing. Dana MORAR

S.L.dr.ing. Dorina SUCALĂ

Asist.drd.ing. Ilinca MOLDOVAN

U.T. PRESS

Cluj-Napoca, 2026



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>



Notă privind publicarea lucrărilor

Lucrările incluse în prezentul volum au fost susținute în cadrul Sesiunii Naționale de Comunicări Științifice Studențești ediția a XXIV-a, desfășurată în data de **15 mai 2026** la Cluj-Napoca.

Volumul reunește contribuțiile studenților participanți și reflectă interesul acestora pentru cercetare, documentare și prezentarea unor teme de actualitate din domeniul de studiu. Fiecare lucrare exprimă perspectiva autorilor, rezultatele obținute și modul propriu de interpretare a temei abordate.

Responsabilitatea pentru conținutul lucrărilor, pentru corectitudinea datelor, a figurilor, a tabelelor și a referințelor bibliografice aparține autorilor. Prin transmiterea lucrărilor pentru simpozion, autorii și-au exprimat acordul pentru publicarea acestora în prezentul volum electronic.

Materialele publicate pot fi utilizate în scop didactic, științific sau de cercetare, cu menționarea corespunzătoare a autorilor și a sursei. Reproducerea integrală sau parțială a lucrărilor se poate realiza cu respectarea drepturilor de autor.

Editorii volumului și organizatorii simpozionului mulțumesc tuturor studenților și cadrelor didactice coordonatoare pentru contribuția adusă la realizarea acestui volum.

ISSN 3061 - 6336

ISSN-L 3061 - 6336



COMITETUL ȘTIINȚIFIC

ACATRINEI George, UTCN	CORPODEAN Dumitrița, UTCN
ACIU Claudiu, UTCN, UTCN	DANCIU Alexandra Denisa, UTCN
ARSENE Cornel, UTCN	DEAC Ana Gabriela, UTCN
BABOTĂ Florin, UTCN	DRAGOMIR Mihai, UTCN
BACOTIU Ciprian, UTCN	DUMITRAN Mihaela, UTCN
BADEA Cătălin, UP Timișoara	ENE Anna, U Oradea
BECA Ilinca, UTCN	FAUR Andrei, UTCN
BESOIU Teodora, UTCN	GÂLGĂU Raluca Claudia, UTCN
BEU Dorin, UTCN	HĂDĂREAN Adriana, UTCN
BLAGA Florin, UTCN	HODA Tudor, UTCN
BOACĂ Gheorghiță, UT Iași	IACOB Cristina, UTCN
BOITOR Rozalia Melania, UTCN	ILUȚIU-VARVARA Dana-Adriana, UTCN
BONDREA Vasile Mircea, UTCN	ISAC Dorin Mihai, UTCN
BOTEZ Mircea, UTCN	ISTOAN Raluca, UTCN
BOTOȘ Marius, UTCN	JUMATE Elena, UTCN
BRUCHENTAL Călin, UTCN	LĂPUȘTE Adina , UTCN
BURLACU Andrei, UT Iași	LETIA Laura Catinca, UTCN
BURU Marius Ștefan, UTCN	MARUSCEAC Vladimir, UTCN
CADAR Rodica, UTCN	MAXINEASA Sebastian-George, UT Iași
CÂMPIAN Cristina, UTCN	MOGA Catalin, UTCN
CHINDRIȘ Ionuț, UTCN	MOGA Ligia Mihaela, UTCN
CHIOȚAN Corina, UTCN	MOJOLIC Cristian, UTCN
CHIRA Teodor Valeriu, UTCN	MOLDOVAN Ana-Maria, UTCN
CHISĂLIȚĂ Gelu, UTCN	MOLDOVAN Dorin, UTCN
CIONT Nicolae, UTCN	MOLDOVAN Dumitrița, UTCN
CIPLEA Sorina Anamaria, UTCN	MOLDOVAN Ilinca, UTCN
CIUGUDEANU Călin, UTCN	MOLDOVAN Raluca Paula, UTCN
CLITAN Andrei Florin, UTCN	MORAR Dana, UTCN, UTCN
COBÎRZAN Nicoleta, UTCN	NAGY Andor Csongor, UTCN
CORBU Ofelia Cornelia, UTCN	NAGY Zsolt, UTCN



NAȘ Sanda, UTCN

NEGRUȚIU Camelia, UTCN

OȚELEA Mihaela, UPG Ploiești

PLEȘA Luminița Monica, UTCN

PRUTEANU Marian I., UT Iași

RĂDULESCU Adrian, UTCN

RĂDULESCU M.T. Gheorghe, UTCN

RĂDULESCU Virgil Mihai, UTCN

ROMAN-PINTICAN Maria-Nicoleta, UTCN

RUS Tania, UTCN

SÁNDOR Gábor-Álmos, UTCN

STANCA Simona, UTCN

ȘTEFAN Lucian, UTCN

STRATAN Aurel, UP Timișoara

SUCALĂ Dorina, UTCN

SUNAI Gelmambet, U Ovidius Constanța

TĂMAȘ-GAVREA Daniela-Roxana, UTCN

TODEA Viorel-Constantin, UP Timișoara

URIAN Gabriel, UTCN

VANCEA Cosmin, UP Timișoara

VEREȘ Ioel, UTCN

VOICA Marian-Cătălin, UPG Ploiești



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. Florin DOMNIȚA

Conf.dr.ing. Calin CIUGUDEANU

S.l.dr.ing. Constantin CILIBIU

Stud. Jasmina Timea CORABIAN

Ing. Marius LUPOU

Sorina GEORGIU



CUPRINS

SECȚIUNEA 1. ANII I, II: INGINERIE CIVILĂ, INGINERIE ȘI MANAGEMENT 9

MONITORIZAREA STRUCTURALĂ A CONSTRUCȚIILOR FOARTE ÎNALTE INDUSTRIALE, COMPORTAMENTUL ÎN TIMP ȘI EVOLUȚIA SUB EFECTUL ÎNSORIRII NEUNIFORME..... 9

LUCIAN CIMPOIEȘ, ELISA ROMAN, VERA DUDAȘ

STUDIU PRIVIND PERFORMANȚELE TERMO-MECANICE ȘI SUSTENABILITATEA MATERIALELOR CIMENTICE DE TIP «PAPERCRETE».. 19

ALEXIA BRIA, ANDREEA-GABRIELA BOTEA

DINCOLO DE SUCCES. ANALIZA EȘECULUI ÎN BUSINESS..... 30

PATRICIA-RALUCA HOJDA

IMPACTUL SUBSTITUIRII PARȚIALE A AGREGATELOR NATURALE CU DEȘEURI DE STICLĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MECANICE ȘI MICROSTRUCTURALE ALE MORTARELOR DE TENCUIALĂ..... 35

LUCA-ANDREI TĂTAR

UTILIZAREA LÂNII DE OAIE ÎN COMPONENTA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII..... 42

DĂNUȚ-VALI GUIU, IONUȚ-ALEXANDRU IOZSA

RELAȚIA DINTRE ECONOMISIRE ȘI PROIECTARE: SISTEM DE PLANȘEU BIAXIAL CU GOLURI..... 52

DÁVID ÍLYES, BALÁZS FAZAKAS

STUDIU COMPARATIV PRIVIND INFLUENȚA ARMĂRII DISPERSE A BETONULUI 57

ANDREI-ANTON MIȚIN, IONUȚ-ANDREI MĂRGAN, MARIO-NICOLAE RÎNDAȘU

MORTAR CU AUTO-RĂCIRE PASIVĂ PRIN EVAPORARE 64

ALEXIA-ADRIANA TOARCAȘ, REBECA-ALEXANDRA ROȘCA, MARIA-DENISA STAN

PERFORMANȚA TERMICĂ A ANVELOPEI CLĂDIRILOR EDUCATIONALE: EVALUARE COMPARATIVĂ ÎN CONTEXTUL REABILITĂRII ȘI AL CONSTRUCȚIILOR NOI 74

MIRELA TODEREAN, BARBARA URBANOVICI, DAVID AVRAM, ALEXANDRU TRUȚA

DEZVOLTAREA PLĂCILOR DE GIPS-CARTON CU ROL DE BARIERĂ ÎMPOTRIVA INTERFERENȚELOR ELECTROMAGNETICE 85

IZABELA MARIA LORENA OPRIȚA, ANTONIA ANDREEA OROS

ANALIZA ECONOMICĂ ȘI FEZABILITATEA CONSTRUIRII UNEI SĂLI DE ESCALADĂ AUTONOMĂ ȘI ENERGETIC EFICIENTĂ..... 97

EMESE TOTH



MORTAR CAUCIUCAT 106

TEODOR A. SFARGHI, HORAȚIU V. STANCU, NICUȘOR A. ȘIRCA

**INTEGRAREA DEȘEURILOR DE CAUCIUC ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR
..... 113**

BALÁZS-RÓBERT FODOR

**UTILIZAREA SCOICILOR CONCASATE CA ALTERNATIVĂ ECOLOGICĂ LA
NISIP ÎN MORTARE DE CONSTRUCȚII 124**

DARIA-IULIA BUGNAR, ECATERINA POPA, ALESIA TECĂU

**MANAGEMENTUL PROIECTELOR CA PREMISA A SUCCESULUI
ORGANIZAȚIONAL 132**

ANDREEA-DENISA DĂNUȚ

**ROLUL STUDIULUI DE FEZABILITATE ÎN REDUCEREA RISCURILOR
INVESTIȚIONALE DIN DOMENIUL CONSTRUCȚII 140**

IOANA-FLAVIA MONDOACĂ

**VALORIFICAREA DEȘEURILOR KERATINICE: PĂRUL UMAN CA ADITIV ÎN
MORTARE 148**

BIANCA-MARIA HORINCAR

**STUDIUL PE MATERIALE DE CONSTRUCȚII UȘOARE PREPARATE CU AGENT
TENSIOACTIV DIN DETERGENT DE VASE 155**

PATRICIA ELENA BAN

SECȚIUNEA 2. INGINERIA INSTALAȚIILOR 166

**ANALIZA COMPARATIVĂ PRIVIND CARACTERISTICILE CONDUCTELOR DIN
MATERIALE POLIMERICE..... 166**

SABINA-ELENA ANCHIDIN, MARIA-ANDREEA OLTEAN, ROBERT-CIPRIAN ANDREȘI

**STUDIUL PRIVIND DETERMINAREA SOLIDELOR DIZOLVATE TOTALE ȘI A
CONDUCTIVITĂȚII ELECTRICE PENTRU DIFERITE EȘANTIOANE DE APĂ... 176**

VLAD-MARIAN FEȘNIC, CĂTĂLIN-ALEXANDRU FĂGĂDAR, ABEL-REMUS DIACONU

**ANALIZĂ COMPARATIVĂ PRIVIND CARACTERISTICILE CONDUCTELOR ȘI
FITINGURILOR DIN FONTĂ VERSUS FONTĂ DUCTILĂ 185**

ALESIA-ROXANA VAIDA, ANA-MARIA CIOICA, DENISA-FELICIA PAIU

**ANALIZĂ COMPARATIVĂ PRIVIND METODELE AVANSATE DE FILTRARE ALE
APEI 195**

ALBERT MARTANIUC, AUGUSTIN-CONSTANTIN CIUDIN, CRISTIAN-ALIN MUREȘANU

**DIGITAL TWIN PENTRU POMPE DE CĂLDURĂ AER-APĂ CU R290: VALIDARE
EXPERIMENTALĂ, PREDICTIBILITATE ȘI OPTIMIZARE..... 203**

NĂSTASE ȘERBAN, NORBERT IAMBOR, IONUȚ FLAVIU TIMBUȘ



**DEZVOLTAREA ȘI IMPLEMENTAREA UNUI SOFTWARE ÎN PROIECTAREA
INSTALAȚIILOR HIDROEDILITARE..... 213**

BOGDAN-IOAN STANA, ALEXANDRU FARCAȘ

**EFICIENTIZAREA CONSUMULUI REZIDENȚIAL DE ELECTRICITATE DIN
ȚARA NOASTRĂ PRIN INTEGRAREA UNOR SISTEME FOTOVOLTAICE
ADAPTATE FIECĂREI CATEGORII DE CONSUMATORI..... 221**

COSMIN ARDELEAN, DANIEL BAHNEAN, BOGDAN BINDIU

**SISTEM INTELIGENT DE MONITORIZARE PARAMETRI ȘI CONTROL ACCES
BAZAT PE ESP32..... 230**

REMUS MOLDOVAN, ANDREI TIA

**EFICIENTIZAREA ȘI SCALABILITATEA UNUI PROTOTIP ECOLOGIC DE
STOCARE A SURPLUSULUI DE ENERGIE 239**

RADU-IONUȚ ARCIUDEAN, MARIO-EDUARD SERAFIM

**PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA UNUI PARC FOTOVOLTAIC PENTRU
ALIMENTAREA UNUI ANSAMBLU REZIDENȚIAL DE 28 DE LOCUINȚE 250**

ALINA-PAULA-DANIELA COSTEA, ALIN DANIEL CUCUIET, RAREȘ-RĂZVAN STOICA

**SECȚIUNEA 3. CĂI FERATE, DRUMURI ȘI PODURI, INGINERIE URBANĂ ȘI
DEZVOLTARE REGIONALĂ, AMENAJĂRI ȘI CONSTRUCȚII HIDROTEHNICE
..... 258**

**STUDIUL PRIVIND COMPORTAREA UNUI POD DE CALE FERATĂ PE ARCE CU
NUMĂR VARIABIL DE TIRANȚI VERTICALI..... 259**

CĂTĂLINA ELENA HOPULELE

**STABILITATEA GENERALĂ A TĂLPII COMPRESATE A UNEI PASARELE PE
GRINZI CU ZĂBRELE CU ȘI FĂRĂ MONTANȚI..... 269**

MIHAI ALEXANDRU MOROȘAN

**OPTIMIZAREA SOLUTIILOR TEHNICE RUTIERE PRIN INTEGRAREA
INDICATORILOR DE AMPRENTA DE CARBON 276**

ALEXANDER BORBEI, ALINA-MARIA BRISC, ALEXANDRA ANDREEA CHERECHES

**SISTEM DE ALARMARE PRIVIND CAPACITATEA PORTANTĂ PENTRU
GRINZILE DE PODURI 282**

OVIDIU-GABRIEL AFLOAREI, IONUȚ-ANDREI IGNAT, ILIE GURALIUC

**CRITERII DE PROIECTARE ȘI STANDARDE DE SIGURANȚĂ ÎN CIRCUITELE
AUTO..... 292**

HAJNALKA FRIDERIK M. KOCSIS

TEHNOLOGII DE RECICLARE LA RECE A MIXTURILOR ASFALTICE 302

DARIA IELCEAN



**STUDIU COMPARATIV PRIVIND UTILIZAREA PROFILELOR LAMINATE DE TIP
HE ȘI HL LA PODURI RUTIERE CU STRUCTURĂ COMPUSĂ OȚEL-BETON..... 309**

PEȘTELEU FLORINA DARIANA

MOBILITATEA ACTIVĂ ÎN COMUNA MIHAI VITEAZU, CLUJ 318

CRISTINA IULIA RUS, ANDREI CLAUDIU TRITEAN

STUDIU DE CAZ PARK&RIDE TRAIAN VUIA 328

ALEXIA COSMA

**EVALUAREA PARAMETRIILOR GEOMETRICI, DINAMICI SI CERINȚELE DE
SIGURANȚĂ ÎN PROIECTAREA CIRCUITELOR AUTO DE MARE VITEZĂ..... 338**

PAUL-ADAM BROȘ

**ANALIZĂ COMPARATIVĂ A NORMATIVELOR DE PROIECTARE A PODURILOR
DIN BETON ARMAT: TRECUT VS. PREZENT, STUDIU DE CAZ PE UN POD DIN
ROMÂNIA 348**

OVIDIU-PAUL BOȚ, DANIEL CĂPUȘAN, BIANCA-MARIA COVACI, IOAN RADU DEGĂU

STUDIUL UNEI PARCĂRI ÎN EXPLOATARE DIN MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA 357

ANDREI-SEBASTIAN POPA

**OPTIMIZAREA SOLUȚIEI DE PROIECTARE PENTRU PODUL DE ÎNCRUCIȘARE
PE DC44 PESTE AUTOSTRADA TG. MUREȘ - DITRĂU, KM 18+021..... 367**

ANDREI-VALENTIN-NICULIȚĂ ZOBRINSCHI

**EVALUAREA GEOTEHNICĂ ȘI ECOTOXICOLOGICĂ A PĂMÂNTURILOR
STABILIZATE CU LIANȚI PUZZOLANICI: O ABORDARE INTEGRATĂ ÎN
CONTEXTUL ECONOMIEI CIRCULARE 378**

ANTONIA DARIA MUREȘAN, ANDREEA ANAMARIA RUSAN

**RECICLAREA LA CALD A MIXTURILOR ASFALTICE UTILIZÂND BITUM
SPUMAT 388**

CRISTIAN MARIAN ARHIRE, PETRU SEBASTIAN BUDA, HÜSEYİN CAN ÇAM

**INSTRUMENTE GIS PENTRU ANALIZA AVANSATĂ A PARCĂRILOR URBANE
..... 397**

ANDREEA MOLDOVAN, MONICA MORAR

**SECȚIUNEA 4. MĂSURĂTORI TERESTRE ȘI CADASTRU, MASTER
TOPOGRAFIE DIGITALĂ ÎN CONSTRUCȚII ȘI CADASTRU 406**

**ANALIZA EVOLUȚIEI ÎN TIMP A CONFIGURAȚIEI TERENURILOR PRIN
UTILIZAREA INTEGRATĂ A INFORMAȚIILOR ÎN FORMAT ANALOGIC ȘI ÎN
FORMAT DIGITAL 407**

ALEXIA HEGHEDUS, IOAN M. CICEU



**CONSIDERAȚII PRIVIND REALIZAREA MĂSURĂTORILOR UTILIZÂND
DIFERITE TIPURI DE INSTRUMENTE TOPOGRAFICE..... 415**

SARAH MAN , ALEXANDRA-RODICA LEITI , ALEXIA CRISTINA RUS, MIRUNA-ȘTEFANIA PAPP

**DETERMINAREA CREȘTERILOR DE ALTITUDINI UTILIZÂND METODA
NIVELMENTULUI TRIGONOMETRIC LA DISTANȚE MICI..... 428**

ANDRÁS AMBARUS-EGYED

**DOCUMENTAREA CAUZELOR DEGRADĂRIILOR ARHITECTURALE
ASIMETRICE PRIN TEHNICI FOTOGRAMMETRICE TERESTRE ȘI UAV 437**

IONUȚ-MIHAI FUIA

**EVALUAREA PRECIZIEI NORILOR DE PUNCTE GENERAȚI CU AJUTORUL
SENZORULUI LIDAR INTEGRAT ÎNTR-UN SMARTPHONE, ÎN COMPARAȚIE
CU METODELE DE MĂSURARE CLASICE 448**

KRISZTIÁN-IMRE BÓDIZS

**EVIDENȚIEREA EFECTELOR APĂRUTE ÎNTR-O CONSTRUCȚIE ÎN TIMPUL
EXECUȚIEI UNEI CLĂDIRI ALĂTURATE 460**

BIANCA PINTEA

**GEOREFERENȚIEREA DATELOR SPAȚIALE PRIN METODE DE CALCUL
MATEMATIC ȘI ALGORITMI DIGITALI 468**

KARINA ȘTEFANIA PODARU, CRISTIAN SAUCA

**LUCRĂRI TOPO-GEODEZICE ȘI BATIMETRICE PENTRU AMPLASAREA ȘI
VERIFICAREA PANOURILOR FLOTANTE 477**

ADRIAN B. COȚ, GABRIEL A. SÎRBU

**MONITORIZAREA DINAMICII FRONTURILOR DE LUCRU ÎNTR-O CARIERĂ DE
GIPS PRIN TEHNOLOGII FOTOGRAMMETRICE ȘI ANALIZĂ GEOSPAȚIALĂ
INTEGRATĂ..... 486**

LAURA CHIUZBĂIAN

**STUDIUL COMPARATIV PRIVIND UTILIZAREA FOTOGRAMMETRIEI AERIENE
ȘI A MĂSURĂTORILOR TOPOGRAFICE ÎN DETERMINAREA DIMENSIUNILOR
ELEMENTELOR ARHITECTURALE ALE BISERICII DIN CICEU-CORABIA,
JUDEȚUL BISTRIȚA-NĂȘĂUD..... 494**

PAUL-CIPRIAN PASCU

**STUDIUL PRIVIND PRECIZIA ȘI FIABILITATEA POZIȚIONĂRII GNSS
UTILIZÂND DISPOZITIVE MOBILE ÎN MEDIUL URBAN CLUJEAN 502**

NEEMIA MOGOVAN , ANDREI Ș. BOTEZAT, SIMONA PAPUC

**UTILIZAREA FOTOGRAMMETRIEI AERIENE ÎN VEDEREA REALIZĂRII
PLANULUI CADASTRAL AL CETĂȚII BOLOGA..... 510**

RĂZVAN I. TODEA, ADRIAN I. SZEKELY, CĂTALIN-IONUȚ D. ZAH



SECȚIUNEA 5. ARHITECTURĂ, CCIA, MASTERAT, DOCTORAT 516

IMPACTUL SCHIMBĂRIILOR CLIMATICE ASUPRA PODURILOR. EVALUAREA PERICOLELOR HIDROLOGICE VIITOARE. 516

ANTONIA SĂLĂGEAN

**STRUCTURI MODULARE METALICE PENTRU CLĂDIRI MULTIETAJATE
STUDIU DE CAZ 526**

ANDRA FUNARIU

**STUDIUL PREDISPOZIȚIEI LA MECANISMUL PLASTIC DE ETAJ PRIN
DISTRIBUȚIA DEPLASĂRIILOR RELATIVE DE NIVEL 534**

GEORGE-ANDREI HODIȘAN, GEORGE-MIHAI MENȚEA

**ADAPTAREA SISTEMELOR DE MANAGEMENT BANCAR LA PROVOCĂRILE
GEOPOLITIC 543**

FLORENTIN-GABRIEL FLOREA, ADELA IONIȚĂ, SANDRA-ELENA MARINESCU

**ANALIZĂ COMPARATIVĂ A CLĂDIRILOR ÎN CADRE DIN BETON ARMAT ȘI
ZIDĂRIE CONFINATĂ 551**

GHIȚULESCU MIHAI-VALENTIN

**BETONUL GEOPOLIMER – MATERIAL SUSTENABIL PENTRU CONSTRUCȚIILE
MODERNE 560**

MARIA-CRISTINA TRUȘCĂ

**EFFECTUL REGULARITĂȚII ÎN PLAN ASUPRA RĂSPUNSULUI SEISMIC AL UNEI
STRUCTURI DIN BETON ARMAT 565**

RAREȘ G. HURBAN, NADIR A. CHERQUI

**PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ȘI ACUSTICE ALE BETONULUI
ECOLOGIC CU CAUCIUC 574**

ANITA VASS, MARINELA-DANIELA VÂRTELEAN

**SISTEM DE ALARMARE PRIVIND CAPACITATEA PORTANTĂ PENTRU
GRINZILE DE PODURI 588**

AFLOAREI OVIDIU-GABRIEL, IGNAT IONUȚ-ANDREI, GURALIUC ILIE

**STEEL REUSE IN CONSTRUCTION: DESIGN STRATEGIES AND ECONOMIC-
ENVIRONMENTAL PERFORMANCE IN EUROPE AND ASIA 598**

HENG CHENG KI, TAYAIR MEAN



SECȚIUNEA 1

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



MONITORIZAREA STRUCTURALĂ A CONSTRUCȚIILOR FOARTE ÎNALTE INDUSTRIALE, COMPORTAMENTUL ÎN TIMP ȘI EVOLUȚIA SUB EFECTUL ÎNSORIRII NEUNIFORME

Autori

Lucian CIMPOIEȘ¹, Elisa ROMAN², Vera DUDAȘ³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, luciancimpoies@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, romanelisa253@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, veradudas35@gmail.com

Îndrumător

Prof. dr. ing. mat. G.M.T. RĂDULESCU³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Gheorghe.Radulescu@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Monitorizarea în timp a construcțiilor foarte înalte industriale, structuri de formă tronconică (coșuri de fum, turnuri TV), este esențială atât pentru păstrarea integrității structurale cât și pentru siguranța zonei de amplasament. Lucrarea analizează factorii care solicită structurile foarte înalte și efectele acestora cât și tehnologiile, metodele și instrumentele de determinare a fiecărui efect. Sunt prezentate apoi argumentat tiparele comportamentale ale acestor structuri la acțiunea principalilor factori de solicitare: însoțire neuniformă, vânt și cutremurele și similitudinea acestora. Având în vedere faptul că pentru această categorie de structuri acțiunea exterioară constantă este însoțirea neuniformă este prezentat un posibil model comportamental, pornind de la seturi de date obținute prin monitorizarea unor structuri în timp. Pe baza datelor înregistrate în teren s-au creat și sunt prezentate modelele matematice comportamentale ale structurii sub efectul unor abateri de la verticalitate produse în timp. Sunt puse în discuție și direcțiile viitoare de cercetare, noi metode propuse pentru validarea rezultatelor obținute și perspectivele corelării tuturor rezultatelor obținute.

Cuvinte cheie: Structural Health Monitoring, factori de solicitare, efecte, model matematic, metode de geomatică pentru monitorizare structurală.

1. Introducere

Monitorizarea structurală a construcțiilor având la origine activitatea de „Urmărire a comportamentului în timp al terenurilor și construcțiilor” are o istorie de peste 150 de ani [1], care se contopește cu apariția instrumentelor optico-mecanice pentru măsurarea unghiurilor și a diferențelor de nivel, ocupându-se inițial de monitorizarea structurală statică și cvasistatică. „Urmărire comportării în timp a terenurilor și construcțiilor” a fost întotdeauna o ramură distinctă a Geomaticii iar, în timp, lucrările din această activitate au fost integrate în domeniul actual denumit Structural Health Monitoring (SHM) [2-5], acoperind aspectul geometric al monitorizării. Podurile lungi, barajele, coșurile de fum, turnurile de televiziune, clădirile foarte înalte sunt supuse în multe cazuri prăbușirilor catastrofale. Principalele cauze ale prăbușirii sunt considerate: proiectarea sau execuția defectuoasă, cedarea fundației, încărcări extraordinare, moduri de cedare neașteptate, cuplarea a două sau mai multe cauze. În acest context, este unanim acceptat de specialiștii din domeniu că orice construcție din categoriile



menționate trebuie monitorizată atât în regim static, ca urmare a tasării, alunecărilor de teren și reologiei materialelor de construcție, cât și în regim cvasistatic/cvasidinamic și dinamic, la efectul vântului, a înșoririi neuniforme plus traficul în cazul podurilor. Trebuie menționat că urmărirea comportării în timp a construcțiilor se efectuează atât în faza de execuție, fiind inclusă în setul de lucrări topografice care asigură respectarea proiectării, cât și după finalizare; în multe dintre structurile anterior menționate perioada de monitorizare extinzându-se pentru a acoperi întreaga durată de viață a obiectivului. Lucrarea tratează sintetic sistemul SHM prin abordarea următoarelor aspecte ale acestui extrem de important proces de gestionarea a mentenanței funcționale a structurilor, cu particularizare a celor foarte înalte din domeniul industrial, respectiv coșurile de fum: 1. Factorii de solicitare, 2. Metode, tehnologii și instrumente de monitorizare, 3. Similitudini ale tiparelor comportamentale la principalele solicitări, vânt, înșorire neuniformă și cutremur, 4. Modelul comportamental la acțiunea înșoririi neuniforme, 5. Modelul matematic comportamental în timp a unei structuri monitorizate.

2. Cei mai importanți factori de mediu care afectează integritatea structurală a structurilor subțiri foarte înalte

Vântul induce în structurile industriale foarte înalte vibrații induse de vortex VIV (Vortex-Induced Vibration) și vibrații de-a lungul direcției de acțiune a vântului, conducând adesea la orbite eliptice, regulate, înguste, cu axa principală aproximativ perpendiculară pe direcția medie a vântului [6, 7]. Mișcările induse de vânt sunt neregulate, dar continue. Cutremurele pot excita puternic structuri foarte înalte, tronconice și subțiri - cum ar fi coșurile de fum sau turnurile deoarece frecvențele lor naturale scăzute, amortizarea mică și conicitatea geometrică le fac sensibile la mișcările terenului pe perioadă lungă și la efectele modurilor superioare. Spre deosebire de vânt, excitațiile cutremurelor sunt în bandă largă, mișcări impulsive care își au originea la sol și se propagă prin structură [8]. Similar vântului, mișcarea seismică are ca rezultat deplasări laterale ale liniei centrale ale coșului de fum, dar diferă în distribuțiile temporale și spectrale ale sarcinii. Gradientii termici induși de încălzirea solară neuniformă provoacă tensiuni termice în coșuri și turnurile de televiziune. Pe măsură ce lumina soarelui încălzește o parte a structurii mai mult decât cealaltă, are loc o expansiune diferențială, inducând tensiuni de încovoiere și cicluri de deplasare [3]. Aceste tensiuni fluctuează în funcție de poziția solară și de acoperirea norilor, în general urmând un model diurn. Pe baza analizei anterioare, se poate afirma că cei mai importanți factori de mediu sunt cei prezentați în Tabelul 1.:

Tabelul 1. Factorii care solicită structurile foarte înalte și efectele produse

Acțiunea	Factorul de solicitare	Efectul direct produs	Rezultatul efectului produs
Vântul	Presiuni statice laterale;	Presiune pe fața expusă și o suucțiune pe celelalte fețe	Deplasări laterale mari la vârf
	Efectele dinamice:	Vortex Shedding	Vibrații/oscilații laterale
	Fenomene și răspuns aeroelastice	Flutterul = instabilitate dinamică Galloping = oscilații	Oscilații și vibrații transversale (cross-wind)



Încărcările termice	Însorire neuniformă	Tensiuni termice și deformări (încovoiere, curbura).	Deplasări diurne la vârf sub formă de elipsă
	Temperatura gazelor arse evacuate	Diferența de temperatură între exteriorul și interiorul structurii.	Degradare în timp a materialului structural
	Dilatarea și contracția ciclică	Variațiile sezoniere și diurne pot induce oboseală termică.	Dilatări diferențiate, Tensiuni termice în pereți.
	Însorire neuniformă	Tensiuni termice și deformări (încovoiere, curbura).	Deplasări diurne la vârf sub formă de elipsă
Cutremurul	Accelerația terenului prin fundație	Încărcări inerțiale.	Articulații plastice
	Efecte de amplificare	Momente mari la bază, Se pot amplifica anumite frecvențe ale mișcării seismice	Răspunsuri dinamice semnificative.
	Efecte de intrare diferențială	Diferențele de fază ale mișcării seismice, solicitări suplimentare.	Efecte necontrolabile.
Greutatea proprie și încărcările permanente	Greutatea proprie	Forță axială majoră, crescând proporțional cu înălțimea. Presiuni importante în fundații.	Compresiune, flambaj și contracție (creep) Efecte necontrolabile
	Încărcările de exploatare	Echipamente/depuneri pe pereții la coșurile de fum.	Efecte necontrolabile
Încărcări accidentale și speciale	Impacturi (mecanice, furtuni, uragane);	Solicitări suplimentare necontrolabile.	Efecte necontrolabile
	Explozii;		
	Depuneri de gheață;		Degradarea betonului
	Coroziune;		Degradare armături
	Acțiuni tehnologice (la coșurile industriale).		Efecte necontrolabile
Acțiuni combinate și secundare	Cuplarea nefavorabilă a diferitelor solicitări	Deplasări și rotații excesive	Deplasări de ordinul zecilor de centimetri
		Oboseala materialelor datorată sarcinilor	Acumularea de degradări microscopice
		Oboseala materialelor datorată fenomenelor reologice	Solicitările ciclice produse de vânt
		Fisurarea și degradarea betonului	Pătrunderea agenților agresivi;
			Corodarea armăturii

3. Metode, tehnologii și instrumente care asigură monitorizarea structurilor înalte și subțiri

Monitorizarea structurală de tip (SHM) a structurilor înalte și subțiri din categoria coșurilor de fum, a turnurilor de televiziune sau a altor structuri similare, trebuie privită ca o metodă nedistructivă de detectare și evaluare structurală în situ, care utilizează o varietate de senzori atașați sau încorporați într-o structură, pentru a monitoriza răspunsul structural, a analiza caracteristicile structurale în scopul estimării severității daunelor/deteriorărilor și a evalua consecințele acestora asupra structurii în ceea ce privește răspunsul, capacitatea și durata de viață [10, 11]. Componenta geometrică a SHM asigură monitorizarea raportului cauză-efect și a răspunsului structural periodic și permanent privind efectele solicitărilor asupra structurii și aici intervin în special tehnologiile geomatico-geoinformatic. Diverse tehnologii de instrumente și senzori, menționate în cele ce urmează, sunt utilizate pentru a monitoriza mișcările structurilor menționate (Tabelul 2.). Aceste metode permit de asemenea, detectarea defectelor, degradărilor și a daunelor interne fără a interveni asupra structurii, asigurând funcționarea continuă și siguranța. Tehnologiile menționate oferă diferite niveluri de



sensibilitate, precizie și aplicabilitate, în funcție de condițiile de mediu și de cerințele specifice ale proiectului de monitorizare.

Tabelul 2. Instrumente care asigură monitorizarea efectelor solicitărilor asupra structurilor tronconice foarte înalte

Grupa		Instrumentul	Ce măsoară
A.	Soluții non-contact exterioare	Stații totale manuale	Deplasare secvențială
		Stații totale robotizate	Deplasare continuă
		TLS	Deplasare secvențială
		Laser scanning	
		LIDAR	
		Unmanned Aerial Vehicle - Cameră fotogrammetrică	
		Unmanned Aerial Vehicle - Lidar	
		Interferometrie radar terestră,	
		Satellite-Based InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)	
		Doppler Laser Vibrometers (LDVs)	
		Unmanned Aerial Vehicle - Cameră termică	Temperatura structurii
		Infrared thermography (IRT)	
B.	Soluții contact exterioare, nedistructive	G.N.S.S.	Deplasare continuă
C.	Tehnologii senzoriale pentru SHM, exterioare cu contact, nedistructive	Inclinometer Sensors	Deplasare continuă
		Accelerometers senzori	Mișcarea laterală longitudinală, verticală
		Fiber Optic Sensors (FOS)	Deformații, înclinări, curburi, tensiuni
		Displacement Sensors	Deplasări laterale verticale Oscilații sau vibrații:
		Gyroscopes	Unghiurile de înclinare și rotație, vibrații și oscilații
D.	Tehnologii senzoriale pentru SHM, interioare cu Senzori integrați în materialul structural	Sisteme cu Fiber Optic Sensors (FOS) distribuită (monitorizare continuă)	Temperatură (DTS) Deformație (DSS) Vibrații (DAS)
		Senzori de deformație (strain gauges)	Tensiuni axiale, Dilatări termice, Efecte de fluaj
		Accelerometre integrate	Vibrații induse de vânt Rezonanță, Degradare. Progresivă
		Senzori de înclinare (tiltmeters) integrați	Tasări diferențiate Pierdere verticalității
		Senzori de fisură înglobați	Semnalizează: Inițierea fisurilor, Evol. deschiderii
		Senzori de coroziune a armăturii	Detectează: Potențial electrochimic, Umiditate
		Implantarea de senzori în beton transformarea acestuia în „self-sensing” – beton inteligent	Monitorizare pe întreaga înălțime, Detect. fisurilor

4. Sinteza performanței structurale: puncte comune și divergențe

În urma cercetărilor efectuate în timp, mai mulți specialiști au semnalat faptul că în urma unei solicitări (vânt, cutremur, însoțire neuniformă) structura (centrul vârfului acesteia) va oscila

după o formă eliptică cu axa mare perpendiculară pe direcția solicitării [2, 4, 10]. (Figura 1).

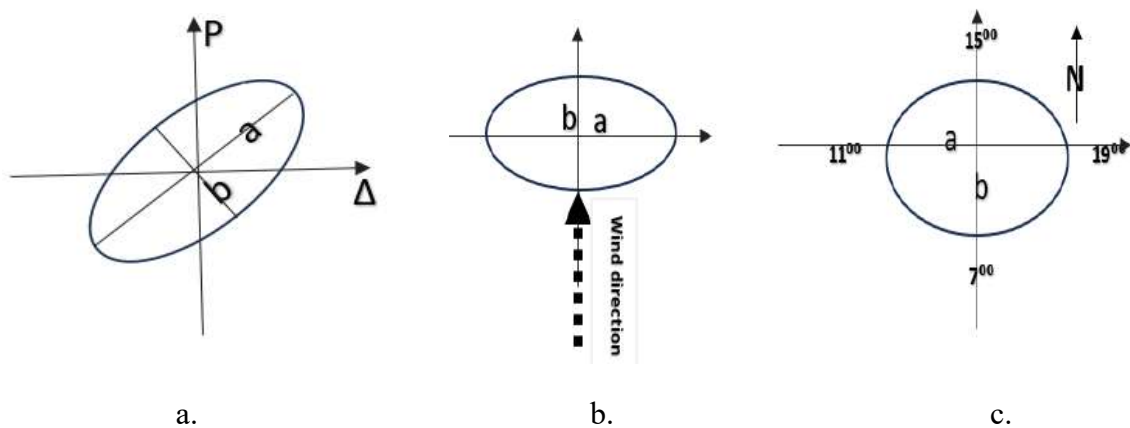


Figura 1. Oscilațiile figurii reale pentru diferite tipuri de solicitări: a) cutremur; b) vânt; c) însorire neuniformă

Modelul de oscilație diurnă a liniei centrale a coșului de fum, măsurat de sistemele de monitorizare a sănătății structurale (SHM), poate prezenta caracteristici de serie temporală comparabile vizual în trei condiții de încărcare distincte: vânt, cutremur și încălzire solară neuniformă. Oscilațiile diurne se referă la deplasări periodice ale liniei centrale care prezintă cicluri de aproximativ 24 de ore, în special sub radiația solară și gradientii termici. Deși încălzirile vântului și ale cutremurelor nu funcționează pe frecvența diurnă, răspunsul structural al coșurilor de fum înalte poate împărtăși un comportament dinamic comun, inclusiv, modularea amplitudinii și modelele de deplasare nodale.

5. Constatări privind similitudinea comportamentului structural la diferite solicitări

Coșurile de fum, în mare parte, construite din beton armat sunt supuse fenomenului de dilatare termică. Atunci când temperatura crește, materialele se dilată, iar când scade, se contractă. Dacă încălzirea nu este uniformă pe întreaga suprafață a coșului, apar dilatări diferite, ceea ce generează tensiuni interne, de exemplu expunerea unei fețe la radiația solară, iar a celeilalte la umbră. În urma efectuării de studii repetate asupra mai multor structuri, coșuri de fum (Turceni, 280.000 m; Dej 220.000 m, Baia Mare 351.500 m) a rezultat un proces de mișcare al centrului vârfului structurii sub efectul iradiației solare ilustrat în Figura 2. Sunt indicate în figură și vitezele medii calculate, fiind prezentate rezultate din patru în patru ore, respectiv 6.00; 12.00; 18.00; 24.00 (asimilat) ale unei zile. Desigur rezultatele au surprins secvențe, valorile și amplitudinea variind cu anotimpul, diferențele de temperatură diurnă, istoricul temperaturilor din zilele anterioare, etc. [12]. Astfel M este poziția probabilă a centrului vârfului coșului de fum la ora 6 .00 A.M. iar Elipsa A este un potențial loc geometric în care s-ar găsi centrul coșului la această oră în diferite zile, similar punctele N, Elipsa B (ora 12.00), P, Elipsa C (ora 18.00), respectiv R și Elipsa D (ora 24.00). Punctul de intersecție a axelor bazei structurii este O iar al vârfului punctul C. Rezultă o abatere de la verticală posibil dată din construcție sau datorată unei înclinări produsă în timp (cel mai probabil datorată tasării fundației).

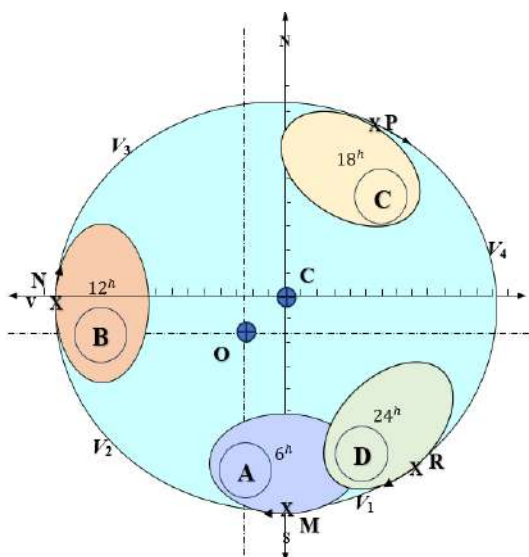


Figura 2. Evoluția vârfului structurii în perioada de analiză, Variația vitezei de deplasare a vârfului clădirii. Viteza medie de deplasare a centrului vârfului structurii este: $V_1=33$ mm/h; $V_2=67$ mm/h; $V_3=85$ mm/h; $V_4=68$ mm/h, elipse de înfășurare pentru pozițiile centrului vârfului, medie după zece zile de măsurători

6. Prezentarea comparativă a rezultatelor măsurărilor pentru anii 1, 1+10 și 1+11

S-au efectuat măsurători privind verticalitatea unei structuri, coș de fum, timp de mai mulți ani, rezultatele fiind prezentate în continuare. Cea mai importantă și îngrijorătoare constatare făcută cu ocazia ciclurilor de măsurători din anul 1+11 a fost înclinarea semnificativă a treimii superioare a structurii, dar nu numai !, raportat la anterioarele măsurători efectuate cu un an în urmă.

Tabelul 3. Situația abaterilor de la verticală a Structurii monitorizate raportate la poziția de echilibru

Nivelul	Cota m	Înregistrări Anul 1			Înregistrări Anul 1+10			Înregistrări Anul 1+11		
		ΔX mm	ΔY mm	d mm	ΔX mm	ΔY mm	d mm	ΔX mm	ΔY mm	d mm
Vârf	250	68	23	72	112	68	131	429	187	468
7	225	37	18	41	63	42	76	310	135	338
6	200	24	11	26	47	31	56	265	116	289
5	175	17	9	19	33	21	39	194	85	212
4	150	14	7	16	18	12	22	135	59	147
3	125	9	5	10	11	8	14	99	43	108
2	100	4	4	6	8	3	9	82	36	89
1	45	2	1	2	6	4	7	60	26	66
Baza	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nivel 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Din cele două tabele se observă că atât la determinările din anul 1 cât și la cele din anul 1+10 atât vârful structurii cât și structura în ansamblu erau într-o poziție de echilibru (eliminând influența înșoririi neuniforme, vântul nereprezentând un factor de acțiune real, viteza de moment pe parcursul determinărilor fiind mai mică decât viteza de 5m/s care ar fi produs



oscilații ale vârfului structurii) apropiată de verticală. Între determinările efectuate în anul 1+10 (lunile februarie, martie, aprilie) și cele efectuate în anul 1+11, luna noiembrie, deci la un an și jumătate interval s-a produs o înclinare pronunțată a părții superioare a structurii, așa cum se observă din Tabelul 4 începând cu nivelul 6, corespunzător cotei de 200 m.

Tabelul 4. Abateri dintre pozițiile de echilibru ale diferitelor nivele ale structurii produse între ciclurile de măsurare

Nivel	Cota m	Dif. Anul 1 – Anul 1+10			Dif. Anul 1 – Anul 1+11			Dif. Anul 1+10 – Anul 1+11		
		ΔX mm	ΔY mm	d mm	ΔX mm	ΔY mm	d mm	ΔX mm	ΔY mm	d mm
Vârf	250	+34	+45	56	+361	+164	397	+317	+119	339
7	225	+25	+24	35	+277	+117	301	+237	+93	255
6	200	+23	+20	30	+241	+105	263	+218	+85	234
5	175	+16	+12	20	+177	+76	193	+161	+64	173
4	150	+4	+5	6	+121	+52	132	+117	+47	126
3	125	+2	+3	4	+90	+38	98	+88	+35	95
2	100	+4	+3	5	+78	+32	84	+74	+33	81
1	45	+4	+3	5	+58	+25	63	+54	+22	58
Baza	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nivel 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Este prezentat în Tabelul 5. modelul matematic al axului vertical al structurii, pentru anii de studiu, după producerea abaterii de la verticalitate menționată, realizat prin softul Table Curve 2D, dedicat prelucrării statistice a datelor. Principalele concluzii care se pot afirma sunt următoarele:

- I. Modelul matematic pentru abaterea liniară a structurii, de-a lungul înălțimii, pentru anul 1+10, este: $\ln y = (a + cx) / (1 + bx + d x^2)$ care are un coeficient de corelație foarte bun de $r^2 = 0.9970927131$ și valori reziduale extrem de mici de -3,76 mm, respectiv +2,85 mm.
- II. Modelul matematic pentru abaterea liniară a structurii, de-a lungul înălțimii, pentru anul 1+11, este: $y = a + b/\ln x + c/(\ln x)^2 + d/(\ln x)^3 + e/(\ln x)^4$, care are un coeficient de corelație foarte bun de $r^2 = 0.9986761127$ și valori reziduale mici, raportate la întreaga deplasare a treimii superioare a coșului de fum, de -18,76 mm respectiv +19,71 mm,
- III. Modelul matematic pentru proiecția de-a lungul axelor de coordonate (în sistemul de referință național S-42, cu elipsoidul aferent Krasovski 1940, proiecția Stereografică 1970) a abaterii liniare a structurii, de-a lungul înălțimii, pentru anul 1+10, este: $y = a + bx + cx^{2.5} + dx^3 + ee^{-x}$ extrem de mici de -2,27, respectiv +2,36 mm.
- IV. Modelul matematic pentru proiecția de-a lungul axelor de coordonate (în sistemul de referință național S-42, cu elipsoidul aferent Krasovski 1940, proiecția Stereografică 1970) a abaterii liniare a structurii, de-a lungul înălțimii, pentru anul 1+11, este: $y = a + bx + cx^2 + dx^{2.5} + ex^3$, care are un coeficient de corelație foarte bun de $r^2 = 0.9999932540$ și valori reziduale mici, raportate la întreaga deplasare a treimii superioare a coșului de fum, de -0,82 mm respectiv +1,23 mm,



În concluzie modelele matematice create sunt relevante și definesc poziția și forma de moment a axului structurii putând fi utilizate de proiectantul construcției pentru a compara starea structurii cu datele stabilite în procesul de proiectare.

Tabelul 5. Modelele matematice care definesc forma de moment a unei structuri foarte înalte, pentru anii 1+10 și 1+11

Înreg./an	Anul 1+10				Anul 1+11			
Rank, Eq Math.Model	1. $\ln y = (a + cx) / (1 + bx + d x^2)$				1. $y = a + b / \ln x + c / (\ln x)^2 + d / (\ln x)^3 + e / (\ln x)^4$			
Correlation Coef. $r^2 =$	0.9970927131				0.9945322865			
a	0.000651106				2322.641717			
b	0.005224177				103367.1905			
c	0.032430890				$-1.6142 e^{0.6}$			
d	$-4.0307 e^{-0.6}$				$7.40404 e^{0.6}$			
e	-				$-1.0967 e^{0.7}$			
f	-				-			
Validation	Dev. meas.	X=H	Y=f(X)=F(H)	Dif. Resid.	Dev. meas.	X=H	Y=f(X)=F(H)	Dif. Resid.
H= [m]	d=[mm]	[m]	[mm]	[mm]	d=[mm]	[m]	[mm]	[mm]
250	131	250	131.04	+0,04	468	250	449.24	-18,76
225	76	225	78.85	+2,85	338	225	357.71	+19,71
200	56	200	54.10	-1,90	289	200	288.32	-0,68
175	39	175	36.28	-2,72	212	175	217.33	+5,33
150	22	150	24.55	+2,55	147	150	155.59	+8,59
125	14	125	15.09	+1,09	108	125	99.23	-8,77
100	9	100	7.98	-1,02	89	100	83.34	-5,64
45	7	45	3.24	-3,76	66	45	70.78	+4,78
40	0	40	2.96	+2,96	0	40	1.95	+1,95
0	0	0	0	0	0	0	0	0

7. Probleme, direcții viitoare de dezvoltare și cercetare a domeniului SHM

Monitorizarea structurală SHM reglementată în România prin Normativul privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor, indicativ P 130-2025, trebuie să devină o etapă obligatorie în viața oricărei structuri cu excepțiile prezentate în textul normativului.

I. Structurile din categoria celor abordate în lucrare dar și podurile cu caracteristici structurale excepționale trebuie transformate în construcții inteligente prin montarea în structură încă din faza de execuție de senzori atât pentru cauze cât și care să constate efectul care să asigure monitorizarea structurală SHM pe tot parcursul duratei de serviciu a acestora, dar nu numai.

II. Pentru structurile existente trebuie instituite programe periodice de monitorizarea SHM în toate zonele considerate critice.

III. Având în vedere faptul că se consideră ca un principal factor de frânare a activităților specifice SHM îl reprezintă costul ridicat al acestora, fie datorită instrumentarului utilizat, al manoperelor presupuse sau chiar al metodelor utilizate în ansamblul acestora, trebuie întreprinse acțiuni de probare și validare a metodelor cu costuri mai scăzute (de exemplu pentru analiza și constatarea verticalității folosirea stațiilor topografice și nu montarea de senzori pe structură).



- IV. Trebuie întreprinse activități de cercetare privind precizia fiecărei metode posibil a fi utilizată la constatarea verticalității construcțiilor abordate în lucrare, prin aplicarea acestora pe structuri existente facilitând astfel aplicarea punctului anterior.
- V. Există încă aspecte atât ale comportării structurii sub efectul unei anumite solicitări (de exemplu însoțirea neuniformă) cât și al managementului activităților de monitorizare structurală puțin abordate și tratate de literatura de specialitate, fiind încă mult de cercetat și publicat în aceste tematici.

8. Concluzii

Din punct de vedere geometric, proiectarea și modernizarea construcțiilor industriale înalte este un domeniu interdisciplinar care a fost foarte puțin discutat în literatura de specialitate. Efectul însoțirii neuniforme asupra acestor structuri, în special asupra structurilor cu secțiune transversală circulară, în care acest efect este maxim, este și mai puțin abordat. Poate cauza probleme, cumulându-l mai ales cu efectul vântului, al unui cutremur sau al altor factori izolați. Amploarea acestei teme de analiză acoperă toate fazele care fac obiectul unei construcții înalte, de la faza de proiectare până la trasarea comportării în timp. Pentru calitatea construcției, un rol foarte important îl au tehnologiile de măsurare și trasare geodezică. Acestea trebuie să satisfacă precizia necesară asupra fazelor de execuție a construcției. Începând cu preciziile impuse de proiect, apoi trasarea, practic conducerea procesului de construcție pe faze, continuând cu studiul comportării în timp atât pe parcursul procesului de execuție, cât și pe parcursul exploatării. Studiile efectuate în acest domeniu au convins că un rol important în proiectarea verticală prin execuția structurilor înalte. Influența factorilor perturbatori: vânt, soare, încălzirea neregulată a pereților structurilor, care sunt de obicei mai puțin luați în considerare atât la proiectare, cât și la execuție.

BIBLIOGRAFIE

1. Chrzanowski A, Szostak-Chrzanowski A, (2004), *Deformation monitoring surveys – old problems and new solutions*, Physical Interpretation of Ground
2. Radulescu Gheorghe M.T., (2004), *Surveying Technologies for Monitoring Tall Construction, s, executions and exploitation*, Eksperimental Forlag, Denmark, ISBN 87-91142-34-2, 241 pg, 2005;
3. Radulescu Gheorghe M.T., Radulescu C., (2005), *Tall Structures Behaviour under the Action of Irregular Heat of the Wind, of Cumulated Loadings*, FIG Working Week 2005 and GSDI 8 April 16-21, 2005, Cairo, Egipt,
4. Gikas, V. and Sakellariou, M., (2008) *Horizontal deflection analysis of a large earthen dam by means of geodetic and geotechnical methods*, 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon 2008
5. Glišić, B, et al, (2002), *Structural Monitoring of Concrete Structures Proceedings of Third World Conference on Structural Control*, 7-12.4.2002, Como, Italy
6. Simiu, E.; Scanlan, R.H. *Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design*; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1996.
7. Bearman, P.W. *Vortex Shedding from Oscillating Bluff Bodies*. Annu. Rev. Fluid Mech. 1984, 16, 195–222.
8. Chopra, A.K. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 5th ed.; Pearson Education: New York, NY, USA, 2017.
9. Lynch, Jerome P.; Loh, Kenneth J. *A Summary Review of Wireless Sensors and Sensor Networks for Structural Health Monitoring*. Shock Vib. Dig. **2006**, 38, 91–128.



10. Breuer, P., Chmielewski, T., Górski, P., Konopka, E., & Tarczyński, L. (2013). *Investigations of dynamic characteristics of a tall industrial chimney due to light wind and solar radiation*. Budownictwo i Architektura, 12(2).
11. Pallarés, F. J., Betti, M., Bartoli, G., & Pallarés, L. (2021). *Structural health monitoring (SHM) and Nondestructive testing (NDT) of slender masonry structures: A practical review*. Construction and Building Materials, 297, 123768.
12. Rădulescu, A. T., Rădulescu, E. G., Bondrea, A. P. M., Rădulescu, C. M., & Rădulescu, C. M. (2018). *New conclusions regarding the evolution of very tall reinforced concrete structures having a circular cross-section, under the action of patchy sunshine, case study the 351.5 m Smoke Chimney in Baia Mare*. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018, 899-906.



STUDIU PRIVIND PERFORMANȚELE TERMO-MECANICE ȘI SUSTENABILITATEA MATERIALELOR CIMENTICE DE TIP «PAPERCRETE»

Autori

Alexia BRIA¹, Andreea-Gabriela BOTE²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Bria.Al.Alexia@student.utcluj.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Botea.Em.Andreea@student.utcluj.ro.

Îndrumători

Șef Lucrări Dr. Ing. Luminița Monica PLEȘA³

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

Șef Lucrări Dr. Ing. Lucian ȘTEFAN⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Lucian.Stefan@mecon.utcluj.ro.

REZUMAT: Industria celulozei reprezintă un factor major de poluare, generând volume masive de deșeuri solide urbane. Prezenta lucrare investighează valorificarea acestor reziduuri prin integrarea pastei de carton în matricea cimentică, ca adaos. Scopul cercetării este dezvoltarea unui material de tip "Papercrete" care să răspundă imperativelor economiei circulare și dezvoltării durabile. Metodologia propusă cuprinde o etapă de documentare științifică, urmată de testarea experimentală a unor rețete optime de dozare. Programul de laborator vizează determinarea consistenței în stare proaspătă și a densității aparente, urmate de încercări mecanice de compresie și întindere la vârsta de 7 și 28 de zile. Totodată, studiul urmărește evaluarea performanțelor de izolare prin analiza conductivității termice și a capacității de absorbție a apei. Lucrarea analizează critic aplicațiile practice și limitările structurale, explorând utilizarea aditivilor pentru îmbunătățirea durabilității și a rezistenței la foc. Rezultatele urmăresc să confirme viabilitatea acestui compozit ușor ca alternativă rentabilă și estetică în ingineria civilă și industria modernă a construcțiilor, demonstrând că deșeurile de hârtie pot fi transformate dintr-o problemă de mediu într-o resursă constructivă valoroasă.

Cuvinte cheie: Papercrete, sustenabilitate, izolare termică, încercări mecanice, economie circulară.

1. Introducere

Lumea se confruntă actualmente cu provocări ecologice majore, precum încălzirea globală, despădurirea și epuizarea resurselor naturale. Ca soluție la aceste probleme, reciclarea materiilor prime a devenit o practică esențială. În acest context, hârtia reprezintă una dintre cele mai eficiente resurse reciclabile, având un rol crucial în combaterea schimbărilor climatice și în conservarea fondului forestier [1].

Începând cu anul 2000, lanțul valoric european al hârtiei și-a asumat un dublu obiectiv: îmbunătățirea proceselor de reciclare și intensificarea eforturilor pentru eliminarea barierelor care îngreunează reciclarea hârtiei la nivel european. Semnatarii noii *Declarații Europene privind Reciclarea Hârtiei 2021-2030* s-au angajat să atingă o rată de reciclare a hârtiei de 76% până în anul 2030 [2].

EUROPEAN PAPER RECYCLING 1991-2024

Source: Cepi 2024

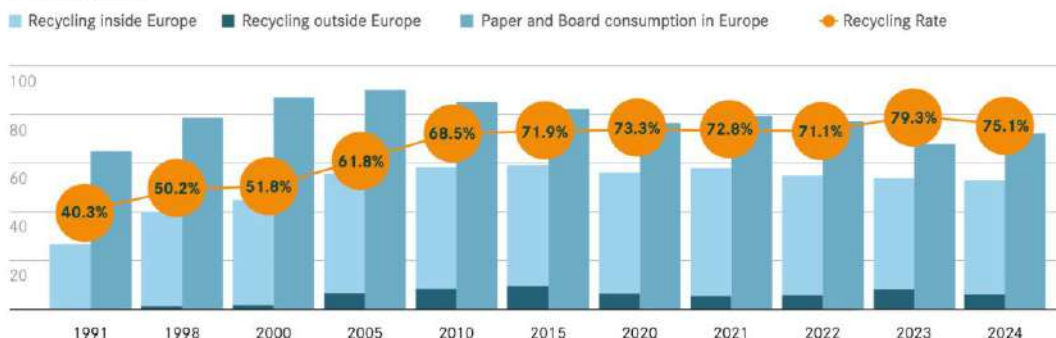


Figura 1. Evoluția ratei de reciclare a hârtiei în Europa (1991–2024) [3]

Cifrele pozitive pe care România le afișează în raportările europene maschează o realitate sistemică deficitară: un volum considerabil de deșeuri este eliminat fără a fi înregistrat, prin practici precum arderea sau îngroparea ilegală. Această zonă invizibilă statistic compromite acuratețea datelor oficiale și împiedică elaborarea unor politici publice adaptate nevoilor reale de gestionare a deșeurilor. Statisticile recente ale Eurostat (martie 2026) plasează România pe ultimul loc în UE la generarea de deșeuri municipale pe cap de locuitor, cu o cifră de 305 kg față de media comunitară de 500 kg. Totuși, acest indicator aparent favorabil necesită o interpretare precaută. Departamentele de a reflecta o responsabilitate sporită a consumatorului român, cifrele tind să evidențieze o fragmentare a sistemului de raportare și existența unor volume considerabile de deșeuri care nu intră în circuitul statistic oficial [4]. Analiza datelor oficiale subliniază necesitatea critică de a identifica fluxuri alternative de reciclare pentru hârtia care, în prezent, scapă sistemului de monitorizare. Depășind faza de simplă colectare, inovația în materialele de construcții propune o utilizare structurală a acestor reziduuri.

Deși betonul armat rămâne materialul dominant în construcții grație durabilității și costurilor reduse, presiunea asupra mediului exercitată de emisiile de CO₂ și acumularea deșeurilor de hârtie impune identificarea unor soluții noi. Acest studiu propune utilizarea deșeurilor de hârtie ca materie primă în producția betonului modern. Această metodă nu doar că diminuează amprenta de carbon prin reducerea cantității de ciment utilizate, dar transformă un deșeu problematic într-un material de construcție ecologic [5].

Papercrete reprezintă un material de construcție inovator, dezvoltat recent, ce are în compoziție fibre de hârtie repulpată (transformate în pastă) amestecate cu ciment Portland sau argilă. Acesta este recunoscut drept un material ecologic datorită ponderii ridicate de conținut reciclat. Tehnologia a fost dezvoltată în mod independent de către Eric Patterson și Mike McCain, care și-au denumit invențiile „Padobe”, respectiv „ciment fibros” [6].

2. Materiale folosite

Lucrarea de față propune realizarea unor noi tipuri de mortare pe baza de deșeuri de hârtie și carton, în vederea reciclării acestor tipuri de deșeuri, în diferite procente ca adaos în rețetele de mortare. Programul experimental propune mai multe tipuri de mortare, iar materialele utilizate

sunt: ciment 42,5N, nisip, apă, deșuri hârtie și carton mărunțite la mână, prezentate în paragrafele de mai jos.

- **Ciment:** ciment Cemrom CEM II/B-LL 42.5 N este un liant hidraulic de înaltă calitate, conține adaosuri atent selecționate, care îmbunătățesc lucrabilitatea și reduc impactul asupra mediului, asigurând o aderență foarte bună și o durată lungă de viață. Compoziția chimică este: Clinker –65 -79%; Calcar 21-35% și Gips – 3-5%. Din punct de vedere al caracteristicilor fizico-mecanice, timpul de priză este aproximativ 60 minute, iar stabilitatea (expansiune) < 10mm.
- **Nisip:** nisipul utilizat are diametrul granulelor cuprins între (0-4) mm;
- **Apa:** apa utilizată este apă potabilă, Cluj-Napoca;
- **Deșuri de hârtie:** - hârtie de copiator mărunțită la mână, lăsată 24 de ore în apă, mixată cu malaxorul;
- **Carton mărunțit** la mână, lăsat 24 de ore în apă, mixat cu malaxorul pentru a se forma o pastă omogenă și apoi stors bine;



a.



b.



c.



d.



e.



f.

Figura 2. Materiale utilizate în programul experimental
a,b. Ciment; c. Nisip; d. Deșuri de hârtie; e. Pastă de hârtie; f. Deșuri de carton

Determinările de laborator s-au realizat în cadrul laboratorului de materiale de construcții, al Facultății de Construcții, Cluj-Napoca.



Programul experimental analizează 6 tipuri de mortare pe bază de ciment, având în compoziție diferite procente de deșeuri de hârtie (10%, 20%, 45%); deșeuri de carton (10%, 20%, 45%); și, de asemenea, o rețetă standard. Compoziția mortarelor se găsește în tabelul de mai jos:

Tabelul 1. Rețete propuse în programul experimental.

		Rețete propuse în programul experimental [m ³]						
		Standar d	10%Hârti e	20%Hârti e	45%Hârti e	10%Carto n	20%Carto n	45%Carto n
Materiale	Ciment	385,71 kg/m ³	385,71 kg/m ³	385,71 kg/m ³	385,71 kg/m ³	385,71 kg/m ³	385,71 kg/m ³	385,71 kg/m ³
	Nisip (0-4)mm	1550 kg/m ³	1550 kg/m ³	1550 kg/m ³	1550 kg/m ³	1550 kg/m ³	1550 kg/m ³	1550 kg/m ³
	Apă	294,28 l/m ³	387,85 l/m ³	475,71 l/m ³	571,42 l/m ³	357,14 l/m ³	428,57 l/m ³	428,57 l/m ³
	Deșeur i de hârtie	-	38,57 kg/m ³	77,14 kg/m ³	171,42 kg/m ³	-	-	-
	Deșeur i de carton	-	-	-	-	38,57 kg/m ³	77,14 kg/m ³	171,42 kg/m ³

3. Metode utilizate

În vederea verificării condițiilor de calitate, în cadrul programului experimental s-a propus urmărirea caracteristicilor în stare proaspătă (densitatea aparentă, consistența) a materialelor studiate cât și a caracteristicilor în stare întărită (densitatea aparentă, rezistența la întidere din încovoiere, rezistența la compresiune). Pentru o evidențiere mai clară a caracteristicilor fizico-mecanice, s-a propus urmărirea comportării mortarelor propuse la diferite intervale de timp: 7 și respectiv 28 de zile.

3.1 Determinarea consistenței cu masa de împrăștiere:

Determinarea se face conform SR EN 1015-3: 2001, utilizând masa de împrăștiere. Se umple cu beton un vas tronconic fără fund având înălțimea de 200 mm. Forma tronconică rămasă după ridicarea vasului se vibrează. Răspândirea se exprimă prin media aritmetică a două diametre perpendiculare grămezii de beton formate (1):

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}. \quad (1)$$

3.2 Determinarea densității aparente în stare proaspătă

Densitatea aparentă în stare proaspătă s-a determinat utilizând un vas de 1 litru. S-a determinat mai întâi masa vasului gol, apoi masa vasului cu mortar proaspăt, fiind compactat cu o vergea metalică având diametrul cuprins între 10-12 mm, prin împungerea mortarului în 25 de locuri diferite. Densitatea aparentă se determină cu relația (2):

$$\rho_a = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (2)$$

unde: - m_2 - masa vasului cu beton; m_1 - masa vasului gol; V - volumul vasului.

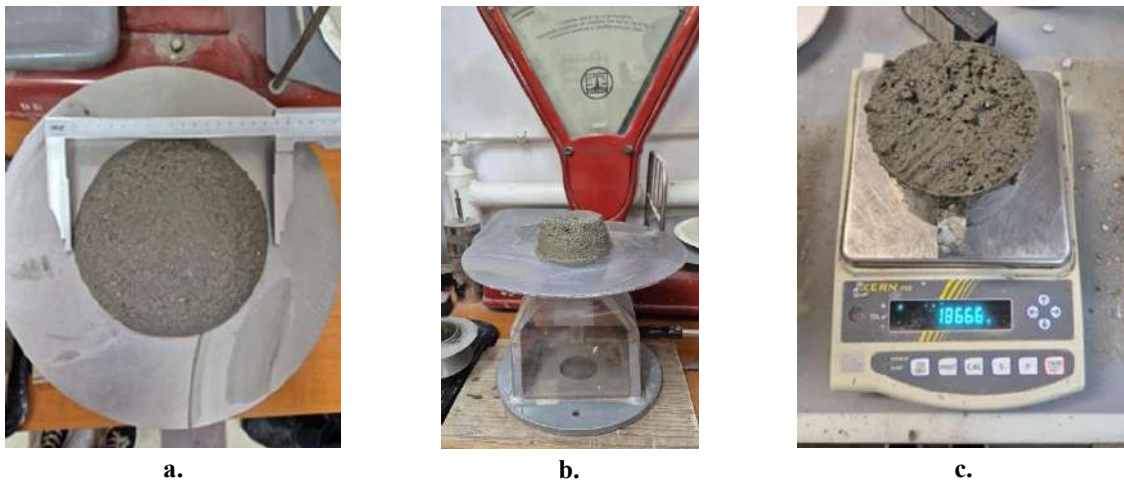


Figura 3. Determinarea caracteristicilor în stare proaspătă
a.b Consistența cu masa de împrăștiere, c. Densitatea aparentă în stare proaspătă

3.3 Determinarea densității aparente a mortarului întărit

Această proprietate a betonului se determină pe 3 prisme, la 28 de zile. Se realizează în următoarele etape:

- se determină masa prismelor;
- se determină cele 3 dimensiuni ale prismelor: L - lungime, l - lățime și h – grosime, rezultând V_a – volumul aparent ;
- se calculează densitatea aparentă.

3.4 Determinarea rezistenței la încovoiere

Rezistența la întindere prin încovoiere a fost testată conform standardelor SR EN 1015-11 și SR EN 1015-11/A1. Determinarea se realizează cu aparatul pentru determinarea rezistenței la încovoiere pe prisme având dimensiunile de 40x40x160 mm. După fixarea probei se pornește aparatul care se blochează automat la ruperea prisme. Se citește direct la presă valoarea forței P . Se calculează valoarea momentului încovoiător maxim:

$$M_{\max} = \frac{P}{2} \times \frac{l}{2} = \frac{P \times l}{4}. \quad (3)$$

Se calculează modulul de rezistență:

$$W = \frac{b \times h^2}{6}. \quad (4)$$

Se calculează rezistența la încovoiere cu relația:

$$R_{ti} = \frac{M}{W}. \quad (5)$$

Unde: P -forța de rupere [N]; l =distanța dintre reazeme [mm].

Testarea mortarelor propuse s-a realizat la 7 și respectiv 28 de zile.

3.5 Determinarea rezistenței la compresiune

Rezistența la compresiune se determină cu presa hidraulică pe epruvete cubice sau pe resturile de prismă rezultate după încercarea acestora la încovoiere. După centrarea epruvetei în presă pe platanul mobil (cel de jos) se aduce platanul fix cât mai aproape de suprafața superioară a probei. Se pornește presa, iar când proba este distrusă manometrul se blochează pe valoarea rezistenței de rupere N . [7]

$$R_c = \frac{N}{A} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (6)$$

Determinarea rezistenței la compresiune s-a realizat la 7 și respectiv 28 de zile, pe toate mortarele studiate.

3.6 Determinarea coeficientului de conductivitate termică

Coeficientul de conductivitate termică este un parametru fizic al materialelor de construcții și se definește ca fiind cantitatea de căldură ce trece printr-un element de construcție având suprafața de $1m^2$, grosimea de $1m$, în timp de $1h$, pentru o diferență de temperatură între cele două suprafețe de $1^\circ C$ sau $1K$. [8]

Măsurarea proprietăților de transfer termic ale probelor analizate s-a realizat utilizând un debitmetru de flux termic (Heat Flow Meter - HFM) din seria LaserComp (TA Instruments). Acest echipament este conceput pentru determinarea precisă a conductivității termice în conformitate cu standardele internaționale de profil (precum ASTM C518 sau ISO 8301).

Aparatul utilizează o metodă de testare stabilă, în care proba este poziționată între două plăci cu temperaturi controlate diferențiat. Transferul de căldură este monitorizat prin intermediul unor senzori de flux termic de înaltă sensibilitate, amplasați pe ambele fețe ale probei (placa superioară și cea inferioară).

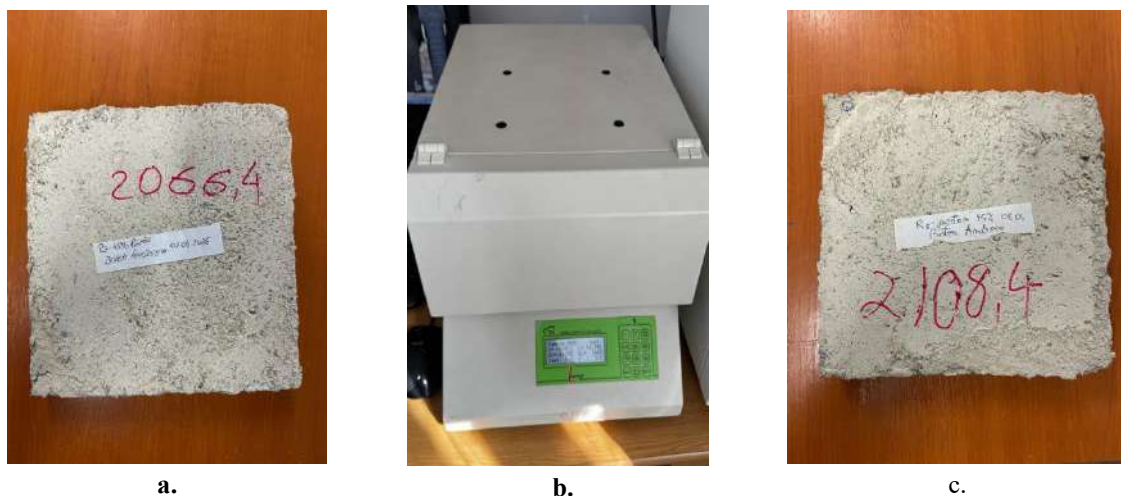


Figura 4. Determinarea coeficientului de conductivitate termică
a. Probă cu 45% hârtie, b. Aparat Heat Flow Meter, c. Probă cu 45% carton



4. Rezultate

Următoarele caracteristici fizico-mecanice au fost determinate pe epruvete: densitatea aparentă a mortarului întărit, rezistența la încovoiere și rezistența la compresiune.

Tabelul 2. Rezultatele densității aparente în stare proaspătă și consistența

Densitate aparentă în stare proaspătă [kg/m ³] și consistența [mm]							
Rețete	Standard	10%Hârtie	20%Hârtie	45%Hârtie	10%Carton	20%Carton	45%Carton
Densitate aparentă [kg/m ³]	2037	2001	1816	1594	1866	1763	1640
Consistență [mm]	224	172	164,5	132	176,5	154	113,5

Analiză tabel: Pe măsură ce adaosul de pastă de hârtie sau carton crește, consistența mortarului evoluează de la una plastică/fluidă spre una vâtoasă și extrem de aderentă. Vâscozitatea structurală ridicată a pastei a blocat bulele de aer care nu au reușit să învingă rezistența rețetei dense de fibre de carton/hârtie în momentul turnării. Chiar dacă turnarea pastei s-a făcut pe o masă vibrantă, natura elastică a celulozei a absorbit energia cinetică a masei vibrante. În loc ca vibrația să fluidizeze mortarul și să dea afară aerul, aceasta a fost disipată în masa materialului fără a produce dezaerarea dorită, rezultând o macro-porozitate indusă, vizibilă pe fețele laterale ale epruvetelor.

Tabelul 3. Rezultatele densității aparente în stare întărită.

Densitate aparentă în stare întărită [kg/m ³]							
Nr. zile	Standard	10%Hârtie	20%Hârtie	45%Hârtie	10%Carton	20%Carton	45%Carton
7 zile	2121	1826	1719	1844	1934	2048	2005
28 zile	2007	1826	1658	1537	1788	1730	1655

Dacă proba martor prezintă o densitate specifică de 2007 kg/m³ specifică unui material convențional, introducerea a 45% deșeu de celuloză conduce la o scădere drastică, până la 1537 kg/m³. Un factor determinant în obținerea unei densități atât de scăzute la rețeta cu 45% hârtie, este volumul record de apă necesar preparării amestecului (571,42 l/m³ de apă pentru rețeta cu 45% hârtie), necesitate ce ar putea fi optimizată în viitor prin utilizarea unor aditivi reducători de apă. Deoarece cea mai mare parte a acestei ape nu este consumată în reacția chimică de hidratare a cimentului, ea rămâne stocată în fibrele de celuloză. Apa se evaporă mult mai lent, ceea ce explică pierderea semnificativă de masă chiar și după 7 zile de la decofrare.

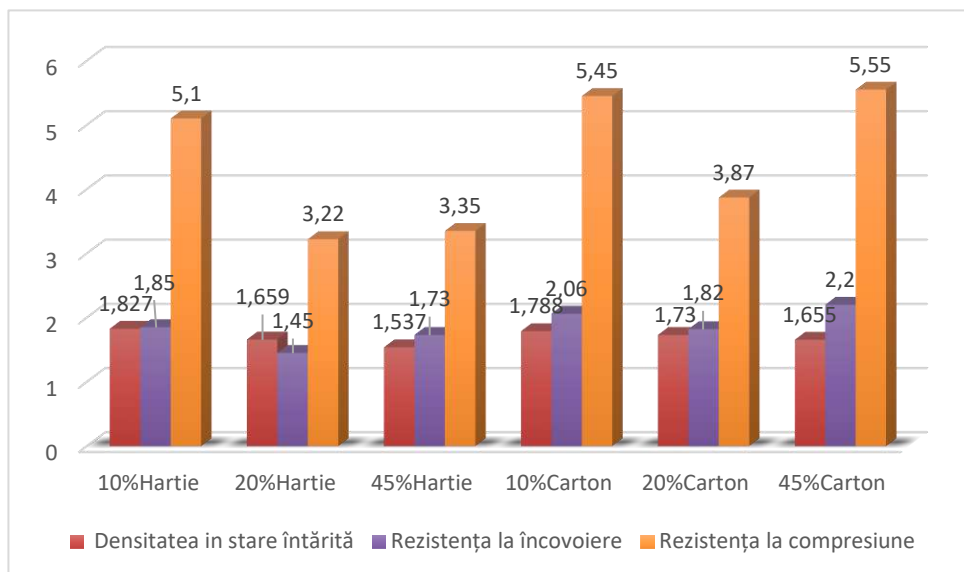


Figura 5. Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute la 28 de zile

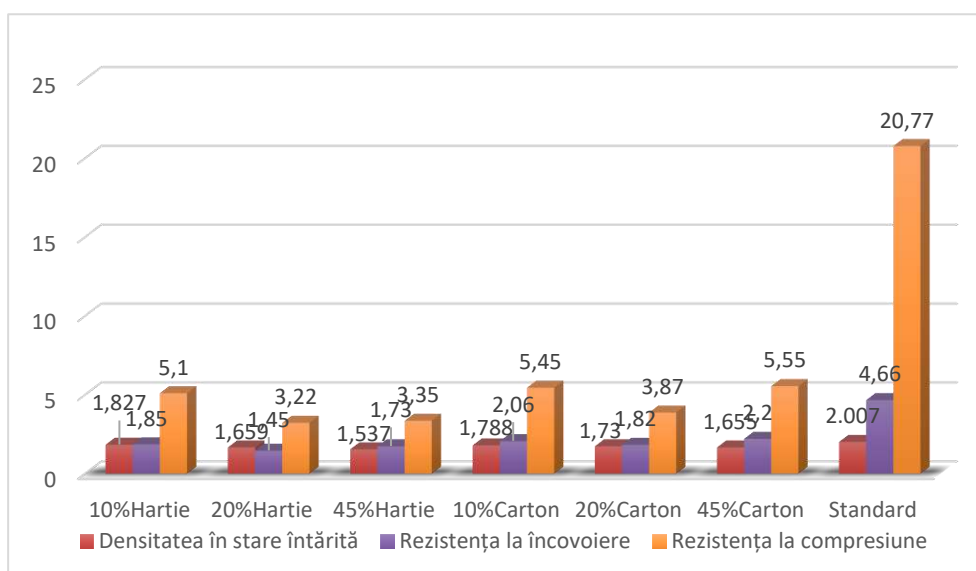


Figura 6. Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute la 28 de zile

Conform standardului SR EN 998-1, mortarele pentru tencuire sunt clasificate în funcție de rezistența la compresiune la 28 de zile. Privind rezultatele din grafic, se observă că rețeta standard a dezvoltat o rezistență la compresiune de $20,77 \text{ N/mm}^2$. Această valoare este masiv supradimensionată pentru aplicații de tencuire, situându-se la un nivel de peste trei ori mai mare față de cerința minimă a celei mai înalte clase (CS IV).

În contrast evident, rețetele modificate cu materiale reciclate demonstrează o optimizare a proprietăților mecanice specifice tencuielilor. Prin introducerea adaosurilor de hârtie și carton, rezistențele la compresiune scad controlat, încadrându-se în zone optime. De exemplu, rețeta cu 10% hârtie ($5,1 \text{ N/mm}^2$) și rețetele cu carton ($5,45 \text{ N/mm}^2$ pentru 10%, respectiv $5,55 \text{ N/mm}^2$ pentru 45%) se plasează excelent în jumătatea superioară a clasei CS III, fiind la o distanță foarte mică de pragul clasei CS IV (6 N/mm^2).

O observație deosebit de importantă o reprezintă performanța constantă a rețetelor cu adaos de carton. În mod remarcabil, chiar și la un volum de substituție foarte ridicat, de 45% carton, rezistența la compresiune nu doar că nu colapsează, ci se menține la o valoare superioară



(5,55 N/mm²) față de cea înregistrată la adaosul de 10% (5,45 N/mm²). Aceasta demonstrează o sinergie foarte bună între matricea cimentoasă și structura fibrelor de carton.

Scăderea accentuată a rezistenței la proba cu 20% carton (3,87 N/mm²) indică un dezechilibru între cantitatea de apă și capacitatea de absorbție a deșeurilor la acel dozaj. Excesul de apă liberă a generat o matrice poroasă și slabă. În schimb, la dozajul de 45%, volumul ridicat de carton a absorbit surplusul hidric, reducând raportul apă/ciment efectiv și permițând formarea unei rețele de armare interne, care a ridicat rezistența spre pragul clasei CS IV.

Hârtia, caracterizată printr-o suprafață specifică ridicată și fibre de celuloză mult mai fine, manifestă un efect de absorbție accentuat, solicitând un aport masiv de apă (până la **571,42 l**) pentru a asigura lucrabilitatea amestecului. Acest exces de apă, care nu este consumat în procesul de hidratare, generează după evaporare o porozitate capilară ridicată, fapt ce explică rezistențele modeste de cca. **3,35 N/mm²**. În schimb, fibrele de carton, fiind mai lungi și prezentând un grad mai scăzut de hidrofilie, necesită un volum de apă semnificativ mai redus, de doar **428,57 l**. Această gestionare eficientă a apei permite menținerea unui raport apă/ciment optim, rezultând o matrice mai densă și o rezistență de **5,55 N/mm²** la dozajul de **45%**, ceea ce confirmă superioritatea structurală a cartonului ca adaos în mortarele de tencuială sustenabile.

Datorită porozității ridicate și a rețelei de fibre, mortarul prezintă o multitudine de goluri mari interconectate. Această structură permite vaporilor de apă să traverseze materialul cu ușurință, oferindu-i proprietatea de a "respira". În domeniul construcțiilor acesta este un avantaj, deoarece previne acumularea condensului, reduce riscul apariției de mușcături și îmbunătățește confortul termic prin reglarea naturală a umidității.

Totuși, aceleași canale care favorizează trecerea vaporilor permit și pătrunderea apei lichide prin fenomenul de capilaritate.

La rețeta cu 45% carton, s-a obținut o rezistență la încovoiere de 2,2N/mm², ceea ce este aproape jumătatea rezistenței standard 4,66N/mm², deși masa este mult mai mică. Acest lucru se datorează faptului că bucățile de carton fiind mai aspre decât fibrele de hârtie, se ancorează mult mai bine în ciment. Aceste ancore de carton înglobate în ciment sunt vizibile în secțiunea rupturii.

Raportul dintre rezistența la încovoiere și compresiune este un indicator critic pentru tencuieli. Un mortar care are o rezistență la încovoiere mare raportată la cea de compresiune este mai „elastic” și crapă mai greu. Deși rezistența brută scade, materialul devine de aproape două ori mai eficient în a prelua eforturile de întindere din încovoiere raportat la masa sa. Acest lucru indică faptul că fibrele de carton acționează ca o micro-armătură, transformând un material casant (standard) într-unul mai ductil, ideal pentru fațade expuse la șocuri mecanice sau variații de temperatură.



Figura 7. Aspectul secțiunii transversale și evidențierea porozității matricei la 28 de zile

Tabelul 4. Rezultatele conductivității termice.

Conductivitate termică [W/m ² k]		
Standard	45%Hârtie	45%Carton
0.93	0.34	0.46

Evaluarea proprietăților termofizice evidențiază o scădere drastică a conductivității față de proba etalon (0,93 W/m²k), confirmând rolul izolator al deșeurilor adăugate. Conform datelor din Tabelul 4. Rezultatele conductivității termice., varianta cu 45% hârtie atinge performanța maximă de 0,34 W/m²k, deoarece surplusul hidric masiv necesar omogenizării fibrelor fine a generat o matrice poroasă cu densitate redusă. Proba cu 45% carton, deși prezintă o valoare ușor superioară (0,46 W/m²k), demonstrează un echilibru tehnic mai bun, reducând transferul termic la jumătate față de rețeta standard fără a compromite integritatea structurală a mortarului.

Setpoint Upper:	0.00	°C
Setpoint Lower:	20.00	°C
Temperature Upper:	0.02	°C
CalibFactor Upper:	0.002078	
Results Upper:	0.3451	W/mK
HeatFlux Upper:	180.4	W/m²
Temperature Lower:	20.01	°C
CalibFactor Lower:	0.024512	
Results Lower:	0.3637	W/mK
Percent Difference:	7.47%	
HeatFlux Lower:	313.8	W/m²
Temperature Average:	10.01	°C
Results Average:	0.3564	W/mK
Resistance Avg:	0.14703	mK/W
Stand Avg:	0.356	mK/W
R-value:	0.551	
Thermal Equilibrium Diagnostics		
Temperature Equilibrium:	0.20	
Between Block-HPM Equil:	49	
HPM Percent Change:	2.00	
Min Number of Blocks:	4	
Calculated Blocks:	3	
Results Table - SI Units		
Mean Temp:	Upper Const	Lower Const
18.01	0.3451	0.3637
	Average Const	0.3562

a. 45% hârtie

Setpoint Upper:	0.00	°C
Setpoint Lower:	20.00	°C
Temperature Upper:	0.01	°C
CalibFactor Upper:	0.002078	
Results Upper:	0.4645	W/mK
HeatFlux Upper:	273.8	W/m²
Temperature Lower:	20.01	°C
CalibFactor Lower:	0.024512	
Results Lower:	0.4884	W/mK
Percent Difference:	5.02%	
HeatFlux Lower:	287.9	W/m²
Temperature Average:	10.01	°C
Results Average:	0.4765	W/mK
Resistance Avg:	0.07115	mK/W
Stand Avg:	0.356	mK/W
R-value:	0.454	
Thermal Equilibrium Diagnostics		
Temperature Equilibrium:	0.20	
Between Block-HPM Equil:	49	
HPM Percent Change:	2.00	
Min Number of Blocks:	4	
Calculated Blocks:	3	
Results Table - SI Units		
Mean Temp:	Upper Const	Lower Const
18.01	0.4645	0.4884
	Average Const	0.4765

b. 45% carton

Figura 8. Rezultatele coeficientului de conductivitate termică



5. Concluzii

Studiul experimental asupra compozitelor cimentice de tip Papercrete conduce la următoarele concluzii fundamentale privind viabilitatea acestui material în construcțiile sustenabile:

Superioritatea Cartonului ca Adaos: Rezultatele confirmă că deșeurile de carton oferă performanțe mecanice net superioare hârtiei de copiator ($5,55 \text{ N/mm}^2$ vs $3,35 \text{ N/mm}^2$ la compresiune), datorită rugozității fibrelor care asigură o aderență optimă în matricea de ciment.

Reducerea Semnificativă a Densității: Integrarea unui procent de 45% deșeurii de celuloză a permis obținerea unui material ușor, cu o densitate de cca. 1537 kg/m^3 , reprezentând o scădere de aproximativ 23% față de densitatea probei etalon.

Comportament Ductil la Rupere: S-a observat o schimbare a modului de cedare; sub sarcina de compresiune, probele de Papercrete nu s-au fărâmat, ci s-au aplatizat progresiv, demonstrând o capacitate sporită de absorbție a energiei datorită legăturilor create de fibrele de celuloză.

Eficiența în Economia Circulară: Valorificarea deșeurilor de carton în proporție de 45% nu doar că nu compromise integritatea tencuielii (menținându-se aproape de pragul clasei CS IV), dar oferă o soluție concretă pentru reducerea volumului de deșeurii municipale și a amprente de carbon a clădirilor.

Limitări și Direcții Viitoare: Deși performanțele mecanice sunt optime pentru tencuieli, absorbția ridicată de apă rămâne principala provocare. Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe integrarea unor aditivi de impermeabilizare pentru a extinde utilizarea acestui material la fațade exterioare.

BIBLIOGRAFIE

1. Waste Paper for Recycling: Overview and Identification of Potentially Critical Substances Kostyantyn Pivnenko*, Eva Erikssona, Thomas. F. Astrupa a Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Miljøvej Building 113, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark
2. <https://www.paperforrecycling.eu/publications/>
3. <https://www.paperforrecycling.eu/publications/>
4. <https://ecologic.rec.ro/mai-putine-deseuri-pe-hartie-mai-mult-haos/>
5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321074137> , Properties of concrete containing shredded waste paper as an additive, B.A. Solahuddin, 2022.
6. Papercrete: An Efficient Use of Waste Paper, YD Shermale*, MB Varma Department of Applied Mechanics, Government College of Engineering, Aurangabad, Maharashtra, India
7. Materiale de Construcții, Chimie; Alexandru Gheorghe Netea, Daniela Lucia Manea, Claudiu Aciu, Elena Jumate, Florin Babota, Luminița Monica Pleșa, Răzvan Andrei Iernuțan; UTPRESS Cluj-Napoca, 2019
8. Materiale de construcții si chimie aplicată; Daniela Lucia Manea, Alexandru Gheorghe Netea; Mediamira 2008



DINCOLO DE SUCCES. ANALIZA EȘECULUI ÎN BUSINESS

Autor

Patricia-Raluca HOJDA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , [e-mail: Hojda.Io.Patricia@student.utcluj.ro](mailto:Hojda.Io.Patricia@student.utcluj.ro)

Îndrumător

Conf. dr. ec. Sorina Anamaria CIPLEA²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Sorina.ciplea@ccm.utcluj.ro](mailto:Sorina.ciplea@ccm.utcluj.ro)

REZUMAT: *Antreprenoriatul ne este adesea prezentat printr-o lentilă super optimistă, dar realitatea din piață arată că multe mici afaceri se lovesc repede de obstacole fatale. Această lucrare își propune să schimbe perspectiva și să afle direct de la sursă de ce ajung atâtea cafenele, restaurante sau magazine să pună lacătul pe ușă. Obiectivul principal este de a înțelege ce nu a mers bine și care sunt, de fapt, factorii care te forțează să renunți la propria afacere. Lucrarea va oferi viitorilor antreprenori o perspectivă realistă și o listă concretă de aspecte cu lucrurile la care trebuie să aibă mare grijă înainte de aș deschide un business.*

Cuvinte cheie: eșec inteligent, industria HoReC, insolvență, strategii de criză

1. Introducere

Să deschizi o afacere în România a devenit, în ultimii ani, o adevărată provocare. Datele publicate de Oficiul Național al Registrului Comerțului (ONRC) [1] pentru anul 2025 evidențiază cum doar în primele 11 luni, 74.806 de firme au fost radiate la nivel național [1],[3]. Cu alte cuvinte, zeci de mii de antreprenori au fost nevoiți să pună lacătul pe ușă, copleșiți de un mediu economic imprevizibil.

Deși fenomenul afectează toată țara, această lucrare se concentrează pe județul Cluj deoarece este un magnet pentru tinerii antreprenori și un centru universitar plin de idei noi, reprezentând piața perfectă pentru analiză. Chiar și aici, într-un pol economic atât de puternic, statisticile sunt dure: Clujul ocupă locul al doilea pe țară, cu 4.244 de afaceri închise definitiv în 2025, primul fiind București cu 14.763 de afaceri închise definitiv în același an [1],[3].

Încetarea activității nu este doar o chestiune a unor factori temporari. Inflația a condus la diminuarea puterii de cumpărare a clienților, în timp ce costurile de întreținere și taxele au crescut enorm. În acest context, specialiștii din presa economică atrag atenția asupra unui fenomen periculos: firmele zombie [2]. Pe scurt, acestea sunt companii care, matematic, sunt deja falimentare, dar sunt ținute artificial în viață de fondatorii care nu mai pot face față competiției și nu reușesc să se adapteze[2],[4].

Aici intervine o problemă academică: la cursuri, pe rețelele sociale și în presă, ne sunt prezentate exclusiv afacerile cu povești de succes. Eșecurile sunt marginalizate, deși ele sunt cele mai sigure realități statistice. Această lucrare se bazează pe conceptul de „eșec inteligent”, o abordare care ne învață că falimentul nu trebuie privit ca o tragedie finală, ci ca o resursă plină de date și lecții de management.



Prin urmare, scopul acestui proiect este să realizeze o analiză a eșecului antreprenorial [1],[8]. Folosind date publice, am analizat câteva studii de caz din domeniul HoReCa (Hoteluri, Restaurante, Cafenele și Catering), afaceri cunoscute care au intrat recent în colaps. Obiectivul final este de a extrage un mini-ghid de supraviețuire, pentru ca oricine visează să devină antreprenor să își dea seama la mici factori care l-ar putea costa afacerea.

2. Studiu de caz

Pentru a înțelege de ce afacerile au ajuns în pragul colapsului am analizat date publice din prese economice precum Ziarul Financiar și StartupCafe [3],[8],[9]. Am selectat intenționat trei branduri de calibrul, cu cifre de afaceri de zeci de milioane de lei, pentru a demonstra că nimeni nu este prea mare pentru a eșua atunci când managementul riscului este ignorat. Pentru fiecare companie, analiza urmărește profilul inițial, declanșatorul crizei și eroarea managerială fatală.

2.1 Cazul noodle pack

Am ales Noodle Pack nu doar pentru că era doar un brand de mall, ci mai degrabă pentru că a fost și încă este un brand de mâncare asiatică foarte cunoscut pentru cei care își doresc să guste delicatese din domeniul culinar asiatic la prețuri rezonabile. Cu o cifră de afaceri care în 2024 a depășit 100 de milioane de lei, compania ajunsese să gestioneze o rețea uriașă și să aibă un număr mediu de 431 de angajați [6]. Era un business construit pe volum și pe prezența în punctele cu cel mai mare trafic din țară, deținut în proporții egale (50-50%) de antreprenorii clujeni Samuel Hanuseac și Daniel Aurel Tișea.

Deși piața HoReCa părea că e în plină expansiune, în 2025 Noodle Pack a cerut intrarea în insolvență, recunoscând oficial că nu mai poate face față datoriilor [8]. Analiza detaliată arată că în 2025 pe de o parte, costurile operaționale au explodat, iar pe de altă parte, încasările au început să scadă drastic pe măsură ce clienții au devenit mult mai atenți la cheltuielile personale [6].

Din datele financiare prezentate, greseala fatală a fost incapacitatea de a gestiona datoriile pe termen scurt, planul de vânzări bazându-se pe un model de business rigid, care funcționa exclusiv dacă mall-urile erau pline și clienții nu analizau prea mult prețul unui meniu.

Analizele de specialitate explică cum brandul a fost sufocat de o combinație letală de factori [6]:

În primul rând, presiunea uriașă a chiriilor, aceste magazine operaționând în centre comerciale mari precum mall-urile, chiriile au devenit o povară; deci Noodle Pack nu a reușit să renegocieze aceste costuri fixe în momentul în care vânzările au început să scadă.

În al doilea rând, odată cu creșterea nejustificată a prețului pe produs, era inevitabil ca numărul clienților să scadă, compania nefiind în stare să mențină cash-flow-ul vital. Fără suficienți bani lichizi, firma a intrat într-un blocaj de plată către furnizorii de materii prime, datoriile acumulate către stat și parteneri devenind imposibil de susținut de o singură entitate, în ciuda cifrei de afaceri impresionante.



2.2 Cazul Salad Box

Povestea de succes a restaurantului Salad Box pornește din Cluj-Napoca fondată de Dan Isai și familia Lupas. Sub entitatea Bio Box SRL, brandul s-a extins rapid la nivel internațional, devenind lider pe segmentul de mâncare sănătoasă. Brandul era și înca este foarte cunoscut având concept de restaurante bazate pe vânzarea de salate rapide și sănătoase, având zeci de puncte de lucru și o cifră de afaceri de peste 38 de milioane de lei [5].

Vestea insolvenței Bio Box SRL, apărută în 2025, a fost primită ca un șoc în comunitatea de afaceri. Articolul de referință subliniază gravitatea situației, unde Salad Box a fost a treia mare prăbușire consecutivă din domeniul HoReCa din acel an, confirmând un efect de domino periculos în industrie [5].

Eroarea lor fatală a fost lipsa unei plase de siguranță în fața scăderii puterii de cumpărare. Am ajuns la această concluzie după analizarea datelor unde managerul a decis că negocia cu investitorii și vânzarea a 50% din companie este cea mai bună soluție pentru a asigura supraviețuirea brandului și a continua activitatea [5].

O altă eroare a constat în menținerea unui concept de healthy premium într-o piață în care clientul a început să prioritizeze prețul în loc de calitatea nutritivă. Chiar dacă le respect decizia și faptul că au rămas la conceptul care îi definește, atunci când prețurile materiilor prime au explodat, Salad Box a rămas captivă între dorința de a păstra standardele de calitate și imposibilitatea clienților de a mai plăti acele prețuri. Lecția extrasă de aici este dură: oricât de mare este ambiția ta globală, ești la fel de vulnerabil ca orice afacere mică dacă nu ai o strategie de criză care să protejeze fluxul de bani în perioade de inflație [5], [9].

2.3 Cazul La Plăcinte

La Plăcinte este un nume de referință pe piața restaurantelor de tip mâncare tradițională din România care a dominat ani de zile segmentul de casual dining. Cu un meniu orientat către familii și decoruri autentice, brandul și-a construit o bază de clienți loiali extrem de solidă, având spații de servire generoase, capabile să găzduiască grupuri mari la mese și evenimente. E genul de locație la care familiile care merg în vacanțe sunt mai predispuse să își facă popasul.

Totuși, vulnerabilitatea acestei strategii de business a devenit evidentă pe parcursul anului 2025, când brandul a început să se retragă din locații cheie și a intrat în incapacitate de a-și susține costurile de funcționare. Din nou, precum la lanțurile de restaurante menționate anterior, deși cifrele generale ale industriei păreau pe plus din cauza inflației, realitatea arăta că restaurantele tradiționale pierdeau masiv teren în fața conceptelor mai rapide și mai ieftine [9].

Analizele experților în ospitalitate indică faptul că eroarea lor fatală a fost lipsa de agilitate și menținerea unui model operațional mult prea rigid pentru noile realități economice [7]. În timp ce piața se înclina spre conceptele de tip dark kitchen, bazate doar pe livrări, sau locații mici cu eficiență maximă, La Plăcinte a decis să rămână la spațiile comerciale imense, care generau costuri uriașe cu chiria, utilitățile și personalul necesar pentru servirea la masă.



Mai mult, specialiștii subliniază o incapacitate de a inova meniul pentru a atrage noile generații de consumatori, lucru esențial pentru tipul acesta de restaurante, unde noile generații preferă opțiuni mai rapide și mai adaptate unui buget restrâns [7]. Veniturile generate de un meniu tradițional, oricât de iubit ar fi fost acesta, nu au mai putut acoperi prețurile de operare ale locațiilor de sute de metri pătrați. Brandul a suferit, practic, de o criză de adaptabilitate unde era prea scump de întreținut pentru volumul de clienți rămas și prea puțin flexibil pentru a pivota rapid spre piața de delivery. Lecția esențială aici este că loialitatea clienților din trecut nu garantează sustenabilitatea financiară din prezent dacă modelul de business refuză să evolueze odată cu piața [7], [9].

Tabelul 1. Analiza comparativă

Brand	Model de business	Criza	Eroarea de management	Consecința principală
Noodle Pack	Volum și locații în Mall-uri	Scăderea traficului pietonal și a puterii de cumpărare	Rigiditatea costurilor fixe (chirii imposibil de renegociat)	Insolvență prin blocaj de cash-flow
Salad Box	Healthy Premium și internaționalizare	Creșterea prețurilor la materii prime	Menținerea poziționării "premium" în ciuda inflației	Nevoia de infuzie de capital (cedare 50% acțiuni)
La Plăcinte	Casual Dining și tradițional	Schimbarea preferințelor către Delivery/Fast-service	Menținerea spațiilor mari și a costurilor ridicate de operare	Retragerea din locații strategice și insolvență

Din tabelul de mai sus se observă că desi cauzele au iminente au variat, eșecul comun al acestor mari firme a fost declanșat din cauză că firmele nu au fost în stare să se adapteze la noile costuri și condiții.

3. Concluzii

Analiza ecosistemului antreprenorial din România subliniază o realitate inconfortabilă: lansarea unei afaceri este intrarea într-un veritabil război al pieței. Colapsul giganților din HoReCa demonstrează clar că nimeni nu e în siguranță în timpul unei inflații pe termen lung, fără un plan de atac bine pus la punct. Numitorul comun al eșecurilor acestor 3 mari afaceri a fost rigiditatea operațională, deoarece ei nu au eșuat pentru că nu aveau clienți, ci pentru că au devenit prea rigizi. Ei au trăit cu iluzia că piața le va suporta la nesfârșit ineficiențele și că pot acoperi orice gaură financiară pur și simplu scumpind meniul.

În concluzie, pentru orice antreprenor, acest eșec inteligent este o lecție și un avertisment clar, astfel, când piața se schimbă brusc, afacerile care refuză să pivoteze mor primele. Deci pentru o afacere care nu are o strategie de criză, insolvența este doar o chestiune de timp, indiferent de cât de cunoscut este brandul acesteia.



BIBLIOGRAFIE

1. Oficiul Național al Registrului Comerțului (ONRC) – *Statistici Radieri, Dizolvări, Suspendări și Înmatriculări*, portal oficial disponibil la: <https://www.onrc.ro/index.php/ro/statistici>
2. StartupCafe (2025) – *Analiză: Pericolul firmelor zombie se extinde în economie*, disponibil la: <https://startupcafe.ro/pericolul-firmelor-zombie-se-extinde-in-economie-cele-mai-multe-probleme-sunt-in-zona-imm-urilor-analiza-80026>
3. StartupCafe (2025) – *Aproape 75.000 de firme au fost radiate în primele 11 luni ale anului 2025: Top domenii*, disponibil la: <https://startupcafe.ro/aproape-75-000-de-firme-au-fost-radiate-in-primele-11-luni-ale-anului-2025-top-domenii-92242>
4. StartupCafe (2026) – *Câte firme din România au fost radiate la început de 2026 / Informare ANAF puncte de lucru*, disponibil la: <https://startupcafe.ro/cate-firme-din-romania-au-fost-radiate-la-inceput-de-2026-date-onrc-95798>
5. Știri de Cluj (2025) – *Un lanț de restaurante celebru din Cluj anunță insolvența: Negociem să vindem jumătate*, disponibil la: <https://www.stiridecluj.ro/economic/un-lant-de-restaurante-celebru-din-cluj-cu-ambitii-globale-anunta-insolventa-negociem-sa-vindem-jumatate-este-a-treia-insolventa-la-rand-pe-piata>
6. Termene.ro (2025) – *Motivele financiare care au dus la cererea de insolvență a Noodle Pack*, disponibil la: <https://termene.ro/articole/motivele-care-au-dus-la-cererea-de-insolventa-a-noodle-pack>
7. Top Hospitality (2025) – *Lecții esențiale pentru antreprenorii din HoReCa din insolvența lanțului La Plăcinte*, disponibil la: <https://www.tophospitality.ro/stire/ce-putem-invata-din-insolventa-lantului-la-placinte-lectii-esentiale-pentru-antreprenorii-din-hor>
8. Ziarul Financiar (2025) – *Incapacitatea de plată zguduie piața restaurantelor de vârf: Cazul Noodle Pack*, disponibil la: <https://www.zf.ro/companii/retail-agrobusiness/treia-incapacitate-plata-zguduie-piata-restaurantelor-varf-2025-firma-22868356>
9. Ziarul Financiar (2025) – *Piața de restaurante și cafenele: între extaz și agonie după ani de scumpiri pe bandă*, disponibil la: <https://www.zf.ro/companii/piata-restaurantelor-cafenele-extaz-agonie-dupa-ani-scumpiri-banda-22868742>



IMPACTUL SUBSTITUIRII PARȚIALE A AGREGATELOR NATURALE CU DEȘEURI DE STICLĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MECANICE ȘI MICROSTRUCTURALE ALE MORTARELOR DE TENCUIALĂ

Autor

Luca-Andrei TĂTAR¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Tatar.Vi.Luca@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

S. L. dr. ing. Elena JUMATE²

S. L. ing. dr. fiz. Dumitrița MOLDOVAN³

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Elena.JUMATE@ccm.utcluj.ro

³Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Dumitrita.Corpodean@phys.utcluj.ro

REZUMAT: *Prezentul studiu investighează viabilitatea utilizării deșeurilor de sticlă măcinată ca substitut parțial pentru agregatele minerale în compoziția mortarelor de tencuială. Cercetarea vizează dezvoltarea unor amestecuri experimentale în care nisipul natural (sort 0–4 mm) este înlocuit cu particule de sticlă reciclată, în procente de 5% și 10%, menținând aceeași distribuție granulometrică. Evaluarea performanței materialelor rezultate s-a realizat prin determinarea rezistențelor mecanice la compresiune și încovoiere. Pentru o înțelegere aprofundată a comportamentului macroscopic, investigația a fost completată de o analiză a microstructurii prin Rezonanță Magnetică Nucleară (RMN). Această tehnică non-invazivă a permis monitorizarea procesului de hidratare a matricei cimentoide și distribuției porilor. Rezultatele obținute stabilesc corelații fundamentale între evoluția microstructurală și proprietățile mecanice finale, evidențiind potențialul deșeurilor de sticlă de a optimiza structura internă a mortarelor.*

Cuvinte cheie: sticla, deșeuri, mortar, tencuiala, RMN.

1. Introducere

În contextul dezvoltării durabile și al necesității reducerii impactului asupra mediului generat de industria construcțiilor, valorificarea deșeurilor reciclabile a devenit o direcție importantă de cercetare la nivel internațional. Printre materialele cu un potențial ridicat de reutilizare se numără sticla, un material omniprezent în societatea modernă datorită proprietăților sale fizice și chimice, precum transparența, durabilitatea și rezistența la acțiunea agenților chimici. Sticla este utilizată pe scară largă în industria ambalajelor, în construcții, în sectorul auto și în electronică, ceea ce determină generarea unor cantități semnificative de deșeuri la nivel global. Industria mondială a sticlei se află într-o continuă dezvoltare, piața globală fiind estimată la peste 235 miliarde de dolari în anul 2024, iar producția anuală de recipiente și ambalaje din sticlă depășind sute de miliarde de unități [1]. Deși sticla este un material reciclabil aproape în



totalitate, o mare parte a deșeurilor generate ajunge încă în depozitele de deșeuri, în special în statele unde infrastructura de colectare selectivă și reciclare nu este suficient dezvoltată. În România, reciclarea deșeurilor de sticlă reprezintă încă o provocare, rata de reciclare a ambalajelor din sticlă situându-se sub media europeană. Conform datelor recente, doar o parte dintre deșeurile de sticlă sunt reintegrate în circuitul economic, restul fiind eliminate prin depozitare, ceea ce contribuie la poluarea mediului și la consumul inutil de resurse naturale [2, 3]. În paralel, industria construcțiilor se confruntă cu un consum ridicat de resurse minerale naturale, în special agregate fine precum nisipul, utilizate în compoziția mortarelor și betoanelor. Exploatarea intensivă a nisipului generează efecte negative asupra ecosistemelor, contribuind la degradarea terenurilor și la diminuarea resurselor naturale disponibile. [4] Din acest motiv, cercetările recente se concentrează asupra identificării unor materiale alternative care să poată substitui parțial agregatele naturale fără a afecta performanțele mecanice și funcționale ale materialelor de construcții.

Prezentul proiect are ca scop analizarea posibilității utilizării sticlei măcinată drept substituent parțial al nisipului în mortarul de tencuială, prin înlocuirea agregatului fin în proporții de 5% și 10%. Cercetarea urmărește evaluarea influenței acestor procente asupra proprietăților mortarului, precum lucrabilitatea, aderența, rezistența mecanică și comportamentul în stare întărită. Prin valorificarea deșeurilor de sticlă în materiale de construcții, proiectul contribuie la promovarea unor soluții sustenabile pentru reducerea impactului asupra mediului și pentru eficientizarea utilizării resurselor naturale în industria construcțiilor, mai mult rezistențele mecanice sunt corelate cu analize microstructurale RMN pentru a observa evoluția dinamică a produsului finit cu 5% și 10% deșeu de sticlă.

2. Materiale și metode

2.1 Materiale

Sticla folosită provine de la borcane transparente reciclate. Aceste borcane au fost sparte grosier, apoi au fost introduse în concasator, cu scopul de a obține un material cât mai fin. Apoi a fost sortată prin site succesive, păstrând materialul cu grosime mai mică sau egală de 4 mm. După obținerea acestui material, s-au făcut 3 rețete de mortar de tencuială cu ciment CEM II 42,5N SR EN 197-5:2021. Prima rețetă fiind cea standard, R0, rețetă care nu conține deloc sticlă, pentru a avea un termen de comparație, urmată de alte două rețete, R1 cu substituția agregatului natural în proporție de 5 % cu sticla și respectiv R2 cu substituția agregatului natural cu 10 % sticla (vezi tabel 1 și fig. 1).

Tabel 1. Conținutul rețetelor de mortar.

Proba	Ciment 42,5 (Kg)	Nisip (0-4 mm) (Kg)	Sticlă (0-4 mm) (Kg)	Apă (ml)
R0 Mortar de tencuială (0% sticlă)	2,7	10,85	-	1940
R1 Mortar de tencuială (5% sticlă)	2,7	10,308	0,542	2075
R2 Mortar de tencuială (10% sticlă)	2,7	9,763	1,085	1900



Fig. 1. Probele de mortar obținute în urma decofrării matriței.

2.2 Metode

În urma preparării rețetelor s-au efectuat niște determinări asupra mortarului proaspăt pentru determinarea consistenței, densității, suprafața de răspândire și tendința de segregare. Dat fiind faptul că acest mortar este destinat utilizației pentru stratul de grund al procesului de tencuire a pereților, consistența urmărită pentru acest material a fost de 9-10 mm, determinată prin utilizarea unui con gradat.



Fig. 2: Determinarea consistenței cu conul gradat.

Pentru obținerea tendinței de segregare sa folosit relația:

$$S = \frac{\pi}{48} (C_s^3 - C_i^3), [cm^3] \quad (1)$$

unde: C_s reprezintă consistența stratului din treimea superioară a vasului din care se face determinare.

C_i reprezintă consistența stratului din treimea inferioară.

Pentru mortarele de tencuială se recomandă ca tendința de segregare sa fie cel mult 40 cm^3 . Cu cât această valoare este mai mică, cu atât particulele de agregat din material de-a lungul timpului se separă mai puțin, obținând un mortar mult mai omogen [5]. După efectuarea acestor determinări s-au turnat câte trei prisme din fiecare fel de mortar pentru a se putea efectua niște



determinări pentru aflarea proprietăților mecanice precum rezistența la încovoiere și compresiune. Prismele au fost întâi supuse aparatului Fröhling-Michaelis pentru determinarea rezistenței la încovoiere, prismele fiind rupte în două, apoi cele două jumătăți au fost introduse în presa hidraulică pentru aflarea rezistenței la compresiune.

Rezonanța magnetică Nucleară (RMN) este o analiză modernă care s-a utilizat în ultimul deceniu în analiza materialelor de construcții pentru a evidenția evoluția în timp a dinamicii moleculare și a corela aceste date cu rezultatele rezistențelor la încovoiere și la compresiune [6]. Pentru a determina dinamica moleculară s-a folosit un aparat Bruker Minispek (având frecvența de rezonanță de aproximativ 20 MHz). S-a folosit metoda CPMG (Carr-Purcell-Meiboom-Gill). Secvența CPMG este o metodă de tip „ecou de spin” (spin-echo) utilizată pentru a măsura timpul de relaxare transversal T_2 , eliminând în același timp erorile cauzate de imperfecțiunile câmpului magnetic (neomogenități). Fiind o secvență de impulsuri care folosește un impuls inițial de 90° urmat de o serie de impulsuri de 180° . Aceasta permite refocalizarea spinilor de mai multe ori, generând un „tren de ecouri”.

3. Rezultate și discuții

Performanțele mortarelor în stare proaspătă sunt esențiale pentru ușurința în aplicare și durabilitatea stratului de tencuială. Rezultatele obținute pentru densitate, lucrabilitate și stabilitate sunt centralizate în Tabelul 2. În urma efectuării determinărilor pe mortarul proaspăt s-au obținut următoarele date pentru densitate din care observă o creștere progresivă a densității pe măsură ce procentul de sticlă crește: de la $2,172 \text{ g/cm}^3$ (R0) la $2,184 \text{ g/cm}^3$ (R2). Această tendință, evidențiată în grafic din Figura 3, determinarea densității (stânga), ceea ce ne sugerează o compactare mai bună a amestecului, particulele de sticlă măcinată reușind să ocupe eficient golurile interstițiale. Introducerea sticlei a condus la o ușoară scădere a suprafeței de răspândire, de la 21,35 cm (R0) la aproximativ 19 cm pentru amestecurile cu sticlă. Aceasta indică o modificare a reologiei amestecului, probabil din cauza formelor neregulate a particulelor de sticlă pentru suprafața de răspândire și consistența (vezi tabelul 2). Se observă cel mai vizibil beneficiu adus de deșeurile de sticlă la măsurătorile pentru tendința de segregare (S). Valoarea S scade drastic de la $31,73 \text{ cm}^3$ (R0) la $14,41 \text{ cm}^3$ (R2). O valoare mai mică a segregării indică un mortar mult mai omogen, prevenind separarea agregatelor în timpul depozitării și aplicării (vezi tabel 2 și figura 3 dreapta).

Tabel 2. Determinarea densității, suprafața de răspândire și tendința de segregare.

Proba	Densitate	Suprafața de răspândire [cm]	Consistența din treimea superioară a vasului (C_s) [cm]	Consistența din treimea inferioară a vasului (C_i) [cm]	Tendința de segregare (S) [cm^3]
R0	$2,172 \text{ g/cm}^3$	21,35 cm	9,00	6,25	31,73
R1	$2,179 \text{ g/cm}^3$	18,8 cm	8,33	6,76	17,61
R2	$2,184 \text{ g/cm}^3$	19,45 cm	8,50	7,33	14,41

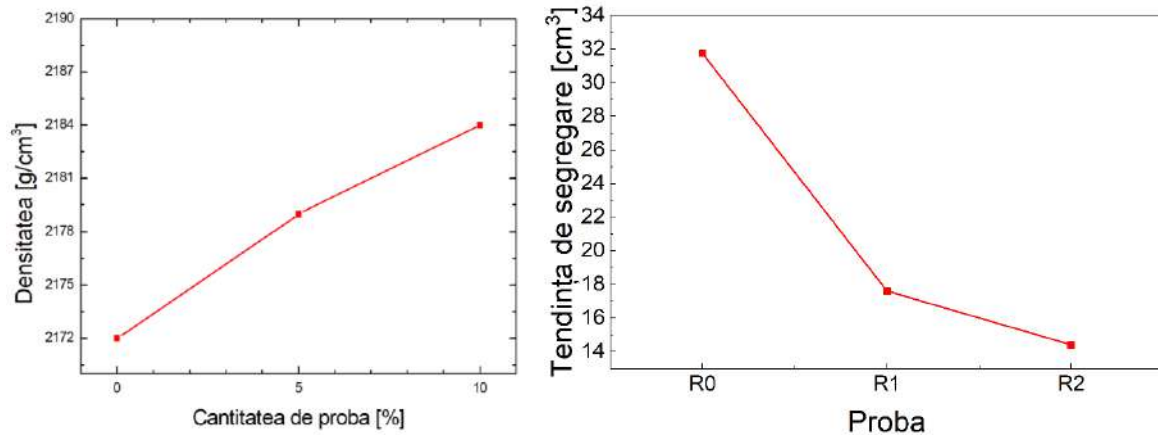


Fig. 3 Determinarea densității în funcție de proba (stânga) și tendința de segregare (dreapta).

Rezistența la încovoiere și compresiune a fost monitorizată la intervale de 3, 7 și 28 de zile (Tabelul 3, 4 și 5). Proba R0 (0% sticlă): Evoluează constant, atingând o rezistență la compresiune de $20,91 \text{ N/mm}^2$ la 28 de zile. Proba R1 (5% sticlă) prezintă valori competitive, cu o rezistență la compresiune de $17,78 \text{ N/mm}^2$ la 28 de zile. Iar proba R2 (10% sticlă) demonstrează o performanță foarte apropiată de martor adică (R0), atingând $20,89 \text{ N/mm}^2$ la finalul perioadei de testare. Figura 4 (Rezistența la încovoiere) arată că, deși la 7 zile există o ușoară scădere pentru probele cu sticlă comparativ cu R0, la 28 zile toate probele converg către valori similare, confirmând că substituția de până la 10% nu compromite integritatea structurală a mortarului.

Tabel 3. Determinarea de rezistență mecanică pentru proba R0.

Nr zile	Masa [g]	Încovoiere	Compresiune			
		F [N]	F1 [kN]	R1 [N/mm²]	F2 [kN]	R2 [N/mm²]
3	549,5	1300	19,50	12,18	24,52	15,32
7	543,5	1340	27,69	17,30	29,65	18,53
28	531,4	1975	36,64	22,90	33,47	20,91

Tabel 4. Determinarea de rezistență mecanică pentru proba R1.

Nr zile	Masa [g]	Încovoiere	Compresiune			
		F [N]	F1 [kN]	R1 [N/mm²]	F2 [kN]	R2 [N/mm²]
3	548,1	1350	21,60	21,60	21,64	13,52
7	550,1	1240	25,28	25,28	26,42	16,51
28	532,4	1870	32,23	32,23	28,45	17,78

Tabel 5. Determinarea de rezistență mecanică pentru proba R2.

Nr zile	Masa [g]	Încovoiere	Compresiune			
		F [N]	F1 [kN]	R1 [N/mm²]	F2 [kN]	R2 [N/mm²]
3	563,0	1360	21,47	13,41	22,48	14,04
7	551,7	1180	23,73	14,83	25,70	16,06
28	538,2	1875	34,01	21,25	33,43	20,89

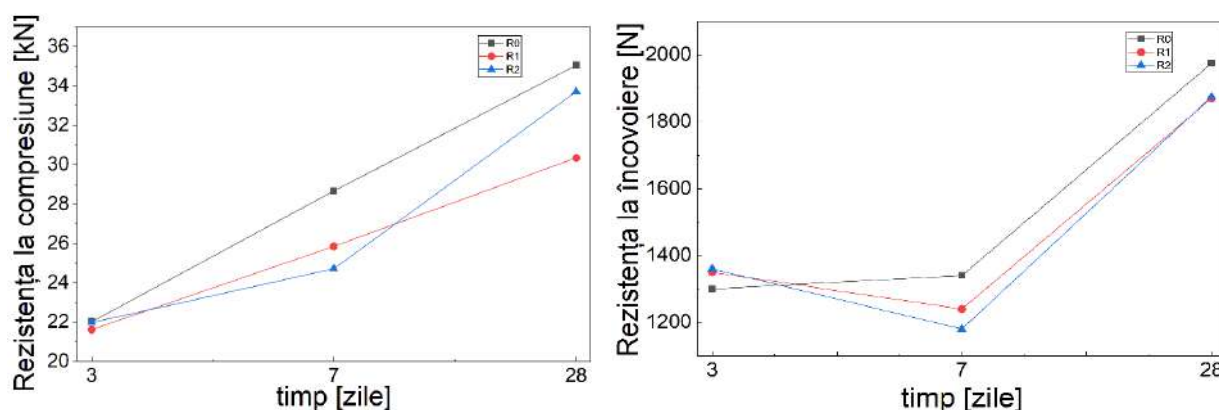


Fig. 4 Rezistența la încovoiere (dreapta) și compresiune (stânga) în funcție de proba.

Analiza prin Rezonanță Magnetică Nucleară oferă o perspectivă asupra distribuției porilor, astfel ca în figura 5 (Distribuția timpilor de relaxare T_2) este prezentat spectrul sticlei provenite din deseuri. Acesta prezintă un vârf (*peak*) dominant la timpi de relaxare mici 10^{-4} secunde ceea ce indică prezența unei distribuții mari de micropori în matricea de ciment. Vârfurile secundare de la timpi mai mari sugerează prezența unor pori capilari de dimensiuni medii. Stabilitatea acestor distribuții confirmă faptul că sticla nu perturbă procesul de hidratare a cimentului, ci contribuie la o structură internă densă.

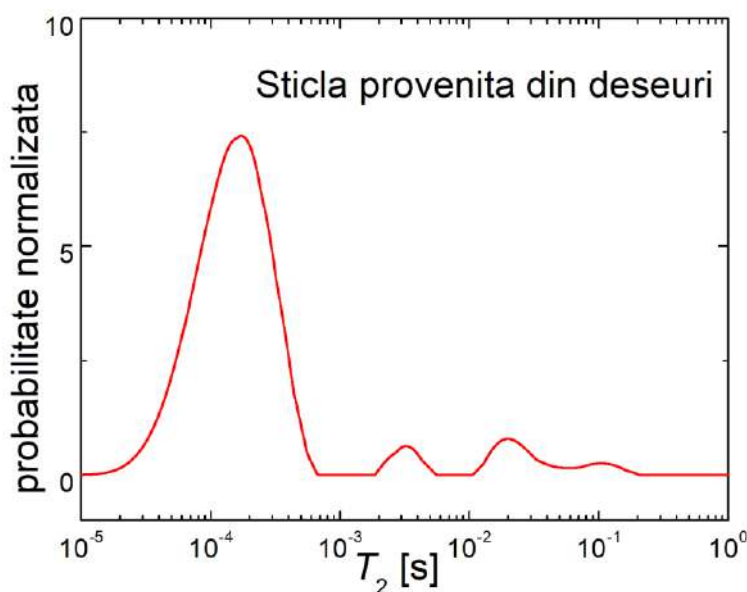


Fig. 5 Distribuția timpului de relaxare T_2 din ^1H RMN pentru sticla provenita din deseuri.

4. Concluzii

Sticla are un bun potențial în a fi utilizată cu scop de a înlocui parțial agregatul natural în mortarele de tencuială. Reducerea semnificativă a tendinței de segregare ajută cu combaterea acumulării de agregat pe fundul recipientelor în care mortarul proaspăt este depozitat, garantând păstrarea omogenității mortarului de-a lungul procesului de aplicare pe pereți. Proprietățile



mecanice ale mortarului nu sunt afectate semnificativ, astfel din acest punct de vedere sticla nu compromite mortarul. Prin simpla măcinare a deșeurilor de sticlă se obține un substituent viabil pentru nisip în industria construcțiilor.

Studiul demonstrează că deșeurile de sticlă provenite din borcane reciclate reprezintă o alternativă sustenabilă și eficientă pentru substituirea parțială a nisipului în mortarele de tencuială. Înlocuirea nisipului cu sticlă măcinată reduce tendința de segregare cu peste 50% (de la 31,73 cm³ la 14,41 cm³), asigurând o omogenitate superioară a mortarului proaspăt. Această observație este susținută de literatura de specialitate, care indică faptul că textura și forma particulelor de sticlă pot îmbunătăți coeziunea internă a amestecurilor cimentoide. Rezistențele mecanice la 28 de zile pentru proba cu 10% sticlă (20,89 N/mm²) sunt aproape identice cu cele ale probei martor (20,91 N/mm²), demonstrând că sticla nu compromite capacitatea portantă a stratului de grund. Analiza RMN confirmă faptul că microstructura mortarelor cu adaos de sticlă rămâne stabilă, tehnica de tip "spin-echo" CPMG evidențiind o distribuție controlată a porilor care susține durabilitatea materialului pe termen lung. Valorificarea sticlei reciclate (estimată la o piață de peste 235 miliarde de dolari global) în industria construcțiilor răspunde necesității de decarbonizare și conservare a resurselor naturale de nisip. În concluzie, utilizarea deșeurilor de sticlă în proporție de 5-10% este nu doar viabilă din punct de vedere tehnic, ci și recomandată pentru obținerea unor materiale de construcții mai stabile și ecologice.

BIBLIOGRAFIE

1. <https://www.statista.com/topics/4108/glass/>
2. Dylan D. Furszyfer Del Rio, Benjamin K. Sovacool, Aoife M. Foley, Steve Griffiths, Morgan Bazilian, Jinsoo Kim, David Rooney, Decarbonizing the glass industry: *A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options*
3. Mohamed Amine Ouared, Abdelkader Bougara, Ismail Yurtdas, Rodica-Mariana Ion, Said Beldjilali, Nordine Leklou, *Comprehensive Analysis of Gypsum Mortar with Glass Waste Aggregates as a Substitute for Sand*
4. <https://www.statista.com/chart/23693/industrial-sand-gravel-production-extraction/>.
5. Claudiu Aciu, Baniela Lucia Manea, Alexandru Gheorghe Netea, *Building Materials and Applied Chemistry*, 2nd Ed, Cluj-Napoca, 2013
6. Cadar D., Moldovan D., Jumate E., Popa F., Fechete R. *Structural and dynamic characterization of two-component waterproof mortars by ¹H NMR, FT-IR, mechanical and SEM investigations*. Construction and Building Materials, 378, 131171, 2023.



UTILIZAREA LÂNII DE OAIIE ÎN COMPONENTA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII

Autor/autori

Dănuț-Vali GUIU, Ionuț-Alexandru IOZSA

¹Facultatea de Construcții Timișoara, Universitatea Politehnica Timișoara, e-mail: guiudanuvai@gmail.com

²Facultatea de Construcții Timișoara, Universitatea Politehnica Timișoara, e-mail: ionutalexandruiozsa@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Cătălin BADEA

³Facultatea de Construcții Timișoara, Universitatea Politehnica Timișoara, e-mail: catalin.badea@upt.ro

REZUMAT: Scopul lucrării este de a utiliza lâna de oaie în domeniul materialelor de construcții și de a studia compatibilitatea acesteia cu diverși lianți. Pornind de la studiul din cadrul Simpozionului Național Studențesc Building Construct, am urmărit perfecționarea probelor cu îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice. Soluțiile adoptate în acest studiu constau din paste realizate cu ciment, argilă și ipsos în care s-a introdus lână, tăiată la diferite dimensiuni cât și modalități diferite de realizare a probelor. Finalitatea lucrării se bazează pe posibilitatea fabricării unor plăci cu o ductilitate și o rezistență sporită față de o pastă simplă, fără armare.

Cuvinte-cheie: lână de oaie, termoizolație, sustenabilitate, ipsos, ciment, argilă.

1.Introducere

Lâna de oaie este o fibră naturală obținută în urma tunderii periodice a oilor, având utilizări diverse, în principal în industria textilă, în materie de haine și decorațiuni casnice, fiind prelucrată în mod corespunzător. Aceasta mai poate fi folosită în construcții, în principal ca izolator sau ca fibră în compoziția mortarelor de reparație a clădirilor istorice [1].



Figurile 1 și 2. Izolație cu lână de oaie

În domeniul ingineriei civile, lâna se deosebește de celelalte materiale izolatoare prin faptul că nu întreține arderea, este higroscopică și hidrofobă, are capacitatea de a curăța aerul și de a regla umiditatea [2], mai ales în termosisteme pe bază de finisaje naturale și, nu în ultimul rând, reprezintă o variantă sustenabilă de izolant [3]. Deși România se află în topul țărilor europene producătoare de lână, în construcțiile din țara noastră această resursă naturală e utilizată la scară redusă, comparativ cu alte state europene. Acest fapt se întâmplă din pricina capacităților reduse

de prelucrare a lânii pentru sisteme termoizolatoare. De multe ori, proprietarii fermelor de oi ajung să risipească această resursă pe fondul lipsei de profitabilitate în valorificarea ei.

Vijaykumar Guna și echipa a identificat faptul ca plăcile din ipsos pentru tavan fals sunt sensibile la impact și la umiditate, propunand armarea acestora cu materiale naturale [4].

O altă posibilă utilizare a lânii de oaie, propusă de către 6. Cornelia-Florentina DOBRESCU, este în stabilizarea pământurilor argiloase [5].

În vederea protejării lânii de mediul alcalin al cimentului și pentru conlucrarea acestora, se recomandă tratarea fibrelor cu o soluție diluată de silicat de sodiu, iar pentru protejarea integrității lânii în interiorul materialului pe durată îndelungată se recomandă tratarea ei cu săruri de bor [6].

Studiul nostru dorește să ofere o perspectivă diferită asupra lânii de oaie, integrând-o în matricea materialelor de construcție moderne, grație avantajelor ei și a comportării acesteia cu lianți consacrați precum cimentul Portland, ipsosul sau argila.

1.1 Clasificarea probelor după liant

În anul 2025 s-a realizat un studiu experimental în cadrul Simpozionului National Studențesc Building Construct 2025 [7] în care s-au testat probe realizate cu ciment, apă, nisip și lână. Deoarece nisipul s-a separat de restul materialelor componente și nu patrundea printre fibrele de lână, s-a renunțat la acesta pentru probele următoare.

În acest studiu experimental, probele au fost realizate din pastă (liant și apă), lână și aditiv.

Probele obținute se pot clasifica în următoarele grupuri:

- Grup 1 (G1): liant=ciment;
- Grup 2 (G2): liant=ipsos;
- Grup 3 (G3): liant=argilă + 10% ciment.

1.2 Materiale utilizate. Tehnologii de realizare.

Pentru realizarea rețetelor probelor s-au folosit următoarele materiale:

- lână de oaie spălată cu un degresant ușor - detergent de vase - în apă la temperatura de aproximativ 50 de grade Celsius, netratată cu alte substanțe și uscată (Figura 1). Lâna a fost utilizată la Grupul 1.



Figura 3. Lâna spălată

- lână de oaie spălată în apă la aproximativ 60 de grade Celsius, cu detergent de vase și degresant universal (de bucătărie) pentru eliminarea cerurilor naturale. Ulterior clătirii,

aceasta a trecut succesiv printr-o soluție de oțet cu apă și bicarbonat de sodiu cu apă pentru eliminarea mirosului rezidual și a impurităților.



Figura 4. Lână degresată



Figura 5. Lână în soluție cu bicarbonat de sodiu



Figura 6. Lână în soluție cu oțet

După curățare, fibrele de lână au fost dispuse uniform pe o suprafață cu goluri pentru a permite uscarea naturală. La final, am tratat 330 g de lână cu o soluție formată din 3 părți apă și 1 parte silicat de sodiu (folosită la G2.1 și G3), iar separat pentru 285 g de lână, s-a folosit o diluție de 1 parte amorsă antimucegai și 5 părți apă (la G2.2).



Figura 7. Textura lânii la uscare



Figura 8. Lână în soluția de silicat de sodiu



Figura 9. Lână în soluția cu amorsă antibacteriană

- ciment Portland gri, clasa de rezistență **CEM II/A-LL 42,5 R**;
- ciment Portland alb, clasa de rezistență **I 52,5 R**;
- ipsos pentru construcții;
- pământ argilos (cu mici impurități);
- aditiv superfluidizant ADIUM 150, produs de către ISOMAT;
- sare de lămâie pentru mărirea duratei de priză a ipsosului.

2. Studiu de caz

2.1 Grupul 1 (G1): liant = ciment

Compoziția Grupului 1 se prezintă în Tabelul 1.

Tabelul 1. Rețete pentru Grupul 1

Grup	Ciment (g)	Apă (g)	Lână trecută în lapte de var (g)
G1.1	450	225	15
G1.2	450	225	27
G1.3	450	450	27

Pentru G1.1, G1.2 și G1.3 lâna netratată inițial a fost imersată într-o pastă diluată de lapte de var și adăugată în material fără uscare în prealabil.

Pentru G1.1 și G1.2 fibrele s-au amestecat manual în vasul cu pastă de ciment, despărțind la nevoie segmentele adunate neuniform. Se remarcă dificultatea de obținere a unui amestec omogen din pricina aglomerării lânii. Fibrele s-au introdus în totalitate în tipare, iar restul cantității de material s-a adăugat până la umplerea completă a tiparelor.



Figura 10. Dozarea fibrelor Figurile 11 și 12. Despărțirea fracțiunilor aglomerate Figura 13. Turnarea în tipar

2.2 Grupul 2 (G2): liant = ipsos

Compoziția Grupului 2 se prezintă în Tabelul 2.

Tabelul 2. Rețete pentru Grupul 2

Grup	Ipsos (g)	Apă (g)	Lână tratată cu silicat de sodiu (g)	Lână tratată cu amorsă (g)	Sare de lămăie (g)
G2.1	1000	600	15	-	2
G2.2	1000	600	-	20	2

Pentru G2.1 s-a tăiat lâna (tratăată cu soluția de silicat de sodiu) în bucăți de aproximativ 6 cm lungime și s-a dispersat ușor în pasta de ipsos pentru a permite pătrunderea amestecului prin golurile lânii.



Figura 14. Tăierea lânii



Figura 15. Lungimea fibrelor



Figura 16. Amestecarea manuală

Am pus lâna în vasul în care am amestecat manual compoziția, având în vedere acoperirea integrală a fibrelor cu material și despărțind fracțiunile de lâna pentru evitarea aglomerării. La același grup s-a optat apoi pentru o îndesare compactă a fibrelor printr-o turnare succesivă a straturilor de pastă de ipsos, lâna fiind tăiată la o lungime de aproximativ 3 cm, așezându-se în mod răsfirat pentru a preveni segregarea și aglomerarea amestecului. După plasarea fiecărui strat, s-a încorporat manual lâna în amestec pentru acoperirea întregii suprafețe a fibrelor.



Figura 17. Dimensiunea lânii



Figura 18. Dispunerea straturilor succesive

La G2.2 am crescut dozajul de lâna (tratăată cu amorsă antibacteriană) cu 5 g pentru a obține probe mai înțesate, cu rezistențe mecanice superioare, păstrând metoda turnării pe straturi. S-au despărțit fracțiunile de lâna pentru a evita neuniformitatea și golurile de aer.



Figura 19. Turnarea primului strat de ipsos



Figura 20. Așezarea stratului cu lâna

2.3 Grupul 3 (G3): liant = argilă + 10% ciment

Compoziția Grupului 3 se prezintă în Tabelul 3.

Tabelul 3. Rețetele pentru Grupul 3

Grup	Argilă (g)	Ciment (g)	Apă (g)	Lână (g)	Aditiv superfluidizant (g)
G3.1	1000	100	450	15	2
G3.2	1000	100	450	10	2

S-a utilizat o cantitate mare de apă (45%) din masa argilei.

Pentru ambele grupuri s-a urmărit omogenizarea aditivului superfluidizant în 100 g de apă, urmată de adăugarea cimentului pentru activarea argilei, care s-a adăugat treptat, turnându-se apoi restul de 350 g de apă pentru a obține o consistență asemănătoare cu ipsosul.



Figurile 21 și 22. Presărarea argilei și amestecarea compoziției



Figura 23. Îmbinarea conținutului

Așezarea compoziției finale s-a făcut cu o oarecare dificultate din pricina consistenței mai ridicate a amestecului cu argilă decât cea a ipsosului, fiind necesară o presiune mai mare de apăsare pentru a obține dimensiunile dorite. Din acest considerent, G3.2 s-a realizat cu 10 g de lână, în aceeași manieră, sesizându-se că nu e necesară aceeași presiune de apăsare ca la probele precedente pentru finisarea epruvetelor.



Figurile 24, 25, 26. Introducerea în tipar a amestecului

2.4 Încercări pentru Grupul 1 (G1)

Pentru acest grup, decofrarea s-a realizat după 24 de ore în condiții de laborator, apoi s-au așezat probele pe un grilaj pentru a facilita uscarea eficientă și uniformă, în laborator, unde s-au înregistrat o temperatură de 23 de grade Celsius și o umiditate oscilând între 57 și 58%.

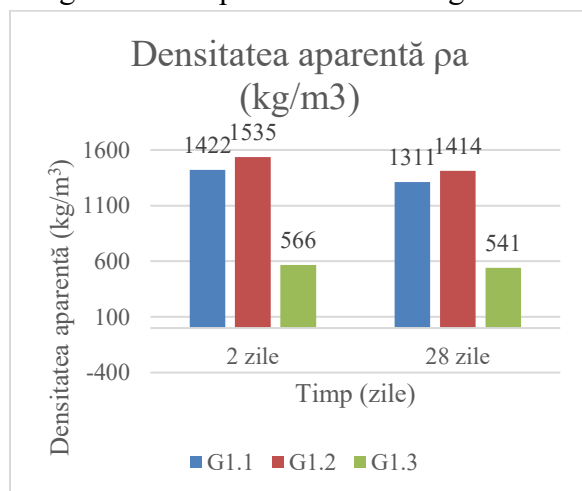


Figura 27. Densitatea aparentă a grupului G1

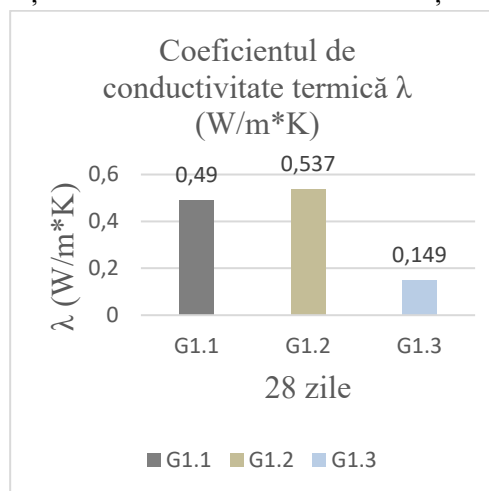


Figura 28. Coeficientul de conductivitate termică λ

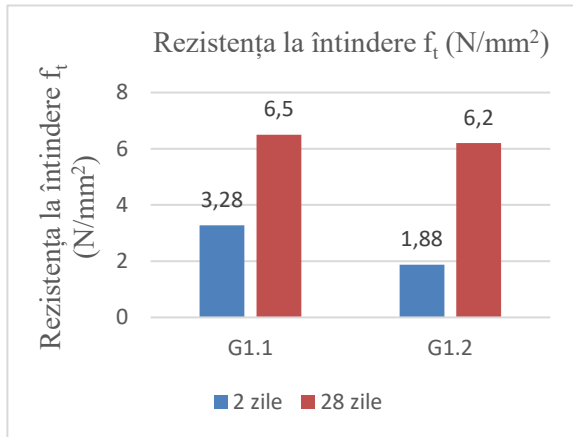


Figura 29. Rezistența la întindere la G1.1 și G1.2

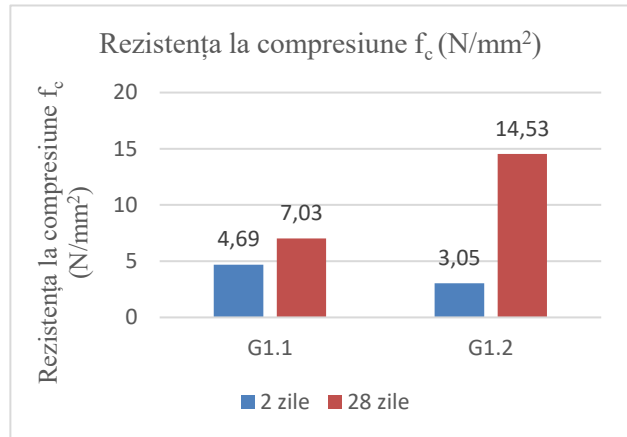


Figura 30. Rezistența la compresiune pentru G1.1 și G1.2

Pentru G1.1 și G1.2 s-au calculat valorile densității aparente, ale conductivității termice teoretice și ale rezistențelor mecanice.

La G1.3, materialul nu a pătruns eficient în masa de lână și nu s-au testat mecanic probele.

Tabelul 4. Caracteristici fizico-mecanice ale grupurilor G1.1 și G1.2

Material		ρ_a (kg/m ³)		f_t (N/mm ²)		f_c (N/mm ²)	
		2 zile	28 zile	2 zile	28 zile	2 zile	28 zile
G1	G1.1	1422	1311	3,28	6,5	4,69	7,03
	G1.2	1535	1414	1,88	6,2	3,05	14,53
	G1.3	566	541				

Fibrele de lână au contribuit la ductilitatea probelor, iar cedarea lor s-a produs treptat, datorită armării acestora, contribuind la distribuirea eforturilor interne. Modul de cedare este asemănător, însă variază valorile maxime ale încărcărilor.



Figura 31. Modul de rupere al probelor
Grupului G1



Figura 32. Epruvetă din G1 supusă
compresiunii



Figura 33. Textura după
secționare

2.5 Încercări pentru Grupul 2 (G2)

S-au determinat parametrii fizico-mecanici pentru probele realizate prin metoda amestecului și a turnării pe straturi – 2 zile și 28 de zile. Probele s-au decofrat după 24 h și au atins stadiul de întărire în atmosfera unui laborator cu umiditate cuprinsă între 56 și 58 % și o temperatură interioară de 21,5 până la 23 de grade Celsius (măsurători în laborator).

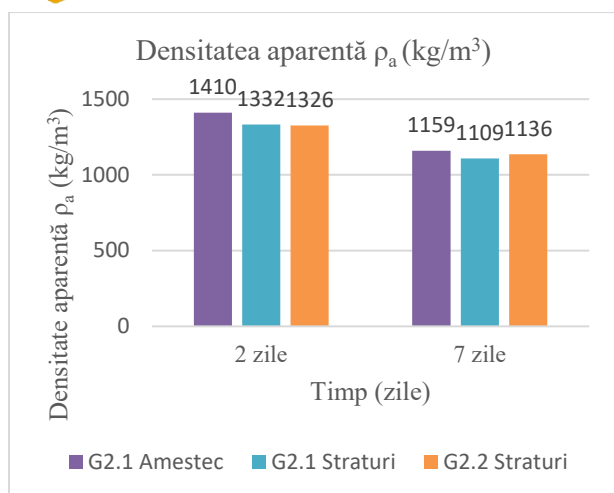


Figura 34. Densitatea aparentă a grupului G2

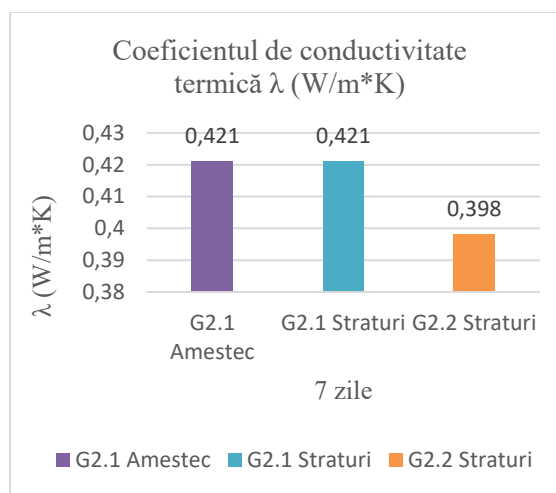


Figura 35. Coeficientul de conductivitate termică λ

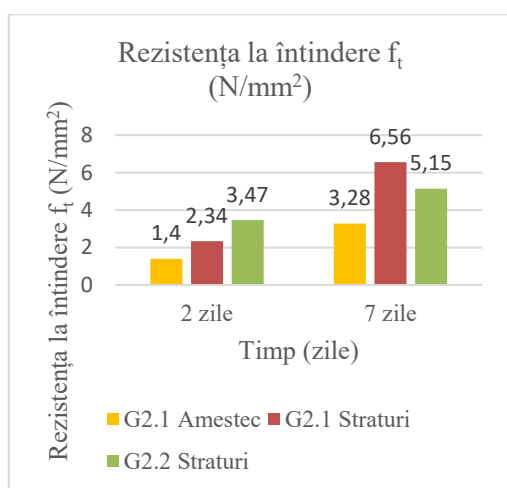


Figura 36. Rezistența la întindere a grupului G2

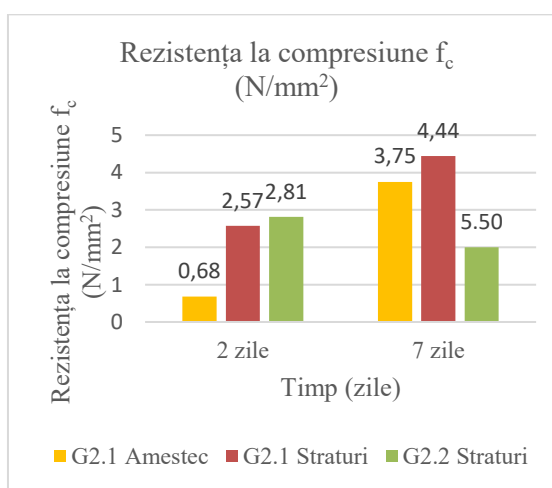


Figura 37. Rezistența la compresiune pentru G2

Tabelul 5. Proprietăți fizico-mecanice pentru G2

Material		ρ_a (kg/m³)		f_t (N/mm²)		f_c (N/mm²)	
		2 zile	7 zile	2 zile	7 zile	2 zile	7 zile
G2	G2.1 amestec	1410	1159	1,40	3,28	0,68	3,75
	G2.1 straturi	1332	1109	2,34	6,56	2,57	4,44
	G2.2 straturi	1326	1136	3,47	5,15	2,81	5,50



Figura 38. Probă din G2 supusă la întindere



Figura 39. Epruvetă solicitată la compresiune pentru G2



Cedarea s-a produs asemănător pentru toate rețelele și modurile de preparare, iar fibrele au îmbunătățit considerabil coeziunea dintre componente. După cedarea la presa hidraulică, pentru a despărți cele două bucăți, nu a fost suficientă forța manuală și s-a recurs la unelte mecanice.

2.6 Încercări pentru Grupul 3 (G3)

În vederea testării comportării mecanice, după 24 de ore s-au decofrat probele și s-au menținut în mediul controlat din laborator, la o temperatură ambiantă de 23 de grade Celsius și o umiditate de 58 %. Testarea pentru G3.1 s-a realizat la 2 și la 7 zile, iar pentru G3.2 la 7 zile.

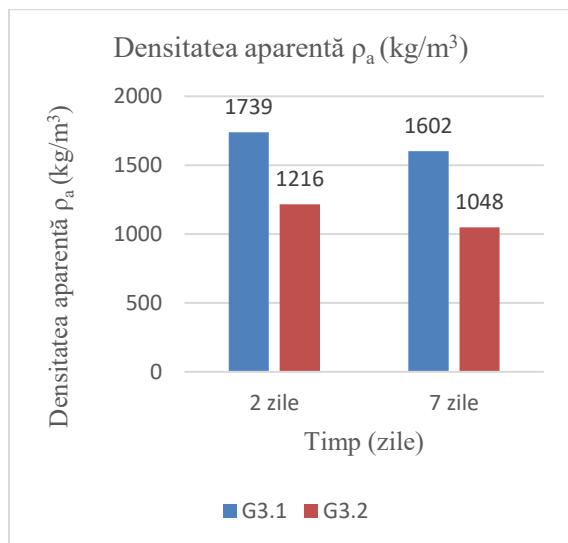


Figura 40. Densitatea aparentă a grupului G3

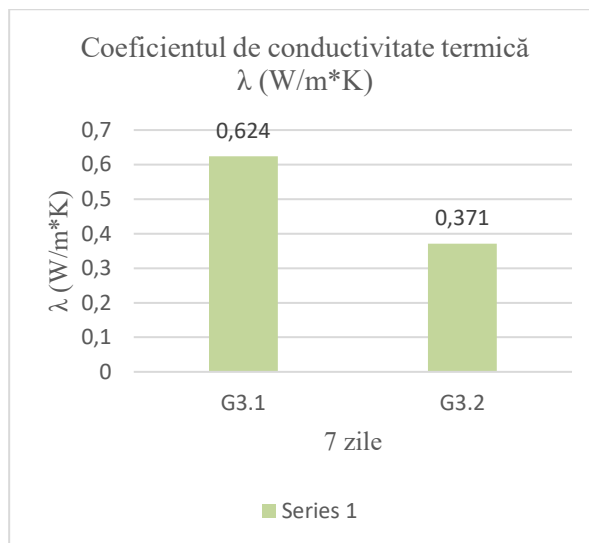


Figura 41. Coeficientul de conductivitate termică λ (teoretic)

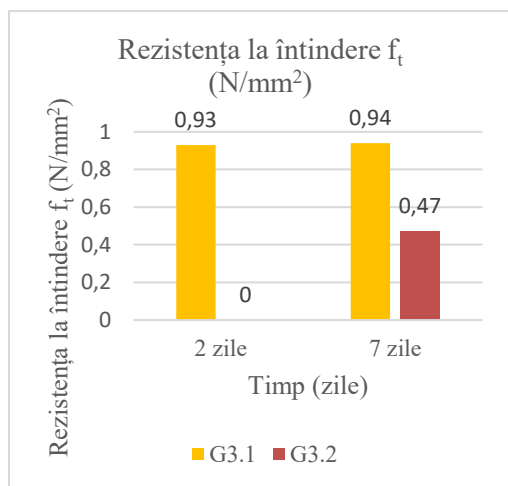


Figura 42. Rezistența la întindere pentru G3

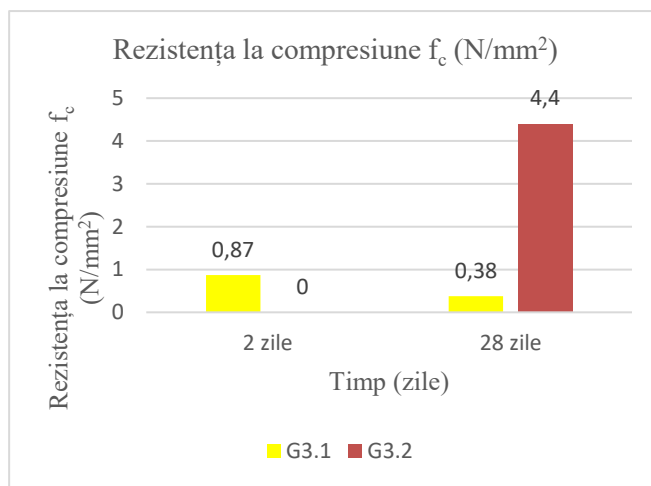


Figura 43. Rezistența la compresiune a grupului G3

Tabelul 6. Caracteristici fizico-mecanice pentru Grupul 3

Material		ρ _a (kg/m³)		f _c (N/mm²)		f _t (N/mm²)	
		2 zile	7 zile	2 zile	7 zile	2 zile	7 zile
G3	G3.1	1739	1602	0,87	0,38	0,93	0,94
	G3.2	1216	1048	-	2,63	-	0,47



3. Concluzii

Un aspect important este faptul că ruperea probelor s-a realizat progresiv, nu brusc. După atingerea valorii maxime a încărcărilor la presă, scindarea în două bucăți a trebuit să se realizeze manual.

Silicatul de sodiu cu care s-a tratat lâna a fost folosit pentru a îmbunătăți coeziunea dintre fibrele de lâna și lianți, având ca scop o integrare mai bună a fibrelor în masa materialului compozit, precum și protejarea lor în timp împotriva agenților de biodegradare.

La metoda turnării pastei de ciment peste masa de lâna s-a observat faptul că amestecul nu a reușit să pătrundă uniform în lâna; astfel, nu s-a realizat o integrare optimă a compoziției și rezistențele mecanice au fost mici.

La metoda amestecării pastei și a lânii extinse în același recipient, s-a observat fenomenul de aglomerare a fibrelor. Deoarece acestea se strâneau toate într-o singură zonă a compoziției, distribuția uniformă a lânii a fost îngreunată.

Metoda turnării pe straturi a fost cea mai eficientă pentru conlucrarea eficientă a lânii cu materialul compozit. Metoda presupune turnarea unui strat de pastă, urmată de aplicarea manuală a unui strat de lâna, repetând procesul până la umplerea tiparului.

Probele din Grupul 1 realizate cu ciment au obținut o rezistență la compresiune peste 14 N/mm² și o rezistență la întindere peste 6 N/mm². Probele din Grupul G2 realizate cu ipsos au realizat rezistențe la întindere și la compresiune peste 5 N/mm². Aceste rețete se pot utiliza la realizarea plăcilor termoizolante (pentru tavan și pereți) cât și pentru elemente de zidărie.

Probele din Grupul G3 realizate cu argilă (stabilizată cu ciment 10%) au atins o rezistență la compresiune 2 N/mm². Se remarcă faptul că, prin utilizarea lânii de oaie ca și armare, s-au anulat contracțiile de uscare ale argilei la utilizarea unei cantități mare de apă de amestecare (45%).

BIBLIOGRAFIE

1. Rüya Kılıç Demircan și echipa, Eco-efficient lime/pumice mortars with sheep wool for heritage restoration: Life cycle and energy savings, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032125002977>.
2. Izolatia din lana ISOLENA – Avantajele izolatiei din lana de oaie.
3. Giusi Midolo și echipa, Recycling of wasted wool fibers from sheep shearing for green building components: A review, , <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524007745>.
4. Vijaykumar Guna și echipa, Wool and coir fiber reinforced gypsum ceiling tiles with enhanced stability and acoustic and thermal resistance, Journal of Building Engineering, Volum 41, 2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221002904>
5. Cornelia-Florentina DOBRESU, [Aplicabilitatea produselor pe baza de lana in amestecuri cu lianti ecologici in ranforsarea structurilor de pamant | Revista Constructiilor](#), nr. 211, pag. 40-42, 2024.
6. Dimitra Exadaktylou, Samuel Kalika, [Wool on the Wall - Critical Concrete](#), 2018.
7. Iozsa Ionut-Alexandru și echipa, Simpozion National Studentesc Building Construct 2025, <https://www.ct.upt.ro/evenimente/files/REVISTA%20BUILDING%20CONSTRUCT%20-%20nr.%207-2025.pdf>.



RELATIA DINTRE ECONOMISIRE ȘI PROIECTARE: SISTEM DE PLANȘEU BIAxIAL CU GOLURI

Dávid ÍLYES¹, Balázs FAZAKAS²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj Napoca ilyes.bo.david@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj Napoca fazakas.le.balazs@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Claudiu ACIU³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj Napoca, Claudiu.Aciu@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: Scopul acestei cercetări este de a determina cât material poate fi economisit prin aplicarea unei metode deja existente, utilizată în practică de secole. Metodele folosite pentru aceasta sunt determinări ale rezistenței fizice, cum ar fi rezistența la încovoiere sau la tracțiune. Ipoteza este că firmele pot economisi cantități semnificative de material și costuri de muncă prin utilizarea unor corpuri din plastic în formă de sfere, integrate în structuri de beton armat. Relația dintre metodele istorice de obținere a celei mai optime structuri, atât din punct de vedere economic, cât și structural, va fi comparată cu această metodă nouă, care permite obținerea în esență a aceluiași rezultat, dar într-un mod mai rapid și mai ușor decât înainte. Determinările vor fi efectuate pe mai multe corpuri miniaturale din beton armat, în care au fost introduse sfere din plastic de dimensiuni corespunzătoare.

Cuvinte-cheie: sferă din plastic, costuri ale materialelor, rezistențe fizice

1.Introducere

Tehnologia plăcilor Bubble Deck este o placă biaxială cu miez gol, inventată în Danemarca. Efectul său revoluționar provine din faptul că înlocuiește esențial partea interioară a plăcii respective cu bile sferice goale (Fig. 1.1.a) sau bile eliptice goale (Fig. 1.1.b). Având în vedere faptul că aceste obiecte sunt plasate în locuri unde placa, realizată din beton armat, nu este supusă niciunei solicitări sau unei solicitări minime, rezistența acestora nu va fi redusă. În plus, costul materialelor și al manoperei este redus semnificativ. În cazul greutateii proprii a plăcii, sferele sau elipsele goale din polietilenă de înaltă densitate pot economisi până la 35%, 3% din costul total de construcție și produc planșee cu 20% mai rapide decât o placă convențională. [1][2][3]



(a) Hollow spherical balls



(b) Hollow elliptical balls

Fig. 1.1 Bubble Deck samples

2. Relații istorice

În antichitate, mulți constructori au încercat să realizeze clădiri în forme și figuri noi și revoluționare, dar când s-au confruntat cu problema extinderii la un nivel mai mare, cum ar fi catedralele gotice de la mijlocul până la sfârșitul secolului al XII-lea, singura soluție posibilă părea să fie contraforturile volante (Fig.2) . Aceste structuri își păstrează importanța și astăzi, deoarece au oferit o soluție pentru spațiile mari, deschise și neîntrerupte din interiorul clădirilor și au inițiat o întreagă gândire despre limitările din domeniul construcțiilor. Acest lucru a fost posibil datorită capacităților lor de distribuire a încărcării. La momentul apariției lor, constructorii aveau două materiale principale de construcție: lemnul și piatra. La scara la care arhitectura din epoca gotică dorea să construiască, lemnul nu era o opțiune gestionabilă, așa că soluția se afla evident în limitele capacităților pietrei. Cea care iese în evidență este rezistența la compresiune. În arcul catenar, cunoscut și sub numele de arc perfect, sunt prezente doar forțe de compresiune, subliniind, de asemenea, cât de potrivită era utilizarea acestei formațiuni structurale la acea vreme. Spațiile foarte largi, înalte și deschise din interiorul catedralelor au oferit, de asemenea, un efect cultural și psihologic, creând emoția de admirație și auto-însemnătate în vizitator în raport cu religia și zeul.

Zidurile de susținere, atașate de laturile clădirilor prin contraforți, au permis restului clădirii să fie mai subțire și mai ușoară, ceea ce reduce în mare măsură greutatea proprie, timpul și costurile de construcție. Mai mult, contraforții nu au fost întotdeauna soluția pentru această problemă, ci mai degrabă o nouă formă de ziduri de susținere (Fig.3). În acest sens, conștientizarea faptului că, din punct de vedere structural, nu toate punctele unui perete sau ale unei plăci sunt supuse solicitărilor a fost și este ideea principală pe care se bazează metodele de economisire. Contraforții și tehnologia punții cu bule urmează același principiu de rezultat maxim pentru cel mai mic timp, muncă și resurse.[4][5]



Fig. 2 Contrafort zburător



Fig. 3 Contrafort

3. Poziționare

Problema găsirii locurilor potrivite pentru sfere sau elipse în structura de beton poate fi rezolvată prin diferite metode. Faptul că corpurile goale trebuie menținute într-un anumit loc înseamnă că va crește costul armăturilor. Cerințele de proiectare ale acestor plăci vor trebui adaptate la aceste noi condiții. La Universitatea Tehnică din Darmstadt (TUD) din Germania, cercetările au arătat că se observă o reducere a rezistenței la forfecare de 0,55, în timp ce la

Universitatea din Pretoria au ajuns la o valoare de 0,85 atunci când se ia în considerare armătura de oțel care a ținut bilele la locul lor.

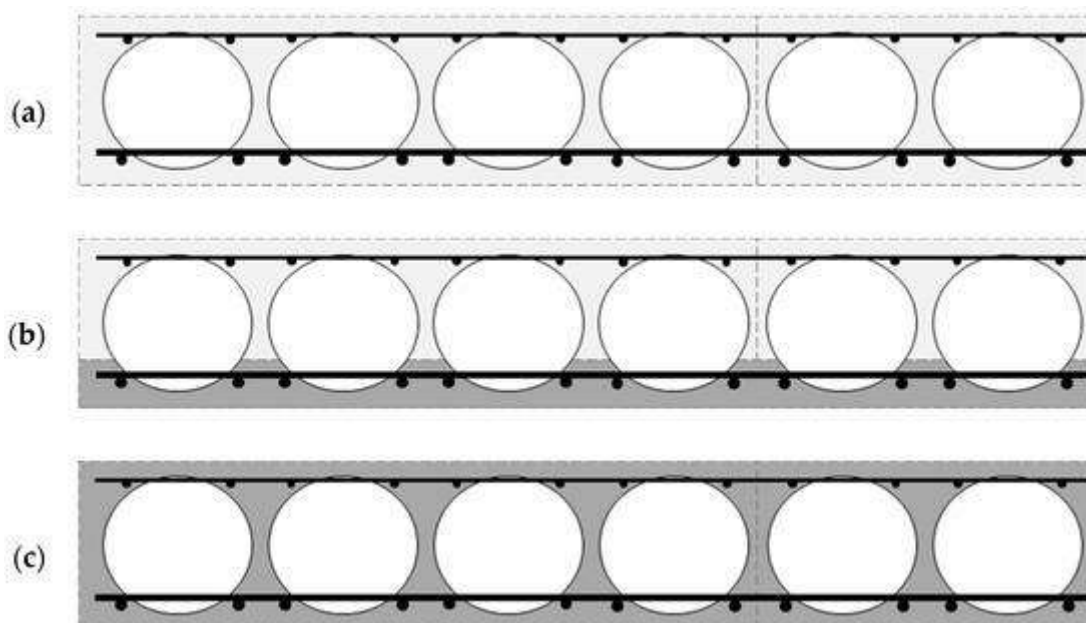


Fig 4. Tipuri de punți cu bile: (a) element pe loc, (b) element semi-prefabricat și (c) element complet prefabricat

4. Forța fizică

Tehnica plăcilor cu bile este aplicată în conformitate cu normele și reglementările locale în construcții, astfel încât, atunci când este finisată și supusă unor solicitări atât de tip excepțional, cât și normal, aceasta se comportă ca o placă convențională, atât din punct de vedere elastic, cât și plastic. Datorită acestui fapt, această metodă neconvențională poate suporta aceleași încărcări ca oricare alta, economisind în același timp sume semnificative la costuri și manoperă. Acest lucru este posibil datorită geometriei optimizate și a bulelor sferice care alcătuiesc structura interioară, astfel încât fiecare parte a acesteia este implicată și relevantă în calculul impactului diferitelor tipuri de forțe. Atunci când se abordează matematic aceste tipuri de evaluări, starea limită ultimă (ULS) și starea limită de serviciu (SLS) sunt cele două puncte principale de interes. Primul determină modul în care elementul este capabil să reziste la încărcări. De obicei, în cazul plăcilor cu bile, această determinare se face prin analiză și calcul structural, acordând o atenție excepțională rezistenței la încovoiere, capacității de forfecare și capacității de a distribui eficient încărcările. [6]

4.1 Comparație

Prin cercetările efectuate de Hussain A. Jabir, Jasim M. Mhalhal și Thaar S. Al-Gasham putem observa că ULS și SLS sunt afectate, dar nu într-un mod dramatic. Plăcile testate într-o determinare au avut raporturile dintre deschiderea la forfecare și înălțimea efectivă (a/d) controlate și variate pentru a putea trage o concluzie utilă.[7].



Group	Slab	Type	a/d ratio	Nominal strength	
				Flexural, Pf, kN	Shear, Ps, kN
1	S2	Solid	2	116	36
	S3.5		3.5	66	36
	S5		5	46	36
2	B2	Bubble	2	116	29.5
	B3.5		3.5	66	29.5
	B5		5	46	29.5

Fig.5 Comparație privind rezistența la încovoiere

După efectuarea unor determinări, au concluzionat că „S2 și B2 au cedat la cele mai mari încărcări de colaps dintre toate plăcile. Sarcina finală a lui S2 a fost cu 90,8% și 158,3% mai mare decât cea a lui S3,5 și respectiv S5. Pentru plăcile cu bule, B2 a cedat din cauza unei încărcări cu 126% și 153,3% mai mari decât B3,5 și respectiv B5”.

Group	Slab	Ultimate load (kN)	Service stiffness (kN/mm)	Ductility index	Toughness (kN.mm)
1	S2	124	7.1	4.7	2602
	S3.5	65	5.2	3.0	738
	S5	48	4.4	5.6	1058
2	B2	95	7.03	1.82	692
	B3.5	42	4.5	1.83	255
	B5	37.5	4.2	2.0	198

Fig.6 Analiza duritate, ductilitate, rigiditate[7]

5. Concluzii

Sistemul de plăci cu bule este o tehnologie utilizată de mulți ani și dovedită prin încercări și practică că poate rezista la încărcări și solicitări semnificative, oferind în același timp oportunități pentru proiecte de construcții mai ușoare și mai rentabile. Nu numai că oferă soluții la provocările moderne, dar creează și o punte între principiile vechi de construcție și necesitățile moderne, armonizând funcționalitatea inginerilor civili din trecut cu cea de astăzi.

BIBLIOGRAFIE

1. A Review of Comparative Study between Conventional Slab and Bubble Deck Slab, Rahul Biradar ,Vishwa Nikam , Prof. Sagar Sonawane , Volume: 07 Issue: 01 | Jan 2020



2. Structural Behaviour of Bubble Deck Slab, Sanket Bejgamwar , Aditya Kate ,Pravin Dahihande , Onkar Gurav, Ramakant koshti, Volume: 07 Issue: 05 | May 2020
3. Structural behavior of BubbleDeck® slabs and their application to lightweight bridge decks, Thesis (M. Eng.)-Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering, 2010.
4. What Is a Flying Buttress in Architecture?, Janet Mutege, Updated on February 20, 2024,CK
- 5.Britannica, flying buttress architecture
6. Optimal Design of Bubble Deck Concrete Slabs: Serviceability Limit State by Tomasz Gajewski, Natalia Staszak ,Tomasz Garbowski Materials 2023, 16(14), 4897
- 7.Conventional and bubbled slab strips under limited repeated loads: A comparative experimental study, Hussain A. Jabir, Jasim M. Mhalhal, Thaar S. Al-Gasham, June 2021, e00501



STUDIU COMPARATIV PRIVIND INFLUENȚA ARMĂRII DISPERSE A BETONULUI

Autori

Andrei-Anton MIȚIN¹, Ionuț-Andrei MĂRGAN², Mario-Nicolae RÎNDAȘU³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnică Timișoara, e-mail: andrei-anton.mitin@student.upt.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnică Timișoara, e-mail: ionut-andrei.margan@student.upt.ro

³Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnică Timișoara, e-mail: mario-nicolae.nebunu-rindasu@student.upt.ro

Îndrumător

As.Dr.Ing. Viorel-Constantin TODEA⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnică Timișoara, e-mail: viorel.todea@upt.ro

REZUMAT: Acest studiu prezintă analiza comparativă a unor soluții de armare a betonului, în scopul îmbunătățirii performanțelor mecanice utilizând armături sub formă de fibre, disperse, în diferite scheme de armare. Sunt utilizate fibre metalice cu un dozaj constant și microfibre polimerice, transpuse în diferite procente de armare. Șase epruvete realizate sub formă prismatică au fost testate experimental, în scopul înregistrării rezistențelor mecanice la întindere a betonului. În urma înregistrării rezultatelor, s-a putut observa faptul că fibrele înglobate în beton prezintă o influență semnificativă atât în modificarea consistenței betonului precum și a capacității de deformare post-fisurare a acestuia. Betonul armat dispers utilizând fibre metalice sau de polipropilenă poate fi utilizat în cazul construcțiilor precum: centrale nucleare, structuri rutiere și aeroportuare, construcții speciale (spitale, termocentrale), pardoseli industriale și platforme, precum și în lucrări de reparații și consolidări.

Cuvinte cheie: fibre metalice, fibre de polipropilenă, lucrabilitate, rezistențe mecanice

1. Introducere

Betonul este un material de construcție neomogen, sub forma unui conglomerat artificial care se obține prin întărirea unui masiv de ciment, apă și agregate. Betonul ca și rocile naturale, prezintă rezistențe mari la compresiune și rezistențe reduse la întindere (aproximativ 0,1 - 0,2 din rezistența la compresiune) având și capacități de deformare limitate (deformații specifice 1 - 3 mm/m la compresiune uniformă și între 0,1 - 0,2 mm/m la întindere). Sub sarcini de scurtă durată betonul se deformează elastic până la înregistrarea fisurilor, iar atunci când sarcinile acționează pe timp îndelungat apar și deformații de curgere lentă de natură vâscos-plastică [1]. Pentru îmbunătățirea comportării betonului și pentru reducerea acestor neajunsuri, este necesară armarea betonului utilizând armături. Armăturile sunt realizate de cele mai multe ori din oțel moale (cu conținut redus de carbon), alcătuite sub formă de bare rotunde netede, bare cu profil periodic sau profile laminate sub formă de armături rigide. Oțelul din care sunt confecționate armăturile poate fi cu palier distinct de curgere sau ecruisat. Printre armăturile uzuale întâlnite pentru armarea elementelor structurale din beton armat, se enumeră și armăturile sub formă de fibre, care sunt introduse în masa betonului pentru a-i îmbunătăți proprietățile mecanice și comportarea în exploatare a acestuia. Principalele tipuri de fibre utilizate sunt: fibre metalice, fibre polimerice, fibre de sticlă, fibre de carbon sau fibre naturale (câneapă, bazalt etc.).



Acestea pot prezenta forme diverse: liniare, ondulate sau prevăzute cu ciocuri la extremități, precum și rapoarte diferite între lungime și diametru, cuprinse de obicei între 30 și 100. Cel mai des utilizate fibre pentru armarea betonului sunt fibrele metalice sau polimerice utilizate frecvent pentru pardoseli industriale, platforme și drumuri din beton, elemente prefabricate etc.

În mod obișnuit, în amestecul de beton proaspăt este introdus un singur tip de fibre, în funcție de performanțele urmărite. Utilizarea acestor fibre, atât individual, cât și în combinații hibride, influențează proprietățile mecanice ale elementelor din beton armat cu fibre [2].

În cadrul prezentului studiu, obiectivul principal îl constituie investigarea utilizării în amestec a fibrelor metalice și a fibrelor de polipropilenă, în doze diferite, pentru armarea betonului, în scopul evaluării comportării acestuia atât în stare proaspătă, cât și în stare consolidată. În acest sens, au fost realizate șase epruvete prismatice cu dimensiunile de 500x100x100 mm, menținând constantă cantitatea dozată de fibre metalice pentru fiecare epruvetă și variind exclusiv conținutul fibrelor de polipropilenă, în diferite doze. Epruvetele rezultate au fost supuse unor teste la încovoiere în trei puncte, urmărindu-se determinarea rezistenței la întindere ale betonului întărit.

8. Materiale utilizate și metoda de încercare

Pentru confecționarea epruvetelor prismatice din beton s-a ales, ca referință, clasa de rezistență C35/45, respectiv clasa de consistență prin tasare S4. În acest scop, s-a utilizat ciment Portland de tip CEM II/B-LL 42,5 R [3], caracterizat prin lucrabilitate bună și rezistență finală ridicată. Au fost folosite agregate de balastieră, sortate pe fracțiuni granulometrice de 0–4 mm, 4–8 mm și 8–16 mm. Raportul apă/ciment aferent rețetei de beton a fost stabilit la $A/C=0,50$. În compoziția amestecurilor s-au introdus fibre metalice cu lungimea de 13 mm [4], diametrul de 0,2 mm și rezistența caracteristică la tracțiune de 2750 N/mm² precum și fibre de polipropilenă de culoare albă [5], cu lungimea maximă de 12 mm și rezistența la rupere de peste 300 N/mm². Cantitatea de fibre rezultate s-a evaluat considerând ca referință dozajul echivalent de 15 kg/m³ de fibre metalice respectiv 0,6-1,80 kg/m³ în cazul fibrelor de polipropilenă. În total, au fost confecționate șase epruvete din beton, câte două pentru fiecare amestec de materiale, prezentat succesiv în Tabelul 1.

Tabelul 1. Dozajele de materiale utilizate pentru realizarea epruvetelor din beton cu fibre

Nr. crt.	Dozaj	Ciment (g)	Apă (l)	Agregate 0-4 (g)	Agregate 4-8 (g)	Agregate 8-16 (g)	Fibre metalice (g)	Fibre polipropilenă (g)
1	D1	2310	1,155	4033	3024	3024	78,7	3,15
2	D2	2310	1,155	4033	3024	3024	78,7	6,30
3	D3	2310	1,155	4033	3024	3024	78,7	9,45

Fiecare componentă a betonului propus a fost mixată utilizând un malaxor cu amestecare forțată acționat electric. În vederea confecționării probelor s-au utilizat cofraje metalice standardizate cu dimensiuni de 500x100x100 mm. Probele rezultate au fost compactate utilizând o masă vibrantă, materialul fiind adăugat în straturi succesive pentru o compactare corespunzătoare.



a. Fibre metalice

b. Fibre polipropilenă

c. Textură beton proaspăt

Figura 1. Ilustrarea texturii betonului proaspăt în amestec cu fibre metalice și fibre de polipropilenă



Figura 2. Epruvetele rezultate în urma turnării betonului proaspăt și textura betonului consolidat

Probele rezultate au fost supuse la încovoiere simplă, astfel a fost aplicată o forță concentrată cu ajutorul unui cilindru hidraulic dispus centric pe latura superioară a prisme de beton. Testarea s-a realizat prin poziționarea probelor pe 2 reazeme articulate, amplasate la o distanță de 450 de mm între ele. Aplicarea forței s-a efectuat progresiv, până la atingerea stării de cedare a probelor, în vederea determinării rezistențelor mecanice și a modului de fisurare a epruvetelor analizate.

9. Rezultate

Pe lângă determinarea densității în stare proaspătă, evaluările efectuate asupra betonului urmăresc verificarea lucrabilității și a omogenității acestuia înainte de întărire. Pentru aprecierea consistenței, una dintre cele mai utilizate metode de încercare este determinarea tasării cu conul (conul lui Abrams). Această metodă presupune măsurarea tasării amestecului de beton proaspăt după ridicarea unui tipar metalic standardizat care este așezat pe o platformă metalică rigidă (Figura 3).



Figura 3. Determinarea consistenței betonului proaspăt utilizând metoda cu conul



a. Dozaj D1

b. Dozaj D2

c. Dozaj D3

Figura 4. Consistența betonului proaspăt influențată de dozajul de fibre înglobat la amestecare

Tabelul 2. Clasa de tasare înregistrată pentru fiecare rețetă de beton

Nr. crt.	Dozaj	Temperatură mediu ambiant (°C)	Clasa de tasare	Valoare a tasării efective (mm)
1	D1	18	S4	200
2	D2	18	S3	120
3	D3	18	S2	60

Rezultatele înregistrate în urma determinării tasării betonului în stare proaspătă, pentru fiecare rețetă investigată, sunt centralizate în Tabelul 2. Astfel, cantitatea de fibre dozată în prima etapă, corelată cu cantitatea de apă de amestec, a condus la obținerea unui beton încadrat în clasa de consistență S4, în conformitate cu SR EN 12350-2:2009 [6], înregistrându-se o tasare verticală mai mare de 160 mm. Această valoare clasifică amestecul ca beton cu lucrabilitate ridicată. Clasa de tasare S4 este recomandată în special pentru realizarea elementelor structurale cu densitate mare de armare, unde este necesară o bună capacitate de curgere și umplere a cofrajelor, precum și o compactare eficientă în jurul barelor de armătură. Prin creșterea dozajului de fibre de polipropilenă, lucrabilitatea betonului s-a redus semnificativ. Pentru un dozaj de două ori mai mare, clasa de tasare obținută a fost S2, valoarea tasării fiind de aproximativ 60 mm (Figura 4). În acest context, se recomandă utilizarea aditivilor plastifianți sau superplastifianți pentru reglarea consistenței și îmbunătățirea punerii în operă a betonului proaspăt, fără a modifica raportul apă/ciment și fără a afecta performanțele mecanice finale.

Turnarea betonului în conul metalic s-a realizat în trei straturi aproximativ egale pe înălțimea acestuia, fiecare strat fiind compactat prin 25 de împingeri efectuate cu o tijă metalică cu secțiune circulară. Pe parcursul încercărilor nu au fost observate dificultăți semnificative privind compactarea sau finisarea betonului în stare proaspătă.

În timpul malaxării betonului nu au fost înregistrate tendințe de aglomerare a fibrelor sau fenomene de segregare a componentelor amestecului. Dozajele considerate și dimensiunile fibrelor utilizate au favorizat o dispersare uniformă a acestora în masa betonului, așa cum se poate observa în Figura 5. Introducerea fibrelor de polipropilenă influențează în mod direct comportarea betonului în stare proaspătă, în special sub aspectul lucrabilității, însă fără a compromite omogenitatea amestecului sau procesul tehnologic de preparare și turnare.



Figura 5. Distribuția de fibre metalice și polipropilenă pe secțiunea transversală a betonului consolidat

Având în vedere faptul că fibrele înglobate în beton preîntâmpină tendința de fisurare a betonului, pentru studiul de față, s-a evaluat doar rezistența la întindere f_{ct} a betonului analizat. Astfel, epruvetele au fost testate la încovoiere, în trei puncte, prin rezemarea acestora pe două reazeme articulate, fiind solicitate la mijlocul deschiderii de o forță concentrată monoton crescătoare. Distanța între punctele de rezemare considerată a fost de 450 mm. Înainte de testarea efectivă a epruvetelor, s-a măsurat cu exactitate secțiunea transversală, exprimată prin lățime și înălțime, abaterea medie fiind de ± 2 mm.

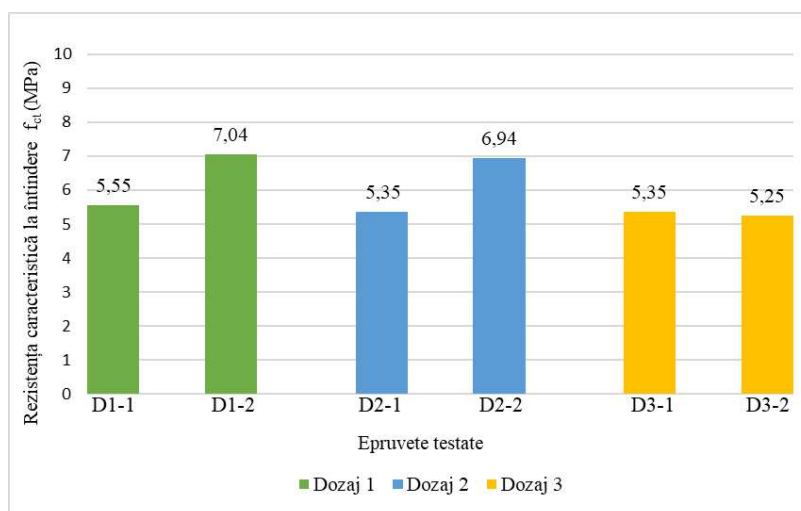


Figura 6. Rezultatele la întindere înregistrate pe epruvetele testate



Capacitățile portante și rezistența la întindere a betonului înregistrate asupra epruvetelor testate în conformitate cu Tabelul 3 sunt relativ asemănătoare (Figura 6). Testarea epruvetelor s-a realizat la vârsta de 21 de zile calendaristice deoarece, în condiții normale de maturare, betonul atinge aproximativ 85–90% din rezistența mecanică de la 28 de zile, ceea ce permite o evaluare relevantă a comportării și compararea compozițiilor studiate într-un stadiu avansat al procesului de hidratare a cimentului. Testarea epruvetelor la vârsta de 21 de zile a fost decisă din cauza constrângerilor de timp asociate programului experimental și termenelor de elaborare/publicare a studiului. Totuși, acest interval este considerat suficient de reprezentativ pentru evaluarea comportării mecanice a betonului, deoarece la 21 de zile materialul dezvoltă cea mai mare parte a rezistenței sale finale.

Probele au fost poziționate astfel încât fața necofrată să fie perpendiculară pe direcția de aplicare a forței concentrate. Rezistența medie la întindere a betonului pentru dozajul D1 este de $f_{ctm,D1}=6,295$ Mpa, pentru dozajul D2 de $f_{ctm,D2}=6,145$ MPa , respectiv D3 de $f_{ctm,D3}=5,3$ MPa. Cedarea epruvetelor sub influența forței aplicate, nu a fost una completă, fisura inițiată în zona întinsă spre zona comprimată având o deschidere limitată inițial, condiționată de procentul de armare generat de prezența fibrelor în secțiunea fisurată. Creșterea procentului de armare utilizând fibre de polipropilenă nu a generat rezultate semnificative din perspectiva rezistențelor, însă se poate spune că în combinație cu fibrele metalice creează o structură compactă, uniformă, asigurând o comportare mecanică superioară betonului. Fibrele înglobate în beton, îmbunătățesc tenacitatea materialului, crescând performanțele post-fisurare ale acestuia.

Tabelul 3. Rezistențele caracteristice la întindere

Nr. crt.	Dozaj	Epruvetă testată	Forța capabilă în momentul cedării F_{max} (kN)	Rezistența caracteristică la întindere f_{ct} (MPa)
1	D1	D1-1	7,40	5,55
2	D1	D1-2	9,38	7,04
3	D2	D2-1	7,13	5,35
4	D2	D2-2	9,25	6,94
5	D3	D3-1	7,13	5,35
6	D3	D3-2	7,04	5,25

10. Concluzii

Studiul de față prezintă aspecte relevante asupra betonului armat dispers utilizând două tipuri de fibre, metalice și de polipropilenă. În baza dozajelor de fibre stabilite, s-a putut înregistra faptul că odată cu sporirea cantității de fibre în beton, lucrabilitatea acestuia s-a redus considerabil, fiind necesară reconstituirea rețetei alese, utilizând aditivi pentru sporirea lucrabilității. Fibrele înglobate în beton, au condus la realizarea unui beton compact, cu o răspândire uniformă, asigurând o comportare mecanică superioară betonului. Fibrele îmbunătățesc tenacitatea materialului, crescând performanțele post-fisurare ale acestuia.



BIBLIOGRAFIE

1. Cadar I., Clipii T., Tudor A., *Beton armat*. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
2. <https://www.intechopen.com/chapters/61087#> , accesat în 25 Aprilie 2026
3. <https://soceram.ro/wp-content/uploads/2025/07/fisa-tehnica-CEM-II-B-LL-425-N.pdf> accesat în 25 Aprilie 2026
4. https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider14/products-documents/1_01119_planitop-hpc_en_1385ffa17a2a407b884f9d9bef37ec91.pdf?sfvrsn=87fc7565_0, accesat în 25 Aprilie 2026
5. https://cdn.dedeman.ro/media/catalog/product/fise-tehnice/romfracht_-_fibre_rowhite_-_microfisuri.pdf, accesat în 25 Aprilie 2026
6. SR EN 12350-2:2009 - Încercare pe beton proaspăt – Partea 2: Încercarea de tasare



MORTAR CU AUTO-RĂCIRE PASIVĂ PRIN EVAPORARE

Autor/autori

Alexia-Adriana TOARCAȘ¹, Rebeca-Alexandra ROȘCA², Maria-Denisa STAN³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail:toarcas.alexia28@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail:rebeca.rosca.10@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail:mariastan422@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Claudiu ACIU¹

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

REZUMAT: Prezenta lucrare investighează dezvoltarea unui mortar inovator cu proprietăți de auto-răcire pasivă, destinat atenuării efectului de insulă de căldură urbană. Soluția propusă se bazează pe integrarea perlit în matricea cimentoasă, materiale capabile să stocheze apa pluvială și să o elibereze controlat prin evaporare sub acțiunea radiației solare. Acest proces termodinamic permite absorbția căldurii latente, reducând semnificativ temperatura la suprafața anvelopei clădirilor. Studiul evaluează performanța termică a unor amestecuri de perlit și aditiv comparativ cu o probă martor, utilizând simulări de expunere solară prin radiație infraroșu.

Rezultatele experimentale indică o scădere constantă a temperaturii suprafeței cu până la 8°C, demonstrând potențialul acestui material de a reduce consumul de energie necesar climatizării spațiilor interioare. Lucrarea subliniază echilibrul necesar între eficiența răcirii și menținerea proprietăților mecanice ale mortarului, oferind o perspectivă sustenabilă pentru construcțiile urbane moderne.

Cuvinte cheie: mortar cu auto-răcire, perlit, răcire prin evaporare, eficiență energetică, insulă de căldură.

1.Introducere

Contextul actual al dezvoltării urbane este marcat de o provocare climatică fără precedent: fenomenul de "Insulă de Căldură Urbană" (Urban Heat Island) [7]. În marile aglomerații urbane, materialele de construcție convenționale, precum betonul, asfaltul și mortarele clasice, acționează ca veritabile baterii termice. Acestea absorb radiația solară cu undă scurtă pe parcursul zilei și o reemit sub formă de radiație infraroșie cu undă lungă, menținând temperaturile ridicate chiar și pe timpul nopții. Această acumulare excesivă de căldură nu afectează doar confortul termic al locuitorilor, ci are și un impact economic devastator. Consumul de energie electrică necesar sistemelor de climatizare crește exponențial, ceea ce duce la emisii mai mari de gaze cu efect de seră, alimentând un cerc vicios al încălzirii globale. Proiectul de față propune o schimbare de paradigmă: transformarea anvelopei clădirii dintr-o barieră pasivă într-un sistem activ de răcire. Inovația constă în utilizarea mecanismului de răcire evaporativă [5], un proces natural întâlnit la plante și la corpul uman, integrat direct în matricea cimentoidă a mortarului de fațadă. Prin utilizarea perlitului transformăm pereții exteriori în structuri capabile să „transpire”, reducând astfel temperatura clădirii fără consum de energie externă.



2. Principiul Teoretic de Funcționare: Răcirea Pasivă prin Evaporare și Dinamica Sezonieră

Baza științifică a acestui mortar inovator se sprijină pe legile fundamentale ale termodinamicii și pe proprietățile fizice avansate ale perlitului. Perlitul expandat este un agregat mineral de origine vulcanică, cu o structură celulară extrem de poroasă, capabilă să rețină în cavitățile sale microscopice cantități semnificative de apă prin capilaritate. Această structură tridimensională permite stocarea umidității în interiorul granulelor, transformând materialul într-un micro-rezervor stabil de apă, gata pentru eliberare prin evaporare[6].

2.1. Mecanismul de Vară: Procesul Endoterm și Schimbarea de Fază

Atunci când precipitațiile apar sau când umiditatea ambientală este ridicată, granulele de perlit expandat dispersate în matricea mortarului acționează ca micro-rezervoare fizice de energie. Datorită structurii lor alveolare și a capilarității ridicate, acestea absorb și stochează apa în interiorul porilor deschiși, fără a modifica volumul macroscopic al mortarului.

În momentul în care radiația solară incidentă lovește suprafața peretelui, temperatura mortarului tinde să crească. În acest punct critic, intervine inovația tehnologică: energia termică absorbită de perete nu se mai traduce direct în creșterea temperaturii structurii, ci este redirecționată către procesul de schimbare de fază a apei stocate în structura poroasă a perlitului. Apa trece din stare lichidă în stare gazoasă prin procesul de evaporare. Deoarece evaporarea este un proces endoterm, aceasta necesită un aport masiv de energie. Această energie este extrasă direct din masa mortarului, scăzând temperatura suprafeței în mod drastic. Practic, căldura care ar fi pătruns în interiorul clădirii este „consumată” pentru a alimenta evaporarea din porii perlitului, rezultând un efect de răcire pasivă constantă și o barieră termică naturală [5].

2.2. Mecanismul de Iarnă: Managementul Înghețului și Protecția Structurală

Deși proiectul vizează în principal răcirea, comportamentul pe timp de iarnă este esențial pentru viabilitatea pe termen lung a materialului. Când temperaturile scad sub 0°C, apa reținută în porii capilari ai mortarului și în interiorul granulelor de perlit îngheață, mărindu-și volumul cu aproximativ 9%.

În acest context, natura specifică a perlitului expandat devine vitală pentru durabilitate. Perlitul, având o structură alveolară complexă, parțial ocupată cu aer, funcționează ca o „cameră de expansiune” microscopică. În momentul înghețului, presiunea hidrolică exercitată de formarea gheții este preluată de acești pori liberi ai perlitului, care permit expansiunea cristalelor de gheață fără a genera tensiuni interne distructive în matricea de ciment. Acest mecanism protejează mortarul împotriva fisurării și exfolierii, oferind o rezistență superioară la ciclurile îngheț-dezghet comparativ cu materialele de construcție clasice.

3. Materiale și Echipamente Utilizate

Realizarea unui mortar cu proprietăți de auto-răcire necesită o selecție riguroasă a constituenților, astfel încât matricea cimentoidă să permită stocarea apei fără a sacrifica



rezistența mecanică a elementului constructiv. În cadrul experimentului, am utilizat următoarele materiale:

3.1. Ciment CS IV [1]

S-a optat pentru utilizarea unui ciment de tip **CS IV** conform standardelor europene de clasificare a mortarelor de tencuire. Acest tip de ciment este recunoscut pentru rezistența sa ridicată la compresiune (peste 6,0 N/mm²), fiind ideal pentru aplicații exterioare care trebuie să reziste la intemperii și cicluri termice.

- **Rol în proiect:** Acționează ca matrice fundamentală care leagă granulele de nisip și aditivii într-un tot unitar.
- **Proprietăți relevante:** Permite o aderență superioară și oferă o bază stabilă pentru integrarea polimerilor super-absorbanți, menținând integritatea structurală chiar și atunci când porii sunt saturați cu apă.



Figură 1 - Cântărirea mortarului

3.2. Nisip (Agregatul)

Agregatul utilizat a fost nisipul cu o granulație adecvată care asigură o bună lucrabilitate.

- **Rol în proiect:** Reprezintă scheletul mineral al mortarului, reducând contracțiile de uscare și asigurând stabilitatea dimensională a plăcilor experimentale.
- **Importanță:** Suprafața specifică a granulelor de nisip influențează direct porozitatea finală, permițând vaporilor de apă rezultați din procesul de evaporare să migreze către suprafața exterioară.



Figură 2 – Cântărirea nisipului

3.3. Apa de Amestec

Apa utilizată a fost apă potabilă, lipsită de impurități organice sau săruri care ar putea inhiba priza cimentului.

- **Funcție duală:** 1.**Hidratare:** Declanșează reacțiile chimice ale cimentului pentru formarea silicaților de calciu hidratați. 2.**Activarea perlit:** Este absorbită instantaneu de polimerul super-absorbant în timpul amestecării, creând acele micro-sfere de gel care vor servi drept "rezervoare de răcire" ulterior.

3.4. Perlitul Expandat (Aditivul Mineral)[4]/[8]

Perlitul este un material silicios vulcanic expandat termic, caracterizat printr-o densitate extrem de mică și o structură celulară poroasă.

- **Rol în proiect:** Acționează ca un agent de ușurare a mortarului și ca un facilitator al procesului de evaporare.
- **Beneficiu tehnic:** Structura sa alveolară permite vaporizarea rapidă a apei stocate și, extrem de important, oferă spații de expansiune pentru gheață în timpul iernii, prevenind fisurarea plăcilor (așa cum am detaliat în principiul teoretic).[6]



Figură 3 - Perlit

3.5. SikaPlast (Aditivul Plastifiant de Înaltă Performanță)[3]

SikaPlast este un aditiv lichid reducător de apă de mare eficiență, bazat pe o tehnologie polimerică avansată.

- **Mecanism de acțiune:** Acesta dispersează particulele de ciment mult mai eficient prin efectul de respingere electrostatică.
- **Necesitate în experiment:** Deoarece perlitul tinde să absoarbă apa și să reducă lucrabilitatea amestecului (făcându-l "vâscos"), SikaPlast a fost introdus (în dozaj de 0,3%) pentru a menține o fluiditate optimă a mortarului fără a adăuga apă în exces, ceea ce ar fi slăbit rezistența finală a materialului.

Tabel 1. Rețete

Materiale	CS IV-1000 [l]	R1-mortar standard 7[l]	R2- 0,2% perlit 7[l]	R3- 0,2% perlit+0,3% aditiv 7[l]
Ciment 42,5 [kg]	385	2,7	2,7	2,7
Nisip[kg]	1550	10,85	10,85	10,85
Apa[ml]	1000	1850	1850	1850
Perlit[g]	-	-	5,4	5,4
Aditiv(SikaPlast)[ml]	-	-	-	8,1

Rețetele au fost concepute pentru prepararea a 7 litri de mortar fiecare. Știind cantitățile necesare pentru 1 m³ de mortar [9], s-a calculat cu regula de 3 simplă necesarul pentru cele trei rețete.

4. 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. [9]

Determinarea consistenței mortarului conform SR EN 1015-3:2001[2] 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. 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.

Tendința de segregare este proprietatea materialelor compozite de a se separa în materiale componente datorită densității și masei diferite a granulelor care le compun în urma șocurilor sau chiar în repaus. Pentru determinarea tendinței de segregare, mortarul s-a introdus într-un 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. După vibrarea mortarului sau după 30 de minute de repaus, mortarul cu apa separată la suprafață se îndepărtează din treimea superioară sau din inelul 1, se omogenizează bine și se determină consistența cu ajutorul unui con tronconic. Conul este lăsat să cadă liber în mortar după care este rotit în jurul axei lui cu 90 grade în partea dreaptă, fără să fie apăsat în mortar. Conul este scos din mortar și este citită adâncimea de penetrare. 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



Figură 4 - Mortarul turnat în tipare

de ore de la turnare, epruvetele au fost decofrate, iar ulterior-la 3,7 și 28 de zile- s-au efectuat testările pentru determinarea rezistențelor mecanice: rezistența la compresiune și rezistența la întindere din încovoiere. În tot acest timp, epruvetele au fost pastrate într-un mediu umed, într-o cutie specială. Tot după 28 de zile s-a efectuat o determinare bazată pe replicarea condițiilor reale de exploatare ale unei fațade urbane supuse fenomenului de încălzire extremă imediat după o perioadă de precipitații. Imersia ulterioară a plăcilor în apă timp de 24 de ore a fost esențială pentru saturarea structurii alveolare a perlitului la capacitate maximă. Astfel, prin absorbție capilară, probele au fost transformate în rezervoare de umiditate, pregătite pentru



declanșarea procesului de răcire evaporativă prin absorbția căldurii latente sub acțiunea radiației solare.

Ulterior, în etapa de expunere la sursa de căldură, plăcile au fost scoase din mediul acvatic și șterse la suprafață pentru a elimina apa liberă, fiind apoi expuse simultan radiației solare directe sub un cer senin care să garanteze un flux termic constant. Această abordare a permis izolarea variabilei principale a studiului, și anume capacitatea materialului de a gestiona termic apa stocată în porii interiori. Monitorizarea termică de înaltă rezoluție s-a desfășurat prin utilizarea unui termometru digital cu infraroșu, măsurătorile fiind efectuate în centrul geometric al fiecărei plăci la intervale de 10 minute pe o durată de o oră. Această monitorizare secvențială a evidențiat cu precizie momentul de activare a procesului endoterm, demonstrând modul în care energia solară este convertită în evaporare pentru a menține suprafața rece, confirmând astfel eficiența compoziției chimice bazate pe perlit în contextul răcirii pasive.

5.Rezultate

În continuare sunt prezentate rezultatele obținute în urma testărilor experimentale, care evidențiază impactul aditivării matricei cimentoase cu perlit expandat asupra proprietăților fizico-mecanice ale mortarului. Studiul urmărește modul în care acest adaos mineral influențează porozitatea deschisă și capacitatea de auto-răcire, fără a compromite stabilitatea structurală asigurată de agregatul standard. Astfel, în Tabelul 2. sunt prezentate consistențele obținute pentru cele trei rețete.

Tabelul 2. Rezultate determinare consistență mortare

Caracteristica		Rețete		
		R0 (standard)	R1-0.2% perlit	R2-0.2% perlit +0.3% aditiv
Diametru	d1 (cm)	21,4	21,4	20
	d2 (cm)	21,6	21,6	20,2
Consistența (cm)		11	11	11
Consistența medie (cm)		11		

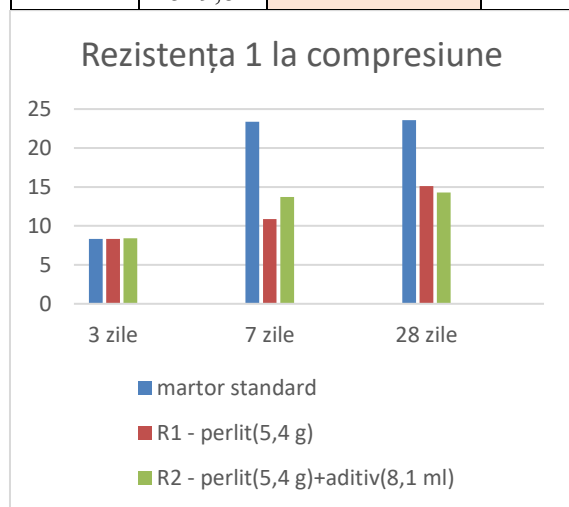
Performanța structurală a mortarului cu auto-răcire reprezintă un parametru critic în validarea rețetelor propuse, deoarece introducerea aditivilor funcționali (perlit) tinde să modifice porozitatea și densitatea matricei cimentuide. Evaluarea comportamentului mecanic a fost realizată prin încercări de rupere la perioade diferite (3, 7 și 28 de zile), conform standardului SR EN 1015-11, urmărind evoluția forței de încovoiere și a rezistenței la compresiune.

Analiza comparativă evidențiază rolul crucial al aditivului în rețeta R2. Acesta nu doar că îmbunătățește lucrabilitatea, dar reușește să compacteze matricea suficient de mult încât să compenseze parțial pierderile de rezistență cauzate de perlit. Rezultatele demonstrează că Proba R2 atinge o rezistență la compresiune la 28 de zile de 16,29 (N/mm²), valoare care, deși inferioară matorului, se situează cu mult peste pragul minim necesar pentru tencuieli structurale, validând astfel materialul pentru utilizarea în construcții.

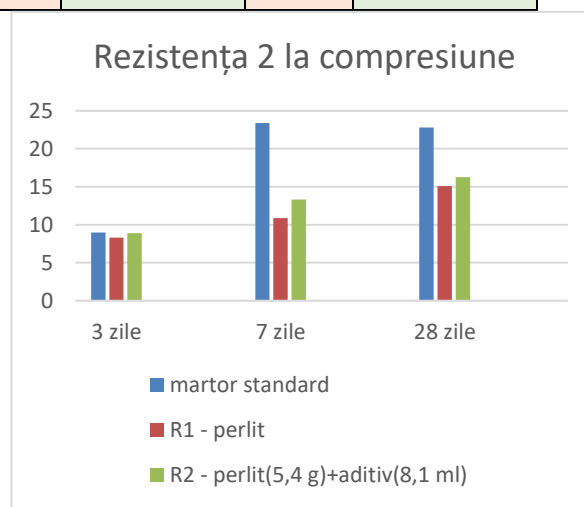
Datele brute obținute în urma procesului de rupere, precum și reprezentarea grafică a evoluției rezistențelor în timp, sunt centralizate în secțiunile următoare:

Tabel 3 - Rezistențe mecanice

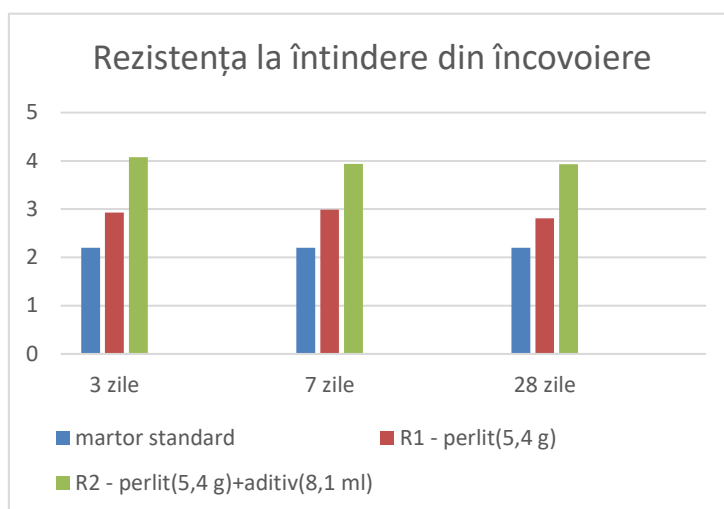
Rețetă	Masa	Încovoiere		Compresiune			
		R _{ti} [N/mm ²]	F[N]	F1[kN]	R1[N/mm ²]	F2(kN)	R2[N/mm ²]
R0	3 zile	2,20	940	13,35	8,34	14,37	8,98
	557,7						
	7 zile	2,93	1250	37,43	23,39	37,43	23,39
	570,8						
	28 zile	4,08	1740	37,74	23,58	36,48	22,80
	590						
R1	3 zile	2,20	940	13,30	8,31	12,82	8,01
	570,6						
	7 zile	2,99	1275	17,39	10,86	20,30	12,68
	544,4						
	28 zile	3,94	1680	24,18	15,11	21,99	13,74
	525,4						
R2	3 zile	2,20	940	13,49	8,43	14,22	8,88
	547,8						
	7 zile	2,81	1200	21,96	13,72	21,32	13,32
	541,5						
	28 zile	3,93	1675	22,89	14,30	26,08	16,29
	529,8						



Figură 5 - Rezistența la compresiune



Figură 6 - Rezistența la compresiune

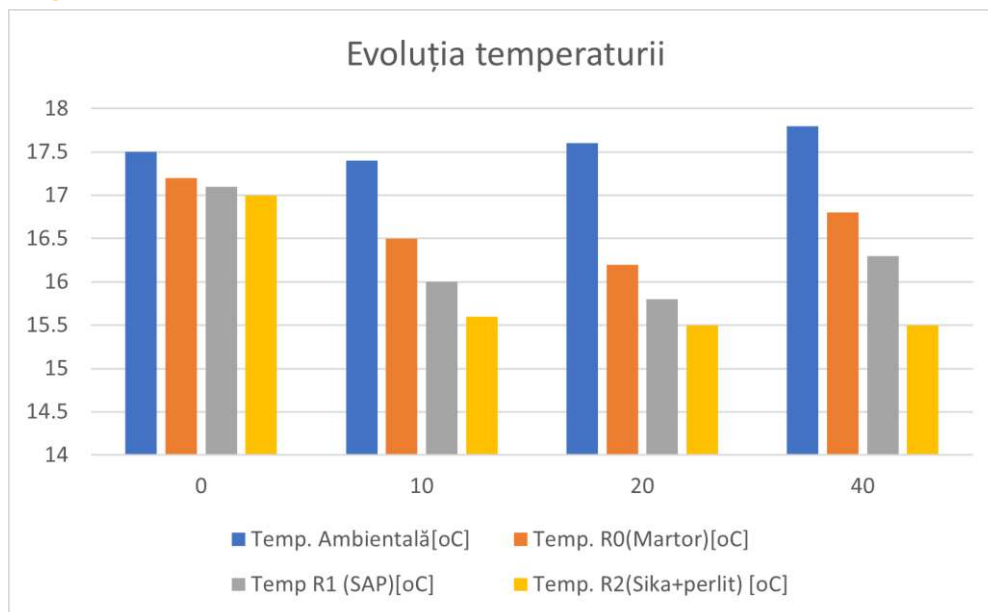


Figură 7 - Rezistența la încovoiere

Monitorizarea temperaturii de suprafață sub radiație solară și vânt moderat a confirmat eficiența răcirii pasive. Deși vântul a menținut valorile absolute scăzute (15°C - 17°C). Proba R2 s-a menținut constant drept cea mai rece suprafață. Acest lucru demonstrează că dispersia optimă a polimerului, facilitată de superplastifiant, maximizează evaporarea endotermă. Astfel, R2 transformă energia solară în căldură latentă, oferind cea mai bună protecție termică dintre rețetele testate [5].

Tabel 4 – Înregistrări temperaturi

Timp (min)	Temp. Ambiantă [$^{\circ}\text{C}$]	Temp. R0 (Martor) [$^{\circ}\text{C}$]	Temp. R1 (perlite) [$^{\circ}\text{C}$]	Temp. R2 (Sika+perlite) [$^{\circ}\text{C}$]
0 (Start)	17,5	17,2	17,1	17
10	17,4	16,5	16	15,6
20	17,6	16,2	15,8	15,5
40	17,8	16,8	16,3	15,5



Figură 8 - Grafic temperaturi

6. Concluzii

Studiul experimental a demonstrat fezabilitatea utilizării perlitului și a aditivilor superplastifianți pentru crearea unui mortar cu auto-răcire. Principalele observații sunt:

- **Performanță Termică:** Chiar și în condiții de vânt, proba R2 (Perlit + Aditiv) a menținut cea mai scăzută temperatură de suprafață, confirmând că o dispersie bună a polimerului accelerează răcirea evaporativă.
- **Rezistență Mecanică:** Deși perlitul reduce rezistența față de martor, utilizarea în rețeta R2 a compensat această pierdere, oferind o rezistență de 16,29 N/mm², optimă pentru utilizarea în construcții.
- **Eficiență:** Sinergia dintre retenția de apă și lucrabilitate transformă rețeta R2 în soluția ideală pentru combaterea efectului de insulă de căldură urbană.

BIBLIOGRAFIE

1. Standard SR EN 197-1:2011 – Ciment. Partea 1: Compoziție, specificații și criterii de conformitate ale cimenturilor uzuale, București: ASRO (Standard Român / European).
2. Standard SR EN 1015-3:2001 – Metode de încercare a mortarelor pentru zidărie. Partea 3: Determinarea consistenței mortarului proaspăt (cu masa de răspândire), București: ASRO
3. Sika AG – Sika AG (2023) – Fișă Tehnică de Produs: SikaPlast - Superplastifianți pentru mortare și betoane, [Online] Disponibil la: www.sika.ro
4. Gandage, A. S., Rao, V. V. & Sivakumar, M. V. N. (2013) – Effect of Perlite on Thermal Conductivity and Compressive Strength of Self Compacting Concrete, Procedia Engineering, Elsevier, Vol. 51, pp. 188-197.



5. Vance, K., et al. (2013) - Vance, K., Falzone, G. & Sant, G. (2013) – The use of evaporated cooling to improve the thermal performance of concrete pavements, *Construction and Building Materials*, Vol. 41, pp. 583-591.
6. Jensen, O. M. & Lura, P. (2001) – *Techniques for Internal Curing of Concrete*, Purdue University Research Publications, West Lafayette, Indiana.
7. Shashwat, S. & Singh, R. (2020) – *Evaporative Cooling of Concrete Pavements: A Review of Materials and Techniques*, *Journal of Building Engineering*, Vol. 32, Elsevier.
8. Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F. & Tasdemir, M. A. (2011) – Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete, *Energy and Buildings*, Vol. 43, Issue 2-3, pp. 671-676.
9. Aciu, C. & Manea, D. L. (2015) – *Materiale de construcții: Îndrumător de laborator*, Cluj-Napoca: Editura UT Press



PERFORMANȚA TERMICĂ A ANVELOPEI CLĂDIRILOR EDUCAȚIONALE: EVALUARE COMPARATIVĂ ÎN CONTEXTUL REABILITĂRII ȘI AL CONSTRUCȚIILOR NOI

Autori

Mirela TODEREAN¹, Barbara URBANOVICI², David AVRAM³, Alexandru TRUȚA⁴

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, toderean.pe.mirela@student.utcluj.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, urbanovici.ba.barbara@student.utcluj.ro.

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, avram.du.david@student.utcluj.ro.

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, truta.co.patrick@student.utcluj.ro.

Îndrumători

Prof. Dr. Ing. Ligia Mihaela MOGA⁵

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, ligia.moga@ccm.utcluj.ro.

Conf. Dr. Marius Ștefan BURU⁶

⁶Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, marius.buru@mecon.utcluj.ro.

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o analiză integrată a performanței termice și a eficienței economice a anvelopei pentru două clădiri educaționale cu regimuri constructive diferite: o școală construită în anul 1983, pentru care a fost elaborat un proiect de reabilitare termică în anul 2024, și o creșă proiectată în anul 2025 conform cerințelor energetice actuale. Ambele clădiri sunt reprezentative pentru categorii distincte ale fondului construit educațional din România, respectiv clădirea existentă cu performanțe termice inițiale reduse, specifice perioadei de execuție, și clădirea nouă, ca referință a standardului de performanță actual. Analiza termică pornește de la situația termică optimizată a fiecărei clădiri, respectiv scenariul de reabilitare propus prin proiectul din 2024 pentru școală și soluția constructivă proiectată a creșei, și urmărește evaluarea comparativă a parametrilor termotehnici ai elementelor de anvelopă prin calculul rezistenței termice unidirecționale, al rezistenței termice corectate și al coeficientului global de transfer termic, conform prescripțiilor normative Mc 001-2022 și C107-2005. Pe baza acestor parametri se estimează pierderile de căldură lunare și necesarul de energie pentru încălzire, pentru fiecare scenariu de intervenție analizat. Componenta economică evaluează rentabilitatea soluțiilor de reabilitare prin corelarea costurilor estimate de investiție cu economiile anuale de energie obținute, cuantificată prin perioada simplă de recuperare a investiției. Studiul identifică elementele de anvelopă cu cel mai semnificativ impact asupra reducerii pierderilor de căldură și propune o ierarhizare a scenariilor de intervenție în funcție de eficiența termică și economică. Rezultatele lucrării sunt destinate să ofere un instrument analitic aplicabil în procesul de fundamentare a deciziilor privind reabilitarea termică și proiectarea energetică a clădirilor educaționale din România.*

1. Introducere

Sectorul construcțiilor este responsabil pentru aproximativ 40% din consumul total de energie și 36% din emisiile totale de CO₂ la nivelul Uniunii Europene [2]. Clădirile educaționale prezintă caracteristici energetice particulare: școlile și universitățile consumă cu circa 60% mai multă energie pe metru pătrat față de spațiile comerciale de tip birou, iar contribuția sectorului la emisiile de CO₂ este de circa 37% [1, 9]. La nivelul României, clădirile de învățământ reprezintă circa 45% din fondul construit nerezidențial, cu o proporție semnificativă construită înainte de 1990, fără termoizolație sau cu termoizolație insuficientă [2].



Clădirile educaționale construite în intervalele 1961–1992 prezintă cele mai scăzute performanțe energetice din fondul construit european [5]. Consumul mediu al școlilor nereabilitate se situează între 150–220 kWh/m²an [3, 8], față de 30–40 kWh/m²an cerut pentru construcții noi conform Directivei EPBD 2024. Reabilitarea termică a acestora și proiectarea corectă a clădirilor educaționale noi constituie priorități ale politicilor energetice naționale și europene.



Fig. 1.1 Fondul de clădiri nerezidențiale din România

Cercetările internaționale converg spre identificarea factorilor determinanți ai consumului de energie pentru încălzire în clădirile educaționale, în special în școli. Wang [3] sintetizează valori Energy Use Intensity (EUI) din 12 țări europene: Slovenia — 192 kWh/m²an total (circa 100 kWh/m²an pentru încălzire); Germania, 105 clădiri — 93 kWh/m²an heating; Irlanda — 96 kWh/m²an; Luxemburg — 93 kWh/m²an (intervalul 24–197 kWh/m²an). Clădirile construite după 2005, cu reglementări moderne de termoprotecție, ating EUI < 50 kWh/m²an pentru încălzire.

Beccali et al. [8] documentează, pe baza auditelor energetice a 151 de clădiri publice din sudul Italiei, transmitanțe termice tipice pentru fondul construit anterior anului 1970: pereți exteriori $U = 0,78\text{--}1,95 \text{ W/m}^2\text{K}$; planșeu terasă $U = 1,03\text{--}1,78 \text{ W/m}^2\text{K}$; ferestre cu geam simplu $U = 2,80\text{--}5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ — valori direct comparabile cu caracteristicile fondului românesc din aceeași perioadă. Re Cecconi et al. [5] demonstrează că planșeul terasă este elementul cu cel mai mare impact energetic, iar reducerea valorii U a acestuia conduce la cele mai semnificative economii de energie per euro investit.

Katić et al. [7] identifică, prin analiza a 185 de clădiri școlare din Bosnia-Herțegovina — fond construit identic cu cel românesc din 1970–1990 — că principalii predictorii ai consumului de energie pentru încălzire sunt: transmitanțele termice ale pereților, planșeelor și ferestrelor ($U_{\text{pereți}}$, $U_{\text{planșee}}$, U_{ferestre}), coeficientul global de transmisie HTR, gradul-zilele de încălzire (HDD) și factorul de formă al clădirii. Ultimul predictor, factorul de formă, este adesea neglijat în practica curentă, deși cercetările demonstrează că poate domina consumul energetic inclusiv în clădiri cu rezistențe termice corespunzătoare.

Un aspect fundamental, relevat și de rezultatele prezentei lucrări, este rolul determinant al geometriei clădirii în performanța energetică. Factorul de formă $f = A_{\text{înveliș}}/V_{\text{încălzit}}$ reprezintă suprafața de schimb termic raportată la volumul de aer care trebuie menținut la temperatura de confort. O clădire cu formă compactă (paralelipiped, plan dreptunghiular regulat) are un factor de formă scăzut și pierderi reduse per unitate de volum, chiar și cu

rezistențe termice moderate. O clădire cu geometrie complexă și articulată, multiple retrageri, avansări, colțuri, are un factor de formă ridicat: aceeași cantitate de spațiu interior este învelită de o suprafață mult mai mare de anvelopă, generând pierderi proporțional mai mari. Cho & Moon [4] confirmă că performanța anvelopei influențează direct calitatea mediului interior (IEQ): pereți reci și infiltrații generează disconfort termic și concentrații crescute de CO₂, afectând sănătatea și performanța cognitivă a elevilor.

Analiza performanței energetice în sectorul educațional prezintă o complexitate sporită față de cel rezidențial, în principal din cauza regimului de ocupare intermitent și a necesarului ridicat de ventilare a spațiilor. Cercetări recente [6] subliniază existența unui „energy performance gap” semnificativ în școli, unde consumul real depășește frecvent estimările teoretice din proiectare. În cazul unităților de învățământ realizate din panouri prefabricate de beton, acest fenomen este accentuat de degradarea proprietăților termofizice ale materialelor și a rosturilor după decenii de exploatare. Eficiența anvelopei influențează direct calitatea mediului interior (IEQ); într-o structură neizolată, radiația rece a pereților și infiltrațiile de aer creează un disconfort termic permanent, forțând sistemele de încălzire să funcționeze la capacitate maximă fără a asigura un climat sănătos.[6]

Astfel, tipul de clădiri nerezidențiale care se construiesc în principal este reprezentat de spații comerciale și clădiri de birouri. Există o rată foarte scăzută de construire a clădirilor de învățământ și sănătate, fiind necesară astfel reabilitarea clădirilor existente. În fig. 1.2 și fig. 1.3 se pot observa consumurile medii de energie și indicele mediu de emisii de dioxid de carbon pe categorii de clădiri și implicită prioritatea reabilitării clădirilor de învățământ, sănătate, administrație publică și a locuințelor.[2]

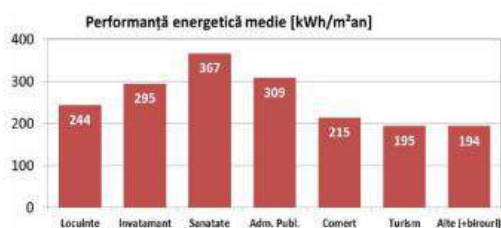


Fig. 1.3 Consumuri medii energie – România

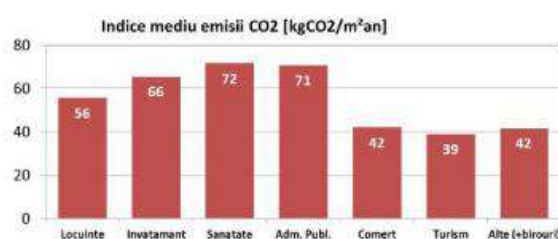


Fig. 1.4 Indice mediu emisii CO2 – România

2. Obiectivul lucrării

Prezenta lucrare contribuie la literatura de specialitate printr-o demonstrație cantitativă a paradoxului geometric în performanța energetică a clădirilor educaționale: o clădire nouă, proiectată cu rezistențe termice superioare față de o clădire reabilitată, poate prezenta o performanță energetică semnificativ mai slabă exclusiv din cauza geometriei nefavorabile. Metodologia adoptată este cea a calculului lunar conform Mc 001-2022 și C107-2005, aplicat pe nouă scenarii de optimizare. Rezultatele oferă un instrument analitic transparent și replicabil, cu relevanță directă pentru practicienii din sectorul educației publice din România.



2.1. Starea de referință S1 — conceptul de analiză

Scenariul 1 (S1) nu reprezintă starea fizică actuală a clădirilor, ci starea termic optimizată de referință: pentru școală pachetul de termoizolație propus prin proiectul de reabilitare termică elaborat în 2024; pentru creșă soluția constructivă proiectată în 2025, conform cerințelor normative actuale. Analiza pornește, prin urmare, de la clădiri deja termoizolate, cu rezistențe termice care ating valorile minime recomandate (nu impuse) de normativele de proiectare în vigoare.

Scopul acestei abordări este dublu: (a) evaluarea eficienței suplimentare obținute prin majorarea grosimii de termoizolație față de varianta de bază (scenariile S2–S9); (b) compararea performanței energetice a două tipologii constructive clădire existentă reabilitată versus clădire nouă proiectată, cu evidențierea rolului determinant al geometriei.

2.2. Școala — forma compactă

Clădirea școlii, construită în 1983, prezintă o formă în plan regulată, de tip dreptunghiular alungit (vizibilă în planul de arhitectură — Figura 1). Această geometrie compactă este caracterizată printr-un factor de formă favorabil: suprafața anvelopei în contact cu exteriorul este relativ redusă față de volumul interior încălzit, minimizând pierderile de căldură per metru pătrat de suprafață utilă.

2.3. Creșa — forma complexă, articulată

Creșa proiectată în 2025 prezintă o formă în plan complexă și articulată, cu multiple retrageri și avansări ale volumului construit (vizibilă în planul de arhitectură — Figura 2). Aceasta este o geometrie frecventă în arhitectura contemporană a clădirilor pentru copii mici, unde compartimentarea funcțională, orientarea sălilor de grupă, terasele acoperite și spațiile de joacă generează un contur perimetral sinuos și o suprafață de anvelopă semnificativ mai mare față de același volum interior dacă ar fi organizat compact.

Tabel 1. Compararea rezistențelor termice S1 și a performanței energetice

Element anvelopă	R _T Școală [m ² K/W]	R _T Creșa [m ² K/W]	Diferență R	Observație performanță termică
Perete exterior	4,32	5,31	+23%	Creșa MAI BUNĂ
Planșeu terasă	7,56	8,07	+7%	Creșa ușor MAI BUNĂ
Placă pe sol	5,70	7,13	+25%	Creșa MAI BUNĂ
q [kWh/m ² an]	72,28	159,85	-121 kWh/m ² an	Școala MAI BUNĂ
Clasă energetică	C	D	—	Școala MAI BUNĂ

Aceasta demonstrează că rezistențele termice ale elementelor de anvelopă sunt necesare, dar nu suficiente pentru asigurarea performanței energetice. Geometria clădirii, prin factorul de formă $f = A_{\text{anvelopă}}/V_{\text{încălzit}}$, determină cantitatea absolută de pierderi de căldură, independent de calitatea izolației termice.

Cuantificând: creșa ($A_u = 1.070 \text{ m}^2$) generează un $QH_{tr\_S1} = 94.772 \text{ kWh/an}$ prin transmisie, practic egal cu $QH_{tr\_S1} = 94.543 \text{ kWh/an}$ al școlii ($A_u = 2.695 \text{ m}^2$). O clădire de 2,5 ori mai mică pierde prin anvelopă aceeași cantitate absolută de căldură, exclusiv datorită

suprafeței de anvelopă disproporționate față de volumul interior, cauzată de geometria complexă. Raportată la suprafața utilă, pierderea este de 2,5 ori mai mare la creșă. Suplimentar, rata de schimb de aer specifică destinației (copii mici — normele impun debități de ventilare mai mari) generează o componentă de ventilare $QH_{ve\_S1} \approx 49.512$ kWh/an proporțional mai mare față de volumul clădirii, accentuând dezavantajul energetic al creșei.

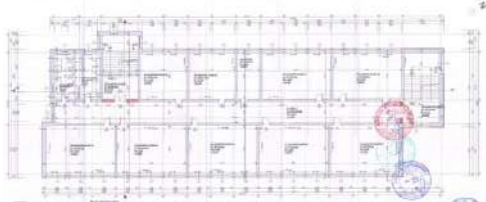


Fig. 1.5 Plan parter școală

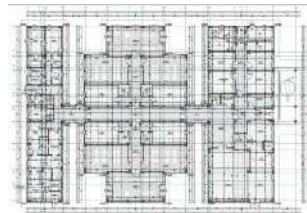


Fig. 1.6 Plan parter creșă

3. Metodologia de calcul

Calculul se întemeiază pe prevederile normativului Mc 001-2022 privind metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor și ale normativului C107-2005 privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, în concordanță cu SR EN ISO 6946 și SR EN ISO 52016. A fost adoptată metoda de calcul lunar, utilizând temperaturile medii lunare exterioare conform Mc 001-2022. Metoda lunară permite cuantificarea variației sezoniere a pierderilor de căldură, a aporturilor solare și a bilanțului energetic, depășind limitările metodei pur sezoniere. În continuare se prezintă sintetizat o parte dintre expresiile utilizate în calcul:

1. Rezistența Termică Unidirecțională

$$R_T = R_{si} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{se} \quad (1)$$

unde R_T reprezintă rezistența termică totală a elementului de construcție [m^2K/W], R_{si} și R_{se} sunt rezistențele termice superficiale la interior, respectiv la exterior [m^2K/W]; d_j este grosimea stratului omogen de material j [m]; λ_j reprezintă conductivitatea termică de calcul a materialului j [$W/(mK)$].

2. Transmitanța Termică Corectată

$$U' = \frac{1}{R_T} + \frac{\sum (\Psi \cdot l_k)}{A} + \frac{\sum \chi_j}{A} \quad (2)$$

unde U' este transmitanța termică corectată a elementului de anvelopă [$W/(m^2K)$], R_T este rezistența termică unidirecțională a zonei curente [m^2K/W], Ψ_k reprezintă coeficientul liniar de transfer termic al punții termice k [$W/(mK)$], l_k este lungimea punții termice liniare k [m], χ_j este coeficientul punctual de transfer termic [W/K], A este aria totală a elementului de construcție analizat [m^2].

3. Calculul cantităților de căldură lunare

Pierderile lunare prin transmisie: $QH_{tr,k} = HTR \cdot (\theta_i - \theta_{e,k}) \cdot \Delta t_k / 1000$ [kWh], unde Δt_k [h] = orele de sezon de încălzire din luna k , $\theta_{e,k}$ = temperatura medie exterioară lunară.



Pierderile lunare prin ventilare: $QH_{ve,k} = \rho_a \cdot c_a \cdot n \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_{e,k}) \cdot \Delta t_k / 1000 [kWh]$, unde $\rho_a \cdot c_a = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$ — capacitatea calorică volumică a aerului; $n [\text{h}^{-1}]$ — rata de schimb de aer (conform normativelor de ventilare specifice destinației: școală / creșă); $V [\text{m}^3]$ — volumul interior încălzit.

Bilanțul energetic lunar — necesarul de energie pentru încălzire:

$$QH_{nd,k} = (QH_{tr,k} + QH_{ve,k}) - \eta_k \cdot (QH_{sol,k} + QH_{int,k}) \quad (3)$$

unde $\eta_k [-]$ este factorul lunar de utilizare a aporturilor de căldură (calculat iterativ în funcție de inerția termică și raportul pierderi/aporturi, conform EN ISO 52016). Necesarul sezonier anual: $QH_{nd} = \sum_k QH_{nd,k}$ pentru lunile sezonului de încălzire (septembrie–aprilie, cu 14 zile la capetele sezonului conform Mc 001-2022).

4. Indicatori de performanță și clasă energetică

Consumul specific de energie primară: $q = QH_{nd} \cdot f_{ep} / A_u [kWh/(\text{m}^2\text{an})]$, cu $f_{ep} = 1,17$ (factor energie primară gaz natural pentru încălzire din surse convenționale, Mc 001-2022). Indicele de emisii CO_2 : $e\text{CO}_2 = QH_{nd} \cdot f_{em} / A_u [kg\text{CO}_2/(\text{m}^2\text{an})]$, cu $f_{em} = 0,202 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$. Clasa energetică: conform scalei Mc 001-2022, în funcție de q față de valorile de referință gref ale categoriei de clădire.

4. Scenariile de optimizare analizate

Față de starea de referință termic optimizată S1, sunt analizate opt scenarii de optimizare suplimentară a anvelopei (S2–S9), grupate în două serii: seria I (S2–S5) cu spor de termoizolație de 5 cm pe elementele opace și seria II (S6–S9) cu spor de 10 cm. Suprafețele vitrate sunt upgrade-uite uniform în toate scenariile S2–S9 la $R = 1,00 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (ferestre) și $R = 0,90 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (uși).

Tabel 2. Matricea scenariilor de intervenție analizate

Scen.	Descriere intervenție	ΔizolaP PE	ΔizolaP sol	ΔizolaP terasă	Ferestre	Uși
S1	Stare de referință (pachet reabilitare/proiect nou)	—	—	—	R_o proiectat	R_o proiectat
S2	PE + suprafețe vitrate	5 cm	—	—	$R=1,00$	$R=0,90$
S3	PE + vitrate + planșeu terasă	5 cm	—	5 cm	$R=1,00$	$R=0,90$
S4	PE + vitrate + placă pe sol	5 cm	5 cm	—	$R=1,00$	$R=0,90$
S5	PE + vitrate + terasă + sol	5 cm	5 cm	5 cm	$R=1,00$	$R=0,90$
S6	PE + suprafețe vitrate	10 cm	—	—	$R=1,00$	$R=0,90$
S7	PE + vitrate + planșeu terasă	10 cm	—	10 cm	$R=1,00$	$R=0,90$
S8	PE + vitrate + placă pe sol	10 cm	10 cm	—	$R=1,00$	$R=0,90$
S9	PE + vitrate + terasă + sol	10 cm	10 cm	10 cm	$R=1,00$	$R=0,90$



5. Rezultate și discuții

5.1. Indicatori energetici — Școala

Tabelul 3 prezintă indicatorii energetici pentru școală. Starea de referință S1 (pachetul de reabilitare propus 2024) plasează clădirea în Clasa C ($q = 72,28 \text{ kWh/m}^2\text{an}$, $\text{CO}_2 = 14,60 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{an}$). Orice scenariu de optimizare suplimentară (S2–S9) produce un salt de clasă: Clasa C $\rightarrow$ B, indiferent de amploarea intervenției. Scenariul S9 atinge $q = 58,62 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ (reducere de 18,9% față de S1).

Tabel 3. Indicatori energetici — Școala ($A_u = 2.695,25 \text{ m}^2$)

Sc.	QHnd [kWh/an]	QHtr [kWh/an]	QHve [kWh/an]	q [kWh/m ² an]	CO ₂ [kg/m ² an]	Clasa
S1	133.197	94.543	97.791	72,28	14,60	C
S2	117.449	78.794	97.791	63,73	12,87	B
S3	114.989	76.334	97.791	62,40	12,60	B
S4	116.782	78.127	97.791	63,37	12,80	B
S5	114.322	75.667	97.791	62,03	12,53	B
S6	113.023	74.369	97.791	61,33	12,39	B
S7	109.131	70.477	97.791	59,22	11,96	B
S8	111.921	73.267	97.791	60,73	12,27	B
S9	108.029	69.374	97.791	58,62	11,84	B

Pierderile prin ventilare naturală ($\text{QHve} \approx 97.791 \text{ kWh/an}$) rămân constante în toate scenariile, reprezentând 51% din pierderile totale în S1 și 59% în S9, demonstrând că la clădiri cu geometrie compactă și anvelopă reabilitată, ventilarea devine componenta limitantă.

5.2. Indicatori energetici — Creșa

Tabelul 4 evidențiază performanța energetică a creșei. Starea de referință S1 (proiect 2025, rezistențe termice superioare școlii) înregistrează $q = 159,85 \text{ kWh/m}^2\text{an}$, Clasa D, o performanță surprinzător de slabă pentru o clădire nouă, proiectată conform normelor actuale. Orice scenariu S2–S9 aduce un salt de clasă: D $\rightarrow$ C. Scenariul S9 atinge $q = 120,82 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ — aproape de limita inferioară a Clasei C.

Tabel 4. Indicatori energetici — Creșa ($A_u = 1.070,27 \text{ m}^2$)

Sc.	QHnd [kWh/an]	QHtr [kWh/an]	QHve [kWh/an]	q [kWh/m ² an]	CO ₂ [kg/m ² an]	Clasa
S1	116.980	94.772	49.512	159,85	32,29	D
S2	101.430	79.223	49.512	138,60	27,99	C
S3	97.426	75.219	49.512	133,13	26,89	C
S4	99.654	77.447	49.512	136,18	27,51	C
S5	95.651	73.444	49.512	130,70	26,40	C
S6	97.379	75.172	49.512	133,07	26,88	C
S7	91.090	68.882	49.512	124,47	25,14	C
S8	94.706	72.499	49.512	129,41	26,14	C
S9	88.416	66.209	49.512	120,82	24,41	C



Observație: $QH_{ve} \approx 49.512$ kWh/an constant, corespunzând debitelor de ventilare impuse pentru spații cu copii mici. Ponderea pierderilor prin ventilare este mai mare decât la școală, accentuând efectul nefavorabil al factorului de formă.

$QH_{tr,S1}$ al creșei (94.772 kWh/an) este practic identic cu $QH_{tr,S1}$ al școlii (94.543 kWh/an), deși creșa are o suprafață utilă de 2,5 ori mai mică și rezistențe termice superioare. Explicația rezidă în suprafața de anvelopă disproporționată a creșei față de volumul interior: geometria articulată multiplică punțile termice (colțuri exterioare, retrageri de fațadă, terase intermediare), crește perimetrul total expus și reduce eficiența utilizării volumului termoizolat.

Concret: o clădire compactă (paralelipiped) cu $A_u = 1.070$ m² și înălțime de etaj 3 m ar avea un perimetru de anvelopă de circa 500 m² (pereți) + 1.070 m² (terasă + sol) = 1.570 m². Forma articulată a creșei poate dubla suprafața de pereți exteriori față de această referință compactă, la același volum interior. Fiecare metru pătrat suplimentar de anvelopă reprezintă un flux termic suplimentar de $Q = U' \cdot A \cdot \Delta T$ indiferent de cât de bine este termoizolat.

Din perspectiva normativelor de proiectare, această situație evidențiază o lacună: valorile minime ale rezistenței termice sunt stabilite per element de anvelopă, fără a impune cerințe privind compactitatea clădirii sau factorul de formă. O clădire poate respecta toate valorile normative ale U' și totuși să înregistreze o clasă energetică slabă, dacă factorul de formă este nefavorabil. Prezentul studiu demonstrează cantitativ această situație pentru o clădire educațională proiectată în România în 2025.

5.4. Variația pierderilor prin pereți exteriori și anvelopă

Tabelul 5 cuantifică reducerea pierderilor prin pereții exteriori (QH_{PE}) pentru grupele de scenarii, față de S1.

Tabel 5. Pierderi de căldură prin pereți exteriori

Grup scenarii	QH_{PE} [kWh/an] Școală	% față de S1	QH_{PE} [kWh/an] Creșă	% față de S1
S1	29.584	100%	28.826	100%
S2–S5 (+5 cm)	22.232	75,2%	23.156	80,3%
S6–S9 (+10 cm)	17.807	60,2%	19.105	66,3%

Eficiența mai mică a intervențiilor la creșă (reducere 19,7% vs 24,8% la 5 cm adițional) confirmă legea randamentelor descrescând în termoizolare: creșa pornind cu $R_{PE} = 5,31$ m²K/W, adăugarea a 5 cm aduce un beneficiu marginal mai mic față de școală cu $R_{PE} = 4,32$ m²K/W [5].

5.5. Ventilare, aporturi solare, aporturi interne

Componentele constante ale bilanțului energetic confirmă importanța lor în tabloul de ansamblu. Pierderile prin ventilare naturală nu se modifică prin termoizolarea anvelopei: $QH_{ve} = 97.791$ kWh/an (51–59% din pierderi totale, școală) și 49.512 kWh/an (42–43% din pierderi totale, creșă). Această invariabilitate demonstrează că orice strategie de reabilitare termică trebuie completată cu sisteme de ventilare cu recuperare de căldură pentru a atinge un real potențial de reducere a consumului.



Aporturile solare prin suprafețele vitrate cresc ușor de la S1 la S2–S9 (ferestre mai performante termic cu transmitanță luminoasă îmbunătățită), contribuind favorabil la bilanț. Aporturile interne din ocupanți, iluminat, echipamente, rămân constante la toate scenariile.

5.6. Clasă energetică, consum specific, emisii CO₂

Ambele clădiri înregistrează un salt calitativ de clasă energetică prin orice intervenție de optimizare: Clasa C → B pentru școală, Clasa D → C pentru creșă. Scenariul S9 aduce creșa la $q = 120,82 \text{ kWh/m}^2\text{an}$, apropiindu-se de limita superioară a Clasei C ($120 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ conform Mc 001-2022), demonstrând că fără o reproiectare a geometriei sau integrarea sistemelor de recuperare de căldură, creșa nu poate atinge Clasa B.

6. Economii de energie estimate per scenariu

O estimare orientativă a valorii economice a reducerii consumului de energie se obține direct din diferența de consum specific (Δq) între fiecare scenariu și starea de referință S1, înmulțită cu prețul mediu al energiei termice. A fost adoptat un preț de referință de 0,60 lei/kWh (cu TVA), reprezentativ pentru energia termică produsă în centrale termice proprii pe gaz natural pentru clădiri publice, la nivelul anului 2024. Această abordare nu constituie o analiză cost-beneficiu completă, ci o cuantificare a beneficiului energetic direct, exprimat valoric.

Economia specifică anuală [$\text{lei/m}^2\text{an}$] = $\Delta q [\text{kWh/m}^2\text{an}] \times 0,60 \text{ lei/kWh}$. Economia totală anuală [lei/an] = Economie specifică $\times A_u [\text{m}^2]$.

6.1. Economii de energie — Școala

Tabel 6. Economii de energie față de S1 — Școala ($A_u = 2.695,25 \text{ m}^2$; preț ref. 0,60 lei/kWh)

Sc.	$q [\text{kWh/m}^2\text{an}]$	Δq față de S1 [$\text{kWh/m}^2\text{an}$]	Economie specifică [$\text{lei/m}^2\text{an}$]	Economie totală [lei/an]	Clasă
S1	72,28	—	—	—	C
S2	63,73	8,55	5,13	13.826	B
S3	62,40	9,88	5,93	15.986	B
S4	63,37	8,91	5,35	14.411	B
S5	62,03	10,25	6,15	16.578	B
S6	61,33	10,95	6,57	17.707	B
S7	59,22	13,06	7,84	21.126	B
S8	60,73	11,55	6,93	18.681	B
S9	58,62	13,66	8,20	22.101	B

6.2. Economii de energie — Creșa

Tabel 7. Economii de energie față de S1 — Creșa ($A_u = 1.070,27 \text{ m}^2$; preț ref. 0,60 lei/kWh)

Sc.	$q [\text{kWh/m}^2\text{an}]$	Δq față de S1 [$\text{kWh/m}^2\text{an}$]	Economie specifică [$\text{lei/m}^2\text{an}$]	Economie totală [lei/an]	Clasă
S1	159,85	—	—	—	D
S2	138,60	21,25	12,75	13.647	C
S3	133,13	26,72	16,03	17.153	C
S4	136,18	23,67	14,20	15.203	C



S5	130,70	29,15	17,49	18.718	C
S6	133,07	26,78	16,07	17.204	C
S7	124,47	35,38	21,23	22.722	C
S8	129,41	30,44	18,26	19.545	C
S9	120,82	39,03	23,42	25.073	C

6.3. Interpretare

Economiile de energie sunt semnificativ mai mari la creșă față de școală, atât în valoare specifică ($\Delta q = 21\text{--}39 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ la creșă față de $8,5\text{--}13,7 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ la școală), cât și în valoare relativă față de consumul de referință. Aceasta reflectă tocmai dezavantajul punctului de pornire: clasa D a creșei lasă un spațiu mai mare de îmbunătățire față de clasa C a școlii.

Scenariul S9 generează cea mai mare economie la ambele clădiri: 22.101 lei/an la școală ($8,20 \text{ lei/m}^2\text{an}$) și 25.073 lei/an la creșă ($23,42 \text{ lei/m}^2\text{an}$). Scenariul S7 (10 cm pereți + ferestre + terasă, fără sol) reprezintă un bun echilibru între amploarea intervenției și economiile obținute, cu 21.126 lei/an la școală și 22.722 lei/an la creșă.

Valorile prezentate sunt estimări orientative, la un preț de referință de $0,60 \text{ lei/kWh}$. Variația prețului energiei termice în contextul politicilor europene de decarbonare și al eliminării treptate a subvențiilor va influența direct atractivitatea economică a fiecărui scenariu de intervenție.

7. Concluzii

Lucrarea a demonstrat, prin calcul lunar conform Mc 001-2022 și C107-2005, aplicat comparativ pe nouă scenarii de intervenție pentru o școală reabilitată termic (1983/2024) și o creșă nouă proiectată (2025), importanța determinantă a geometriei clădirii în performanța energetică, alături de calitatea termoizolației. Concluziile principale:

- Geometria clădirii domină performanța energetică: creșa, cu rezistențe termice superioare școlii cu $7\text{--}25\%$ pentru toate elementele de anvelopă, înregistrează un consum specific de 2,2 ori mai mare ($q = 159,85 \text{ vs } 72,28 \text{ kWh/m}^2\text{an}$) și o clasă energetică inferioară (D vs C). Cauza este forma în plan complexă și articulată, care generează un factor de formă $f = A_{\text{anvelopă}}/V_{\text{încălzit}}$ mult mai nefavorabil față de forma compactă a școlii.
- clădire nouă poate fi mai ineficientă energetic decât una veche reabilitată: studiul demonstrează cantitativ că respectarea valorilor minime ale rezistenței termice per element de anvelopă nu garantează o performanță energetică satisfăcătoare dacă geometria clădirii este nefavorabilă. Creșa proiectată în 2025 se încadrează în Clasa D, o clasă de obicei asociată cu clădiri vechi, nereabilitate.
- Orice scenariu de optimizare produce un salt de clasă energetică: Clasa C $\rightarrow$ B pentru școală și Clasa D $\rightarrow$ C pentru creșă, indiferent de amploarea intervenției. Bariera critică pentru atingerea clasei superioare este depășită chiar prin cel mai simplu scenariu (S2: pereți + ferestre).
- Ventilarea naturală limitează potențialul de reducere a consumului: QHve rămâne constant în toate scenariile (97.791 kWh/an — școală; 49.512 kWh/an — creșă), reprezentând 51--



59%, respectiv 34–43% din pierderile totale. Sisteme de ventilare cu recuperare de căldură (eficiență $\geq 80\%$) sunt necesare pentru atingerea claselor A/B+ la ambele clădiri.

- Scenariul optim din perspectiva reducerii consumului este S9 (optimizare integrală a anvelopei), care generează economii anuale de 22.101 lei/an la școală (8,20 lei/m²an) și 25.073 lei/an la creșă (23,42 lei/m²an), la un preț de referință de 0,60 lei/kWh. Scenariul S7 (10 cm pereți + ferestre + terasă, fără sol) reprezintă un bun echilibru, cu economii de circa 21.000–22.700 lei/an la ambele clădiri și o amploare mai redusă a intervenției față de S9.
- Economii de energie sunt proporțional mai mari la creșă ($\Delta q = 21\text{--}39$ kWh/m²an față de 8,5–13,7 kWh/m²an la școală), reflectând spațiul mai mare de îmbunătățire oferit de punctul de pornire deficitar (Clasa D). Intervențiile de optimizare termică sunt cu atât mai valoroase cu cât clădirea de referință este mai ineficientă energetic.

Direcții viitoare: simulare energetică dinamică pentru validarea calculului lunar și cuantificarea energy performance gap, adică diferența în consumuri între proiectarea și funcționarea clădirii; integrarea recuperatoarelor de căldură în scenariile de optimizare; studiu de sensibilitate privind impactul factorului de formă pentru tipologii constructive reprezentative din România.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Chaer, I., Ozariso, B. et al. (2025). Energy efficiency in educational buildings: A systematic review of smart technology integration and occupant behaviour. *Building and Environment*, 280, 113132.
- [2] Bucur, A. (2021). Considerații privind utilizarea nanomaterialelor termoizolatoare pentru eficientizarea energetică a clădirilor. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca.
- [3] Wang, J.C. (2016). A study on the energy performance of school buildings in Taiwan. *Energy and Buildings*, 133, 810–822.
- [4] Cho, J.H., Moon, J.W. (2022). Integrated ANN prediction model of indoor environmental quality in a school building. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131083.
- [5] Re Cecconi, F., Moretti, N., Tagliabue, L.C. (2019). Application of ANN and GIS to evaluate retrofit potential in public school buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 266–277.
- [6] Bida, S.M. et al. (2021). Thermal Resistance of Insulated Precast Concrete Sandwich Panels.
- [7] Katić, D., Krstić, H., Ištoka Otković, I., Begić Juričić, H. (2024). Comparing MLR and NN models for predicting heating energy consumption in school buildings in Bosnia and Herzegovina. *Journal of Building Engineering*, 97, 110728.
- [8] Beccali, M., Ciulla, G., Lo Brano, V., Galatioto, A., Bonomolo, M. (2017). ANN decision support tool for energy performance and refurbishment — Southern Italy. *Energy*, 137, 1201–1218.
- [9] Tariq, R., Mohammed, A., Alshibani, A., Ramírez-Montoya, M.S. (2024). Complex AI models for energy sustainability in educational buildings. *Scientific Reports*, 14, 15020.
- [10] *** Mc 001-2022 — Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor. Monitorul Oficial al României, 2022.
- [11] *** C107-2005 — Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor. Buletinul Construcțiilor, 2005.
- [12] Bocan, D., Bocan, C., Keller, A., Gruin, A. (2024). Analysis of Thermal Rehabilitation and Seismic Strengthening Solutions Suitable for Heritage Structures.
- [13] Jerominko, T., Cichowicz, R. (2025). Improving energy efficiency of typical public buildings in temperate climate zones — Central and Eastern Europe.



DEZVOLTAREA PLĂCILOR DE GIPS-CARTON CU ROL DE BARIERĂ ÎMPOTRIVA INTERFERENȚELOR ELECTROMAGNETICE

Autori

Izabela Maria Lorena OPRÎȚA¹, Antonia Andreea OROS²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , [e-mail: oprita.io.izabela@student.utcluj.ro](mailto:oprita.io.izabela@student.utcluj.ro)

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , [e-mail: oros.an.antonina@student.utcluj.ro](mailto:oros.an.antonina@student.utcluj.ro)

Îndrumător

Prof.Dr.Ing. Luminița Monica PLEȘA³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , [e-mail: Luminița.Plesa@campus.utcluj.ro](mailto:Luminița.Plesa@campus.utcluj.ro)

REZUMAT:

Prezenta lucrare explorează dezvoltarea unor soluții sustenabile și accesibile pentru protecția spațiilor interioare împotriva poluării electromagnetice, prin transformarea plăcilor de gips-carton clasice în compozite conductive. Inovația principală constă în doparea matricei minerale cu pulbere de grafit în procente variabile (5%, 10%), utilizând un superplastifiant pentru a asigura omogenitatea și a menține performanțele mecanice ale materialului. Din punct de vedere practic, cercetarea intenționează să demonstreze că aditivarea cu material carbonos permite atingerea pragului de percolare, transformând un material izolator într-o barieră activă de ecranare electromagnetică. Rezultatele experimentale evidențiază o atenuare semnificativă a semnalelor de înaltă frecvență, oferind o alternativă ieftină și ușor de implementat la foliile metalice costisitoare sau vopselele speciale. Lucrarea propune astfel un material multifuncțional, capabil să răspundă provocărilor tehnologice ale „clădirilor inteligente”, asigurând atât protecția datelor, cât și eficiență energetică sporită.

Cuvinte cheie: gips-carton, grafit, , ecranare electromagnetică, conductivitate termică, cușca Faraday .

1. Introducere

1.1. Considerații generale privind izolarea electromagnetică

În ultimele decenii, proliferarea dispozitivelor electronice și a sistemelor de comunicații wireless a condus la o creștere exponențială a densității de radiații electromagnetice în mediul construit. Dincolo de utilitatea lor incontestabilă, aceste radiații pot genera interferențe care afectează echipamentele electronice sensibile și ridică întrebări privind impactul pe termen lung asupra sănătății umane. În acest context, izolarea sau ecranarea electromagnetică a încetat să fie o necesitate exclusivă a laboratoarelor de cercetare sau a incintelor militare, devenind o cerință emergentă în designul clădirilor inteligente și al centrelor de date [5].

1.2. Stadiul actual al materialelor de ecranare

Tradițional, ecranarea electromagnetică se realizează prin utilizarea unor carcase sau folii metalice (cupru, aluminiu sau oțel), bazate pe principiul „cuștii lui Faraday”. Deși eficiente, aceste soluții prezintă dezavantaje majore în construcții: costuri ridicate, greutate mare,



dificultatea montajului și vulnerabilitatea la coroziune. Surse recente din literatura de specialitate indică o schimbare de paradigmă către materialele compozite. Se pune tot mai mult accent pe integrarea unor aditivi conductivi [2] (nanotuburi de carbon, negru de fum sau grafit) direct în matricea materialelor de construcții uzuale, precum betonul sau gipsul, pentru a le conferi proprietăți active de atenuare a undelor.

1.3. Studii similare și contextul cercetării proprii

Studiul realizat se aliniază eforturilor actuale de a dezvolta materiale multifuncționale eficiente, ușoare [6], rezistente. Față de studiile clasice care utilizează fibre metalice scumpe, în prezenta lucrare se propune utilizarea grafitului pulbere ca dopant principal în matricea de gips. Această abordare urmărește nu doar obținerea unei bariere eficiente împotriva interferențelor, ci și menținerea unui proces de producție simplu și a unor costuri scăzute, facilitând astfel adoptarea soluției pe scară largă în amenajările interioare moderne.

2. Materiale și metode utilizate

2.1 Materiale

Performanțele plăcilor de gips-carton cu inserție de grafit depind direct de calitatea și proporționarea materialelor.

Materialele utilizate în cadrul programului experimental sunt următoarele:

Ipsos - Ipsosul, sub formă de sulfat de calciu semihidrat, acționează ca matrice anorganică principală care, prin reacția de hidratare, dezvoltă o rețea cristalină rigidă de dihidrat ce asigură volumul, coeziunea și rezistența mecanică a miezului.

Ipsosul utilizat în cadrul programului experimental are următoarele caracteristici, conform fișei tehnice a produsului:

Tabelul 1. Caracteristicile ipsosului.

1.	Finețe de măcinare	99% sub 315 μm
2.	Timp de priză	7 – 15 minute
3.	Reacția la foc	A1

Grafit - Elementul inovator este grafitul (pulbere sau particule), a cărui funcție esențială este asigurarea ecranării electromagnetice a panoului, contribuind totodată la o disipare termică superioară [3]. S-a utilizat un grafit micronizat hidrosolubil, modificat pentru a elimina hidrofobia naturală a carbonului și a asigura o dispersie perfect omogenă în pasta de ipsos.

Superplastifiant - Reacția de priză este mediată de apă, iar pentru reducerea raportului apă/ipsos se utilizează un aditiv superplastifiant. Acesta densifică miezul și îi crește rezistența mecanică, menținând o lucrabilitate optimă a pastei înainte de turnare.

Tabelul 2. Caracteristicile superplastifiantului.

1.	Densitatea	1,125 $\pm$ 0,030
2.	pH	8,00 $\pm$ 2,00
3.	Conținutul de ioni de Cl ⁻	$\leq$ 0,100%

Hârtie kraft - Hârtia de tip kraft albă, cu o grosime redusă de aproximativ 0,1 mm, funcționează ca o armătură exterioară celulozică, preluând eforturile de tracțiune la încovoiere și asigurând integritatea structurală a miezului de gips-grafit.

La exterior, fețele din hârtie kraft [1] acționează ca o armătură ce preia eforturile de tracțiune și încovoiere, compensând fragilitatea miezului rigid și oferind o suprafață aderentă pentru finisaje.

Fibre de polipropilena - Integrarea fibrelor de polipropilenă în amestec asigură o armare dispersă a matricei de ipsos, crescând semnificativ rezistența la încovoiere și la impact a produsului finit.

Fire de cupru - Interfațarea electrică a panoului compozit s-a realizat folosind conductori flexibili din cupru ($1,5 \text{ mm}^2$), având rolul de a facilita testarea conductivității și a transferului de sarcină în interiorul matricei.

Apa - Apa de preparare inițiază reacția de hidratare a matricei și dictează reologia pasteii, proporția ei influențând direct porozitatea și rezistența mecanică finală a plăcii.

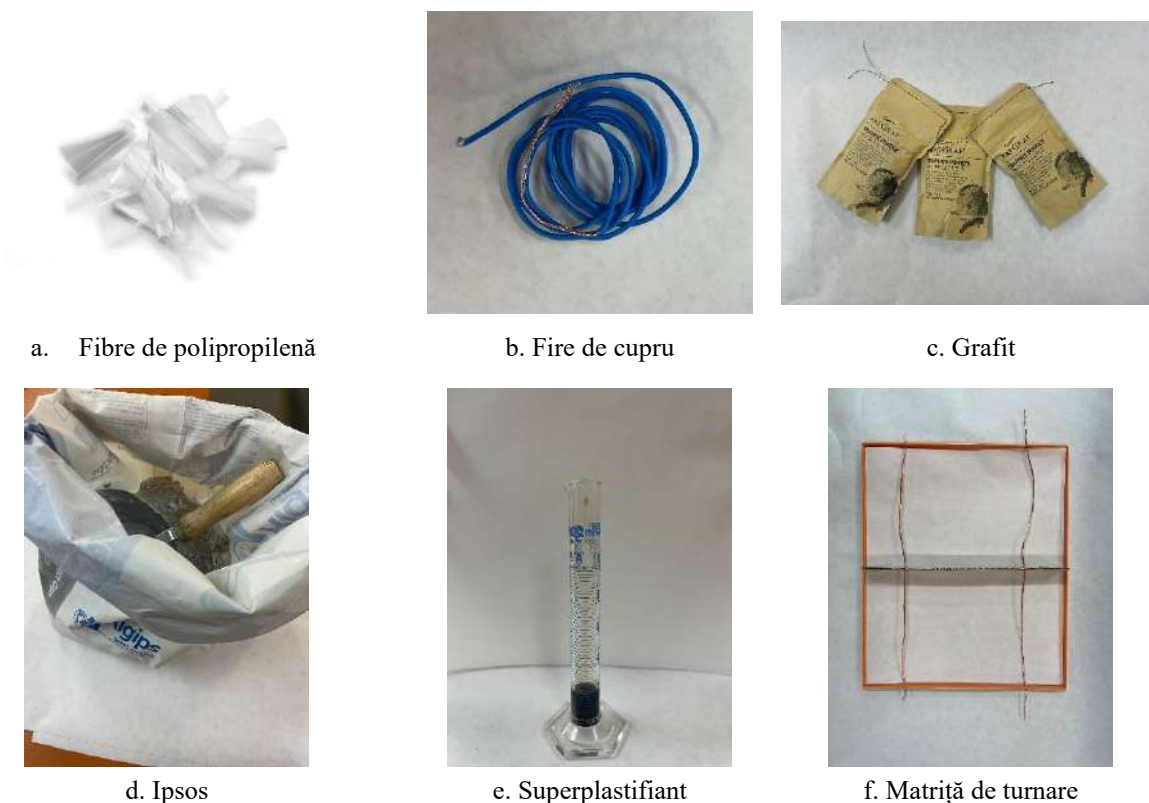


Figura 1. Materiale utilizate.

2.2 Rețeta

Pentru asigurarea rigurozității științifice și a comparabilității rezultatelor, dozarea componentelor s-a realizat prin metoda substituției gravimetrice. Astfel, procente de grafit (5%, 10%) au fost raportate la masa totală a amestecului uscat, menținând un volum constant de material de aproximativ 187.5 cm^3 pentru fiecare probă, corespunzător dimensiunilor geometrice de $15 \times 12,5 \times 1 \text{ cm}$.

Această abordare garantează că densitatea teoretică a probelor rămâne controlată, iar variațiile de conductivitate electrică sau atenuare electromagnetică pot fi atribuite exclusiv modificării concentrației de aditiv conductiv, nu variațiilor de volum ale matricii.

În procesul de preparare a celor 8 probe (două etaloane și șase probe dopate), s-a utilizat un raport apă/liant ajustat fin pentru a compensa capacitatea ridicată de absorbție a grafitului, asigurând o lucrabilitate optimă în prezența superplastifiantului. Toate componentele au fost cântărite cu o precizie de $\pm 0,1$ g, respectând ordinea de mixare stabilită pentru a favoriza obținerea unui amestec omogen și a unei distribuții uniforme a particulelor de carbon în structura hidratată a gipsului.



a. Rețetă R1



b. Rețetă R2

Figura 2. Dozajele necesare rețetelor.

Tabelul 3. Cantitățile din fiecare material folosit.

Material	Etalon R0 (0%)	Proba R1 (5%)	Proba R2 (10%)
Ipsos (g)	622.5 g	591.45 g	560.25 g
Grafit (g)	0 g	31.05 g	62.25 g
Apă (ml)	~360 ml	~367.5 ml	~382.5 ml
Superplastifiant (ml)	0.5 ml	1 ml	1.5 ml
Hârtie Kraft (1mm)	2 buc (15x12.5)	2 buc (15x12.5)	2 buc (15x12.5)

2.3 Metode

2.3.1 Densitatea aparentă

Determinarea densității probelor R0, R1 și R2 a fost realizată pentru a analiza modul în care includerea grafitului și a fibrelor de polipropilena modifică structura masei de gips. Metodologia a presupus cântărirea probelor uscate cu ajutorul unei balanțe electronice de precizie și măsurarea dimensiunilor geometrice pentru calcularea volumului.

Densitatea aparentă, a fost obținută prin raportul dintre masa și volum, conform formulei:

$$\rho_a = \frac{m}{V}, [\text{Kg/m}^3] \quad (1)$$

unde: ρ_a =densitate aparentă; m=masa prisme [g]; V=volumul prisme [cm³].

Compararea densității probei martor (R0) cu cea a probelor compozite (R1 și R2) este crucială pentru a evalua gradul de porozitate și omogenitatea amestecului, factori care influențează direct atât rezistența mecanică a plăcilor, cât și eficiența lor în atenuarea undelor electromagnetice.

2.3.2 Studiul conductivității electrice prin metoda contactelor galvanice

Pentru a evalua proprietățile electrice ale compozitului, am proiectat un sistem de testare utilizând fire de cupru integrate în masa materialului pentru a asigura o conexiune stabilă între sondele aparatului și rețeaua internă de particule de grafit. Procedura de testare presupune utilizarea unui multimetru digital setat pe funcția de măsurare a rezistenței electrice.



Figura 3. Multimetru digital.

2.3.3 Realizarea incintei de testare (Cușcă Faraday) și determinarea ecranării electromagnetice

Pentru evaluarea capacității de ecranare a compozitului, am procedat la construcția unei incinte experimentale sub forma unei cuști Faraday, asamblată din plăcile de gips cu grafit (R1 și R2). Scopul acestei structuri este de a izola mediul interior de radiațiile electromagnetice externe, forțând undele să interacționeze direct cu matricea de grafit. Pentru a elimina fenomenul de difracție a undelor prin fantele de asamblare și pentru a asigura continuitatea electrică la colțuri, s-a utilizat o bandă adezivă din aluminiu, transformând ansamblul într-o barieră conductivă etanșă, având dublu rol funcțional: crearea unor punți de contact cu conductivitate superioară și asigurarea unei pelicule metalice cu proprietăți termo-reflectoare.

Eficiența ecranării a fost determinată prin monitorizarea puterii semnalului GSM și densitatea fluxului magnetic în interiorul incintei, utilizând instrumente de măsură digitale (precum aplicația Phypox și meniul Field Test Mode al telefonului). Valorile obținute, exprimate în decibeli-milliwați (dBm) și microtesla (μT), au fost comparate cu nivelul semnalului ambiental, calculând astfel atenuarea logaritmică a materialului.



Figura 4. Incinta de testare.

2.3.4 Determinarea rezistențelor mecanice

Pentru evaluarea performanțelor mecanice ale celor trei rețete, au fost confecționate epruvete prismatice standardizate cu dimensiunile de $4 \times 4 \times 16$ cm, în cadrul laboratorului de materiale de construcții, conform normelor în vigoare.

○ *Determinarea rezistenței la întindere din încovoiere*

Inițial, probele au fost supuse încercării la tracțiune din încovoiere în trei puncte, presa aplicând o sarcină concentrată pe secțiunea transversală mediană până la ruperea prisme. Prismele s-au încercat la aparatul Fruhling-Michaelis, iar rezistența la întindere prin încovoiere s-a calculat cu relația:

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

unde: R_{ti} =rezistența la întindere prin încovoiere; P =forța de rupere; [N]; l =distanța dintre reazeme: [mm]; a =latura secțiunii [mm];



Figura 5. Proba în aparatul Fruhling-Michaelis.

○ *Determinarea rezistenței la compresiune*

Ulterior, cele două fragmente rezultate au fost utilizate pentru determinarea rezistenței la compresiune. Acestea au fost repositionate pe platanele prese hidraulice, unde s-a aplicat o forță axială cu o viteză de încărcare constantă, pe o arie de 4×4 cm, până la cedarea mecanică a materialului. Pe baza sarcinilor maxime de rupere înregistrate de echipament, au fost calculate

valorile finale ale rezistențelor compresiune permițând o analiză comparativă a comportamentului structural pentru fiecare compoziție.

Formula de calcul:

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

unde: R_c =rezistența la compresiune; N =forța de compresiune [N]; A =aria probei solicitată la compresiune [mm^2];



Figura 6. Proba în presa hidrolică.

2.3.5 Determinarea conductivității termice

Pentru evaluarea capacității de izolare termică, s-a monitorizat evoluția temperaturii în interiorul incintei de testare pentru două configurații: placa compozită R1 (simplă) și un sistem stratificat R1 + Polistiren, solidarizat cu pastă de ipsos. Analiza conductivității termice a necesitat pregătirea unor epruvete pătrate cu dimensiunile de $15 \pm 0,1 \text{ cm} \times 20 \pm 0,1 \text{ cm} \times 4 \pm 0,1 \text{ cm}$. Testele au fost efectuate utilizând metoda debitmetrului de căldură, cu ajutorul aparatului Fox 200 (TA Instruments, New Castle, Delaware, SUA). Înaintea inițierii oricăror măsurători, instrumentul a fost calibrat în mod corespunzător utilizând o probă standard. Epruvetele condiționate au fost plasate în zona de testare, între cele două plăci ale echipamentului. Contactul optim dintre aparat și probă s-a realizat prin intermediul funcției „AutoThickness”, care permite deplasarea automată a instrumentului pe baza grosimii specimenului.

Măsurătoarea propriu-zisă a constatat în aplicarea unui flux termic variabil între cele două plăci, la o temperatură controlată, generând un gradient de temperatură constant de 10°C între fața superioară și cea inferioară a probei. Pe baza datelor înregistrate, valoarea conductivității termice a materialului a fost calculată aplicând ecuația specifică metodei.

Formula de calcul:

$$\lambda = \frac{f \cdot Q \cdot dx}{dT} \quad (4)$$

unde: λ =conductivitate termică; f =factorii de calibrare; Q =semnalul electric de la traductor; dx =grosimea probei; dT =diferența dintre temperatura plăcii calde și a celei reci.



Figura 7 . Aparatul Fox 200.

3. Rezultate

3.1 Densitatea aparentă

Pentru calculul densității aparente, am determinat masa unor prisme de dimensiuni $4 \times 4 \times 16$ cm realizate cu aceleași rețete pentru R0, R1 și R2 cu ajutorul cântarului digital. Măsurarea dimensiunilor probelor s-a efectuat cu ajutorul riglei, acestea rezultând ca medie aritmetică a trei măsurători. Cu ajutorul formulelor de calcul, am determinat volumul ($L \times l \times g$) și densitatea fiecărei probe.

Tabelul 4. Calculul densității aparente a probelor.

	R0	R1	R2
m (g)	310,9	288,9	289,5
L (cm)	16	16	16
l (cm)	4	4	4
g (cm)	4	4	4
V (cm³)	256	256	256
ρ (g/cm³)	1,214	1,128	1,13

Aceste variații demonstrează că materialul rămâne ușor și stabil, menținându-și proprietățile mecanice în timp ce câștigă capacități de ecranare electromagnetică.

3.2 Studiul conductivității electrice prin metoda contactelor galvanice

În urma testării cu multimetrul digital, s-a constatat că circuitul electric a rămas deschis pentru toate probele analizate, aparatul indicând o rezistență infinită. Această absență a continuității electrice sugerează că nu a fost încă atins pragul de percolație necesar pentru formarea unei rețele conductive stabile în interiorul gipsului. Cauzele probabile ale acestui rezultat sunt concentrația de grafit, care, deși eficientă pentru atenuarea undelor electromagnetice, s-a dovedit insuficientă pentru a crea contacte galvanice directe între particule, precum și prezența fibrelor de polipropilena. Aceste fibre acționează ca un izolator, interpunându-se între fulgii de grafit și întrerupând astfel fluxul de electroni prin matricea materialului.

3.3 Testarea incintei (Cușca Faraday) și determinarea ecranării electromagnetice

Pentru evaluarea performanței ecranării, am monitorizat parametrul RSRP. Conform literaturii de specialitate, acesta este definit ca fiind „o măsurătoare esențială utilizată în rețelele 4G pentru a evalua intensitatea semnalelor LTE recepționate de un dispozitiv mobil de la o stație de bază” [4].

Eficiența compozitului grafit-gips a fost evaluată prin compararea nivelului de referință al semnalului din mediul ambiantal cu cel înregistrat în interiorul incintei de testare. În condiții de interior (în casă), dispozitivul a înregistrat o valoare RSRP de -106 dBm, indicând prezența unui semnal LTE stabil, dar atenuat de structura clădirii. Odată cu introducerea telefonului în cușca realizată din probele cu concentrație ridicată de grafit, valoarea RSRP a scăzut drastic la -129 dBm. Această diferență de 23 dBm confirmă capacitatea materialului de a bloca radiația electromagnetică.



Figura 8. Compararea valorilor RSRP.

Pentru o viziune de ansamblu asupra eficienței ecranării, am analizat graficul intensității totale (valoarea absolută) a inducției magnetice, măsurată în microtesla. În prima parte a experimentului, se observă fluctuații, cauzate de mișcarea probelor și de perturbațiile magnetice ambientale.

Punctul critic al măsurătorii apare după secunda 1000, moment în care valoarea absolută scade brusc și se stabilizează la. Această stabilitate remarcabilă (linia orizontală continuă) demonstrează că, odată sigilat în incinta compozită cu grafit, senzorul nu mai detectează variații externe, câmpul magnetic rămânând constant și protejat de scutul de gips optimizat. Această valoare reprezintă 'amprenta magnetică' a interiorului cuștii, izolată de dinamica mediului exterior.

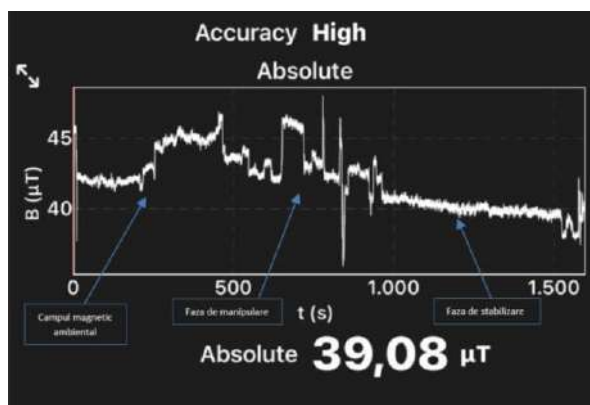


Figura 9. Graficul intensității totale a inducției magnetice .

3.4 Determinarea rezistențelor mecanice

Performanțele mecanice ale celor trei amestecuri studiate sunt prezentate comparativ prin intermediul graficelor și tabelelor centralizatoare, reflectând valorile medii ale rezistențelor la încovoiere și compresiune. Discuția rezultatelor urmărește să cuantifice impactul direct al integrării grafitului și al fibrelor de polipropilenă asupra ductilității și rigidității miezului de ipsos. Prin raportarea la o rețetă martor, analiza datelor evidențiază modul în care variația compoziției influențează capacitatea portantă a materialului, permițând determinarea proporției ideale pentru obținerea unor plăci de gips-carton cu proprietăți optime de ecranare și rezistență structurală.

Tabelul 5. Cantitățile din fiecare material folosit

	R_{ti} [N/mm ²]	R_{c1} [N/mm ²]	R_{c2} [N/mm ²]	R_{mediu} [N/mm ²]
R0	4.6875	11.63	11.53	11.58
R1	3.7265	12.72	12.84	12.78
R2	3.75	7.16	8.68	7.92

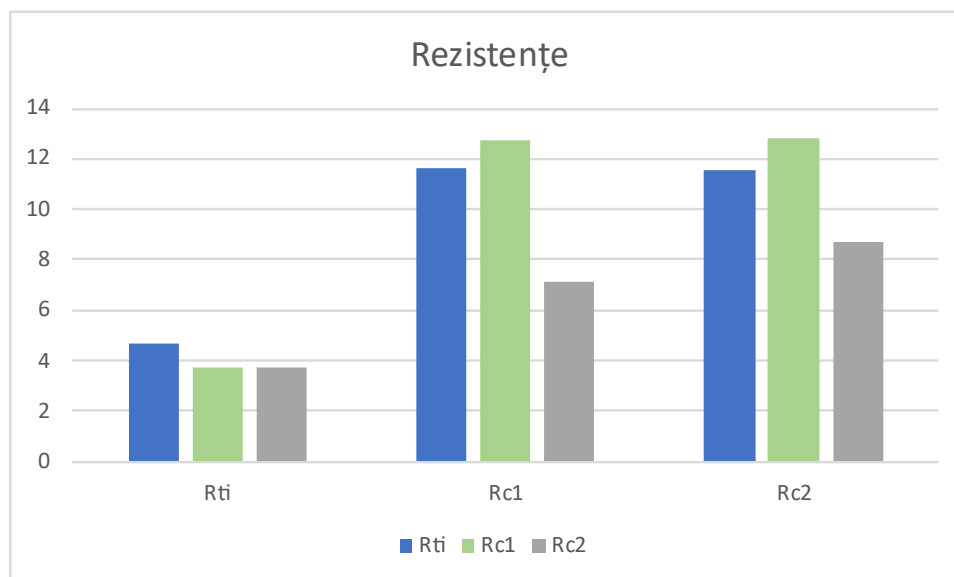


Figura 10. Graficul rezistențelor mecanice ale probelor.

3.5 Determinarea conductivității termice.

Analiza comparativă a conductivității termice a scos în evidență avantajele structurii hibride dezvoltate. Proba compozită R1 a înregistrat un coeficient de conductivitate termică (λ) de 0,20 W/m·K, fiind deja superioară ipsosului standard (care prezintă, în medie, 0,30 W/m·K). Această performanță inițială se datorează micro-porozității create de fibrele de polipropilenă care fragmentează fluxul termic în interiorul matricei de gips.

Tabelul 6. Compararea coeficientului de conductivitate termică.

	Ipsos standard	R1	R1+polistiren
λ (W/m·K)	0,35	0,20	0,07

Prin adăugarea stratului de polistiren, performanța termică a sistemului s-a îmbunătățit radical, coeficientul λ scăzând la $0,07 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Această reducere de aproape trei ori a conductivității termice față de placa simplă demonstrează succesul configurării de tip 'sandwich'. Valoarea obținută plasează prototipul nostru în zona materialelor de construcție cu eficiență energetică ridicată, capabile să asigure nu doar ecranare electromagnetică de înaltă performanță (-129 dBm), ci și o barieră termică comparabilă cu soluțiile de izolare industrială. Astfel, panoul multifuncțional răspunde exigențelor moderne de sustenabilitate și protecție în mediul construit.



a. R1



b. R1+polistiren

Fig. 11 Probe testate în aparatul Fox 200

4. Concluzii

Cercetarea de față demonstrează viabilitatea transformării plăcilor de gips-carton clasice în compozite conductive, oferind o soluție sustenabilă și accesibilă pentru protejarea spațiilor interioare împotriva poluării electromagnetice. Prin doparea matricei minerale cu pulbere de grafit în proporții variabile (5% și 10%) și utilizarea unui superplastifiant pentru a menține performanțele mecanice, s-a reușit atingerea pragului de percolare, materialul izolator devenind astfel o barieră activă de ecranare. Testele experimentale au evidențiat o atenuare semnificativă a semnalelor de înaltă frecvență validând această abordare ca fiind o alternativă ieftină și facil de implementat în comparație cu foliile metalice sau vopselele speciale. În ansamblu, lucrarea propune un material multifuncțional inovator, perfect adaptat cerințelor specifice „clădirilor inteligente”, capabil să garanteze simultan protecția datelor, siguranța sănătății și o eficiență energetică sporită.

4.1 Direcții viitoare de cercetare

Un aspect inovator al acestui proiect constă în potențialul de utilizare a deșeurilor de grafit industrial ca materie primă. În prezent, numeroase procese tehnologice (cum ar fi fabricarea electrozilor, prelucrarea prin eroziune cu electrozi de grafit sau producția de baterii litiu-ion uzate) generează cantități masive de resturi de carbon care sunt adesea depozitate ca deșeuri. Cercetarea noastră demonstrează că acest 'deșeu' de grafit poate fi recuperat, măcinat și reintegrat într-o matrice de gips pentru a crea materiale de construcție cu valoare adăugată. Utilizarea grafitului reciclat nu doar scade costurile de producție ale panourilor de ecranare, dar contribuie și la reducerea amprente de carbon a industriei construcțiilor. Astfel, produsul finit



propos nu este doar o soluție tehnică pentru poluarea electromagnetică, ci și un exemplu practic de economie circulară, transformând un reziduu industrial într-un scut de protecție performant și ecologic.

BIBLIOGRAFIE

1. Esan, Taiwo. Review of gypsum reinforced composites as building materials. Discover Civil Engineering. 1. 10.1007/s44290-024-00005-x. (2024)
2. Hui Jia, Qing-Qiang Kong, Xiao Yang, Li-Jing Xie, Guo-Hua Sun, Lei-Lei Liang, Jing-Peng Chen, Dong Liu, Quan-Gui Guo, Cheng-Meng Chen, Dual-functional graphene/carbon nanotubes thick film: Bidirectional thermal dissipation and electromagnetic shielding, Carbon, Volume 171, 2021, Pages 329-340, ISSN 0008-6223.
3. Mano, Chanita & Maneewan, Somchai & Thongtha, Atthakorn. Graphite-enhanced PCMs in Gypsum Boards for Reduced Building Energy Requirements. Materials Science. 30. 99-107, (2025).
4. Powertec Wireless Technology, *Glossary of Terms: RSRP (Reference Signal Received Power)*, disponibil la adresa: <https://portal.powertec.com.au/technical-library/document-writing/glossary-terms/rsrp>
5. Quy-Dat Nguyen, Choon-Gi Choi, Recent advances in multifunctional electromagnetic interference shielding materials, Heliyon, Volume 10, Issue 10, e31118, 2024.
6. Yang, R., Gui, X., Yao, L. *et al.* Ultrathin, Lightweight, and Flexible CNT Buckypaper Enhanced Using MXenes for Electromagnetic Interference Shielding. *Nano-Micro Lett.* **13**, 1, 66 (2021).



ANALIZA ECONOMICĂ ȘI FEZABILITATEA CONSTRUIRII UNEI SĂLI DE ESCALADĂ AUTONOMĂ ȘI ENERGETIC EFICIENTĂ

Autor/autori

Emese TOTH¹,

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Toth.Zs.Emese@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ec. Sorina Anamaria CIPLEA²

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

REZUMAT: *Eficiența energetică a construcțiilor noi și maximizarea rentabilității investițiilor reprezintă două direcții importante ale sectorului construcțiilor în starea actuală a pieței. Sălile de escaladă, escalada ca activitate sportivă sau recreativă prezintă tendințe de dezvoltare accelerată, reprezentând o opțiune viabilă de realizare a unor investiții noi și inovatoare în domeniu. Construirea unei săli de escaladă autonome și eficiente energetic prezintă multe avantaje în raport cu incintele tradiționale, oferind o variantă sustenabilă pe termen lung. Conceptul de bază al unei astfel de investiții reprezintă minimizarea cheltuielilor de exploatare provenite din resurse materiale și umane, contribuind la creșterea rentabilității. În prezenta lucrare se analizează investiția necesară înființării unui obiect de construcție având caracteristicile menționate anterior, se studiază fezabilitatea acestuia pe termen lung, din punctul de vedere al cheltuielilor operaționale, al veniturilor, din punct de vedere al sustenabilității, al impactului asupra societății și mediului.*

Cuvinte cheie: săli de escaladă, eficiență energetică, autonomă, analiză, fezabilitate

1. Introducere

1.1 Eficiența energetică și autonomizarea încăperilor.

Eficiența energetică, sustenabilitatea, clădirile nZEB (nearly Zero Emission Buildings) au devenit un punct important atât la nivel național cât și la nivel european în planul construcțiilor dar și în planul afacerilor. Eficiența energetică a clădirilor presupune asigurarea nivelului de confort adecvat printr-un necesar de energie minim, astfel economisind resurse și reducând emisiile poluante. Cum reflectă și Pactul Ecologic European, se dorește ca până în anul 2050 Uniunea Europeană să se transforme într-o societate neutră din punct de vedere climatic, reducând emisiile, promovând energia curată și protejarea biodiversității. Statul Român își exprimă de asemenea dorința de a rămâne în concordanță cu Pactul European prin „Strategia energetică a României 2020-2030, cu perspectiva anului 2050”, se dorește eficiența energetică, se dorește sustenabilitatea – este nevoie de o orientare spre această abordare a construcțiilor.

Automatizarea și autonomizarea reprezintă moduri de efectuare a sarcinilor mecanizat, pe baza unor programe și/sau sisteme cu minimizarea necesității resursei umane. În era digitalizării și mai mult cu apariția inteligenței artificiale, automatizarea devine din ce în ce mai accesibilă și aduce cu sine multe beneficii. Sarcinile repetitive se pot înlocui cu sisteme mecanizate, se pot realiza cu ușurință funcționări continue și se poate minimiza factorul uman



în procese. O încăpere autonomizată este caracterizată prin eliminarea resursei umane din procesul de exploatare, totodată menținând procesul de producție la nivelul optim.

1.2 Sală de escaladă; obiectul de investiție

În ultimele două decenii, escalada s-a transformat dintr-un sport de nișă, practicat doar de profesioniști în zone montane, într-una dintre cele mai populare sporturi recreative. Debutul sportului în Jocurile Olimpice din Tokyo 2020, a contribuit mult la creșterea popularității ei, atragând atenția oamenilor, oferind o variantă neobișnuită a sălilor tradiționale de fitness. Cererea a crescut semnificativ și piața – pe nivel internațional și național – este în continuă dezvoltare, pe teritoriul României la ziua actuală sunt peste 30 de săli de escaladă.

1.3 Sală de escaladă energetic eficientă cu funcționare autonomă.

Majoritatea sălilor existente sunt construcții de tip hală, axate pe maximalizarea spațiilor utile și a suprafețelor de cățărare, înălțimile interioare care pot atinge 15 m, suprafețele încăperilor pot ajunge la 1000 m². La astfel de afaceri apare un consum crescut de resurse, care implică valori ale cheltuielilor operaționale ridicate. Cheltuielile operaționale se pot împărți în două mari categorii: cheltuieli cu instalații și cheltuieli cu personalul; operarea instalațiilor termice, de ventilare și de iluminat reprezintă cea mai mare cheltuială de exploatare pentru afacere. O sală proiectată eficient energetic poate reduce semnificativ cheltuielile de exploatare iar prin implementarea autonomizării se pot reduce și mai mult aceste cheltuieli. Totodată eliminarea factorului uman, automatizarea instalațiilor și echipamentelor este benefic și din punctul de vedere al managementul riscurilor.

2. Noțiuni teoretice: analiza economică și fezabilitatea construcțiilor

Pentru a putea evalua dacă o investiție este fezabilă și oportună sau nu, aceasta trebuie analizată din mai multe puncte de vedere. Analiza economică a investițiilor în construcții reprezintă procesul prin care se evaluează oportunitatea și viabilitatea unui proiect, luând în considerare atât aspectele financiare, cât și riscurile asociate. Scopul acestei evaluări este justificarea necesității investiției, și capacității acestuia de a genera profit.

Pentru evaluarea fezabilității investițiilor se pot utiliza o multitudine de indicatori economico-financiare și de risc. Dintre cei mai importanți indicatori se pot enumera: Valoarea Actualizată Netă, Rata Internă de Rentabilitate, Indicele de Profit, Termenul de Recuperare al Investiției și Marja Netă de Profit.

Interfața investițiilor, mediul economic este caracterizat de schimbări constante, fluctuații de nevoi, prețuri și oportunități. Riscul poate fi descris ca măsura probabilității și a consecințelor de a nu atinge obiectivul investiției propuse. Altfel spus, riscurile sunt evenimente prevăzute și/sau neprevăzute cu efecte negative, care generează daune sau pierderi de capital pentru societate. Aceste evenimente uneori sunt inevitabile și trebuie asumate de către conducerea societății.

Printre riscurile principale posibile într-o investiție trebuie menționat riscul de îndatorare, riscul de exploatare, riscul financiar, riscul de lichiditate dar și riscul de execuție. Multe din aceste riscuri nu se pot evalua numeric, însă ele se pot elimina prin implementarea



unor măsuri manageriale și organizatorice adecvate. Pentru evaluarea riscului dintr-un punct de vedere calculabil, se folosesc în prezentul studiu doi indicatori specifici, și anume: Rata de Îndatorare și Rata de Acoperire a Dobânzii.

3. Studiu de caz: investiția propusă

3.1.Datele beneficiarului

În prezentul studiu de caz, beneficiarul obiectului de construcție este societatea comercială ClimbUP S.R.L., având sediul în Constanța. Firma este una nou înființată, are obiectul principal de activități ale bazelor sportive și dorește să investească într-o sală sportivă modernă. Pentru realizarea investiției firma va avea nevoie de o finanțare bancară prin credit comercial.

3.2.Descrierea investiției

Obiectul investiției îl constituie o sală de escaladă, construită sub forma unei hale metalice dotate adecvat pentru putea avea o funcționare autonomă și energetic eficientă, amplasată în Municipiul Constanța.

Caracteristicile geometrice ale clădirii sunt următoarele: 18m lățime, 24m lungime, 13.5m înălțime la coamă și 14.5m înălțime la streșină. Clădirea are două etaje intermediare pe o jumătate al acesteia, având o suprafață utilă totală de 864 m².

Clădirea propusă este dotată cu: sistem de panouri fotovoltaice, pomă de căldură electrică, boiler electric, camere de supraveghere, sistem de acces automatizat.

Pentru a obține o funcționare autonomă și energetic eficientă, totalitatea instalațiilor se aleg având funcționare electrică, eliminând consumurile de energie fosilă (cum sunt și centrale termice tradiționale). Consumul de energie electrică fiind astfel principala sursă de cheltuială al clădirii în timpul exploatării.

3.3.Producția și consumul de energie electrică

O funcționare ideală ar putea fi atinsă, dacă energia produsă de panourile fotovoltaice ar acoperi consumul de energie necesară pentru funcționare a sălii. Astfel energia zilnică medie produsă trebuie să fie cât mai egal cu energia zilnică medie consumată. Valorile respective se estimează în funcție de caracteristicile clădirii și al amplasamentului; clima specifică zonei de amplasare joacă un rol important în valorile finale. Temperatura interioară ideală pentru agrement și efort fizic este între 18 și 20 °C, se consideră 18 °C în perioade de vară și 20 °C în perioade de iarnă.

Pentru estimarea consumului de energie electrică, se aproximează în primul rând energia necesară încălzirii (și răcirii) incintei, aceasta reprezentând majoritatea consumului total. Restul energiei electrice necesară funcționării incintei se calculează ca un procent de 25% din consumul pentru încălzirea incintei. Pompa de căldură considerată este caracterizată de un factor de performanță anuală egală cu 5. Astfel, valoarea energiei electrice consumate anual este indicată în tabelul 1.



Tabel 1. Calculul energiei electrice necesare

Amplasament	Constanța
Suprafața utilă [m ²]	864.00
Volum de aer încălzit [m ³]	11,664.00
Căldură necesară [MWh] termic	466.56
AEP pompă de căldură	5.0
Consum anual de energie necesară încălzirii [MWh]	93.312
Consum anual de energie totală [MWh]	116.640

Panourile fotovoltaice se presupun amplasate pe acoperișul clădirii. Suprafața totală al acoperișului fiind 432 m², din care luminatoarele ocupă 5%, este la dispoziție o suprafață maximă între 375-400 m². Se montează panouri cu putere de 0.5kW, având suprafața de 2 m². Amplasarea clădirii în Constanța constituie un caz mai favorabil din punct de vedere al producției de energie, aceasta s-a estimat în tabelul 2, pentru 3 valori distincte al puterii totale al panourilor fotovoltaice.

Tabel 2. Producția de energie pentru instalația propusă

Suprafață ocupată [m ²]	240		280		320	
Putere instalată [kW]	60		70		80	
Anotimp	Iarnă	Vară	Iarnă	Vară	Iarnă	Vară
Producție zilnică [kWh/kW/zi]	3.7	4.25	3.7	4.25	3.7	4.25
Producție zilnică [kWh/zi]	222	255	259	297.5	296	340
Producție anuală [MWh]	87.05		101.56		116.07	

Se observă că este necesar instalarea unui sistem de panouri fotovoltaice cu o putere totală de 80kW pentru a acoperi aproximativ consumul anual de energie electrică necesară. Prețul ofertă pentru un astfel de sistem este de 155,360 RON fără TVA. La prețul actual al energiei electrice de aproximativ 1.00 RON/kWh, instalația propusă de încălzire ar genera costuri aproximative de 116,000 de RON (TVA inclus) în cheltuieli de exploatare. Prin integrarea unor sisteme de baterii la sistemul de panouri fotovoltaice, se poate acoperi 100% consumul de energie electrică; soluționând astfel deficitul între producția și consumul de energie de 0.54 MWh.

3.4. Valoarea investiției necesare

În urma calculelor și întocmirii devizului general pentru obiectivul de investiție s-a obținut valoarea estimată, totală al investiției necesare pentru realizarea acestuia.

Valoarea totală al investiției : 3,570,260.94 RON fără TVA.

4. Analiza investiției

4.1. Estimarea veniturilor și cheltuielilor operaționale



Estimarea veniturilor și cheltuielilor operaționale s-a efectuat detaliat pe durata anului 2027, și se estimează pe o perioadă totală de 10 ani, luând în calcul o creștere anuală de 5% al veniturilor și o creștere anuală de 3% al cheltuielilor de exploatare.

Se ia în calcul împrumutul necesar realizării investiției de valoarea 3,000,000 RON stabilit pentru o perioadă de 10 ani, cu o dobândă fixă de 7%.

Pentru a determina indicatorii necesari s-a efectuat o estimare a veniturilor operaționale pe un an; veniturile incintei se compun din vânzarea de bilete, abonamente, alimentelor și băuturilor, respectiv din închirieri de echipamente. Prețurile unitare pentru bunurile și serviciile oferite s-au menținut constante pe totalitatea perioadei considerate. Estimarea sumelor s-a efectuat pe baza unei cercetări de piață, analizând sălile de escaladă existente pe teritoriul României și nivelul de popularitate al acestuia în funcție de localitatea în care este amplasat incinta. Prețurile (c TVA incluse) pe unități de măsură considerate sunt: 55 RON pentru un bilet de intrare, 25 RON pentru echipamente închiriate și 260 RON pentru abonamente lunare. Estimarea veniturilor anuale pentru anul 2027 sunt reprezentate în figura 1.

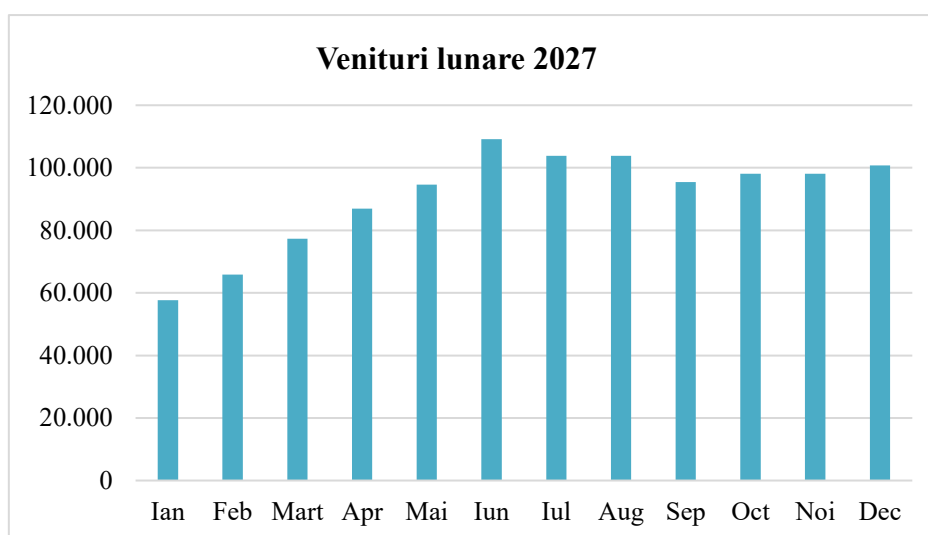


Figura 1. Venituri lunare estimate pentru anul 2027

Cheltuielile de exploatare estimative sunt centralizate mai jos, în tabelul 3.

În estimarea cheltuielilor operaționale s-a ținut cont de câteva aspecte importante:

- Numărul angajaților și cheltuielile cu angajații sunt cele minime necesare funcționării incintei, aceasta având posibilitatea de funcționare autonomă pe durate determinate (de ordinul 12-24 ore)
- Instalațiile sunt consumatori de energie electrică, acest consum este acoperit de producția sistemului de panouri fotovoltaice, astfel cheltuielile cu energie electrică se pot considera nule.
- Se ia în calcul amortizarea unor dotări – prize de escaladă și echipamente speciale în valoare de 100,000 RON. Amortizarea se efectuează liniar pe perioada considerată de 10 ani. Valoarea acestora nu este inclus în valoarea inițială de investiție.

Pe baza veniturilor și cheltuielilor estimate s-a stabilit de asemenea contul de profit și pierderi al societății comerciale (CPP) pentru anul 2027, detaliat în tabelul 4.



Tabel 3. Estimarea cheltuielilor de exploatare

Cheltuieli de exploatare lunare	RON, cu TVA inclus
Cheltuieli cu angajați	19,000.00
Cheltuieli cu energie electrică (inclusiv încălzire)	0
Cheltuieli cu apă și canalizare	1,500.00
Cheltuieli cu asigurări	1000
Cheltuieli cu consumabile	2,500.00
Cheltuieli cu taxe locale	600
Alte cheltuieli	
Cheltuieli de marketing	3,500.00
TOTAL pe lună	28,100.00
TOTAL PE AN, inclusiv TVA	337,200.00
TOTAL PE AN, fără TVA	278,677.69

Tabel 4. Contul de Profit și Pierderi anul 2027

Venit total an 2027		896,537.19
	Cheltuieli de exploatare	278,677.69
Profit brut din exploatare		617,859.50
	Amortizarea	10,000.00
Profit net din exploatare		607,859.50
	Dobânda la împrumut pe termen lung	21,000.00
	Total cheltuieli cu dobânzile	21,000.00
Profit brut înainte de impozit		586,859.50
Impozit pe profit 16%		93,897.52
Profit net		492,961.98

4.2. Analiza economico-financiară

Analiza economică se poate efectua cu ajutorul indicatorilor economici specifici, astfel evaluând eficiența investiției. Se analizează Indicele de Profitabilitate, Valoarea Actualizată Netă, Rata Internă de Rentabilitate și Durata de Recuperare al Investiției. Calculele analizei au fost centralizate în tabelul 5.

Tabel 5. Analiza economico-financiară al societății

An	Venit (RON)	Chelt. expl. (RON)	Profit înainte de impozit (RON)	Impozit (RON)	Profit net (RON)	CF	r	CF actualizat (RON)
2027	896,537.19	278,677.69	586,859.50	93,897.52	492,961.98	502,961.98	0.91	457,238.17
2028	941,364.05	287,038.02	623,326.03	99,732.17	523,593.87	533,593.87	0.83	440,986.67
2029	988,432.25	295,649.16	661,783.10	105,885.30	555,897.80	565,897.80	0.75	425,167.39
2030	1,037,853.86	304,518.63	702,335.23	112,373.64	589,961.60	599,961.60	0.68	409,781.84
2031	1,089,746.56	313,654.19	745,092.37	119,214.78	625,877.59	635,877.59	0.62	394,829.95
2032	1,144,233.89	323,063.82	790,170.07	126,427.21	663,742.86	673,742.86	0.56	380,310.28
2033	1,201,445.58	332,755.73	837,689.85	134,030.38	703,659.47	713,659.47	0.51	366,220.15
2034	1,261,517.86	342,738.40	887,779.46	142,044.71	745,734.74	755,734.74	0.47	352,555.84



2035	1,324,593.75	353,020.55	940,573.20	150,491.71	790,081.49	800,081.49	0.42	339,312.65
2036	1,390,823.44	363,611.17	996,212.27	159,393.96	836,818.31	846,818.31	0.39	326,485.11
Dobânda anuală		21000		Suma CF actualizat		3,892,888.06		
Amortizația anuală		10000		VAN		322,627.12		
Investiția inițială		3,570,260.94		RIR		11.87%		

Valoarea Actualizată Netă – VAN: este diferența dintre suma valorilor cash-flowurilor anuale și valoarea cheltuielilor cu investiția; investiția se acceptă dacă $VAN > 0$

$$VAN = \sum_{i=1}^n CF_i \frac{1}{(1+r)^i} - I \quad (1)$$

VAN calculată pe o perioadă de 10 ani, cu o tendință crescătoare a veniturilor anuale de 5% și o creștere anuală a cheltuielilor de 3% avem: $VAN = 322,627.12 \text{ RON} > 0$.

Rata Internă de Rentabilitate – RIR: este rata de actualizare pentru care $VAN = 0$ și $IP = 1$;

$$\sum_{i=1}^n CF_i \frac{1}{(1+RIR)^i} = I \quad (2)$$

Pentru investiția propusă, pentru o perioadă considerată de 10 ani, avem: $RIR = 11.87\%$.

Indicele de Profitabilitate – IP:

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n CF_i \frac{1}{(1+r)^i}}{I} = \frac{3,892,888.06 \text{ RON}}{3,570,260.94 \text{ RON}} = 1.09 \quad (3)$$

Termenul de Recuperare al Investiției – TRI: este acel indicator care reflectă timpul necesar recuperării capitalului investit în proiect; este raportul dintre investiția inițială și profitul net anual.

$$TRI = \frac{I}{P_{net}} = \frac{3,570,260.94 \text{ RON}}{492,961.98 \text{ RON}} = 7.24 \text{ ani} \quad (4)$$

Pentru calculul termenului de recuperare al investiției s-a considerat simplificat profitul net estimat, fără a lua în calcul creșteri posibile ale veniturilor. Se menționează faptul că, pentru calculul indicilor economici de mai sus nu s-a luat în calcul valoarea împrumuturilor.

Rentabilitatea Activelor – ROA: măsoară cât de eficient își folosește compania toate bunurile pe care le deține pentru a genera profit.

$$ROA = \frac{P_{net}}{T_{act}} 100 = \frac{492,961.98 \text{ RON}}{3,570,260.94 \text{ RON}} 100 = 13.81\% \quad (5)$$

Marja Netă de Profit: este unul dintre cei mai importanți indicatori de sănătate financiară, demonstrând procentul din bani încasați ce rămân în societate ca profit. Arată ce procent din totalul banilor încasați rămân în firmă, după plata datoriilor.

$$\text{Marja Netă} = \frac{P_{net}}{CA} 100 = \frac{492,961.98 \text{ RON}}{896,537.19 \text{ RON}} 100 = 54.99\% \quad (6)$$

Pragul de Rentabilitate - PR: este un indicator care reprezintă momentul (sau volumul de vânzări) în care valoarea veniturilor este egal cu valoarea cheltuielilor, este punctul de echilibru



când afeacerea încă nu generează profit, dar nu are nici pierderi. Se poate calcula în unități fizice sau valoric.

PR calculat pentru unități de abonamente lunare vândute, considerând costurile variabile pe unitate egal cu 0:

$$PR \text{ (Bucăți)} = \frac{C_{FT}}{\text{Preț de vânzare} - C_{FT}} = \frac{28,100.00 \text{ RON}}{260.00 \text{ RON} - 0 \text{ RON}} = \mathbf{108,08 \text{ unități}} \quad (7)$$

Termenii explicați pentru formulele folosite anterior:

CF_i reprezintă fluxurile de numerar nete pentru perioada i

r reprezintă rata de actualizare și este egal cu 10%

I reprezintă investiția inițială, are valoarea de 3,570,260.94 RON

P_{net} reprezintă profitul net pe an

T_{act} este valoarea totală al activelor deținute de societate

CA reprezintă cifra de afaceri al societății

C_{FT} este valoarea costurilor fixe lunare

C_{vbuc} este costul variabil pe bucată de unitate produsă

4.4 Analiza riscurilor

În cadrul unei investiții care implică realizări de construcții și înființări de entități cu activitate economică, riscurile pot apărea într-un număr mare. Aceste riscuri pot fi prezente în faza de executare a lucrărilor – sub formă de întârzieri și cheltuieli neprevăzute, dar și în faza de exploatare al investiției – fluctuări de venituri, lipse de clienți sau alte cheltuieli neprevăzute. În cadrul evaluării riscurilor în prezentul studiu, analiza efectuată s-a parcurs prin calcurarea următoarelor indicatori de risc: Rata Îndatorării și Rata de Acoperire a Dobânzii.

Rata îndatorării – R_i : este un indicator care exprimă proporția capitalului finanțat prin datorii în raport cu capitalul propriu.

$$R_i = \frac{T_{dat}}{T_{act}} 100 = \frac{3,000,000.00 \text{ RON}}{3,570,260.94 \text{ RON}} 100 = \mathbf{84.03\%} \quad (8)$$

Rata de acoperire a dobânzii – R_{ad} : acest indicator arată capacitatea societății de a-și acoperi cheltuielile cu dobânzile.

$$R_{ad} = \frac{P_{brut} + C_{dob}}{C_{dob}} 100 = \frac{586,859.50 \text{ RON} + 21,000 \text{ RON}}{21,000 \text{ RON}} 100 = \mathbf{28.94\%} \quad (9)$$

Termenii explicați pentru formulele folosite anterior:

T_{dat} este valoarea totală al datoriilor

T_{act} este valoarea totală al activelor deținute de societate

P_{brut} este valoarea brută al profitului,

C_{dob} reprezintă valoarea cheltuielilor cu dobânzile



5. Concluzii

Studiul de caz prezentat, analiza economico-financiară al investiției propuse evidențiază faptul că înființarea și construirea unei săli de escaladă autonome și eficiente din punct de vedere energetic, este fezabil, fiind încastrată în tendințele actuale de dezvoltare sustenabilă.

Modelul de afecere propus, generează un avantaj competitiv, datorită inovațiilor care reuc semnificativ cheltuielile. Indicatorii economici demonstrează capacitatea investiției de a genera profit: având $IP > 1$, se confirmă eficiența utilizării capitalului, iar $VAN > 0$ indică capacitatea investiției de a genera valoare adăugată capitalului investit. RIR depășește rata de actualizare considerată, producând un randament net superior, iar termenul de recuperare al investiției este unul rezonabil raportat la durata de viață a acesteia.

Marja netă de profit, situată peste 50%, reflectă un nivel ridicat de eficiență operațională, demonstrând că jumătate din veniturile încasate se transformă în profit, însă indicatorii de risc evidențiază existența unor posibile vulnerabilități. Rata de acoperire a dobânzii arată că profitul operațional este de aproape 30 de ori mai mare decât cheltuielile cu dobândă, indicând o capacitate bună de susținere a datoriei, rata îndatorării este ridicată, având valoarea egală cu 84%, ceea ce face investiția sensibilă la variațiile posibile ale veniturilor și cheltuielilor.

În concluzie, investiția analizată prezintă un potențial ridicat de profitabilitate și sustenabilitate pe termen lung, atât din punct de vedere economic, cât și prin integrarea soluțiilor de energie regenerabilă. Proiectul, care se dorește a fi implementat, prezintă un potențial investițional foarte bun, fiind recomandat spre implementare.

BIBLIOGRAFIE

1. Antohie E., *Economia lucrărilor de construcții*, Editura Societății Academice „Matei-Teiu Botez”, Iași, 2009.
2. Departamentul de Finanțe, Facultatea de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor, *Ghid de pregătire a probei de evaluare a cunoștințelor fundamentale și de specialitate* (Proba 1), 2022.
3. Florea V., *Proiecte economice - instrument managerial de planificare a afacerilor în comerț și turism*, 2008.
4. Handrea A. C., Grec A. M., Marița G. D. M., *Analiza principalelor riscuri financiare într-o firmă de construcții*, 2024.
5. Ștefănescu A., Ștefănescu M. E., Roșu C., Dumitrescu M., *Ghidul beneficiarului pentru construcții noi, renovări și reabilitări de construcții existente la standarde nZeb*, 2025.
6. STAS 1907/2-2014, *Instalații de încălzire, Necesarul de căldură de calcul, Temperaturi interioare convenționale de calcul*.
7. <https://www.bosch-homecomfort.com/ro/ro/rezidential/informatii-utile/sfaturi-sisteme-incalzire/pompe-de-caldura/consum-pompa-de-caldura/>
8. <https://powersense.ro/sisteme-fotovoltaice>



MORTAR CAUCIUCAT

Autori

Teodor A. SFARGHI¹, Horațiu V. STANCU², Nicușor A. SÎRCA³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , e-mail.: Sfarghi.Cr.Teodor@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , e-mail.: Sirca.Pe.Nicutor@student.utcluj.ro

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, , e-mail.: Stancu.Ma.Horatiu@student.utcluj.ro

Îndrumător

Șef lucrări.dr.ing.Elena JUMATE

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

REZUMAT: Deșeurile provenite din anvelope reprezintă un pericol pentru mediul înconjurător și pentru sănătatea noastră. Cantitatea de deșeuri crește succesiv de la an la an, creând probleme mari la nivel mondial. Acest studiu urmărește să ofere o perspectivă asupra aplicațiilor materialelor compozite din beton cauciucat, sporind metodele de construcții inovative și prietenoase cu mediul înconjurător. Utilizarea materialelor reciclate în industria construcțiilor reprezintă o direcție esențială pentru dezvoltarea durabilă.^[1] Mortarul cauciucat, obținut prin substituirea parțială a agregatului fin cu granule de cauciuc provenite din anvelope uzate, oferă avantaje precum masa proprie redusă, elasticitate crescută și comportament îmbunătățit în medii agresive. Lucrarea analizează influența procentului de cauciuc (5%, 10%, 15%) asupra proprietăților mecanice ale mortarului, utilizând un program experimental riguros. Rezultatele arată o scădere progresivă a rezistenței la compresie și încovoiere odată cu creșterea conținutului de cauciuc, dar confirmă potențialul materialului în aplicații nestructurale, precum balcoane, șape, panouri fonoabsorbante și elemente arhitecturale.

Cuvinte cheie: cauciuc, mortar, deșeuri, reciclare, construcții.

1.Introducere

Producția de anvelope pentru vehicule crește exponențial datorită creșterii populației și dezvoltării rapide a transporturilor. Anvelopele uzate sau cele care și-au depășit perioada de utilizare reprezintă o cantitate uriașă. Medina et al.^[2] afirmă că deșeurile de anvelope ieșite din uz sunt aproape la fel de mari ca producția de anvelope noi (mai mare de 2,9 miliarde de anvelope în 2017). Arderea sau utilizarea anvelopelor drept combustibil produc gaze care afectează drastic mediul și pun în pericol sănătatea oamenilor datorită conținutului de stiren. Aproximativ 6-8% din anvelopele uzate sunt reciclate și folosite ca materiale în industria construcțiilor din SUA și din țările UE.

Această lucrare investighează posibila utilizare a granulei de cauciuc reciclat 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 ^[3].



2 Materiale și metode

2.1 Materiale:

Programul experimental a urmărit realizarea a patru rețete de mortar (vezi Tabelul 1), una standard și alte trei în care s-au folosit granule de cauciuc, cu diferite proporții de înlocuire a acestora față de cantitatea de nisip: M.S. – rețeta standard, M.5% C (5% granule de cauciuc), M.10% C (10% granule de cauciuc) și M.15% C (15% granule de cauciuc) Proprietățile fizico-mecanice ale mortarelor obținute au fost studiate în comparație cu mortarul de referință.

Tabel 1. Rețete

MORTAR STANDARD	MORTAR 5% CAUCIUC	MORTAR 10% CAUCIUC	MORTAR 15% CAUCIUC
Ciment: 450g	Ciment: 450g	Ciment: 450g	Ciment: 450g
Nisip standard (0-4)mm:1350g	Nisip: 1282,5g	Nisip:1215g	Nisip:1147,5g
	Granule cauciuc:67,5g	Granule de cauciuc: 135g	Granule de cauciuc: 202,5g
Apă:225G	Apă:225g	Apă:225g	Apă:225g

În cadrul acestui program experimental, s-a utilizat metoda substituției masice, prin care o fracțiune din agregatul fin (nisip, 0–4 mm) a fost înlocuită cu cauciuc granulat (figura 1). Pentru garantarea unei maturări optime și a unei dezvoltări rapide a rezistențelor mecanice, s-a utilizat ciment de tip CEM 42,5, asigurând astfel un standard ridicat de calitate și o reactivitate chimică constantă pentru toate eșantioanele analizate^[4].

- **Cimentul de tip CEM 42,5:** Reprezintă componenta activă a mortarului. S-a optat pentru această clasă de rezistență pentru a garanta o cinetică de hidratare rapidă și o dezvoltare optimă a rezistențelor mecanice la termenele de control (7, 14 și 28 de zile).
- **Agregatul natural (Nisip):** Cu granulația de 0–4 mm, acesta constituie scheletul mineral rigid al matricei. Acesta scade de la cantitatea de la 1350g la 1147,5g pe măsura ce crește cantitatea de granule de cauciuc
- **Cauciucul granulat:** Utilizat ca substituent masic al nisipului, acesta are rolul de a modifica ductilitatea și densitatea mortarului final. Acesta crește de la 67.5 g la 202.5g. Ajută la scăderea greutății la un m³ cu aproximativ 13kg.
- **Apa:** Esențială pentru inițierea reacțiilor chimice de hidratare a liantului și pentru asigurarea lucrabilității necesare procesului de turnare.

2.2. Metode

Pentru ca rezultatele obținute să fie relevante, probele și determinările sunt realizate în laborator la o temperatură de aproximativ 20-22 °C. Dozajul componentelor mortarelor s-a realizat cu ajutorul cântarului electronic. Amestecul a fost realizat utilizând malaxorul automat (Figura 2).

Materialele sunt omogenizate în malaxor după următoarea ordine. Apa și cimentul se amestecă timp de 30 de secunde la o viteză mică apoi treptat se adaugă agregatul natural care se va amesteca timp de 30 de secunde la o viteză mare. Mortarul se lasă în repaus aproximativ 90 de secunde după care se face malaxarea finală cu o viteză mare pe durata unui minut.^[5]

- **Pregătirea matrițelor:** Suprafețele interioare ale matrițelor sunt curățate și tratate cu un strat uniform de ulei de decofrare aplicat cu ajutorul unei pensule, pentru a preveni aderența mortarului la pereți.
- **Vibro-compactarea secvențială:** Mortarul este turnat în matrițe în două etape, utilizând masa vibrantă pentru compactare
- **Etapa I (50% capacitate):** Se toarnă mortar până la jumătatea înălțimii matriței și se aplică vibrații de joasă intensitate pentru a asigura așezarea inițială și eliminarea bulelor mari de aer.
- **Etapa II (100% capacitate):** Se completează matrița până la refuz și se aplică vibrații de intensitate ridicată până la obținerea unei suprafețe plane și eliminarea aerului ocuzionat.

Finisare: Surplusul de material este îndepărtat cu o gletieră sau o riglă metalică pentru a obține o suprafață perfect plană.



Figura 5. aspect mortar



Figura 6. Malaxor

2.3 Maturarea

După 24 ore de la determinare, epruvetele au fost decofrate acestea au fost păstrate într-o ladă specială cu umiditate $>95\%$, iar ulterior s-au efectuat determinări asupra unei prisme din fiecare rețetă (M.S., 5%, 10%, 15%) la 7, 14 respectiv 28 de zile de la turnare ^[6].

2.4 Încercări mecanice

Aparatele utilizate pentru realizarea determinărilor (Figura 3) sunt:

- Aparatul Fruhling-Michaelis a fost utilizat pentru a determina rezistența la întindere prin încovoiere, având o distanță între reazeme de 10 cm (Figura 5).
- Pe resturile de prismă rezultate s-a realizat rezistența la compresiune cu ajutorul preseii hidraulice de 25 de tone (Figura 4).



Figura 7. Aspect prisme



Figura 8. Presă hidraulică



*Figura 9. Mașină pentru
încercare la*

înconvoiere/tracțiune

3.Rezultate și discuții

Rezultatele obținute în urma determinărilor subliniază impactul pe care îl are înlocuirea parțială a nisipului cu granule de cauciuc asupra rezistențelor fizico-mecanice ale mortarului.

Astfel, în tabelul 2 sunt prezentate valorile fizico-mecanice obținute pentru cele 4 rețete de mortar.

Analiza datelor arată, în comparație cu mortarul standard, o scădere a rezistenței din încovoiere cu aproximativ 13,5% pentru mortarul cu 5% cauciuc, 28,45% pentru mortarul cu 10% cauciuc și 35,29 pentru mortarul cu 15% cauciuc. Și rezistența la compresiune prezintă o scădere față de mortarul standard astfel: 28,62% mortarul cu 5% granule de cauciuc, 48,45% mortarul cu 10% granule de cauciuc și 55,04% mortarul cu 15% granule de cauciuc [7].



Tabel 2. Rezistența la întindere din înconvoiere și rezistența la compresiune

NR	MASA [gr]	INCOVOIERE F [N]	COMPRESIUNE		COMPRESIUNE	
			F [KN]	R [N/mm²]	F [KN]	R [N/mm²]
M. S. TURNAT 01.04.2026						
7 ZILE (08.04.2026)						
1	574.2	2500	60 .09	37. 55	15, 74.	9,8 3
14 ZILE						
1	574.9	2780	76 .80	48. 00	75. 02	46. 88
28 ZILE						
1	553.6	3350	96 .22	60. 13	92. 41	57. 75
R. 1 5% CAUCIUC						
7 ZILE (08.04.2026)						
1	551.9	2150	46 .76	29. 22	43. 69	27. 30
14 ZILE						
1	549.5	2440	52 .26	32. 66	44. 50	27. 81
28 ZILE						
1	530.2	2875	67 .41	42. 13	38. 22	36. 38
R. 2 10% CAUCIUC						
7 ZILE (08.04.2026)						
1	513.4	1740	37 .74	23. 58	56. 48	22. 80
14 ZILE						
1	504.7	2060	38 .20	24. 60	46. 05	28. 78
28 ZILE						
1	504.4	2375	44 .25	27. 65	48. 25	30. 15
R. 3 15% CAUCIUC						
7 ZILE (08.04.2026)						
1	518.5	1710	29 .45	18. 40	29. 35	18. 34
14 ZILE						
1	503.1	1650	35 .17	21. 98	24. 43	15. 26
28 ZILE						
1	498.6	2225	39 .97	24. 98	38. 23	23. 89

De asemenea, la etapa compactării pe masa vibrantă, la mortarul cu 15% granule de cauciuc s-a observat cum, datorită diferenței mari de densitate, granulele de cauciuc au urcat la



suprafață. Acest fenomen de segregare ne atrage atenția asupra faptului că nu putem mări procentajul de cauciuc mai mult de 15%.

Putem spune că, mortarul cu 5% granule de cauciuc în compoziție este soluția optimă pentru a utiliza cauciucul în elemente de construcții. Scăderile fizico-mecanice nu sunt foarte mari, iar masa prisme este mai mică.

4. Domenii de aplicabilitate optimă

4.1 Recomandat

Betonul cu adaos de cauciuc (în special concentrațiile de 5-10%) este indicat în contexte unde masa proprie redusă și capacitatea de amortizare constituie avantaje competitive, iar sollicitările mecanice sunt controlate [8].

Elemente non-structurale și de arhitectură:

- Panouri de izolare fonică/termică:

Datorită structurii poroase induse de granule, materialul prezintă proprietăți superioare de atenuare acustică.

- Elemente de pavaj și amenajări exterioare:

Se pot realiza trotuare, zone pietonale, piste de alergat sau piste de biciclete unde traficul greu este absent, dar este necesară o suprafață cu aderență bună și capacitate de deformare (elasticitate).

Reabilitări structurale (cu calcul de verificare):

- Extinderi sau completări:

Balcoane sau planșee de mansardă unde consolidarea structurii principale nu permite adăugarea unei greutăți suplimentare mari (se utilizează varianta de 5% cauciuc).

- Elemente de umplutură:

Stratul de egalizare (șapă) pentru terase sau planșee, unde reducerea sarcinii permanente pe structura de rezistență a clădirii este critică.

4.2 Nerecomandat

Utilizarea acestui compozit este contraindicată în elementele care definesc integritatea structurală a construcției.

- **Stâlpi și fundații:**

Aceste elemente sunt supuse unor eforturi de compresiune axială majoră; reducerea rezistenței la compresiune (constatată la testele de 15% cauciuc) ar compromite stabilitatea întregii clădiri.

- **Grinzi de mare deschidere:**

Riscul de „săgeată” (deformare elastică) este mult mai mare la betonul cu cauciuc din cauza modulului de elasticitate scăzut.

- **Structuri precomprimate:**

Betonul cu adaos de cauciuc nu este adecvat pentru elemente pretensionate sau post-tensionate, deoarece granulele de cauciuc pot induce pierderi de tensiune și fisuri sub presiune.

- **Medii cu uzură abrazivă severă:**



Drumuri de mare viteză sau platforme industriale pentru utilaje grele (unde eforturile de forfecare și abraziune ar duce la degradarea prematură a matricei de beton prin smulgerea granulelor de cauciuc).

5. Concluzii

Cercetarea de față a fost inițiată pe baza unei idei evidente – dezvoltarea unei metode de reciclare a cauciucului provenit din anvelope uzate pentru utilizarea în materiale de construcții și reducerea impactului acestora asupra mediului. În acest context, a fost analizată înlocuirea parțială a nisipului natural cu granule de cauciuc în diferite proporții și influența acestuia asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale mortarului.

Este evident că creșterea procentului de cauciuc în mortar conduce la o reducere semnificativă a rezistenței la compresiune și încovoiere. Această tendință era de așteptat, din cauza diferenței de rigiditate dintre cauciuc și agregatele naturale, care influențează structura mortarului.

Cu toate acestea, trebuie menționat că utilizarea unor cantități mici de cauciuc (în special 5%) aduce anumite avantaje în ceea ce privește proprietățile mecanice și alte caracteristici ale materialului. Mortarul rezultat, cu elasticitate mai mare și masă redusă, poate fi utilizat cu succes în elemente nestructurale.

La un procent mai mare de cauciuc, de aproximativ 15%, s-a observat fenomenul de segregare a particulelor de cauciuc, ceea ce evidențiază existența unor limite clare privind proporția acestuia în compoziție ^[9].

Mortarul cauciucat poate fi considerat un material promițător, prietenos cu mediul.

BIBLIOGRAFIE

1. Siddique, R., & Khatib, J. (2010). Use of recycled glass in concrete: A review. *Waste Management*, 30(2), 234–250.
2. Medina N.F., Reyes G., Hajirasoulihab I., Pilakoutasb K., Maurizio Guadagninib M., Raffoulb S. (2018) "Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction", *Construction and Building Materials*, 188, 884-897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.069>
3. Kumar, S., & Singh, R. (2018). "Recycling of Waste Glass in Construction Materials: A Review." *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18884-18891.
4. Normative naționale: Ghiduri tehnice privind utilizarea materialelor reciclate în construcții (ex: indicativul specific reglementat de ASRO/IS)
5. Netea A., Manca D.L., Aciu C., Jumate E., Babotă F., Pleșa L.M., Iernuțan R.A., *Materiale De Construcții, Chimie*, UTPRESS, Cluj-Napoca, 2019.
6. 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.
7. Khatib, Z. K., & Bayomy, F. M. (1999). Rubberized Portland Cement Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*
8. Centro de Investigación en Tecnologías Gráficas, Universitat Politècnica de València, 46022 València, Spain disponibil la: <https://citg.webs.upv.es/>
9. Engineering Data Mining And Numerical Simulations (EDMANS) Group, Universidad de la Rioja: Portal de la Investigación Repositorio Institucional disponibil la: <https://investigacion.unirioja.es/>



INTEGRAREA DEȘEURILOR DE CAUCIUC ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR

Autor/autori

Balázs-Róbert FODOR¹

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

Îndrumător/îndrumători

Lector ing. dr. fiz. Moldovan DUMITRIȚA²

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

REZUMAT: Acest studiu se bazează pe analizarea efectelor produse de ranforsarea cu cauciuc. În această lucrare se investighează efectele integrării deșeurilor de cauciuc, sub formă de filer, în compoziția mortarelor pe baza de ciment, urmărind valorificarea sustenabilă a anvelopelor uzate. Analiza influenței înlocuirii parțiale a agregatelor cu cauciuc în proporții de 5% și 10%, punând accent pe dualitatea dintre performanțele acustice și cele mecanice. Datorită structurii elastice și poroase a cauciucului, rezultatele indică o îmbunătățire semnificativă a capacității de amortizare a vibrațiilor și a izolării fonice. Noutatea fiind analiza micro structurală prin analiza RMN. Totuși, în studiul de față se mai studiază rezistențele mecanice, care sunt afectate de rigiditatea scăzută a particulelor de cauciuc și de aderența în matricea cimentică. Mai mult analizele mecanice vor fi corelate cu analize a durabilității și a comportamentului la acțiunea apei asupra mortarului după ranforsare. Un alt element de noutate îl reprezintă validarea rezultatelor printr-o abordare hibridă, utilizând metode matematice și numerice pentru a corela datele de laborator cu valorile teoretice. Astfel că se oferă o perspectivă clară asupra dozajului optim necesar pentru a echilibra beneficiile ecologice și acustice cu exigențele structurale ale materialului.

Cuvinte cheie: elastomer, RMN, încovoiere, densitate, vibrații.

1. Introducere

În ultimii ani, interesul pentru utilizarea materialelor reciclate în construcții a crescut semnificativ, datorită necesității de a reduce impactul asupra mediului și de a găsi soluții eficiente pentru valorificarea deșeurilor. Printre acestea, deșeurile de cauciuc provenite din anvelope uzate reprezintă o categorie importantă, datorită volumului mare generat și a dificultății de degradare în condiții naturale [1]. În acest context, reutilizarea lor în compoziția materialelor de construcții devine o opțiune eficientă. Integrarea particulelor de cauciuc în mortarele pe bază de ciment, prin înlocuirea parțială a agregatelor naturale poate fi o soluție bună. Această abordare nu doar că oferă o soluție sustenabilă de reciclare, dar poate influența și proprietățile materialului, în special în ceea ce privește comportamentul acustic și capacitatea de amortizare a vibrațiilor [1].

Utilizarea deșeurilor de cauciuc în sectorul construcțiilor, în special în compoziția mortarelor pe bază de ciment, reprezintă o direcție de cercetare tot mai relevantă. Aceasta



direcție fiind în contextul dezvoltării durabile și al necesității reducerii impactului asupra mediului. Anvelopele uzate constituie o sursă importantă de deșeuri degradabile într-un timp îndelungat zeci de ani, iar valorificarea acestora prin integrarea în materiale de construcții este o alternativă eficientă de reciclare [2].

Introducerea particulelor de cauciuc ca înlocuitor parțial al agregatelor naturale influențează în mod direct proprietățile mecanice ale mortarului, ca urmare a rigidității reduse a materialului și a aderenței mai slabe la matricea cimentică. Prin urmare, este necesară identificarea unui dozaj optim al cauciucului, astfel încât să se obțină un echilibru între avantajele ecologice și funcționale și cerințele de rezistență și durabilitate impuse materialelor utilizate în construcții [3]. Utilizarea mortarelor cu adaos de cauciuc este limitată în principal la elemente neportante sau la aplicații unde solicitările mecanice sunt reduse, dar sunt necesare proprietăți funcționale specifice. Astfel de materiale pot fi utilizate: în realizarea pardoselilor industriale, a straturilor de egalizare, a elementelor de compartimentare sau a sistemelor fonoabsorbante, unde capacitatea de amortizare a vibrațiilor și izolarea fonică reprezintă avantaje importante. De asemenea, aceste mortare pot contribui la creșterea durabilității funcționale a construcțiilor prin reducerea propagării fisurilor și a efectelor generate de solicitări dinamice [3].

Scopul acestei lucrări este analiza efectele utilizării cauciucului în diferite procentaje, 5% și 10% evidențiind atât avantajele, cât și limitările acestei soluții, precum și modul în care aceste modificări influențează performanța generală a mortarului. Mai mult rezultatele vor fi corelate cu analiza RMN, pentru o mai bună înțelegere a dinamicii moleculare a probelor cu adaos de elastomer în cantitățile 5% și 10%.

2. Materiale si metode

S-a analizat mortarul de tencuială cu substituție de elastomer (CR) tip granule, în proporții: 5%, și respectiv 10%. Folosind ciment CEM II 42,5. Astfel, rețete propuse pentru 7 l au fost:

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

Mortar cu adaos de cauciuc	Rețeta	Ciment (kg)	Apa (l)	Cauciuc (kg)	Nisip (kg)
I	Rețeta de baza 0%	2.7	1.6	0	10.85
II	Rețeta 5%	2.7	1.86	0.542	10.308
III	Rețeta 10%	2.7	2	1.085	9.765

Tabelul 2. Proprietățile mortarelor în stare proaspătă în funcție de conținutul de cauciuc

I	Rețeta de baza	Răspândirea (cm)	Consistența	Răspândirea	
II	Rețeta 5%	13.75	10	7.67	5.67
III	Rețeta 10%	21.4	10	8.67	7.33

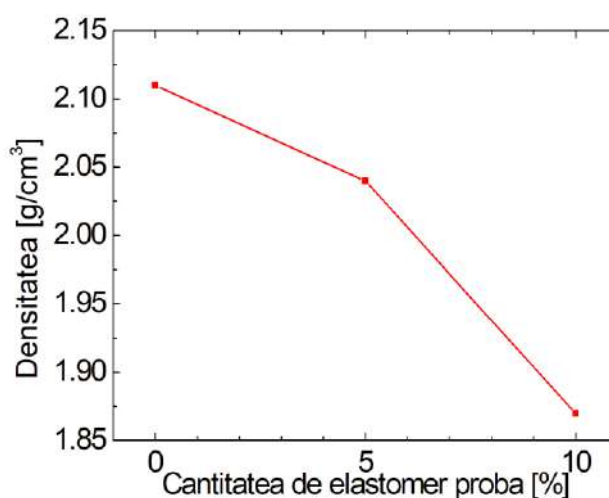


Fig. 1. Efectul procentului de cauciuc asupra densității în stare proaspătă.

3. Analiza mortarului în faza lichidă

Se observă că răspândirea mortarului crește odată cu procentul de cauciuc, datorită formei și elasticității particulelor, care reduc frecarea internă. În același timp, densitatea prezintă variații reduse, ceea ce indică o distribuție relativ uniformă a materialului în amestec (vezi fig. 1). Scăderea rezistenței la compresiune este explicată prin aderența redusă dintre particulele de cauciuc și matricea cimentică.

Această variație relativ redusă indică faptul că introducerea cauciucului nu afectează semnificativ masa volumică a amestecului în stare proaspătă, cel puțin pentru procente 5% și respectiv 10%. Comportamentul observat poate fi explicat prin faptul că, deși cauciucul are o densitate mai mică decât agregatele naturale, acesta influențează și structura internă a amestecului. Elasticitatea particulelor de cauciuc și modul lor de distribuție în matrice pot conduce la o compactare diferită a mortarului, compensând parțial diferențele de densitate dintre componente.

Având în vedere dimensiunile epruvetelor prismatice de 40×40×160 mm, volumul unei probe este de 256 cm³. Densitatea a fost determinată ca raport între masa probei și volumul acesteia. Valorile calculate indică o scădere progresivă a densității de la 2,11 g/cm³ pentru rețeta de bază la 2,04 g/cm³ pentru amestecul cu 5% cauciuc și 1,87 g/cm³ pentru amestecul cu 10% cauciuc, confirmând influența densității reduse a cauciucului asupra materialului final (vezi fig.1).

4. Determinarea rezistențelor mecanice ale mortarului

Tabelul 3. Rezistența la compresiune și la forfecare a mortarului

Rețeta	Timp (zile)	Masa (g)	Încovoiere	Compresiune			
			F (N)	F1 (kN)	R1 (N/mm ²)	F2 (kN)	R2 (N/mm ²)
Rețeta de baza	3	555.9	1555	21.77	13.60	21.76	13.60
	7	545.4	1810	29.60	18.50	28.78	17.98
	28	540	2250	39.8	24.87	40.50	25.31



Rețeta 5%	3	534.2	920	19.38	12.11	17.98	11.23
	7	528.9	1280	26.54	16.58	25.16	15.72
	28	521.2	1790	30.91	19.31	34.04	21.28
Rețeta 10%	3	508.9	955	13.80	8.62	14.37	8.98
	7	487.3	1170	21.61	13.50	17.25	11.14
	28	479.1	1260	25.48	15.92	26.30	16.43

Rezistența la compresiune arată o scădere a rezistenței la compresiune în funcție de substituția de cauciuc, tendință observată progresiv odată cu creșterea procentului de elastomer în amestec.

- la 3 zile, față de rețeta de bază, scăderile rezistenței la compresiune au fost aproximativ 10.95% (vezi tabel 3). Rețeta cu 5% elastomer a avut o rezistență medie de 11,44 N/mm², iar rețeta cu 10% cauciuc a ajuns la aproximativ 8,62 N/mm², comparativ cu 13,60 N/mm² pentru mortarul standard de tencuială.
- la 7 zile, s-a înregistrat un comportament similar, ca cel de la 3 zile. Rețeta de bază a avut o rezistență 18.5 N/mm², în timp ce mortarul cu 5% cauciuc a avut 16,58 N/mm², iar cel cu 10% cauciuc 8.62 N/mm².
- la 28 zile, scăderile au fost între aproximativ 19% și 36% față de rețeta de bază. Mortarul normal a atins o rezistență medie de aproximativ 25,09 N/mm², rețeta cu 5% cauciuc a ajuns la aproximativ 20,30 N/mm², iar rețeta cu 10% cauciuc la aproximativ 16,18 N/mm² (vezi tabel 3). Cu toate acestea, chiar și la 10% elastomer, rezistența la compresiune a rămas în aproximativ de 16 N/mm² la 28 de zile, valoare care poate fi considerată acceptabilă pentru aplicații cu solicitări moderate, mortare speciale, elemente nestructurale sau lucrări unde se urmăresc proprietăți precum elasticitatea, absorbția șocurilor și reducerea greutateii.

5. Rezultate și discuții

Rezultatele au arătat o scădere a rezistenței la încovoiere odată cu introducerea cauciucului în mortar, însă influența nu este perfect liniară. La 3 zile, față de rețeta de bază, scăderile rezistenței la încovoiere au fost între aproximativ 39% și 41%. Rețeta de bază a înregistrat o forță la încovoiere de 1555 N, în timp ce rețeta cu 5% cauciuc a avut 920 N, iar rețeta cu 10% cauciuc a avut 955 N.

La 7 zile scăderile au fost între aproximativ 29% și 35%. Iar mortarul standard având 1810 N, rețeta cu 5% cauciuc a ajuns la 1280 N, iar rețeta cu 10% cauciuc la 1170 N. La 28 zile, scăderile au fost între aproximativ 20% și 44% față de rețeta de bază. Rețeta de bază a avut 2250 N, mortarul cu 5% elastomer 1790 N, iar cel cu 10% elastomer a ajuns la 1260 N (vezi tabel 3). Cu toate acestea, chiar și la 10% elastomer, rezistența la încovoiere a rămas în jur de 1260 N la 28 de zile, ceea ce indică faptul că mortarul își păstrează o capacitate portantă acceptabilă pentru aplicații nestructurale sau pentru elemente unde este importantă absorbția de energie și reducerea fragilității.

Se observă că, indiferent de rețetă, valorile rezistențelor cresc odată cu trecerea timpului, de la 3 la 28 de zile. Acest lucru este normal pentru materialele pe bază de ciment, deoarece în timp are loc procesul de hidratare, iar structura internă devine mai compactă și mai rezistentă. Dacă se compară cele două variante cu adaos de elastomer, se vede clar că mortarul cu 5% cauciuc are rezultate mai bune decât cel cu 10%. De exemplu, la 28 de zile, rezistența la

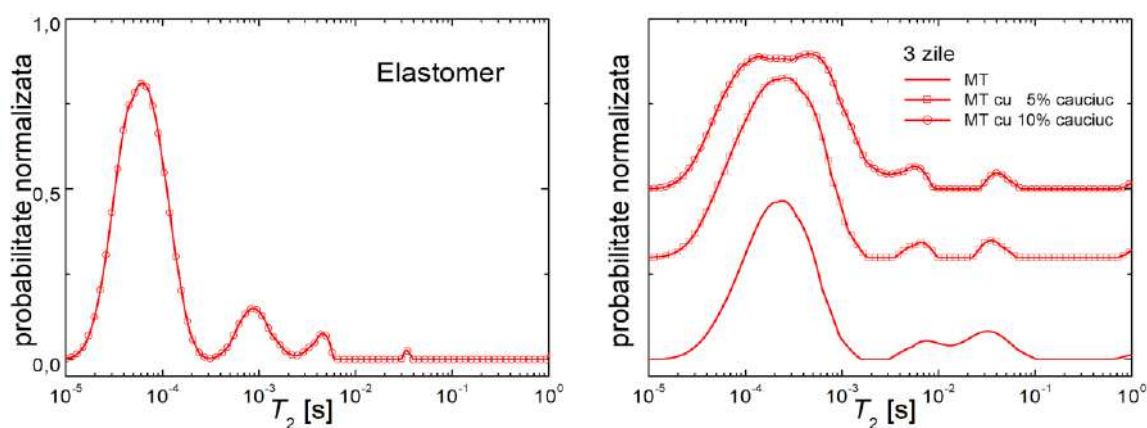
compresiune ajunge la aproximativ 21,28 N/mm² pentru 5%, în timp ce la 10% scade la circa 16,43 N/mm². Diferența arată că un conținut mai mare de cauciuc afectează negativ capacitatea materialului de a prelua solicitări. Această scădere a rezistențelor poate fi explicată prin natura materialului introdus. Cauciucul este mult mai elastic decât agregatele clasice, iar în plus nu face o priză foarte bună cu pasta de ciment. Din cauza asta apar goluri în interiorul mortarului, unde pot apărea fisuri atunci când materialul este solicitat. Aceeași tendință se observă și la încovoiere, ceea ce arată că influența cauciucului nu este locală, ci afectează structura materialului.

6. Analiza RMN

Analiza prin rezonanță magnetică nucleară (RMN) a fost utilizată pentru evaluarea modificărilor microstructurale produse în mortar prin introducerea particulelor de elastomeri. Această metodă permite investigarea distribuției porilor, a mobilității apei din structura materialului și a interacțiunii dintre matricea cimentică și particulele elastomerice. Rezultatele preliminare indică faptul că mortarele cu adaos de cauciuc prezintă o structură internă mai eterogenă comparativ cu mortarul de referință.

În figura 2 stânga fiind prezentată proba de elastomer fara mortar care are un pic principal aproape de valoarea 10⁻⁴ secunde la aceste valori mici fiind micro pori. Aceasta proba prezinta alți 2 picuri la valori de 10⁻³ s și respectiv 5 · 10⁻² s, iar unul la valori mari care este asociat cu apa liberă. La trei zile în cazul rețetei cu 5% cauciuc (vezi fig. 2), modificările structurale sunt reduse, iar distribuția porilor rămâne relativ uniformă față de mortarul de tencuială, prezentând o distribuție

Fig. 2. Distribuția timpului de relaxare T_2 din analiza ¹H RMN pentru elastomer (stânga) și după 3 zile de la prepararea mortarului de tencuială cu adaos de 5% și 10% cauciuc (dreapta).



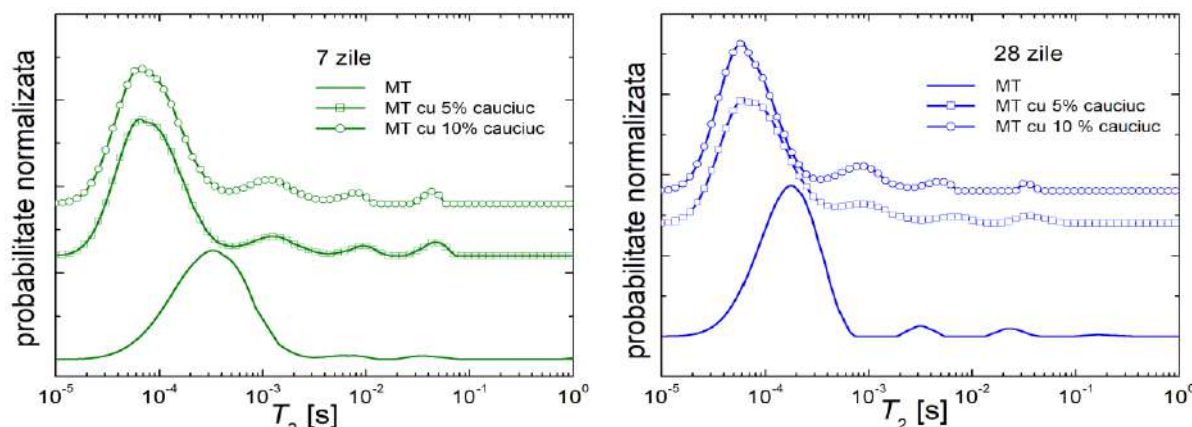


Fig. 3. Distribuția timpului de relaxare T_2 din analiza ^1H RMN pentru 7 zile (stânga) și după 28 zile de la prepararea mortarului de tencuială cu adaos de 5% și 10% cauciuc (dreapta).

formată din trei pic-uri. Pentru rețeta cu 10% elastomer, analiza evidențiază o creștere a porozității și o retenție mai mare de apă, între 10^{-4} și 10^{-3} secunde, exact unde este vârf principal. În acest vârf principal, legăturile chimice sunt efectuate cu apa legată de lanțul polimetric, spectrul devine mai complex. Aceste rezultate confirmă scăderea rezistențelor mecanice observate experimental. Structura internă este eterogenă confirmat de apariția acestor umeri pe curba de relaxare față de proba standard de mortar de tencuială (vezi figura 2).

7. Îmbunătățirea proprietăților acustice

Studiile arată că introducerea particulelor de cauciuc conduce la creșterea capacității de absorbție a sunetului și la reducerea zgomotului transmis [4]. Acest lucru se datorează structurii poroase și elastice a cauciucului, care favorizează disiparea energiei undelor sonore. De exemplu, s-a observat că mortarele și betoanele cu adaos de cauciuc pot avea o capacitate de absorbție fonică semnificativ mai mare comparativ cu cele convenționale.

Avantaje: reciclare, izolație fonică, amortizare vibrații.

Dezavantaje: rezistență mai mică, aderență slabă.

Aplicații practice unde se poate folosi:

- pardoseli;
- panouri fonoabsorbante;
- construcții neportante.

8. Atenuarea vibrațiilor în mortare cu adaos de cauciuc

Introducerea particulelor de cauciuc în compoziția mortarelor pe bază de ciment influențează semnificativ comportamentul acestora la acțiuni dinamice, în special în ceea ce privește capacitatea de amortizare a vibrațiilor. Datorită proprietăților elastice ale cauciucului, materialele obținute prezintă o capacitate crescută de disipare a energiei și de reducere a amplitudinii vibrațiilor transmise. Studiile experimentale confirmă faptul că mortarele și betoanele cu adaos de cauciuc au un coeficient de amortizare mai ridicat comparativ cu cele convenționale.



De exemplu, cercetarea publicată în *Construction and Building Materials*, 2008 [5], evidențiază că introducerea cauciucului conduce la o creștere semnificativă a raportului de amortizare, datorită interfeței mai deformabile dintre particulele de cauciuc și matricea cimentică. În același sens, un studiu recent publicat în *Construction and Building Materials*, 2024 [6], arată că proprietățile de amortizare pot fi îmbunătățite suplimentar prin tratarea suprafeței particulelor de cauciuc, obținându-se creșteri ale coeficientului de amortizare de până la aproximativ 15%. În plus, creșterea conținutului de cauciuc determină o sporire a capacității de absorbție a energiei și o întârziere a propagării fisurilor, contribuind astfel la îmbunătățirea comportamentului la solicitări dinamice. Cu toate acestea, este important de menționat că îmbunătățirea capacității de amortizare este însoțită de o reducere a rigidității și a rezistenței mecanice, ceea ce impune utilizarea unor procente optime de cauciuc pentru a asigura un echilibru între performanța dinamică și cerințele structurale.

9. Durabilitate și comportament la acțiunea apei

Durabilitatea mortarelor cu adaos de cauciuc este influențată semnificativ de modificările structurale induse de introducerea particulelor elastice în matricea cimentică. Numeroase studii arată că, pe măsură ce crește conținutul de cauciuc, crește și porozitatea materialului, ceea ce conduce la o absorbție mai mare de apă și la o permeabilitate crescută. De exemplu, studiul publicat în *Cleaner Materials*, 2022 [7], evidențiază faptul că betonul cu adaos de cauciuc prezintă o durabilitate mai redusă și o absorbție de apă mai mare comparativ cu betonul convențional, aspect care limitează utilizarea sa în anumite condiții de mediu. În același sens, cercetarea *Construction and Building Materials*, 2017 [8], arată că introducerea cauciucului determină creșterea porozității și influențează transportul apei în material. Totuși, tratarea particulelor de cauciuc cu soluții chimice (de exemplu NaOH) poate îmbunătăți aderența la matricea cimentică și, implicit, comportamentul la acțiunea apei și durabilitatea generală.

10. Impactul ecologic al reutilizării deșeurilor de cauciuc în construcții

Gestionarea deșeurilor provenite din anvelope uzate reprezintă o problemă majoră la nivel mondial, din cauza cantităților foarte mari generate anual și a dificultății de degradare naturală a acestora. Anvelopele sunt fabricate din materiale complexe, precum cauciuc natural și sintetic, fibre textile, oțel și diferiți aditivi chimici, ceea ce face reciclarea lor dificilă și costisitoare. În lipsa unor soluții eficiente de valorificare, o mare parte din aceste deșeuri ajung în depozite de gunoi sau sunt eliminate prin incinerare, procese care generează efecte negative asupra mediului. Depozitarea anvelopelor uzate ocupă suprafețe importante de teren și poate genera riscuri semnificative. Acumularea acestora favorizează apariția incendiilor, care sunt dificil de controlat și produc emisii toxice în atmosferă. În plus, prin degradare lentă, anvelopele pot elibera substanțe chimice periculoase care afectează solul și apa subterană. Din acest motiv, identificarea unor metode alternative de reutilizare a cauciucului uzat a devenit o direcție importantă în contextul dezvoltării durabile.



11. Impactul ecologic al reutilizării deșeurilor de cauciuc în construcții

Sectorul construcțiilor reprezintă unul dintre cei mai mari consumatori de resurse naturale, în special agregate minerale precum nisipul și pietrișul. Exploatarea intensivă a acestor resurse conduce la degradarea ecosistemelor, modificarea cursurilor de apă și consum energetic ridicat asociat proceselor de extracție și transport. În acest context, înlocuirea parțială a agregatelor naturale cu materiale reciclate, precum cauciucul provenit din anvelope uzate, contribuie la reducerea presiunii asupra resurselor naturale.

Utilizarea cauciucului reciclat în mortare și betoane oferă multiple beneficii ecologice. În primul rând, reduce cantitatea de deșeuri care ajunge la depozitare. În al doilea rând, contribuie la diminuarea consumului de materii prime convenționale. De asemenea, integrarea acestor materiale susține principiile economiei circulare, prin transformarea unui deșeu problematic într-o resursă utilizabilă. Un alt avantaj important îl reprezintă reducerea amprente de carbon asociate industriei construcțiilor. Producerea și transportul agregatelor naturale implică emisii semnificative de CO₂, iar utilizarea materialelor reciclate poate contribui la diminuarea acestora [7, 8].

Chiar dacă procesarea deșeurilor de cauciuc necesită la rândul său energie, impactul total asupra mediului este considerabil mai redus comparativ cu eliminarea clasică a anvelopelor. În cadrul acestei cercetări, utilizarea unui procent de 5–10% cauciuc măcinat demonstrează că este posibilă obținerea unor materiale funcționale, păstrând în același timp beneficii importante din punct de vedere ecologic. Deși rezistențele mecanice scad odată cu creșterea conținutului de cauciuc, avantajele privind reciclarea deșeurilor și reducerea impactului asupra mediului susțin continuarea cercetărilor în această direcție. Prin urmare, reutilizarea deșeurilor de cauciuc în domeniul construcțiilor reprezintă o soluție sustenabilă care contribuie atât la protecția mediului, cât și la dezvoltarea unor materiale inovatoare adaptate cerințelor actuale privind economia circulară și eficiența utilizării resurselor [7, 8].

12. Compararea rezultatelor obținute cu literatura de specialitate

Rezultatele obținute în cadrul acestei cercetări sunt în concordanță cu studiile publicate în literatura de specialitate privind utilizarea deșeurilor de cauciuc în materiale cimentice. Majoritatea cercetărilor evidențiază faptul că introducerea particulelor de cauciuc determină reducerea rezistențelor mecanice, însă îmbunătățește proprietățile legate de absorbția energiei, izolarea fonică și amortizarea vibrațiilor. Un studiu publicat în revista *Journal of Cleaner Production* arată că înlocuirea agregatelor naturale cu particule de cauciuc în proporții cuprinse între 5% și 20% determină scăderi ale rezistenței la compresiune între 15% și 50%, în funcție de dimensiunea particulelor utilizate și de tehnologia de preparare [9].

Rezultatele obținute în cadrul acestei lucrări confirmă această tendință, deoarece la 28 de zile s-a observat o reducere de aproximativ 19% pentru rețeta cu 5% cauciuc și aproximativ 36% pentru rețeta cu 10% cauciuc. De asemenea, cercetările recente arată că tratarea suprafeței particulelor de cauciuc cu soluții alcaline poate îmbunătăți semnificativ aderența dintre cauciuc și matricea cimentică. Studiul publicat în *Materials* demonstrează că tratarea particulelor cu hidroxid de sodiu (NaOH) conduce la reducerea porozității interfeței și la îmbunătățirea rezistențelor mecanice [10]. În ceea ce privește performanțele acustice, numeroase cercetări



confirmă faptul că mortarele cu adaos de cauciuc prezintă proprietăți superioare de absorbție fonică comparativ cu mortarele convenționale, ceea ce susține utilizarea lor în elemente neportante și sisteme fonoizolante. Prin comparație cu literatura de specialitate, rezultatele prezentei lucrări confirmă faptul că procentul de aproximativ 5% reprezintă un compromis optim între performanțele mecanice și beneficiile funcționale și ecologice.

13. Limitările cercetării și direcții viitoare de dezvoltare

Deși rezultatele obținute sunt relevante, studiul prezintă anumite limitări care trebuie luate în considerare în interpretarea datelor experimentale. În primul rând, cercetarea a analizat doar două procente de înlocuire a agregatelor naturale cu cauciuc, respectiv 5% și 10%. Testarea unor procente suplimentare, precum 15%, 20% sau chiar valori mai reduse, ar putea conduce la identificarea unui dozaj optim mai precis. În al doilea rând, numărul probelor experimentale a fost relativ limitat, iar extinderea testelor pe un număr mai mare de epruvete ar putea conduce la rezultate statistice mai relevante. O altă limitare este lipsa unor teste suplimentare privind comportamentul materialului în condiții severe de exploatare, cum ar fi:

- cicluri îngheț-dezghet;
- atac chimic;
- comportament la temperaturi ridicate;
- rezistență la foc;
- comportament seismic.

De asemenea, analiza economică nu a fost detaliată în cadrul acestei lucrări. Ar fi utilă evaluarea costurilor de procesare ale cauciucului reciclat și compararea acestora cu costurile materialelor convenționale. În viitor, cercetările pot fi orientate spre tratarea suprafeței particulelor de cauciuc pentru îmbunătățirea aderenței cu pasta de ciment, utilizarea nanomaterialelor pentru reducerea porozității și dezvoltarea unor mortare hibride cu proprietăți mecanice și funcționale superioare. Pe termen lung, aceste direcții pot contribui la dezvoltarea unor materiale de construcții mai sustenabile, mai eficiente energetic și mai prietenoase cu mediul.

14. Analiza economică și fezabilitatea utilizării mortarului cu adaos de cauciuc

Pe lângă avantajele tehnice și ecologice prezentate anterior, utilizarea deșeurilor de cauciuc în mortarele pe bază de ciment trebuie analizată și din punct de vedere economic. Implementarea la scară largă a acestui tip de material depinde de costurile asociate colectării, procesării și integrării particulelor de cauciuc în procesul tehnologic. Materia primă utilizată provine în principal din anvelope uzate, care reprezintă un deșeu disponibil în cantități mari. În multe cazuri, costul de achiziție al cauciucului reciclat este mai redus decât costul agregatelor naturale, deoarece materialul provine din fluxuri de reciclare deja existente. Totuși, costurile suplimentare apar în etapa de procesare, unde sunt necesare operațiuni precum mărunțirea, sortarea granulometrică și eventual tratarea chimică a suprafeței particulelor. În cazul utilizării unor procente reduse de cauciuc, precum 5% sau 10%, costurile suplimentare rămân relativ reduse, iar beneficiile ecologice și funcționale pot justifica utilizarea acestui material. În plus,



reducerea consumului de agregate naturale poate genera economii pe termen lung, în special în contextul creșterii prețurilor materiilor prime. Din punct de vedere practic, mortarele cu adaos de cauciuc pot fi utilizate în aplicații unde rezistențele mecanice foarte mari nu reprezintă o cerință principală. Exemple relevante includ:

- pardoseli industriale;
- straturi de nivelare;
- panouri fonoabsorbante;
- trotuare pietonale;
- elemente prefabricate neportante;
- zone expuse vibrațiilor mecanice.

De asemenea, utilizarea acestor materiale poate contribui la reducerea costurilor de gestionare a deșeurilor de anvelope la nivel local și național.

15. Concluzii

În cadrul acestei cercetări a fost analizată influența introducerii deșeurilor de cauciuc, în proporții de 5% și 10%, asupra proprietăților mortarelor pe bază de ciment, urmărindu-se atât comportamentul mecanic al materialului, cât și modificările microstructurale produse prin adaosul de elastomer.

Rezultatele experimentale au arătat că introducerea particulelor de cauciuc nu produce modificări semnificative asupra densității mortarului în stare proaspătă, ceea ce indică menținerea unor caracteristici tehnologice apropiate de mortarul convențional.

În schimb, rezistențele mecanice la compresiune și încovoiere au înregistrat scăderi odată cu creșterea procentului de cauciuc, ca urmare a elasticității ridicate a particulelor și a aderenței reduse dintre acestea și matricea cimentică.

Analiza RMN a evidențiat modificări la nivel microstructural, prin creșterea porozității și apariția unor zone neomogene în structura internă a mortarului, rezultate care susțin valorile obținute în urma testelor mecanice.

Dintre variantele analizate, compoziția cu adaos de 5% cauciuc a prezentat cel mai echilibrat comportament, păstrând valori mecanice apropiate de mortarul de referință și oferind, în același timp, beneficii suplimentare legate de amortizarea vibrațiilor, izolarea fonică și valorificarea unui material rezidual.

Utilizarea deșeurilor de cauciuc în mortarele pe bază de ciment reprezintă o alternativă sustenabilă pentru aplicații neportante sau pentru elemente unde proprietățile funcționale sunt prioritare. Rezultatele obținute susțin continuarea cercetărilor în direcția optimizării compoziției și îmbunătățirii compatibilității dintre particulele de cauciuc și matricea cimentică.

BIBLIOGRAFIE

1. Aslani F., Ma G., Wan D.L., Muselin G., *Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy dissipation capability*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, **58**, 1, 929-947 (2016).
2. Siddique R., Naik T.R., *Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview*: Construction and Building Materials, **23**, 1, 1977-1984 (2009).



3. Roychand R., Gravina R.J., Zhuge Y., Ma X., Youssf O., Mills J.E., *Rubberized concrete and its applications in construction – A review*, Construction and Building Materials, **244**, 1, 118231 (2020).
4. Gao S., Xu W., Sun C., *Assessment of acoustic and mechanical properties in modified rubberized concrete*, Construction and Building Materials, **411**, 1, 134260 (2024).
5. Xue J., Shinozuka M., *Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete*, Construction and Building Materials, **22**, 1, 24-32 (2008).
6. Li G., Fan J., Sun X., *Effect of rubber surface treatment on damping performance of rubberized concrete*, Construction and Building Materials, **412**, 1, 134769 (2024).
7. Vakil M., *Durability and water absorption behaviour of rubberised concrete*, Cleaner Materials, **3**, 1, 100042 (2022).
8. Youssf O., ElGawady M.A., Mills J.E., Ma X., *Durability performance of rubberized mortar and concrete with NaOH-treated rubber particles*, Construction and Building Materials, **153**, 1, 642-654 (2017).
9. Si M., Guo Q., Dai J., *A review of the mechanical properties of rubberized concrete exposed to elevated temperature*, Journal of Cleaner Production, **335**, 1, 130282 (2022).
10. Li Y., Zhang H., Wang X., *Effect of surface treatment of crumb rubber on mechanical properties of cement-based materials*, Materials, **14**, 12, 3212 (2021).



UTILIZAREA SCOICILOR CONCASATE CA ALTERNATIVĂ ECOLOGICĂ LA NISIP ÎN MORTARE DE CONSTRUCȚII

Autor/autori

Daria-Iulia BUGNAR¹, Ecaterina POPA², Alesia TECĂU³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: bugnar.se.daria@student.utcluj.ro

²Facultatea Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: popa.cr.ecaterina@student.utcluj.ro

³Facultatea Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: tecau.gh.alesia@student.utcluj.ro.

Îndrumător/îndrumători

SL. Dr. Ing. Elena JUMATE⁴

Conf. Dr. Ing. Claudiu ACIU⁵

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

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Elena.Jumate@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: *Utilizarea scoicilor concasate ca înlocuitor parțial al nisipului în mortarul de tencuială reprezintă o direcție inovatoare în domeniul materialelor de construcții, susținută de interesul pentru soluții sustenabile. Scoicile, provenite din zonele costiere, constituie un deșeu abundent, iar valorificarea lor contribuie la reducerea presiunii asupra resurselor naturale. Această lucrare investighează fezabilitatea integrării acestui deșeu în mortare. Programul experimental constă în prepararea și testarea a trei rețete: o rețetă de control (R0) cu 100% nisip natural și două rețete modificate, cu procente de înlocuire a nisipului cu scoici de 20% (R1), respectiv 30% (R2). S-a urmărit obținerea unei consistențe optime (tasare 9-11 cm) și au fost determinate densitatea aparentă și proprietățile mecanice. Rezultatele demonstrează că înlocuirea agregatului natural cu deșeuri din scoici poate genera un mortar viabil, integrând principiile economiei circulare în practica inginerescă.*

Cuvinte cheie: mortar, sustenabilitate, scoici, concasare, înlocuire.

1. Introducere

Sectorul construcțiilor se confruntă la nivel global cu o criză acută a materiilor prime. Nisipul natural, reprezentând a doua cea mai exploatată resursă a planetei după apă, este supus unui proces de extracție masivă care generează dezechilibre ecologice severe în ecosistemele costiere și hidrografice. Prin urmare, ingineria civilă contemporană are imperativul de a face tranziția către soluții alternative și agregate reciclate, capabile să mențină sau chiar să optimizeze performanțele structurale ale materialelor tradiționale.

Una dintre direcțiile de cercetare dezvoltate în ultimii ani vizează integrarea deșeurilor provenite din mediul marin în compoziția materialelor de construcții. Printre acestea, scoicile marine reprezintă o resursă secundară cu potențial ridicat de valorificare, datorită compoziției și proprietăților lor fizico-chimice. În mod obișnuit, cochiliile provenite din industria alimentară sau acumulate pe litoral sunt considerate deșeuri, fiind eliminate fără a fi reutilizate eficient. Totuși, acestea pot constitui o alternativă viabilă pentru agregatele naturale utilizate în mortare și betoane. Scoicile marine sunt alcătuite în principal din carbonat de calciu, sub formă de calcit

sau aragonit, compuși care conferă rigiditate și rezistență mecanică structurii cochiliei. Componenta chimică dominantă este reprezentată de: CaCO_3

Prezența carbonatului de calciu oferă compatibilitate între scoicile concasate și matricea cimentoasă utilizată în prepararea mortarelor. Prin procese de spălare, uscare și concasare, aceste deșeuri marine pot fi transformate într-un agregat alternativ capabil să înlocuiască parțial nisipul natural. În plus, structura poroasă și densitatea relativ redusă a scoicilor pot contribui la obținerea unor materiale mai ușoare, cu proprietăți avantajoase pentru anumite aplicații constructive.



Fig. 1. Scoici marine

Valorificarea acestui tip de deșeu reduce cantitatea de materiale eliminate în mediul natural și limitează exploatarea agregatelor convenționale, contribuind astfel la diminuarea impactului asupra mediului. Totodată, reutilizarea resurselor marine reprezintă o componentă importantă a conceptului de „Economie Albastră”, orientat spre folosirea responsabilă și eficientă a resurselor provenite din ecosistemele marine și costiere.

Prezența cercetare dezvoltă necesitățile tehnice identificate în proiectul „BlueHaven Archipelago” — un concept de ecosistem urban modular, sustenabil și autonom, construit integral pe platforme plutitoare — propus inițial de autori în cadrul competiției „Construcțiile Viitorului”. Viabilitatea structurală a unui astfel de habitat marin este condiționată de utilizarea unor materiale cu o greutate specifică redusă, esențială pentru optimizarea flotabilității, și care să se alinieze principiilor „Economiei Albastre”. În consecință, lucrarea propune valorificarea scoicilor marine recoltate direct de pe litoralul Mării Negre (zona Constanța) ca înlocuitor ecologic pentru nisipul din mortare. Această abordare transformă un deșeu organic abundent într-o resursă inginerescă valoroasă, permițând dezvoltarea urbană cu ajutorul resurselor mediului marin, nu doar pe suprafața acestuia.

În acest context, lucrarea propune utilizarea scoicilor marine recoltate din zona litoralului Mării Negre, în special din regiunea Constanța, ca înlocuitor parțial al nisipului în mortarele de tencuială. Cercetarea urmărește evaluarea influenței adaosului de scoici asupra proprietăților fizico-mecanice ale mortarului, prin compararea unor rețete cu procente diferite de substituție a agregatului natural. Programul experimental are ca obiectiv identificarea unei compoziții optime care să îmbine avantajele sustenabilității cu performanțele tehnice necesare utilizării în construcții inovatoare și ecologice.



2. Metodologie și Program Experimental

Programul experimental a inclus prepararea, condiționarea și testarea unor rețete de mortar cu diferite procente de înlocuire a agregatului natural cu scoici concasate. Evaluarea comparativă a compozițiilor s-a realizat prin determinarea proprietăților fizico-mecanice la diferite termene de maturare. Au fost analizate comparativ un amestec martor (R0), realizat cu 100% nisip natural, și două variante modificate, R1 și R2, în care agregatul natural a fost înlocuit parțial cu scoici concasate în proporții de 20%, respectiv 30%. Detaliile compozițiilor sunt prezentate în Tabelul 1.

2.1. Materiale utilizate:

- Ciment Portland tip CEM II 42,5;
- Nisip natural cu granulația cuprinsă în intervalul 0-4 și 4-8 mm;
- Apă potabilă;
- Scoici marine provenite din zona litoralului Mării Negre.

Materialele utilizate au fost selectate astfel încât să asigure compatibilitatea între agregatul alternativ și matricea cimentoasă, precum și reproducibilitatea rezultatelor experimentale. Agregatul natural a avut rolul de material de referință, iar scoicile marine concasate au constituit agregatul alternativ utilizat pentru substituirea parțială a nisipului în compoziția mortarelor de tencuială.

Scoicile colectate au fost supuse unui proces tehnologic preliminar format din:

- spălare abundentă pentru îndepărtarea sărurilor și impurităților;
- uscare naturală;
- concasare mecanică până la obținerea unei granulații compatibile cu cea a agregatului natural.

Prin această prelucrare s-a urmărit obținerea unui material cu o bună compatibilitate în matricea cimentoasă și reducerea influenței impurităților asupra procesului de hidratare a cimentului.

2.2. Compoziția rețetelor de mortar

Proporțiile materialelor componente au fost stabilite experimental astfel încât să se mențină o consistență comparabilă între rețete și să se evidențieze influența procentului de substituire asupra proprietăților mortarului.

Au fost realizate trei variante experimentale, prezentate în Tabelul 1:

Tabelul 1. Compoziția rețetelor experimentale de mortar

Rețetă	Înlocuire (%)	Ciment (kg)	Nisip (kg)	Scoici (kg)	Tasare con (cm)
R0 (standard)	0	1,115	4,65	0,00	9-11
R1	20	1,115	3,72	0,93	9-11
R2	30	1,115	3,25	1,40	9-11

Cantitatea de apă a fost ajustată experimental pentru fiecare compoziție astfel încât toate amestecurile să prezinte o lucrabilitate similară, determinată prin încercarea de tasare cu conul etalon (9-11 cm). Menținerea unei consistențe constante a permis compararea directă a rezultatelor obținute pentru fiecare rețetă.

Literatura de specialitate indică faptul că procente situate în intervalul 20–30% reprezintă un compromis optim între sustenabilitate și performanța mecanică a materialului, deoarece adaosurile reduse au un impact limitat asupra masei volumice, iar procente excesive pot conduce la creșterea porozității și la diminuarea rezistențelor mecanice. De asemenea, studiile experimentale realizate asupra mortarelor cu scoici concasate au demonstrat că procente moderate de substituie permit obținerea unor compoziții stabile și compatibile cu aplicațiile neportante sau semistructurale.

2.3 Prelucrarea materialelor și prepararea epruvetelor

Mortarele au fost preparate prin amestecarea succesivă a componentelor uscate, urmată de adăugarea treptată a apei până la obținerea consistenței dorite. Materialul proaspăt a fost turnat în tipare prismatice standardizate cu dimensiunile de $40 \times 40 \times 160$ mm.



Fig. 2. Prepararea și turnarea epruvetelor prismatice din mortar

După turnare, epruvetele au fost compactate și nivelate pentru eliminarea golurilor de aer și asigurarea uniformității structurale. Probele au fost păstrate în condiții controlate de laborator până la termenele de încercare de 7, 14 și 28 de zile.

2.4. Formule de calcul și proceduri de testare

Evaluarea performanțelor mortarelor a inclus determinarea:

- masei epruvetelor;
- rezistenței la încovoiere: $R_{ti} = \frac{M}{W}$
- rezistenței la compresiune: $R_c = \frac{N}{A}$
- densității aparente în stare întărită.

Încercările fizico-mecanice efectuate asupra epruvetelor din mortar de tencuială au fost realizate în conformitate cu prevederile standardului **SR EN 196-1:2016**. Aparatul Fruhling-Michaelis a fost utilizat pentru determinarea rezistenței la încovoiere și presa hidraulică pentru evaluarea rezistenței la compresiune, rezultatele obținute permițând determinarea densității aparente pe baza raportului masă-volum, precum și analiza comportamentului mecanic al compozițiilor investigate în funcție de forțele de rupere înregistrate în timpul încercărilor.



Fig. 3. Determinarea rezistenței la încovoiere utilizând aparatul Fruhling-Michaelis



Fig. 4. Determinarea rezistenței la compresiune utilizând presa hidraulică



Fig. 5. Epruvete din mortar după încercarea experimentală la încovoiere

3. Rezultate și discuții

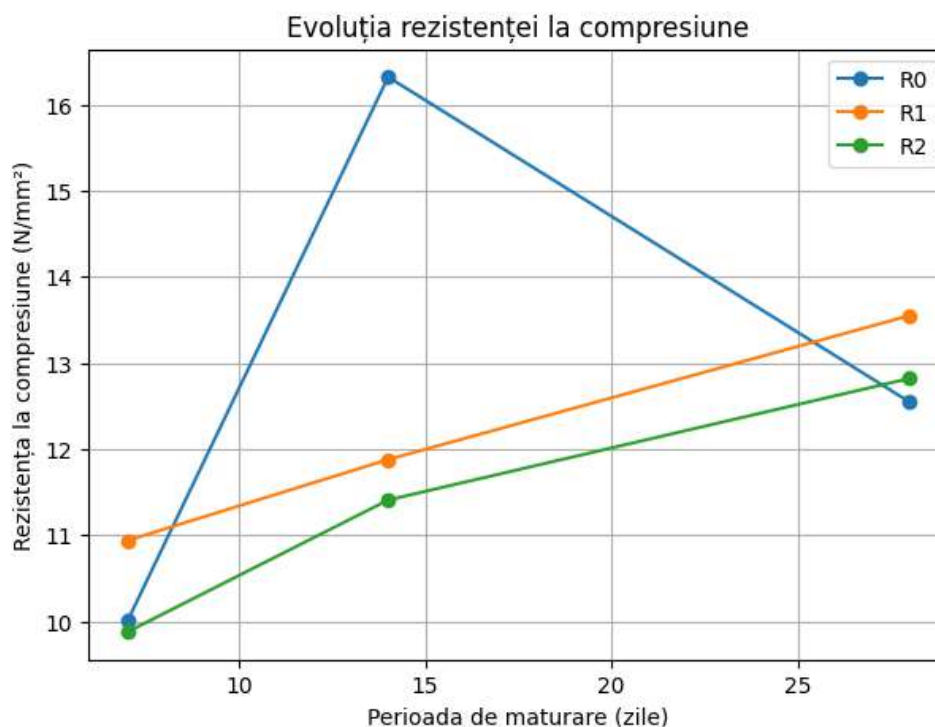


Fig. 6. Evoluția rezistenței la compresiune în funcție de perioada de maturare

Datele experimentale obținute în urma încercărilor efectuate asupra epruvetelor realizate conform rețetelor R0, R1 și R2 sunt prezentate în Tabelul 2. Analiza comparativă a rezultatelor a urmărit influența procentului de substituție a agregatului natural cu scoici concasate asupra masei epruvetelor și asupra proprietăților mecanice ale mortarelor de tencuială, evaluate la termenele de maturare de 7, 14 și 28 de zile.

Rezultatele experimentale evidențiază o evoluție progresivă a rezistențelor mecanice pentru toate compozițiile analizate, pe măsura creșterii perioadei de maturare. Acest comportament confirmă desfășurarea normală a procesului de hidratare a cimentului și dezvoltarea graduală a structurii interne a mortarului.

În cazul rețetei martor R0, realizată exclusiv cu nisip natural, s-au înregistrat cele mai ridicate valori ale rezistenței la compresiune, atingând $16,32 \text{ N/mm}^2$ la vârsta de 14 zile. Totuși, masa mai ridicată a epruvetelor indică o densitate aparentă superioară comparativ cu variantele care conțin scoici marine concasate. Acest aspect reprezintă un dezavantaj în raport cu obiectivul lucrării, orientat spre obținerea unor materiale mai ușoare și mai sustenabile pentru aplicații constructive inovatoare.

Tabelul 2. Rezultatele încercărilor fizico-mecanice ale epruvetelor

Rețetă	Vârstă (zile)	Masa (g)	Încovoiere (N)	Compresiune(N/mm ²)
R0	7	524,5	1075	10,01
	14	-	1740	16,32
	28	-	1500	12,55
R1	7	509,6	1110	10,94
	14	527,4	1220	11,88
	28	-	1340	13,55
R2	7	518,4	1015	9,88
	14	527,5	1260	11,41
	28	-	1300	12,82

Pentru rețeta R1, corespunzătoare unei substituiri de 20% a nisipului natural cu scoici concasate, s-a observat o reducere a masei epruvetelor, valoarea înregistrată la 7 zile fiind de 509,6 g, inferioară celei corespunzătoare rețetei martor. Reducerea masei confirmă influența densității mai scăzute a scoicilor asupra compoziției mortarului și evidențiază potențialul acestora în realizarea unor materiale cu greutate proprie redusă.

Din punct de vedere mecanic, rețeta R1 a prezentat un comportament stabil pe întreaga perioadă de maturare, atingând la 28 de zile o rezistență la încovoiere de 1340 N și o rezistență la compresiune de 13,55 N/mm². Valorile obținute demonstrează că introducerea unui procent moderat de scoici concasate nu afectează semnificativ capacitatea portantă a mortarului, menținând caracteristici compatibile cu utilizările neportante și semistrukturale.

În cazul rețetei R2, care conține un procent de 30% scoici concasate, s-a observat o diminuare suplimentară a masei volumice, însă această reducere a fost însoțită de o scădere a rezistențelor mecanice comparativ cu rețeta R1. Acest comportament poate fi asociat creșterii porozității interne și diminuării compactității matricei cimentoase, ca urmare a procentului mai ridicat de agregat alternativ introdus în compoziție.

Comparând cele trei variante experimentale, se poate observa că adaosul moderat de scoici marine concasate conduce la obținerea unui compromis favorabil între reducerea masei și menținerea performanțelor mecanice. Din această perspectivă, rețeta R1 poate fi considerată varianta optimă, deoarece oferă o combinație echilibrată între sustenabilitate, densitate redusă și comportament mecanic adecvat.



Rezultatele obținute confirmă potențialul valorificării deșeurilor marine în domeniul materialelor de construcții și demonstrează posibilitatea integrării principiilor economiei circulare în realizarea mortarelor de tencuială cu impact redus asupra mediului. În plus, masa redusă a compozițiilor modificate recomandă utilizarea acestora în aplicații unde diminuarea greutății proprii reprezintă un criteriu important, precum structurile modulare sau sistemele constructive flotante propuse în cadrul conceptului „BlueHaven Archipelago”.

4. Concluzii

Rezultatele experimentale obținute în cadrul cercetării confirmă posibilitatea valorificării scoicilor marine concasate ca agregat alternativ pentru substituirea parțială a nisipului natural în mortarele de tencuială. Introducerea acestui tip de deșeu marin în compoziția mortarului a condus la reducerea masei epruvetelor, fără afectarea semnificativă a comportamentului mecanic pentru procente moderate de substituire.

Analiza comparativă a compozițiilor investigate evidențiază faptul că rețeta R1, corespunzătoare unui procent de 20% scoici concasate, prezintă cel mai favorabil raport între densitatea redusă și performanțele mecanice obținute. Valorile înregistrate pentru rezistența la încovoiere și compresiune demonstrează compatibilitatea acestei compoziții cu aplicațiile constructive neportante și semistrukturale, menținând totodată avantajele asociate reducerii greutății proprii.

Prin urmare, cercetarea evidențiază faptul că substituirea parțială a nisipului cu scoici marine concasate reprezintă o soluție tehnică viabilă și sustenabilă, cu perspective reale de aplicabilitate în ingineria civilă contemporană.

BIBLIOGRAFIE

1. ASRO, *SR EN 196-1:2016 – Metode de încercare ale cimenturilor. Partea 1: Determinarea rezistențelor mecanice*. Asociația de Standardizare din România, București, 2016.
2. Bendixen M., Best J., Hackney C., Iversen L.L., “Time is running out for sand.” *Nature*, vol. 571, nr. 7763, pp. 29–31, 2019.
3. Chen B., et al., “Improving the mechanical properties of mussel shell aggregate concrete.” *Case Studies in Construction Materials*, 2023.
4. Martínez-García C., et al., “Mussel shell mortars durability: Study of aggregate substitution in cement mortars,” 2023.
5. Martinez-Garcia C., Gonzalez-Fontboa B., Martinez-Abella F., Carro-Lopez D., “Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete.” *Construction and Building Materials*, vol. 139, pp. 570–583, 2017.
6. Popa M., *Materiale de construcții*. Editura UT Press, Cluj-Napoca, 2018.
7. Sainudin M.S.S., et al., “Experimental Evaluation on Physical and Mechanical Properties of Mussel Shell Powder Concrete.” *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 2023.
8. Zhu Y., et al., “Properties of Cementitious Materials Utilizing Seashells as Sustainable Construction Materials.” *Materials*, vol. 17, nr. 5, art. 1222, 2024.



MANAGEMENTUL PROIECTELOR CA PREMISA A SUCESULUI ORGANIZAȚIONAL

Autor

Andreea-Denisa DĂNUȚ

Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, [e-mail Danut.Va.Andreea@student.utcluj.ro](mailto:Danut.Va.Andreea@student.utcluj.ro)

Îndrumător

Șef, L.Dr. Ing. Dorina SUCALĂ

Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, [e-mail Dorina.Sucala@ccm.utcluj.ro](mailto:Dorina.Sucala@ccm.utcluj.ro)

REZUMAT: *Managementul proiectelor reprezintă modalitatea prin care ideile sunt transpuse în realitate, în rezultate concrete. Planificarea corectă a unui proiect înseamnă în mod automat o eficientizare a resurselor, respectarea termenelor limita cât și atingerea obiectivelor propuse. Lucrarea își propune să realizeze o analiză a factorilor care contribuie la succesul organizațional al unui proiect: colaborarea dintre membrii echipei, gestionarea riscurilor, managementul resurselor, planificarea detaliată cât și respectarea bugetului. Obiectivul principal al lucrării este acela de a analiza impactul pe care managementul organizațional îl are în implementarea unui proiect cât și optimizarea sa pentru obținerea succesului.*

Cuvinte cheie: planificare, resurse, colaborare, buget, optimizare, obiective

1. Introducere

Pentru o bună înțelegere a conceptului de management al proiectelor este important să începem prin definirea termenilor. Astfel avem denumirea de proiect care se identifică printr-o serie de activități ce conduc spre același obiectiv, în general un proiect implică un număr variat de persoane cu diferite responsabilități și un sponsor principal preocupat de valorificarea resurselor cu scopul de a finaliza lucrările într-un anumit interval de timp printr-o abordare eficientă. Putem să asociem proiectul cu o nevoie a beneficiarului de a aduce o noutate pe piața existentă sugerând una sau mai multe soluții în baza unor studii concrete, urmând ca mai apoi prin elaborarea unui plan tehnico-economic discutat și aprobat să fie pus în aplicare. [1]

Managementul, un termen englezesc de origine franceză derivat din cuvântul „menage” care rezuma o serie de activități „amenajarea și organizarea unei case” a devenit tot mai popular în România după Revoluție, deși este prezent încă de la începutul istoriei sub diferite forme. Astfel printre primele referințe se găsesc cele din Vechiul Testament, iar valoroase concepte manageriale au fost folosite la construirea Piramidelor din Egipt complexitatea unor asemenea proiecte ar fi de neînțeles în lipsa unor procese organizaționale solid fondate.

Prin traducerea sa „conducere”, înțelegem că în spatele managementului se derulează un întreg proiect de gestiune a resurselor umane, financiare cât și a timpului. Acest termen este supranumit „o artă” fiind dovedit că singura modalitate prin care este îndeplinit un scop complex și o „știință” datorită acurateții sale.



Astfel proiectul este scopul iar managementul metoda prin care este îndeplinit. In lipsa unui plan eficient de management ideile rămân in imposibilitatea de transformare, acestea au nevoie sa fie plasate pe o axa a timpului, împărțite in activități care conlucrează pentru îndeplinirea obiectivului.[2]

11. Materiale și metode

2.1 Elemente esențiale in structura și desfășurarea proiectelor

Un prim element esențial in structura și desfășurarea proiectelor este stabilirea obiectivelor. Acestea trebuie sa fie cat mai clare și pe înțelesul tuturor răspunzând la întrebarea „ce vreau sa obțin concret?” astfel toate eforturile pot fi îndreptate către un scop comun. Aceasta claritate impune o direcție care le oferă indivizilor un sentiment de siguranță. Pe lângă claritate acestea întrunesc o alta trăsătură, realismul, este important ca acesta sa nu se piardă din ambiția prea mare de a revoluționa un anumit domeniu și nici sa nu își subestimeze potențialul din frica de a nu fii dezamăgit. Aici echilibrul este cheia, obiectivele trebuie sa rămână specifice și măsurabile cat mai aproape de realitate pentru a reduce riscul eșecului. Cea mai buna metoda prin care sa ne asiguram de asta este sa folosim metoda obiectivelor inteligente, obiectivele SMART. Prin teorie acronimul SMART se refera la pașii de baza ai stabilirii obiectivelor: specific, măsurabil, realizabil, relevant de asemenea limitat in timp. Respectarea acestor pași conduce la o înțelegere mai buna a proiectului fără sa lase loc ambiguității. [3]

O data ce am reușit sa trecem de prima etapa și am răspuns cu succes întrebării „ce vreau sa obțin?” urmează „cum obțin?”, iar aici apare conceptul de structurare a activităților. Acesta consta in defalcarea obiectivul in obiecte mai mici care au trăsături comune și sunt executate de oameni cu aceleași specializări. Tipul acesta de abordare oferă o detaliere progresiva a etapelor pornind de la activitățile de baza către niveluri specifice oferind astfel o imagine clara a volumului de munca. Prin aceasta structura activitățile devin ușor de urmărit iar proiectul este mult mai detaliat. Se are in vedere procesul de ierarhizare într-o maniera logica a etapelor componente, astfel încât toate sa contribuie la scopul final al proiectului.

In continuare între activități și sub activități se stabilește o relație de dependenta pentru a asigura o succesiune logica a evenimentelor și pentru evitarea stagnărilor in faza de derulare a proiectului. Un pas crucial, de aici începe acțiunea, sarcinile sunt împărțite iar fiecare participant poate acum sa își urmărească evoluția.

O data ce acest sistem etapizat a fost implementat structura nu rămâne statica ci se urmărește constant progresul activităților iar daca este cazul acestea se pot și ajusta pentru o mai buna desfășurare. De asemenea rezultatele se compara cu standardele inițiale cu scopul de a se identifica posibile abateri. In urma acestor analize se pot face corectări pentru a se asigura ca proiectul se menține pe o direcție stabila.

De asemenea prin aceasta ierarhizare proiectul este mai ușor de urmări deoarece fiecare etapa este bine definita, fiecare participant își cunoaște rolul, iar parcurgerea cu succes a micilor etape aduce sentimentul de satisfacție al echipei.

Astfel o buna structurare a activităților oferă control asupra proiectului dar și o imagine clara, acesta devenind mai ușor de gestionat, iar cu cat proiectul este mai bine structurat cu atât mai mult cresc șansele de câștig. [4]



2.2 Factori care influențează succesul unui proiect

Un prim factor care influențează succesul unui proiect este colaborarea și comunicarea în echipă, atât și cu mediul extern, deși acesta este un factor adesea neglijat prezintă un aspect esențial al bunei funcționări a unui grup. Domeniul de activitate poate varia de la construcții la orice altă nișă, dar modul în care membrii echipei colaborează influențează semnificativ performanța unei organizații.

O comunicare eficientă presupune transmiterea explicită a informațiilor în cadrul echipei, pentru ca toți membrii să cunoască obiectivele comune și să fie conștienți de rolul pe care îl au în realizarea obiectivelor. Prin stabilirea incipientă a unor reguli privind modul de comunicare rezultă un randament mult mai mare, astfel membrii echipei se vor pune de acord în procesul de luare a deciziilor, frecvența întâlnirilor și furnizarea informațiilor. Cu cât colaborarea dintre membri este mai bună cu atât este mai ușor să se identifice și erorile permițând o reacție rapidă și o corectare a acestora.

La fel de semnificativă este și comunicarea dintre echipă și cadrul extern. O echipă eficientă, dar izolată nu își atinge performanța maximă deoarece interacțiunea cu alte departamente este necesară pentru o mai bună planificare. De aceea este important ca informațiile cheie să fie transmise într-o manieră eficientă către acești actori externi. Feedback-ul primit va fi analizat și inclus în procesul decizional.

Un rol determinant în acest context îl reprezintă motivația. Aceasta se manifestă atunci când există un echilibru între nevoile membrilor și ce pune la dispoziție organizația. Poate fi dovedită prin validarea meritelor și crearea unui mediu pozitiv deoarece o echipă motivată este mai productivă și orientată spre succes.[5]

Gestionarea riscurilor reprezintă un alt factor care influențează succesul unui proiect deoarece contribuie direct la atingerea obiectivelor fixate. În principiu riscul este definit ca discrepanța dintre așteptările create și rezultatele concrete, aceste diferențe în general fiind determinate de cauze sistematice sau întâmplătoare. Din acest considerent, incertitudinea este inevitabilă în orice activitate existând mereu un risc. Cea ce face diferența este abilitatea de a identifica, analiza și controla aceste riscuri factor cheie pentru buna desfășurare a planului.

Gestionarea riscurilor este un întreg proces care are ca prim pas identificarea lor, asta implică o analiză amănunțită a activităților proiectului și extragerea situațiilor care pot influența negativ rezultatele. În această etapă membrii echipei se folosesc de experiența din proiecte similare, dar și de metode de analiză precum brainstormingul. Se urmărește evaluarea gradului de impact atât și stabilirea modalităților de diminuare sau prevenire a acestora. Cu cât proiectul este mai detaliat cu atât permite o mai bună observare a punctelor vulnerabile.

În funcție de tipul și probabilitatea sa de apariție există mai multe strategii de dirijare a acestora. O primă metodă este acceptarea riscurilor, asta presupune asumarea acestora în mod conștient atunci când impactul asupra proiectului ar fi unul nesemnificativ sau probabilitatea de apariție mică. Cea de-a doua strategie este evitarea riscurilor, constă în modificarea sau chiar anularea anumitor activități care au un grad de risc ridicat, astfel acesta este eliminat complet pentru a nu se ajunge la probleme majore. O altă strategie întrunită este monitorizarea riscului și întocmirea planurilor pentru situații neașteptate. Procesul constă în urmărirea indicatorilor relevanți iar în cazul în care se produc abateri de la planul inițial se intervine rapid. Este nevoie de planuri pentru circumstanțe neprevăzute deoarece oferă soluții în situațiile critice asemenea



problemelor tehnice sau depășirea bugetului. Cu ajutorul acestora proiectul se poate desfășura în continuare până și în condiții dificile, evitând blocarea sau nereușita acestuia.

Astfel reducerea riscurilor consta în aplicarea unui ansamblu de metode care au ca scop reducerea treptată dar sigură a riscurilor până la un nivel convenabil. Acest lucru este posibil printr-o analiză continuă și optimizarea permanentă a activităților. Deși strategiile sunt prezentate individual, pentru a maximiza rezultatele acestea se pot combina asigurând un control cât mai mare asupra factorilor de risc.

Respectarea bugetului este un alt factor decisiv în reușita unui proiect, pentru că până și cele mai reușite idei pot eșua lamentabil în lipsa resurselor financiare. Bugetul este o reprezentare monetară a planului de acțiune acesta include de la costurile personalului până la servicii externe, materiale, echipamente și cheltuieli neprevăzute. Pentru a se stabili un buget realist proiectele se compară cu altele similare, dar asta nu este îndeajuns deoarece o estimare cât mai apropiată de adevăr implică detalierea fiecărei categorii de cost. Metoda prin care cheltuielile pot fi monitorizate este compararea constantă a costurilor contabilizate cu cele bugetate. Astfel sunt identificate abaterile semnificative și pot fi soluționate prin redistribuirea fondurilor sau dacă este posibil prin renegocierea condițiilor cu furnizorii. O metodă optimă de planificare este cea de a păstra o rezervă bugetară pentru a avea flexibilitate în fața unor situații neașteptate fără a pune în pericol proiectul. (1)

2.3 Impactul asupra performanței organizaționale

Abordarea unei strategii de management bine structurate are un impact vizibil asupra rezultatelor generale a unei organizații. În primul rând influențează creșterea eficienței operaționale deoarece reduce atât pierderile de timp cât și eforturile celor implicați. Atunci când sarcinile sunt bine definite, fiecare membru își asumă responsabilitatea, iar organizația funcționează ca un organism unitar deoarece fiecare participant își îndeplinește rolul.

Un al doilea efect îl constituie calitatea rezultatelor. Printr-o planificare riguroasă și o supraveghere continuă, orice abatere de la forma inițială a proiectului este depistată în timp util, iar intervențiile de corectare pot fi aplicate înainte ca problema să devină fatală. Această precizie operațională reflectă nivelul de profesionalism al echipei și poziția sa pe piață.

Managementul de proiect influențează într-un mod pozitiv și capacitatea organizației de a se adapta la schimbări. Într-un context economic fluctuant, organizațiile care implementează instrumente moderne de management se aliniază mai rapid cerințelor pieței, identifică oportunitățile și maximizează resursele într-un mod inteligent. În plus fiecare proiect finalizat înseamnă acumularea de noi cunoștințe organizaționale, utile pentru viitoarele proiecte. Pe termen extins organizațiile care sunt preocupate să investească în dezvoltarea competențelor de management marchează o evoluție pozitivă a satisfacției angajaților și clienților. Aceasta abilitatea consolidează reputația organizației și reprezintă un avantaj competitiv durabil.[6]

12. Studiu de caz- „Ansamblu rezidențial – bloc de apartamente”

În continuare pentru a demonstra aplicabilitatea practică a managementului de proiect, se va realiza un studiu de caz referitor la execuția unui bloc rezidențial. Se vor urmări etapele principale prin intermediul graficului Gantt. Acest tip de vizualizare grafică, dezvoltat de Henry



Gantt la începutul secolului al XX, prezintă clar derularea în timp a activităților, evidențiind duratele acestora cât și relațiile de succesiune dintre ele.[7]

Caracteristicile proiectului au fost următoarele:

Tabelul 1. Caracteristicile proiectului

Date de intrare	
Tipul lucrării	Ansamblu rezidențial cu 20 de apartamente
Suprafața utilă totală	2.000mp
Localizare	zona urbană, municipiul Cluj-Napoca
Buget maxim disponibil	2.800.000 euro
Durată estimată de execuție	18 luni de la proiectare până la recepția finală
Profit asumat	20% din valoarea investiției
Echipa de proiect	arhitect coordonator, inginer structurist, manager de proiect și antreprenor general

Primele obiective asumate au fost finalizarea construcției la termen, respectarea strictă a bugetului, și obținerea marjei de profit stabilite inițial. Ca și modalitate de finanțare dezvoltatorul s-a bazat pe capitalul propriu însumat cu încasările parțiale din pre-vânzarea apartamentelor.

3.1 Etapele desfășurării proiectului:

Proiectul a avut o durată de execuție de 17 luni efective, structurate în 9 categorii principale de lucrări (Figura 1, graficul Gantt).

- În primele două luni a fost în faza de proiectare, întocmirea documentației pentru obținerea autorizației de construire și a avizelor.
- În lunile 2 și 3 în urma obținerii autorizațiilor a început organizarea de șantier: împrejmuirea perimetrului, montarea baracamentelor, amenajarea drumurilor și platformelor de acces.
- Începând cu luna a3a-a4a au fost realizate racordurile la utilități, apa-canal, energie electrică, gaze naturale.
- După acestea au urmat lucrările de infrastructură între lunile 3 și 6: săpături mecanizate, turnarea fundației și realizarea subsolului tehnic.
- Cel mai extins interval a fost ocupat de lucrările de rezistență de la lunile 6 la 11 acestea au cuprins ridicarea structurii de la parter până la ultimul etaj, inclusive planșeele, scările interioare și șarpanta. Această categorie de lucrări fiind cea mai sensibilă la întârzieri.
- Începând cu luna 9 au demarat și lucrările de arhitectură în paralel cu cele de instalații (electrice, sanitare, termice și de ventilație). Până în luna 12 au fost finalizate lucrările de zidărie, tâmplărie exterioară și termoizolație după care s-a trecut la finisajele interioare, lucrări încheiate în luna 15.
- Amenajările exterioare: trotuarele, spațiile verzi și parcarile s-au realizat după eliberarea zonei adiacente în lunile 14-16.



- Recepția finală și remedierea eventualelor defecțiuni au avut s-au extins din luna 16-17, marcând finalul efectiv al proiectului.

3.2 Aplicarea factorilor de succes

- Colaborarea între membrii echipei

Pentru o bună coordonare s-au organizat ședințe săptămânale și s-au folosit de o platformă de management comună cu ajutorul căreia toți membrii puteau urmări sarcinile, observațiile celorlalți și termenele. O astfel de comunicare eficientă între echipa de execuție și proiectare a făcut posibilă identificarea la timp a neconcordanțelor. Printr-o astfel de colaborare s-au redus erorile și refacerile costisitoare și au condus la o diminuare a costurilor neprevăzute cu aproximativ 5%.

- Gestionarea riscurilor

Categoriile principale de risc au fost identificate încă înainte de demararea proiectului: întârzierile în obținerea autorizațiilor, creșterea prețurilor la materiale și scăderea cererii în imobiliare. Pentru a lua măsuri s-au încheiat contracte cu furnizori pentru fixarea prețurilor și s-a inclus un interval suplimentar de două luni pentru situații neprevăzute. Pentru a asigura un cash flow 30% din apartamente au fost vândute în faza de pre-vânzare. Astfel de măsuri au protejat proiectul și au avut un impact asupra stabilității financiare pe toată durata de desfășurare.

- Managementul resurselor

Resursele utilizate au fost: materialele, forța de muncă și utilajele. Planificarea etapizată a redus suprapunerile echipelor astfel ca fiecare a participat în etapa adecvat necesară. Structuristii în perioada de turnare și ridicare a structurii, iar finisorii după terminarea lucrărilor de închidere. Printr-o astfel de organizare a crescut productivitatea pe șantier generând o economie de aproximativ 7% din costurile opționale.

- Planificarea detaliată

Pentru o bună gestionare a timpului și urmărirea progresului s-a folosit graficul Gantt. Astfel s-au stabilit repere lunare ale progresului care au fost verificate permanent cu planul inițial. Prin această abordare s-a reușit menținerea proiectului în graficul de timp și chiar finalizarea cu o lună mai devreme decât era prevăzut.

- Respectarea bugetului

Prin compararea costurilor pentru fiecare categorie de lucrări s-a realizat monitorizarea cheltuielilor, iar abaterile semnificative au fost sesizate în timp util și corectate. Un factor cheie l-a constituit bugetul de rezerva care a oferit flexibilitate în fața situațiilor neașteptate.



3.3 La încheierea proiectului au fost obținute următoarele rezultate măsurabile.

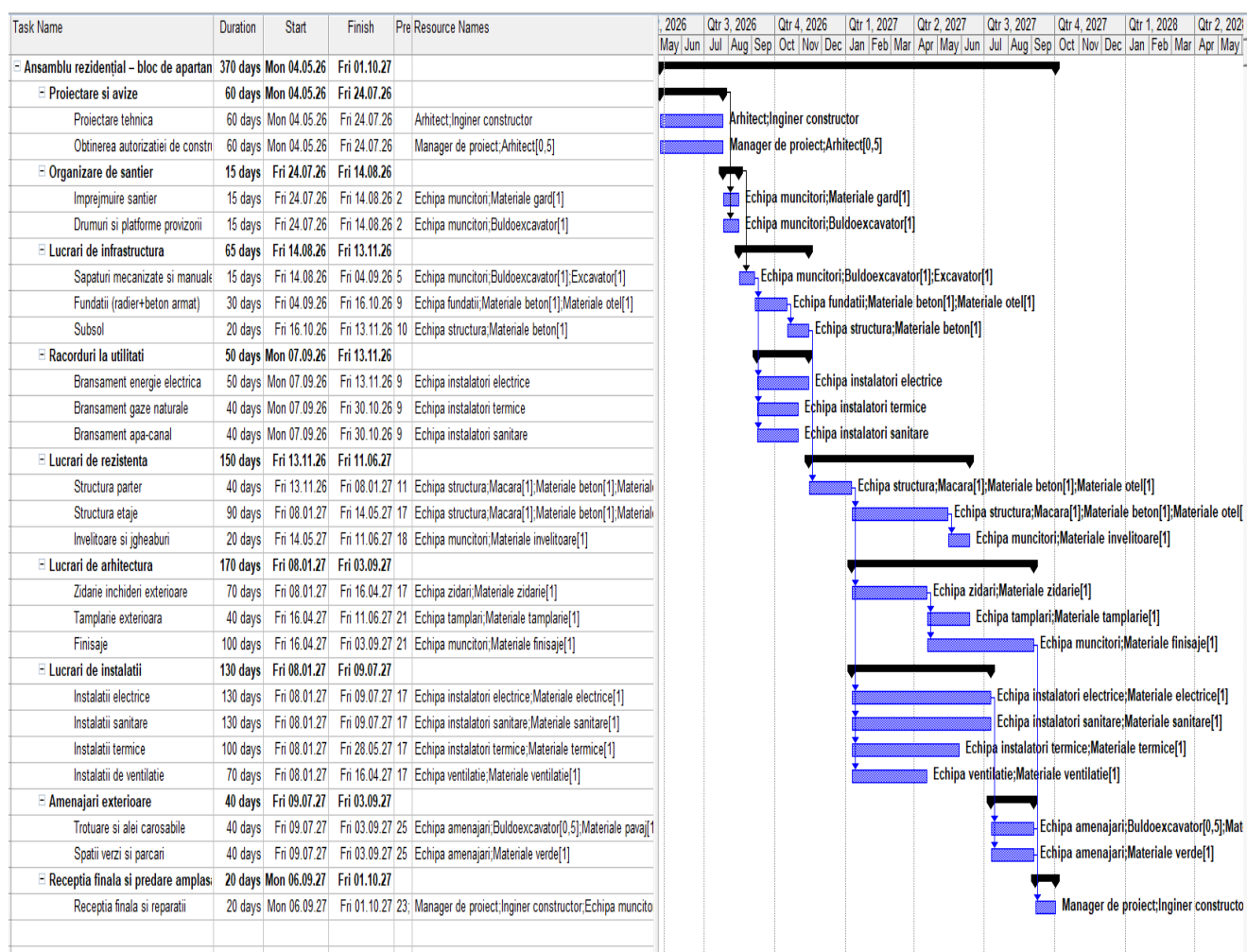
Tabelul 2. Performanțe

Inițial	Realizat	Performanța
18 luni	17 luni	Economie de timp o lună
Buget 2.800.000 euro	2.720.000 euro	Economie 80.000, 2.86%
Profit planificat 560.000 euro	640.000 euro	Depășire profit 80.000 euro

ROI reprezintă un indicator care arată cât de profitabilă este investiția unui proiect. Ajută la evaluarea eficienței investiției, sprijină luarea deciziilor financiare, indică dacă proiectul generează profit sau pierdere.

$$\text{ROI} = (\text{Profit} / \text{Cost investiție}) \times 100$$

$$\text{ROI} = (640.000 / 2.720.000) \times 100 = 23.5\% \text{ cu } 3.5\% \text{ mai mult decât ROI ținta inițială } 20\%$$





4. Concluzii

Managementul proiectelor conectează viziunea cu rezultatul concret, un instrument în lipsa căruia organizațiile moderne nu. Așa cum am încercat să demonstrez pe parcursul acestei lucrări, succesul unui proiect nu are nimic de a face cu o întâmplare ci este rezultatul unei planificări riguroase, al unei comunicări fluente, al administrării eficiente a resurselor și al monitorizării permanente a riscurilor.

Fixarea unor obiective concrete, conform metodei SMART, gruparea structurată a activităților, și împărțirea echilibrată a atribuțiilor constituie temelia unei inițiative reușite. La acestea se adaugă conlucrarea eficientă a echipei și comunicarea cu toți factorii externi implicați, aspecte care susțin un mediu profesional productiv și plăcut.

Studiul de caz prezentat, utilizat pentru execuția unui bloc rezidențial, susține că metodele clasice precum graficul Gantt continuă să fie relevante chiar și în contextul actual dominat de transformarea digitală și de platforme software complexe. Graficul Gantt oferă claritate și o vedere de ansamblu asupra proiectului reprezentând un ajutor real în procesul decizional.

În concluzie, managementul proiectelor nu este doar o simplă colecție de tehnici și proceduri ci poate fi privit ca o filozofie de lucru care înțelege corect favorizează maturizarea organizațională, creșterea performanței și obținerea succesului mult așteptat. Investiția în dezvoltarea competențelor de management este una dintre cele mai eficiente metode de a transforma ideile în realizări.

BIBLIOGRAFIE

1. Marinescu P., Management de proiect, editura Universității din București, 2007
2. Mincă D.G., Popescu A., Țoreanu C., Introducere în management. Note de curs., disponibil la: <https://pdfcoffee.com/note-curs-pdf-free.html>
3. Opran C., Stan S., Managementul proiectelor, editura Comunicare.ro, 2008, disponibil la: <https://ro.scribd.com/doc/242967107/ManagementulProiectelor>
4. Pascu R.V., Introducere în managementul proiectelor disponibil la: https://centers.ulbsibiu.ro/ccimn/documente/carti/introducere_in_managementul_proiectelor.pdf
5. Świtek M. Atingerea succesului: Exemple practice de obiective SMART în managementul proiectelor disponibil la: <https://teamdeck.io/ro/resurse/obiective-inteligente-in-managementul-proiectelor-exemple/>
6. Tudor M., Diagrama Gantt – ce este și cum se aplică corect?. Disponibil la: <https://tudorcommunications.com/ro/diagrama-gantt/>



ROLUL STUDIULUI DE FEZABILITATE ÎN REDUCEREA RISCURILOR INVESTIȚIONALE DIN DOMENIUL CONSTRUCȚII

Autor

Ioana-Flavia MONDOACĂ

Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, , e-mail: Mondoaca.Va.Ioana@student.utcluj.ro

Îndrumător

Sef.L.Dr.Ing. Dorina SUCALĂ

Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, e-mail: Dorina.Sucala@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: *Studiul de fezabilitate reprezintă o etapă esențială în evaluarea viabilității unui proiect de construcții, având rolul de a oferi o imagine realisă a investiției din punct de vedere tehnic, economic, financiar, juridic și operațional și recomandând scenariul cel mai favorabil pentru realizarea obiectivului. În situațiile în care este realizat superficial pot apărea probleme precum subestimarea costurilor, supraestimarea cererii, apariția riscurilor tehnice sau a nonconformităților juridice. Acestea afectează în mod direct succesul proiectului generând depășiri de buget, întârzieri ale execuției sau chiar blocarea investiției. Lucrarea analizează metodele de identificare și consecințele acestor riscuri asupra proiectului și propune strategii eficiente de reducere și prevenire. O analiză riguroasă contribuie la creșterea siguranței și eficienței investiției, iar studiul de caz subliniază importanța studiului de fezabilitate în evitarea situațiilor critice.*

Cuvinte cheie: fezabilitate, constructii, viabilitate, riscuri, costuri, analiză

1. Introducere

Numeroase cercetări evidențiază faptul că unul dintre principalele motive ale eșecului obiectivelor de investiții îl constituie nivelul redus de conștientizare al importanței studiilor de fezabilitate. De aceea, această lucrare își propune să urmărească impactul și consecințele acestora asupra proiectelor de construcții și identificarea metodelor de prevenire și reducere a riscurilor.

Definirea proiectului și deciziile adoptate în fazele inițiale sunt importante deoarece alegerea unei variante potrivite influențează rezultatul final. [1] Studiul de fezabilitate reprezintă o evaluare complexă a opțiunilor de investiție în vederea adoptării celui mai favorabil scenariu, fără a se rezuma doar la documentațiile corespunzătoare realizării proiectelor noi de investiții aferente etapei I. Acesta cuprinde soluția tehnică propusă, indicatori tehnico-economici, documentații tehnico-administrative și procedura pentru execuție, operare și mentenanță. [2]

Reprezentând o fază precontractuală, necesită o abordare precisă și detaliată. În cadrul oricărui proiect, clientul desemnează un evaluator sau un specialist în vederea unei analize riguroase atât din punct de vedere financiar cât și al pieței. Scopul este de a stabili dacă investiția are potențial de profitabilitate, dacă este viabilă și dacă poate fi implementată. [3] Este necesar acest grad de atenție sporită deoarece investițiile în proiecte de construcții presupun costuri



ridicate și un nivel de incertitudine considerabil. Reducerea factorilor de risc constă în planificare, respectiv o estimare cât mai precisă și realizarea unui studiu de fezabilitate adecvat. [4]

Studiul de fezabilitate constituie unul dintre cele mai importante unelte de planificare strategică, permițând investitorilor să ia decizii informate pe durata întregului ciclu de viață al proiectului și minimizând riscurile. [5]

2. Riscuri investiționale asociate unui studiu de fezabilitate

Studiile de specialitate arată că studiul de fezabilitate nu este complet fără analiza riscurilor. Aceste situații critice sunt calculate și evaluate în cadrul analizei de fezabilitate pe baza unor aspecte fundamentale: piața (marketing), tehnic și tehnologic, politic, legislativ, social și cultural, mediu și urbanism, financiar și economic. [6]

Din punct de vedere al pieței, riscurile sunt generate în principal de variația cererii, de nivelul concurenței și de evoluția prețurilor pe piața imobiliară. [7] O aproximare incorectă a acestor factori poate duce la proiecte nesigure din punct de vedere economic, chiar dacă acestea sunt fezabile din punct de vedere tehnic. [8]

În ceea ce privește aspectele tehnice și tehnologice, riscurile sunt asociate în principal cu alegerea amplasamentului, accesibilitatea infrastructurii și utilizarea unor tehnologii neadecvate în procesul de construcție și operare. [7] Acestea pot genera costuri suplimentare sau întârzieri în execuție. [9]

Riscurile politice și legislative au un impact considerabil asupra fezabilității proiectelor de investiții, deoarece modificările de reglementare și instabilitatea politică pot influența negativ implementarea acestora. [10] Aceste riscuri pot fi anticipate în cadrul studiului de fezabilitate prin scenarii de analiză, însă nu pot fi controlate în totalitate. [8]

Un alt set important de riscuri este reprezentat de cele economice și financiare, care includ fluctuațiile economice, inflația, variația cursului valutar și modificarea ratelor dobânzilor. [9] Acestea influențează direct viabilitatea proiectului și pot modifica indicatorii financiari estimați în faza de analiză. [7]

Riscurile sociale și de mediu sunt, de asemenea, relevante, deoarece proiectele de construcții pot avea impact asupra comunității și asupra mediului. [10] Lipsa susținerii sociale sau locale și efectele negative asupra mediului înconjurător pot conduce la întârzieri sau chiar la sistarea proiectului. [8]

Deși studiul de fezabilitate joacă un rol fundamental în identificarea, clasificarea și evaluarea situațiilor critice asociate investițiilor, nu toate riscurile pot fi eliminate, ci doar anticipate și gestionate prin analiza și scenariile întocmite. [10]

3. Repercusiuni ale neglijării studiilor de fezabilitate

Cercetările din domeniu afirmă că atunci când importanța studiului de fezabilitate este omisă se obțin carențe în procesul de fundamentare al proiectelor. Efectul acestor lacune se conturează prin construcții nejustificate, costuri nesustținute de analiză și investiții nefundamentate. [11]

Consecințele asociate neglijării analizei de fezabilitate sunt clasificate pe baza aspectelor fundamentale care intervin și în evaluarea situațiilor critice. Din punct de vedere



financiar, o estimare precară duce la cheltuieli neprevăzute, epuizare a resurselor, sau în situații grave chiar la pierderea completă a investiției. Acest fapt este datorat neînțelegerii complete a potențialului de succes al proiectului. O organizație care evaluează defectuos un proiect riscă să piardă încrederea investitorilor și părților interesate. [12]

În ceea ce privește piața, neglijarea factorilor precum comportamentul consumatorilor, variația cererii și a prețurilor și concurența are ca efect adoptarea unor strategii și vânzări slabe, așadar resursele sunt risipite. [12]

Sub aspectul tehnic și tehnologic, evaluările eronate duc la dezechilibre în departamentul financiar. Nerealizarea unei analize amănunțite generează evenimente neașteptate, tehnologii neadecvate sau angajarea de personal care nu poate sprijini obiectivele. Toate acestea necesită fonduri suplimentare. [12]

În termeni legislativi, studiul de fezabilitate deservește prin evaluarea legală, lipsa acesteia expune organizația la contravenții, amenzi și încălcări ale reglementărilor. [12]

4. Metode de evaluare a factorilor de risc

Înainte de a alocă resursele financiare necesare realizării unui proiect de investiție, analiza de fezabilitate prezintă probabilitatea de succes al obiectivului și se bazează pe practicitate și pe o estimare cât mai exactă a viabilității. Pentru a oferi o imagine cât mai clară investitorilor și pentru a determina dacă există aspecte care ar putea împiedica buna reușită, studiul de fezabilitate trebuie să răspundă la unei serii de întrebări precum: Care este probabilitatea de acceptare pe piață? Este tehnologia adecvată? Există resurse? Există abilitățile necesare? Există constrângeri bugetare? etc. [12]

Pentru a evalua potențialele situații critice sunt folosite mai multe tehnici. Analiza SWOT evaluează punctele tari, slabe, riscurile și respectiv oportunitățile, elemente care au în vedere interesele aceleiași entități. Punctele tari și cele slabe reprezintă factori curenți și consolidați, iar riscurile și oportunitățile reprezintă dezvoltarea situației actuale. Prin intermediul analizei, se stabilește care sunt factorii atât interni cât și externi care pot interveni în procesul de realizare al proiectului. [13]

Analiza scenariilor intervine de obicei în înțelegerea impactului schimbărilor de mediu. [12] În cadrul acesteia, se creează mai multe posibilități de evoluție, se definesc aspectele prin care se diferențiază între ele și se stabilesc intervalele de timp pentru aceste predicții. Cu cât intervalul crește, cu atât credibilitatea scenariului scade. Pentru realizarea analizei se pot folosi metode precum brainstormingul. [13]

Analiza cost-beneficiu compară în ce măsură apar riscuri economice atunci când costurile preconizate sunt comparate cu beneficiile aferente proiectului. [12]

De asemenea, consultanța este o tehnică la care se recurge deseori întrucât prezintă viziuni asupra riscurilor dintr-o perspectivă profesionistă și avizată. [12]

5. Tehnici de prevenire

Odată ce riscurile au fost identificate și evaluate se poate trece la următoarea etapă, și anume minimizarea acestora. În ceea ce privește studiul de fezabilitate, există o gamă largă de erori care pot apărea. Printre acestea se numără studii tehnice imprecise sau chiar inexistente,



încalcare relativă sau în mod absolut al propunerilor experților, avizelor sau acordurilor, subestimarea sau supraestimarea lucrărilor și neincluderea sumelor asociate studiilor necesare pentru obținerea aprobărilor. Evitarea acestor erori reprezintă un prim pas în ceea ce privește măsurile de prevenire. [14]

Un mod eficient de a reduce impactul situațiilor nefavorabile este realizarea unor planuri de rezervă, planuri de contingență. Prin anticiparea posibilelor probleme și stabilirea unor soluții alternative de intervenție se asigură continuarea proiectului fără întârzieri majore în momentele critice. [12]

Managementul eficient al resurselor contribuie la minimizarea riscurilor. Faptul că resursele materiale, financiare și umane sunt alocate corect și sunt distribuite în funcție de prioritățile proiectului ajută performanța generală și menținerea continuității activităților. [12]

Testarea ideilor înainte de implementarea integrală prin intermediul simulărilor și a proiectelor pilot reduce incertitudinea. Problemele pot fi corectate în timp util, reducând deficiențele în momentul realizării efective a proiectului. [12]

6. Studiu de caz - Studiu de fezabilitate al unei clădiri rezidențiale

6.1 Descrierea proiectului

În vederea aplicării noțiunilor teoretice prezentate anterior, lucrarea propune realizarea unui studiu de fezabilitate pentru o clădire rezidențială în regim de înălțime P+3E localizată în municipiul Cluj-Napoca, pentru evaluarea viabilității și analizarea riscurilor asociate pe baza datelor reale din piața imobiliară actuală. Studiul are scopul de a urmări aspectele cheie din cadrul unui studiu de fezabilitate, respectiv influența riscurilor asupra deciziei investiționale.

Clădirea studiată are o suprafață de aproximativ 1100 mp și cuprinde 16 apartamente cu o suprafață medie între 50 mp și 60 mp. Proiectul de investiție este unul de dimensiuni reduse.

6.2 Ipoteze de calcul

În procesul de realizare al analizei de fezabilitate, s-au stabilit mai multe ipoteze de calcul bazate pe valori medii identificate în domeniul construcțiilor și domeniul imobiliar.

Consultând diverse calculatoare specializate în estimarea costurilor de construcție și studiind piața actuală putem concluziona un cost mediu de construcție de aproximativ 1200 €/mp, valoare realistă pentru un imobil cu regim de înălțime redus și finisaje de nivel mediu. Costurile indirecte, care includ cheltuielile de proiectare, cheltuieli asociate obținerii avizelor și alte cheltuieli conexe au fost evaluate la 15%, procentaj raportat la investiția de bază.

Din perspectiva valorificării imobilului, s-a considerat un preț mediu de vânzare al unui apartament de 160.000 €, corespunzător suprafețelor utile ale locuințelor. Realizarea și valorificarea proiectului de investiție se estimează la o durată de aproximativ 2 ani.

6.3 Determinarea costurilor investiției

Costul total al lucrărilor de construcție: Suprafața [mp] x Preț/U.M.

$$S \times \frac{\text{€}}{\text{mp}} = 1100 \text{ mp} \times \frac{1200\text{€}}{\text{mp}} = 1.320.000\text{€} \quad (1)$$



Costurile indirecte se referă la cheltuielile care nu pot fi identificate direct pe un produs, cum ar fi: chiriile pentru spațiu, plata utilităților, salariile personalului administrativ, amortizarea utilajelor și echipamentelor achiziționate, cheltuieli de întreținere a utilajelor și echipamentelor tehnologice, servicii de contabilitate, etc. În cadrul analizei costurile indirecte au fost estimate la 15% din valoarea investiției.

$$Val. chelt. ind. = 1.320.000\text{€} \times 15\% = 198.000\text{€} \quad (2)$$

Investiția totală necesară pentru realizarea proiectului propus:

$$Cost\ total\ constructie + Chelt. ind. = 1.320.000\text{€} + 198.000\text{€} = 1.518.000\text{€} \quad (3)$$

6.4 Estimarea veniturilor și a profitului

Veniturile totale sunt determinate de încasările realizate de către investitor într-o perioadă de timp (de obicei un an) și în studiu acestea sunt calculate pe baza vânzării celor 16 apartamente:

$$Nr. ap. \times \frac{Cost}{ap} = 16 \times 160.000\text{€} = 2.560.000\text{€} \quad (4)$$

Profitul brut constituie componenta fundamentală a câștigului obținut și reprezintă diferența dintre veniturile totale încasate și cheltuielile totale efectuate pentru investiția propusă în analiză. Acesta indică nivelul de performanță financiară și servește ca reper esențial în îmbunătățirea strategiilor de control al costurilor și ajustare a prețurilor. [15]

$$Ven. tot. - Chelt. tot. = 2.560.000\text{€} - 1.518.000\text{€} = 1.042.000\text{€} \quad (5)$$

Rata rentabilității investiției (ROI) indică proporția din capitalul investit care se recuperează pe parcursul unui an de utilizare al obiectului. Calculul acestuia se realizează prin raportul dintre profit și investiție. [16]

$$ROI = \frac{P}{I} \times 100 = \frac{1.042.000\text{€}}{1.518.000\text{€}} \times 100 = 68,64\% \quad (6)$$

unde P=profitul brut și I=investiția totală necesară pentru realizarea proiectului.

Rezultatele obținute denotă o profitabilitate ridicată a proiectului în scenariul prezentat.

6.5 Indicatori de performanță

Pragul de rentabilitate indică numărul minim de apartamente a căror vânzare este necesară pentru recuperarea investiției. Rezultă că este necesară vânzarea a cel puțin 10 apartamente pentru a evita pierderile, iar ca investiția să genereze profit este nevoie ca 11 apartamente să fie vândute.

$$PR = \frac{Cost\ investitie}{Pret\ ap.} = \frac{1.518.000\text{€}}{160.000\text{€}} = 9,49 \quad (7)$$

Valoarea actuală netă (VAN) oferă o imagine clară cu privire la echilibrul dintre beneficii și costuri. Calculul constă în diferența dintre veniturile și cheltuielile obiectivului. În cadrul analizei cost-beneficiu valoarea obținută este direct proporțională cu acceptabilitatea investiției. O valoare pozitivă indică faptul că proiectul este considerat viabil. [17]



$$\text{Flux de numerar net} = \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

unde CF_t = valoarea netă a cash-flow-ului din anul t ; r = rata de actualizare (costul capitalului) și t = numărul de ani

Determinarea VAN-ului s-a realizat considerând că investiția inițială s-a realizat în anul 0, iar fluxul de numerar net în valoare de 2.560.000€ a fost obținut în anul 2, odată cu finalizarea întregului proiect. S-a considerat o rată de actualizare de 10% și o perioadă de 2 ani, astfel:

$$\frac{2.560.000\text{€}}{(1 + 0,10)^2} = 2.115.702\text{€}$$

$$VAN = 2.115.702\text{€} - 1.518.000\text{€} = 597.702\text{€}$$

Valoarea pozitivă a valorii obținute arată că proiectul este atractiv din punct de vedere investițional.

Rata internă de rentabilitate (RIR) este definită ca fiind rata la care VAN devine nulă, ea elimină necesitatea unei rate inițiale și este comparată cu dobânda pieței. Aceasta reprezintă o etapă riscantă, dificilă și predispusă erorilor. În sectorul public, unde resursele sunt limitate, valoarea RIR trebuie să depășească costul de oportunitate ca un proiect să fie considerat rentabil. Această relație are rol în departajare atunci când există mai multe variante de investiție. [17]

$$RIR = D_1 + \frac{NPV_1(D_2 - D_1)}{(NPV_1 - NPV_2)} \quad (9)$$

unde D_1 = standard de reducere; D_2 = rata de actualizare; NPV_1 = valoarea pozitivă a venitului net și NPV_2 = valoarea negativă a venitului net

Astfel, se presupune o rată de reducere de 25% și o rată de actualizare de 35%, ceea ce rezulta prin metoda interpolării o valoare pozitivă a venitului net de 120.400€ și o valoare negativă de -113.324€.

$$RIR = 25 + \frac{120.400 \times (35 - 25)}{120.400 - (-113.324)} = 30,15$$

În urma calculului, se poate observa faptul că valoarea obținută pentru RIR de 30,15% depășește rată de actualizare de 10%, așadar proiectul poate fi considerat profitabil.

6.6 Analiza riscurilor

În cazul proiectului de investiție analizat, se identifică câteva categorii de risc principale: riscuri de piață, riscuri tehnice și tehnologice și riscuri economice și financiare.

Riscurile de piață reies din dependența proiectului investițional față de capacitatea de vânzare a apartamentelor la prețul anticipat și de evoluția pieței imobiliare din Cluj-Napoca. În ipoteza unui scenariu negativ în care prețul scade de la 160.000€ la 140.000€ se obține o reducere semnificativă a veniturilor și profitului.

Veniturile totale devin astfel: $16 \times 140.000\text{€} = 2.240.000\text{€}$

Iar profitul se reduce la: $2.240.000\text{€} - 1.518.000\text{€} = 722.000\text{€}$

Deși investiția rămâne avantajoasă din punct de vedere financiar, se observă o diminuare a gradului de profitabilitate. De asemenea, dificultăți în valorificarea integrală a apartamentelor într-un interval scurt, concurența crescută și suprasaturarea pieței imobiliare pot de asemenea să aibă un impact nefavorabil asupra performanței economice.



Riscurile tehnice și tehnologice sunt de obicei asociate cu partea de execuție a construcției, așadar un factor critic îl constituie majorarea costurilor de construcție, respectiv a prețurilor materialelor și folosirea unor soluții tehnice nefavorabile. În cazul în care există mărimi ale costurilor de 10%, investiția totală crește, iar profitul scade.

Valoarea totală a investiției: $1.518.000\text{€} \times 1,10 = 1.669.800\text{€}$

Valoarea profitului: $2.560.000\text{€} - 1.669.800\text{€} = 890.200\text{€}$

Cu toate că profitul încă există, acesta se micșorează semnificativ ceea ce subliniază importanța unei estimări corecte și a unui control economic precis.

Riscurile economice și financiare se referă la factorii externi precum creșterea costurilor de finanțare, inflația, majorări ale ratelor dobânzilor sau scăderea puterii de cumpărare. Aceste aspecte afectează în mod direct atât costurile de execuție cât și cererea pe piața imobiliară, ceea ce reduce rentabilitatea proiectului.

7. Concluzie

Orice activitate economică presupune efectuarea unor cheltuieli pentru inițierea și dezvoltarea activității de producție înainte de a obține profit. Aceasta presupune anumite riscuri investiționale. Profitul este rezultatul unei activități investiționale pozitive. Obținerea profitului rezultă în urma unei activități eficiente economic atunci când sunt utilizate optim resursele disponibile. Beneficiile obținute de investitor sunt cu atât mai mari cu cât nivelul eficienței economice este mai mare.

Lucrarea prezintă modul în care estimările și preconizările incorecte sau superficiale realizate din cadrul analizei de fezabilitate afectează procesul de realizare al proiectului. Fiecare etapă neglijată are repercusiuni financiare ulterioare. Un aspect fundamental evidențiat este faptul că un proiect aparent rentabil poate să devină incert sau vulnerabil în lipsa unei analize riguroase. În acest sens, studiul de fezabilitate trebuie privit ca o unealtă strategică de management al investiției, care contribuie la succesul sau eșecul unui obiectiv de investiție pe termen lung. Prin identificarea tuturor riscurilor și examinarea indicatorilor tehnico-economici și a scenariilor posibile, acesta permite investitorului să înțeleagă nu doar că un proiect este eficient economic, ci și în ce condiții își pastrează viabilitatea.

În context actual, piața este caracterizată de fluctuație și concurență, iar studiul de fezabilitate reprezintă o componentă cheie în diminuarea incertitudinii asociate investițiilor din domeniul construcțiilor. Deciziile luate în fazele incipiente ale proiectului determină succesul final.



BIBLIOGRAFIE

1. Munns, A. K., & Bjeirmi, B. F. The role of project management in achieving project success. International Journal of Project Management. (1996)
2. H.G. nr. 907 din 29 noiembrie 2016 privind etapele de elaborare și conținutul-cadru al documentațiilor tehnico-economice aferente obiectivelor/proiectelor de investiții finanțate din fonduri publice publicat în M.of. nr. 1061/29 noiembrie 2016
3. Sawsan Rasheed Mohammed et al IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 518 022074: Impact of the Feasibility Study on the Construction Projects (2019)
4. Husnan, S. Muhammad S. Studi Kelayakan Proyek. Yogyakarta, UPP AMP YKPN (2000).
5. Heralova RS. Life cycle costing as an important contribution to feasibility study in construction projects. Procedia Eng. (2017)
6. Firmansyah., B. A., Veronika A., Trigunarsyah B. „Risk analysis in feasibility study of building construction project: case study-Pt Perusahaan gas negara Indonesia (2006)
7. Anakotta, D.H. Analysis in Feasibility Study of Building Construction Project. (2006)
8. Del Giudice, V. et al. Risk Analysis within Feasibility Studies, Applied Mechanics and Materials (2014)
9. Yescombe, E.R. Principles of Project Finance (2013)
10. Flyvbjerg, B. Survival of the unfittest: why the worst infrastructure gets built. (2009)
11. Paladi, A. "Unele aspecte privind studiul de fezabilitate a proiectelor de investiție ca activitate de expertiză tehnico-economică a bunurilor imobile." Consolidarea administrației publice locale și perspectivele Europene ale Republicii Moldova. (2018).
12. Bode Th A.- The Impact of Feasibility Studies on Project Management: Identifying and Assessing Risks in PMI Phoenix Chapter (2025)
13. Nica P, Banciu, R. ,Gheorghiu., Grosu D. M., Agachi S. P, Curaj A., Turlea G., Baltei C. C. - Metodologie și proceduri pentru definirea obiectivelor și proprietatilor strategice ale cercetarii stiintifice și dezvoltarii tehnologice nationale pe perioada 2005-2010
14. Modulul documentație tehnico-economica script nr. 6 Studiu de Prefezabilitate și Studiu Fezabilitate
15. Obrinetchi I. Profitul brut-indicator de performanta în caracterizarea activitatii în informatizare (2025)
16. Ghetmancenco S .Analiza indicilor de apreciere a eficienței proiectelor de investiții în informatizare (2012)
17. Barbu A.-M. Teza de doctorat - Rezumat Managementul costurilor proiectelor de construcții (2023)



VALORIFICAREA DEȘEURILOR KERATINICE: PĂRUL UMAN CA ADITIV ÎN MORTARE

Autor/autori

Bianca-Maria HORINCAR¹,

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: horincar.va.bianca@student.utcluj.ro](mailto:horincar.va.bianca@student.utcluj.ro).

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Claudiu ACIU³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Claudiu.Aciu@campus.utcluj.ro](mailto:Claudiu.Aciu@campus.utcluj.ro).

REZUMAT: *Proiectul propus are ca punct de plecare o idee inovatoare și sustenabilă: utilizarea părului uman ca material de armare în mortare și betoane. Deși poate părea o soluție modernă, conceptul are rădăcini în Antichitate [1] [2], când diferite tipuri de fibre naturale, inclusiv păr uman sau de animale, erau adăugate în amestecuri de construcție pentru a le îmbunătăți coeziunea și durabilitatea. Pornind de la aceste practici tradiționale, proiectul își propune să valorifice un deșeu organic abundent, transformându-l într-o resursă utilă pentru industria construcțiilor moderne, cu beneficii atât mecanice, cât și ecologice. Lucrarea are la bază interesul pentru valorificarea deșeurilor, cât și de la proprietățile remarcabile ale firului de păr, adesea ignorate. Părul uman este un material bogat în keratină, o proteină fibroasă structurală, caracterizată printr-o organizare moleculară complexă. Keratina conține lanțuri polipeptidice dispuse în structuri elicoidale, stabilizate prin legături disulfidice între atomii de sulf ai aminoacidului cisteină. Aceste legături conferă părului o rezistență mecanică ridicată, elasticitate și durabilitate, făcându-l capabil să suporte tensiuni semnificative fără a se rupe ușor. Datorită acestor proprietăți, părul uman poate funcționa similar fibrelor sintetice utilizate în compozițiile de beton, contribuind la creșterea rezistenței la fisurare și la îmbunătățirea comportamentului materialului sub solicitări mecanice.*

Cuvinte cheie: mortar, păr, keratină, rezistență.

1. Introducere

În contextul actual al dezvoltării durabile și al economiei circulare, valorificarea deșeurilor neconvenționale a devenit o direcție importantă de cercetare în domeniul materialelor de construcții. Printre aceste deșeuri, părul uman reprezintă o resursă abundentă, dar insuficient exploatată, generată constant la nivel global prin activități cotidiene precum tunsul sau îngrijirea personală.

Estimările arată că la nivel mondial se generează anual cantități semnificative de deșeuri keratinice provenite din păr uman. Astfel, în funcție de metodologiile de calcul, se apreciază că între aproximativ 690.000 și 810.000 de tone de păr uman sunt produse anual la nivel global. În prezent, cea mai mare parte a acestei cantități este eliminată prin depozitare la groapa de gunoi sau incinerare, ceea ce generează impact negativ asupra mediului, inclusiv emisii de gaze cu efect de seră și poluarea solului și a apelor.

În paralel, industria materialelor de construcții utilizează pe scară largă fibre sintetice (precum polipropilena, polietilena sau fibrele de sticlă) pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale mortarelor și betoanelor. Producția acestor fibre este strâns legată de industria petrochimică și



implică un consum ridicat de resurse neregenerabile și energie, contribuind la amprenta de carbon a sectorului construcțiilor. În plus, cererea globală de fibre sintetice este în continuă creștere, fiind alimentată atât de industria construcțiilor, cât și de cea textilă, ceea ce accentuează presiunea asupra mediului.

În acest context, utilizarea părului uman ca material de armare în mortare reprezintă o alternativă sustenabilă, având în vedere compoziția sa bogată în keratină, rezistența mecanică ridicată și disponibilitatea largă. Integrarea acestui tip de deșeu în materiale de construcții nu doar că reduce cantitatea de deșeuri eliminate, dar poate contribui și la diminuarea utilizării fibrelor sintetice, promovând astfel soluții ecologice și eficiente din punct de vedere economic. [3] [4]

2. Materialele utilizate pentru probe

a. Părul

Părul uman este un biomaterial fibros complex, alcătuit în proporție de aproximativ 80–95% din keratină, o proteină fibrilară bogată în cisteină, responsabilă pentru formarea legăturilor disulfidice ce conferă stabilitate și rezistență mecanică. Din punct de vedere structural, firul de păr este format din cuticulă (stratul exterior protector), cortex (componenta principală, cu rol în rezistență și elasticitate) și, uneori, medulă. Această organizare ierarhică determină proprietăți mecanice favorabile, precum rezistență bună la tracțiune și flexibilitate. Încorporat în mortare, părul acționează ca o armătură dispersă, contribuind la preluarea tensiunilor de tracțiune și la controlul microfisurării. [5] Astfel, se îmbunătățește comportamentul post-fisurare, tenacitatea și durabilitatea materialului, reducând riscul de propagare a fisurilor.

B. Cimentul

În studiu s-a utilizat ciment CEM II/A-M 42,5, caracterizat prin rezistență mecanică medie și hidratare controlată, adecvat pentru mortare, asigurând lucrabilitate bună și dezvoltarea corespunzătoare a rezistențelor mecanice.

C. Nisipul

S-a utilizat nisip natural sortat pe fracțiuni granulometrice, cu distribuție controlată a dimensiunilor particulelor, pentru a asigura o compactare optimă a amestecului și proprietăți mecanice uniforme ale mortarului.

- (0,08-0,16)mm – 150 g
- (0,16-0,5)mm – 300 g
- (0,5-1)mm – 450 g
- (1-2)mm – 450 g



Figură 10. Materialele utilizate pentru cele 3 probe

3. Rețeta de mortar

În cadrul studiului au fost realizate trei compoziții de mortar, în vederea evaluării influenței adaosului de păr uman asupra proprietăților materialului. Proba de referință (R0) a fost un mortar standard, preparat din 450 g ciment CEM II/A-M 42,5, 1350 g nisip natural distribuit pe fracțiuni granulometrice și 225 cm³ apă, respectând un raport apă/ciment constant. Am amestecat cimentul cu nisipul, iar apa a fost adăugată treptat în malaxor.

Pentru proba R1, s-a utilizat aceeași compoziție de bază, la care s-a adăugat un procent de 0,5% păr uman, raportat la masa cimentului. Fibrele de păr au avut lungimi cuprinse între 3 și 4 cm și au fost introduse în amestec în stare uscată, pentru a asigura o dispersie cât mai uniformă. Am omogenizat cimentul cu nisip și o parte din păr, apa a fost adăugată în malaxor în timpul amestecării, iar restul de nisip l-am adăugat treptat.

În cazul probei R2, compoziția a fost similară, însă procentul de păr a fost crescut la 1% din masa cimentului, păstrând aceleași caracteristici privind lungimea și modul de introducere al fibrelor. Toate probele au fost preparate în condiții identice, pentru a permite o evaluare comparativă relevantă a rezultatelor. Procesul de malaxare a fost identic cu cel din cazul probei R1.

Din fiecare tip de material au fost realizate câte trei epruvete prismatice, cu dimensiunile de 4×4×16 cm, în vederea determinării proprietăților mecanice la 7 zile, 14 zile și 28 de zile. Prepararea și turnarea s-au efectuat în condiții identice, pentru a asigura comparabilitatea rezultatelor experimentale.



Figură 11. Rețeta de mortar

4. Rezultate experimentale

Rezultatele încercărilor la încovoiere evidențiază influența semnificativă a adaosului de păr uman asupra comportamentului mecanic al mortarului în timp. La 7 zile, proba martor prezintă cea mai mare rezistență, în timp ce amestecurile cu fibre înregistrează valori mai scăzute, ceea ce sugerează o întârziere a dezvoltării rezistenței inițiale odată cu creșterea conținutului de fibre.

La 14 zile se observă o schimbare importantă: R1 depășește atât proba martor, cât și R2, indicând o contribuție pozitivă a unui conținut redus de fibre la transferul de tensiuni și la limitarea microfisurării. În schimb, procentul mai mare de fibre din R2 continuă să aibă un efect mai puțin favorabil.

La 28 de zile, proba martor atinge cea mai mare rezistență, urmată îndeaproape de R1, ceea ce arată că adaosul de 0,5% păr permite menținerea unor performanțe mecanice comparabile cu mortarul standard pe termen lung. Proba R2 rămâne semnificativ inferioară, indicând că un conținut prea mare de fibre poate afecta negativ compactitatea și coeziunea matricei cimentice.

În concluzie, rezultatele sugerează că un adaos optim de păr uman (aproximativ 0,5%) poate îmbunătăți comportamentul la încovoiere al mortarului în timp, prin efectul de armare dispersă și control al fisurării, în timp ce procentul mai ridicat conduce la scăderea performanțelor mecanice.

La încercările de rezistență la compresiune se observă o tendință mai clară de scădere a performanțelor mecanice odată cu introducerea fibrelor de păr uman în matricea mortarului. Proba martor prezintă cele mai ridicate valori ale rezistenței, confirmând comportamentul optim al unui mortar standard bine compactat.

Proba cu 0,5% păr înregistrează valori ușor inferioare față de martor, însă menține un nivel relativ apropiat, ceea ce sugerează că un conținut redus de fibre nu afectează semnificativ capacitatea portantă a materialului. În schimb, proba cu 1% păr prezintă cele mai scăzute valori ale rezistenței la compresiune, ceea ce indică faptul că un procent ridicat de fibre conduce la o scădere a compactității și la apariția unor goluri în structură.

În concluzie, adaosul de păr uman are un efect predominant negativ asupra rezistenței la compresiune, efect care se accentuează odată cu creșterea procentului de fibre, însă la doze reduse (0,5%) influența rămâne relativ limitată.



Figură 12. Rezistențe

Rezultate la 7 zile

Nr. crt.	Proba	Masa (g)	Densitate aparentă (kg/m ³)	Încovoiere		Compresiune			
				F (N)	R (N/mm ²)	F1 (kN)	R1 (N/mm ²)	F2 (kN)	R2 (N/mm ²)
1.	R0	570,8	2229,68	2555	5,98	57,3	35,81	47,84	29,90
2.	R1	559,8	2186,71	1840	4,31	28,64	17,9	42,42	26,51
3.	R2	525	2050,78	1360	3,18	21,50	13,43	21,1	13,18

Rezultate la 14 zile

Nr. crt.	Proba	Masa (g)	Densitate aparentă (kg/m ³)	Încovoiere		Compresiune			
				F (N)	R (N/mm ²)	F1 (kN)	R1 (N/mm ²)	F2 (kN)	R2 (N/mm ²)
1.	R0	578,2	2258,59	2220	5,20	71,42	44,63	72,33	45,2
2.	R1	582,1	2273,82	2730	6,39	53,93	33,7	56,89	35,55
3.	R2	516,1	2016,01	1680	3,93	28,85	18,03	32,91	20,56

Rezultate la 28 zile

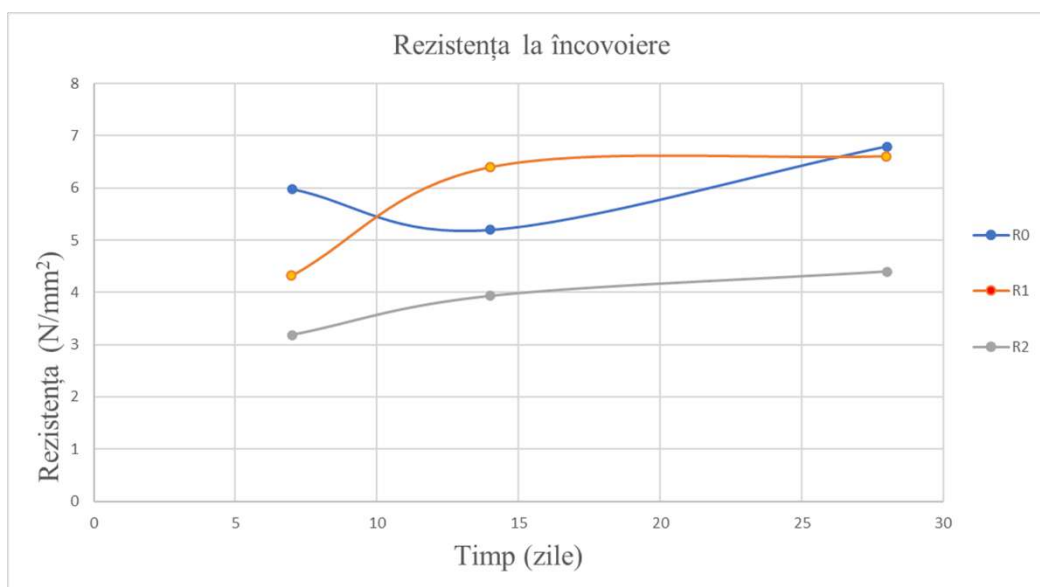
Nr. crt.	Proba	Masa (g)	Densitate aparentă (kg/m ³)	Încovoiere		Compresiune			
				F (N)	R (N/mm ²)	F1 (kN)	R1 (N/mm ²)	F2 (kN)	R2 (N/mm ²)
1.	R0	559,9	2187,1	2900	6,79	47,17	29,48	89,08	55,67
2.	R1	548,5	2142,57	2820	6,60	57,52	35,95	58,44	36,52
3.	R2	509,4	1989,84	1880	4,40	34,55	21,59	31,31	19,56



5. Concluzii

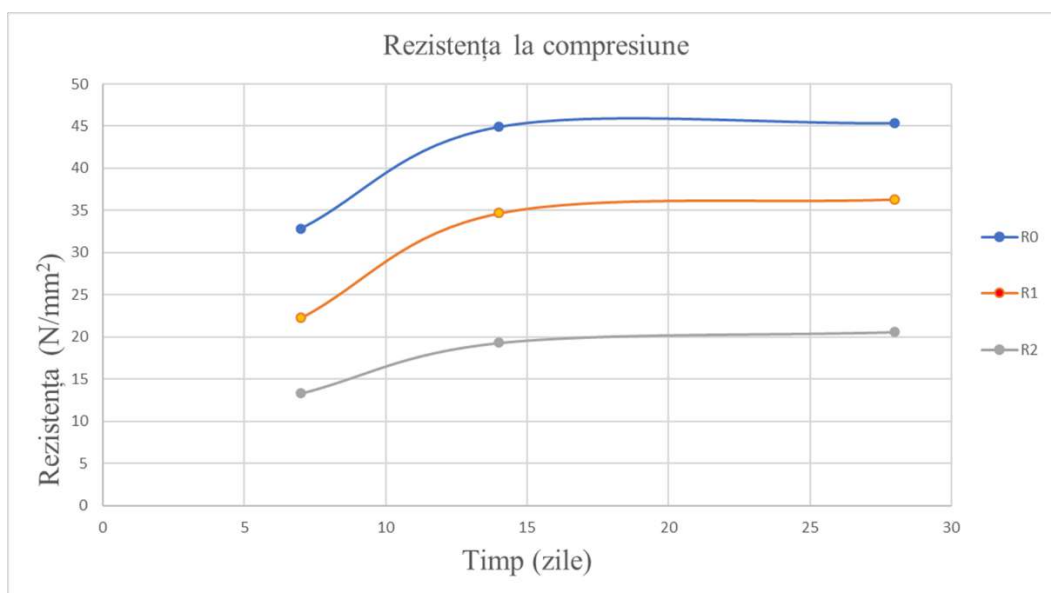
Introducerea fibrelor de păr uman în compoziția mortarului influențează în mod semnificativ comportamentul mecanic al materialului, atât la încovoiere, cât și la compresiune.

La încercările de încovoiere, adaosul de 0,5% păr a condus la rezultate comparabile sau chiar ușor superioare probei martor la vârsta de 14 și 28 de zile, indicând un efect benefic de armare dispersă. În cazul determinării la 14 zile rezistența la încovoiere a crescut cu 22,9% pentru proba cu 0,5% fibre față de proba de referință (R0), iar la 28 de zile rezistența a scăzut cu 2,9% în cazul probei cu 0,5% păr față de proba mortarului standard.



Creșterea conținutului de păr la 1% determină o scădere constantă a rezistențelor mecanice, datorită reducerii compactității și apariției neomogenităților în structura mortarului.

La încercările de compresiune, proba martor a înregistrat cele mai bune rezultate, urmată de proba cu 0,5% păr, în timp ce proba cu 1% a avut cele mai reduse valori.



Rezultatele sugerează că părul uman are un efect mai pronunțat de îmbunătățire a comportamentului la fisurare decât asupra capacității portante la compresie.

S-a constatat necesitatea creșterii cantității de liant (ciment) pentru amestecurile cu fibre, în vederea asigurării unei mai bune acoperiri a fibrelor și a îmbunătățirii coeziunii matricei.

Utilizarea fibrelor de păr cu lungimi mai mari poate conduce la formarea de smocuri și aglomerări, motiv pentru care se recomandă utilizarea unor fibre cu lungimi reduse, de aproximativ 5–7 mm, pentru o dispersie mai uniformă în amestec.

Comportamentul optim al mortarului cu păr uman este obținut la un conținut redus de fibre (aproximativ 0,5%), unde se realizează un echilibru între rezistență și efectul de armare.

Studiul confirmă potențialul părului uman ca material de armare alternativ, însă utilizarea sa necesită optimizarea compoziției și a modului de preparare pentru a evita efectele negative asupra structurii mortarului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] J. & A. N. Ashurst, *Practical Building Conservation: Mortars, Plasters and Renders*, English Heritage Technical handbook, 1988.
- [2] S. & W. M. Holmes, *Building with Lime: A Practical Introduction*. Intermediate Technology Publication, 2002.
- [3] S. & K. A. Gupta, Human hair fiber as reinforcement in cementitious composites: A review. *Construction and Building Materials*, 213, 682-693, 2019.
- [4] R. & K. R. A. Sharma, *Utilization of waste human hair in fiber reinforced concrete*, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(3), 45-50, 2017.
- [5] P. K. & M. P. J. M. Mehta, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, McGraw-Hill Education, 2014.



STUDIU PE MATERIALE DE CONSTRUCȚII UȘOARE PREPARATE CU AGENT TENSIOACTIV DIN DETERGENT DE VASE

Autor

Patricia Elena BAN

Facultatea de Inginerie Chimică, Biotehnologii și Protecția Mediului, Universitatea Politehnică Timișoara,

[e-mail: patricia.ban@student.upt.ro.](mailto:patricia.ban@student.upt.ro)

Îndrumători

Conf.Dr.Ing. Cătălin Badea

Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnică Timișoara, [e-mail: catalin.badea@upt.ro.](mailto:catalin.badea@upt.ro)

Conf.Dr.Ing. Cosmin Vancea

Facultatea Inginerie Chimică, Biotehnologii și Protecția Mediului, Universitatea Politehnică Timișoara,

[e-mail: cosmin.vancea@upt.ro.](mailto:cosmin.vancea@upt.ro)

REZUMAT: *Prezentul studiu este efectuat pe materiale de construcții realizate din lianți clasici (ipsos, ciment Portland). Efectul de spumare a fost obținut folosind un agent tensioactiv prezent în detergentul de vase. Probele au fost armate folosind fibră polimerică. Materialele obținute au o densitate cuprinsă între 450-800 kg/m³ și rezistențe la transfer termic de minim $5 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ și poate duce până la aproximativ $9 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$. Datorită acestor proprietăți, aceste materiale se pot încadra în categoria materialelor de termoizolație.*

Cuvinte cheie: ipsos, fibră, spumare, ciment.

1. Introducere

Evoluția sustenabilității în sectorul construcțiilor a impulsat cercetarea către dezvoltarea unor materiale care să combine eficiența energetică cu o amprentă de carbon redusă. Noile materiale de construcții ușoare, în special cele compozite, sunt proiectate pentru a răspunde cerințelor stricte de izolare termică impuse de directivele europene privind performanța energetică a clădirilor [1]. Aceste materiale includ adesea matrice minerale precum ghipsul sau cimentul, modificate pentru a integra o structură celulară care să reducă densitatea și să îmbunătățească capacitatea de izolare termică.

Obținerea acestor materiale se realizează prin tehnologii variate, de la spumarea chimică și introducerea de agregate ultra-ușoare (perlit, polistiren expandat), până la utilizarea unor agenți de expandare care generează bule de gaz în interiorul pastei proaspete [2]. Proprietățile fundamentale urmărite sunt densitatea scăzută (sub 1000 kg/m³), o conductivitate termică redusă și o rezistență mecanică suficientă pentru aplicații neportante, cum ar fi panourile de compartimentare sau tencuielile termoizolante [3].

Avantajele acestor soluții moderne față de termoizolațiile clasice (precum vata minerală sau EPS) sunt semnificative, în special în ceea ce privește rezistența la foc și inerția



termică [4]. Un dezavantaj major rămâne sensibilitatea la umiditate a matricelor pe bază de sulfat de calciu și o rezistență la compresiune mai scăzută comparativ cu betonul celular autoclavizat [5].

Cercetările recente s-au concentrat pe optimizarea procesului de fabricație pentru a echilibra porozitatea și durabilitatea [6]. Astfel, materialele poroase de nouă generație nu mai sunt privite doar ca simple bariere termice, ci ca elemente constructive multifuncționale capabile să asigure atât confort termic, cât și protecție acustică. Comparativ cu materialele clasice, procesul de obținere prin spumare directă oferă o flexibilitate mai mare în modelarea formelor complexe, reducând totodată necesarul de materie primă și costurile de transport datorită greutății proprii reduse [7].

Porozitatea reprezintă caracteristica structurală dominantă a materialelor izolatoare, determinând în mod direct conductivitatea termică a produsului finit. Porii închiși acționează ca microincinte în care aerul este captiv, reducând transferul de căldură prin convecție și conducție [8,9].

Pentru a crește controlat porozitatea, în amestecurile de ghips se introduc agenți de spumare (foaming agents). Aceștia au rolul de a scădea tensiunea superficială a apei, permițând formarea și stabilizarea bulelor de aer în timpul amestecării [10]. Eficiența unui agent de spumare este evaluată prin capacitatea sa de a menține o structură celulară uniformă până la finalizarea procesului de priză a liantului, evitând colapsul porilor sau segregarea fazelor.

Utilizarea agenților de spumare permite obținerea unor structuri de tip "fagure" sau "spumă solidă", unde faza solidă formează pereții subțiri ai unor celule poliedrice [11]. Această arhitectură celulară este esențială pentru a maximiza raportul dintre rezistența mecanică și greutate, oferind o alternativă sustenabilă la materialele de construcție masive, care sunt mari consumatoare de resurse energetice în faza de producție.

În contextul explorării unor soluții accesibile și eficiente, utilizarea agenților tensioactivi (surfactanți) proveniți din detergenții de vase reprezintă o abordare inovatoare în producția de ipsos poros. Acești surfactanți, de regulă compuși anionici precum lauril sulfatul de sodiu, funcționează ca agenți porogeni prin stabilizarea interfeței aer-apă în pasta de ipsos [12]. Efectul principal constă în formarea unei spume stabile care, odată integrată în matricea de sulfat de calciu semihidrat, generează o rețea de pori sferici după uscare.

Implementarea detergentului de vase ca aditiv porogen influențează nu doar densitatea, ci și cinetica de hidratare a ipsosului. Moleculele de surfactant se adsorb pe cristalele de dihidrat în formare, putând modifica morfologia acestora și, implicit, rezistența finală a compozitului [10]. Deși nu este un agent industrial dedicat, detergentul oferă avantajul unei dispersii rapide și a unui cost de producție extrem de scăzut, făcând posibilă obținerea unor materiale izolatoare performante prin metode simplificate, pretabile pentru optimizări locale în industria materialelor ușoare.



2. Materiale și metode

S-au utilizat lianți clasici (din comerț): ipsos pentru construcții Construct Gips-Rigips Saint Gobain și ciment tip CEM II 42,5R Holcim.

Fibrele utilizate sunt fibre sintetice de polipropilenă modificată, de la ISOMAT, de culoare albă, diametru de 32 μm , lungimea de 12 mm și o densitate de $0,91 \text{ g/cm}^3$. Sunt utilizate cu scopul de a reduce formarea fisurilor de contracție cât și pentru creșterea rezistențelor mecanice.

Tehnologia de confecționare a probelor:

1. realizare spumă: într-un vas se amestecă agentul tensioactiv împreună cu apa, folosind un mixer electric de șantier;
2. se introduce ipsosul/cimentul și fibrele; amestecul se omogenizează prin amestecare;
3. se toarnă amestecul în tipare metalice și se compactează ușor prin ridicarea tiparului și lăsarea lui să cadă de 5 ori de la cca 10 mm, apucând pe rând de fiecare extremitate;
4. după 1-3 zile, probele se decofrează.

După decofrare, probele s-au păstrat în aer, în condiții de laborator (temperatură de $20\text{--}21^\circ\text{C}$ și umiditate în jur de 55%).

Rezistențele mecanice ale probelor (pe bază de ipsos) s-au stabilit pe epruvete prismatice cu dimensiunile de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$. Rezistența la întindere prin încovoiere s-a determinat prin încercarea epruvetelor prismatice la încovoiere, utilizând presa hidraulică, care a asigurat o creștere a forței în mod constant cu $(50 \pm 5) \text{ N/s}$. Rezistența la compresiune s-a stabilit prin încercarea jumătăților de prismă rezultate din încercarea la încovoiere, utilizând presa hidraulică care permite creșterea uniformă a forței de compresiune cu $(2400 \pm 800) \text{ N/s}$. Timpul de rupere al unei epruvete a fost cuprins între 20 s și 40 s.

Pentru determinarea conductivității termice s-a folosit un aparat Thermtest TLS-100 portabil (cel din imaginea de mai jos).



Au fost realizate 4 seturi de probe:

- **Setul 1:** spumă (variabilă) + apa + ipsos + fibre: Probele 1, 2 și 3;
- **Setul 2:** spumă + apa + ipsos + fibre (variabile): Probele 6 și 7;
- **Setul 3:** spumă (variabilă) + apă + ipsos + ciment + fibre: Probele 9 și 10.
- **Setul 4:** spumă + apă + ipsos + ciment (variabil) + fibre (variabile): Probele 8 și 11.

Cantitatea de ciment utilizată a fost de 5% și 10% din cantitatea de ipsos.

3. Rezultate și discuții

Primul set de probe (2 și 3) conține ipsos, alături de fibra de armare și cantități diferite de spumă. Compoziția celor două probe este prezentată în tabelul 1.

Tabel 1. Compoziția probelor 1, 2 și 3

Proba	Materiale componente, [g]				
	Ipsos	Ciment	Apa	Fibra	Spuma
1	720	-	432	4.8	15
2	720	-	432	4.8	30
3	720	-	432	4.8	70

Deoarece Proba 1 nu s-a întărit suficient, nu au fost realizate teste mecanice pe aceasta.

Ilustrarea grafică a evoluției rezistențelor mecanice cu compoziția maselor la cele trei termene de maturizare (2 zile, 7 zile, 28 de zile) este prezentată în figura 1.

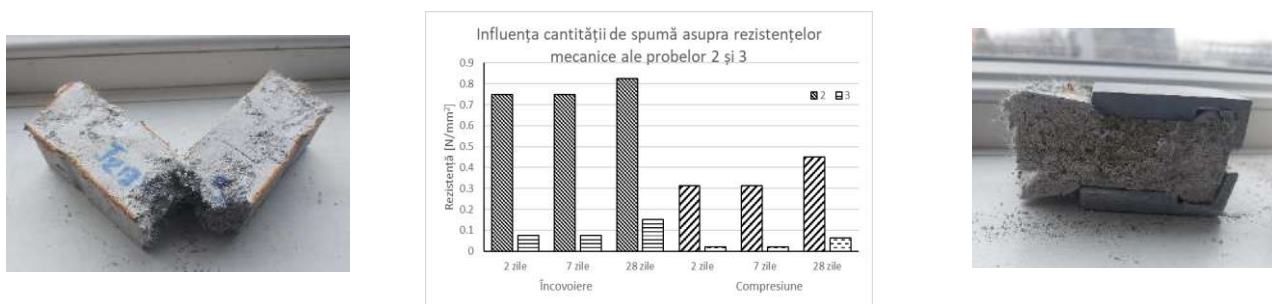


Figura 1. Rezistențele la încovoiere și compresiune pentru probele 2 și 3.

Efectul adaosului de spumă, reflectat de densitatea celor două materiale asupra proprietăților termoizolante, este prezentat în figura 2.

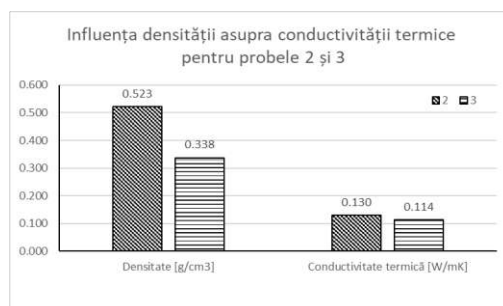


Figura 2. Densitatea și conductivitatea termică a probelor 2 și 3

Scăderea cantității de spumă folosită în procesul de obținere a celor două probe se reflectă într-o îmbunătățire a rezistențelor mecanice și o densificare a matricei. Această creștere a densității se face prin reducerea porozității matricei, fapt confirmat și de creșterea valorii conductivității termice, deoarece scăderea cantității de aer imobilizat în structura materialului facilitează transferul de căldură prin faza solidă.

Al doilea set de probe (6 și 7) a fost realizat folosind ipsos, spumă și cantități diferite de fibră de armare. Compoziția celor două probe este prezentată în tabelul 2.

Tabel 2. Compoziția probelor 6 și 7

Proba	Materiale componente, [g]				
	Ipsos	Ciment	Apa	Fibra	Spuma
6	720	-	432	2.4	15
7	720	-	432	1.2	15

Variația rezistențelor mecanice cu cantitatea de fibră de armare la cele 2, 7 și 28 de zile este prezentată în figura 3.

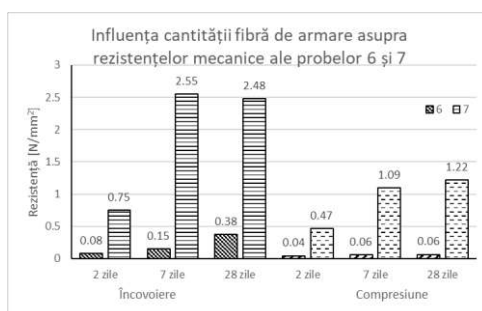


Figura 3. Rezistențele la încovoiere și compresiune pentru probele 6 și 7

Efectul cantității de fibră de armare asupra proprietăților termoizolante, este prezentat în figura 4.

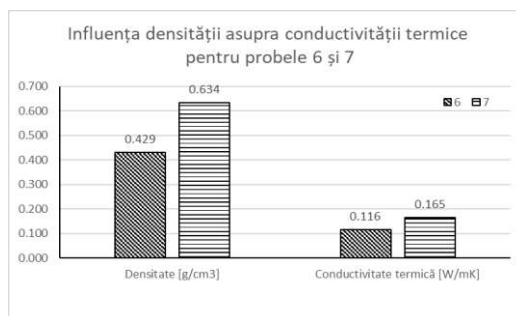


Figura 4. Densitatea și conductivitatea termică a probelor 6 și 7

Așa cum era de așteptat, creșterea cantității de fibră are un efect favorabil asupra proprietăților mecanice. Armarea superioară a probei 7 duce la o densificare structurală și o creștere a conductivității termice a probei 6 comparativ cu proba 7, care este superioară din punct de vedere al proprietăților termoizolante.

Pentru obținerea celui de-al treilea set de probe (9 și 10) s-au folosit ipsos și ciment, fibre de armare și cantități diferite de spumă. Compoziția celor două probe este prezentată în tabelul 3.

Tabel 3. Compoziția probelor 9 și 10

Proba	Materiale componente, [g]				
	Ipsos	Ciment	Apa	Fibra	Spuma
9	720	36	432	2.4	30
10	720	36	432	2.4	15

Ilustrarea grafică a evoluției rezistențelor cu compoziția maselor este prezentată în figura 5.

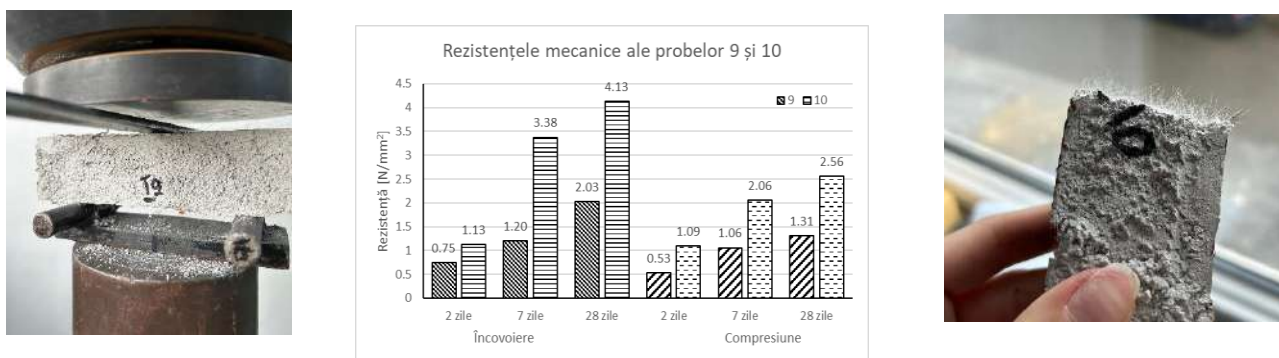


Figura 5. Rezistențele la încovoiere și compresiune pentru probele 9 și 10

Efectul adaosului de spumă asupra densității și, respectiv, conductivității termice a celor două probe este prezentat în figura 6.

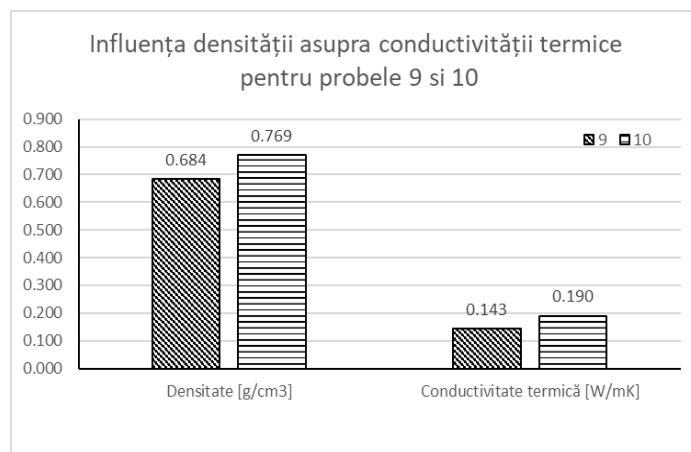


Figura 6. Densitatea și conductivitatea termică a probelor 9 și 10

Reducerea adaosului de spumă din compoziție la jumătate duce la o îmbunătățire a rezistențelor mecanice a probei 10 comparativ cu proba 9. Ca și în cazul anterior, acest efect este însoțit de densificarea materialului și scăderea capacității acestuia de izolare termică.

Ultimul set de probe (8 și 11) a fost obținut folosind ciment, ipsos, spumă și cantități diferite de fibră de armare. Compoziția celor două probe este prezentată în tabelul 4.

Tabel 4. Compoziția probelor 8 și 11

Proba	Materiale componente, [g]				
	Ipsos	Ciment	Apa	Fibra	Spuma
8	720	72	432	2.4	30
11	720	36	432	1.2	30

Influența adaosului de fibre asupra rezistențelor este ilustrată în figura 7.

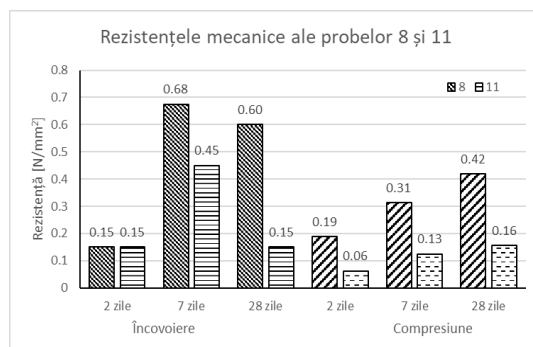


Figura 7. Rezistențele la încovoiere și compresiune pentru probele 8 și 11

Efectul adaosului de fibră asupra densității și, respectiv, conductivității termice a celor două probe este prezentat în figura 8.

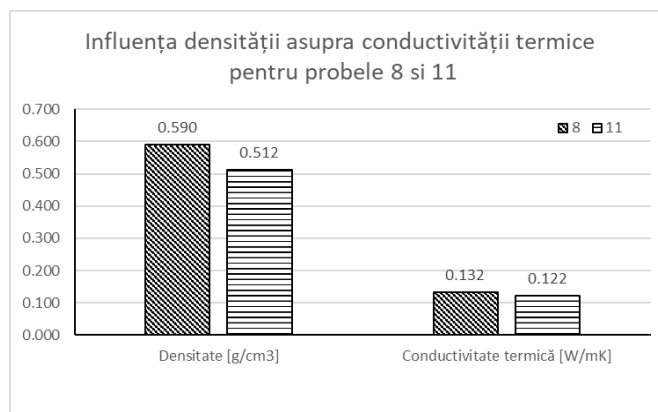


Figura 8. Densitatea și conductivitatea termică a probelor 8 și 11

Dublarea cantității de fibră în proba 8, comparativ cu proba 11, îmbunătățește semnificativ rezistențele mecanice la toate cele trei termene considerate. Armarea superioară are ca efect densificarea proprietăților termoizolante.

Comparând proba 10 cu proba 11 (probe cu ipsos și ciment) unde cantitatea de fibre a scăzut la jumătate, iar spuma s-a dublat, putem observa o scădere a rezistenței la întindere cu 33,3% și o scădere a rezistenței la compresiune cu 28,5%.

Comparând proba 8 cu proba 9 (unde cantitatea de ciment s-a dublat), observăm că rezistența la întindere din încovoiere a crescut foarte mult (de 26 ori), iar rezistența la compresiune a crescut de 2 ori.

Pentru a stabili dacă probele obținute se califică ca materiale termoizolante care pot fi utilizate practic în construcții, s-a realizat o comparație între proprietățile măsurate pe acestea și cele menționate în literatură pentru câteva materiale termoizolante uzuale: polistiren, BCA și cărămidă. Rezultatele obținute sunt sumarizate în figurile 9-10.

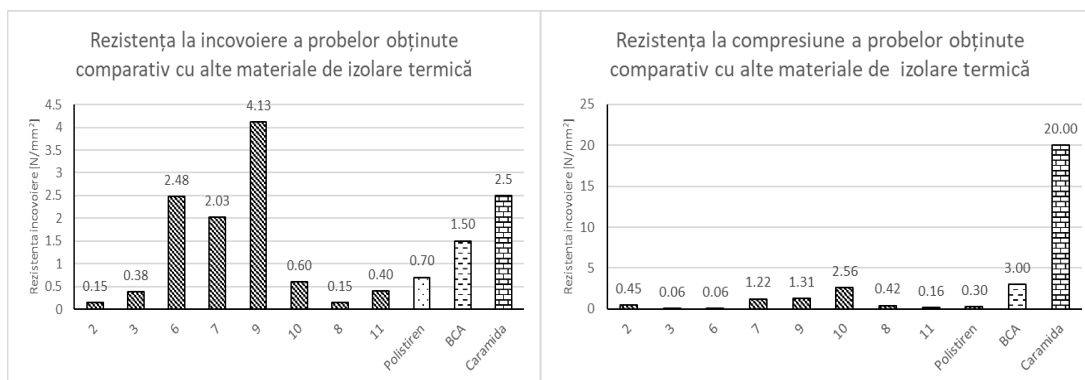


Figura 9. Rezistențele la încovoiere și compresiune pentru probele realizate în raport cu alte materiale de construcție

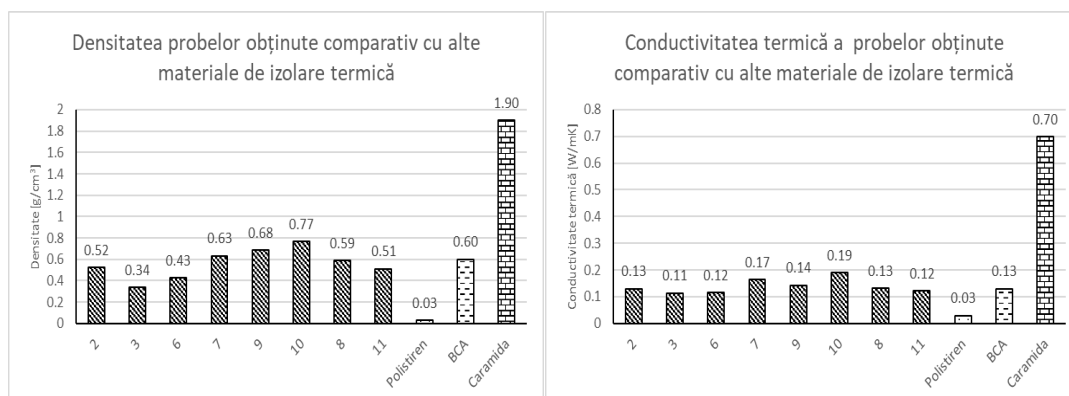


Figura 10. Densitatea și conductivitatea termică a probelor realizate în raport cu alte materiale de construcție

În comparație cu polistirenul, toate probele sunt inferioare din punct de vedere al capacității termoizolante, însă, cu excepția probelor 6 și 11, sunt superioare ca rezistență mecanică. Toate probele, însă, prin structura lor anorganică, sunt ignifuge, ceea ce reprezintă un avantaj major față de polistiren.

Probele 2, 3, 6, 7, 8, 10 și 11 prezintă proprietăți termoizolante superioare BCA-ului, rezistențe la încovoiere comparabile (probele 2 și 8), dar rezistența la compresiune inferioară acestuia. Proba 10 este superioară ca rezistență față de BCA în condițiile unei conductivități termice cu doar 0,06 W/m·K mai mare.

Față de cărămidă, probele 9 și 10 au o rezistență la încovoiere superioară și o conductivitate termică mult mai mică, fiind însă inferioare ca rezistență la compresiune. Restul



probelor sintetizate, deși au proprietăți termoizolante superioare, sunt surclasate ca rezistențe de către cărămidă.

Astfel, putem observa că:

- utilizarea de spumă (agent tensioactiv din detergent de vase și apă) ne conduce la obținerea unor noi materiale ușoare (cu o densitate aparentă cuprinsă între 350 kg/m³ și 750 kg/m³) cu bune proprietăți termice;
- prin adăugarea de ciment la confecționarea probelor, rezistențele mecanice au crescut semnificativ;
- prin înjumătățirea (reducerea) cantității de spumă la probele doar cu ipsos, rezistența la întindere a avut valori mari, depășind 2 N/mm².

4. Concluzii

Au fost realizate materiale poroase ușoare folosind ca agent de spumare detergentul de vase alături de ipsos, ciment și fibre polimerice de armare.

Cea mai mare parte dintre materialele obținute pot fi încadrate în categoria materialelor termoizolante ($K = 0.12\text{--}0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) cu valori asemănătoare BCA-ului, dar inferioare polistirenului.

Din punct de vedere al rezistenței la compresiune, proba 10, cu o densitate de 769 kg/m³, a atins o rezistență de 2,56 MPa, comparabilă cu alte materiale ușoare care, la o densitate de 800 kg/m³, au prezentat o rezistență la compresiune de aproximativ 3,0 MPa [13].

Proba 3, cu o densitate de 337 kg/m³, are o conductivitate de 0,114 W/mK, superioară betoanelor ultra-ușoare (densități de 300 kg/m³), care ating o conductivitate termică de circa 0,12 W/mK [14], fapt ce demonstrează că utilizarea detergentului de vase a generat o structură alveolară foarte eficientă în blocarea transferului termic.

Ca domenii de utilizare, probele 3, 6 și 11 pot fi recomandate ca masă de șpaclu sau umplutură ușoară pentru planșee și pereți de compartimentare pe structură de lemn/metal. Probele 7, 9 și 10 pot fi utilizate atât ca plăci termoizolante, cât și pentru blocuri de zidărie pentru pereți despărțitori (la clădiri cu importanță redusă) care necesită și izolare fonică/termică.

BIBLIOGRAFIE

1. Rashad A.M., Phosphogypsum as a construction material, *Journal of Cleaner Production*, 166, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.049>
2. Doleželová M., Scheinherrová L., Krejsová J., Keppert M., Černý R., Vimmrová A., Investigation of gypsum composites with different lightweight fillers, *Construction and Building Materials*, 297, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123791>
3. Gencel O., Hekimoglu G., Sari A., Ustaoglu A., Subasi S., Marasli M., Erdogmus E., Memon S.A., Glass fiber reinforced gypsum composites with microencapsulated PCM as novel building thermal energy storage material, *Construction and Building Materials*, 340, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127788>
4. Bumanis G., Vitola L., Pundiene I., Sinka M., Bajare D., Gypsum, Geopolymers, and Starch—Alternative Binders for Bio-Based Building Materials: A Review and Life-Cycle Assessment. *Sustainability*, 12, 2020, <https://doi.org/10.3390/su12145666>



5. Tapdiqov S, Malikov E, Humbatova S., The physical-mechanical behavior and chemical bonding nature of poly-N-vinylpyrrolidone modified cement concrete, *Heliyon*, 10, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26039
6. Schackow A., Effting C., Folgueras M.V., Güths S., Mendes G.A., Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent, *Construction and Building Materials*, 57, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.009>
7. Li L, Wang W, Wang Y, Li D, Zhuang M-L, Experimental study on pore structure characteristics and thermal conductivity of fibers reinforced foamed concrete. *PLoS ONE* 18(7): e0287690, 2023, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287690>
8. Liu J., Xie H., Wang C., Li B, Evaluation of pore structure, mechanical properties, and sound absorption of composite foamed gypsum, *Construction and Building Materials*, 472, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140852>
9. Samson, G., Phelipot-Mardelé, A., Lanos, C., Thermal and mechanical properties of gypsum–cement foam concrete: effects of surfactant. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21(12), 2017, <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1177601>
10. Chen S., Fu J., He X., Su Y., Xiong G., Liu Q., Huang Z., Jiang Y., Microemulsion synthesis of anhydrous calcium sulfate nanowhiskers with calcium acetate solution and its surface structure stable and crystal phase evolution after modification. *Journal of Nanoparticle Research*, 22, 2020, <https://doi.org/10.1007/s11051-020-04934-3>
11. Capasso I., Pappalardo L., Romano R.A., Iucolano F., Foamed gypsum for multipurpose applications in building, *Construction and Building Materials*, 307, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124948>
12. Dima C., Badanoiu A., Cirstea, S., Nicoara A.I., Stoleriu S., Lightweight gypsum materials with potential use for thermal insulations, *Materials*, 13, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13235454>
13. Koutsouradi A., Halding P.S., Hansen K.K., Experimental Investigations of the Properties of Foam Concrete for Utilisation as Crushed Lightweight Aggregates in Building Slabs. *Applied Science*, 15, 2025. <https://doi.org/10.3390/app15179771>
14. Roobankumar R., Senthil P.M., Physical and mechanical properties of lightweight concrete with the incorporation of waste disposal polyurethane foam as coarse aggregate, *Global NEST Journal*, 26, 2024.



SECȚIUNEA 2

Ingineria Instalațiilor



ANALIZA COMPARATIVĂ PRIVIND CARACTERISTICILE CONDUCTELOR DIN MATERIALE POLIMERICE

Autori

Sabina-Elena ANCHIDIN¹, Maria-Andreea OLTEAN²,
Robert-Ciprian ANDREȘI³

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

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

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail:andresirobert@gmail.com.

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
email:dana.adriana.varvara@insta.utcluj.ro.

REZUMAT: Scopul lucrării îl constituie realizarea unei analize comparative privind caracteristicile conductelor din materiale polimerice. Categoriile de materiale plastice luate în considerare în această analiză sunt polietilena (PE) și polipropilena (PP). Obiectivul principal este de a demonstra eficiența utilizării polimerilor în infrastructura modernă de transport al fluidelor. Analiza se concentrează pe evaluarea unor parametri critici: rezistența la coroziunea chimică și electrochimică, durabilitatea în timp și eficiența hidraulică determinată de rugozitatea redusă a pereților interiori. De asemenea, lucrarea examinează proprietățile mecanice specifice, precum flexibilitatea, rezistența la impact și capacitatea de absorbție a șocurilor de presiune. Prin această abordare comparativă, lucrarea urmărește să ofere un suport decizional în alegerea materialului optim în funcție de condițiile de exploatare: temperatură, presiune și agresivitatea mediului. În final, studiul subliniază impactul economic și ecologic pozitiv, derivat din costurile reduse de instalare, mentenanță minimă și posibilitatea de reciclare a materialelor polimerice, confirmând rolul lor esențial în dezvoltarea unor rețele de utilități sustenabile.

Cuvinte cheie: conducte, materiale polimerice, polietilena, polipropilena.

1. Introducere

Materialele polimerice sunt substanțe alcătuite din macromolecule, formate prin legarea covalentă repetată a unui număr mare de unități structurale de bază, numite monomeri. Procesul chimic prin care acești monomeri se unesc pentru a forma lanțul polimeric poartă numele de polimerizare [1]. În diversele sectoare industriale, materialele tradiționale, în special materialele metalice, au fost progresiv înlocuite cu materiale noi, precum cele polimerice sau compozite, motivul fiind atât performanțele tehnice ridicate ale acestor materiale, precum și raportul preț calitate, dar și greutatea specifică net inferioară.



Această tranziție începută acum câteva decenii se menține și în prezent, având ca obiective îmbunătățirea proprietăților și a caracteristicilor materialelor, precum și optimizarea resurselor [1], [2].

Materialele polimerice și compozite în contextul industrial contemporan au devenit prezențe semnificative, jucând un rol esențial într-o varietate de sectoare industriale. Aceste materiale versatile au fost adoptate în industrie datorită unor proprietăți distincte precum ușurința în prelucrare, rezistența la coroziune și adaptabilitatea la diverse cerințe tehnologice. Principalele industrii în care sunt utilizate materialele polimerice sunt [1]:

- În instalațiile construcțiilor civile și industriale, materialele polimerice și compozite sunt prezente în construcții sub diverse forme, de la izolații termice și fonice la structuri de rezistență. Aceste materiale aduc beneficii precum rezistența foarte bună la coroziune și durabilitate în timp.
 - ✓ **Țevi și Instalații Sanitare:** PVC-ul (policlorura de vinil) este utilizat pe scară largă pentru țevi de apă, sisteme de canalizare și instalații sanitare. Polietilena (PE) este, de asemenea, utilizată pentru conducte.
 - ✓ **Instalații de Încălzire și Alimentare cu Apă:** Polimerii sunt folosiți pentru țevi flexibile (ex: PEX - polietilenă reticulată) în sistemele de încălzire în pardoseală și distribuția apei potabile.
 - ✓ **Izolații și Etanșare:** Materialele polimerice sunt esențiale pentru izolarea termică și fonică, precum și pentru etanșarea rosturilor.
 - ✓ **Elemente Structurale și de Finisaj:** Polimerii se regăsesc în structuri compozite, ferestre, uși și materiale de acoperire [14].
- În industria auto, materialele polimerice și compozite sunt folosite în special pentru a reduce greutatea vehiculelor, ceea ce conduce la o eficiență sporită a noilor autovehicule precum și la reducerea consumului de combustibil. Astfel, componente precum caroseriile ușoare, panourile interioare și diverse elemente de design beneficiază de proprietățile acestor materiale polimerice / compozite;
- În industria aeronautică și aerospațială, materialele compozite sunt esențiale pentru construcția structurilor aeronavelor și sondelor spațiale. Acestea oferă o combinație ideală între rezistență ridicată și greutate redusă, contribuind la performanțe îmbunătățite și economisire de combustibil. În industria de echipamente electrice și electronice: carcusele diverselor dispozitive electronice, precum și componente interne ale acestora, beneficiază, de asemenea, de utilizarea materialelor polimerice datorită izolației electrice și conductivității termice controlate;
- În industria medicală, materialele polimerice sunt larg utilizate în producția de dispozitive medicale (orteze și proteze) și ambalaje farmaceutice datorită caracteristicilor lor de igienă, sterilizare și ușurință în modelare. Materialele compozite pot fi, de asemenea, întâlnite în dezvoltarea unor implanturi medicale avansate;

- În industria echipamentelor sportive: plăci de surf, biciclete, schiuri, plăci de snowboard sau skateboard, dar și rachete de tenis [1].

Un aspect esențial care diferențiază polimerii de alte materiale este masa lor moleculară ridicată, care dictează proprietățile fizico-chimice specifice, cum ar fi flexibilitatea, rezistența mecanică sau comportamentul la variații de temperatură.

2. Caracteristicile conductelor din materiale polimerice:

În Figura 1 sunt prezentate principalele caracteristici ale conductelor din materiale polimerice.

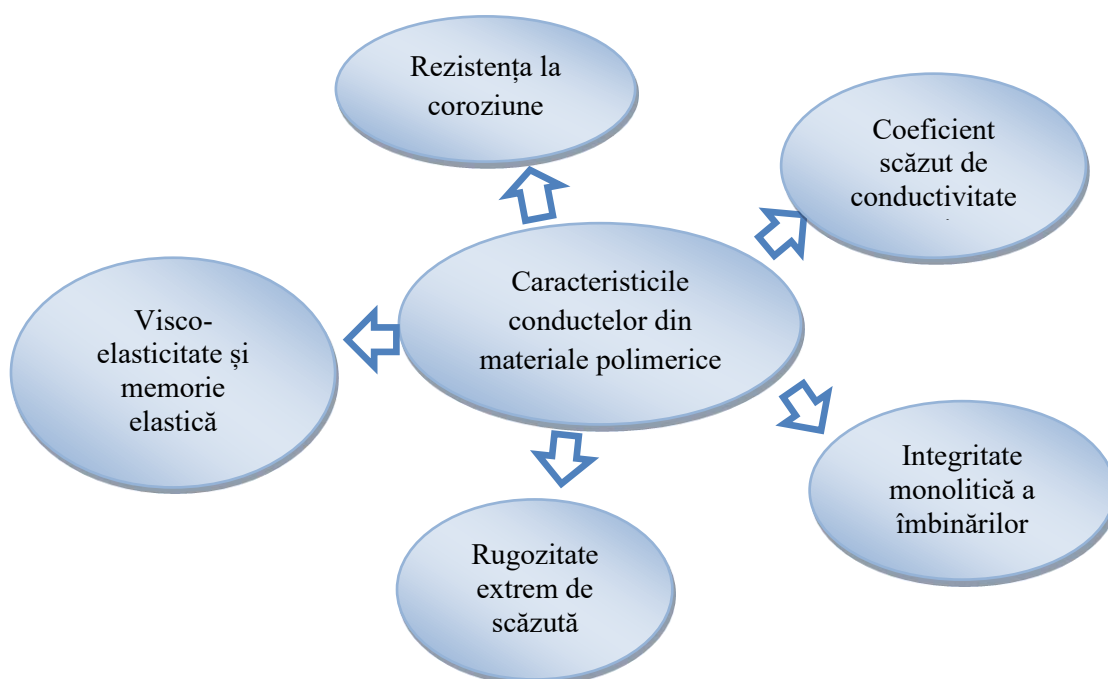


Figura 1. Caracteristicile conductelor din materiale polimerice. [10]

▲ Rezistența la coroziune:

Polipropilena și polietilena nu au electroni liberi care să permită reacții de oxidare spre deosebire de metale. Datorită acestora nu apare fenomenul de coroziune electrochimică. De asemenea, conductele polimerice au o rezistență deosebită la pH, iar acest lucru le face ideale pentru canalizări industriale unde pot apărea resturi de detergenți sau acizi.

▲ Rugozitate extrem de scăzută:

Pereții interiori ai țevelor din polipropilenă și polietilenă sunt extrem de netezi, iar datorită acestora depunerile de calcar sau magneziu nu pot “adera” la pereții de plastic. Diametrul interior al țevei rămâne neschimbat timp de 50 de ani, iar pompele consumă mai puțină energie pentru a menține debitul.



▲ Integritate monolitică a îmbinărilor:

Polimerii se îmbină prin fuziune termică, spre deosebire de sistemele cu filet sau garnitură. La nivel molecular, materialul țevii se amestecă cu cel al fittingului, devenind o singură unitate după răcire. În cele din urmă, riscul de scurgere la îmbinări este eliminat complet, aceasta fiind mai puternică decât țeava însăși în testele de presiune.

▲ Visco-elasticitate și memorie elastică:

Polimerii combină proprietățile unui lichid vâscos cu cele ale unui solid elastic permițând conductelor să absoarbă șocurile mecanice. În cazul înghețului, țeava se dilată odată cu gheața în loc să crape instantaneu. Toate acestea duc la o rezistență superioară la cutremure, tasări de teren sau variații bruște de presiune în rețea.

▲ Coeficient scăzut de conductivitate termică:

Plasticul este un izolator natural mai bun decât metalul. Conductivitatea termică a polimerilor este mult mai mică decât a oțelului. Într-o rețea de apă caldă, acest lucru înseamnă pierderi de căldură mult mai mici spre exterior. De asemenea, la transportul apei reci, se reduce semnificativ fenomenul de condens pe suprafața exterioară a țevii.

Clasificarea materialelor polimerice:

❖ După comportamentul termomecanic:

- Termoplastice - se înmoaie la încălzire și se întăresc la răcire [3]:
 - Polietilenă (PE);
 - Polipropilenă (PP);
 - Policlorură de vinil (PVC);
 - Polistiren (PS).
- Termorigide – odată ce au fost deformate, structura lor devine permanentă [3]:
 - Rășinile epoxidice;
 - Poliuretanii (PU);
 - Bachelita (Fenoplaste).
- Elastomeri – pot suferi deformări mari sub sarcină și revin instantaneu la forma inițială după ce forța încetează [3]:
 - Cauciucul natural;
 - Cauciucul nitrilic (NBR);
 - Neoprenul.



- ❖ După proveniență:
 - Polimeri naturali[3]:
 - Celuloza;
 - Amidonul.
 - Polimeri artificiali[3]:
 - Celofanul.
 - Polimeri sintetici[3]:
 - Nailon;
 - Teflon;
 - Kevlar.

Conducte din materiale polimerice

Atât polietilena (PE), cât și polipropilena (PP) fac parte din grupa poliolefinelor care reprezintă o clasă de produși sintetici obținuți prin polimerizarea unor hidrocarburi nesaturate simple. Având o structură nepolară, această caracteristică chimică le face extrem de rezistente la solvenți și substanțe chimice, astfel nu se poate distruge materialul. De asemenea, fiind termoplastice, pot fi topite și remodelate de mai multe ori fără o degradare severă a proprietăților, ceea ce le face mai prietenoase cu mediul decât materialele compozite [4].

✓ POLIETILENA (PE)

Polietilena se caracterizează în principal prin densitatea sa. Cu cât densitatea este mai mare, cu atât lanțurile moleculare sunt mai strânse, rezultând o țevă mai rezistentă. Aceasta este cel mai des utilizată în infrastructura subterană datorită raportului excelent între flexibilitate și rezistență [10].

În Figura 2 este reprezentată formula chimică a polietilenei $(C_2H_4)_n$. Din formula chimică „n” poate lua diferite valori, iar diferite materiale plastice se obțin prin amestecarea diferitelor tipuri de polietilenă cu valori „n” diferite [4], [5].

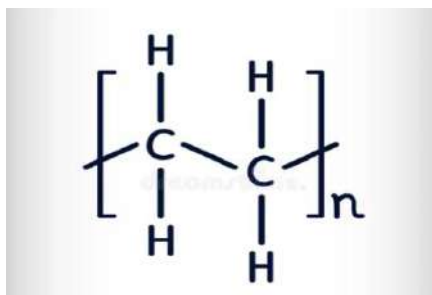


Figura 2. Formula chimică a polietilenei.

Tabelul 1. Tipuri de polietilenă.

PE-HD (Polietilenă de mare densitate)	Produsă prin extrudarea granulelor de polietilenă PE100, fiind utilizată în rețelele de apă și gaz sub presiune și are o densitate de 0,97 g/cm³ [9].
PE-X (Polietilenă reticulată/ XLPE)	Lanțurile de polimer sunt legate între ele tridimensional [6]. Aplicație: Încălzire în pardoseală și instalații sanitare interioare.
PE-LD (Polietilenă cu densitate mică)[6].	
PE-LLD (Polietilenă cu densitate liniară joasă)	Densitatea cuprinsă între 0,915-0,925 g/cm ³ [6].
PE-LMD (Polietilenă cu densitate medie)	Densitatea cuprinsă între 0,926-0,940 g/cm ³ [6].
PE-HD-HMW (Polietilenă de înaltă densitate)	Masa moleculară ridicată [6].

✓ POLIPROPILENA (PP)

Polipropilena este obținută prin polimerizarea propilenei. Deși seamănă cu polietilena, are o grupare de metil (CH₃) în structură, ceea ce îi schimbă proprietățile termice și mecanice. Conductele din polipropilenă au un rol extrem de important în transportul fluidelor sub presiune, având aplicații în următoarele domenii ale instalației: sanitare, pentru încălzire, pentru climatizare, pentru aer comprimat, pentru transportul fluidelor tehnologice, pentru stații de pompare [11]. În Figura 3 este reprezentată formula chimică a polipropilenei [5].

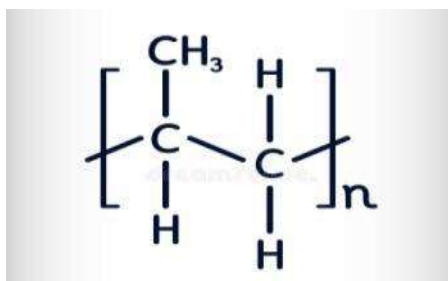


Figura 3. Formula chimică a polipropilenei.

- PP-C (copolimer): Oferă o rezistență superioară la impact chiar dacă este ușor mai moale, mai ales la temperaturi scăzute. În schimb, își pierde rigiditatea la temperaturi mai înalte, fiind predispusă la deformare [8].
- PP-H (homopolimer): Prezintă un raport optim rezistență/greutate, fiind mai rigidă și mai dură decât PP-C. Devine casantă la temperaturi scăzute, dar își menține forma la temperaturi ridicate [8].

3. Analiza comparativă privind caracteristicile conductelor din materiale polimerice

În Tabelul 2 analiza s-a concentrat pe rezistența fizică, rigiditate și modul în care materialele reacționează la forțele exterioare și la temperaturi scăzute. A fost analizat modulul de



elasticitate și memoria formei. Polipropilena (PP) este un material rigid, care își păstrează forma, în timp ce polietilena (PE) este ductilă și se mulează pe teren. A fost comparat comportamentul la tracțiune și șocuri. PP suportă mai bine sarcinile statice mari, pe când PE preia mai eficient șocurile mecanice. A fost evidențiată diferența de comportament la temperaturi negative: dacă PP devine casantă la frig extrem, PE rămâne tenace. În concluzie, polipropilena este “scheletul” rigid și stabil, recomandat pentru instalații fixe și susținute, pe când polietilena este “amortizorul” flexibil, capabil să suporte deformări și vibrații.

Tabelul 2. Rezistența fizică, rigiditate și modul în care materialele reacționează la forțele exterioare și la temperaturi scăzute.

Parametru mecanic	Polipropilenă(PP)	Polietilenă(PE)	Referințe
Modulul de elasticitate	Ridicat – materialul este unul rigid, nu se înconvoaie ușor.	Scăzut – materialul este unul ductil, se adaptează terenului.	[12], [13]
Memoria formei	Tendință mare de a reveni la forma dreaptă.	Permite deformări plastice fără a fisura.	[12], [13]
Rezistența la tracțiune	Superioară – suportă sarcini statice mai mari.	Moderată – este preferată pentru sarcini dinamice.	[12], [13]
Comportament la impact	Casantă la temperaturi scăzute.	Rămâne tenace și rezistentă chiar și la ger.	[12], [13]

În Tabelul 3 se prezintă analiza comparativă privind caracteristicile conductelor polimerice discutând despre forma fizică, comportamentul chimic și termic. Subiectele menționate în tabelul al doilea vizează trei direcții principale care definesc durata de viață a sistemului: duranța la căldură, bariera de protecție și compatibilitatea cu agenții externi. Au fost comparate pragurile de temperatură, evidențiind faptul că polipropilena își păstrează integritatea structurală la valori ridicate, în timp ce polietilena devine vulnerabilă și se poate înmuia dacă este expusă constant la apă fierbinte. A fost analizat modul în care structura moleculară (cristalină la PP vs. semipolimerizată la PE) influențează permeabilitatea. Aceasta explică de ce un material este mai bun pentru a ține oxigenul afară din sistem, prevenind coroziunea radiatoarelor metalice, în timp ce celălalt este mai inert în contact cu solul. În cele din urmă, în timp ce polipropilena este “specialistul” pentru temperaturi înalte și protecția circuitelor închise, polietilena este “supraviețuitorul” universal care rezistă cel mai bine la coroziunea chimică externă și la degradarea cauzată de mediul extern.

Tabelul 3. Rezistența și stabilitatea în medii agresive.

Parametru de stabilitate	Polipropilenă (PP)	Polietilenă (PE)
Limita termică superioară	Rezistă constant la temperaturi de 80-90° C.	Recomandată de regulă până la maxim 60° C.
Permeabilitatea la gaze	Este mai scăzută, bariera fiind mai bună împotriva oxigenului.	Este mai ridicată și poate necesita straturi de protecție.
Rezistența la oxidare	Sensibilă la contractul prelungit cu cuprul sau ioni metalici.	Imunitate ridicată la majoritatea agenților oxidanți din sol.
Structura moleculară	Predominant cristalină, oferind stabilitate termică.	Semipolimerizată, oferind inerție chimică sporită.



În Tabelul 4 se prezintă materialele plastice moderne care au devenit indispensabile în diverse domenii tehnologice, datorită caracteristicilor specifice. Polipropilena (PP) se remarcă printr-o rezistență ridicată la tracțiune și la oboseală, motiv pentru care este folosită cu succes în tehnologia balamalelor vii. De asemenea, are avantajul de a nu absorbi apa. Din punct de vedere chimic, ea rezistă bine la acizi și baze slabe, dar și la soluții de săruri anorganice, oferind o stabilitate chimică parțială la contactul cu alcooli, cetone, eteri, ester, uleiuri și grăsimi. Cu toate acestea, materialul are și limite: este instabil la acizi și baze concentrate, precum și la tetraclorură de carbon, iar expunerea la intemperii îi reduce stabilitatea. În schimb, polietilena (PE) oferă o rezistență la coroziune cu adevărat remarcabilă. Spre deosebire de polipropilenă, polietilena poate rezista la contactul pe termen lung cu acizi, baze și alcooli, fără a suferi vreo degradare. Totuși, aceasta devine vulnerabilă atunci când interacționează cu solvenți clorurați, cu acizi oxidanți puternici și cu hidrocarburi aromatice.

În concluzie, alegerea între polipropilenă și polietilenă depinde în mare măsură de mediul în care vor fi utilizate. În timp ce polipropilena este soluția ideală pentru aplicații care necesită o rezistență mecanică și o flexibilitate ridicată la oboseală, polietilena rămâne și varianta optimă pentru aplicații care necesită o rezistență chimică superioară în prezența substanțelor corozive [6], [7], [8].

Tabelul 4. Polipropilena și polietilena: două materiale, proprietăți diferite.

Polipropilenă (PP)	Polietilenă (PE)
▲ Este instabilă la: acizii concentrați, bazele concentrate, tetraclorura de carbon; ▲ Este rezistentă la acizii și bazele slabe și la soluțiile de săruri anorganice; ▲ Are stabilitate chimică parțială la alcooli, cetone, eteri, ester, uleiuri și grăsimi; ▲ Nu absoarbe apa; ▲ Este puțin stabilă la intemperii [7]; ▲ Rezistentă la oboseală, polipropilena este un material rezistent la cu o rezistență ridicată la tracțiune, ceea ce explică utilizarea sa proeminentă în tehnologia balamalelor vii [8].	▲ Rezistența la coroziune este o proprietate remarcabilă; ▲ Poate rezista la un contact pe termen lung cu acizi, baze și alcooli diluați și concentrați fără vreo degradare; ▲ Este mai puțin rezistent în prezența solvenților clorurați (tricloretilenă, tetraclorură de carbon), a acizilor oxidanți puternici (acid azotic concentrat) și a hidrocarburilor aromatice; ▲ Soluțiile de apă sărată, detergenții și toți solvenții organici, atâta timp cât au temperaturi sub 60°C, nu sunt dăunători pentru structura polimerică a polietilenei [6].



În Tabelul 5 am inclus caracteristicile logistice și de instalare: formă de livrare, îmbinări, rază de curbura și greutate, pentru a avea o imagine clară asupra modului în care se lucrează cu aceste materiale pe șantier. Polipropilena (PP) se livrează de obicei în bare rigide de aproximativ 4-6 metri și este foarte ușoară, ceea ce o face ideală pentru instalații suspendate și spații interioare unde este nevoie de o susținere fixă. Polietilena (PE), în schimb, poate fi livrată în colaci lungi de 100-200 metri, facilitând transportul și reducând îmbinările pe distanțe mari. Ambele materiale permit obținerea unor sisteme monolitice prin sudură. Totuși, polipropilena se îmbină adesea prin polifuziune necesitând piese suplimentare pentru fiecare unghi sau cot, în timp ce polietilena folosește sudura cap la cap sau electrofuziunea. Am comparat și flexibilitatea fizică în timpul montajului. Polietilena are o rază de curbura generoasă, permițând urmărirea traseelor curbe sau a conturului șanțului fără a folosi fittinguri, pe când polipropilena este mai rigidă și necesită coturi pentru fiecare modificare de direcție. Polipropilena este optimă pentru instalații interioare și complexe, unde traseele sunt scurte și necesită rigiditate, în timp ce polietilena este superioară pentru magistrale sau trasee lungi exterioare, datorită flexibilității și continuității pe care o oferă.

Tabelul 5. Analiza eficienței de implementare și a tehnologiei de îmbinare

Caracteristică tehnologică	Polipropilenă (PP)	Polietilenă (PE)
Forma de livrare	Bare rigide – lungimi de 4-6 metri.	Colaci de 100-200 metri sau bare lungi.
Tipologia sudurii	Polifuziune în mufă necesitând fittinguri la fiecare cot.	Sudură cap la cap fără piese intermediare necesare.
Raza de curbură	Este aproape inexistentă necesitând coturi la orice unghi.	Este destul de generoasă și poate fi montată în curbe largi fără piese.
Greutatea specifică	Cea mai mică dintre polimeri, ușurând astfel montajul suspendat.	Este puțin mai mare, dar nesemnificativă față de metal.

4. Concluzii

Potrivit analizei comparative privind caracteristicile conductelor din materiale polimerice (polipropilena și polietilena) se poate concluziona faptul că la alegerea materialelor pentru diferite tipuri de instalații se impune o bună cunoaștere a proprietăților acestora. Datorită rezistenței lor superioare la coroziune, a greutății reduse și a durabilității, polimerii oferă soluții tehnice moderne, adaptate noilor cerințe de eficiență energetică și economică. Polipropilena și polietilena au caracteristici distincte care le recomandă pentru aplicații specifice. Polipropilena se remarcă prin rigiditate ridicată și o memorie a formei superioară. Acest material cristalin oferă o stabilitate mecanică excelentă pe traseele suspendate sau în spații înguste, deoarece nu se îndoaie sub propria greutate și își menține unghiurile drepte. Totuși, la temperaturi scăzute, materialul devine casant, necesitând o manipulare atentă pe timp de iarnă. În schimb, polietilena este recunoscută pentru ductilitatea, flexibilitatea și rezistența sa la șocuri mecanice. Spre deosebire de polipropilenă, polietilena își menține tenacitatea la temperaturi negative și poate prelua deformațiile terenului fără a suferi fisuri. Această elasticitate permite realizarea de trasee curbe fără a utiliza fittinguri speciale.



BIBLIOGRAFIE

1. Petrașcu O.L., *Studii și cercetări privind influența diversilor factori de mediu asupra caracteristicilor mecanice și elastice ale materialelor polimerice*, 5-6, (2025);
2. Luchian (Lupu) A.M., *Adioprosesarea materialelor polimerice*, 1-5, (2023);
3. Roșca A., ***Masele plastice și materiale polimerice, (13 decembrie, 2015);***
4. Wikipedia, *Polietilenă*, (24 februarie 2026);
5. Dreamstime.ro, *Photos-images - polyethylene and polypropylene*, (2000-2026);
6. Iluțiu–Varvara D.A., *Materiale de instalații*, Editura U.T. PRESS, Cluj – Napoca, (2020);
7. Ud-machine.com, *What-is-polypropylene*, (24 martie, 2026);
8. Tuplex.ro, *PP (Polipropilenă)*, (2026);
9. Teraplast.ro, *Țevi PEHD pentru transport gaze naturale*, (1896 – 2026);
10. TRIBOI A., *Masele plastice*, (8 decembrie, 2015);
11. Einstal.ro, *POLIETILENA VS. POLIPROPILENA - CARACTERISTICI GENERALE SI INTREBUINTARI ALE CELOR DOUA*, (11 mai 2022);
12. Instalfocus.ro, *Polipropilena blockpolimer (PP-B): Un material de top destinat realizării rețelelor de canalizare*, (12 iunie 2020);
13. Axtrom.ro, *Polietilenă*, (2025).
14. WasteTrade.ro, *Clădire și construcții*, 2026



STUDIU PRIVIND DETERMINAREA SOLIDELOR DIZOLVATE TOTALE ȘI A CONDUCTIVITĂȚII ELECTRICE PENTRU DIFERITE EȘANTIOANE DE APĂ

Autori

Vlad-Marian FEȘNIC¹, Cătălin-Alexandru FĂGĂDAR², Abel-Remus DIACONU³

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

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

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: diaconuabel12@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.uchj.ro.

REZUMAT: *Lucrarea prezintă rezultatele obținute experimental privind determinarea solidelor dizolvate totale (TDS) și a conductivității electrice (CE), pentru diferite eșantioane de apă. Experimentările din lucrare vizează ape provenite din: din rețeaua de distribuție a apei potabile, comuna Mihai Viteazu, județul Cluj; ape provenite din fântâni, comuna Mihai Viteazu, județul Cluj; apă provenită din izvorul Șipotelor comuna Sălciua, județul Alba; apă provenită dintr-un izvor, comuna Poșaga, județul Alba. Totodată, Conductivitatea Electrică (CE) și Solidele Total Dizolvate (TDS) sunt parametri esențiali în evaluarea calității apei, prin faptul că oferă informații rapide despre gradul de mineralizare și poluare. Pe baza rezultatelor experimentale obținute în laboratorul de chimie, probele de apă se încadrează în limitele impuse de legislația în vigoare privind calitatea apei destinate consumului uman.*

Cuvinte cheie: ape, conductivitate electrică, solide dizolvate total, izvor, fântâni, rețea de distribuție.

1.Introducere

Apa are un rol fundamental atât în ceea ce privește existența vieții pe Pământ cât și în generarea și dezvoltarea activităților industriale. Aceasta reprezintă solventul utilizat cel mai frecvent. În apa naturală sunt dizolvate: gaze, săruri minerale, compuși organici în urma descompunerii aerobă/anaerobă. De asemenea, în funcție de domeniul de utilizare, apele, se clasifică în: ape potabile, ape industriale, ape uzate [1].

Conductivitatea electrică reprezintă măsura curentului condus de ioni prezenți în apă și depinde de: concentrația ionilor, natura ionilor, temperatura și vâscozitatea apei [2].

Conductivitatea electrică nu este o valoare statică; aceasta este influențată semnificativ de temperatura soluției, deoarece mobilitatea ionilor crește odată cu energia termică. O creștere a temperaturii cu 1°C determină, în medie, o creștere de 2% a conductivității. De asemenea, în apele naturale, conductivitatea electrică este un indicator excelent pentru identificarea rapidă a contaminării antropice (deversări industriale sau agricole), deoarece majoritatea poluanților anorganici sunt sub formă ionică. Conductivitatea apei crește odată cu conținutul acesteia în substanțe dizolvate. În mediile industriale, măsurătorile conductivității apei sunt în general



utilizate pentru a măsura concentrația de substanțe chimice ionizate în apă. Pentru evaluarea calității apei, măsurarea conductivității poate fi neselectivă în sensul că nu distinge concentrațiile individuale ale diferitelor substanțe chimice ionice amestecate în apă [3].

Conductivitatea electrică depinde de: [1]

- concentrația ionilor;
- natura ionilor;
- temperatura apei;
- vâscozitatea apei.

Conductivitatea electrică a apei este măsurată în laborator cu aparate de specialitate numite conductometre. Unitatea de măsură a conductivității electrice este Siemens pe metru (S/m), cât și submultiplii ai acestuia.

În Tabelul 1 sunt prezentate valori ale conductivității electrice pentru diferite tipuri de ape.

Tabelul 1. Valorile conductivității electrice admise [4].

Parametrul de calitate al apei	Valori optime ale conductivității electrice ale apei [$\mu\text{S/cm}$] la 20°C	Valoarea maximă admisă pentru conductivitatea electrică a apei [$\mu\text{S/cm}$] la 20°C
Conductivitatea electrică a apei	<1000	≤ 2500

În Tabelul 2 sunt prezentate caracteristicile apelor îmbuteliate în funcție de valoarea conductivității electrice.

Tabelul 2. Valorile conductivității electrice din diferite tipuri de ape.[5]

Nr crt.	Tipuri de ape	Valori ale conductivității electrice ale apei [$\mu\text{S/cm}$]	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

Solidele total dizolvate reprezintă totalitatea substanțelor organice sau anorganice, care rezultă în urma contactului apei cu substanțe din: sol, atmosferă, diferite procese industriale.

Următoarea listă detaliază solidele totale dizolvate comune care pot fi prezente în apa: calciu, fier, clorură, clor, magneziu, sodiu, potasiu, fluorură, zinc, bicarbonați, aluminiu, sulfati, cupru, pesticide, plumb, erbicide, arsenic.[6]

Nivelul solidelor total dizolvate (Total Dissolved Solids) influențează direct gustul apei, pragul de "acceptabilitate" fiind situat sub valoarea de 600 [mg/L]. Dincolo de aspectul senzorial, un conținut ridicat de solide total dizolvate (Total Dissolved Solids) de peste 1000 [mg/L] indică o apă puternic mineralizată care poate cauza depuneri de calcar în conducte și aparate electrocasnice, reducând durata de viață a instalațiilor de încălzire.[7]



Solidele total dizolvate sunt exprimate în miligrame pe litru (mg/L). De asemenea, ionii dintre care, cationii metalici: Na^+ , Ca^{2+} , K^+ etc; cât și anionii: F^- , SO_4^{2-} , NO_3^- etc, joacă un rol important pentru determinarea valorii solidelor total dizolvate (Total Dissolved Solids).

În Tabelul 3 sunt prezentate valorile cât și caracteristicile apelor în funcție de valoarea solidelor total dizolvate.

Tabelul 3. Tipuri de ape în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale (TDS) [1].

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 Tabelul 4 sunt prezentate caracteristicile apei în funcție de valoarea solidelor total dizolvate.

Tabelul 4. Tipuri de ape în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale (TDS) [1].

Nr.Crt	TDS [ppm] sau [mg/L]	Caracteristica apei
1.	30-60	gust bun
2.	60-200	gust potrivit
3.	200-250	gust acceptabil
4.	>250	gust inacceptabil

În Tabelul 5 sunt prezentate caracteristicile specifice apei în funcție de valoarea solidelor total dizolvate.

Tabelul 5. Tipuri de ape în funcție de conținutul solidelor dizolvate totale (TDS) [8].

Nr.Crt	TDS [ppm] sau [mg/L]	Caracteristica apei
1.	<500	apă proaspătă
2.	500-30000	apă sărată
3.	30000-40000	apă salină
4.	>40000	apă hipersalină

Relația dintre totalul solidelor dizolvate și conductanța specifică a apei subterane poate fi aproximată prin următoarea ecuație:

$$TDS = ke \times CE \quad (1)$$

Unde (TDS) reprezintă solidele total dizolvate, (ke) reprezintă factorul de corelație care variază între 0.55 și 0.8, iar (CE) reprezintă conductivitatea electrică [9].



2. Materiale și metode

Au fost prelevate un număr total de douăzeci și cinci de probe de apă între 14 martie-14 aprilie 2026. Probele de apă au fost supuse caracterizării cu ajutorul unui conductometru, model ORION 3 STAR, în ceea ce privește conductivitatea electrică (CE) cât și determinarea solidelor total dizolvate (TDS). Probele de apă provin din diverse eșantioane de apă, cum ar fi: din rețeaua de distribuție a comunei Mihai Viteazu, str. Gării nr.935, jud. Cluj; de la fântână extrasă cu pompa, comuna Mihai Viteazu, DN75, nr.1022, jud. Cluj; apă extrasă cu ajutorul hidroforului, comuna Mihai Viteazu, str. Moșilor, nr.1325; apă provenită de la izvorul Șipotelor, comuna Sălciua, DN75, jud. Alba; apă provenită de la un izvor, DN75, comuna Poșaga, jud. Alba.

În Tabelul 6 sunt locațiile specifice probelor de apă, numărul acestora și tipul de eșantion din care s-au prelevat probele de apă.

Tabelul 6. Numărul probelor, tipurile de eșantioane din care s-au prelevat probele de apă, și locațiile specifice probelor.

Nr.crt.	Nr. probelor	Tipurile de eșantioane de apă	Locațiile specifice
1.	6	apă din rețeaua de distribuție	Comuna Mihai Viteazu, str. Gării nr.935, Latitudine: 46.5383 Longitudine: 29.7433
2.	5	apă de la pompă	Comuna Mihai Viteazu, str. Moșilor nr.1325 Latitudine: 46.540808 Longitudine: 23.754087
3.	5	apă de la hidrofor provenita din fântână	Comuna Mihai Viteazu, DN75, nr.1022 Latitudine: 46.539881 Longitudine: 23.768142
4.	4	apă de la izvorul Șipotelor	Comuna Sălciua, DN75 Latitudine: 46.4066 Longitudine: 23.4605
5.	5	apă provenită dintr-un izvor	Comuna Poșaga, DN75 Latitudine : 46.4545 Longitudine : 23.4674

În Figura 1 este prezentat izvorul din comuna Sălciua, județul Alba.



Figura 1. Izvorul Șipotelor

În Figura 2 este prezentat izvorul din comuna Poșaga



Figura 2. Izvor din comuna Poșaga

În Figura 3 este prezentată locația pe hartă la proba de la rețeaua de distribuție. În Figura 4 este prezentată locația pe hartă la proba de la pompă. În Figura 5 este prezentată locația pe hartă la proba de la hidrofor.

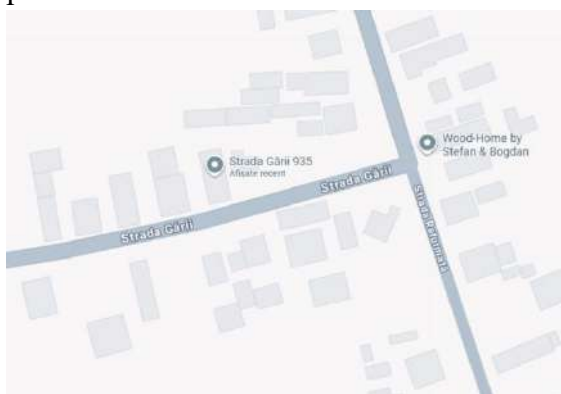


Figura 3. Locația probei de la rețea



Figura 4. Locația pompei de apă

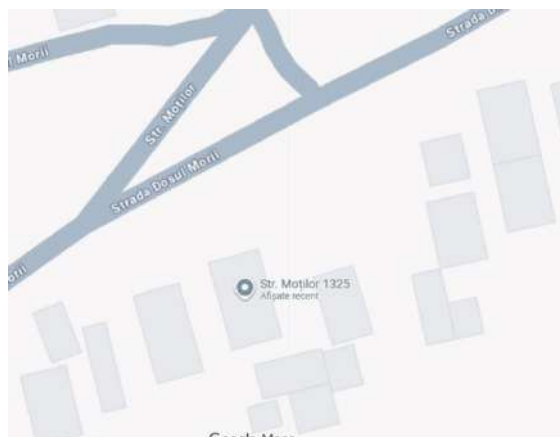


Figura 5. Locația hidroforului de apă

3. Rezultate și discuții

În urma analizei probelor de apă prelevate din eșantioanele expuse anterior, se observa o serie de rezultate diferite, atât din punct de vedere a tipului de eșantion cât și din punct de vedere a datei prelevării apei. Prin urmare, rezultatele probelor de apă vor fi afișate sub forma unor figuri tip Chart unde se regăsesc și valorile obținute.

În Figura 6 sunt reprezentate rezultatele obținute în laboratorul de chimie, în urma prelevării din rețeaua de distribuție a comunei Comuna Mihai Viteazu, str. Gării nr. 935.

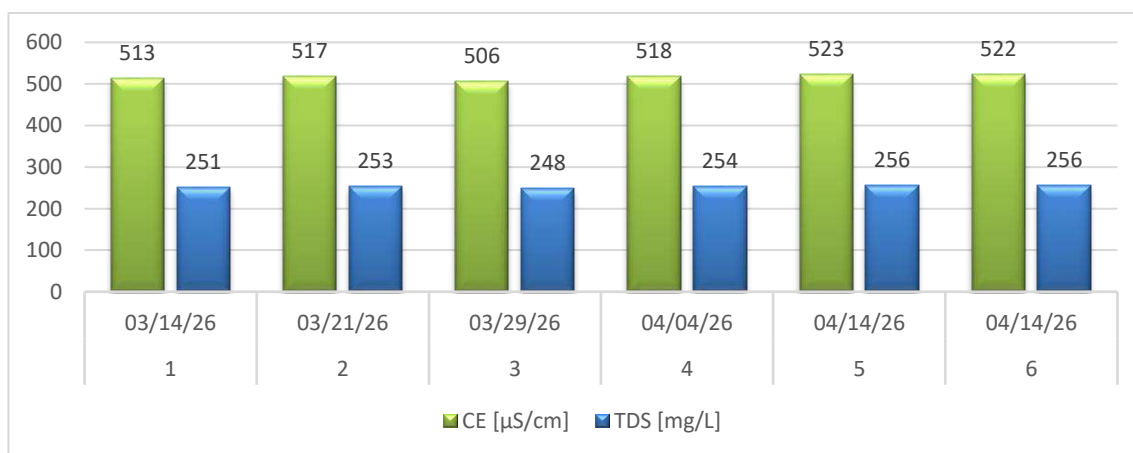
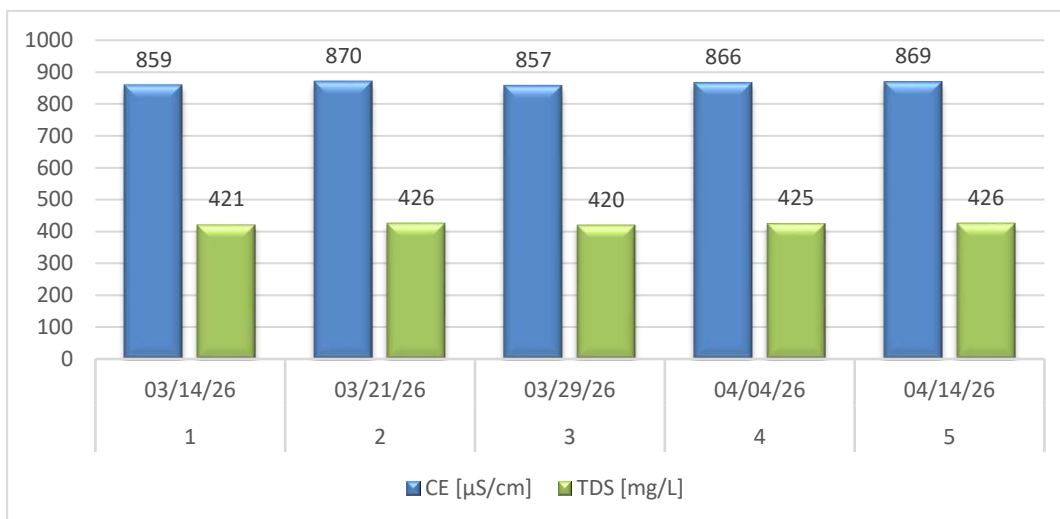


Figura 6. Rezultatele conductivității electrice și a solidelor total dizolvate din rețeaua de distribuție

Din Figura 6, în urma valorilor din punct de vedere al conductivității electrice, rezultatele sunt sub media maximă admisă de $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$, valoare expusă prin Ordonanța nr. 7/2023 și aprobată prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman, prin urmare valorile încadrează apa ca fiind o apă oligo-minerale medii. În urma valorilor din punct de vedere al solidelor total dizolvate, probele de apă intră în categoria apelor cu o mineralizare optimă, gust inacceptabil, proaspătă.

În Figura 7 sunt reprezentate rezultatele obținute în laboratorul de chimie, în urma prelevării apei din pompă a comunei Mihai Viteazu str. Moșilor nr. 1325.



Din Figura 7, în urma valorilor din punct de vedere al conductivității electrice, rezultatele sunt sub media maximă admisă de $2500 \mu\text{S/cm}$, valoare expusă prin Ordonanța nr. 7/2023 și aprobată prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman, prin urmare valorile încadrează apa ca fiind o apă oligo-minerale medii. În urma valorilor din punct de vedere al solidelor total dizolvate, probele de apă intră în categoria apelor cu o mineralizare acceptabilă, gust inacceptabil, proaspătă. În Figura 8 sunt reprezentate rezultatele obținute în laboratorul de chimie, în urma prelevării apei de la hidrofor, comuna Mihai Viteazu, DN75.

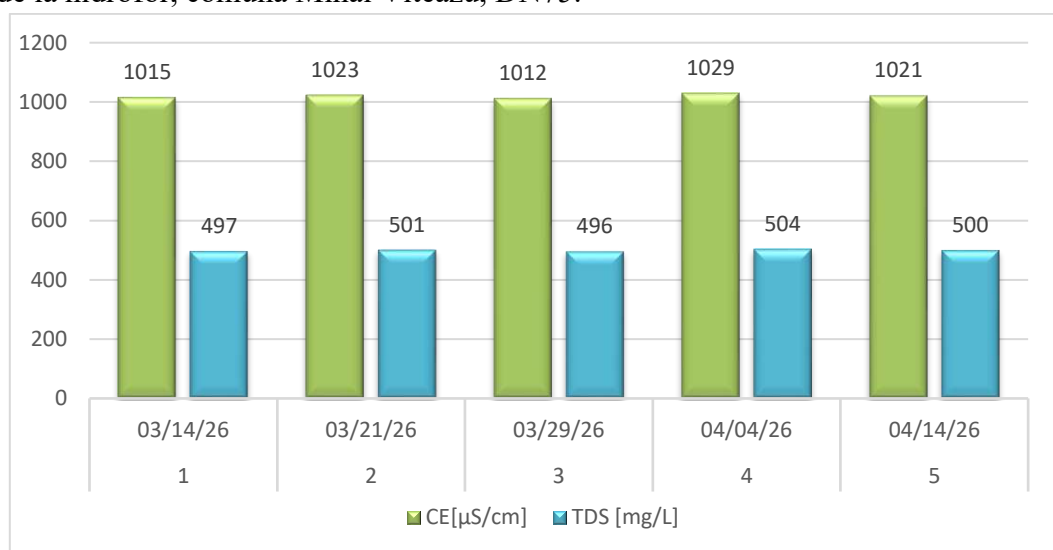


Figura 8. Rezultatele conductivității electrice și a solidelor total dizolvate de la hidrofor

Din Figura 8, în urma analizei valorilor din punct de vedere al conductivității electrice, se observă că rezultatele sunt sub media maximă admisă de $2500 \mu\text{S/cm}$, valoare expusă prin Ordonanța nr. 7/2023 și aprobată prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman, prin urmare valorile încadrează apa ca fiind o apă minerală. În urma analizei valorilor din punct de vedere al solidelor total dizolvate, probele de apă intră în categoria apelor cu o mineralizare acceptabilă, gust inacceptabil, ușor sărată.

În Figura 9 sunt reprezentate rezultatele obținute în laboratorul de chimie, în urma prelevării de



la izvorul Șipotelor comuna Sălciua DN75.

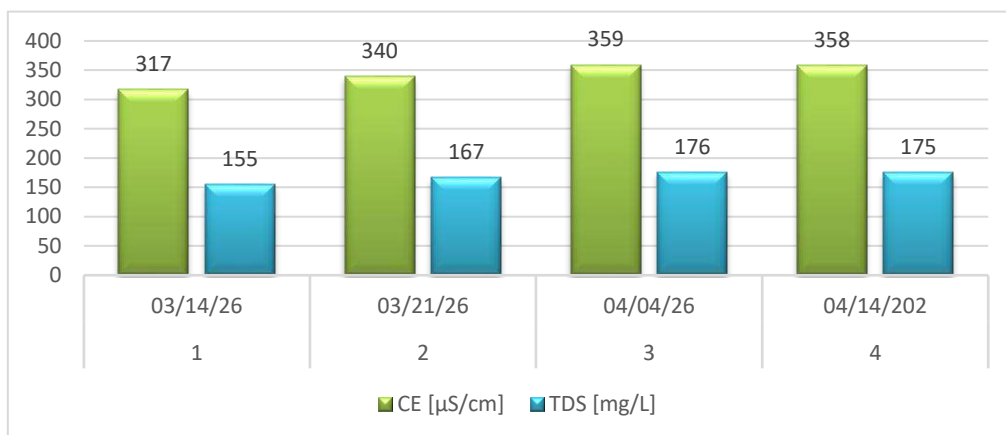


Figura 9. Rezultatele conductivității electrice și a solidelor total dizolvate de la izvorul Șipotelor

Din Figura 9, în urma valorilor din punct de vedere al conductivității electrice, rezultatele sunt sub media maximă admisă de $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$, valoare expusă prin Ordonanța nr. 7/2023 și aprobată prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman, prin urmare valorile încadrează apa ca fiind o apă oligo-minerală medie. În urma valorilor din punct de vedere al solidelor total dizolvate, probele de apă intră în categoria apelor cu o mineralizare optimă, gust potrivit, proaspătă.

În Figura 10 sunt reprezentate rezultatele obținute în laboratorul de chimie, în urma prelevării de la un izvor din comuna Poșaga, DN75.

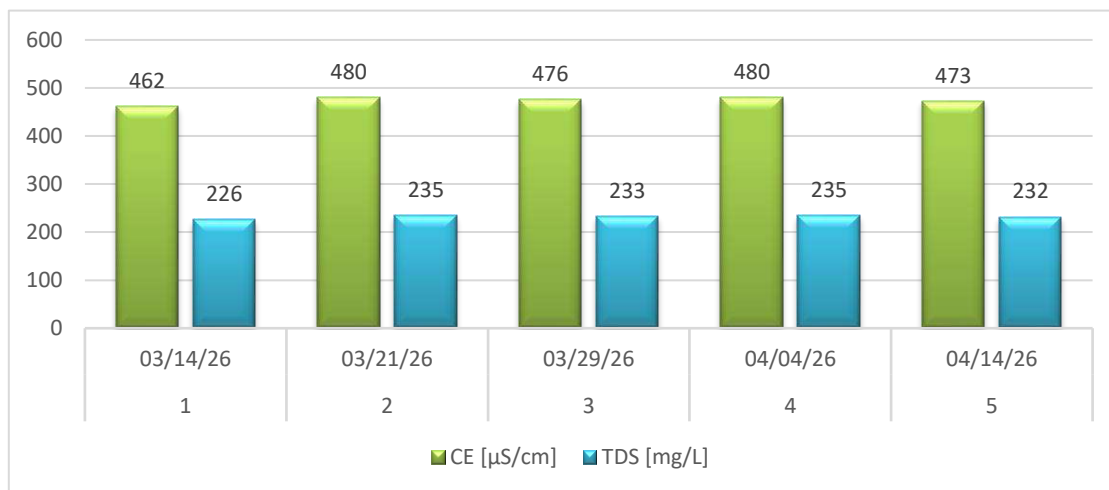


Figura 10. Rezultatele conductivității electrice și a solidelor total dizolvate de la un izvor din comuna Poșaga

Din Figura 10, în urma valorilor din punct de vedere al conductivității electrice, rezultatele sunt sub media maximă admisă de $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$, valoare expusă prin Ordonanța nr. 7/2023 și aprobată prin Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman, prin urmare valorile încadrează apa ca fiind o apă oligo-minerală medie. În urma valorilor din punct de vedere al solidelor total dizolvate, probele de apă intră în categoria apelor cu o mineralizare optimă, gust acceptabil.

Această lucrare și studiul «Cercetări privind determinarea conductivității electrice pentru diferite eșantioane de ape potabile» (realizat de Godici F.A. și Tarța A.A.) [11] au un punct de



plecare asemănător, dar cu obiective diferite. Ambele lucrări se bazează pe aceeași metodă de măsurare și analiză a eșantioanelor de apă. Însă, studiul menționat s-a oprit exclusiv la măsurarea conductivității electrice (CE) pe un lot de 15 probe, punând accentul în special pe apa din rețelele urbane de distribuție și pe apa plată din comerț. Lucrarea de față nu se limitează doar la conductivitatea electrică, ci include și determinarea solidelor dizolvate totale (TDS), oferind o perspectivă asupra mineralizării reale a apei. Lotul este mai amplu, cuprinzând un număr de 25 de probe, în loc să evalueze apa îmbuteliată, cercetarea s-a concentrat pe studiul a mai multor eșantioane de apă. Prin urmare, au fost prelevate probe direct din fântâni (de exemplu, din comuna Mihai Viteazu), rețeaua de distribuție a comunei Mihai Viteazu și de la izvoare naturale din jud. Alba.

4. Concluzii

În urma realizării acestui studiu privind conductivitatea electrică (CE) și a solidelor dizolvate totale (TDS) din diferite eșantioane de apă, se evidențiază importanța unei evaluări cuprinzătoare a surselor rurale și a parametrilor esențiali ce oferă informații rapide despre gradul de mineralizare și o potențială poluare. Cercetarea s-a bazat pe un lot de 25 de probe prelevate în perioada 14 martie – 14 aprilie 2026 și măsurate folosind un conductometru ORION 3 STAR. Analiza a acoperit mai multe surse specifice mediului rural, incluzând rețeaua publică de distribuție din Mihai Viteazu, fântâni locale și izvoare naturale, precum izvorul Șipotelor și un izvor din comuna Poșaga. Astfel, rezultatele demonstrează în mod clar faptul că probele de apă prelevate din jud. Cluj și jud. Alba supuse analizei experimentale, cât și rezultatele experimentale, sunt sigure pentru consum încadrându-se în conformitate limitele de calitate impuse prin Legea nr. 96/2024 pentru abordarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman și aprobată prin Ordonanța nr. 7/2023.

BIBLIOGRAFIE

1. Iluțiu–Varvara, D. A. - “Chimie aplicată”. Editura U.T. PRESS, Cluj -Napoca, 2023
2. <https://insp.gov.ro/laboratorul-national-de-sanatate-publica/laboratorul-national-de-referinta-pentru-supravegherea-calitatii-apei-lnrsc/servicii-lnrsc/analize-fizico-chimice/determinarea-conductivitatii-electrice/>-accesat în 24.04.2026
3. Singh, L. P., & Ghosh, A. K. (2014). "Conductivity as an Index of Water Quality Assessment". International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), Vol. 3, Issue 03.
4. <https://www.ijert.org/research/conductivity-water-quality-assesment-IJERTCONV3IS03028.pdf> -accesat în 24.04.2026
5. Legea nr. 96/2024 pentru aprobarea OG nr. 7/2023 privind calitatea apei destinate consumului uman.
6. Chapman, D. V. (1996). "Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring". 2nd Edition, UNESCO/WHO/UNEP, F & FN Spon, London.
7. World Health Organization (2022). "Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda". Geneva: World Health Organization. ISBN: 978-92-4-004506-4.
8. Hem, J.D. (1985) Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd Edition, US Geological Survey Water-Supply Paper 2254, University of Virginia, Charlottesville, 263p.
9. World Health Organization (2011). "Total dissolved solids in Drinking-water". Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.
10. Rusydi, A. F. (2018). "Correlations between conductivity and total dissolved solids in various type of water: A review". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 118, No. 1.
11. Cercetări privind determinarea conductivității electrice pentru diferite eșantioane de ape potabile- (realizat de Godici F.A. și Tarța A.A.).



ANALIZĂ COMPARATIVĂ PRIVIND CARACTERISTICILE CONDUCTELOR ȘI FITINGURILOR DIN FONTĂ VERSUS FONTĂ DUCTILĂ

Autori

Alesia-Roxana VAIDA¹, Ana-Maria CIOICA², Denisa-Felicia PAIU³

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, vaida26a@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, anamariacioica2006@gmail.com

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, paiudenisa8@gmail.com

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, dana.adriana.varvara@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o comparație a conductelor și fittingurilor din fontă cenușie cu cele din fontă ductilă și modul în care proprietățile variază datorită structurii și compoziției lor chimice. Deoarece forma grafitului determină rezistența, durabilitatea și siguranța operațională, cele două materiale prezintă diferențe semnificative. Fonta cenușie are o istorie lungă de utilizare, însă prezintă dezavantaje precum fragilitatea și sensibilitatea la solicitări dinamice și la coroziune. Pe de altă parte, datorită grafitului sub formă de noduli, fonta ductilă prezintă o performanță mult mai bună, o distribuție mai uniformă a tensiunilor și o rezistență mecanică mai mare. Se demonstrează printr-o analiză chimică și mecanică extrasă din literatura de specialitate, că durata de viață și stabilitatea fontei ductile în condiții reale de operare sunt superioare. În concluzie, fonta ductilă este considerată cea mai bună opțiune pentru sistemele moderne de conducte în ceea ce privește eficiența, siguranța și durabilitatea pe termen lung.*

Cuvinte cheie: Materiale de instalații, conducte, fittinguri, fontă, fontă ductilă.

1.Introducere

Fonta este un material antic, fiind unul dintre cele mai vechi materiale utilizate pentru construcția conductelor și fittingurilor destinate transportului fluidelor. Din secolul al XIX-lea, a fost utilizată în rețele de alimentare cu apă, precum și în cele de canalizare. Este un aliaj cu un nucleu de fier, cu un conținut ridicat de carbon (între 2-4%) și conține, de asemenea, proporții mari de siliciu. Alte elemente care influențează proprietățile finale ale materialului în structura sa sunt manganul, sulful și fosforul. Grafitul sub formă de lamele distribuite în masa metalică formează aspectul structural principal al fontei cenușii [1], [2].

Datorită structurii lamelare a grafitului, o serie de proprietăți fizice și mecanice ale fontelor devin evidente. Dar dezvoltarea infrastructurii de distribuție a apei a implementat cerințe din ce în ce mai stricte privind rezistența mecanică, durabilitatea și comportamentul la coroziune, ceea ce a determinat conversia fontelor cenușii în fontă ductilă [3], [4].

La nivel structural, deosebiriile dintre cele două tipuri de fontă sunt controlate de forma grafitului și de compoziția sa chimică, care la rândul său influențează caracterul mecanic și chimic al materialului [5], [6].



Totuși, în aplicațiile pentru conducte, astfel de diferențe sunt esențiale, deoarece influențează comportamentul la presiune internă, solicitări ciclice și acțiunea mediului coroziv. Fonta cenușie este compusă din grafit lamelar, acționând ca un concentrator de tensiuni, permițând propagarea fisurilor. Această fontă are o bună amortizare a vibrațiilor și conductivitate termică, dar o rezistență la tracțiune scăzută și o fragilitate remarcabilă [7], [8]. De aceea, utilizarea sa în conductele moderne este restricționată. Fonta albă conține cementită și are o duritate ridicată, dar un finisaj extrem de fragil, ceea ce determină utilizarea ei doar în aplicații speciale [9]. Fonta maleabilă, care a fost tratată termic, are o ductilitate îmbunătățită, dar nu a atins aceeași performanță ca fonta ductilă [10]. Fonta aliată conține nichel, crom, cupru și alte elemente, ceea ce crește rezistența la coroziune și uzură în aceste medii abrazive. [11], [12].

Fonta ductilă se formează prin tratament cu magneziu și grafitul capătă o structură nodulară. Această modificare a microstructurii reduce concentrarea tensiunilor și îmbunătățește proprietățile mecanice, ceea ce duce la performanțe excelente [5], [6]. Raporturile dintre fazele feritice și perlitice caracterizează clasele de fontă ductilă (GGG40, GGG60, GGG70) și afectează rezistența și ductilitatea [13]. Mai mult, tratamentele termice, inclusiv austemperarea, produc fontă ductilă austemperată cu proprietăți mecanice similare cu cele ale oțelurilor aliate [14], [15].

În prezent, fonta ductilă oferă o sinergie ideală de rezistență, ductilitate și comportament la coroziune, făcând-o un candidat ideal pentru conducte și fittinguri [3], [16].

2.Caracteristici

2.1 Caracteristicile conductelor și fittingurilor din fontă

Ca primă caracteristică este important să menționăm că rezistența foarte bună la compresiune o face ideală pentru utilizări în care solicitările statice sunt predominante. Pe lângă asta, amortizarea ridicată a vibrațiilor este o altă caracteristică, astfel având rolul de a reduce zgomotul în instalații. De aceea, utilizările predominante ale conductelor și fittingurilor din fontă sunt în instalații sanitare interioare ale clădirilor și în sistemele de canalizare gravitațională [17].

Pe lângă aceste plusuri are și anumite minusuri din cauza structurii lamelare, astfel grafitul din cauza lamelelor care se manifestă ca un concentrator de tensiuni ce determină o fragilitate a fontei. Din această cauză are o rezistență scăzută la tracțiune și o capacitate scăzută de deformare plastică înainte de rupere. Însă mai există o caracteristică care reduce utilizarea fontei în aplicații moderne din cauza siguranței structurale precare, aceasta fiind rezistența scăzută în condiții de solicitări dinamice, șocuri mecanice sau variații de sarcină, conductele din fontă putând suferi crăpături sau chiar cedări bruște [2].

Un defect pe care îl are fonta este reacția ei la solicitări termice și mecanice variabile. Ea fiind foarte fragilă nu suportă variații de temperatură sau tensiuni interne cauzate de mișcări ale solului. Un exemplu bun sunt conductele îngropate, mișcările solului putând produce tensiuni suplimentare, care automat duc la apariția fisurilor. De aceea, instalațiile făcute din fontă au adaptabilitate redusă la condiții dinamice de exploatare [2], [17].

Pe lângă dezavantaje are și avantaje, unul dintre ele fiind turnabilitatea, această proprietate permițând producerea unei game largi de fittinguri cu utilizări în rețelele de conducte datorită



fontei ce are o bună prelucrabilitate, oferind posibilitatea de a ajusta dimensiunile și finisarea suprafețelor în funcție de necesitățile aplicației [17].

Fonta are o rezistență moderată la coroziune în medii obișnuite, însă în medii agresive se degradează mult mai rapid. Grafitezarea este un fenomen specific care se definește prin descompunerea fazei metalice, adică a fierului, sub efectul coroziunii, rămânând doar o structură poroasă de grafit. Pe o perioadă lungă de timp, acest fenomen poate provoca avarii considerabile la rețelele de conducte, deoarece duce la diminuarea rezistenței mecanice și la compromiterea integrității conductei [2], [17].

Sub aspect constructiv, conductele din fontă sunt fabricate prin turnare, conform standardelor, ca mai apoi să fie îmbinate prin sisteme fixe, un exemplu pot fi flanșele sau îmbinările tip mufă-cep. Aceste îmbinări garantează o bună etanșare a sistemului, dar nu oferă posibilitatea rotațiilor sau deformării semnificative, ceea ce diminuează abilitatea sistemului de a prelua mișcările terenului. Prin turnare sunt realizate fittingurile din fontă și sunt folosite pentru ajustarea secțiunii sau a direcției conductelor [17].

Un alt minus al conductelor din fontă ar fi greutatea destul de mare, care face mult mai dificil transportul, manipularea și transportul lor. Totuși, pentru a compensa rezistența mecanică redusă la tracțiune, este necesară o grosime a pereților destul de mare, asta ducând automat la costuri suplimentare în unele situații, deoarece va fi un consum mult mai mare de material [2], [17].

În ansamblu, conductele și fittingurile din fontă sunt foarte utile, dar cu limitări destul de clare. Deși au rezistența bună la compresiune, stabilitate dimensională, rigiditate și capacitate de a amortiza vibrațiile se caracterizează și prin fragilitate, rezistență mică la solicitări dinamice și predispunere la coroziune. Astfel, din cauza acestor dezavantaje utilizarea lor a fost mai limitată și în final au fost înlocuite treptat cu materiale mult mai eficiente [2], [17].

2.2 Caracteristicile conductelor și fittingurilor din fontă ductilă

În anii 1950, fonta ductilă a apărut ca o variantă mai performantă și mai durabilă comparativ cu fonta clasică, pentru a satisface nevoile infrastructurii moderne de apă sau canalizare. O diferență principală este structura grafitului, fonta ductilă fiind sferoidală sau nodulară spre deosebire de fonta cenușie. Această compoziție este formată prin introducerea elementelor de nodulizare, cum ar fi magneziul în procesul de fabricare a fontei [2], [3], [18].

Structura în noduli a grafitului duce la o distribuție egală a tensiunilor în material, înlăturând efectul de concentrator specific fontei cenușii. Materialul într-o formă nodulară precum grafitul are o rezistență mecanică și ductilitate mult mai mare și o capacitate mai ridicată de deformare înainte de rupere. Fonta ductilă este rezistentă la stresuri complexe, cum ar fi presiuni interne ridicate, șocuri și deformări datorate mișcărilor solului asupra conductelor și dispozitivelor din fontă ductilă. Aceasta poate fi unul dintre cele mai puternice avantaje ale fontei ductile datorită stresului dinamic și solicitărilor variabile și dinamice. Deoarece fonta clasică se poate rupe brusc, fonta ductilă are o deformare plastică înainte de a ceda, ceea ce va face ca fiecare element din fontă ductilă să fie mai sigur în funcționare. Această caracteristică este importantă în instalațiile moderne, deoarece conductele sunt expuse unor condiții de funcționare variabile [3], [18].

Evitarea coroziunii este un aspect esențial. Pentru a îmbunătăți condițiile de curgere, conductele din fontă ductilă sunt tratate cu mortar de ciment care nu numai că asigură



protecția materialului și rugozitatea suprafeței, dar ajută și la protejarea acestuia de coroziune. Extern, se aplică un strat de zinc, bitum sau vopsele speciale, iar în medii agresive se folosește acoperirea cu polietilenă. Astfel de acțiuni ajută foarte mult la prelungirea duratei de viață a conductelor [3], [17], [18].

Un alt aspect important reprezintă faptul că conductele din fontă ductilă beneficiază de longevitate. Aceasta, la rândul său, le face extraordinar de economice și tehnic eficiente: în cele mai bune condiții de operare, pot dura mai mult de 100 de ani. Rezistența pe termen lung este derivată dintr-o combinație de proprietăți mecanice puternice și protecție anticorozivă puternică [3], [18].

Din punct de vedere constructiv, conductele din fontă ductilă asigură o flexibilitate mai mare, ceea ce face ca îmbinările să fie mult mai ușor de făcut. Cele mai recente sisteme de îmbinare, echipate cu o garnitură elastică, oferă rotații și deplasări limitate ale elementelor, dar și etanșeitate. Această flexibilitate este necesară pentru adaptarea la mișcările terenului și pentru a nu provoca daune [17], [18].

Aceste fittinguri se găsesc într-o gamă variată atât de forme, cât și în dimensiuni și sunt folosite pentru conectarea și adaptarea conductelor din fontă ductilă. Proprietățile lor mecanice superioare le permit să funcționeze la presiuni foarte mari și solicitări complexe, ele fiind folosite în rețelele moderne de distribuție a apei potabile și canalizare [17], [18].

În general, conductele și fittingurile din fontă ductilă prezintă puncte forte, precum rezistența mecanică ridicată, ductilitate, durabilitate și ușurință în utilizare, făcându-le potrivite pentru o gamă largă de medii. În consecință, au fost utilizate pe scară largă în infrastructura modernă și fonta ductilă a devenit materialul standard în rețelele de transport al apei [3], [17], [18].

Conductele din fontă și fontă ductilă sunt supuse unui grad ridicat de stresuri, cum ar fi stresurile interne, care sunt presiunea internă din conducte și presiunile produse de elementele externe, precum și variații de temperatură și acțiunea schimbărilor de mediu. Ele vor fi afectate de proprietățile mecanice, structurale și chimice [16], [19].

Fonta cenușie are o rezistență la tracțiune scăzută și este predispusă la fragilitate, ducând la o descompunere rapidă sub amenințarea supraîncărcării [20].

Pe de altă parte, fonta ductilă are o rezistență ridicată și proprietatea de deformare plastică, precum și rezistența disipativă, care pe lângă faptul că este un mecanism de absorbție a energiei, s-a și demonstrat că întârzie ruperea [21], [22].

Fonta ductilă în condiții de oboseală, are o durată de viață superioară datorită distribuției uniforme a tensiunilor. Aceasta este esențială în rețelele urbane, unde variațiile de presiune sunt frecvente [23].

Structura grafitului influențează direct comportamentul materialului. Grafitul lamelar din fonta cenușie facilitează propagarea fisurilor, în timp ce grafitul nodular din fonta ductilă acționează ca un element de întrerupere a acestora [5], [6].

De asemenea, modulul elastic și proprietățile mecanice efective depind de distribuția nodurilor de grafit și de porozitatea materialului [24], [25].

Coroziunea reprezintă unul dintre principalii factori de degradare a conductelor. Fonta ductilă dezvoltă produse de coroziune mai compacte și mai aderente, care pot avea un efect protector parțial [1], [26].



În contrast, fonta cenușie prezintă o degradare mai rapidă, cu formarea de straturi poroase și instabile [27]. Factorii care influențează coroziunea includ compoziția apei, prezența bacteriilor și condițiile de exploatare [28].

Durabilitatea conductelor este influențată de fenomene precum pittingul, depunerile și rugozitatea internă [4]. Fonta ductilă prezintă o rezistență mai bună la aceste fenomene și o durată de viață mai mare [3].

Fonta cenușie este mai susceptibilă la fisuri și pierderi, ceea ce duce la costuri mai mari de întreținere [16].

Fitingurile sunt elemente critice în rețelele de conducte, fiind supuse unor solicitări complexe. Cele din fontă ductilă prezintă o rezistență ridicată și o capacitate de deformare care previne cedările bruște [19].

În schimb, fittingurile din fontă cenușie sunt fragile și prezintă un risc ridicat de rupere în condiții de solicitare mecanică sau variații de presiune.

3. Analiză comparativă

Tabelul 1. Proprietăți chimice generale.

Caracteristică	Fontă	Fontă ductilă	Referințe
Compoziție chimică	Conține carbon în procent de 2–4%, siliciu între 1–3%, mangan între 0,2–1%, fosfor până la 1% și sulf până la 0,1%.	Conține carbon în procent de 3,2–3,8%, siliciu între 2,0–2,8%, mangan între 0,1–0,5% și magneziu între 0,03–0,06%.	[14], [29]
Rolul elementelor	Carbonul formează grafit lamelar sau carburi; siliciul oferă protecție matricei; manganul, fosforul și sulful influențează direct viteza de coroziune.	Magneziul acționează ca agent de nodulizare pentru a produce grafit sferic; asigură o stabilitate chimică mult mai ridicată.	[5], [14]
Tendința de oxidare	100%, datorită grafitului lamelar ce creează microzone galvanice ce accelerează coroziunea	cu ~10–30% mai mică datorită grafitului nodular distribuit uniform ce duce la o coroziune mai lentă	[31], [32]
Strat protector	Grafit poros reduce coroziunea	Strat de oxizi + grafit, mai stabil	[14], [33]
Rezistență la coroziune	Moderată spre bună	Mai bună în medii neutre	[14]
Coroziune galvanică	Devine anod ușor (se corodează prima)	Poate deveni anod, dar procesul este lent.	[31], [32]
Interacțiuni cu apa	Depinde de pH, oxigen, depuneri	Influențată de pH și săruri	[34]
Interacțiuni cu solul	Solurile acide accelerează coroziunea	Depinde de rezistivitate și umiditate	[15], [35]
Interacțiuni chimică	Acidul sulfuric, acidul clorhidric și acidul nitric dizolvă matricea de fier, lăsând în urmă doar scheletul de grafit.	Sensibilă la acizi și cloruri: deși mai rezistentă, este atacată de acidul clorhidric și acidul sulfuric, în special în concentrații mari.	[31]
Microstructură	Compusă din grafit sub formă de lamele ascuțite,	Compusă din grafit sub formă de noduli sferici dispersați într-o matrice metalică continuă.	[30], [33], [36]



	îngropate într-o matrice de ferită, perlită și cementită.		
Efect grafit	Grafit inert, ajută la stabilizarea structurii	Forma sferică reduce suprafața de contact cu mediul coroziv și ajută la stoparea coroziunii locale.	[29], [30]
Produse de coroziune	Oxizi de fier + grafit rezidual	Oxizi și hidroxizi protectori	[31], [32]
Avantaje	Strat protector, stabilitate în timp	Coroziune uniformă, durabilitate mai mare	[16], [31]
Concluzie	Comportament electrochimic activ, protecție parțială	Performanță superioară și stabilitate mai bună	[14], [30]

Tabelul 2. Proprietăți mecanice generale.

Caracteristică	Fontă (EN-GJL)	Fontă ductilă (EN-GJS)	Referințe
Structura grafitului	Lamelar (fulgi)	Nodular (sferic)	[14], [29]
Standard	EN 1561	EN 1563	[13], [37]
Clase uzuale	EN-GJL-100, 150 200, 250	EN-GJS-400, 500, 600, 700	[29], [30],[36],[38]
Rezistența la tracțiune (R_m)	Valori scăzute, cuprinse între 100 și 250 MPa	400 – 700 MPa	[29], [30],[36],[38]
Alungirea la rupere (A₅)	0 – 1%	2 – 25%	[30], [38]
Rezistența la compresiune	600 – 1200 MPa	Ridicată	[14], [33]
Modul de elasticitate (E)	90 – 130 GPa	160 – 180 GPa	[14], [38]
Duritate	150 – 260 HB	Variabilă	[13], [14], [36]
Rezistența la impact	~ 1-5 J	~ 7 – 20 J (la temperatura camerei)	[30], [39]
Rezistența la oboseală	~ 50 – 120 MPa	~ 250 – 350 MPa	[14], [38]
Comportare la tracțiune	Rupere fragilă	Ductilă	[14], [30]
Comportare la compresiune	Foarte bună	Foarte bună	[14], [30]
Sensibilitate la defecte	Foarte mare	Mai redusă	[22], [30]
Comportare la șocuri/vibrații	Slabă	Bună	[14], [23]
Utilizare în conducte	Istoric	Standard actual	[15], [16], [18]



Fig. 1: Conductă din fontă ductilă marca ASP Pipes



Fig. 2: Conductă din fontă cenușie marca Düker

Tabelul 3. Comparație între conductă din fontă ductilă marca A SP Pipes versus conductă din fontă cenușie marca Düker GmbH.

Comparație	Conductă din fontă ductilă	Conductă din fontă cenușie	Referințe
Producător	ASP Pipes	Düker GmbH	
Standard	EN 545 / EN 598	EN 877	[40], [41], [42]
Tip material	Grafit sferoidal	Grafit lamelar	[43]
Diametru analizat	DN150	DN150	[40], [42]
Lungime conductă	6 m	3 m	[40], [44], [45]
Grosime perete	6.0 – 7.8 mm	5.0 – 6.0 mm	[40], [41]
Presiune nominală	PN16 (16 bar)	0–1 bar	[40], [31]
Presiune maximă	până la 40 bar	< 2 bar	[40], [41], [43]
Rezistență la tracțiune	≥ 420 MPa	~ 200 MPa	[40], [43]
Alungire	$\geq 10\%$	$\sim 1\%$	[40], [43]
Rugozitate	~ 0.03 mm	$\sim 0.1\text{--}0.2$ mm	[44], [45]
Durată de viață	80 – 100 ani	40 – 70 ani	[44], [45]
Tip curgere	Sub presiune	Gravitațională	[40], [42]
Etanșeitate	Foarte ridicată	Medie	[40], [45]
Rezistență la șoc	Foarte bună	Scăzută	[43]
Pierderi de sarcină	Mici	Mai mari	[44], [45]
Aplicații	Alimentare apă, incendiu, rețele urbane	Canalizare, ape uzate, drenaj	[42], [44], [45]
Avantaje	Rezistență mare, durabilitate, siguranță	Cost redus, amortizare vibrații	[40], [43], [45]
Dezavantaje	Cost mai mare	Fragilitate, nu suportă presiune	[43]



Fig. 3: Teu din fontă cenușie marca Poarta Albă Fittings Industry SRL Fig. 4: Teu din fontă ductilă marca BLUCAST

Tabelul 4. Comparare între fitting din fontă cenușie produs de Poarta Albă Fittings Industry SRL versus fitting din fontă ductilă produs de BLUCAST.

Comparație	Fiting din fontă cenușie	Fiting din fontă ductilă	Referințe
Producător	Poarta Albă Fittings Industry SRL	BLUCAST	[39], [46]
Material	Fontă maleabilă EN-GJMB	Fontă ductilă EN-GJS-500-7	[40], [43]
Standard	EN 10242	EN 545 / EN 598	[40]
Rezistență la tracțiune	$\approx 350\text{--}400$ MPa	$\approx 500\text{--}700$ MPa	[40], [43], [44]
Alungire la rupere	$\approx 5\text{--}10\%$	$\approx 10\text{--}20\%$	[40], [43]
Presiune nominală	PN10 (maxim uzual)	PN16 standard (până la PN25 uneori)	[39], [40], [46]
Temperatură lucru	-20°C până la $+120^{\circ}\text{C}$	0°C până la $+70^{\circ}\text{C}$ (apă)	[39], [40], [44]
Tip conexiune	Filet BSP (ISO 7-1)	Flanșă / TYTON / îmbinare mecanică	[39], [46]
Dimensiuni	DN15 – DN100 ($\frac{1}{2}$ "–4")	DN50 – DN1200+	[37], [46]
Protecție anticorozivă	Zincare 70–100 μm	Epoxidic 250–400 μm	[39], [40], [45]
Etanșare	Bandă teflon / câlți	Garnitură EPDM/NBR	[39], [40]
Durată de viață	$\approx 20\text{--}30$ ani	$\approx 50\text{--}100$ ani	[40], [44], [45]
Aplicații	Instalații interioare, gaz, HVAC	Rețele apă, canalizare	[39], [46]
Montaj	Manual, simplu	Necesită echipamente și aliniere	[39], [46]
Cost	Scăzut	Ridicat	[39], [46]

4. Concluzie

Analiza comparativă evidențiază avantajele clare ale fontei ductile față de fonta cenușie în aplicațiile de conducte și fittinguri. Proprietățile mecanice superioare, rezistența la coroziune și durabilitatea ridicată fac din fonta ductilă materialul preferat în infrastructurile moderne.



Fonta cenușie rămâne relevantă în aplicații unde costul este un factor critic și solicitările mecanice sunt reduse, însă utilizarea sa în rețelele moderne este limitată.

În concluzie, alegerea materialului trebuie realizată în funcție de condițiile de exploatare, cerințele de durabilitate și costurile pe termen lung.

BIBLIOGRAFIE

1. Liu J., Wang B., Chen T., Hao L., Wu J., Liu C., (2025). The Effect of Corrosion Inhibitors on the Corrosion Behavior of Ductile Cast Iron. *Metals*, **15**, **70**, pg. 1–3, 6–13.
2. Wang Y., Liu T., Tao K., Zhu L., Young X., Chen X., (2022). Mechanisms and Kinetics of Localized Corrosion of Ductile Iron. *Metals*, **12**, **2103**, pg. 1–4, 8–15.
3. Melchers, R.E. (2021). Estimating the Long-Term Reliability of Steel and Cast Iron Pipelines. *Sustainability*, **13**, **13235**, pg. 1–4, 10–17.
4. Szeląg, B. et al. (2021). Hydraulic and Technological Investigations of Pipe Ageing. *Water*, **13**, **1604**, pg. 1–5, 9–16.
5. George E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill, 1986, pg. 5, 9–10, 60, 206, 240–245, 422–423.
6. AWWA – “*Ductile-Iron Pipe and Fittings (Manual M41)*”, American Water Works Association – pg. 30-50
7. Popov, V. et al. (2023). *Mechanical Properties of Grey Cast Iron. Lubricants*, **11**, **454**, pg. 1–4, 7–13.
8. Liu, Y. et al. (2024). *Internal Damage in Grey Cast Iron. Processes*, **12**, **1893**, pg. 1–4, 7–14.
9. Vadillo, G. et al. (2018). *Metastable Eutectoid Transformation. Metals*, **8**, **550**, pg. 1–4, 7–13.
10. Di Cocco, V. et al. (2017). *Fatigue and Fracture Resistance of Heavy-Section Ferritic Ductile Cast Iron. Metals*, **7**, **88**, pg. 1–5, 8–14.
11. Zhang, Y. et al. (2024). *Effect of Cu and Ni on Corrosion. Metals*, **14**, **696**, pg. 1–5, 8–15.
12. Fomin, A. et al. (2024). *Wear and Corrosion Resistance. Materials*, **17**, **2468**, pg. 1–4, 7–14.
13. Charles R. Loper Jr., “*Cast Irons: Science and Technology*”, *ASM International*, 1988, pg. 456–471, 593–597
14. ASM International, *ASM Handbook, Vol. 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, ASM International, 1990, pg. 3–11, 33–55, 85–104.
15. Henry Liu, *Pipeline Engineering*, CRC Press, 2003, pg. 207–210.
16. Li, Z. et al. (2024). *Leakage Quantification in Metallic Pipes under Different Corrosion Conditions. Processes*, **12**, **1529**, pg. 1–5, 7–13.
17. EADIPS/FGR – *Ductile Iron Pipe Systems Manual* – pg. 10-35
18. AWWA – *Ductile-Iron Pipe and Fittings (Manual M41)*, American Water Works Association – pg. 30-50
19. Tchórzewska-Cieślak, B. et al. (2018). *Unfavourable Impact of Street Traffic on Water Distribution Networks. Water*, **10**, **1086**, pg. 1–4, 8–12.
20. Barton, N. et al. (2024). *Fatigue Strength and Leakage Behaviour of Corroded GCI Water Pipes. Engineering Proceedings*, **69**, **20**, pg. 1–6.
21. Ronchei, C. (2023). *Fatigue Strength Estimation of Ductile Cast Irons. Metals*, **13**, **83**, pg. 1–4, 7–13.
22. Serrallach, J. et al. (2024). *Mechanical Properties and Fracture Toughness Prediction. Metals*, **14**, **352**, pg. 1–4, 7–13.
23. Schaal, C. et al. (2019). *Thermo-Mechanical Fatigue Lifetime. Metals*, **9**, **1068**, pg. 1–5, 8–15.
24. Furlani, E. et al. (2018). *Effective Elastic Parameters. Metals*, **8**, **695**, pg. 1–5, 8–15.
25. Cavalcante, M. et al. (2018). *Elastic Modulus Determination. Metals*, **8**, **641**, pg. 1–5, 8–14.
26. Xu, J. et al. (2018). *Physico-Chemical Characteristics of Corrosion Scales from Iron Pipes. Water*, **10**, **931**, pg. 1–4, 7–13.
27. Kim, J. et al. (2018). *Comparison of Corrosion in Water Supply Pipes Due to Water Quality. Water*, **10**, **496**, pg. 1–5, 9–15.
28. Liao, X. et al. (2022). *Effect of Pipe Materials on Bacterial Community, Redox Reaction and Water Quality. Coatings*, **12**, **1747**, pg. 1–4, 8–15.
29. Stefanescu, D.M. – “*Asm Handbook: Cast Iron Science and Technology*” (2017).
30. ASM International, *ASM Handbook, “Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys”*, ASM International, 1990. – pg. 3-20



31. William D. Callister Jr., David G. Rethwisch, “*Materials Science and Engineering: An Introduction*”, 10th Ed., Wiley, 2018 – pg. 300-320
32. Mars G. Fontana – *Corrosion Engineering* – pg. 5-15
33. “*Uhlig's Corrosion Handbook*”, Wiley, 3rd Edition, 2011 – pg. 100-120
34. European Committee for Standardization, “*EN 1561 – Grey cast iron*”, 2011.
35. Zhang, X. et al. (2025). GG25 Gray Cast Iron. *Metals*, 15, 1361, pg. 1–5, 8–15.
36. American Water Works Association, “*Standards for Cast Iron and Ductile Iron Pipes*”, AWWA.
37. Michael F. Ashby, David R. H. Jones, “*Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design*”, Butterworth-Heinemann, 2012.
38. Andriollo, F. et al. (2015). *Effects of Silicon on Mechanical Properties*. *Metals*, **5**, **150**, pg. 1–5, 8–16.
39. BLUCAST, Ductile Iron Fittings Catalogue. 2021, pg. 5–40.
40. Comitetul European de Standardizare, EN 545: Ductile Iron Pipes, Fittings, Accessories and Their Joints for Water Pipelines — Requirements and Test Methods. Bruxelles, 2010, pg. 20–70.
41. European Committee for Standardization (CEN), EN 545:2010 – Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines. Brussels, 2010, pg. 10–25.
42. European Committee for Standardization (CEN), EN 877:2006 – Cast iron pipes and fittings, their joints and accessories for drainage systems. Brussels, 2006, pg. 8–20.
43. Comitetul European de Standardizare, EN 1563: Spheroidal Graphite Cast Irons. Bruxelles, 2018, pg. 12–30.
44. ASP Pipes, Catalog tehnic conducte din fontă ductilă pentru alimentări cu apă. Documentație tehnică, ediția curentă, pg. 5–18.
45. Düker GmbH, Cast Iron Drainage Systems – Technical Documentation (EN 877). Karlstadt, Germania, ediția curentă, pg. 6–22.
46. Poarta Albă Fittings Industry, Malleable Iron Pipe Fittings.



ANALIZĂ COMPARATIVĂ PRIVIND METODELE AVANSATE DE FILTRARE ALE APEI

Autori

Albert MARTANIUC¹, Augustin-Constantin CIUDIN², Cristian-Alin MUREȘANU³

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

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

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, cristianmuresanu88@gmail.com

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Dana-Adriana ILUȚIU-VARVARA⁴

⁴Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca Dana.Adriana.Varvara@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o analiză comparativă asupra metodelor avansate de filtrare ale apei. Analiza vizează următoarele metode avansate de filtrare: microfiltrare, ultrafiltrare, nanofiltrare și osmoză inversă. Această lucrare analizează mecanismele de funcționare ale tehnicilor avansate de purificare, evidențiind beneficiile implementării lor, precum și riscurile asociate absenței acestora. Conținutul explică fiecare procedeu în ordinea impactului asupra calității resursei hidrice. Studiul compară diverse soluții de filtrare pentru a demonstra eficiența fiecăreia în orice domeniu de utilizare. Aceste metode de filtrare respectă normele și standardele internaționale, oferind rezultate superioare. Lucrarea are ca scop prezentarea metodelor, demonstrând modul în care ele optimizează compoziția apei tratate. Informațiile sunt riguros selectate și validate de cercetările în domeniu. În concluzie, aceste sisteme sunt esențiale la scară largă, prelungind durata de exploatare a echipamentelor și susținând, astfel, dezvoltarea economiei circulare a apei.*

Cuvinte cheie: metode avansate, filtrarea apei, microfiltrare, ultrafiltrare, nanofiltrare, osmoză inversă.

1. Introducere

Apa potabilă reprezintă o resursă vitală în alimentația publică, iar asigurarea calității superioare a acesteia este o preocupare continuă în întreaga lume. Inspirați de această realitate, am decis să explorăm prin cercetare metodele avansate de filtrare care permit asigurarea facilă a unei calități superioare și la nivelul standardelor ridicate impuse apei potabile [1]. Pe cale de consecință, dezideratul principal urmărit a fost studiul metodelor avansate de filtrare care să aducă un aport semnificativ creșterii calității apei potabile, a sănătății consumatorilor și care să genereze în subsidiar și efecte cu impact pozitiv în reducerea poluării mediului înconjurător [2]. Calitatea apei potabile reprezintă un pilon constant de cercetare, direct legat de atingerea obiectivelor de dezvoltare sustenabilă mai cu seamă în domeniile ingineriei, biodiversității, agriculturii și schimbărilor climatice. Acestei resurse naturale s-au atribuit de-a lungul timpului mai multe definiții și înțelesuri [3]. Conform Dicționarului Explicativ al Limbii Române, apa este un lichid incolor, fără gust și fără miros, compus din hidrogen și oxigen, care formează unul dintre învelișurile Pământului. Înainte de a se aborda aspectele legate de analiza comparativă privind metodele avansate de filtrare ale

apei s-a recurs la o analiză macro a nivelului existent al apei pe Globul Pământesc [4]. Rezerva mondială este de 1.386 milioane km³ de apă, peste 96 % fiind apă sărată. Mai mult decât atât, din totalul de apă dulce, peste 68 % este blocată în gheață și ghețari, iar 30 % din apa dulce este prezentă în subteran [5]. Odată cu creșterea poluării apelor din cauza rapidă a industrializării și a urbanizării, se observă o scădere accentuată a apei potabile, ceea ce duce la o amenințare globală serioasă atât pentru generațiile prezente, cât mai cu seamă pentru cele viitoare. Așadar, calitatea apei reprezintă un factor extrem de important cu preponderență în următoarele domenii [6]:

- Sănătate umană/ Prevenția bolilor;
- Aspecte referitoare la mediul înconjurător [7].

Indicele apei curate măsoară poluarea cu substanțe chimice, nutrienți excesivi, agenți patogeni umani și gunoi în apele estuariene, de coastă și oceanelor deschise [8]. Așadar, prin conservarea, filtrarea sau chiar îmbunătățirea continuă a calității apei potabile, se va contribui activ la obiectivul de dezvoltare durabilă a resurselor naturale, asigurând un climat de continuitate pentru această resursă vitală pentru generațiile viitoare. De-a lungul anilor, procesele convenționale de tratare a apelor uzate au reușit într-o oarecare măsură să trateze efluenții în scopuri de evacuare. Cu toate acestea, sunt necesare îmbunătățiri ale proceselor de tratare a apelor uzate pentru a face apele reziduale tratate reutilizabile în scopuri industriale, agricole și casnice [9].

2. Metodele avansate de filtrare ale apei

Accesul la apa potabilă devine tot mai limitat. În acest context, înțelegerea metodelor eficiente de curățare a apei capătă importanță majoră, fie că vorbim despre industrie sau gospodării, eliminarea contaminanților influențează direct sănătatea, siguranța și mediul. Lucrarea analizează principalele tehnici de decontaminare, cu accent pe eficiență, utilizări și impact în diverse domenii.

1.1 Osmoza inversă (OI)

Osmoza inversă (OI) este un proces de purificare a apei care folosește o membrană semipermeabilă pentru a separa ionii, moleculele și particulele nedorite din apa potabilă. În acest proces se aplică presiune pentru a depăși presiunea osmotică, determinată de diferența de potențial chimic al solventului, astfel încât apa să treacă din soluție spre zona de solvent pur.



Figura 1. Diagramă a mecanismului de filtrare prin osmoză inversă [10].

Osmoza inversă elimină numeroase substanțe dizolvate și particule în suspensie, inclusiv microorganisme precum bacteriile, fiind utilizată atât în industrie, cât și pentru obținerea apei potabile. În urma procesului, impuritățile rămân pe partea unde se aplică presiunea, iar apa purificată trece prin membrană. Pentru a fi selectivă, membrana nu permite trecerea moleculelor mari sau a ionilor, dar lasă să treacă moleculele mici, precum apa [10].



Figura 2. Instalație de osmoză inversă [11].

2.2 Ultrafiltrarea(UF)

Ultrafiltrarea este un proces avansat de separare fizică, bazat pe presiune, care utilizează o membrană semipermeabilă cu pori extrem de fini, de obicei microni pentru a elimina impuritățile, bacteriile, virusurile și macromoleculele din apă sau soluții, reținând în același timp mineralele sănatoase. Este o metodă eficientă de tratare a apei, des întâlnită în uz casnic și industrial [11].

Caracteristici principale ale ultrafiltrării sunt: Grad de filtrare înalt: porii fini opresc particule suspendate, sedimente, rugină, bacterii și chiar unele virusuri. Păstrarea mineralelor: spre deosebire de osmoza inversă, ultrafiltrarea nu elimină mineralele esențiale din apă precum calciul sau magneziul. Funcționare: Acționează sub presiunea apei de la rețea necesitând o presiune de minim bari. Uz casnic: Se utilizează în special pentru purificarea apei la bucătărie, oferind o apă sigură și gust plăcut. Costuri și mentenanță: Membranele de ultrafiltrare au o durată de viață rezonabilă, înlocuirea realizându-se o dată la câteva luni, sistemele având costuri mai mici comparativ cu osmoza inversă, nefiind nevoie de evacuarea apei reziduale la canalizare [12].



Figura 3. Tratarea apei potabile 300m³/h prin ultrafiltrare [13].



2.3 Nanofiltrarea

Nanofiltrarea este un proces de separare prin folosirea unei membrane utilizat cel mai adesea pentru dedurizarea și dezinfectarea apei. Se utilizează membrane cu pori de dimensiuni nanometrice, pentru particule mai mici de 10 nanometri. Membranele de nanofiltrare au pori de dimensiuni cuprinse între 1 și 10 nanometri, mai mici decât cele utilizate în microfiltrare și ultrafiltrare, dar puțin mai mari decât cele utilizate în osmoza inversă. Membranele utilizate sunt create predominant din filme subțiri de polimeri. Printre materialele utilizate în mod obișnuit se numără polietilen-tereftalatul sau metale precum aluminiul [14].

Alte aplicații unde nanofiltrarea poate fi utilizată:

- pentru eliminarea pesticidelor din apa de foraj;
- pentru eliminarea metalelor grele din apa de foraj și apa uzată;
- recircularea apei folosite în spălătorii de rufe;
- dedurizarea apei;
- eliminarea nitratilor.

2.4 Microfiltrarea

Microfiltrarea este un tip de proces de filtrare fizică prin care un fluid contaminat este trecut printr-un filtru cu membrană cu pori speciali pentru a separa microorganismele și particulele în suspensie din lichid. Se utilizează în mod obișnuit împreună cu diverse alte procese de separare, cum ar fi ultrafiltrarea și osmoza inversă, pentru a obține un produs care nu conține contaminanți nedorți [15].

Microfiltrarea poate fi folosită în multe și diferite procese de tratare a apei unde particule cu diametrul mai mare de 1 micron vor fi eliminate din apă.

Microfiltrarea este folosită cu succes în industrie cât și în sisteme mici, casnice. Cele mai cunoscute filtre casnice care utilizează microfiltrarea sunt filtrele ceramice. În general aceste filtre (în funcție de producător) au o finete de filtrare între 0,1 – 0,5 microni.

	Microfiltration	Ultrafiltration	Nanofiltration	Reverse Osmosis
Size of Particle	> 0,1 μm > 500 000 Da	0,1 - 0,01 μm 1 000 - 500 000 Da	0,01 - 0,001 μm 100 - 1 000 Da	< 0,001 μm < 100 Da
Type of Particle	suspended particles, colloidal haze, oil emulsions	Macro molecules, bacteria, cells, viruses, proteins	Micro molecular organic compounds	Ions

Figura 4. limitele de separare definite individual.

3. Analiza comparativă privind metodele avansate de filtrare a apei

3.1 În procesul complex de filtrare a apei, acestea trec prin mai multe etape, iar microfiltrarea 3.1 este una dintre acestea. *Microfiltrarea*

Face parte din procedura de pretratare a apei, înainte ca lichidul contaminat sau mai bine spus apă să treacă printr-o membrană ultrafiltrantă, nanofiltrantă sau osmotică. În acest pas apă potabilă este condusă cu presiune printr-un sistem de filtrare, al cărui rol este de a reține reziduurile de mari dimensiuni.



Microorganismele împiedicate au dimensiuni care pot varia între 0.1 și 10 micrometri. Așadar, microfiltrarea reprezintă o curățenie la nivel de sedimente, alge și bacterii mai mari fiind ideală atunci când se dorește îmbunătățirea apei potabile ce provine din sistemul public.

De asemenea, recurgând la această tehnică trebuie menționat și faptul că îmbunătățiri vor fi sesizate și la nivel de claritate, deoarece acest tip de filtrare are și acest avantaj, de a îndepărta turbiditatea.

Neutilizarea microfiltrării prezintă riscuri majore legate în special de siguranța microbiologică și calitatea produsului final fiind un pas esențial în asigurarea unei bariere fizice împotriva contaminanților [16].

3.2 Ultrafiltrarea

Este o tehnică de filtrare a apei ce utilizează procesul de separare, mai exact, prin intermediul membranei cu pori apa este purificată.

Membrana ultrafiltrantă are capacitatea de a împiedica trecerea unor elemente ale căror dimensiuni se încadrează între 0.1 și 0.01 micrometri. Această metodă elimină substanțele cu greutate moleculară mare, materialele coloidale, moleculele polimerice organice și anorganice.

Cu toate acestea, ultrafiltrarea are un plus, și anume că moleculele folositoare organismului, precum ioni de calciu și clorura de magneziu trec mai departe de membrana cu pori, apa potabilă de calitate ajungând în paharul beneficiarului. Ultrafiltrarea elimină gustul neplăcut din apă și îi îmbunătățește chiar și mirosul. Pe lângă distrugerea bacteriilor, ultrafiltrarea se remarcă și prin diminuarea și chiar înlăturarea turbidității, apa devenind mult mai limpede, mai clară. De cele mai multe ori, ultrafiltrarea este folosită ca etapă de pretratare, pregătind apa pentru alte metode de purificare, cum ar fi osmoza inversă.

Dacă nu se folosește ultrafiltrarea, apa poate rămâne contaminată cu bacterii, virusuri și alți agenți patogeni care pot cauza probleme grave de sănătate, iar prezența impurităților vizibile, cum ar fi sedimentele sau particulele în suspensie, poate face apa tulbure, afectându-i aspectul și gustul. În instalații și echipamente, aceste particule pot favoriza depunerile și colmatarea, reducând eficiența sistemelor de filtrare ulterioare și crescând costurile de întreținere.

Ultrafiltrarea este utilizată pe scară largă în sistemele de tratare a apei pentru a asigura o apă potabilă sigură, în special în zonele unde există riscuri de contaminare microbiologică. Este folosită atât în gospodărie, cât și în spitale, laboratoare sau unități de producție unde este nevoie de apă lipsită de bacterii [17].

3.3 Nanofiltrarea

Este o tehnică mai nouă de îmbunătățire a apei potabile, principiul de funcționare putând fi comparat cu ultrafiltrarea, atât numai că aceasta are un grad de filtrare mai precis. Membrana nanofiltrantă a fost concepută pentru a elimina durezza din apă prin înlăturarea ionilor de calciu și magneziu prezenți în exces, pentru a îndepărta metalele, precum și pentru a reduce cantitatea de săruri.

Cu toate acestea, prin nanofiltrare se pot elimina pesticide, coloranți, nitrați, sulfati și detergenți, fapt care face ca apa potabilă provenită din sistemul public să fie totuși de o calitate mai bună decât dacă aceasta nu ar fi supusă niciunui proces de filtrare. În ceea ce privește



materialul din care ar putea fi create aceste membrane, putem vorbi despre derivați de celuloză, polimeri sintetici sau materiale anorganice. Neutilizarea nanofiltrării poate duce la riscuri semnificative atât pentru sănătate cât și pentru funcționarea la parametrii normali a echipamentelor.

Nanofiltrarea este o tehnologie avansată care reține particule fine (0.001-0.01 microni), eliminând poluanți pe care celelalte metode nu îi pot capta. Se utilizează predominant pentru dedurizarea, dezinfectarea și purificarea apei, dar și industrial pentru desalinizare, separarea coloranților și industria alimentară [18].

3.4 Osmoza inversă

Este una dintre cele mai avansate și eficiente metode de purificare a apei, folosită la scară globală pentru a obține apă potabilă de înaltă calitate. Este un proces fizico-chimic care folosește o membrană semipermeabilă care permite trecerea doar a moleculelor de apă. Această membrană reține aproape toate particulele solide dizolvate, impuritățile organice și microorganismele. Prin osmoza inversă sunt eliminate bacterii, săruri, zaharuri, proteine, coloranți și alți constituenți ce depășesc dimensiunea de 0.0001 microni. Totodată, osmoza inversă nu filtrează doar constituenții ce depășesc o anumită mărime, ci și pe cei care au o anumită încărcătură ionică. În mod natural, osmoza este fenomenul prin care apa trece spontan printr-o membrană semipermeabilă dintr-o soluție mai diluată într-una mai concentrată, pentru a echilibra concentrațiile de pe ambele părți.

Osmoza inversă, după cum sugerează și numele, inversează acest proces natural prin aplicarea unei presiuni asupra apei cu impurități, forțând-o să treacă prin membrană în direcția opusă celei naturale. Astfel, apa care trece prin membrană devine mult mai pură, iar substanțele reținute sunt separate și eliminate. Mai trebuie știut că osmoza inversă are loc atunci când se aplică o presiune mai mare decât cea osmotică. Această tehnologie este atât de precisă încât poate elimina până la 99% dintre sărurile dizolvate, substanțele chimice periculoase (cum ar fi pesticide, nitrați, fluor, clor), metalele grele și microorganismele. Din acest motiv, este considerată standardul de aur în filtrarea apei.

Osmoza inversă este utilizată într-o gamă largă de industrii datorită versatilității și capacității sale de a furniza un grad ridicat de purificare a apei. Aceasta este aplicată pe scară largă în gospodărie, industria alimentară, laboratoare, spălătorii auto și pentru desalinizarea apei de mare [19, 20].

Tabelul 1. Dimensiunile impurităților reținute.

Finețea filtrării	
Metoda	U.M. (μm)
Microfiltrarea	0.1 și 10
Ultrafiltrarea	0.1 și 0.01
Nanofiltrarea	0.001 și 0.01
Osmoza inversă	>0.0001



Figura 5. Stație de epurare a apelor [21].

3 Concluzie

Prin asigurarea unei surse de apă curată se asigură un stil de viață sănătos atât pentru utilizatorii rezidențiali, cât și pentru afaceri. Adoptarea metodelor avansate de filtrare este o etapă esențială în asigurarea unei ape de calitate superioară, care să contribuie la bunăstarea consumatorilor. Procesele de filtrare nu reduc debitul apei. Filtrele au ciclu mare de viață reducându-se astfel poluarea. Metodele avansate de filtrare prelungesc viața instalațiilor și echipamentelor ajutând la reducerea costului promovând astfel economia circulară.

Tabelul 2. Agenții poluanți reținuți în fiecare proces de filtrare al apei [22].

Tipurile de agenți poluanți reținuți	
Microfiltrarea	sedimente, alge, bacterii
Ultrafiltrarea	substanțele cu greutate moleculară mare, materialele coloidale, virusuri și alți agenți patogeni, particulele în suspensie, moleculele polimerice organice și anorganice
Nanofiltrarea	ionii de calciu și magneziu prezenți în exces, metale, pesticide, coloranți, nitrați, sulfati, detergenți și săruri
Osmoza inversă	particulele solide dizolvate, fluorul, impuritățile organice și microorganismele, bacteriile, sărurile, zaharurile, proteinele, coloranții cât și constituenții care au o anumită încărcătură ionică

BIBLIOGRAFIE

1. Horea-George Crișan, Corina Bîrleanu, Oana-Adriana Cișan, Marius Pustan, *Testarea sistemelor filtrante actuale și dezvoltarea unei soluții ecoinovative cu scopul creșterii calității apei potabile*. Monografie de specialitate, 107, 1-3 (2024).
2. Pilar Truchado, Enric Cuevas-Ferrando, Pedro Simon, *Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and the Built Environment, Durban University of Technology, Durban 4000, South Africa*.
3. Walter Randazzo, Pilar Truchado, Enric Cuevas-Ferrando, Pedro Simón, Ana Allende, Gloria Sánchez, *Department of Microbiology and Ecology, University of Valencia, Av. Dr. Moliner, 50, Burjassot, 46100, Valencia, Spain*.



4. Elorm Obotey Ezugbe, Sudesh Rathilal, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and the Built Environment, Durban University of Technology, Durban 4000, South Africa
5. Horea-George Crișan, Corina Bîrleanu, Oana-Adriana Cișan, Marius Pustan, *Testarea sistemelor filtrante actuale și dezvoltarea unei soluții ecoinovative cu scopul creșterii calității apei potabile*. Monografie de specialitate, 107, 4-7 (2024).
6. Popovici Alex, *Tratamentul apei: Metode avansate de filtrare, riscuri și beneficii*, log, September 26, 2025.
7. Akro, *Idei și tehnici moderne pentru purificarea apei*, 05 April, 2024
8. Wellnessist, *LIDER ÎN INDUSTRIE ÎN CEEA CE PRIVEȘTE eficiența purificării apei*.
9. Roy, Yagnaseni, Warsinger, David M, Lienhard, John H, *Effect of temperature on ion transport in nanofiltration membranes: Diffusion, convection and electromigration*. *Desalination*. **420**, 241–257, (2017)
10. NovaInstal.ro, *Filtrarea apei-tehnici de filtrare a apei*, (mai 2014)
11. H₂O Molecula, *Primul și singurul blog din România, specializat pe filtrarea și tratarea apei*, (8 octombrie, 2013)
12. IMA Concept, [AQUATECH 2019](#)
13. Barry Liu-player for Cornell, formerly of State Collage High School.
14. Roy, Yagnaseni; Warsinger, David M.; Lienhard, John H. (2017). „Effect of temperature on ion transport in nanofiltration membranes: Diffusion, convection and electromigration”. *Desalination*. 420: 241–257. doi:10.1016/j.desal.2017.07.020. hdl:1721.1/110933 Accesibil gratuit. ISSN 0011-9164
15. I.H. Huisman, *MEMBRANE SEPARATIONS | Microfiltration*, Editor(s): Ian D. Wilson, *Encyclopedia of Separation Science*, Academic Press, 2000, pag. 1764-1777, ISBN 9780122267703, doi:10.1016/B0-12-226770-2/05251-0
16. Boogaert, Evina Katsou, Balsam Ahmad, Heba Ghazal, Stefaan Simons, Luiz Wrobel, Hussam Jouhara , *Surface water filtration using granular media and membranes*.
17. Biovita study, „Ultrafiltrare, nanofiltrare sau filtrare prin osmoza inversa?”, (19 august 2019)
18. HID MEMBRANE CO., LTD., *Diferența dintre microfiltrare, ultrafiltrare și osmoză inversă*, (31 martie 2022)
19. HORNBAACH, *Filtre de apă cu osmoză inversă sau ultrafiltrare? Dezavantaje și avantaje*.
20. Khavari Ali, *Impactul filtrelor de microfiltrare asupra sănătății tale*, (30 iunie)
21. Feco.ro, *Ce este o stație de epurare și cum funcționează?*
22. Conferențiar dr. ing. Ilie SUĂRĂȘAN Facultatea de Inginerie Electrică Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, *Ozonul, radiația ultravioletă și radicalii liberi generați în câmpurile electrice intense – factori de remodelare a conceptelor ingineresti*, (30.03.2018)



DIGITAL TWIN PENTRU POMPE DE CĂLDURĂ AER-APĂ CU R290: VALIDARE EXPERIMENTALĂ, PREDICTIBILITATE ȘI OPTIMIZARE

Autori

Năstase ȘERBAN¹, Norbert IAMBOR¹, Ionuț Flaviu TIMBUȘ¹

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

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, serban591@gmail.com

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

Îndrumător

Ș.L.Dr.Ing. Raluca Paula MOLDOVAN¹

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, raluca.moldovan@insta.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă dezvoltarea și validarea unui Digital Twin data-driven pentru o pompă de căldură aer-apă NIBE S2125 cu agent frigorific R290, instalată într-un laborator universitar și monitorizată prin platforma myUplink. Modelul utilizează serii orare din luna ianuarie 2026 și corelează temperatura exterioară, parametrii circuitului hidraulic, temperatura de referință și frecvența compresorului cu energia termică livrată și energia electrică absorbită, pe baza unor scripturi Python pentru prelucrarea datelor și generarea de scenarii. Validarea pe 216 intervale „active” indică o eroare globală sub 1% pentru bilanțul energetic (112 kWh electric și 396 kWh termic măsurați, față de 112.58 kWh și 399.85 kWh estimați), MAE orar de 0.44 kWh pentru energie electrică și 0.69 kWh pentru energie termică, respectiv coeficienți de determinare R^2 de 0.60 și 0.65. Indicatorii derivați de tip supraîncălzire și subrăcire oferă o primă evaluare a stării frigorifice, iar scenariul de optimizare bazat pe indicatorul grade-minute (DM) sugerează că praguri mai negative ($\approx -75 \dots -80$ DM) pot reduce ciclările compresorului. În ciuda limitărilor privind perioada analizată și setul de variabile disponibile, rezultatele confirmă potențialul Digital Twin-ului ca instrument compact pentru monitorizarea, diagnoza și optimizarea pompelor de căldură aer-apă cu R290.*

Cuvinte cheie: Digital Twin, pompă de căldură aer-apă, R290, senzori, diagnoză, performanță.

1. Introducere

Tranziția energetică europeană, configurată prin pachetul Fit for 55 și European Green Deal, presupune reducerea accentuată a emisiilor în sectorul clădirilor, responsabil de circa 40% din consumul final de energie în Uniunea Europeană [1]. În acest context, pompele de căldură aer-apă devin tehnologii cheie pentru electrificarea încălzirii, iar utilizarea agenților frigorifici naturali, precum propanul (R290), combină eficiența ridicată în climat rece cu un impact climatic redus [2].

Performanța reală a pompelor de căldură este însă puternic influențată de factori dinamici dificil de surprins prin teste staționare standardizate. Analiza unui eșantion extins de peste 1000 de instalații monitorizate pe parcursul a doi ani indică variații semnificative ale eficienței sezoniere datorate condițiilor climatice, ciclurilor de degivrare, modulației compresorului și modului de utilizare în clădiri reale [3]. Studii experimentale de referință evidențiază, de



asemenea, necesitatea monitorizării în timp real pentru evaluarea acestor fenomene dinamice, în special în timpul ciclurilor de degivrare, al funcționării la sarcini parțiale și al tranzițiilor între modurile de funcționare [4].

Pentru a depăși aceste limite, conceptul de Digital Twin (DT) – reprezentare digitală dinamică a unui sistem fizic, alimentată cu date reale – a devenit central în cercetarea din domeniul încălzire, răcire și aer-condiționat (HVAC), fiind utilizat pentru monitorizare, diagnoză și optimizare. Seifert et al. propun un cadru holistic dedicat pompelor de căldură, în care DT-ul include modele componente (compresor, vaporizator, condensator) și un mecanism de actualizare continuă prin comparația cu date măsurate în sistemele reale [5], iar IEA HPT Annex 56 subliniază că digitalizarea și IoT-ul reprezintă infrastructura necesară pentru DT-uri operaționale, capabile de analiză, control optimizat, detectarea defectelor și integrarea flexibilității energetice la nivel de clădire sau rețea [6]. O sinteză recentă dedicată digital twin-urilor pentru încălzire, răcire, aer-condiționat și refrigerare (HVACR) subliniază că aceste modele au devenit un element central pentru managementul termic al clădirilor, oferind servicii de monitorizare, detectare a defectelor, optimizare și flexibilitate, dar și că implementarea lor reală rămâne limitată de complexitatea modelării și a integrării cu sistemele existente [6,7].

Abordările moderne bazate pe inteligență artificială și învățare profundă au confirmat potențialul acestei direcții. Li et al. arată că rețelele LSTM permit dezvoltarea unor DT-uri generice pentru pompe de căldură aer-apă și apă-apă, cu erori reduse și fidelitate ridicată în reproducerea sarcinii termice și a consumului de energie, pe baza unor seturi extinse de date de înaltă fidelitate [8]. Evens et al. evidențiază faptul că modelele secvențiale data-driven pot surprinde cu acuratețe dinamica pompelor de căldură care deservește atât încălzirea spațiilor, cât și prepararea apei calde menajere, inclusiv efectele strategiilor interne de control ale producătorilor, greu accesibile în modele fizice clasice [9]. Cu toate acestea, sinteza literaturii în domeniu relevă că majoritatea implementărilor actuale operează la scara clădirii sau a campusului, în timp ce studii recente evidențiază necesitatea dezvoltării unor DT-uri aplicate direct la nivelul echipamentelor, inclusiv pentru pompe de căldură, prin arhitecturi modularizate, replicabile și alimentate din date reale de operare [5,10].

Pornind de la aceste premise, lucrarea propune un Digital Twin data-driven pentru o pompă de căldură aer-apă cu R290 instalată într-un laborator universitar, alimentat exclusiv cu date experimentale furnizate de platforma myUplink. Obiectivele specifice includ: (i) reproducerea fidelă a comportamentului echipamentului; (ii) validarea statistică a modelului prin analiza abaterilor parametrilor de performanță; (iii) implementarea unei logici de diagnoză avansată a ciclului frigorific bazată pe indicatori de stare; și (iv) evaluarea capacității predictive a modelului prin simularea unui scenariu de optimizare operațională. Prin combinarea tehnicilor moderne de învățare automată cu infrastructuri IoT existente, lucrarea contribuie cu o metodologie compactă și reproductibilă pentru evaluarea și optimizarea funcționării pompelor de căldură în condiții reale.

2. Studiu de caz

2.1. Cadrul experimental și sistemul analizat

Studiul experimental a fost realizat în laboratorul de pompe de căldură al Facultății de Inginerie a Instalațiilor, echipat cu trei pompe de căldură de ultimă generație: NIBE S1256-8 sol-apă, NIBE S2125-8 aer-apă și NIBE S735-7 aer exhaust.

În această lucrare este analizat exclusiv sistemul de pompă de căldură aer-apă NIBE S-2125 cu agent frigorific natural R290, conectat la un circuit hidraulic dedicat care include un rezervor tampon și o buclă de încălzire deservită de ventiloconvectoare și comandat prin unitatea de control SMO S40 (vezi Figura 1).

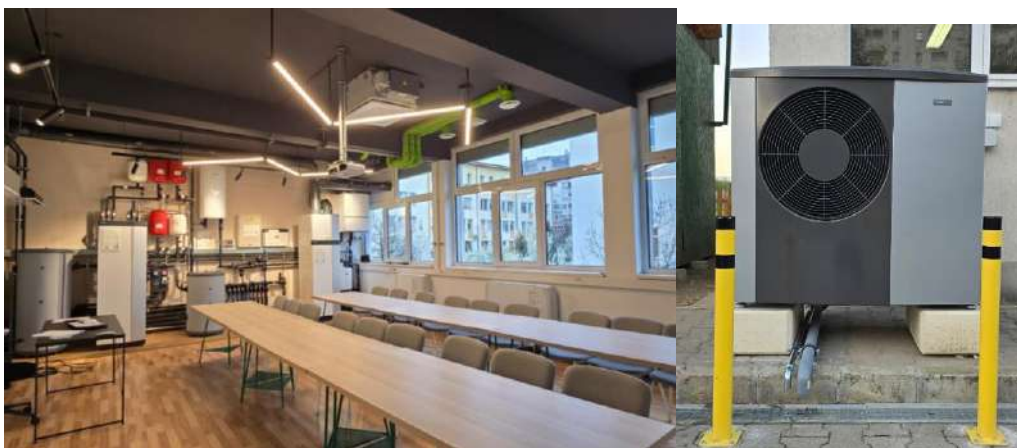


Figura 1. Vedere de ansamblu a stand-ului experimental

Analiza se bazează pe serii de timp înregistrate în regim de încălzire, exportate din myUplink în format .csv. Sistemul dispune de senzori pentru temperatura exterioară (BT1), temperaturile de tur și retur pe circuitul de apă (BT25, BT71), temperatura interioară de referință (BT50), temperaturi pe circuitul frigorific (BT14, BT15, BT16, BT17, BP8_{dew}, BP9_{dew}), contoare de energie electrică (BE8) și termică, frecvență și număr porniri ale compresorului, precum și indicatorul grade-minute (degree minutes DM), toți accesibili prin platforma myUplink [10,11].

Pentru dezvoltarea modelului Digital Twin s-au utilizat doar datele de exploatare din luna ianuarie 2026, înregistrate la intervale de timp inegale și ulterior agregate la rezoluție orară, astfel încât să poată fi calculați indicatorii energetici și parametrii modelului. Filtrarea datelor s-a realizat prin definirea unor intervale „active” de funcționare: temperatură de tur mai mare decât temperatura de retur ($BT25 > BT71$), frecvență a compresorului strict pozitivă și energie totală >0 pe intervalul considerat. Orele în care toți acești indicatori sunt nuli au fost tratate ca intervale de repaus și excluse din analiza performanței; în urma filtrării au rezultat 216 intervale orare utilizate la identificarea parametrilor și la validarea energetică, astfel încât calibrarea DT-ului să se bazeze pe situații reprezentative de funcționare efectivă a pompei de căldură.

Campania de măsurători a fost concepută pentru monitorizare uzuală, nu pentru validarea DT, astfel încât datele sunt limitate la variabilele furnizate de echipament și de myUplink. Lipsa unui debitmetru de apă și rezoluția contorului BE8 la 1 kWh reduc granularitatea estimării energiilor pe intervale scurte, iar absența datelor privind condițiile interioare și ocupanții clădirii nu permite evaluarea directă a confortului. Aceste limitări sunt avute în vedere la interpretarea rezultatelor.

Prelucrarea seriilor de timp (agregare orară, filtrare și evaluarea indicatorilor) a fost realizată în Python, utilizând biblioteci de analiză de date.



2.2. Indicatori energetici și relații generale

Performanța pompei de căldură este caracterizată prin coeficientul de performanță (COP), definit pentru echipamentele cu compresor electric ca raport între energia termică utilă livrată și energia electrică absorbită. La nivelul unui interval discret se utilizează relația [13]:

$$COP_i = \frac{Q_i}{E_i} \quad (1)$$

unde Q_i este energia termică livrată către circuitul de încălzire [kWh], iar E_i este energia electrică consumată în același interval [kWh]. Pentru o perioadă extinsă, se definește un COP agregat:

$$COP_{agg} = \frac{\sum_i Q_i}{\sum_i E_i} \quad (2)$$

utilizat în literatură pentru compararea performanței în exploatare cu valorile nominale din fișele de catalog [13].

Energia electrică absorbită a fost determinată din contorul de tip pulse energy meter (BE8), asociat direct alimentării pompei de căldură. Rezoluția de 1 kWh a contorului pulse introduce însă erori relative mari în intervalele cu energii reale foarte mici, aspect reflectat și discutat explicit la validarea DT-ului [14].

2.3. Modelul Digital Twin și validarea energetică

Digital Twin-ul dezvoltat pentru pompa NIBE S-2125 este un model data-driven orientat pe indicatori energetici, care corelează condițiile de operare și variabilele de control cu energia termică livrată și energia electrică absorbită pe interval orar. Setul de intrări include temperatura exterioară BT1, temperaturile de tur și retur BT25 și BT71, diferența de temperatură $\Delta T = BT25 - BT71$, temperatura interioară de referință BT50 și frecvența compresorului, iar ieșirile sunt energiile termică și electrică corespunzătoare fiecărei ore active. Modelul energetic adoptat este o regresie de tip Random Forest, implementat în Python și antrenat separat pentru energia electrică absorbită și pentru energia termică livrată, în linie cu abordările recente de modelare data-driven pentru pompe de căldură aer-apă și echipamente frigorifice similare [15]:

La nivel generic, pentru intervalul i , predicțiile Digital Twin-ului se pot nota:

$$\hat{E}_i = f(\mathbf{x}_i), \hat{Q}_i = g(\mathbf{x}_i) \quad (3)$$

unde $\mathbf{x}_i$ este vectorul de intrări, iar f și g reprezintă funcții nelineare identificate numeric din datele experimentale. Calitatea modelului este evaluată prin indicatori standard, calculați separat pentru energie electrică și termică: eroarea medie absolută (MAE), eroarea medie procentuală absolută (MAPE) și coeficientul de determinare R^2 [16]:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

unde y_i sunt valorile măsurate, $\hat{y}_i$ valorile estimate de model, iar $\bar{y}$ media valorilor măsurate.

Analiza performanței sistemului evidențiază valori ale coeficientului de performanță (vezi Figura 2) compatibile cu intervalele raportate în literatura de specialitate pentru pompele de căldură aer-apă operate în climate reci, cu temperaturi de tur moderate [8]. COP-ul de bilanț rezultă 3.53 pentru datele măsurate și 3.55 pentru model, diferența sub 1% confirmând soluția tip Digital Twin pentru analize de eficiență și pentru compararea scenariilor de exploatare similare celor din luna ianuarie.

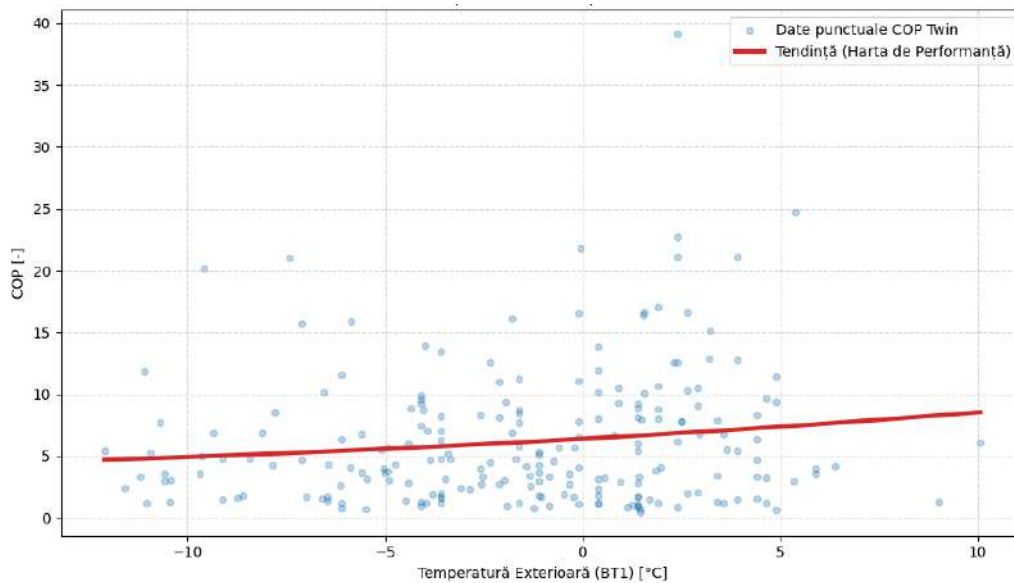


Figura 2. COP vs temperatura exterioară

Pentru subșetul de 216 intervale orare selectat ($BT_{25} > BT_{71}$, frecvență compresor > 0 , $E+Q>0$), Digital Twin-ul reproduce foarte bine bilanțul energetic global al pompei de căldură. Energia electrică totală măsurată de contorul BE8 este de 112 kWh, iar modelul estimează 112.58 kWh (+0.5%), în timp ce energia termică totală măsurată este de 396 kWh, respectiv 399.85 în model (+1.0%) (vezi Figura 3 și 4).

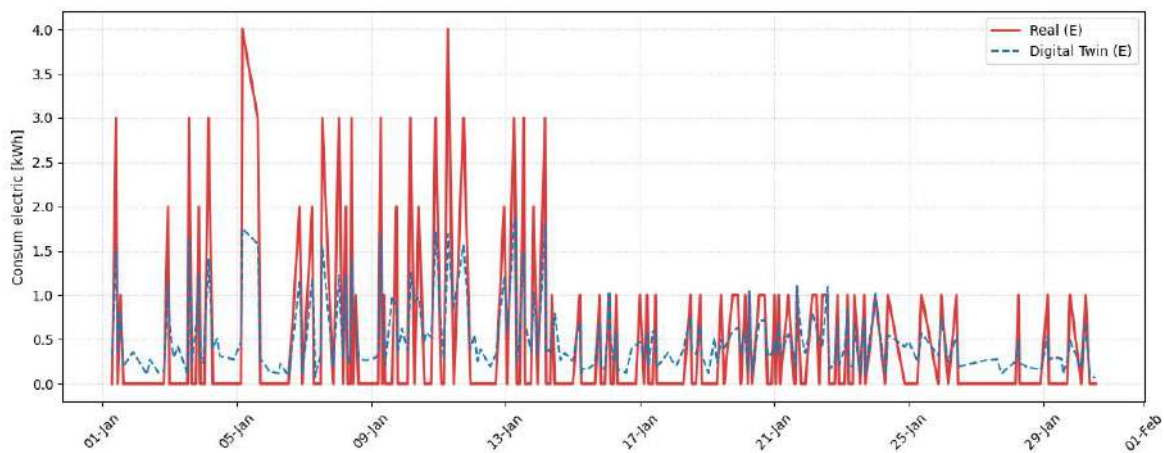


Figura 3. Validarea consumului electric

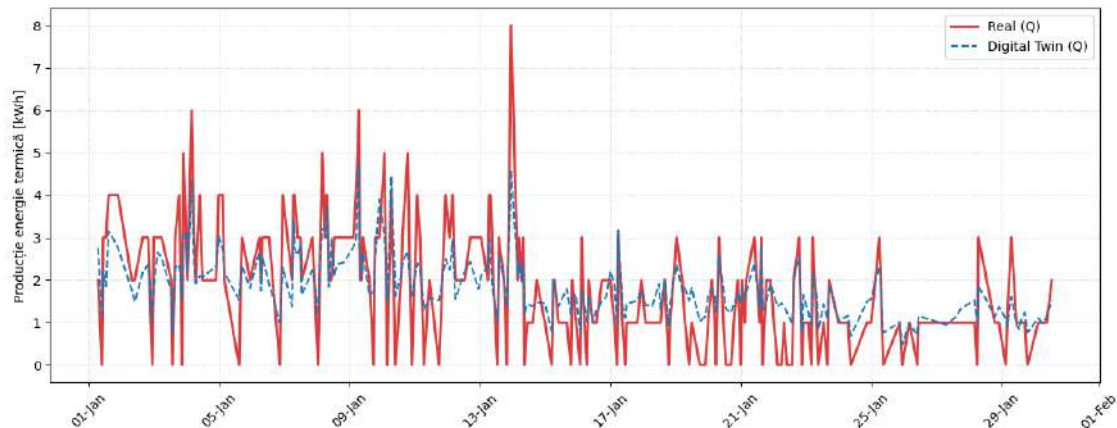


Figura 4. Validarea producției termice

La nivel orar, MAE este de 0.44 kWh pentru consumul electric și 0.69 kWh pentru producția termică, MAPE atingând aproximativ 38.7% pentru energia electrică și 25.6% pentru energia termică. Valorile ridicate ale MAPE, în special pentru energie electrică, sunt explicabile prin cuantizarea contorului electric la 1 kWh și prin existența unor intervale cu energii reale foarte mici, în care erori absolute moderate se traduc în erori procentuale mari.

Din perspectiva corelării punctuale, coeficientul de determinare R^2 (0.60 pentru energia electrică și 0.65 pentru energia termică- valori reprezentative pe subșetul de 216 intervale) indică faptul că modelul explică aproximativ două treimi din variabilitatea orară a performanței pompei de căldură în condițiile analizate. În contextul rezoluției limitate a contorului electric și al abaterilor inerente măsurătorilor de teren, aceste valori sunt considerate satisfăcătoare pentru un Digital Twin de complexitate redusă, orientat pe indicatori energetici.

Validarea a fost realizată pe un singur set de date (ianuarie 2026), ceea ce limitează generalizarea modelului la alte condiții climatice și regimuri de funcționare. Lipsa măsurării debitului de apă și a unor variabile frigorifice suplimentare limitează verificarea bilanțului termodinamic intern și separarea contribuției componentelor. Extinderea bazei de date pe întreg sezonul de încălzire, introducerea unor măsurători suplimentare și calibrarea pe intervale de temperatură exterioară sunt direcții naturale pentru creșterea robusteții Digital Twin-ului și transferul către aplicații în clădiri reale.

2.4. Indicatori derivați pentru evaluarea stării sistemului

Pe lângă indicatorii energetici, Digital Twin-ul exploatează temperaturile pe circuitul frigorific și presiunile asociate pentru a construi indicatori derivați de stare, utilizați în literatura de specialitate pentru diagnoza funcționării pompelor de căldură. Dintre aceștia, doi indicatori relevanți sunt asociați conceptelor de „supraîncălzire” (superheat SH) și „subrăcire” (subcooling SC), definiți în mod ideal prin diferențe între temperaturi de saturație și temperaturi reale la anumite puncte din instalație:

- indicator de tip supraîncălzire la aspirație (SH), asociat diferenței dintre temperatura gazului la aspirație și temperatura de saturație corespunzătoare presiunii pe partea de joasă presiune:

$$SH = T_{\text{suction}} - T_{\text{sat,low}} [K] \quad (7)$$

unde T_{suction} reprezintă temperatura gazului la aspirația compresorului (BT17) [$^{\circ}\text{C}$], iar $T_{\text{sat,low}}$ reprezintă temperatura de saturație corespunzătoare presiunii pe partea de joasă presiune [$^{\circ}\text{C}$];

- indicator de tip subrăcire la ieșirea din condensator (SC), asociat diferenței dintre temperatura de saturație pe partea de înaltă presiune și temperatura lichidului:

$$SC = T_{\text{sat,high}} - T_{\text{liquid}} [K] \quad (8)$$

unde $T_{\text{sat,high}}$ este temperatura de saturație corespunzătoare presiunii pe partea de înaltă presiune ($\text{BP}_{9\text{dew}}$) [$^{\circ}\text{C}$], iar T_{liquid} este temperatura lichidului la ieșirea din condensator (BT15) [$^{\circ}\text{C}$].

În practica experimentală analizată, acești indicatori sunt aproximați pe baza temperaturilor raportate de senzori și a temperaturilor de saturație estimate de controler, fără un set complet de măsurători frigorifice dedicate, ceea ce limitează acuratețea lor absolută. Interpretarea s-a orientat, prin urmare, pe deviațiile relative față de comportarea medie și pe identificarea posibilelor perioade cu suprasolicitare termică sau cu subrăcire redusă, în acord cu recomandările din literatura de diagnostic.

Distribuțiile rezultate pentru indicatorul de tip SH sugerează o funcționare preponderent în intervale considerate sigure din punct de vedere al riscului de revenire a lichidului în compresor, iar valori semnificativ mai mari decât media pot fi interpretate ca perioade de solicitare termică sporită, în acord cu literatura privind diagnosticul pompelor de căldură [17]. În mod similar, indicatorul de tip SC evidențiază regimuri în care procesul de condensare este complet și stabil, respectiv situații în care subrăcirea este redusă, asociate potențial cu capacitate de transfer termic limitată sau cu o încărcare atipică cu agent frigorific (vezi Figura 5).

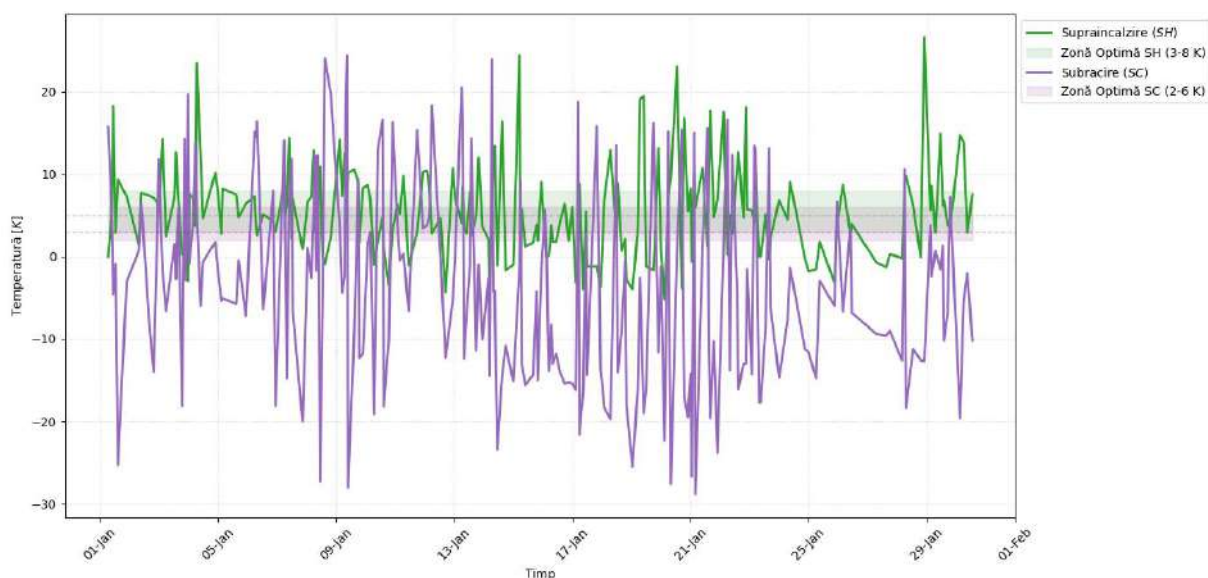


Figura 5. Analiza supraîncălzirii/subrăcirii

Extinderea sistemului de măsură prin senzori suplimentari și calibrarea indicatorilor SH și SC față de măsurători independente de laborator ar reprezenta un pas important pentru utilizarea lor în mentenanță predictivă.

2.4. Scenariu de optimizare. Utilizarea grade-minute

Controlul pompei de căldură prin SMO S40 utilizează conceptul de grade-minute (degree minutes - DM), un indicator integrativ al deviației temperaturii interioare (sau a temperaturii de tur calculate) față de valoarea de referință, folosit pentru deciziile de pornire și oprire a compresorului. Strategii de acest tip sunt recunoscute în literatură ca mijloace eficiente de reducere a ciclurilor scurte, de exploatare a inerției termice a clădirii și de stabilizare a regimului de funcționare. În esență, un prag DM mai negativ permite o deviație mai mare înainte de pornirea compresorului, ceea ce conduce la cicluri mai lungi și la o frecvență mai redusă a pornirilor, cu potențiale efecte pozitive asupra durabilității compresorului și asupra eficienței sezoniere.

În studiul de față, Digital Twin-ul a fost utilizat pentru un exercițiu exploratoriu de optimizare a pragului DM, folosind doar cele 216 intervale în care compresorul se afla în funcțiune (frecvență > 0). Pentru fiecare prag candidat în intervalul $[-120,0]$ DM, din 5 în 5, s-au selectat orele cu $DM \leq DM_{\text{testat}}$ și s-au calculat: frecvența medie a compresorului, raportul porniri/ore de funcționare și ponderea intervalelor selectate din totalul orelor active. Indicatorii au fost normalizați min-max, iar funcția de scor a combinat frecvența medie (maximizată), inversa raportului porniri/ore (minimizat) și acoperirea, cu ponderi de 40%, 40% și, respectiv 20%, pentru a privilegia funcționarea stabilă cu ciclări reduse.

Rezultatele, prezentate în Figura 6, evidențiază un maxim al scorului pentru praguri în zona $-75 \dots -80$ DM. Pentru exemplul $DM_{\text{testat}} = -75$ DM, scenariul selectează 25 de intervale ($\approx 11.6\%$ din orele active), cu o frecvență medie de ≈ 32.7 Hz și un raport de ≈ 0.41 porniri per oră de funcționare, sugerând o funcționare relativ stabilă la sarcină medie. Pragurile „blânde” de tip $-5 \dots 0$ DM includ un număr mai mare de intervale, dar sunt asociate cu ciclări mai frecvente. Praguri DM mai negative extind banda de deviație acceptată și reduc ciclurile scurte, crescând durata medie a ciclurilor, în concordanță cu studiile privind strategiile de control ale pompelor de căldură [2,12].

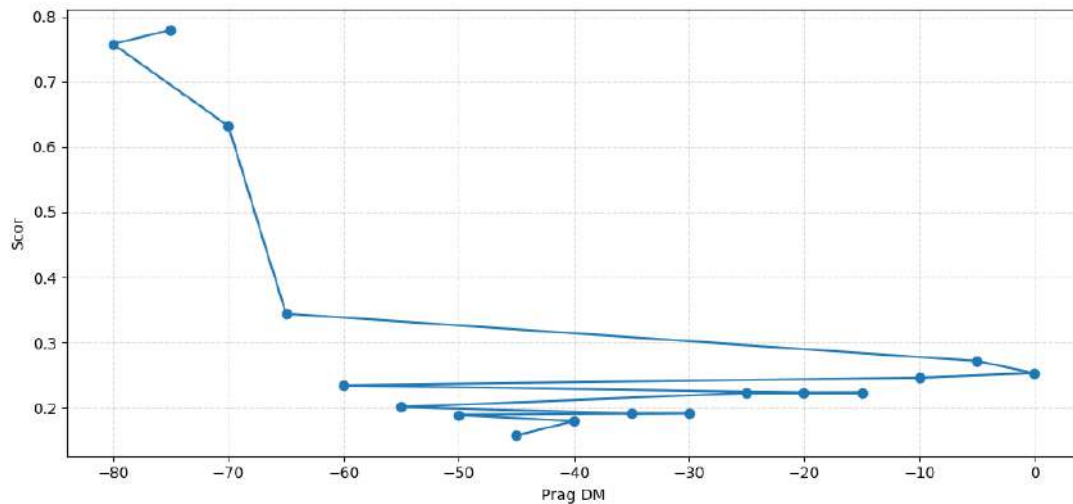


Figura 6. Scor scenariu DM

Optimizarea bazată pe DM are însă caracter exploratoriu, fiind realizată pe un set istoric de date orare și nu într-o campanie experimentală proiectată explicit pentru compararea scenariilor DM. Analiza se limitează la intervalele cu compresor în funcțiune și nu evaluează explicit confortul interior sau variațiile de sarcină, ceea ce reflectă constrângerile datelor disponibile. Consecințele estimate asupra duratei de viață a echipamentului, confortului termic și eficienței sezoniere trebuie tratate ca ipoteze tehnic motivate, ce necesită validare prin studii în care pragurile DM să fie variate sistematic, iar răspunsul pompei de căldură și al sistemului de încălzire monitorizat simultan.

3. Concluzii

Studiul de caz arată că un Digital Twin data-driven construit pe baza datelor experimentale furnizate de NIBE S2125 în regim real de laborator poate reproduce cu o eroare globală sub 1% bilanțul energetic al pompei de căldură pe o lună de iarnă, în pofida limitărilor privind rezoluția contoarelor de energie și absența unor mărimi de proces suplimentare. Indicatorii de performanță (MAE, MAPE, R^2) validează modelul ca instrument de analiză energetică și explorare de scenarii, în timp ce indicatorii SH și SC permit evaluarea stării frigorifice. Modelul a înregistrat un COP de 3.55 față de valoarea măsurată de 3.53. Diferența de sub 1% confirmă viabilitatea soluției pentru simularea unor scenarii de exploatare similare celor din luna ianuarie.

Analiza scenariilor bazate pe DM sugerează că praguri mai negative (în jur de $-75...-80$ DM) pot reduce ciclările și pot crește durata medie a ciclurilor de funcționare, în acord cu tendințele raportate în literatură, deși rezultatele trebuie confirmate prin campanii experimentale dedicate. Direcțiile viitoare de cercetare vizează extinderea bazei de date pe întreg sezonul de încălzire, integrarea unor măsurători suplimentare (debit, condiții interioare, presiuni și temperaturi) și cuplarea Digital Twin-ului cu strategii de control avansate pentru evaluarea integrată a eficienței energetice, a confortului și a durabilității echipamentului.

Mulțumiri



Această lucrare a fost susținută prin proiectul Erasmus+ Cooperation Partnerships in Higher Education – 2024-1-RO01-KA220-HED-000249147 BIM enabled Digital Twins - BIM2in

BIBLIOGRAFIE

- [1] European Commission, A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives, COM/2020/662, 2020.
- [2] Liang, C. et al., *The Development of a Packaged R-290 Cold Climate Heat Pump with External Flow Reversal for Residential Applications*, ASHRAE Cold Climate Conference, 2023.
- [3] Brudermüller, T. et al., *Estimation of energy efficiency of heat pumps in residential buildings using real operation data*, Nature Communications 16, Article 2834, 2025.
- [4] Winkler, Jon and Sugi Ramaraj. 2023. *Field Validation of Air-Source Heat Pumps for Cold Climates*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5500-84745.
- [5] Seifert, J. et al., *Digital Twin for Heat Pump Systems – Description of a Holistic Approach*, CLIMA 2022.
- [6] IEA HPT Annex 56, *Digitalization and IoT for Heat Pumps*, Heat Pumping Technologies TCP, 2023.
- [7] Ibrahim, N. I. et al., *State-of-the-art of the digital twin concept in HVAC+R systems for thermal management of buildings*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2026.
- [8] Li, Y., Sun, J., Lian, J., Nawaz, K., *Deep learning-based digital twins for heat pumps*, Energy Conversion and Management, 2026.
- [9] Evens, M., D’Urso, R., Arteconi, A., *Data-driven digital twin models for heat pumps serving both space heating and DHW*, Applied Thermal Engineering, 2026.
- [10] Ispir, A.C., Rodriguez, G.O., de Vries, W., Speetjens, M., *Digital twin development of a full-scale industrial heat pump*, Applied Thermal Engineering, Volume 269, Part B, 2025, 125921.
- [11] myUplink <https://myuplink.com>. Accesat la data de 2 aprilie 2026.
- [12] NIBE Energy Systems, *Manual de instalare. Pompă de căldură aer/apă NIBE S2125*, 2021.
- [13] Johra, H., *Overview of the Coefficient of Performance (COP) for conventional vapour-compression heat pumps in buildings*, Aalborg University, 2022.
- [14] Rabinovich, Semyon G., *Measurement Errors and Uncertainties: Theory and Practice*, third edition, Springer, 2005.
- [15] Li, Y., Arellano-Espitia, F., Aler, R., Igualada, L., & Corchero, C, *Data-driven methods and their applications to building HVAC energy consumption prediction: A review*, Journal of Building Engineering, 116, 114612, 2025.
- [16] Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., *The Elements of Statistical Learning*, second edition, Springer, 2008.
- [17] Llopis-Mengual, B., Navarro-Peris, E., *Effects of simultaneous soft faults in a reversible and variable-speed air-to-water heat pump*, Applied Thermal Engineering 254, 123883, 2024.



DEZVOLTAREA ȘI IMPLEMENTAREA UNUI SOFTWARE ÎN PROIECTAREA INSTALAȚIILOR HIDROEDILITARE

Autori

Bogdan-Ioan STANA¹, Alexandru FARCAȘ²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: stanabogdanioan@yahoo.ro

²Facultatea de Informatică, Universitatea de Vest Timișoara,
e-mail: alexandru.farcas01@e-uvv.ro

Îndrumător

Ș.I. Dr. Ing. Adriana HĂDĂREAN

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

REZUMAT: *Lucrarea prezintă dezvoltarea unei aplicații intuitive dedicate proiectării instalațiilor hidroedilitare, având ca scop tranziția de la calculul tabelar clasic (tip Excel) la un mediu digital automatizat. Conceput în special ca material didactic, programul facilitează înțelegerea fenomenelor hidraulice și dimensionarea rapidă a rețelelor de apă și canalizare. Interfața sa simplificată reduce considerabil curba de învățare și minimizează erorile de calcul, oferind utilizatorilor un instrument modern, eficient și adaptat cerințelor actuale.*

Cuvinte cheie: Hidroedilitare, Hidraulică, Instalații, Software, Digitalizare

1. Introducere și contextul lucrării

1.1. Importanța optimizării rețelelor hidroedilitare

Dezvoltarea urbană continuă și necesitatea alinierii la standardele de dezvoltare durabilă impun o rigoare absolută în proiectarea infrastructurii de alimentare cu apă. Rețelele de distribuție a apei potabile și de combatere a incendiilor reprezintă arterele vitale ale oricărei aglomerații urbane sau platforme industriale. Dimensionarea corectă a acestora influențează direct atât calitatea vieții consumatorilor, cât și amprenta energetică a stațiilor de pompare aferente.

O proiectare supradimensionată atrage costuri nejustificate de investiție inițială în materiale și excavații, favorizând totodată alterarea calității apei din cauza timpilor mari de retenție în conducte. La polul opus, o subdimensionare conduce la incapacitatea sistemului de a asigura presiunile de utilizare necesare la branșamente și la neasigurarea debitelor critice în caz de incendiu. Astfel, precizia calculului de dimensionare devine un factor critic în ingineria instalațiilor.

1.2. Limitarea metodelor clasice de calcul (Tranziția de la Excel)

În mod tradițional, atât în mediul academic, cât și în numeroase birouri de proiectare, dimensionarea rețelelor ramificate se realizează prin metode tabelare statice, utilizând preponderent software-uri de calcul tabelar (ex. Microsoft Excel). Deși inițial această metodă a



reprezentat un pas înainte față de calculul manual pe hârtie, utilizarea ei extensivă a evidențiat vulnerabilități majore.

Cea mai mare provocare a reprezentat-o trasabilitatea redusă a datelor și gestionarea erorilor de referențiere. Într-o rețea ramificată complexă, interdependența celulelor – unde debitul unui tronson amonte depinde strict de suma debitelor tuturor tronsoanelor din aval – creează un mediu de lucru predispus la confuzii. Așa cum este evidențiat în exemplul din Figura 1, o simplă eroare de tastare sau modificarea unei singure cote de teren la un nod terminal impune recalcularea manuală a întregului sistem.

A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1																					
2	Bara	Nr. crt.	Lungime [m]	Denunțare bara	Lungime bara																
3	C1-HE1	Tronson 1	500.40	CR-HE1	500.40																
4	HE1-C1	Tronson 2	500.40	HE1-C1	500.40																
5	C1-HE3	Tronson 3	177.20	C1-C3	255.60																
6	HE3-C3	Tronson 4	50.70	C3-HE7	348.16																
7	C3-HE5	Tronson 5	144.80	HE3-HE5	395.51																
8	HE5-HE7	Tronson 6	204.00	HE5-HE7	221.96																
9	HE7-HE9	Tronson 7	202.20	C6-C8	77.85																
10	HE9-HE11	Tronson 8	167.31	C8-C10	17.30																
11	HE11-HE12	Tronson 9	203.34	C10-C12	119.62																
12	HE12-C5	Tronson 10	18.62	C12-HE24	256.45																
13	C5-C8	Tronson 11	77.95	HE24-HE29	926.87																
14	C8-C10	Tronson 12	17.30	HE20-C17	288.19																
15	C10-HE14	Tronson 13	12.91	C17-HE19	524.82																
16	HE15-C12	Tronson 14	100.60	HE35-HE37	421.59																
17	C12-HE19	Tronson 15	66.06	HE37-C19	472.27																
18	HE19-HE24	Tronson 16	193.40																		
19	HE24-HE26	Tronson 17	193.99																		
20	HE26-HE28	Tronson 18	211.69																		
21	HE28-HE30	Tronson 19	213.81																		
22	HE30-C17	Tronson 20	88.87																		
23	C17-HE24	Tronson 21	117.57																		
24	HE34-HE35	Tronson 22	207.05																		
25	HE35-HE36	Tronson 23	219.61																		
26	HE36-HE37	Tronson 24	219.80																		
27	HE37-HE38	Tronson 25	205.80																		
28	HE38-HE39	Tronson 26	185.31																		
29	HE39-C19	Tronson 27	71.62																		
30																					

Figura 1. Exemplu de breviar de calcul tabelar clasic, evidențind complexitatea urmăririi referințelor între celule.

Prima încercare de optimizare a acestui flux în cadrul proiectelor didactice a constat în introducerea unor elemente de automatizare de bază, precum funcții logice de căutare și liste predefinite pentru alegerea diametrelor standardizate ale conductelor. Cu toate acestea, lipsa unei reprezentări spațiale (topologice) a rețelei a demonstrat că mediul tabelar și-a atins limitele funcționale.

1.3. Obiectivele aplicației HidroCalc

Prezenta lucrare propune o soluție inovatoare la aceste limitări prin dezvoltarea unui software dedicat, intitulat HidroCalc. Obiectivul principal al proiectului este crearea unui instrument digital complet, care să automatizeze calculul de dimensionare și să faciliteze tranziția către o abordare bazată pe modelare vizuală.

Aplicația este structurată pentru a deservi două scopuri principale: în primul rând, reprezintă un material didactic interactiv care facilitează aprofundarea fenomenelor hidraulice complexe de către studenți, reducând curba de învățare; în al doilea rând, prin arhitectura sa robustă, pune bazele unui instrument tehnic precis, adaptat fluxului de lucru modern din ingineria civilă.



2. Stadiul actual al tehnicii și decizii metodologice

2.1. Cadrul normativ în proiectarea instalațiilor

Proiectarea rețelelor de distribuție a apei în România este strict reglementată de standarde de stat [1], printre care se numără SR 4163 (pentru rețelele de alimentare cu apă) [2] și STAS 1343-1 (privind determinarea cantităților de apă de calcul) [3] și NP 133-2022. Conform acestor prescripții, dimensionarea optimă presupune încadrarea vitezei de curgere a fluidului în limitele vitezelor economice (în general între 0.5 m/s și 1.5 m/s), pentru a echilibra costurile de investiție cu pierderile de sarcină.

Transpunerea fidelă a acestor cerințe normative într-un algoritm software necesită o reevaluare a modului în care inginerul abordează matematica din spatele conductelor.

2.2. Calculul Hidroedilitar versus Calculul Hidraulic

Cea mai importantă inovație a software-ului HydroCalc constă în schimbarea modului de calcul. Inițial, s-a vizat utilizarea metodei «hidroedilitare» clasice, predată în mediul universitar. S-a constatat, însă, că implementarea algoritmică a acestei metode prezintă dificultăți majore. Această limitare derivă din dependența semnificativă de extragerea datelor din tabele statice, nomograme și aproximări grafice. Dezvoltarea unui instrument digital bazat exclusiv pe interogarea și interpolarea unor valori predefinite reprezintă o abordare inefficientă, lipsită de precizie și dificil de adaptat în viitor. Prin urmare, s-a luat decizia abandonării metodei clasice tabelare în favoarea calculului hidraulic pur, fundamentat pe utilizarea directă a ecuațiilor matematice.

Această abordare transformă calculul dintr-unul bazat pe date discrete (tabele) într-unul continuu, fundamentat strict pe ecuații universale ale mecanicii fluidelor. Metoda hidraulică permite softului să calculeze instantaneu pierderile pentru orice diametru, orice material (prin modificarea rugozității) și orice regim de curgere, garantând o precizie de calcul maximă.

2.3. Fundamentarea ecuațiilor utilizate

În cadrul aplicației HydroCalc, pierderea de sarcină liniară (prin frecare pe lungimea conductei) nu mai este extrasă din nomograme, ci este calculată riguros prin aplicarea formulei Darcy-Weisbach[4][5]:

$$h_{lin} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

unde h_{lin} reprezintă pierderea de sarcină liniară (mH₂O); L este lungimea tronsonului (m); D reprezintă diametrul interior real al conductei (m); v este viteza medie de curgere (m/s); g este accelerația gravitațională (9.81 m/s²).

Pentru a rezolva necunoscuta principală a acestei ecuații, coeficientul de rezistență hidraulică (coeficientul lui Darcy, λ), au fost eliminate iterațiile complexe necesare rezolvării ecuației Colebrook-White. Softul implementează aproximarea Swamee-Jain, recunoscută în



ingineria hidraulică pentru acuratețea sa ridicată (eroare sub 1%) în regimul de curgere turbulent [6]:

$$\lambda = \frac{0.25}{[\log_{10}(\frac{k}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2} \quad (2)$$

unde k reprezintă rugozitatea absolută a conductei (pentru rețeaua testată cu conducte PEHD, $k = 0.01$ mm); Re este numărul Reynolds (adimensional, care definește regimul de curgere).

Prin integrarea directă a acestor relații matematice în codul sursă (Backend), HidroCalc elimină erorile de interpolare vizuală umană și optimizează radical viteza de generare a rezultatelor.

3. Arhitectura software și deciziile de implementare

3.1. Optimizarea procesului de introducere a datelor (Interfața grafică)

O deficiență majoră a metodelor tabelare clasice este lipsa reprezentării spațiale a rețelei. Pentru a soluționa acest neajuns și pentru a oferi un grad ridicat de ergonomie (user-friendly), HidroCalc integrează un mediu de desenare de tip Canvas. Această decizie nu doar că oferă aplicației un aspect profesional, specific softurilor ingineresti de top, dar are și un rol funcțional esențial. Prin desenarea rețelei (amplasarea nodurilor, surselor și trasarea conductelor), platforma extrage automat topologia sistemului. Astfel, lungimile tronsoanelor și legăturile dintre ele (amonte-aval) sunt înregistrate direct în baza de date a programului, eliminând necesitatea introducerii manuale a coordonatelor sau a definirii conexiunilor în tabele.

3.2. Selectarea limbajului de programare și a mediului de rulare

Primele încercări de automatizare a calculului au vizat scripturi rulate direct în browser (HTML/JavaScript de bază). Cu toate acestea, testarea pe o rețea de dimensiuni medii, unde necesarul de putere de calcul crește exponențial din cauza parcurgerii recursive a nodurilor, a demonstrat limitările acestei abordări. Execuția calculelor complexe și gestionarea unor structuri de date ample necesitau un mediu de rulare mult mai robust, specific aplicațiilor desktop/backend dedicate. Astfel, dezvoltarea a continuat într-un limbaj de programare capabil să asigure viteza de procesare și stabilitatea necesare unui software tehnic specializat.

3.3. Transpunerea modelului matematic în codul sursă (Back-End)

Având fundamentul teoretic deja stabilit, provocarea arhitecturală a fost transformarea ecuațiilor de curgere într-un cod eficient. Abordarea a fost realizată folosind principiile programării orientate pe obiecte (OOP) [7]. Astfel, fiecare conductă desenată pe Canvas [8] este reprezentată în memoria programului ca un obiect informatic independent, care deține attribute fizice proprii (lungime, diametru, rugozitate).

Formulele complexe de calcul, precum aproximarea Swamee-Jain și ecuația Darcy-Weisbach, au fost scrise sub formă de metode (funcții) izolate în interiorul algoritmului. Datorită acestei arhitecturi, atunci când utilizatorul modifică un parametru pe ecran, motorul de

calcul nu necesită interogarea unor baze de date masive sau parcurgerea unor structuri condiționale lungi, ci pur și simplu apelează instantaneu funcțiile matematice pentru obiectele afectate. Acest flux de date minimizează consumul de resurse ale sistemului și garantează o viteză de procesare în timp real.

3.4. Ergonomia utilizatorului (User Experience) și fluxul de lucru secvențial

Trecerea de la un mediu de calcul necontrolat la o aplicație specializată a impus dezvoltarea unei interfețe grafice (GUI) intuitive, care să ghideze utilizatorul și să prevină omisiunile de date. Din acest motiv, arhitectura interfeței HidroCalc a fost concepută pe baza unui flux de lucru liniar și secvențial, vizibil în meniul de navigare lateral.

Utilizatorul este obligat logic să parcurgă etapele fundamentale ale proiectării într-o ordine inginerască firească: definirea datelor generale, stabilirea consumatorilor, calculul necesarului și cerinței de apă, alocarea hidranților, și abia apoi accesarea modulului de desenare a rețelei. Acest workflow strict elimină erorile frecvente din proiectarea clasică, unde calculul rețelei era adesea început fără o centralizare completă a debitelor de capăt.

3.5. Modelarea grafică (Modulul Canvas) și extragerea topologică

Inima interacțiunii utilizator-sistem este reprezentată de modulul Canvas (Spațiul de desenare). Pentru a oferi o experiență similară programelor de proiectare asistată (CAD), interfața a fost dotată cu instrumente specifice de desenare: funcții de aliniere ortogonală (Ortho), prindere pe grilă (Snap), unelte pentru ștergere și export al schemei.

În acest mediu, utilizatorul amplacează vizual tipurile de noduri (rezervoare, hidranți, cămine de vane) și le conectează prin intermediul conductelor. Avantajul major al acestei abordări vizuale este comunicarea directă cu motorul de calcul matematic (Back-End).

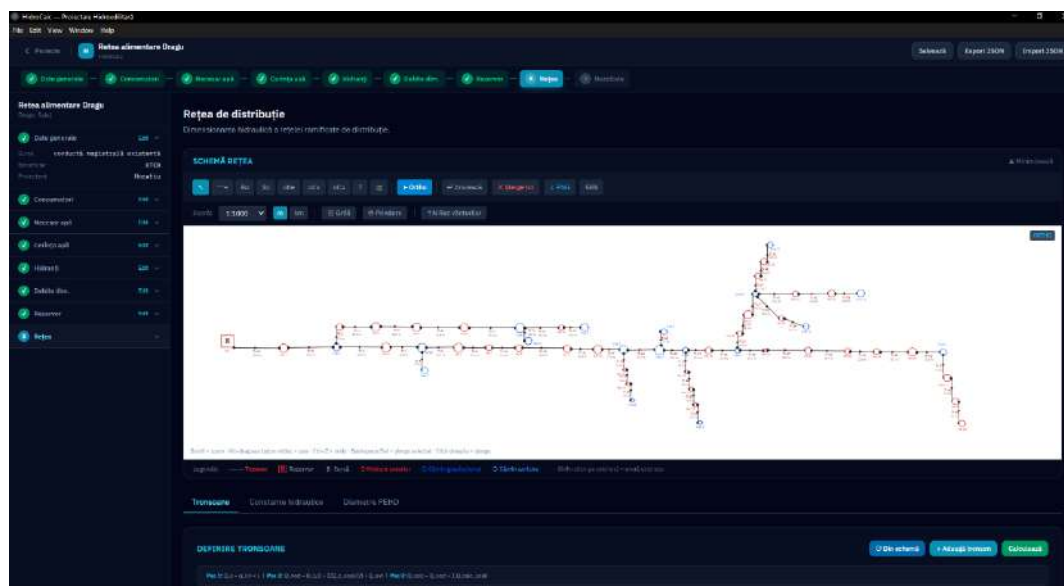


Figura 2. Interfața modulului „Rețea” din HidroCalc, ilustrând schema topologică desenată pe Canvas și fluxul de lucru secvențial.



În acest mediu, utilizatorul plasează pe ecran tipurile de noduri (rezervoare, hidranți, cămine de vane) și le conectează prin intermediul conductelor. Avantajul major al acestei abordări vizuale este comunicarea directă cu motorul de calcul matematic (Back-End). Așa cum se poate observa în interfața dezvoltată (Figura 2), prin acționarea funcției de import din schemă, aplicația analizează geometria desenată, recunoaște automat nodurile de amonte și de aval.

Așa cum se poate observa în interfața dezvoltată, prin acționarea funcției de import din schemă (butonul „Din schemă”), aplicația analizează geometria desenată, recunoaște automat nodurile de amonte și de aval pentru fiecare conductă, calculează lungimile reale la scara declarată (ex. 1:1000) și populează automat tabelele de calcul. Această sincronizare bidirecțională între elementele vizuale și baza de date alocată elimină total necesitatea introducerii manuale a legăturilor dintre tronsoane, rezolvând definitiv principala vulnerabilitate a metodei tabelare.

4. Algoritmul de propagare a debitelor

4.1. Determinarea cerinței de apă și regula distribuției nodale

Pentru ca motorul de calcul să poată dimensiona corect conductele (alegerea diametrelor din baza de date), este necesară determinarea exactă a debitelor de calcul pe fiecare tronson. HidroCalc automatizează acest proces implementând riguros logica de distribuție a consumului.

Conform metodologiei standardizate implementate în cod, calculul se realizează în trei etape secvențiale pentru fiecare element al rețelei. Prima etapă constă în evaluarea consumului distribuit pe lungimea conductei:

$$Q_c = q_{lin} \cdot L \quad (3)$$

unde Q_c reprezintă debitul consumat pe tronson, q_{lin} este debitul specific liniar, iar L este lungimea tronsonului (extrasă automat din desenul topologic din Canvas).

Ulterior, algoritmul aplică regula de distribuție nodală (cunoscută ca "regula Q/2"). Softul parcurge toate nodurile rețelei și le atribuie jumătate din debitul consumat al tronsoanelor adiacente, adăugând eventualele debite concentrate (ex. hidranți exteriori):

$$Q_{nod} = \Sigma \left(\frac{Q_c}{2} \right) + Q_{ext} \quad (4)$$

4.2. Sumarea debitelor de tranzit (Parcurea Bottom-Up)

Adevărata putere a algoritmului dezvoltat constă în modul de însumare a debitelor. Într-o rețea ramificată, debitul de dimensionare al unui tronson amonte trebuie să acopere atât consumul propriu, cât și suma tuturor debitelor tranzitate către tronsoanele din aval.

În metoda clasică (tabelară), această sumare necesită referințe manuale între celule, predispuse la erori în cascadă. HidroCalc rezolvă această problemă printr-o parcurgere secvențială a rețelei ramificate, utilizând o metodă de calcul Bottom-Up. Algoritmul pornește



de la nodurile terminale (frunze) și cumulează debitele recursiv către sursă (rădăcină), aplicând formula:

$$Q_{calc} = Q_{nod} + \sum Q_{aval} \quad (5)$$

Astfel, orice modificare a unui consumator la capătul rețelei declanșează o recalculare instantanee și perfect precisă pe tot traseul până la rezervor, garantând o trasabilitate informatică impecabilă.

5. Studiu de caz. Validare și Concluzii

5.1. Modelarea rețelei de test

Pentru a valida funcționalitatea și acuratețea algoritmilor implementați, aplicația HidroCalc a fost testată pe un model real de proiectare: o rețea de alimentare cu apă ramificată (cazul de studiu "Rețea de alimentare pentru localitatea Dragu"). Schema a fost introdusă direct în modulul grafic al aplicației, cuprinzând noduri de consum, cămine de vane și rețeaua de hidranți pentru combaterea incendiilor.

Schema a fost introdusă direct în modulul grafic al aplicației, cuprinzând noduri de consum, cămine de vane și rețeaua de hidranți pentru combaterea incendiilor. În urma rulării algoritmului pe acest model, rezultatele dimensionării și parametrii tronsoanelor sunt sintetizați și afișați automat sub formă tabelară, așa cum este prezentat în Figura 3.

Tronson	Q (l/s)	Pres. (m)	Pres. (m)	Pres. (m)	Pres. (m)	Pres. (m)	Pres. (m)	Pres. (m)
Tr 1	48.18	—	—	—	—	—	—	—
Tr 2	177.98	—	—	—	—	—	—	—
Tr 3	88.18	—	—	—	—	—	—	—
Tr 4	208.81	—	—	—	—	—	—	—
Tr 5	111.98	—	—	—	—	—	—	—
Tr 6	244.89	—	—	—	—	—	—	—
Tr 7	181.89	—	—	—	—	—	—	—
Tr 8	284.88	—	—	—	—	—	—	—
Tr 9	287.87	—	—	—	—	—	—	—
Tr 10	282.78	—	—	—	—	—	—	—
Tr 11	287.87	—	—	—	—	—	—	—
Tr 12	187.85	—	—	—	—	—	—	—
Tr 13	187.87	—	—	—	—	—	—	—

Figura 3. Centralizatorul de calcul hidraulic generat automat de HidroCalc.

5.2. Performanța și avantajele dovedite

Testarea comparativă între calculul efectuat prin metoda tabelară clasică și cel rulat prin HidroCalc a evidențiat avantaje majore în favoarea soluției software dezvoltate:



1. **Reducerea timpului de calcul:** Timpul necesar pentru introducerea datelor și obținerea breviarului de calcul complet a fost redus cu peste 80%, datorită extragerii automate a lungimilor și a conexiunilor direct din schema desenată.
2. **Eliminarea erorilor de propagare:** Datorită algoritmului recursiv *Bottom-Up*, posibilitatea omiterii unui debit tranzitat a fost redusă la zero.
3. **Optimizarea hidraulică:** Utilizarea ecuațiilor Darcy-Weisbach și Swamee-Jain a permis determinarea precisă a pierderilor de sarcină și alegerea diametrelor optime din baza de date PEHD, menținând vitezele de curgere în intervalul economic recomandat.

5.3. Concluzii și direcții viitoare

Aplicația HidroCalc demonstrează cu succes că digitalizarea și automatizarea calculului în ingineria instalațiilor hidroedilitare nu este doar un deziderat de eficientizare, ci o necesitate pentru eliminarea erorilor umane și creșterea calității proiectării. Trecerea de la metode empirice, bazate pe nomograme și tabele de echivalenți, la un motor de calcul pur hidraulic, conectat la o interfață grafică interactivă de tip Canvas, reprezintă o contribuție tehnică semnificativă.

Ca direcție viitoare principală, se propune utilizarea și integrarea acestui software în scop didactic, direct în cadrul orelor de proiect și laborator. Prin perfecționarea continuă a platformei și implementarea unor module de calcul pentru sisteme suplimentare de instalații, aliniindu-se la standarde industriale precum cele consacrate de aplicațiile EPA [9], HidroCalc are potențialul de a deveni un instrument interactiv esențial în facultate. Obiectivul pe termen lung este facilitarea procesului de asimilare a cunoștințelor practice și oferirea unui suport tehnic digital robust pentru studenți, care să îi ajute atât în elaborarea rapidă și corectă a proiectelor de an, cât și în redactarea și fundamentarea lucrărilor de licență.

BIBLIOGRAFIE

1. C. Ionescu, *Rețele de alimentare cu apă*, Editura Matrix Rom, București, 2011.
2. ASRO, SR 4163-1:2020 - *Alimentări cu apă. Rețele de distribuție. Prescripții de proiectare*. București: Asociația de Standardizare din România, 2020.
3. ASRO, STAS 1343-1:2006 - *Alimentări cu apă. Determinarea cantităților de apă de calcul*. București: Asociația de Standardizare din România, 2006.
4. M. C. Potter, D. C. Wiggert și B. H. Ramadan, *Mechanics of Fluids*, Ediția a 4-a. Cengage Learning, 2011.
5. R. L. Mott și J. A. Untener, *Applied Fluid Mechanics*, Ediția a 7-a. Pearson, 2014.
6. P. K. Swamee și A. K. Jain, „Explicit equations for pipe-flow problems”, *Journal of the Hydraulics Division*, vol. 102, nr. 5, pp. 657–664, 1976.
7. E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, și J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley, 1994.
8. MDN Web Docs, „Canvas API - Web APIs”, Mozilla Foundation. [Interactiv]. Disponibil: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Canvas_API.
9. L. A. Rossman, *EPANET 2 Users Manual*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 2000.



EFICIENTIZAREA CONSUMULUI REZIDENȚIAL DE ELECTRICITATE DIN ȚARA NOASTRĂ PRIN INTEGRAREA UNOR SISTEME FOTOVOLTAICE ADAPTATE FIECĂREI CATEGORII DE CONSUMATORI

Autori

Cosmin ARDELEAN¹, Daniel BAHNEAN², Bogdan BINDIU³

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: ardeleancosmin41@gmail.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: danielbahnean639@gmail.com

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: bindiubogdan27@gmail.com

Îndrumător

Conf.Dr.Ing. Călin CIUGUDEANU⁴

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

REZUMAT: În contextul actual al creșterii costurilor energetice și al necesității reducerii impactului asupra mediului, utilizarea instalațiilor fotovoltaice reprezintă o soluție viabilă pentru eficientizarea consumului de energie în sectorul rezidențial. Proiectul propus își propune realizarea unui studiu comparativ bazat pe analiza consumului rezidențial, identificarea unor tipologii și simularea unor sisteme fotovoltaice adaptate pentru acestea. Pe baza unei campanii de chestionare și a facturilor de electricitate, a fost analizat consumul rezidențial al diferitelor tipuri de locuințe din România. Centralizarea rezultatelor a permis identificarea unor categorii de consum specifice, fiind identificate câteva tipuri de consumatori. Studiul încearcă să identifice sistemele fotovoltaice optime fiecărui tip de consumatori rezidențiali din țara noastră, prin efectuarea unor simulări a producției fotovoltaice cu ajutorul softului PVGIS 5.3 (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/). Sunt analizate tehnico-economic și propuse sisteme fotovoltaice adaptate fiecărui tip de consum. Prin compararea rezultatelor obținute, studiul evidențiază modul în care eficiența energetică și rentabilitatea investiției diferă în funcție de tipul locuinței, contribuind la identificarea celor mai potrivite soluții pentru fiecare categorie. [4],[5]

Cuvinte cheie: sisteme fotovoltaice, locuințe, eficiență, consum, energie.

1. INTRODUCERE

În societatea modernă, energia electrică reprezintă un element esențial pentru funcționarea gospodăriilor. De la iluminat și electrocasnice, până la sisteme de încălzire, răcire și echipamente electronice, consumul de energie electrică a crescut constant în ultimele decenii. Într-o locuință obișnuită, necesarul de energie variază în funcție de dimensiunea casei, numărul de locatari și tipul echipamentelor utilizate, dar dependența de rețeaua electrică este aproape totală.

Aceste sisteme sunt formate în principal din panouri solare, invertoare și, opțional, sisteme de stocare a energiei. Instalarea panourilor fotovoltaice pe clădiri rezidențiale permite producerea locală de energie, reducând dependența de rețeaua națională și contribuind la un consum mai sustenabil [7].

2. Avantajele sistemelor fotovoltaice

Sistemele fotovoltaice oferă numeroase avantaje, care le fac o soluție modernă și eficientă pentru producerea energiei electrice, precum:

- **Reducerea costurilor la energie electrică**
Panourile fotovoltaice produc energie gratuită din radiația solară, ceea ce duce la scăderea facturilor lunare. Pe termen lung, investiția inițială se amortizează.
- **Sursă de energie regenerabilă și inepuizabilă**
Energia solară este disponibilă zilnic și nu se epuizează, spre deosebire de combustibilii fosili.
- **Protecția mediului**
Sistemele fotovoltaice nu produc emisii de CO₂ sau alte substanțe poluante în timpul funcționării, contribuind la reducerea efectului de seră.
- **Independență energetică**
Producerea energiei proprii reduce dependența de rețeaua electrică și de fluctuațiile prețurilor la energie.
- **Costuri reduse de întreținere**
Panourile au o durată de viață mare (20–30 ani) și necesită întreținere minimă (curățare periodică și verificări simple).
- **Posibilitatea stocării energiei**
Energia produsă poate fi stocată în baterii pentru utilizare ulterioară (noaptea sau în zilele înnorate).
- **Creșterea valorii locuinței**
Casele echipate cu sisteme fotovoltaice sunt mai atractive pe piața imobiliară.
- **Acces la programe de finanțare**
În multe țări (inclusiv România), există programe de sprijin pentru instalarea panourilor, cum ar fi subvenții sau fonduri nerambursabile [7],[8],[10].

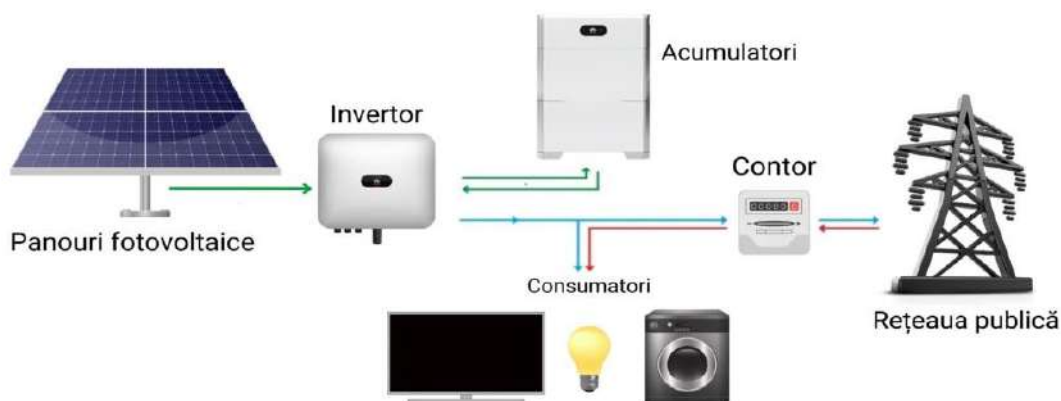


Figura 1. Schema panourilor fotovoltaice

3. Simularea sistemelor fotovoltaice pe diferite tipuri de imobile rezidențiale

- A. Imobile rezidențiale mici – pana la 55 mp și 2 persoane
 - B. Imobile rezidențiale medii – pana la 90 mp și 4 persoane
 - C. Imobile rezidențiale mari – pana la 120 mp și 4 persoane
 - D. Imobile rezidențiale mari cu prize de încărcare auto
 - E. Imobile rezidențiale mari cu pompa de căldura și prize de încărcare auto
- Am ajuns la aceste categorii de imobile rezidențiale în urma analizei a 75 de chestionare. Chestionarele au fost completate de către colegii noștri de la Facultatea de Inginerie a Instalațiilor.

A. Imobile rezidențiale mici – pana la 55 mp și 2 persoane.

- Primul imobil rezidențial pentru care facem simularea este o casă de 55 mp, unde locuiesc doi pensionari cu un consum anual total de 1309,3 kWh și media lunară de 109,11 kWh. Consumatorii sunt cei clasici, sistemul de iluminat, electronicele și electrocasnicele. La acest tip de casă este propus montarea unui sistem de 1,78 kWp care produce anual 2074,5 kWh. În acest scenariu, costul anual al energiei electrice este de 2043 lei. Costul montării unui sistem fotovoltaic de puterea necesară calculată anterior este de aproximativ 9500 lei cu posibilitatea de a primi subvenție prin diferite programe, precum „Casa verde”. Diferența dintre producție și consum este de 765,2 kWh pe an. Prin contractul de prosumator, beneficiarul poate primi anual aproximativ 497 lei. Având în vedere costul facturii de curent, contractul de prosumator și costul unui sistem fotovoltaic, în aproximativ 4 ani se amortizează investiția sistemului fotovoltaic. [1],[2],[3],[6].

Tabelul 1. Imobil rezidențial mic

Imobil rezidențial mic		
55 m ²		
2 persoane		
Luna	consum [kWh]	producție [kWh]
Ianuarie	135	93
Februarie	121	121
Martie	113	185
Aprilie	94	202
Mai	97	217
Iunie	89	224
Iulie	94	237
August	96	233
Septembrie	97	200
Octombrie	108	173
Noiembrie	124	111
Decembrie	142	74
Total anual	1309.30	2069.70
Medie lunară	109.11	172.48

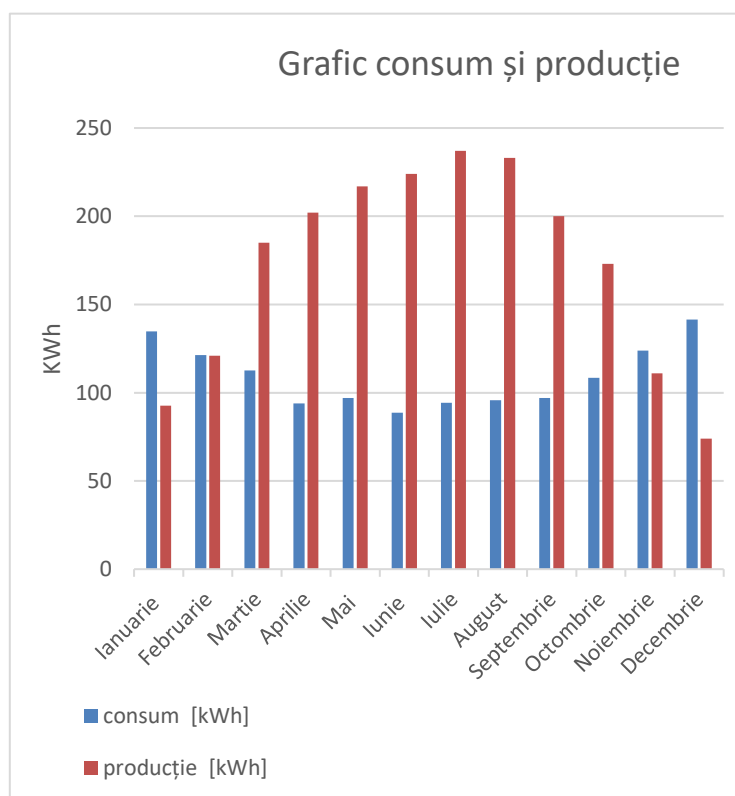


Figura 2. Imobil rezidențial mic



B. Imobile rezidențiale medii – pana la 90 mp și 4 persoane.

- B. Cel de al doilea imobil rezidențial pentru care facem simularea este o casă de 90 mp, unde locuiesc trei persoane, doi adulți și un elev cu un consum anual total de 2384 kWh și media lunară de 198,67 kWh. Consumatorii sunt cei clasici, sistemul de iluminat, electronicele și electrocasnicele. La acest tip de casă este propus montarea unui sistem fotovoltaic de 2,54 kWp care produce anual 2960,25 kWh. În acest scenariu, costul anual al energiei electrice este de 3719 lei. Costul montării unui sistem fotovoltaic de puterea necesară calculată anterior este de aproximativ 14200 lei cu posibilitatea de a primi subvenție prin diferite programe, precum „Casa verde”. Diferența dintre producție și consum este de 576,25 kWh pe an. Prin contractul de prosumator, beneficiarul poate primi anual aproximativ 375 lei. Având în vedere costul facturii de curent, contractul de prosumator și costul unui sistem fotovoltaic, în aproximativ 3 ani și 6 luni se amortizează investiția sistemului fotovoltaic. [1],[2],[3],[6].

Tabelul 2. Imobil rezidențial mediu

Imobil rezidențial mediu		
90 m ²		
4 persoane		
Luna	consum [kWh]	producție [kWh]
Ianuarie	232	132.3
Februarie	212	172.6
Martie	219	264.0
Aprilie	185	288.0
Mai	174	310.0
Iunie	179	320.0
Iulie	166	338.9
August	198	333.8
Septembrie	136	286.4
Octombrie	226	247.5
Noiembrie	222	159.6
Decembrie	235	106.7
Total anual	2384.0	2959.8
Medie lunară	198.67	246.65

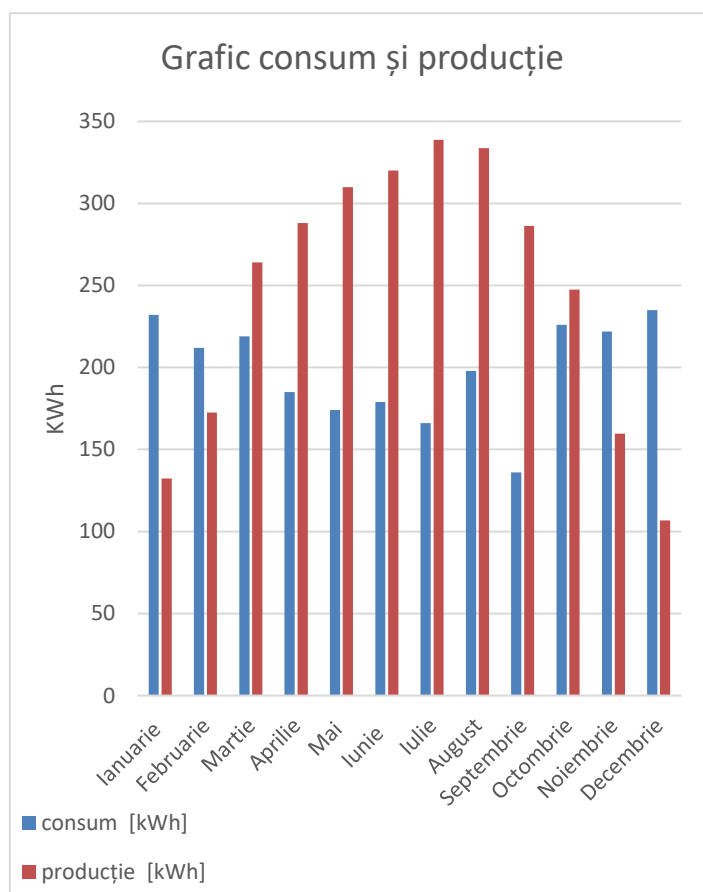


Figura 3. Imobil rezidențial mediu



B. Imobile rezidențiale mari – pana la 120 mp si 4 persoane.

- Cel de al treilea imobil rezidențial pentru care facem simularea este o casă de 120 mp, unde locuiesc patru persoane, doi adulți si doi elevi cu un consum anual total de 4011 kWh și media lunara de 334,25 kWh. Consumatorii sunt cei clasici, sistemul de iluminat, electronicele si electrocasnicele. La acest tip de casă este propus montarea unui sistem fotovoltaic de 4,24 kWp care produce anual 4941,52 kWh. În acest scenariu, costul anual al energiei electrice este de 6257 lei. Costul montării unui sistem fotovoltaic de puterea necesara calculata anterior este de aproximativ 23300 lei cu posibilitatea de a primi subvenție prin diferite programe, precum „Casa verde”. Diferența dintre producție si consum este de 930,52 kWh pe an. Prin contractul de prosumator, beneficiarul poate primi anual aproximativ 605 lei. Având in vedere costul facturii de curent, contractul de prosumator și costul unui sistem fotovoltaic, în aproximativ 5 ani se amortizează investiția sistemului fotovoltaic. [1],[2],[3],[6].

Tabelul 3. Imobil rezidențial mare

Imobil rezidential mare		
120 m ²		
6 persoane		
	consum [kWh]	producție [kWh]
Ianuarie	386	220.9
Februarie	513	288.2
Martie	370	440.7
Aprilie	358	481.2
Mai	364	517.7
Iunie	282	534.3
Iulie	293	565.6
August	274	557.1
Septembrie	268	478.1
Octombrie	277	413.2
Noiembrie	285	266.4
Decembrie	341	178.1
Total anual	4011.00	4941.50
Medie lunară	334.25	411.79

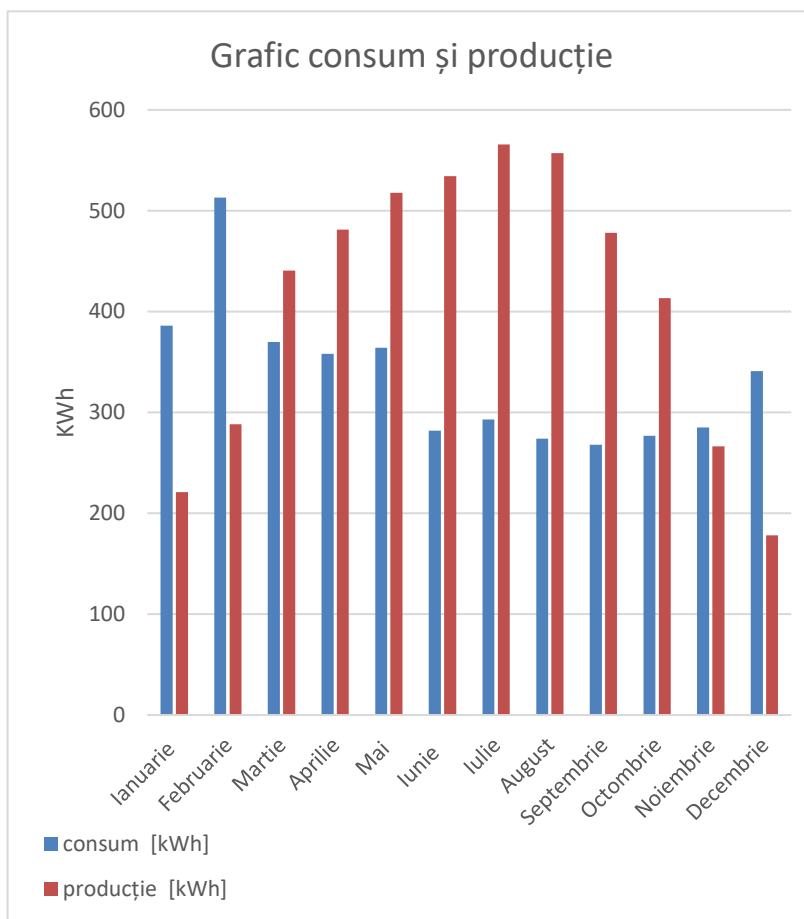


Figura 4. Imobil rezidențial mare

C. Imobile rezidențiale mari cu prize de încărcare auto.

- Cea de a patra casă pentru care facem simularea este o casă de 200 mp, unde locuiesc patru persoane, doi adulți și doi elevi cu un consum anual total de 11842 kWh și media lunară de 986,83 kWh. Consumatorii sunt sistemul de iluminat, electronicele, electrocasnicele, sistem de irigare și o stație de încărcare a mașinilor electrice. La acest tip de casă este propus montarea unui sistem fotovoltaic de 12,52 kWp care produce anual 14591,46 kWh. În acest scenariu, costul anual al energiei electrice este de 18474 lei. Costul montării unui sistem fotovoltaic cu baterie de stocare de puterea necesară calculată anterior este de aproximativ 68900 lei cu posibilitatea de a primi subvenție prin diferite programe, precum „Casa verde”. Diferența dintre producție și consum este de 2749,46 kWh pe an. Prin contractul de prosumator, beneficiarul poate primi anual aproximativ 1787 lei. Având în vedere costul facturii de curent, contractul de prosumator și costul unui sistem fotovoltaic, în aproximativ 5 ani se amortizează investiția sistemului fotovoltaic. [1],[2],[3],[6].

Tabelul 4. Imobil rezidențial cu stație încărcare mașini electrice

D. Imobil rezidențial cu stație de încărcare mașini electrice		
180m ²		
6 pers		
Luna	consum [kWh]	producție [kWh]
Ianuarie	1098	652.1
Februarie	888	851.0
Martie	944	1301.3
Aprilie	938	1420.9
Mai	998	1528.6
Iunie	1200	1577.7
Iulie	1094	1670.3
August	839	1645.1
Septembrie	846	1411.8
Octombrie	882	1220.1
Noiembrie	898	786.7
Decembrie	1217	525.9
Total anual	11842.00	14591.50
Medie lunară	986.83	1215.96

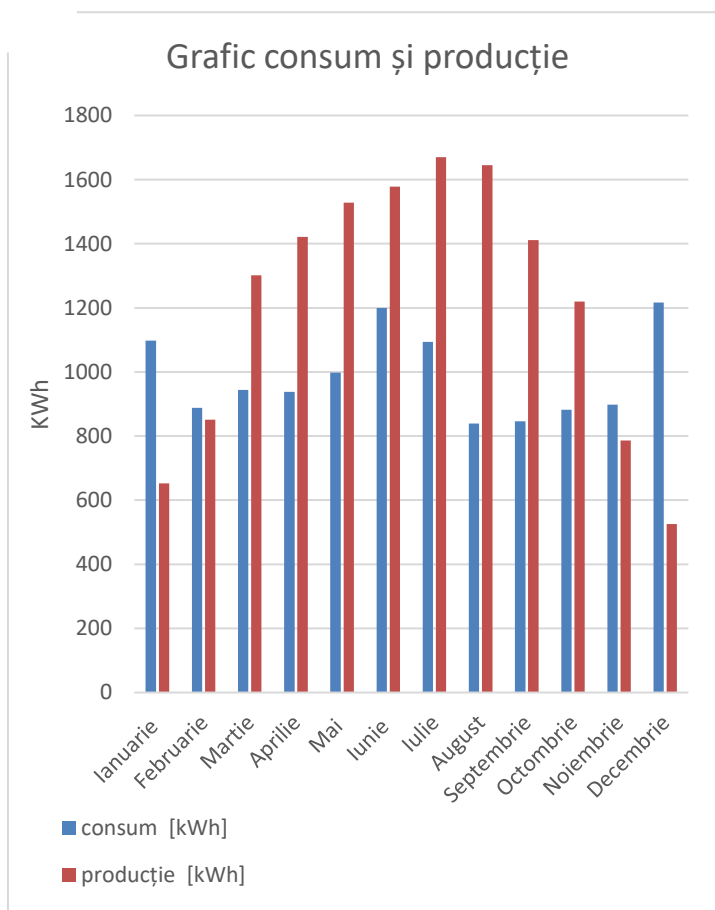


Figura 5. Imobil rezidențial cu stație încărcare mașini electrice

D. Imobile rezidențiale mari cu pompa de căldură și prize de încărcare auto.

- Ultima casă pentru care facem simularea este o casă de 300 mp, unde locuiesc cinci persoane, doi adulți și trei elevi cu un consum anual total de 21675 kWh și media lunară de 1806,25 kWh. Consumatorii sunt sistemul de iluminat, electronicele, electrocasnicele, sistem de irigare, pompa de căldură, stație de încărcare a mașinii electrice, serpentine de încălzire în alea din curte și o piscină de dimensiuni mici. La acest tip de casă este propus montarea unui sistem fotovoltaic de 20 kWp care produce anual 23395,40 kWh. În acest scenariu, costul anual al energiei electrice este de 33813 lei. Costul montării unui sistem fotovoltaic cu baterie de stocare de puterea necesară calculată anterior este de aproximativ 90000 lei cu posibilitatea de a primi subvenție prin diferite programe, precum „Casa verde”. Diferența dintre producție și consum este de 1720,40 kWh pe an. Prin contractul de prosumator, beneficiarul poate primi anual aproximativ 1118 lei. Având în vedere costul facturii de curent, contractul de prosumator și costul unui sistem fotovoltaic, în aproximativ 3 ani se amortizează investiția sistemului fotovoltaic. [1],[2],[3],[6].

Tabelul 5. Imobil rezidențial cu pompă de căldură

Imobil rezidențial cu pompă de căldură și stație de încărcare mașini electrice		
300 m ²		
5 persoane		
	consum [kWh]	producție [kWh]
Ianuarie	2948	966.5
Februarie	2438	1318.5
Martie	2007	2062.3
Aprilie	1288	2314.8
Mai	1118	2508.6
Iunie	1450	2586.6
Iulie	1544	2721.6
August	1289	2668.2
Septembrie	1096	2269.8
Octombrie	1332	1940.1
Noiembrie	1948	1223.0
Decembrie	3217	815.4
Total anual	21675.00	23395.40
Medie lunară	1806.25	1949.62

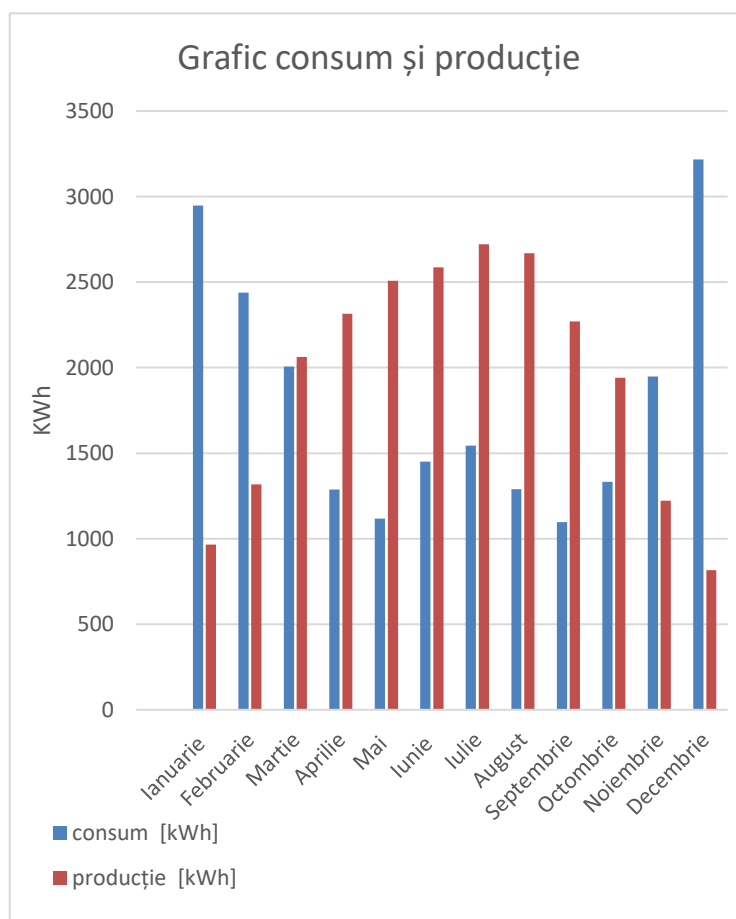


Figura 6. Imobil rezidențial cu pompă de căldură



4. DEZAVANTAJE

Deși energia solară este o resursă regenerabilă esențială pentru tranziția energetică, adoptarea panourilor fotovoltaice implică o serie de compromisuri economice, logistice și de mediu. Dincolo de beneficiile evidente, utilizatorii trebuie să gestioneze costuri inițiale ridicate, dependența de factori climatici și limitările tehnologice actuale privind stocarea energiei. Iată principalele dezavantaje și riscuri:

1. Costul inițial și perioada de amortizare:

Investiția de pornire (achiziția panourilor, invertorului, structurii de montaj și manopera) este substanțială. Chiar dacă prețurile au scăzut, amortizarea investiției durează, în medie, între 5 și 10 ani, în funcție de subvenții și de prețul energiei în rețea.

2. Intermitența și dependența de vreme:

Panourile solare nu produc energie noaptea și au un randament scăzut în zilele noroase sau cu ninsoare abundentă. Această variabilitate necesită fie o conexiune constantă la rețeaua publică, fie investiții suplimentare în sisteme de stocare (baterii), care sunt încă scumpe și au o durată de viață limitată.

3. Riscuri tehnice și de siguranță:

Riscul de incendiu care poate apărea de la instalarea defectuoasă sau defectele de fabricație la nivelul cablajelor și al invertoarelor pot provoca arcuri electrice. Eficiența poate scădea anual cu 0,5%-0,8% din cauza degradării. Grindina de mari dimensiuni sau furtunile extreme pot provoca fisuri care compromit întregul sistem.

5. CONCLUZII

Instalarea unui sistem fotovoltaic în România se dovedește o investiție nu doar rentabilă, ci și strategică pe termen lung. Rezultatele simulărilor indică economii semnificative la factura de energie și reducerea dependenței față de furnizorii tradiționali. Avantajul major constă în capacitatea sistemului de a acoperi consumul propriu, nu în veniturile din energia livrată în rețea.

De asemenea, suprafața necesară pentru instalare crește proporțional cu puterea sistemului, fiind necesară existența unui acoperiș orientat preponderent spre sud pentru maximizarea producției de energie. În medie, este necesară o suprafață de aproximativ 5–6 m² pentru fiecare kWp instalat.

Analiza comparativă realizată pe baza scenariilor de consum și producție evidențiază faptul că eficiența economică maximă este obținută atunci când sistemul fotovoltaic este dimensionat cât mai apropiat de necesarul real de energie al locuinței. În aceste condiții, se maximizează autoconsumul, iar cantitatea de energie livrată în rețea, valorificată la un preț mai redus, este limitată. Perioada de recuperare a investiției, estimată între 2 și 6 ani, a fost determinată prin raportarea costului total al sistemelor analizate la economiile anuale generate din reducerea facturii de energie electrică, la care se adaugă veniturile obținute din surplusul injectat în rețea. Totodată, în urma simulărilor efectuate, s-a constatat că și sistemele fotovoltaice echipate cu baterii se pot încadra în același interval de recuperare, datorită creșterii gradului de autoconsum și valorificării mai eficiente a energiei produse [9].



Pe lângă beneficiile financiare directe, un sistem fotovoltaic contribuie la creșterea valorii imobilului și la stabilitatea bugetului în contextul fluctuațiilor pieței energetice. Energia solară devine astfel o soluție economică solidă, capabilă să ofere predictibilitate pe termen lung [6].

În concluzie, sistemele fotovoltaice reprezintă o investiție inteligentă în independență energetică și stabilitate financiară, a cărei performanță depinde esențial de corelarea corectă între producție și consum.

BIBLIOGRAFIE

1. *Calculator kWp potrivit consumului lunar*, accesat la data de 13.04.2026: <https://www.avest.ro/calculator-sistem-fotovoltaic>
2. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/, accesat la data de 10.04.2026
3. <https://finantari-europene.ro/casa-verde>, accesat la data de 12.04.2026
4. *Normativ privind proiectare, execuția, și exploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor Indicativ I 7-2011*, accesat la data de 01.04.2026
5. *Normativ privind securitatea la incendiu a construcțiilor Indicativ P118-1/2025*, accesat la data de 01.04.2026
6. *Legea nr. 220/2008 pentru promovarea producerii energiei din surse regenerabile*, accesat la data de 01.04.2026
7. <https://panourifotovoltaice360.ro/legislatia-panourilor-fotovoltaice-in-romania-prezentare-general/>, accesat la data de 10.04.2026
8. *Certificări și standarde pentru panouri fotovoltaice (IEC 61215, IEC 61730)*, accesat la data de 11.04.2026 <https://www.energic.ro/certificari-si-standarde-panouri-fotovoltaice/>
9. <https://brig.ro/blog/alegerea-panourilor-fotovoltaice-ghid-complet-consumatori-romani-2026>, accesat la data de 13.04.2026
10. *Legislația privind panourile fotovoltaice în România*, accesat la data de 12.04.2026 <https://energie-sustenabila.ro/legislatia-privind-panourile-fotovoltaice-in-romania/>



SISTEM INTELIGENT DE MONITORIZARE PARAMETRI ȘI CONTROL ACCES BAZAT PE ESP32

Autori

Remus MOLDOVAN¹, Andrei TIA²

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

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:andreitia2003@gmail.com](mailto:andreitia2003@gmail.com)

Îndrumător

Șef lucr. Dr. Ing. Teodor Valeriu CHIRA³

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

REZUMAT: Această lucrare prezintă dezvoltarea unui sistem inteligent bazat pe microcontrolere ESP32, destinat monitorizării parametrilor de mediu și controlului accesului prin tehnologie RFID. Sistemul utilizează senzori de temperatură, umiditate și gaz pentru detectarea condițiilor periculoase, precum și comunicația wireless ESP-NOW pentru transmiterea rapidă a datelor între dispozitive. În cazul detectării unor valori critice, sunt generate alerte sonore și vizuale, iar evenimentele sunt transmise către o bază de date online. Soluția propusă oferă un sistem eficient, scalabil și în timp real pentru aplicații de securitate și automatizare.

Cuvinte cheie: ESP32, control acces, ecran TFT, ESP-NOW, senzor de gaz

1. Introducere

În contextul actual în care asistăm la o dezvoltare accelerată a noilor tehnologii, monitorizarea în timp real a parametrilor care definesc confortul unei încăperi și a controlului accesului constituie o direcție esențială pentru creșterea nivelului de automatizare și siguranță a spațiilor inteligente. În cazul sistemelor tradiționale de securitate care se bazează pe centrale de alarmă cu senzori de mișcare sau sisteme de supraveghere cu camere video conectate la un dispozitiv de înregistrare local, acestea sunt limitate din cauza latenței ridicate în transmiterea datelor către un utilizator sau către sisteme centralizate de tip dispecerat și a lipsei de compatibilitate între sisteme. Totodată, apariția unor riscuri majore în interiorul spațiilor de muncă, precum scăpările de gaze sau accesul unor persoane neautorizate în încăperi cu acces controlat, impune dezvoltarea unor tehnologii fiabile, eficiente energetic și cu latență scăzută de transmitere a datelor către utilizator. Implementarea senzorilor de mediu cu tehnologia de control acces prin intermediul cardurilor RFID oferă posibilitatea dezvoltării unor sisteme care să reacționeze în mod independent în cazul apariției unor situații critice. Microcontrolerele de tip ESP32 s-au adoptat ca o soluție performantă și eficientă, datorită capacităților pe care le posedă și a avantajelor acestora. Ele au o putere ridicată de procesare, conectivitate wireless și un consum scăzut de energie electrică. Protocolul ESP-NOW al microcontrolerelor permite comunicarea directă între două sau mai multe plăcuțe fără a fi nevoie de realizarea unei conexiuni Wi-Fi. În acest fel se reduce semnificativ timpul de răspuns al sistemului și complexitatea acestuia scade, limitându-se posibilitățile de defectare sau de avarie. Prezenta lucrare își propune dezvoltarea și implementarea unui prototip care să se bazeze pe plăcile de



dezvoltare ESP32 și să fie capabil să execute atât monitorizarea parametrilor dintr-un spațiu (temperatură, umiditate, concentrația de gaz metan), precum și accesul prin identificare RFID.

2. Elemente componente

2.1 Placă ESP32

Plăcuța de dezvoltare ESP32 reprezintă componenta principală a sistemului, fiind responsabilă de prelucrarea datelor pe care acesta le primește sau le transmite către alte componente. Totodată, aceasta este responsabilă de gestionarea echipamentelor periferice și realizează comunicația wireless cu alte plăcuțe sau cu un server. ESP32 este un microcontroler dezvoltat de compania Espressif Systems, recunoscut pentru performanțele sale ridicate și consumul redus de energie, fiind utilizat în cea mai mare parte în domeniul Internet of Things (IoT). Se bazează pe un procesor dual-core și deține suport pentru comunicații Wi-Fi, precum și Bluetooth. Microcontrolerul are multiple interfațe hardware, precum GPIO, SPI și I2C, ceea ce îi permite o comunicație ușoară și eficientă între senzori și celelalte echipamente periferice. Inițial am folosit o singură placă ESP32 pentru a prelua datele culese de senzori și a le încărca într-o bază de date online. Ulterior, am dorit să adăugăm afișarea datelor și pe un ecran TFT, dar am constatat că nu mai avem suficienți pini digitali disponibili, astfel încât s-a impus adoptarea unei soluții cu două plăci ESP 32, de tip Wemos D1 R32. Am ales acest tip de plăcuțe de dezvoltare deoarece suportă protocolul de comunicație ESP-NOW, care permite transmiterea directă a informațiilor între dispozitive. Acest protocol de comunicație ne ajută să reducem latența transmiterii datelor și să creștem fiabilitatea sistemului. De asemenea, placa se poate conecta la o rețea Wi-Fi externă și poate transmite informațiile către diferite baze de date. [1]

2.2 Ecran TFT SPI LCD 240x320 model ST7789

Ecranul TFT SPI este utilizat în cadrul prototipului pentru a afișa datele primite de la o plăcuță ESP32 în timp real. Acesta reprezintă interfața de interacțiune cu utilizatorul, permițând vizualizarea și afișarea rapidă a parametrilor aflați sub monitorizare, precum și a stării sistemului. Ecranul utilizează tehnologia TFT, care oferă avantajul redării unor imagini color (65K) cu o rezoluție de 240x320 de pixeli. În acest mod se oferă o mai bună claritate și o interfață mai prietenoasă pentru utilizator. Ecranul comunică cu plăcuța ESP32 prin intermediul interfeței SPI care ne ajută să reducem semnificativ numărul de pini utilizați de pe plăcuță și să asigurăm o transmisie rapidă a datelor. Ecranul afișează informații despre parametrii aerului din încăperea în care sunt amplasați senzorii, precum și stările sistemului de control acces („permis” sau „respins”), reprezentate prin culori diferite. Am ales să implementăm acest tip de ecran deoarece are o mărime potrivită pentru aplicația noastră și poate suporta comenzi tactile (touchscreen). [2]

2.3 Modulul RFID-RC522

Modulul RFID este utilizat în cadrul sistemului pentru a identifica utilizatorii și a controla accesul în zona monitorizată. Acesta are la bază tehnologia RFID (Radio Frequency Identification) care permite citirea și identificarea unor date stocate sub formă de un cod pe



diferite carduri sau tag-uri fără contact. Comunicația cu ESP32 se face prin intermediul interfeței SPI, asigurând o legătură rapidă și eficientă. Modulul RFID are rolul de a extrage identificatorul unic (UID) al cardurilor care sunt apropiate de acesta și de a le compara cu o valoare prestabilită aferentă unui card autorizat. [3]

2.4 *Releul SDR-05VDC-SL-C*

Releul este utilizat în cadrul sistemului de control acces pentru a acționa elementul de execuție al ușii, care în cazul nostru este o yală electromagnetă. El este utilizat pentru a alimenta sau a întrerupe alimentarea cu energie electrică a elementului de execuție, în funcție de deciziile luate de microcontroler pe baza codurilor de identificare ale cardurilor utilizate. Releul electromagnet se alimentează direct de la plăcuță, cu tensiunea de 5 V. Acesta funcționează prin intermediul unei bobine electromagnetice, care determină schimbarea poziției unui contact intern. În acest fel se realizează schimbarea între stările ON și OFF ale circuitului controlat. Releul ne permite să separăm circuitul de automatizare de circuitul de alimentare al elementului de execuție și este activat doar în cazul validării unui card RFID autorizat. [4]

2.5 *Senzor de gaze MQ2*

Senzorul de gaze MQ2 are rolul de a detecta concentrația de gaze inflamabile din mediul în care este amplasat, contribuind la creșterea nivelului de siguranță. Senzorul este sensibil la gaz metan, fiind utilizat la detectarea scurgerilor de gaze. Senzorul funcționează pe baza variației rezistenței electrice a unui element sensibil în prezența gazelor pe care le detectează. Această variație este convertită într-un semnal analogic care poate fi citit și interpretat de microcontrolerul ESP32 prin intermediul unui pin analogic. Valoarea pe care senzorul o citește este direct proporțională cu concentrația de gaz din aer. În cadrul proiectului, senzorul MQ2 este conectat la o plăcuță ESP32 și monitorizează în mod constant și neîntrerupt nivelul concentrației de gaz. În momentul în care senzorul citește o valoare care depășește pragul maxim stabilit, se declanșează alerte acustice și vizuale, precum și un mesaj de alarmă pe ecranul TFT. După revenirea concentrației de gaz la valori normale, sistemul transmite un mesaj care indică dispariția pericolului. [5]

2.6 *Senzor de temperatură și umiditate DHT11*

Senzorul DHT11 este utilizat pentru măsurarea temperaturii și umidității aerului, oferind informații esențiale despre condițiile de mediu din spațiul monitorizat. Acesta este un senzor digital, care cuprinde atât un element de detecție a umidității, cât și un termistor pentru măsurarea temperaturii. Senzorul transmite datele către plăcuța ESP32 sub formă digitală, utilizând un protocol de comunicație specific pe un singur fir de date. Această abordare simplifică conexiunile și reduce numărul de pini utilizați. Senzorul de temperatură și umiditate este conectat la o plăcuță ESP32 și realizează citiri periodice (la un interval de 5 secunde). Valorile obținute sunt trimise și afișate pe ecranul TFT. [6]



2.7 Yală electromagnetică

Yala electromagnetică este utilizată în cadrul sistemului pentru controlul fizic al accesului într-un spațiu securizat. Aceasta reprezintă elementul de execuție final, care permite sau blochează deschiderea unei uși în funcție de cardul de acces utilizat. Funcționarea yalei se bazează pe un solenoid. În mod normal aceasta se află într-o stare blocată, iar alimentarea bobinei electromagnetice determină deblocarea mecanismului, permițând deschiderea ușii. Astfel, controlul accesului se realizează prin aplicarea sau întreruperea tensiunii de alimentare. În cadrul prototipului, yala este controlată indirect de către placa ESP32 prin intermediul releului, deoarece aceasta nu poate furniza curentul necesar acționării.

2.8 Alte elemente componente

Pe lângă elementele principale ale prototipului, au mai fost utilizate o serie de elemente auxiliare esențiale pentru funcționarea corectă a acestuia și pentru o interacțiune mai plăcută cu utilizatorul. Acestea includ firele de conexiune, buzzer-ul, LED-urile și rezistențele de 220 Ω asociate acestora. Firele de conexiune au rolul de a realiza legăturile electrice între elementele componente ale prototipului. Buzzer-ul este utilizat pentru semnalizarea acustică a diferitelor evenimente din sistem. Acesta emite semnale sonore distincte în funcție de starea sistemului, contribuind la informarea utilizatorului în timp real. LED-urile sunt utilizate pentru a semnaliza vizual alertele.

3. Modul de funcționare

Prototipul este alcătuit din două plăcuțe bazate pe microcontrolerele ESP32 care comunică între ele prin intermediul protocolului ESP-NOW. În funcție de rolul lor, au fost implementate două scenarii.

Scenariul 1

Placa 1 colectează datele de la senzori și le trimite prin intermediul conexiunii Wi-Fi către o bază de date online, iar către placa 2, prin intermediul protocolului ESP-NOW. Tot placa 1 gestionează modulul cu releu care deschide yala electromagnetică, precum și sistemul de avertizare cu alarme acustice și vizuale. Ca urmare, placa 2 are doar rolul de a afișa datele pe ecranul TFT (vezi Figura 1).

Funcționarea sistemului se bazează pe colectarea datelor de la senzori, procesarea acestora și transmiterea informațiilor în timp real. Placa 1 are rolul de a monitoriza mediul în care este amplasată și de a gestiona accesul utilizatorilor. Aceasta citește la intervale de 5 secunde valorile de la senzorul de temperatură și umiditate, precum și concentrația de gaz din încăpere. În paralel, modulul RFID verifică dacă în apropierea lui se află un card de acces, extrăgând identificatorul unic al acestuia (UID) și comparându-l cu unul prestabilit. Dacă valoarea citită corespunde unui card autorizat, accesul este permis și yala electromagnetică se deschide temporizat prin intermediul releului electromagnetic. În același timp sunt generate semnale vizuale (LED) și sonore (buzzer) pentru confirmarea acțiunii. În cazul în care se citește un card neautorizat, accesul este respins și utilizatorul va fi anunțat prin intermediul semnalelor specifice. Simultan, microcontrolerul monitorizează nivelul concentrației de gaz din încăpere.

Dacă se detectează o valoare care depășește o anumită limită maximă (1500 ppm, impusă prin codul sursă), se declanșează o alertă. Buzzer-ul va emite un semnal sonor continuu și sistemul transmite un mesaj de avertizare. Aceste acțiuni persistă până la revenirea concentrației de gaz din încăperea sub pragul limită setat.

Toate datele colectate, inclusiv codul UID al cardurilor, statusul accesului, temperatura, umiditatea și concentrația de gaz sunt transmise de unitatea emițătoare 1 către unitatea receptoare 2 prin protocolul de comunicare ESP-NOW. În acest fel se asigură o comunicație stabilă și fără latență mare. Plăcuța receptoare 2 primește informațiile și le procesează în timp real. Datele sunt afișate pe ecranul TFT sub forma unor mesaje tip text. Așa cum am menționat anterior, plăcuța 1 este conectată la o rețea Wi-Fi, permițând în acest fel transmiterea datelor către o bază de date online (am ales *Firebase*), unde acestea sunt stocate pentru monitorizare și analiză ulterioară. [7]

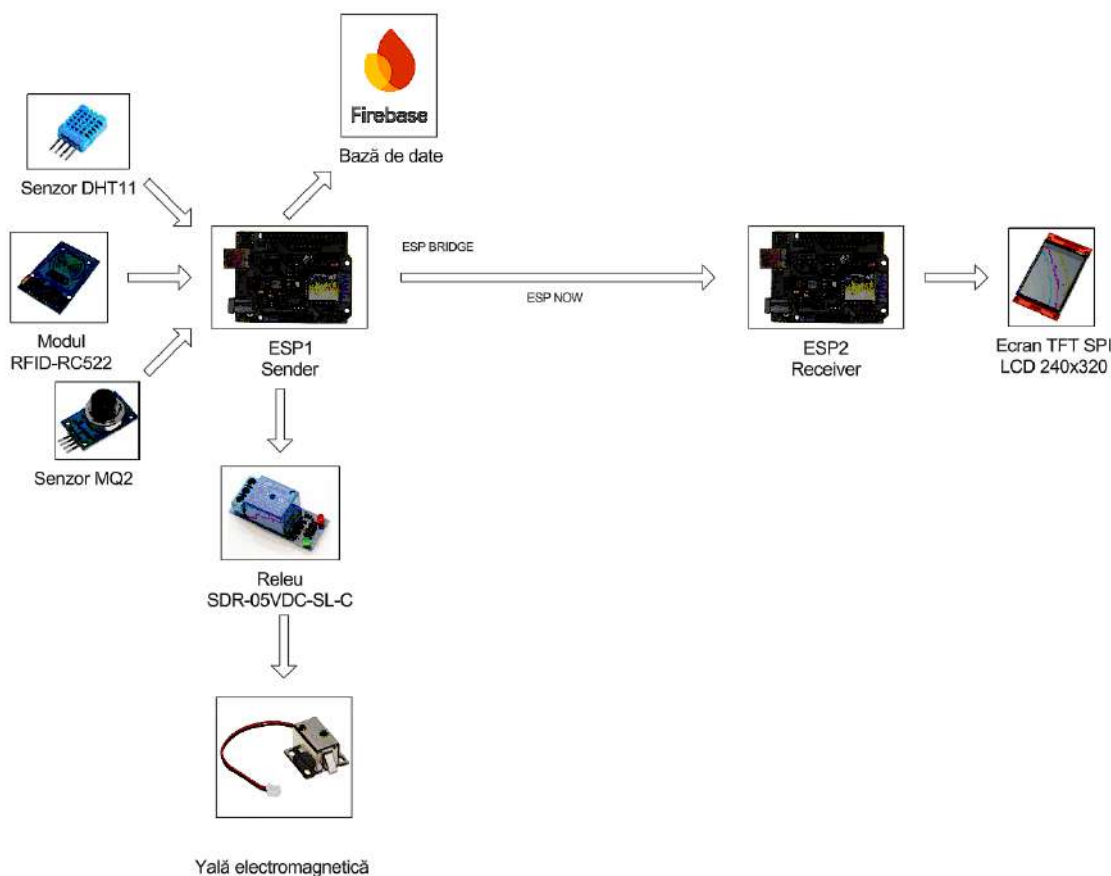


Figura 1. Schema de funcționare a prototipului din scenariul 1

Scenariul 2

Placa 1 are rolul unui „sensor node”, colectând datele de la senzori și trimițându-le prin intermediul protocolului ESP-NOW către placa 2. Placa 2 are rol de „server”, adunând datele de la sensor node și trimițându-le către baza de date online Firebase, dar și către ecranul TFT conectat la ea. Tot placa 1 gestionează modulul cu releu care deschide yala electromagnetică, precum și sistemul de avertizare cu alarme acustice și vizuale. (vezi Figura 2).

Preferăm acest scenariu deoarece permite o separare mai clară a rolurilor celor două plăcuțe, partea de senzori fiind net separată față de partea de comunicație a datelor. De asemenea, permite o extindere facilă cu mai multe plăcuțe în rolul de sensor node, care se pot amplasa, de exemplu, în mai multe încăperi diferite dintr-o clădire. Această configurație („many to one”) respectă cel mai bine conceptele teoretice ale sistemelor automate de conducere ierarhizată. [8]

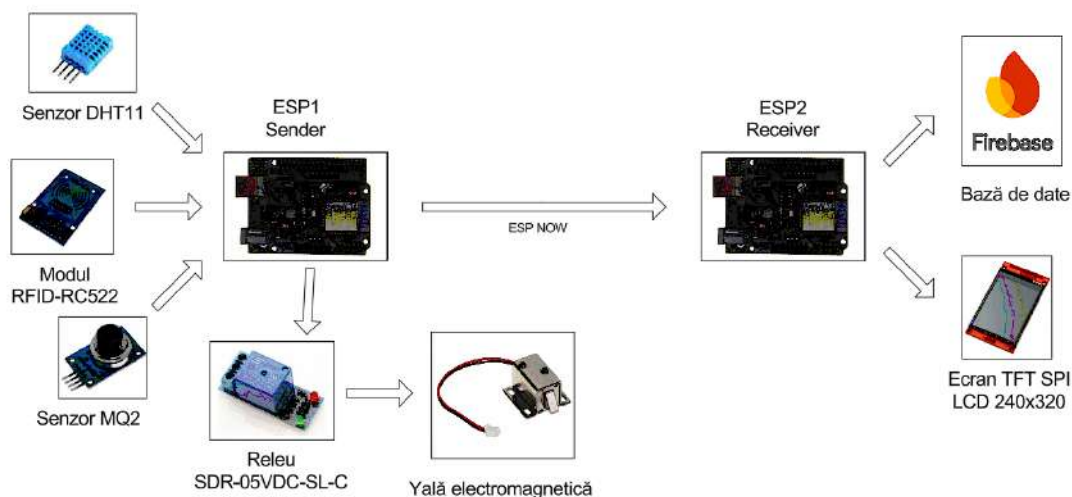


Figura 2. Schema de funcționare a prototipului din scenariul 2

ESP-NOW permite plăcilor să comunice printr-un semnal asemănător unui semnal Wi-Fi, dar în acest caz plăcile comunică direct, nu prin intermediul unui router. Fiecare placă este identificată printr-o adresă de bază MAC unică. Eliminarea router-ului permite construirea unei rețele “mesh” formată din mai multe dispozitive individuale compatibile ESP-NOW, care pot comunica între ele direct sau pot transmite către mai multe dispozitive printr-un singur broadcast. În cadrul ESP-NOW există posibilitatea nu doar de a trimite și primi date, ci și de a primi un mesaj de confirmare care indică dacă o transmisie a fost recepționată sau nu, permițând retransmiterea mesajului dacă este necesar. De asemenea, eliminând rețeaua Wi-Fi, viteza de transmitere a datelor crește semnificativ. Chiar dacă ESP-NOW nu este conectat direct la internet, una dintre plăcile conectate la ESP-NOW se poate conecta în același timp și la internet pentru a transmite datele către o bază de date online. Un dezavantaj major al sistemului ESP-NOW este faptul că dimensiunea pachetelor de date este limitată la 250 biți. În plus, trebuie cunoscută adresa MAC a fiecărui dispozitiv, lucru care devine complicat în cazul unui sistem cu mai multe plăci. Pentru a rezolva această problemă se pot crea adrese MAC personalizate direct din cod.

De asemenea, plăcile se pot conecta și în mod broadcast. În modul broadcast toate plăcile transmit informația la o singură adresă broadcast. Astfel, fiecare placă transmite același pachet de date tuturor plăcilor din raza de acoperire, necunoscând numărul acestora sau dacă acestea au primit informația. Alte dezavantaje ale modului broadcast includ faptul că datele transmise nu pot fi criptate și faptul că orice dispozitiv care cunoaște adresa broadcast se poate conecta neautorizat la sistem, fiind capabil să culegă informații și să transmită date. Totuși, Broadcast ESP-NOW permite mai multor plăci să fie conectate într-un singur sistem. De asemenea,

conectarea și adăugarea unor dispozitive noi în sistem devine mult mai ușoară, nefiind nevoie de adresele MAC ale tuturor plăcilor. [9]

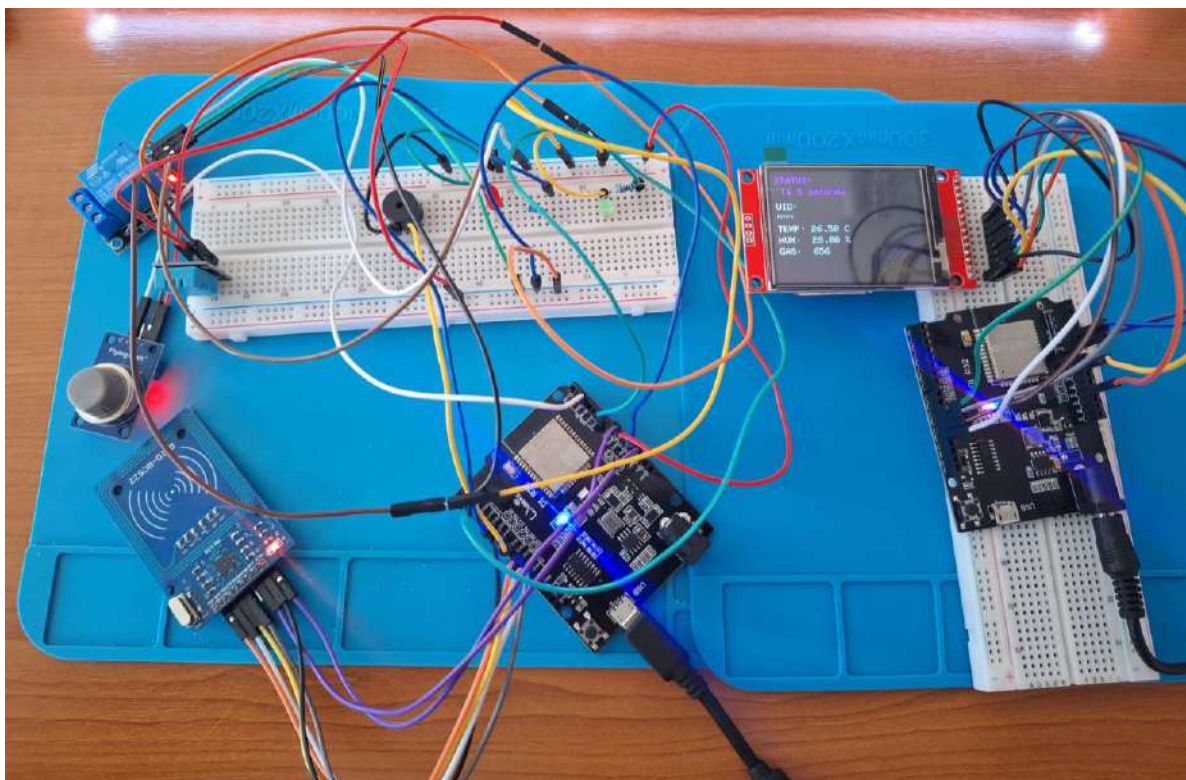


Figura 3. Realizarea montajului

4. Testarea prototipului

Pentru a evalua performanța prototipului în ambele scenarii, am efectuat o serie de teste în medii controlate, concepute pentru a imita condiții reale de utilizare. Scopul testării a fost de a evalua capacitățile sistemului de a transmite datele reale de temperatură, umiditate, concentrație de gaz către baza de date online și către ecranul TFT, precum și alertele de acces și gaz.

După ce am finalizat montajul și am dezvoltat partea de cod, am trecut la faza de testare. Primele teste în scenariul 1 au fost efectuate doar cu modulul RFID și baza de date online pentru a verifica sistemul de control acces. Următoarele teste s-au realizat după ce am legat senzorul de gaz, astfel trimițând și alertele de gaz către baza de date. În această etapă, rezultatele au fost corespunzătoare scopului propus, alertele generate de senzorul de gaz au fost transmise într-un timp redus și sistemul nu a generat alerte false. Al treilea rând de teste a urmat când am legat senzorul de temperatură și umiditate pe prototip și am început să transmitem datele de temperatură, umiditate și gaz către display-ul TFT, la un interval de 5 secunde. Am observat că sistemul transmite date precise și se actualizează în intervalul dorit. Următorul pas a fost să transmitem pe ecranul TFT atât parametrii menționați anterior, cât și evenimentele speciale – acces permis, acces respins, alertă gaz. Sistemul a reacționat bine, toate evenimentele speciale fiind redată pe ecranul TFT, lasând vizibili și parametrii doriți (vezi Figura 4). Ultimul pas în dezvoltarea prototipului a constat în transmiterea parametrilor de temperatură, umiditate și gaz în baza de date online. Pentru stocarea și gestionarea datelor generate de sistem a fost aleasă

platforma Firebase Realtime Database, datorită accesibilității și integrării facile cu aplicațiile bazate pe microcontrolere.



a - afișaj acces permis



b - afișaj alertă gaz

Figura 4. Textul afișat pe ecranul TFT în funcție de evenimentele înregistrate

Totodată, Firebase oferă sincronizarea în timp real a datelor, permițând actualizarea instantanee a informațiilor transmise de sistem. Pentru a utiliza mai comod datele stocate în Firebase, am realizat și o interfață HTML care poate fi personalizată, folosind diferite culori și fonturi (vezi Figura 5).

ESP32 // Serial Monitor		CONNECTED - Firebase SSE
Firebase: Watch		
Lines 27	Events 26	Status -
UID -	Temp -	Hum -
Gas -	ID -	
FILTER INFO ON WARN ERR DATA RFID		
0001	17:17:06.503	[INFO] Connecting to: https://rfid-17e53-default-rtdb.europe-west1.firebaseio.com/.json
0002	17:17:06.686	[DATA] path: / logs: "[object Object]" sensor: "[object Object]"
0003	17:17:08.590	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 28 05_gas: 631
0004	17:17:13.706	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 630
0005	17:17:23.852	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 645
0006	17:17:28.878	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 622
0007	17:17:33.986	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 627
0008	17:17:38.998	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 634
0009	17:17:44.025	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 637
0010	17:17:49.148	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 648
0011	17:17:53.966	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 631
0012	17:17:59.313	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 638
0013	17:18:04.297	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 641
0014	17:18:09.414	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 624
0015	17:18:14.452	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 640
0016	17:18:16.566	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "23227EFA" 02_status: "PERMIS" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 749
0017	17:18:19.101	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "F39A96FD" 02_status: "RESPINS" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 655
0018	17:18:20.289	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 669
0019	17:18:25.488	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 659
0020	17:18:30.897	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 608
0021	17:18:35.645	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 622
0022	17:18:40.690	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 27 05_gas: 646
0023	17:18:45.777	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 595
0024	17:18:50.804	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 644
0025	17:18:55.914	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 640
0026	17:19:00.924	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 614
0027	17:19:06.052	[DATA] path: /sensor/data 01_uid: "Citiri" 02_status: "la 5 secunde" 03_temp: 29.3 04_hum: 26 05_gas: 597

Figura 5. Afișajul datelor în baza de date stocată pe IP local

După încheierea cu succes a testelor din scenariul 1, am trecut la testarea scenariului 2, care a decurs fără probleme majore. Totuși trebuie menționat faptul că a trebuit să modificăm



semnificativ codul în condițiile scenariului 2, pentru a respecta noua arhitectură și rolurile diferite ale celor două plăcuțe.

5. Concluzii și direcții viitoare de cercetare

În urma realizării prototipului, s-a demonstrat posibilitatea dezvoltării unui sistem integrat bazat pe microcontrolere ESP32, capabil să combine monitorizarea parametrilor de mediu cu controlul accesului în zone protejate. Utilizarea protocolului ESP-NOW a permis realizarea unei comunicații rapide și eficiente între cele două unități, fără dependență de o rețea complexă. Sistemul implementat oferă funcționalități relevante pentru aplicații din domeniul securității și automatizării, precum detectarea situațiilor periculoase, notificarea în timp real și controlul fizic al accesului. Integrarea cu o bază de date online permite stocarea și analizarea datelor, contribuind la extinderea capacităților sistemului.

În ceea ce privește direcțiile viitoare de cercetare, există multiple posibilități de îmbunătățire și extindere a sistemului. O primă direcție constă în valorificarea funcției de touchscreen a ecranului TFT utilizat, ceea ce ar permite implementarea unei interfețe cu butoane virtuale sau care să afișeze grafice de variație a parametrilor în timp real. Astfel, utilizatorul ar putea naviga prin meniuri, vizualiza istoricul datelor sau controla anumite funcții ale sistemului direct de pe display.

O altă direcție de dezvoltare o reprezintă schimbarea arhitecturii de comunicație. De exemplu, în scenariul 1, datele colectate de unitatea sender ar putea fi transmise direct către baza de date online, urmând ca unitatea receiver să le preia ulterior din cloud. Această abordare ar permite decuplarea dispozitivelor, nu ar mai folosi protocolul ESP-NOW și ar facilita extinderea sistemului la un număr mai mare de noduri de comunicație („one to many”).

În altă ordine de idei, sistemul poate fi adaptat pentru utilizarea unei baze de date locale, găzduită pe un server cu adresă IP locală, utilizând pentru afișarea datelor tehnologii web precum HTML. Această soluție ar oferi un control mai mare asupra datelor și ar elimina dependența de servicii externe.

O altă posibilă abordare constă în utilizarea unei biblioteci dedicate WebSerial, care să permită monitorizarea sistemului și afișarea datelor în Web, folosind un „Serial Monitor” online. [10]

În concluzie, lucrarea de față a demonstrat eficiența utilizării microcontrolerelor ESP32 în dezvoltarea unui sistem integrat destinat monitorizării mediului și controlului accesului. Prin combinarea tehnologiilor de identificare RFID, a senzorilor de mediu și a comunicației wireless prin ESP-NOW a fost realizată o soluție capabilă să funcționeze în timp real și să răspundă prompt în diferite situații. Rezultatele obținute evidențiază faptul că sistemul este fiabil, ușor de implementat și adaptabil pentru diverse aplicații din domeniul securității și automatizării. Integrarea cu o bază de date online contribuie la extinderea funcționalităților, permițând stocarea și accesarea informațiilor în mod eficient. În ansamblu, proiectul realizat confirmă potențialul tehnologiilor IoT în dezvoltarea unor soluții moderne, accesibile și scalabile, capabile să îmbunătățească siguranța și confortul utilizatorilor.



Mulțumiri

Autorii doresc să-i mulțumească dlui ing. Adrian Pop pentru unele sfaturi și idei de implementare a codului pentru protocolul ESP-NOW concomitent cu comunicația Wi-Fi.

BIBLIOGRAFIE

1. *ESP32*, [Interactiv]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32>. [Accesat 29 04 2026].
2. *DST7789VW*, [Interactiv]. Available: <https://www.buydisplay.com/download/ic/ST7789.pdf?srltid=AfmBOop-ZuH1kBepbE90NZidq8UgTtoQwJz1sF7vjA4cOtdPIVNwlCW>. [Accesat 29 04 2026].
3. *Module RFID Freenove RFID-RC522*, [Interactiv]. Available: <https://fcc.report/FCC-ID/2A4TN-FN-RFID-RC522/5763723.pdf>. [Accesat 29 04 2026].
4. *SONGLE RELAY*, [Interactiv]. Available: <https://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet.pdf>. [Accesat 29 04 2026].
5. *ArduinoAndMQ2GasSensor*, [Interactiv]. Available: https://projecthub.arduino.cc/m_karim02/arduino-and-mq2-gas-sensor-f3ae33. [Accesat 29 04 2026].
6. *Using DHT11*, [Interactiv]. Available: <https://projecthub.arduino.cc/arcaegecengiz/using-dht11-12f621>. [Accesat 29 04 2026].
7. *ESP32: ESP-NOW Web Server Sensor Dashboard (ESP-NOW + Wi-Fi)*, [Interactiv]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-esp-now-wi-fi-web-server/>. [Accesat 29 04 2026].
8. *A. I. I. R. - Enciclopedia tehnică de instalații*. Manualul de instalații. Sisteme de iluminat, instalații electrice și de automatizare. Ediția a II-a. ISBN: 978-973-85936-9-5, Artecno, 2010, p. 457 (Fig. IV.10.6 - Sistem integrat de conducere ierarhizată a proceselor și serviciilor din clădiri).
9. *ESP-NOW Broadcast Mode*, [Interactiv]. Available: <https://www.digitaltown.co.uk/70ESPNOWBroadcast.php>. [Accesat 29 04 2026].
10. *ESP32 WebSerial: Web-based Remote Serial Monitor*, [Interactiv]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-webserial-library/>. [Accesat 29 04 2026].



EFICIENTIZAREA ȘI SCALABILITATEA UNUI PROTOTIP ECOLOGIC DE STOCARE A SURPLUSULUI DE ENERGIE

Autori

Radu-Ionuț ARCIUDEAN¹, Mario-Eduard SERAFIM²

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: marioserafim310@gmail.com.

Îndrumător

S.I. Dr. Ing. Adriana HĂDĂREAN

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

REZUMAT: *Lucrarea propune dezvoltarea și implementarea unui prototip care dispune de capacitatea stocării energiei electrice, care se bazează pe principiul stocării surplusului folosind gravitația, cunoscut sub denumirea de „baterie gravitațională”. Studiul analizează soluția ca alternativă ecologică pentru valorificarea surplusului de energie provenit din surse regenerabile, concentrându-se pe evaluarea sustenabilității, fezabilității și aplicabilității practice atât în mediul industrial, cât și în cel rezidențial.*

Cuvinte cheie: sisteme de energie electrică, stocarea energiei, baterie gravitațională.

1. Introducere

Tranziția către sursele de energie regenerabilă a devenit o prioritate critică la nivel global pentru atenuarea schimbărilor climatice. De asemenea stocarea energiei electrice obținute din surse regenerabile într-un mod ecologic s-a transformat rapid într-o necesitate și provocare pentru domeniul energetic. România se bazează pe un mix diversificat de producție, combinând sursele tradiționale cu cele regenerabile și anume:

- Energia Hidroelectrică asigură frecvent între 25% și 35% din producția totală, în funcție de condițiile meteo. [1]
- Energia nucleară: asigură aproximativ 20% din necesarul național, oferind o producție constantă (centrala de la Cernavodă). [1]
- Combustibilii fosili: gaze naturale și cărbune 25% și 30%. [1]
- Sursele regenerabile: eolian (14% - 16%) și solară (5% și 8%). [1]

În ultimii ani, în România au fost dezvoltate numeroase parcuri fotovoltaice, în timp ce rețelele de transport au rămas neschimbate. Această situație a dus la introducerea și utilizarea sistemelor de stocare a energiei produse, precum bateriile BESS - Battery Energy Storage Systems.

Aceasta este metoda principală care atrage cele mai mari investiții în acest moment. Bateriile preiau energia atunci când producția este mare (de exemplu, când bate vântul noaptea sau e soare puternic la prânz) și o eliberează în sistem când cererea atinge un vârf. [2]



Sistemele clasice de stocare a energiei, precum bateriile electrochimice, au deschis calea către soluții alternative, iar în acest context bateriile de tip gravitațional apar ca o opțiune complementară.

Prototipul "Bateriei Gravitaționale (B.G.)" setează obiectivul de a folosi simplitate și eficiență într-un mecanism care are o capacitate impresionantă pentru stocarea surplusului de energie, a diferitor surse. Construcția acestui sistem constă într-un corp structurat la diverse înălțimi cu brațe desfășurate, la capătul cărora se află sisteme de scripeți cu ajutorul cărora se ridică și coboară greutatea. [2] Toate aceste componente ale sistemului, implică ajustarea și perfecționarea acestui prototip pentru diverse scări de utilizare, de la industrial până la rezidențial.

2. Scopul lucrării

Scopul principal al acestei lucrări este evaluarea și demonstrarea viabilității tehnico-economice a unui prototip de "Baterie Gravitațională" propunând o soluție inovatoare de stocare aplicabilă atât în zonele industriale, cât și în micro-rețelele rezidențiale. Pentru atingerea acestui scop, lucrarea urmărește îndeplinirea următoarelor obiective specifice:

- studiul și analiza stadiului actual al implementării B.G. la nivel global, cu scopul de a evidenția limitările fizice pentru adaptarea tehnologiei de stocare gravitațională la nivel industrial cât și rezidențial;
- analizarea și evaluarea scalabilității sistemului B.G. pentru un mini-prototip experimental.

3. Ecuații și expresii matematice folosite pentru calculul de stocare

Principiul fundamental de operare al unui sistem de stocare a energiei prin gravitație (Gravity Energy Storage System - GESS) constă în conversia reversibilă a energiei electrice în energie potențială gravitațională. Capacitatea de stocare a prototipului este direct proporțională cu masa corpului de lucru și cu diferența de cotă (înălțimea netă) pe care aceasta o parcurge.

Energia potențială maximă acumulată de sistem în starea de încărcare completă (când masa se află la cota maximă) este guvernată de ecuația fundamentală a mecanicii clasice, conform relației (1).

$$E_p = m \cdot g \cdot h \text{ [J]} \quad (1)$$

unde E_p = energia potențială; m = masa greutății, g = accelerația gravitațională și h = înălțimea de poziție a greutății.

Viteza de ascensiune și coborâre a masei (v) constituie un parametru fundamental în determinarea regimului de funcționare a bateriei gravitaționale, influențând direct cererea de putere asupra rețelei electrice și se poate calcula cu relația (2).

$$v = \frac{h}{t} \text{ [m/s]} \quad (2)$$

unde v = viteza de ascensiune și coborâre; h = înălțimea de stocare și t = timpul necesar ascensiunii sau coborârii masei.

Puterea utilizată de motor se calculează pornind de la viteza de ridicare a masei și randamentul sistemului. Deoarece motorul trebuie să acopere atât lucrul mecanic, cât și

pierderile (termice, magnetice, mecanice), randamentul apare la numitor. Relația de calcul a puterii utilizată de motor este dată de relația (3).

$$P = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta} \text{ [W]} \quad (3)$$

unde m = masa obiectului; g = accelerația gravitațională; v = viteza constantă de ridicare și η = randamentul global al sistemului de ridicare (adimensional).

Energia totală consumată de motor (E_c) este superioară energiei potențiale utile stocate (E_p), raportul dintre acestea fiind definit de randamentul sistemului de ridicare (η), conform relației (4).

$$E_c = \frac{m \cdot g \cdot h}{\eta} \text{ [J]} \quad (4)$$

unde E_c = energia totală absorbită de la sursă; m = masa obiectului; g = accelerația gravitațională; h = înălțimea pe vertical și η = coeficientul de randament global al subsistemului de încărcare.

Energia netă și Randamentul Sistemului în condițiile reale de funcționare, ciclul de încărcare-descărcare a sistemului este supus pierderilor disipative mecanice (frecarea la nivelul scripetilor și reductorului). Astfel, energia care va putea fi produsă de sistem este evaluată prin aplicarea coeficientului global de eficiență, conform relației (5).

$$E_u = \eta \cdot m \cdot g \cdot h \text{ [J]} \quad (5)$$

unde E_u = energia utilă; η = randamentul sistemului; m = masa greutatei, g = accelerația gravitațională și h = înălțimea de poziție a greutatei.

4. Prototipul bateriei gravitaționale

Bateria gravitațională este un sistem de stocare a energiei care din punct de vedere structural îmbină elemente de inginerie civilă, mecanică și electrică într-un ansamblu coerent.

Un prototip standard, poate fi considerat cel construit și exploatat în vestul Europei de către compania G-Vault (vezi Figura 1). Acest prototip implică o structură de proporții considerabile, care necesită o suprafață de amplasare suficient de mare fiind alcătuită dintr-un cadru portant principal, care poate fi realizat sub forma unui turn. [3]



Figura 1. Prototipul standard [3].

Structura are ca scop principal susținerea încărcărilor verticale, generate de greutatea maselor ridicate, precum și susținerea solicitărilor dinamice apărute în timpul funcționării. În vârful structurii sunt instalate brațe structural orizontale care vor avea o desfășurare desfășurată (asemenea celor de tipul macaralelor) de lungimi mari. [3]

Greutățile, prin care se va stoca surplusul de energie, prin propria masă, pot fi realizate din agregate reciclate. Blocurile sunt ridicate la înălțimi mari (în funcție de permisivitatea zonei prin înălțime, respectiv adâncime) cu ajutorul unor motoare-generatore electrice de mare putere atașate la sisteme de troli (macarale, scripeti, cabluri rezistente din oțel). Timpul de încărcare-descărcare va fi variabil în funcție de înălțime și capacitatea de putere a motorului, iar în cazul descărcării timpul va depinde de necesarul rețelei într-un anumit moment. [4]

Exploatarea unui prototip de baterie gravitațională (un sistem care stochează energie prin ridicarea unei mase și o eliberează prin coborârea acesteia) implică gestionarea unor forțe mecanice considerabile. Deoarece se lucrează cu energie potențială masivă, siguranța trebuie să fie prioritate.

Zonele vizate pentru implementarea acestui sistem sunt zonele industriale – miniere și zonele rezidențiale. Spre deosebire de zonele rezidențiale, zonele industriale au avantajul că sunt zone cu suprafețe întinse și libere pentru activități de producție a electricității din surse regenerabile (vezi Figura 2) precum: i. energie eoliană care transformă energia cinetică a vântului într-o sursă viabilă de producție, ii. energia solară, care datorită instalațiilor de sisteme ale panourilor fotovoltaice valorifică energia luminoasă în sursă de energie. Aceste modalități de producție a energiei au o capacitate impresionantă de generare, iar pentru prototipul unei baterii gravitaționale creează prilejul perfect pentru dezvoltare și exploatare a unei astfel de modalități pentru stocare. [5]



Figura 2. Surse regenerabile care se folosesc pentru B.G. [5].

4.1 Soluție propusă pentru zonele industrial-miniery

Minele dezafectate sau abandonate (vezi Figura 3) sunt exploatări miniere subterane sau de suprafață de diferite proporții din care nu se mai extrag resurse și care au fost închise oficial sau pur și simplu părăsite. Aceste zone pot fi valorificate atât estetic cât și funcțional prin transformarea lor într-o componentă vitală pentru viitorul energiei regenerabile. Deoarece prototipul bateriei gravitaționale, care transformă practic masa unei greutăți în energie, este dependent de înălțime și greutate de dimensiuni mari (vezi Figura 4), se poate crea astfel oportunitatea de exploatare a zonelor abandonate. [6]



Figura 3. Zonă minieră dezafectată [6].



Figura 4. Prototip pentru zone miniere.

Această abordare este una practică și sustenabilă, deoarece valorificarea acestor infrastructuri excluse de exploatare pot avea ca nouă atribuție, servirea în vederea obținerii de energie electrică prin resurse regenerabile. Prin consecință se vor reduce cheltuielile de capital (Capital Expenditure - CapEx) și cheltuielile operaționale (Operating Expenses - OPEX) și de asemenea se pot refolosi materialele din zonele respective. [6]

Avantajele majore ale acestor zone miniere dezafectate sunt:

- Infrastructură existentă: cel mai mare cost al unei baterii gravitaționale subterane este excavarea puțului. Într-o mină abandonată, „gaura” de sute de metri adâncime există deja. Astfel, costurile de capital scad dramatic.
- Conexiunea la rețeaua electrică: minele, fiind foste complexe industriale uriașe, beneficiază deja de stații de transformare și racorduri de mare capacitate la rețeaua națională, eliminând necesitatea construirii de noi linii de înaltă tensiune.
- Longevitate imensă: spre deosebire de bateriile litiu-ion care se degradează în 10-15 ani, o baterie mecanică are o durată de viață estimată la 50 de ani sau mai mult. Cablurile și motoarele pot fi înlocuite ușor, fără a genera deșeuri chimice toxice.
- Impact vizual și ecologic zero la suprafață: totul se întâmplă sub pământ, lăsând suprafața liberă pentru agricultură, natură sau alte dezvoltări urbane

4.2. Soluție propusă pentru zone rezidențiale

O zonă rezidențială este un spațiu urban sau suburban destinat preponderent locuirii, cuprinzând case, apartamente și ansambluri. Independența energetică a propriei case este o schimbare de perspectivă excelentă, casele dotate cu panouri fotovoltaice nu mai sunt o raritate, fiind reglementate și promovate ca proiecte de viitor, devenind rapid un standard.

Dimensionarea unui prototip a bateriei gravitaționale la o mărime de capacitatea unei simple case, nu poate să fie fezabil din cauza caracteristicilor și nevoilor unui asemenea sistem de stocare (dependența de înălțimi mari și blocuri de dimensiuni mari). În consecință, implementarea unui astfel de prototip în arhitectura unei clădiri respectând cerințe de estetică și rezistență nu reprezintă oportunitate și o soluție viabilă. [7]

Dacă se consideră zonele rezidențiale mari (ansambluri de case sau blocuri), care sunt și producătoare de energie regenerabilă din surse naturale cu o capacitate mare, atunci aceste zone pot beneficia de avantajele unui prototip a bateriei gravitaționale denumit Turn Rezidențial (vezi Figura 5). Astfel, se poate amplasa un astfel de prototip într-o zonă strategică (de exemplu

centrul de greutate al cartierului / zonei rezidențiale) și el va stoca surplusul de energie din perioadele scăzute de consum din timpul zilei. Aceasta energie stocată poate fi mai apoi folosită pentru susținerea spațiilor comune, cum ar fi: iluminatul public al străzilor, alimentarea pompelor de apă ale cartierului, irigarea parcurilor sau alimentarea stațiilor de încărcare pentru mașini etc. Structura poate fi realizată sub forma unui turn cu un design simplist și cu izolare fonică, care va avea dimensiuni mult mai reduse în comparație cu soluția industrială, dar suficientă încât să capteze o parte din surplusul de energie.



Figura 5. Turnul rezidențial.

5. Prototip experimental: Mini-prototip a bateriei gravitaționale

În urma studiului prezentat anterior, un mini-prototip de baterie gravitațională a fost de realizat în atelierele Facultății de Inginerie a Instalațiilor UTCN.

Structura mini-prototipului are forma unui turn vertical tip cadru cu un design adecvat și necesar pentru o baterie gravitațională. Principiul de bază al acestui prototip este de ridicare/cădere pe verticală pentru stocarea și eliberarea energiei potențiale prin intermediul unei greutate. Structura este construită din scânduri de cherestea de culoare deschisă (lemn de rășinoase), nefinisat. Îmbinările pieselor s-a realizat cu șuruburi (capetele acestora fiind clar vizibile pe panoul frontal de sus și pe laturile inferioare), subliniind caracterul practic al unui prototip creat într-un atelier.

Elementele principale ale acestei structuri sunt (vezi Figura 6):



Figura 6. Mini-prototip Baterie Gravitațională.

- Baza: este formată dintr-o scândură plană, dreptunghiulară, care asigură amprenta la sol și stabilitatea întregului ansamblu. Pe marginea frontală a bazei se observă o mică șipcă de



lemn atașată, care funcționează ca opritor, element de rigidizare sau zonă de susținere pentru o eventuală platformă de amortizare a greutății la finalul cursei.

- Cadrul central (stâlpii verticali): structura se înalță pe două scânduri laterale lungi de 1 metru. Oferă rezistența necesară pentru susținerea în echilibru a greutății.
- Partea superioară (compartimentul de susținere): în vârful structurii se află o secțiune asamblată sub forma unei cutii, acoperită cu un capac plat din lemn care iese ușor în afara marginilor laterale. Acest compartiment superior are rolul de a oferi rigiditate structurii și de a servi drept suport fix și rezistent pentru mecanismul de conversie a energiei.
- Mecanismul / Ansamblul generator: pe panoul frontal al secțiunii superioare este montat un ansamblu mecanic, predominant din plastic negru. Acest modul conține o cutie de viteze/reductor mecanic (pentru a crește turația) conectată la un mic generator. Din acest modul iese un ax sau un mic tambur de culoare albă. Aici se va înfășura, cablul sau sfoara de care va fi suspendată greutatea, care va fi acționată pe un scripete montat în proximitatea motorului-generator.
- Particularitățile acestui mini-prototip sunt:
 - ✓ *Blocul de greutate*: este reprezentat de o baterie auto, care servește drept sursă de încărcare și în același timp ca element de stocare și generare a energiei potențiale a prototipului.
 - ✓ *Masa utilizată*: a variat în funcție de testul efectuat, de la 10 la 20 kg.
 - ✓ *Înălțimea de lucru*: este înălțimea maximă de elevare a greutății pentru acest prototip adică 1 metru pe axa verticală (h_{max} a mini-prototipului). Aceasta înălțime a rezultat prin scalarea prototipului standard la nevoile experimentului.
 - ✓ *Randamentul motorului*: este 65%. Aceasta valoare indică faptul că doar 65% din energia consumată este transformată efectiv în lucru mecanic util de ridicare.
 - ✓ *Randamentul generatorului*: este 55%. Aceasta valoare indică faptul că 55% din energia cinetică/mechanică primită la coborâre este transformată înapoi în energie electrică utilă.

Cu prototipul realizat s-au efectuat teste, scopul acestor teste a fost de a reproduce procesul prin care motorul consumă energie din rețea pentru a ridica greutatea și a stoca energia potențială și recuperarea energiei prin coborârea gravitațională a greutății, care acționează generatorul (vezi Figura 7).

Rezultatele obținute sunt:

Test 1: pentru o greutate cu masa de 10 kg:

Încărcare (Consum / Urcare)

- Energia potențială: 98.1 J - conform relației (1)
- Timpul de încărcare: 58 s
- Viteza de urcare: 0.017241 m/s - conform relației (2)
- Puterea utilizată de motor: 2.602122 W - conform relației (3)
- Energia totală consumată: 150,9231 J - conform relației (4)

Descărcare (Generare / Coborâre)

- Timpul de descărcare: 66 s
- Viteza de coborâre: 0.015152 m/s - conform relației (2)
- Puterea generată: 0.8175 W - conform relației (3)



- Energia totală generată: 53.955 J - conform relației (5)

Test 2: pentru o greutate cu masa de 15 kg:

Încărcare (Consum / Urcare)

- Energia potențială: 147.15 J - conform relației (1)
- Timpul de încărcare: 71 s
- Viteza de urcare: 0.014085 m/s - conform relației (2)
- Puterea utilizată de motor: 3.188516 W - conform relației (3)
- Energia totală consumată: 226.3846 J - conform relației (4)

Descărcare (Generare / Coborâre)

- Timpul de descărcare: 78 s
- Viteza de coborâre: 0.012821 m/s - conform relației (2)
- Puterea generată: 1.037596 W - conform relației (3)
- Energia totală generată: 80.9325 J - conform relației (5)

Test 3: pentru o greutate cu masa de 20 kg:

Încărcare (Consum / Urcare)

- Energia potențială: 196.2 J - conform relației (1)
- Timpul de încărcare: 92 s
- Viteza de urcare: 0.01087 m/s - conform relației (2)
- Puterea utilizată de motor: 3.280936 W - conform relației (3)
- Energia totală consumată: 301.8326 J - conform relației (4)

Descărcare (Generare / Coborâre)

- Timpul de descărcare: 99 s
- Viteza de coborâre: 0.010101 m/s - conform relației (2)
- Puterea generată: 1.09 W - conform relației (3)
- Energia totală generată: 107.91 J - conform relației (5)

Specificatii prototip		Specificatii prototip		Specificatii prototip	
inaltime h[m]	1	inaltime h[m]	1	inaltime h[m]	1
masa [kg]	10	masa [kg]	15	masa [kg]	20
timp încărcare[s]	58	timp încărcare[s]	71	timp încărcare[s]	92
timp descărcare [s]	66	timp descărcare [s]	78	timp descărcare [s]	99
randament motor	65	randament motor	65	randament motor	65
randament generator	55	randament generator	55	randament generator	55
Date consum		Date consum		Date consum	
Energie potentiala [J]	98.1	Energie potentiala [J]	147.15	Energie potentiala [J]	196.2
Energie consumată [J]	150.9231	Energie consumată [J]	226.3846	Energie consumată [J]	301.8462
Putere utilizata motor[W]	2.602122	Putere utilizata motor[W]	3.188516	Putere utilizata motor[W]	3.280936
Viteza de urcare[m/s]	0.017241	Viteza de urcare[m/s]	0.014085	Viteza de urcare[m/s]	0.01087
Viteza de coborâre[m/s]	0.015152	Viteza de coborâre[m/s]	0.012821	Viteza de coborâre[m/s]	0.010101
Energie generată [J]	53.955	Energie generată [J]	80.9325	Energie generată [J]	107.91
Putere generată [W]	0.8175	Putere generată [W]	1.037596	Putere generată [W]	1.09

Figura 7. Captură calcule Excel.

Rezultatele experimentale centralizate în Figura 7 validează funcționarea prototipului baterie gravitațională, demonstrând o corelație directă între creșterea masei și energia potențială stocată, în timp ce menținerea constantă a randamentelor motorului (65%) și generatorului (55%) confirmă stabilitatea și predictibilitatea sistemului în diferite scenarii de sarcină.



6. Rezultate și discuții

Prin scalarea prototipului standard la dimensiunile de mini-prototip s-au obținut următoarele rezultate:

- capacitatea de stocare (energia potențială acumulată) obținută cu acest prototip este de 301.833 J la o greutate cu masa de 20 kg. Aceasta valoare obținută este energia teoretică maximă stocată de greutate la înălțimea de 1 metru, conform relației (2).
- bilanțul energetic (vezi Figura 8) și randamentul sistemului. Aceasta analiză descompune funcționarea sistemului pe baza parametrilor fizici, a performanțelor individuale ale componentelor și a bilanțului energetic final.

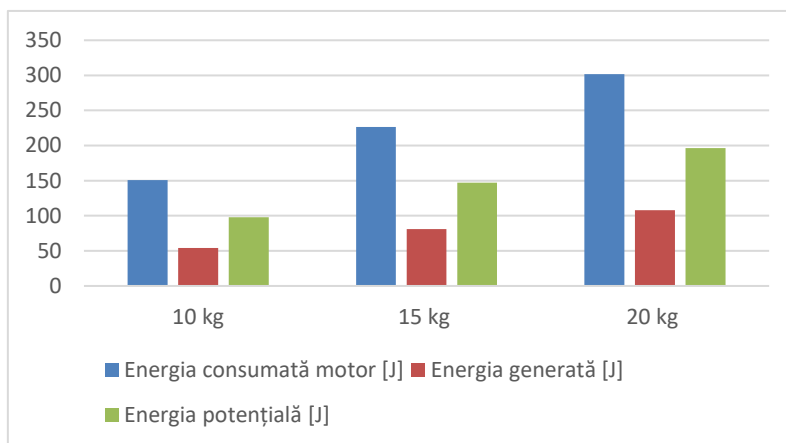


Figura 8. Bilanțul energetic.

Pentru valorile maxime obținute, sistemul introduce 301.833 J pentru a stoca 196.2 J sub formă de energie potențială (din cauza pierderilor de 35% ale motorului). Ulterior, la coborâre, din cei 196.2 J stocați, sistemul reușește să recupereze și să introducă înapoi în rețea 107.91 J (din cauza pierderilor de 45% ale generatorului). Raportul dintre energia finală generată și energia inițială consumată ne dă randamentul global de 35.75%.

7. Concluzii

Sistemul de stocare a energiei regenerabile prin metode ecologice denumit "Baterie Gravitatională" reprezintă o alternativă de viitor care îmbină simplitatea cu eficiență, un proiect de proporții mari, nu este un gadget urban pentru viitorul cartierelor, ci un instrument industrial masiv, robust și extrem de longeviv. Are potențialul de a deveni „coloana vertebrală” a stocării de energie în masă la nivel de rețea națională.

BIBLIOGRAFIE

1. Wikipedia, *Energia electrică în România*, https://ro.wikipedia.org/wiki/Energia_electric%C4%83_%C3%AEn_Rom%C3%A2nia
2. Grant Tree, *The Solution to Green Energy Storage*, <https://granttree.co.uk/blog/innovative/gravity-batteries/>
3. Energy Vault, *Gravity Energy Storage*, <https://www.energyvault.com/products/g-vault-gravity-energy-storage>
4. Manish Sharma, *Gravity Batteries: Powering the Future with the Force of Nature*, <https://www.linkedin.com/pulse/gravity-batteries-powering-future-force-nature-manish-sharma-viiwc/>



5. Electricianul, *Stocare Gravitațională*, <https://www.electricianul.ro/stocarea-gravitationala-energy-vault/>
6. Let`s talk science, *Mines and Mining*, <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/mines-and-mining>
7. Purdue University, *Could a "gravity battery" work in a residential home?*, <https://engineering.purdue.edu/ME/News/2024/could-a-gravity-battery-work-in-a-residential-home>



PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA UNUI PARC FOTOVOLTAIC PENTRU ALIMENTAREA UNUI ANSAMBLU REZIDENȚIAL DE 28 DE LOCUINȚE

Autori

Alina-Paula-Daniela COSTEA1*, Alin Daniel CUCUIET2*, Rareș-Răzvan STOICA3*

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, acostea53@yahoo.com
(autorul_correspondent)

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, alindaniel14@yahoo.com

³Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca,
stoicararesrazvan0022@gmail.com

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Călin CIUGUDEANU

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

REZUMAT: *Se propune proiectarea unui parc fotovoltaic pentru alimentarea unui ansamblu de 28 de locuințe, pornind de la analiza consumului energetic zilnic și sezonier. Pe baza acestor date se dimensionează sistemul, incluzând panouri, invertor și stocare. În contextul creșterii cererii de energie și al reducerii emisiilor de carbon, energia solară reprezintă o soluție durabilă. Metodologia vizează selectarea locuințelor reprezentative și proiectarea unui sistem de generare distribuită. Performanțele sistemului sunt evaluate în funcție de acoperirea consumului. Rezultatele confirmă fezabilitatea și eficiența utilizării energiei solare în sectorul rezidențial.*

Cuvinte cheie: parc fotovoltaic, energie solară, panouri fotovoltaice, invertor, post de transformare.

1. Introducere

În contextul creșterii continue a cererii de energie electrică și al necesității reducerii impactului asupra mediului, utilizarea surselor regenerabile devine o direcție esențială pentru sectorul rezidențial. Energia solară, prin intermediul sistemelor fotovoltaice, oferă o soluție eficientă și sustenabilă pentru acoperirea consumului de energie al locuințelor moderne, în special în condițiile electrificării încălzirii și transportului.

Lucrarea de față are ca obiectiv proiectarea unui parc fotovoltaic destinat alimentării unui ansamblu rezidențial format din 28 de locuințe. Consumul mediu estimat este de aproximativ 625 kWh/lună pentru fiecare locuință, ceea ce conduce la un consum total lunar de 17.500 kWh pentru întregul ansamblu. Astfel, consumul anual total ajunge la aproximativ 210.000 kWh, incluzând și utilizatori suplimentari precum pompele de căldură și stațiile de încărcare pentru vehicule electrice.

De menționat este faptul că fiecare locuință dispune, la nivelul planului de învelitoare, de o terasă, însă din considerente tehnice și constructive nu este posibilă montarea panourilor fotovoltaice la nivel individual. Din acest motiv, soluția optimă o reprezintă realizarea unui parc fotovoltaic comun, dimensionat pentru a acoperi necesarul energetic al întregului ansamblu.



Pentru acoperirea acestui necesar, se propune realizarea unui parc fotovoltaic dimensionat astfel încât să asigure producția anuală corespunzătoare. Spre deosebire de soluțiile clasice orientate exclusiv spre sud, în acest caz se adoptă o configurație est-vest a panourilor fotovoltaice, care permite o distribuție mai uniformă a producției de energie pe parcursul zilei.

Astfel, energia este generată atât în prima parte a zilei (orientare est), cât și în a doua parte (orientare vest), ceea ce conduce la o corelare mai bună cu profilul de consum al locuințelor.

Panourile fotovoltaice, de tip JinKo, sunt montate pe o structură fixă, furnizată de Vergo, cu o înclinare de aproximativ 10–15°, specifică sistemelor est-vest, optimizată pentru utilizarea eficientă a suprafeței disponibile și reducerea efectelor de umbrire. Această configurație permite o densitate mai mare de instalare a panourilor și contribuie la creșterea gradului de autoconsum al energiei produse.

Sistemul include, de asemenea, echipamente esențiale precum invertoare pentru conversia energiei și o stație de transformare necesară racordării la rețea. Dimensionarea exactă a acestor componente urmează să fie stabilită în funcție de puterea instalată și de configurația finală a sistemului. Prin implementarea acestui parc fotovoltaic, se urmărește nu doar acoperirea consumului energetic, ci și creșterea eficienței energetice printr-o utilizare mai bună a energiei produse local, reducând în același timp dependența de sursele convenționale de energie.

2. CARACTERIZAREA ANSAMBLULUI REZIDENȚIAL ȘI ANALIZA CONSUMULUI ENERGETIC

Ansamblul rezidențial analizat este compus din 28 de locuințe individuale, dispuse organizat pe parcele regulate, conform planului de situație. Cartierul beneficiază de infrastructură modernă, incluzând acces rutier, utilități și o rețea electrică dimensionată pentru consumatori contemporani, precum pompe de căldură [1] și stații de încărcare pentru vehicule electrice [2]. Aceste echipamente conduc la un consum energetic mai ridicat față de locuințele tradiționale.

Consumul mediu estimat pentru o locuință este de aproximativ 625 kWh/lună, ceea ce conduce la un consum zilnic de circa 20–21 kWh/zi. La nivelul întregului ansamblu, rezultă un consum total de aproximativ 17.500 kWh/lună, respectiv aproximativ 580 kWh/zi. Raportat la un an, consumul total al cartierului ajunge la aproximativ 210.000 kWh, valoare care include atât consumul casnic de bază, cât și necesarul suplimentar pentru încălzire și mobilitate electrică.

Alimentarea cu energie electrică a ansamblului este realizată prin intermediul unui post de transformare, care asigură conversia energiei din rețeaua de medie tensiune (20 kV) la joasă tensiune (0.4 kV), necesară consumatorilor rezidențiali. Având în vedere integrarea unui parc fotovoltaic destinat acoperirii unei părți semnificative din consum, s-a ales utilizarea unui post de transformare existent cu o putere instalată de 630 kVA [3], care oferă atât capacitatea necesară pentru consumul actual, cât și o rezervă pentru eventuale extinderi sau creșteri ale consumului.

Integrarea parcului fotovoltaic în sistemul energetic al cartierului contribuie la reducerea dependenței de sursele convenționale de energie și la creșterea eficienței energetice. Energia produsă local este utilizată prioritar pentru alimentarea consumatorilor din ansamblu,



surplusul fiind injectat în rețea. Astfel, soluția propusă asigură un echilibru între producție și consum, oferind în același timp flexibilitate și sustenabilitate pe termen lung.

2.1 *Estimarea consumatorilor electrici ai unei locuințe*

Consumul energetic al unei locuințe din cadrul ansamblului rezidențial a fost estimat pe baza principalilor consumatori electrici utilizați în exploatarea curentă a unei case moderne. În calcul au fost incluși atât consumatorii casnici uzuali, cât și echipamente specifice locuințelor eficiente energetic, precum pompa de căldură și stațiile de încărcare pentru vehicule electrice.

Consumatorul principal este reprezentat de pompa de căldură aer-apă, cu un consum estimat de aproximativ 250–300 kWh/lună. Pentru mobilitatea electrică au fost considerate două stații de încărcare pentru vehicule electrice, utilizate alternativ, cu un consum cumulat estimat la aproximativ 150–180 kWh/lună. La acestea se adaugă electrocasnicele uzuale, precum mașina de spălat rufe, mașina de spălat vase, cuptorul electric și plita electrică, care conduc la un consum estimat de aproximativ 100–120 kWh/lună.

De asemenea, consumul de bază al locuinței, incluzând iluminatul LED, frigiderul, echipamentele multimedia, routerul Wi-Fi și alte echipamente aflate în funcționare permanentă, este estimat la aproximativ 50–70 kWh/lună.

În urma centralizării acestor consumatori, rezultă un consum mediu total de aproximativ 625 kWh/lună pentru fiecare locuință, valoare utilizată ulterior pentru dimensionarea sistemului fotovoltaic destinat alimentării întregului ansamblu rezidențial.

2.2 *Analiza simulărilor și dimensionarea sistemului fotovoltaic*

În cadrul acestui capitol au fost analizate rezultatele simulărilor energetice realizate cu ajutorul aplicației PVGIS, utilizând date climatice specifice amplasamentului ales pentru implementarea parcului fotovoltaic. Scopul simulărilor a fost evaluarea performanțelor energetice pentru diferite orientări ale panourilor fotovoltaice și alegerea configurației optime pentru alimentarea ansamblului rezidențial [4].

Pentru analiza comparativă au fost simulate două variante principale:

- sistem fotovoltaic orientat sud, cu puterea instalată de 250 kWp;
- sistem fotovoltaic în configurație est-vest, cu puterea instalată de 250 kWp.

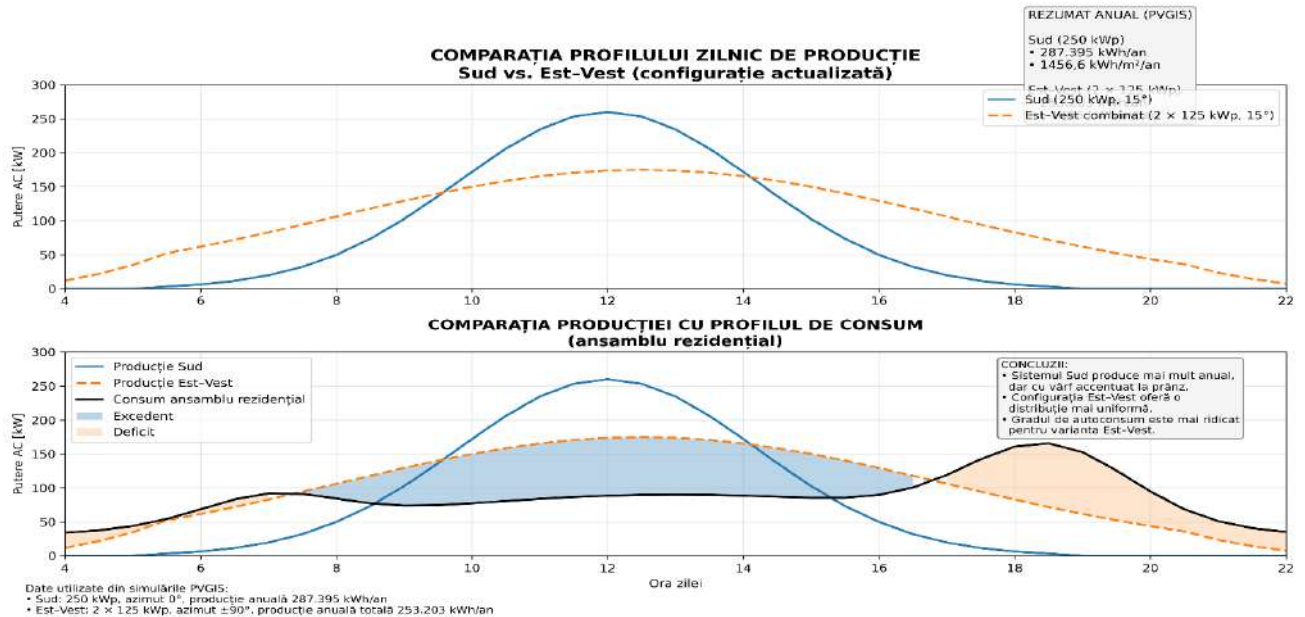


Figura 1. Grafic comparativ între producție și consum

Rezultatele obținute indică faptul că orientarea sudică oferă cea mai mare producție anuală de energie, însă distribuția acesteia este concentrată în intervalul prânzului, ceea ce nu corespunde în totalitate profilului de consum al locuințelor. În schimb, configurația est-vest conduce la o producție ușor mai redusă anual, dar mult mai bine distribuită pe parcursul zilei, acoperind atât consumul din prima parte a zilei, cât și pe cel din intervalul de seară. Această caracteristică contribuie la creșterea gradului de autoconsum și la reducerea energiei injectate în rețea.

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

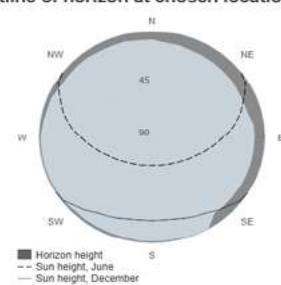
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 46.831, 23.680
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH3
PV technology: Cryst Sil Original
PV installed: 250 kWp
System loss: 14 %

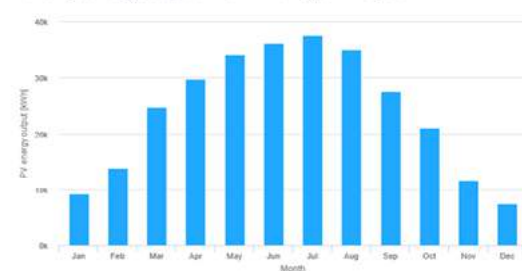
Simulation outputs

Slope angle: 15 °
Azimuth angle: 0 °
Yearly PV energy production: 287395.41 kWh
Yearly in-plane irradiation: 1456.63 kWh/m²
Year-to-year variability: 9621.83 kWh
Changes in output due to:
Angle of incidence: -3.19 %
Spectral effects: 1.16 %
Temperature and low irradiance: -6.29 %
Total loss: -21.08 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

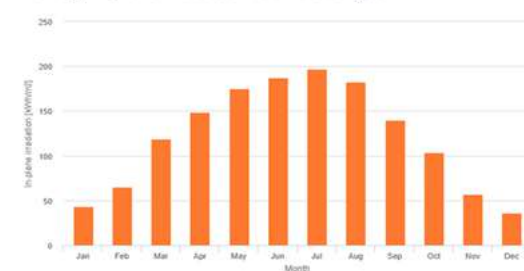


Figura 2. Simulare PVGIS pentru producția anuală cu orientare sud



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

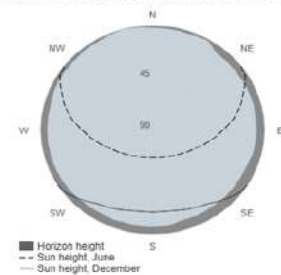
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 46.828,23.715
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH3
PV technology: Cryst Sil Original
PV installed: 125 kWp
System loss: 14 %

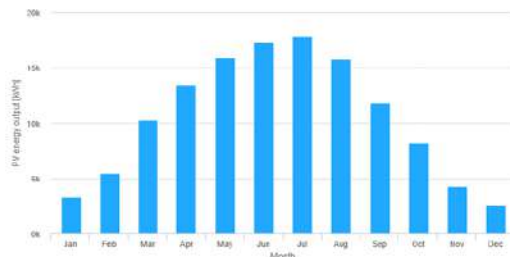
Simulation outputs

Slope angle:
Azimuth angle:
Yearly PV energy production: 126328.99 kWh
Yearly in-plane irradiation: 1295.02 kWh/m²
Year-to-year variability: 3835.04 kWh
Changes in output due to:
Angle of incidence: -3.9 %
Spectral effects: 1.1 %
Temperature and low irradiance: -6.59 %
Total loss: -21.96 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

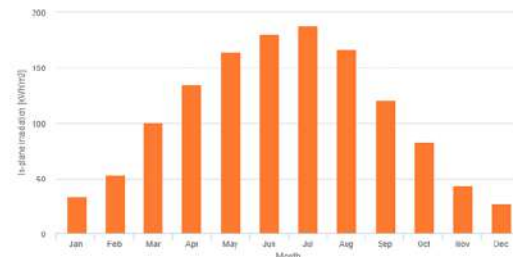


Figura 3. Simulare PVGIS pentru producția anuală cu orientare vest

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

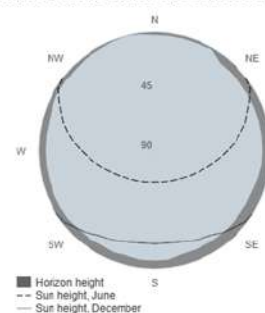
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 46.828,23.715
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH3
PV technology: Cryst Sil Original
PV installed: 125 kWp
System loss: 14 %

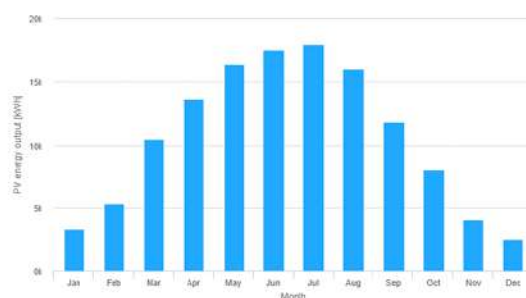
Simulation outputs

Slope angle:
Azimuth angle: -90 °
Yearly PV energy production: 126873.97 kWh
Yearly in-plane irradiation: 1297.34 kWh/m²
Year-to-year variability: 4650.95 kWh
Changes in output due to:
Angle of incidence: -3.78 %
Spectral effects: 1.09 %
Temperature and low irradiance: -6.47 %
Total loss: -21.76 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

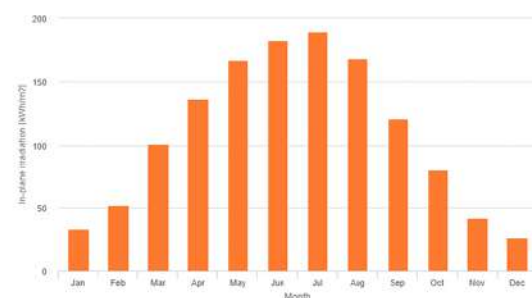


Figura 4. Simulare PVGIS pentru producția anuală cu orientare est

Pe baza acestor simulări, s-a ales configurarea sistemului fotovoltaic într-o soluție predominant est-vest, considerată optimă pentru aplicația analizată. Sistemul este dimensionat pentru a acoperi un consum anual de aproximativ 210.000 kWh, corespunzător celor 28 de locuințe.



Puterea instalată rezultată este de aproximativ 250 kWp, valoare care permite un echilibru între producția de energie și consumul real al utilizatorilor.

Sistemul fotovoltaic este alcătuit din aproximativ 400 de panouri fotovoltaice de tip JinKo, fiecare având o putere unitară de aproximativ 600 Wp [5]. Panourile sunt montate pe o structură fixă, în configurație est-vest, la un unghi de înclinare de circa 10–15°, optim pentru acest tip de sistem. Dispunerea panourilor în rânduri paralele permite utilizarea eficientă a suprafeței disponibile și reducerea efectelor de umbră.

Energia produsă de panouri este convertită în curent alternativ prin intermediul a cinci invertoare, fiecare cu o putere nominală de aproximativ 50 kW. Acestea sunt conectate la un tablou general de joasă tensiune, de unde energia este evacuată către rețea printr-o stație de transformare. Pentru asigurarea unei funcționări sigure și eficiente, sistemul este racordat la rețeaua de distribuție printr-un post de transformare existent de 630 kVA [4], care oferă atât capacitatea necesară, cât și o rezervă pentru eventuale extinderi.

Comparând cele două configurații analizate în PVGIS, sistemul orientat spre sud oferă cea mai mare producție anuală de energie, de aproximativ 287.395 kWh/an pentru o putere instalată de 250 kWp. În schimb, configurația est-vest, formată din două câmpuri de câte 125 kWp, produce aproximativ 126.874 kWh/an pentru orientarea vest și 126.329 kWh/an pentru orientarea est, rezultând o producție totală de aproximativ 253.203 kWh/an.

Deși sistemul sudic produce cu aproximativ 13–14% mai multă energie anual, acesta are un vârf accentuat de producție în jurul prânzului. Configurația est-vest oferă o distribuție mai uniformă a energiei pe parcursul zilei, acoperind mai eficient consumul din intervalele de dimineață și seară, specifice unui ansamblu rezidențial.

Iradieră anuală în planul panourilor este de aproximativ 1456,63 kWh/m² pentru orientarea sudică, comparativ cu aproximativ 1295–1297 kWh/m² pentru sistemul est-vest.

Ambele sisteme utilizează panouri fotovoltaice monocristaline, cu pierderi totale estimate la aproximativ 21–22%, incluzând pierderi datorate temperaturii, unghiului de incidență și efectelor spectrale. Din punct de vedere tehnic, configurația est-vest permite o utilizare mai eficientă a suprafeței disponibile și contribuie la creșterea gradului de autoconsum, fiind mai potrivită pentru profilul de consum al ansamblului rezidențial analizat.

În concluzie, analiza simulărilor și dimensionarea sistemului evidențiază faptul că soluția est-vest reprezintă o alegere optimă pentru acest tip de aplicație, asigurând un echilibru între producția de energie, consumul utilizatorilor și eficiența generală a sistemului fotovoltaic.

3. ANALIZA ECONOMICĂ ȘI FEZABILITATEA INVESTIȚIEI

Analiza economică a sistemului fotovoltaic propus se bazează pe costurile actualizate ale echipamentelor și infrastructurii necesare, incluzând atât sistemul de producere a energiei, cât și soluția de stocare. Conform devizului estimativ, valoarea totală a investiției este de aproximativ 1.814.479 lei (fără TVA). Raportat la puterea instalată de aproximativ 240 kWp rezultă un cost specific de aproximativ 7.56 lei/W (7560 lei/kWp), valoare justificată de integrarea sistemului de stocare. Proiectul include un sistem de stocare a energiei electrice amplasat într-un container dedicat, cu o putere instalată de 300 kWh (cca. 20 kWh/imobil).



Sistemul este prevăzut cu o rezervă de capacitate de aproximativ 20 kWh, destinată asigurării continuității în exploatare și prelungirii duratei de viață a echipamentelor.

Tabelul 1. Analiza costurilor

Poz.	Articol	U.M.	Cant.	Pret unitar	Valoare totala
1	2	3	4	5	6
Materiale și servicii					
1	Panou fotovoltaic 600 kW JinKo	buc	400	1,785.00	714,000.00
2	Kit structură	buc	350	900.00	315,000.00
3	Invertor SG50CX-P2	buc	5	18,200.00	91,000.00
4	Kit Te PV	buc	5	10,562.50	52,812.50
5	Kit cu cutie sumatoare	buc	1	8,666.67	8,666.67
6	Kit string-uri cablu solar și traseu	buc	10	1,050.00	10,500.00
7	Cabluri de la invertor la cutie sumatoare/cutie sumatoare la PTAB	m	50	450.00	22,500.00
8	Container stocare energie BRES-625-300	Buc	1	600,000.00	600,000.00
SUBTOTAL 1 (LEI) fara T.V.A.					1,814,479.17
Pret per kW(lei/kW)					7,560.33
Pret per W(lei/W)					7.56

Pe baza simulărilor realizate, producția anuală estimată a sistemului fotovoltaic este de aproximativ **253.000 kWh/an**, în funcție de condițiile de operare și configurația est-vest adoptată. Consumul anual al ansamblului rezidențial fiind de aproximativ **210.000 kWh/an**, rezultă un grad ridicat de acoperire, iar surplusul de energie poate fi fie stocat în baterii, fie injectat în rețea.

În prezența sistemului de stocare, energia produsă în exces în timpul zilei poate fi utilizată ulterior, în special în intervalele de consum ridicat din timpul serii. Astfel, gradul de autoconsum crește semnificativ, ceea ce conduce la reducerea dependenței de rețea și la optimizarea utilizării energiei produse local.

Pentru evaluarea beneficiilor economice, s-a considerat un preț mediu al energiei electrice de aproximativ **1,2 lei/kWh conform Autoritatea Națională de Reglare în Domeniul Energiei**. În aceste condiții, economia anuală rezultată din reducerea consumului din rețea este de aproximativ **252.000 lei/an**, la care se pot adăuga beneficii suplimentare rezultate din utilizarea energiei stocate și din eventualul surplus livrat în rețea.

Având în vedere investiția totală și economia anuală estimată, perioada de recuperare a investiției (payback period) este de aproximativ **7-8 ani**. Deși această valoare este mai mare comparativ cu un sistem fără stocare, avantajele aduse de independența energetică și de creșterea autoconsumului justifică investiția.

Pentru o putere instalată de 240 kWp și un cost specific de 7.56 lei/W, investiția totală este estimată la aproximativ 1,81 milioane lei. În condițiile unui consum anual de 210.000 kWh și a unui preț mediu al energiei de 1,2 lei/kWh, economiile anuale sunt de aproximativ 252.000 lei, rezultând o perioadă de recuperare a investiției de aproximativ 7-8 ani. Creșterea puterii instalate peste necesarul de consum conduce la o prelungire a perioadei de amortizare, datorită surplusului de energie injectat în rețea.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investiție Totală}}{\text{Economii Anuale}}$$

Costul specific de 7.56 lei/W reprezintă investiția inițială în sistemul fotovoltaic, în timp ce economiile anuale sunt determinate pe baza prețului energiei electrice, estimat la



aproximativ 1.2 lei/kWh. Această diferențiere este esențială pentru calculul corect al perioadei de recuperare a investiției.

Durata de viață a sistemului fotovoltaic este estimată la aproximativ **25 de ani**, iar sistemul de stocare are o durată de viață de aproximativ **10–15 ani**, ceea ce poate implica costuri suplimentare de înlocuire pe termen lung. Costurile de operare și mentenanță sunt estimate la aproximativ **1–2% din valoarea investiției anual**, menținând astfel un nivel bun de rentabilitate.

În concluzie, integrarea unui sistem de stocare în cadrul parcului fotovoltaic conduce la o investiție inițială mai ridicată, însă oferă beneficii importante în exploatare, prin creșterea autoconsumului și reducerea dependenței de rețeaua electrică. Astfel, soluția propusă este fezabilă din punct de vedere economic și reprezintă o opțiune sustenabilă pentru alimentarea ansamblului rezidențial.

4. CONCLUZII

În urma analizei realizate, se poate concluziona că implementarea unui parc fotovoltaic pentru alimentarea ansamblului rezidențial de 28 de locuințe reprezintă o soluție eficientă și sustenabilă atât din punct de vedere tehnic, cât și economic. Sistemul dimensionat la aproximativ 240 kWp permite acoperirea majorității consumului anual estimat, de aproximativ 210.000 kWh

Configurarea est-vest adoptată asigură o distribuție mai uniformă a energiei produse pe parcursul zilei, contribuind la creșterea gradului de autoconsum și la o mai bună corelare cu profilul de consum al utilizatorilor. Integrarea sistemului de stocare aduce un plus de flexibilitate, permițând utilizarea energiei și în intervalele fără producție.

Din punct de vedere economic, investiția, deși mai ridicată datorită sistemului de stocare, se dovedește fezabilă, cu o perioadă de recuperare de aproximativ 7-8 ani și beneficii semnificative pe termen lung.

În concluzie, soluția propusă contribuie la reducerea costurilor energetice, creșterea independenței față de rețea și promovarea utilizării surselor regenerabile în sectorul rezidențial.

BIBLIOGRAFIE

1. *Pompa de căldură Hyundai R32 monobloc 10 kW (1x230V) HYHC-V10W/D2N8-BE30*, fișă tehnică: <https://www.fornello.ro/termice/pompe-de-caldura-aer-apa/pompa-de-caldura-hyundai-r32-monobloc-10-kw-1x230v-hyhc-v10w/d2n8-be30-hyhc-v10w/d2n8-be30.html>, accesat la 19.04.2026
2. *Wallbox Pulsar Plus negru 22 kW cu cablu Type 2, APP* - fișă tehnică: https://statiedeincarcare.ro/statii-de-incarcare-fixe/46-40-wallbox-pulsar-plus-22kw-cu-cablu-type-2-app.html#/26-lugime_cablu-5m, accesat la 17.04.2026
3. *Posturi de transformare în anvelopă de beton* - fișă tehnică: <https://www.energobit.com/ro/produs/posturi-de-transformare-anelopa-de-beton-gama-robust/>, accesat la 28.04.2026
4. *PVGIS*: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_, accesat la 16.04.2026
5. *Panourile fotovoltaice JinKo* - fișă tehnică: <https://www.jinkophotovoltaic.com/products/Jinko/72HL4-V-580-605W.html>, accesat la 16.04.2026



SECȚIUNEA 3

**Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Inginerie Urbană și Dezvoltare Regională,
Amenajări și Construcții Hidrotehnice**



STUDIU PRIVIND COMPORTAREA UNUI POD DE CALE FERATĂ PE ARCE CU NUMĂR VARIABIL DE TIRANȚI VERTICALI

Autor

Cătălina Elena HOPULELE,

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj- Napoca, , [e-mail: hopleleccatalina95@gmail.com](mailto:hopleleccatalina95@gmail.com).

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Alexandra Denisa DANCIU

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj- Napoca, , [e-mai : Alexandra.Danciu@cfdp.utcluj.ro](mailto:Alexandra.Danciu@cfdp.utcluj.ro) .

REZUMAT: *Stabilitatea laterală a arcelor metalice reprezintă un factor important în proiectarea podurilor pe arce, având o influență semnificativă asupra comportării acestora. Lucrarea are ca scop realizarea unui studiu comparativ pentru un număr variabil de tiranți, pentru un pod de cale ferată cu deschiderea de 45 m, urmărind modul în care numărul de tiranți influențează comportamentul la stabilitatea laterală a arcelor. În cadrul lucrării se urmărește, totodată, influența contravântuirilor superioare, prin compararea comportării structurale a arcului în prezența și absența acestora.*

Cuvinte cheie: pod pe arce, stabilitate laterală, analiză structurală, tiranți verticali, contravântuiri superioare, structură metalică.

1. Introducere

Podurile pe arc din oțel reprezintă una dintre cele mai eficiente soluții structurale pentru traversarea unor obstacole naturale de tip văi, cursuri de apă sau zone dificile de relief, care necesită soluții structurale cu deschideri mari, dar se pot utiliza și pentru deschideri medii, datorită capacității ridicate de preluare prin compresiune în arc și întindere în sistemul de tiranți, distribuie și transmite eficientă a eforturilor interne către elementele de rezemare. Aceste structuri combină eficiența statică cu o expresivitate arhitecturală, fiind utilizate pe scară largă în infrastructura rutieră și feroviară modernă. [1] [2]

În cadrul lucrării a fost analizat un pod de tip Langer, Fig. 1, pentru care elementul principal de rezistență este arcul, iar grinda tirant este suspendată de arc prin intermediul tiranților verticali. Schema statică permite separarea eforturilor de compresiune din arc și a celor de întindere din grinda tirant și din tiranții verticali, conducând la o utilizare eficientă a materialului. Compresiunea arcului este echilibrată de o forță de tracțiune preluată de grinda tirant, astfel se elimină apariția împingerilor orizontale la nivelul reazemelor arcului. Încărcările transmise de suprastructură sunt preluate de arc prin intermediul tiranților verticali, care se pot realiza sub formă de cabluri sau elemente rigide. Datorită susținerii tablierului prin intermediul grinzii tirant, fără a solicita culeele la eforturi semnificative, se poate reduce dimensiunea infrastructurii și utilizarea acestei soluții structurale în condiții de teren slab de fundare. [3]

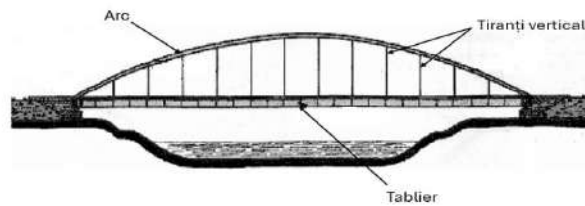


Figura 1. Dispoziție generală. Structură tip Langer.

2. Materiale și metode

Lucrarea prezintă o analiză privind influența unor parametri de proiectare și a configurației structurale asupra stabilității laterale a unui pod feroviar, având suprastructura realizată pe arce metalice de tip Langer. Studiul are ca scop urmărirea comportării la instabilitate laterală a arcului și modul în care acesta este influențat de numărul de tiranți, precum și de absența sau prezența contravântuirii superioare. Au fost analizate mai multe configurații structurale, corespunzătoare unui număr variabil de tiranți, respectiv 4 cazuri în care s-a utilizat un număr de 3, 4, 5 și 14 tiranți. Analiza evidențiază comportarea de flambaj lateral a arcului și verificarea capacității structurale prin metode de interacțiune efort axial-moment încovoietor. [3]

Structura a fost inițial modelată în AutoCAD, unde au fost definite elementele geometrice principale ale podului și poziționarea acestora. Ulterior, datele au fost introduse în programul de analiză structurală SAP2000, în care au fost definite proprietățile secțiunilor, materialele și cazurile de încărcare necesare realizării analizei. Pentru arc a fost adoptată o secțiune de tip casetă din oțel S235, cu dimensiunile de 480x580 mm și grosimea pereților de 20 mm, Fig.2, iar tiranții sunt realizați din profile metalice IPE200, realizate din oțel S275, Fig. 3. Pentru elementele principale de contravântuire au fost utilizate țevi circulare cu diametrul de Ø250 mm și grosimea pereților de 10 mm, iar pentru elementele secundare s-au utilizat țevi cu diametrul de Ø140 mm și grosimea pereților de 8 mm, Fig. 4.

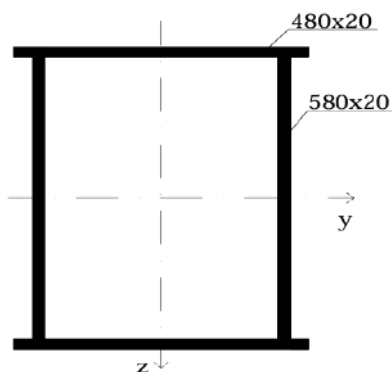


Figura 4. Secțiuni contravântuire

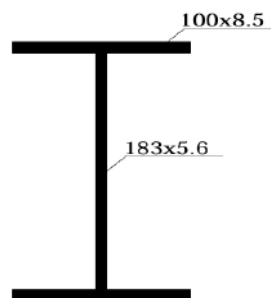


Figura 2. Secțiune arc

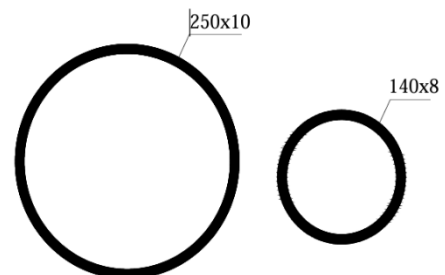


Figura 3. Secțiune tirant

Pentru analiza structurală a podului de cale ferată, având deschiderea $L=45$ m și distanța între axele arcelor $B=5,5$ m a fost realizat un model numeric în programul SAP2000 unde au fost definite mai multe cazuri de încărcare, astfel încât să se evidențieze comportarea structurii în condiții variate de solicitare, fiind grupate în două categorii principale: încărcări aplicate pe

întreaga deschidere (full) și încărcări aplicate pe jumătate din deschidere (half), Fig.5. Pentru primul caz de încărcare, greutatea proprie a fost introdusă cu valoarea de 15 kN/m pentru toate cazurile de încărcare, fiind o forță uniform distribuită pe toată deschiderea podului. Acțiunea vântului are valoarea de 4 kN/m, pe toată deschiderea podului, la fel și încărcările din convoi care au fost separate în 8 cazuri, și anume 4 cazuri cu valoarea lui $q_m=54$ kN/m corespunzătoare momentului încovoietor, iar restul cazurilor cu valoarea lui $q_v=55$ kN/m corespunzătoare forței tăietoare. Forța concentrată $Q_{s.ind}=12,5$ kN a fost introdusă pentru simularea efectului de șerpuire a vehiculelor feroviare, fenomen care apare ca urmare a deplasării laterale a osiilor în timpul circulației trenurilor. Pentru a evidenția efectele acestei acțiuni în diverse zone ale structurii, forța Q a fost aplicată în mai multe poziții caracteristice de-a lungul deschiderii: la jumătatea deschiderii ($L/2$), la o treime din deschidere ($L/3$), la o pătrime din deschidere ($L/4$), la o zecime din deschidere ($L/10$). Această abordare permite identificarea pozițiilor critice pentru solicitarea structurii și evaluarea influenței poziției încărcării asupra eforturilor interne. Al doilea caz de încărcare păstrează constantă greutatea proprie, precum și acțiunea forței concentrate de șerpuire, aplicată în pozițiile caracteristice analizate, diferența față de primul caz constă în modul de aplicare a acțiunilor variabile, respectiv acțiunea vântului și acțiunea dată de convoi, care sunt dispuse pe jumătate din deschidere. [4]

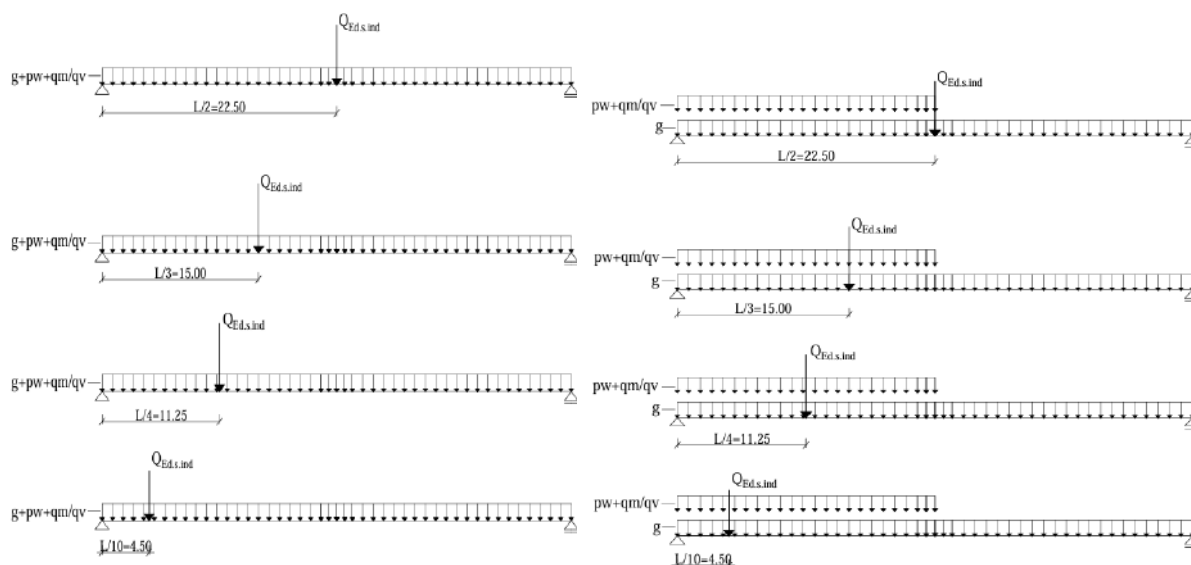


Figura 5. Modul de dispunere al încărcărilor

3. Verificarea stabilității laterale a arcelor metalice

În vederea evaluării comportării structurale a podului analizat, modelele numerice corespunzătoare fiecărei configurații de tiranți au fost rulate în programul de calcul SAP2000. În urma acestor analize au fost obținute digramele de eforturi interne, respectiv diagramele de efort axial și moment încovoietor.

Verificarea stabilității laterale s-a făcut pentru fiecare configurație de tiranți în parte, fiind dezvoltată în mod detaliat pentru cazul în care se utilizează 5 tiranți, considerată reprezentativă pentru comportarea structurii.

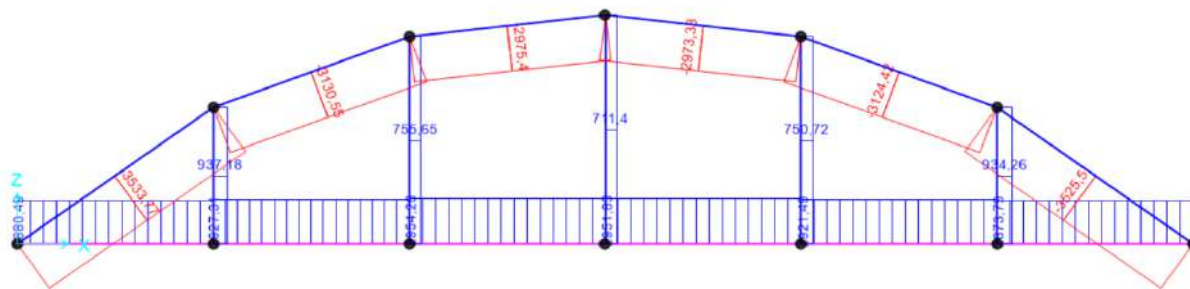


Figura 6. Diagrama de efort axial N [kN] - încărcare pe toată deschiderea

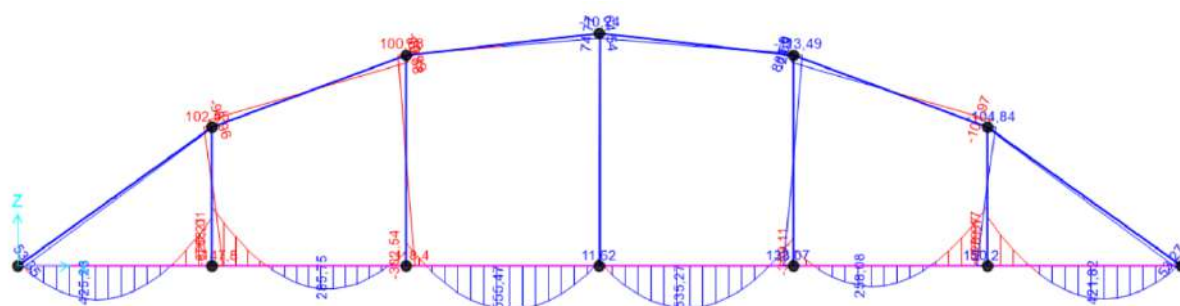


Figura 7. Diagrama de moment încovoietor M_y [kNm] - încărcare pe toată deschiderea

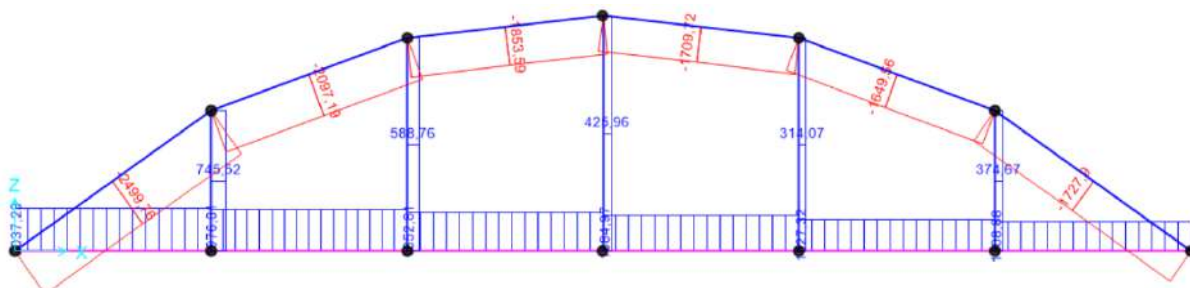


Figura 8. Diagrama de efort axial N [kN] - încărcare pe jumătate din deschidere

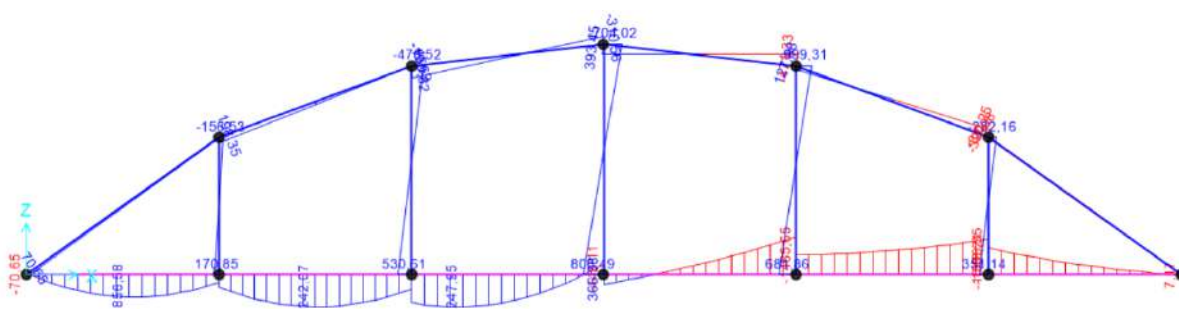


Figura 9. Diagrama de moment încovoietor M_y [kNm] - încărcare pe jumătate din deschidere

3.1 Lungimile de flambaj și forțele critice pentru flambajul în plan al arcelor

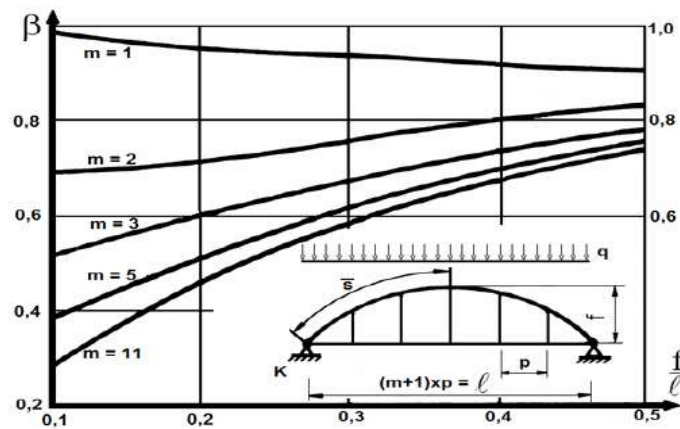


Figura 10. Factorul de flambaj β

În acest caz se obține $5(m+1)=45$, $m=5$, $f/L=8.9/45=0.20$, și din Fig.10 se obține $\beta=0.5$.
Lungimea de flambaj în plan a arcului:

$$L_{cr.y} = \beta \times \bar{s} = 0.5 \times 24.828 = 12.41 \text{ m} \quad (1)$$

Forța critică de flambaj:

$$N_{cr.y} = \frac{\pi^2 \times EI_y}{(\beta \times \bar{s})^2} = 31995.631 \text{ kN} \quad (2)$$

unde: $\bar{s}$ -jumătate din lungimea arcului; EI_y -rigiditatea la încovoiere în plan a arcului; β -coeficientul lungimii de flambaj, Fig.10.

Secțiunea transversală fiind Clasa 1 se va opera cu aria brută a secțiunii.

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr.y}}} = \sqrt{\frac{424 \cdot 2350}{3199563.1}} = 0.558 \Rightarrow \chi_y = 0.857 \text{ (curba b de flambaj)} \quad (3)$$

3.2 Lungimea de flambaj și forța critică de flambaj în afara planului arcului

Lungimea de flambaj în afara planului arcului:

$$L_{cr.z} = \beta \times h = 17.26 \text{ m} \quad (4)$$

Forța critică de flambaj:

$$N_{cr.z} = \frac{\pi^2 \times EI_z}{(\beta \cdot h)^2} = 9026.007 \text{ kN} \quad (5)$$

unde: h -distanța pe lungimea arcului de la naștere până la prima contravântuire.

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr.z}}} = \sqrt{\frac{424 \cdot 2350}{902600.7}} = 1.051 \Rightarrow \chi_z = 0.565 \text{ (curba b de flambaj)} \quad (6)$$

Cu datele geometrice ale arcului se determină parametrii geometrici de proiectare.

$$h = \frac{LT_2}{\sin \alpha} = 11.697 \text{ [m]}; h_r = \frac{\frac{(LT_2 + LT_3)}{2}}{\sin \alpha} = \frac{\frac{(8.1262 + 9)}{2}}{0.6947} = 12.326 \text{ [m]}; \frac{h}{h_r} = 0.949 \quad (7)$$

Contravântuirea este alcătuită din următoarele elemente: **Elemente Orizontale** realizate din profile tubulare circulare cu secțiunile $D \times t = 250 \times 10$, cu $I = 5438.1 \text{ cm}^4$, $A = 75.40 \text{ cm}^2$, $i = 8.49 \text{ cm}$, $\lambda = 64.762$ și **Diagonale Încrucișate** realizate din profile tubulare circulare $D \times t = 140 \times 8$, cu $I = 725 \text{ cm}^4$, $A = 33.175 \text{ cm}^2$, $i = 4.67 \text{ cm}$, $\lambda = 154.39$.

Considerând rigiditatea contravântuirii dată de elementele orizontale se obține:

$$\eta = I_b / I_0 \cdot h = 129741.33 \cdot 5.5 / 5438.1 \cdot 11.697 = 11.218 \quad (8)$$

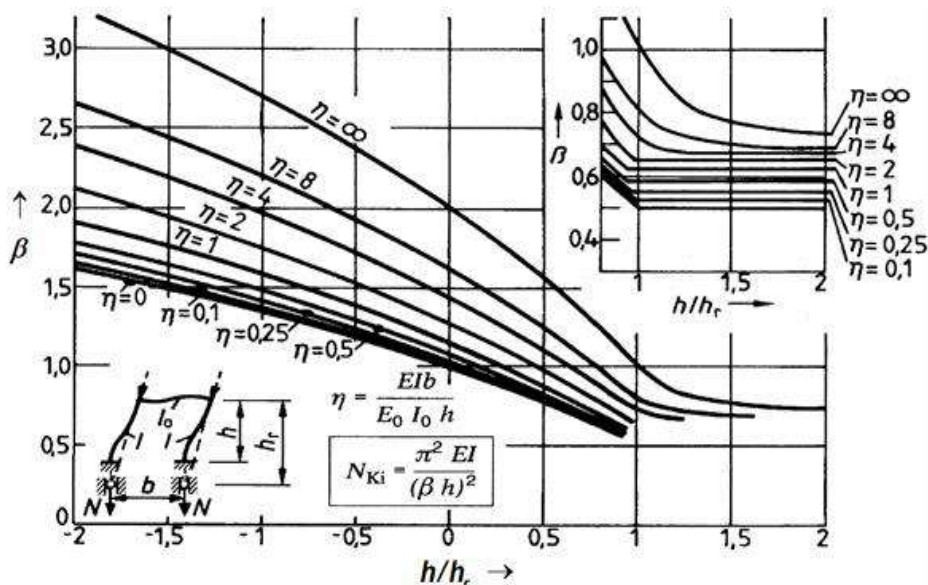


Figura 11. Factorul lungimii de flambaj- arce încastrate

Pentru cazul în care arcul e încastrat la capete avem:

- $h/h_r = 0.949$; $\eta = 11.218$; și se obține $\beta = 1$, Fig. 11, respectiv $\beta \cdot h = 11.697 \text{ m}$
- $h/h_r = 0.949$; $\eta = 0$; și se obține $\beta = 0.5$, Fig. 11, respectiv $\beta \cdot h = 5.849 \text{ m}$

3.3 Verificarea secțiunii arcului la compresiune și încovoiere

În conformitate cu SR EN 1993-2, se poate utiliza o relație simplificată pentru verificarea la încovoiere și compresiune a unui element din oțel, se utilizează aria brută a secțiunii și modulele de rezistență plastice, datorită încadrării secțiunii arcului în Clasa 1.

$$N_{Rk} / \gamma_{M1} = A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 9058.182 \text{ kN} \quad (9)$$

$$M_{y,Rk} / \gamma_{M1} = W_{y,pl} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1949.218 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (10)$$

unde: N_{Ed} —valoarea de calcul a forței de compresiune; $M_{y,Ed}$ —valoarea de calcul a momentului maxim de încovoiere; N_{Rk} —valoarea caracteristică a rezistenței la compresiune; $M_{y,Rk}$ —valoarea caracteristică a rezistenței la moment încovoiitor; γ_{M1} —coeficient parțial de siguranță; χ —coeficient de reducere.

Verificarea se face pentru două cazuri, primul este cel în care se ia efortul axial maxim și momentul încovoiitor aferent, iar cazul al doilea este cel în care se consideră momentul încovoiitor maxim și efortul axial aferent.



$$\text{Caz 1- } \frac{NEd}{\chi_{min} \cdot NRk} + C_{my,0} \cdot \frac{MyEd}{MyRk} = 0.721 \leq 0.9 \quad (11)$$

$$\text{Caz 2- } \frac{NEd}{\chi_{min} \cdot NRk} + C_{my,0} \cdot \frac{MyEd}{MyRk} = 0.6 \leq 0.9 \quad (12)$$

4. Rezultate obținute

În urma analizelor efectuate în programul SAP2000, au fost determinate valorile eforturilor maxime pentru arc, corespunzătoare configurațiilor structurale cu 3, 4, 5, și 14 tiranți. Rezultatele obținute pentru cele patru cazuri de dispunere ale tiranților sunt prezentate în tabelul 1. Sunt date perechile de eforturi efort axial maxim cu moment încovoietor aferent și moment încovoietor maxim cu efort axial echivalent pentru secțiunea cea mai solicitată a arcului, cât și rapoartele de verificare aferente interacțiunii efort axial-moment încovoietor.

În Fig. 12 este prezentată grafic variația eforturilor procentuală în funcție de numărul tiranților, pentru efort axial maxim cu moment încovoietor aferent, iar în Figura 13 aceeași variație pentru moment maxim cu efort axial echivalent. În ambele figuri momentele încovoietoare au fost luate în considerare în valoare absolută.

Tabelul 1. Tabel centralizator al eforturilor maxime

Nr. tiranți	Nmax[kN]	Maf [kNm]	Raport Nmax-Maf	Naf [kN]	Mmax [kNm]	Raport Naf-Mmax
3	-3289.057	-834.343	0.978	-1773.296	1689.349	1.227
4	-3543.722	75.0977	0.53	-1785.939	522.3773	0.54
5	-3533.774	53.3469	0.721	-1709.715	-471.3254	0.60
14	-3374.622	46.7149	0.569	-1752.397	264.2654	0.431

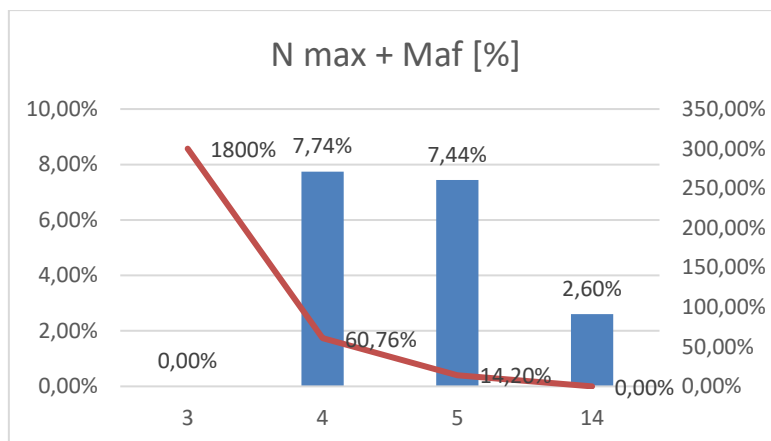


Figura 12. Variația Nmax cu Maferent în arc

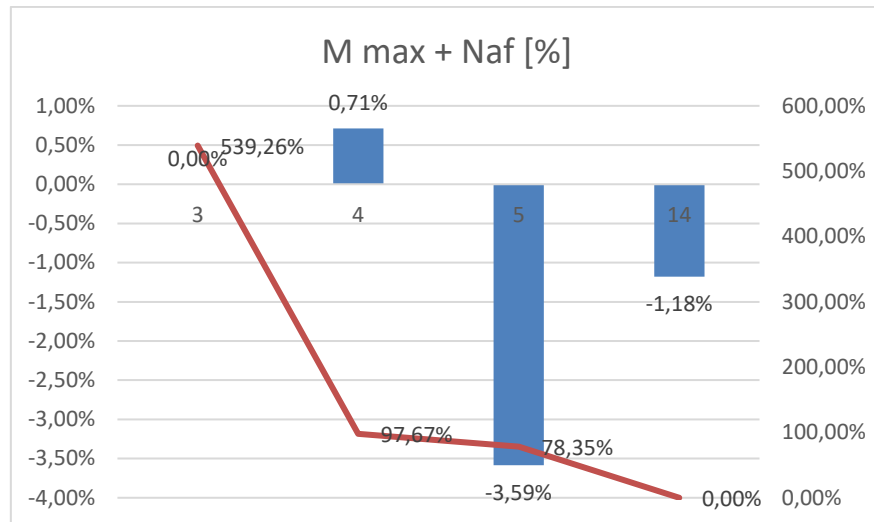


Figura 13. Variația Mmax cu Naferent în arc

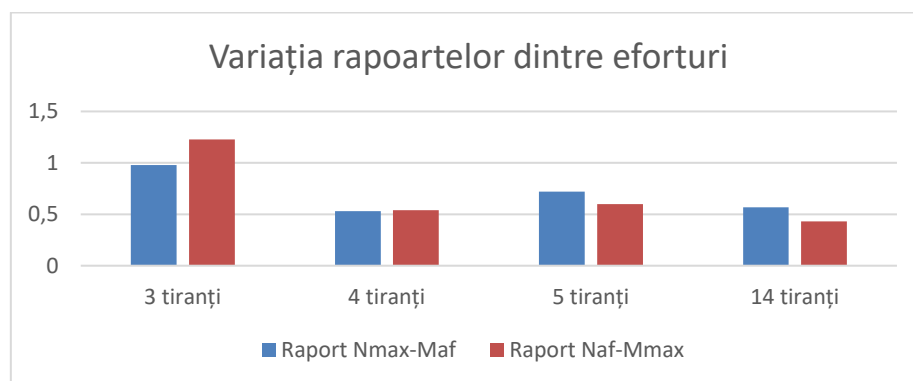


Figura 14. Variația rapoartelor dintre eforturi

Reducerea procentuală a fost determinată în raport cu cazul cel mai defavorabil (3 tiranți), utilizând relația: $R_{\text{reducere}} = (R_{\text{ref}} - R_i / R_{\text{ref}}) * 100$

Depășirea și rezerva de capacitate au fost evaluate în raport cu limita admisă de 0.9, conform relațiilor: $\text{Depășire} = (R - 0.9 / 0.9) * 100$

$$\text{Rezervă} = (0.9 - R / 0.9) * 100$$

Unde: R_{ref} -raportul de verificare corespunzător cazului de referință, considerat cel mai defavorabil

R_i -raportul de verificare corespunzător configurației analizate

R -raportul de verificare rezultat din calcul pentru cazul analizat

0.9–valoarea limită admisă a raportului de verificare

Tabelul 2. Tabel centralizator al rezervelor, depășirilor și reducerilor

Nr. tiranți	Raport Nmax-Maf	Raport Naf-Mmax	Depășire	Reducere	Rezerve
3	0.978	1.227	8.7%/36.33%	-	-
4	0.53	0.54	-	45.81%/55.99%	41.11%/40%
5	0.721	0.60	-	26.28%/51.10%	19.88%/33.33%
14	0.569	0.431	-	41.82%/64.87%	36.77%/52.11%



Analiza comparativă a rezultatelor evidențiază faptul că varianta cu 3 tiranți este cea mai defavorabilă condiție de solicitare, rezultând un raport de verificare de 1.227, în cazul combinației Naf-Mmax, ceea ce duce la o depășire a limitei admise cu aproximativ 36.3%. De asemenea, pentru combinația Nmax-Maf s-a obținut o valoare de 0.978, depășind limita cu 8.7%. Prin creșterea numărului de tiranți la 4, se poate observa o reducere semnificativă a raportului de verificare până la valori de 0.53, ceea ce pune în evidență o scădere de aproximativ 45.81% față de cazul cu 3 tiranți, astfel, se evidențiază eficiența introducerii tiranților suplimentari în redistribuirea eforturilor.

În ceea ce privește configurația cu 5 tiranți, valorile rapoartelor de verificare sunt de 0.721 și 0.60, ambele fiind corespunzătoare, indicând o reducere cu 26%-51% față de cazul inițial. Pentru ultima variantă studiată, cea cu 14 tiranți valorile rapoartelor scad semnificativ față de prima variantă, ajungând la 0.569 și 0.431, ceea ce reprezintă o reducere de peste 50% față de cazul cu 3 tiranți. Cu toate că există o rezervă mare pentru această configurație, valorile nu sunt cu mult diferite față de cazul cu 4 sau 5 tiranți, deci nu se pretează utilizarea unui număr atât de mare de tiranți, care aduc costuri suplimentare.

Prin interpretarea grafică se poate observa variația rapoartelor de verificare în funcție de numărul de tiranți care evidențiază o scădere accentuată între 3 și 4 tiranți, urmată de o variație mai redusă pentru cazurile cu 5 și 14 tiranți. Rezultatele obținute în urma analizei evidențiază faptul că numărul de tiranți este semnificativ în zona valorilor mici (4-5 tiranți), însă pentru valori mai mari nu aduce beneficii importante.

A. Influența contravântuirilor asupra stabilității laterale

Stabilitatea laterală a arcelor metalice nu este influențată doar de numărul de tiranți, ci și de prezența sistemului de contravântuire, care are rolul de a asigura rigidizarea transversală a structurii, dar și de a limita deplasările laterale ale arcelor sub acțiunea încărcărilor.

Analizând rezultatele obținute în urma studiului efectuat, se pun în evidență valorile rapoartelor de verificare în cazul utilizării unui număr de 3 tiranți, care indică o sensibilitate crescută la instabilitate laterală. Depășirea limitei admise cu aproximativ 36.3% indică necesitatea introducerii unor măsuri suplimentare de rigidizare, iar sistemul de contravântuire este o soluție eficientă. În cazul utilizării unui număr de 4 sau 5 tiranți, valorile rapoartelor indică o comportare stabilă, însă pentru creșterea siguranței structurale se recomandă utilizarea unor sisteme de contravântuire, care influențează reducerea deplasărilor laterale. În ultimul caz, stabilitatea este asigurată prin distribuția eficientă a eforturilor, contravântuirea contribuind la asigurarea rigidității spațiale. [5]

5. Concluzii

Studiul realizat evidențiază influența majoră a numărului de tiranți asupra comportării structurale a podului în arc analizat. Utilizarea unui număr de 3 tiranți este insuficientă, conducând la depășirea condițiilor de stabilitate și indicând un risc crescut de flambaj lateral. Odată cu creșterea numărului de tiranți eforturile interne se reduc și se observă o îmbunătățire a stabilității, cele mai eficiente rezultate fiind obținute pentru configurațiile cu 4 și 5 tiranți. Acestea oferă un echilibru optim între performanța structurală și eficiența economică.



Varianta analizată cu 14 tiranți are cele mai mici valori ale rapoartelor de verificare, însă beneficiile suplimentare sunt reduse în raport cu complexitatea crescută a structurii, având o influență și asupra economiei. Un rol esențial în asigurarea stabilității laterale îl joacă sistemul de contravântuire, în special pentru configurațiile defavorabile. Contravântuirea ajută la creșterea rigidității transversale și îmbunătățește comportarea globală a structurii.

În concluzie, pentru podul analizat, având o deschidere de 45 m se recomandă adoptarea unui număr de 4 sau 5 tiranți împreună cu un sistem de contravântuire adecvat, pentru a asigura o stabilitate laterală corespunzătoare și o utilizare eficientă a materialelor.

BIBLIOGRAFIE

1. Moga, P., Guțiu, S.I., Moga, C., *Construcții și poduri metalice. Bazele proiectării elementelor din oțel*, UTPress, Cluj-Napoca, 2018.
2. Popa, V. *Structuri cu arce metalice și grinzi de rigidizare tip Langer sau Nielsen folosite pentru realizarea podurilor.*, Editura AGIR, București, 2022.
3. Mihai Vlad, *Teza de doctorat „Studiu privind alcătuirea și calculul structurilor cu cabluri portante”*, Cluj-Napoca, 2019.
4. Danciu, A.D., Guțiu, S.I., Moga, C., Suciu, M. *Influence of design parametres on general stability of tied arches with an upper bracing*, 2022
5. Moga, P., Guțiu, S.I., Danciu, A.D., Moga, C. *Poduri metalice. Manual practic de proiectare.*, UTPress, Cluj-Napoca, 2022.



STABILITATEA GENERALĂ A TĂLPII COMPRIMATE A UNEI PASARELE PE GRINZI CU ZĂBRELE CU ȘI FĂRĂ MONTANȚI

Autor/autori

Mihai Alexandru MOROȘAN

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

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Alexandra Denisa DANCIU

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, , [e-mail: alexandra.danciu@cfdp.utcluj.ro](mailto:alexandra.danciu@cfdp.utcluj.ro).

REZUMAT: *Stabilitatea generală a tălpii comprimate la o pasarelă realizată din grinzi cu zăbrele reprezintă capacitatea acesteia de a-și menține forma și poziția sub acțiunea încărcărilor, fără apariția fenomenului de flambaj. Fiind solicitată la compresiune, talpa superioară este elementul cel mai vulnerabil la pierderea stabilității, în special lateral sau în planul grinzii. În acest context, rolul elementelor care asigură legătura și rigiditatea sistemului devine esențial, deoarece acestea influențează direct modul de comportare globală și capacitatea portantă a structurii. Montanții grinzilor cu zăbrele contribuie la reducerea lungimii de flambaj a tălpii comprimate și la creșterea rigidității ansamblului, asigurând o distribuție mai uniformă a eforturilor. Prin prezența lor, se limitează deplasările laterale și riscul de instabilitate generală. Prin această lucrare ne propunem să prezentăm diferențele în ceea ce privește evaluarea stabilității generale a tălpii comprimate în cazul grinzilor cu zăbrele cu, respectiv fără montanți.*

Cuvinte cheie: pasarelă, stabilitatea generală a tălpii comprimate, grinzi cu zăbrele cu montanți, grinzi cu zăbrele fără montanți

1. Introducere

Grinzile cu zăbrele Fig.1 reprezintă una dintre cele mai ingenioase și eficiente soluții structurale dezvoltate în ingineria civilă, fiind utilizate pe scară largă pentru acoperirea unor deschideri medii și mari. Conceptul fundamental al acestor structuri se bazează pe triangularea sistemului de bare, o configurație geometrică nedeformabilă care permite transformarea solicitărilor de încovoiere globală în eforturi axiale pure de întindere și compresiune în elementele componente. Această optimizare a distribuției materialului oferă un raport remarcabil între capacitatea portantă și greutatea proprie, depășind performanțele grinzilor cu inimă plină în cazul structurilor cu deschideri mari [1, 2].

Din punct de vedere istoric, evoluția grinzilor cu zăbrele a urmat îndeaproape progresele înregistrate în știința materialelor, trecând de la primele structuri din lemn la cele din fontă și oțel laminat. În prezent, utilizarea profilelor tubulare închise a revoluționat designul acestor sisteme, oferind avantaje estetice superioare și proprietăți geometrice optimizate pentru preluarea eforturilor de compresiune și torsiune. În ingineria podurilor și a pasarelelor pietonale, o configurație frecvent întâlnită este cea a grinzilor cu cale jos. Această soluție este preferată adesea din considerente de gabarit și accesibilitate, permițând menținerea unei cote scăzute a căii de rulare în raport cu nivelul reazemelor. Totuși, această dispunere impune limitări

structurale severe: imposibilitatea prevederii unui sistem de contravântuire în planul superior al tălpilor comprimate, rezultând o structură deschisă la partea superioară.

Absența unor reazeme laterale rigide transformă talpa superioară într-o bară comprimată de mare lungime, extrem de vulnerabilă la instabilitatea prin flambaj lateral. Într-o astfel de configurație, stabilitatea nu mai este o proprietate intrinsecă a barei izolate, ci devine o caracteristică de ansamblu a sistemului. Aceasta depinde direct de rigiditatea transversală a semicadrelor formate de antretoaze, diagonale și montanți, care acționează ca reazeme elastice laterale. Problematika stabilității generale a tăpii comprimate este amplificată în cazul variantelor structurale simplificate, cum ar fi grinzile de tip Warren fără montanți verticali. În aceste situații, mecanismul de stabilitate laterală se bazează pe rigiditatea la torsiune a tălpilor inferioare și pe capacitatea de încovoiere a diagonalelor de a transmite eforturile către calea de pod. Prezenta lucrare își propune să analizeze comparativ aceste moduri de comportament, evidențiind importanța conlucrării spațiale și a caracteristicilor geometrice ale secțiunilor tubulare în asigurarea siguranței structurale a pasarelelor pietonale. [2, 3].



Figura 1. Pasarela pe grinzi cu zăbrele

2. Metodologia de calcul

Evaluarea stabilității se bazează pe determinarea forței critice de pierdere a stabilității (N_{cr}). Talpa superioară comprimată este asimilată unei bare rezemate pe un mediu elastic. Parametrul definitoriu pentru comportamentul structural este rigiditatea reazemului elastic (c), care dictează numărul de semiunde (n) în care va flamba talpa și, implicit, coeficientul multiplicator (m).

Procedura de calcul a implicat determinarea forței critice de referință (N_E) și multiplicarea acesteia ($N_{cr} = m \cdot N_E$), urmată de calculul zvelteții și al efortului capabil la flambaj ($N_{b,Rd}$).

Metodologia din standardele europene abordează această problemă transformând structura spațială complexă într-un model echivalent simplificat: o bară izolată pe un mediu elastic. Parametrul „c” (rigiditatea reazemului elastic) înglobează capacitatea suprastructurii pe anumite zone, fără a se ține cont de placa de beton. O valoare mare a acestui parametru forțează talpa să flambeze într-un număr superior de semiunde (în cazul de față, $n=3$). Cu cât numărul de semiunde este mai mare, cu atât lungimea de flambaj scade, iar forța critică necesară pentru a produce instabilitatea structurii crește considerabil [1].

Studiul de față analizează comportamentul la flambaj lateral al tălpii superioare comprimate în două configurații distincte ale structurii de rezistență: **Situația de bază (cu montanți)**: Stabilitatea laterală este asigurată direct de rigiditatea montanților verticali asociați cu antretoazele. **Situația alternativă (fără montanți)**: Sistemul se bazează pe rigiditatea diagonalelor și pe rigiditatea la torsiune a tălpii inferioare, dar în calcul intervin și antretoazele. Suplimentar, s-a studiat și o situație improbabilă teoretic, dar relevantă analitic, în care continuitatea secțiunii tălpii inferioare ar fi întreruptă (secțiune deschisă) [2].

3. Studiu de caz

Structura analizată Fig.2 prezintă următoarele caracteristici principale: Deschidere totală a tălpii întinse/inferioare: 22.2 m; Deschidere totală a tălpii comprimate/superioare $L = 19.8$ m; Lățime sistem $b_q = 300$ cm; Înălțime sistem (h): 140 cm; Lungime panou $l = 2.2$ m; Valoarea de calcul a forței axiale de compresiune în talpă $N_{Ed} = 951.943$ kN.

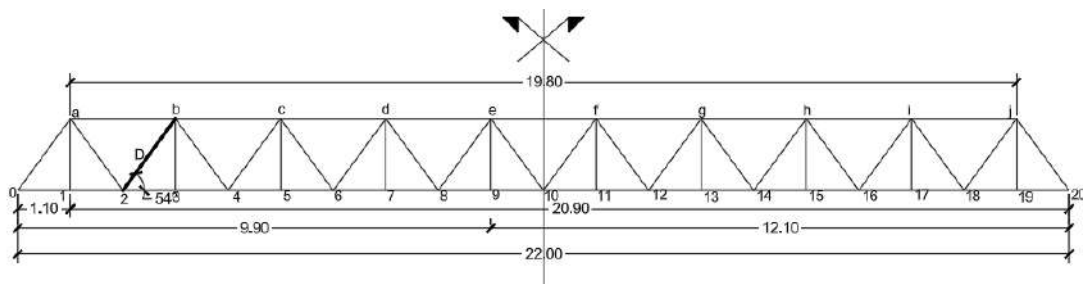


Figura 2. Schema geometrică a grinzilor principale cu montanți

Pentru eficientizarea comportamentului structural, s-au utilizat secțiuni tubulare închise, alese special pentru capacitatea lor superioară de preluare a torsiunii: **Talpa superioară (cea care flambează)** Fig.4: Este țeava de $170 \times 110 \times 8.5$, are aria $A_{superioara} = 44.71 \text{ cm}^2$ și momentul de inerție după axa z: $I_{z,superioara} = 1728 \text{ cm}^4$; **Talpa inferioară** Fig.5: Este țeava de $170 \times 110 \times 6$ mm, cu momentul de inerție la torsiune ($I_t = 1302.5 \text{ cm}^4$), momentul de inerție după axa y: $I_{y,inferioara} = 646.347 \text{ cm}^4$; **Diagonale**: Țeavă dreptunghiulară $80 \times 60 \times 5$ mm, cu aria de 12.36 cm^2 și momentul de inerție după axa y: $I_{y,diagonala} = 65.66 \text{ cm}^4$; **Antretoaze**: Profile laminate cu momentul de inerție $I_q = 2772 \text{ cm}^4$; **Montanți (pentru prima situație)**: Secțiuni tubulare cu momentul de inerție $I_v = 70.05 \text{ cm}^4$ Fig.3.

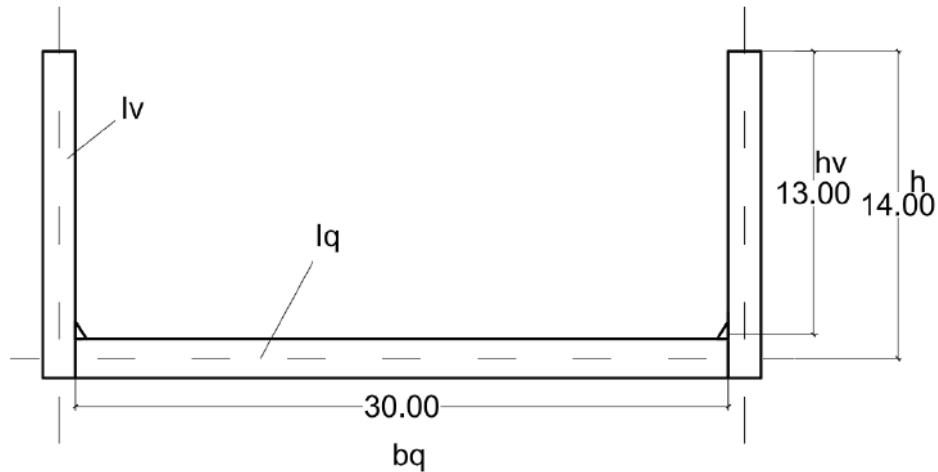


Figura 3. Semicadru U

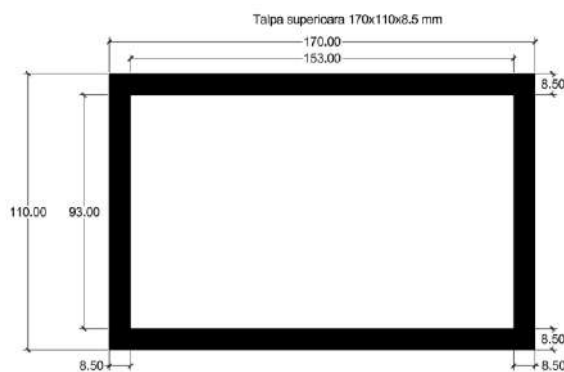


Figura 4. Talpa superioară

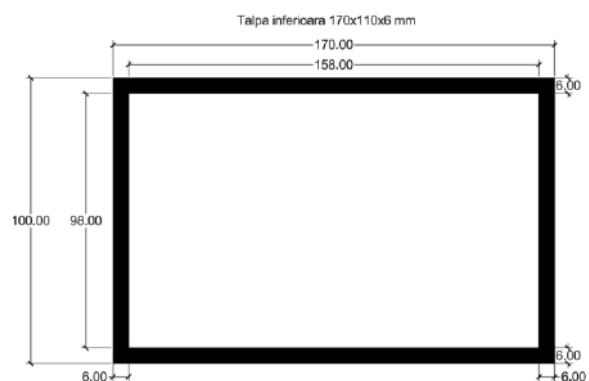


Figura 5. Talpa inferioară

Un element cheie în ambele configurații structurale analizate (în special în varianta fără montanți) este comportamentul barelor diagonale. Calculul s-a concentrat pe diagonala supusă la cel mai mare efort de compresiune (diagonala adiacentă reazemului). Pentru determinarea acestui efort maxim s-a utilizat metoda liniilor de influență.

S-au analizat două ipoteze de încărcare majore, combinând acțiunile permanente ($g = 8.18 \text{ kN/m}$) cu acțiunea vântului și a încărcărilor utile. Din combinarea eforturilor, a rezultat un efort axial maxim de compresiune de calcul $N_{Ed1} = 226.025 \text{ kN}$ (pentru Ipoteza 1). Secțiunea aleasă pentru diagonală (țeavă dreptunghiulară $80 \times 60 \times 5 \text{ mm}$) a fost verificată la rezistența la flambaj în planul grinzii. Având o lungime de flambaj $L_{cr,y} = 1.98 \text{ m}$, s-a determinat forța critică $N_{cr,y} = 347.128 \text{ kN}$ și coeficientul de reducere $\chi = 0.659$. Efortul capabil la compresiune obținut a fost $N_{c,Rd} = 262.869 \text{ kN}$. Raportul de utilizare rezultat este de 0.86 ($226.025 \text{ kN} < 262.869 \text{ kN}$), confirmând faptul că diagonalele sunt corect dimensionate pentru a prelua eforturile din sistem, inclusiv în absența montanților.

Pentru varianta cu montanți: Rigiditatea laterală a sistemului s-a calculat pe baza momentului de inerție al antretoazei I_q și al montantului I_v , obținându-se o rigiditate a reazemului elastic $c = 83.279 \text{ kN/m}^2$.

Pentru varianta fără montanți (secțiune tubulară închisă) Fig.6: În lipsa montanților, calculul parametrului n_1 s-a bazat pe rigiditatea la torsiune a tălpii inferioare.

Utilizând formula lui Bredt pentru o secțiune închisă (flux continuu), a rezultat un moment de inerție la torsiune $I_t = 1302.5 \text{ cm}^4$, generând o rigiditate laterală generalizată $c = 0.089 \text{ kN/m}^2$.

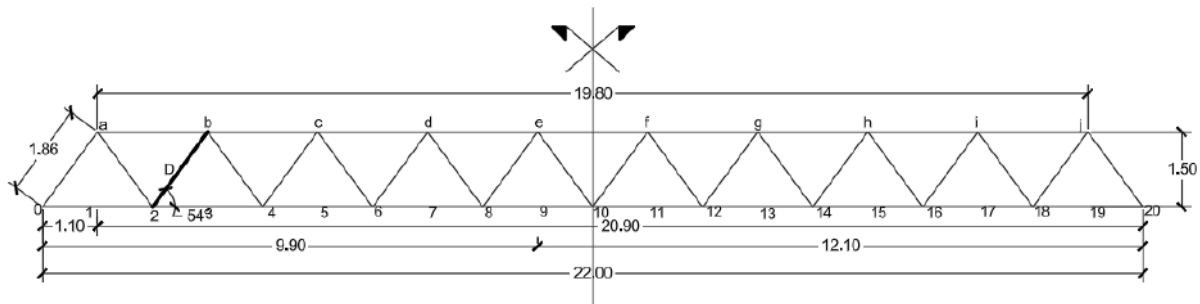


Figura 6. Schema geometrică a grinzilor principale fără montanți

Pentru varianta fără montanți (situația întreruperii continuității secțiunii): S-a simulat o tăietură longitudinală a tălpii, transformând-o în secțiune deschisă. Aplicând formula pentru secțiuni deschise cu pereți subțiri, momentul de inerție la torsiune a scăzut la $I_{t, \text{deschis}} = 3.859 \text{ cm}^4$. Rigiditatea reazemului elastic a fost recalculată la $c = 0.088 \text{ N/mm}^2$.

C_d (Rigiditatea laterală discretă a semicadrului) Fig.7: Reprezintă forța necesară pentru a împinge talpa superioară cu 1 milimetru (sau 1 metru) în lateral. *În varianta cu montanți:* $C_d = 183.214 \text{ kN/m}$, calcula cu relația (1). *În varianta fără montanți:* $C_d = 196.06 \text{ kN/m}$, echivalentă cu $C_d = 196.06 \text{ N/mm}$.

$$C_d = \frac{E \times I_v}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 b_q \times I_v}{2 I_q}} \quad (1)$$



Figura 7. Semicadru U cu forțe C_d

Unde C_d = rigiditatea laterală a semicadrului, E = modulul lui Young, I_v = momentul de inerție al montantului, I_q = momentul de inerție al antretoazei, h_v = distanța de la centrul de greutate al prinderii si până la talpa superioară, b_q = lățimea utilă, h = înălțimea de la centrul de greutate al antretoazei si până la talpa superioară.

4. Rezultate

Pentru a evidenția influența configurației structurale asupra stabilității generale, parametrii rezultați din calcul sunt sintetizați în tabelul următor:

Tabelul 1. Situații analizate.

Parametru analizat	1 - Cu montanți	2 - Fără montanți (Secțiune închisă)	3 - Fără montanți (Secțiune întreruptă / deschisă)
Moment de torsiune talpă (I_t)	Nu intervine în calcul	1302.5 cm ⁴	3.859 cm ⁴
Număr de semiunde (n)	50	3	3
Forța critică de flambaj (N_{cr})	50.35 kN	1644 kN	1644 kN
Efort capabil ($N_{b,Rd}$)	9782.9 kN	9786 kN	9786 kN

Faptul că stabilitatea generală nu a fost afectată de eliminarea montanților se datorează în mod direct alegerii secțiunilor transversale. În absența montantului vertical, rigiditatea laterală a sistemului este preluată aproape integral de barele diagonale și de rigiditatea la torsiune a tălpii inferioare. Deoarece talpa inferioară este o secțiune tubulară închisă (țeavă 170x110x6 mm), momentul său de inerție la torsiune este masiv (1302.5 cm⁴). Această caracteristică geometrică blochează rotirea nodurilor inferioare, permițând diagonalelor să lucreze eficient și să mențină parametrul de rigiditate elastică (c) la o valoare de 0.089 N/mm², aproape identică cu situația în care montanții ar fi fost prezenți (unde $c = 83.279$ kN/m², o mărime echivalentă din punct de vedere al efectului asupra numărului de semiunde $n=3$) Fig.8.



Figura 8. Numărul de semiunde

Rezultatele acestui studiu analitic subliniază o oportunitate importantă de optimizare în proiectarea pasarelelor metalice pietonale. Demonstrarea faptului că montanții verticali pot fi eliminați fără a penaliza stabilitatea tălpii comprimate – cu condiția utilizării stricte a secțiunilor tubulare închise pentru tălpi – aduce avantaje economice și tehnologice. Eliminarea acestor elemente reduce cantitatea de oțel utilizată, diminuează numărul de suduri și timpii de execuție în uzină, scade suprafața expusă la coroziune (necesitând mai puțină protecție anticorozivă) și, nu în ultimul rând, oferă structurii un aspect arhitectural mult mai suplu și modern.



5. Concluzii

Din analiza datelor centralizate, se observă că în situația pasarelei cu secțiunile tubulare analizate, absența montanților nu influențează deloc calculul la pierderea stabilității tălpii comprimate. Sistemul compensează eficient lipsa montanților prin rigiditatea diagonalelor și prin caracteristicile tălpii inferioare.

Mai mult, chiar și în situația (improbabilă în practică) în care ar fi întreruptă continuitatea secțiunii tălpii inferioare, comportamentul de ansamblu se menține. Așa cum reiese din calcule, chiar dacă valoarea momentului de inerție la torsiune este mult mai mică în cazul secțiunilor deschise (3.859 cm^4 față de 1302.5 cm^4), influența acestuia asupra stabilității generale a tălpii comprimate nu are un impact semnificativ. Scăderea capacității portante finale este neglijabilă, iar forța critică de pierdere a stabilității rămâne neschimbată, confirmând siguranța structurii în toate scenariile studiate.

BIBLIOGRAFIE

1. Petru Moga, Ștefan I. Guțiu, Gabriela Pau, Cătălin Moga, Pasarele pietonale metalice, UTPRESS (2025)
2. Petru Moga, Ștefan I. Guțiu, Alexandra D. Danciu, Cătălin Moga, Construcții și Poduri Metalice, UTPRESS (2023)
3. Petru Moga., Ștefan I. Guțiu, Cătălin Moga., Construcții și poduri metalice. Bazele proiectării elementelor din oțel, UTPress, Cluj-Napoca, 2018.



OPTIMIZAREA SOLUTIILOR TEHNICE RUTIERE PRIN INTEGRAREA INDICATORILOR DE AMPRENTA DE CARBON

Autor/autori

Alexander BORBEI¹, Alina-Maria BRISC², Alexandra Andreea CHERECHES³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca., e-mail.: alex9990979@gmail.com

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

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca., e-mail.: chereches.andreea@yahoo.com

Îndrumător/îndrumători

Sl.dr.ing. Andrei CLITAN⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca., e-mail: Andrei.Clitan@cfdp.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea analizează comparativ performanța mixturilor asfaltice convenționale preparate la aproximativ 160°C și a mixturilor asfaltice călduțe -Warm Mix Asphalt (WMA) - produse la circa 120°C, din perspectiva consumului energetic, amprente de carbon, costurilor și durabilității pe un orizont de 15 ani. Reducerea temperaturii de fabricație conduce la o scădere a consumului energetic cu aproximativ 20–30%, ceea ce determină o diminuare a emisiilor de CO₂ cu valori estimate între 15–25%, raportate la 1 m² de strat rutier. În același timp, solicitările termice mai reduse asupra echipamentelor determină o uzură mai mică a stației de asfalt, contribuind la scăderea costurilor de operare și întreținere. Din punct de vedere economic, costul inițial al mixturilor călduțe poate fi ușor mai ridicat datorită aditivilor utilizați, însă economia de energie și costurile reduse de exploatare conduc, pe durata analizată, la o reducere totală a costurilor cu aproximativ 5–10%. În ceea ce privește comportarea în timp, studiile indică o performanță comparabilă sau superioară în cazul mixturilor călduțe, în special în ceea ce privește rezistența la fisurare și oboseală. Rezultatele evidențiază avantajele utilizării mixturilor asfaltice călduțe ca soluție sustenabilă pentru optimizarea impactului asupra mediului și a costurilor pe termen mediu.*

Cuvinte cheie: amprentă de carbon, consum energetic, optimizare tehnică, Warm Mix Asphalt (WMA), sustenabilitate.

1. Introducere

Sectorul construcțiilor rutiere este recunoscut la nivel global ca fiind un consumator intensiv de energie și un generator major de emisii de gaze cu efect de seră (GES). În contextul Pactului Verde European (European Green Deal) și al Acordului de la Paris, care vizează neutralitatea climatică până în anul 2050, adaptarea tehnologiilor de construcție a drumurilor devine o necesitate imperativă [1]. În domeniul infrastructurii rutiere moderne, alegerea tipului de mixtură asfaltică reprezintă factorul esențial care influențează atât costurile inițiale de execuție, cât și costurile de exploatare și impactul ecologic pe termen lung.

În mod tradițional, mixturile asfaltice la cald (Hot Mix Asphalt – HMA) au fost utilizate pe scară largă datorită tehnologiei consacrate, comportamentului mecanic predictibil și disponibilității echipamentelor. Acestea se prepară prin încălzirea agregatelor minerale și a bitumului la temperaturi cuprinse între 150 °C și 180 °C, ceea ce permite o bună acoperire a agregatelor și atingerea unor proprietăți mecanice ridicate, capabile să preia solicitările din



traficul greu [2,3]. Totuși, acest proces termic intensiv conduce la consumuri importante de combustibili fosili, la emisii poluante în atmosferă și la expunerea muncitorilor la vapori toxici.

Pentru a diminua aceste deficiențe, cercetarea la nivel mondial a condus la dezvoltarea mixturilor asfaltice călduțe (Warm Mix Asphalt – WMA). Acestea sunt preparate și puse în operă la temperaturi semnificativ mai reduse (110...140 °C). Sporirea lucrabilității, necesară pentru o compactare eficientă la aceste temperaturi scăzute, este obținută prin inovații la nivelul liantului bituminos [4].

1.1 Tehnologii de producere a mixturilor asfaltice călduțe (WMA)

Scăderea temperaturii de producție necesită reducerea viscozității bitumului, proces realizat prin trei tehnologii principale, conform ghidurilor Asociației Europene a Asfaltului (EAPA) [5]:

a) *Tehnologia de spumare a bitumului (Foaming)*: Aceasta implică injectarea unei cantități mici de apă rece (aproximativ 1-2 % din masa bitumului) în bitumul fierbinte, direct în malaxor. Apa se vaporizează instantaneu, producând o expandare (spumare) a bitumului, care își mărește volumul și își reduce temporar viscozitatea. Acest fenomen permite acoperirea eficientă a agregatelor la temperaturi cu 20-30 °C mai mici decât în cazul HMA [4].

b) *Aditivii organici*: Se bazează pe utilizarea cerurilor sintetice (ex. ceara Fischer-Tropsch) sau a amidelor acizilor grași. Acești aditivi, adăugați în proporție de 1,5...3 % din masa liantului, au un punct de topire specific. Peste acest punct, ei reduc drastic viscozitatea bitumului, facilitând amestecarea. La răcire, ceara cristalizează și formează o rețea rigidă, care poate chiar să îmbunătățească rezistența la deformări permanente (făgașe) a stratului rutier [1,5].

c) *Aditivii chimici*: Aceștia funcționează ca agenți tensioactivi (surfactanți) care reduc tensiunea superficială la interfața dintre bitum și agregat. Ei nu modifică neapărat viscozitatea reologică a bitumului, dar îmbunătățesc adeziunea și lubrifierea microscopică în timpul procesului de compactare, permițând aranjarea scheletului mineral la temperaturi scăzute [1].

1.2 Performanța structurală și sensibilitatea la apă

Adoptarea pe scară largă a oricărei noi tehnologii rutiere este condiționată de menținerea sau îmbunătățirea performanțelor structurale. Experiența din țări europene cu climă variată (Norvegia, Germania, Franța) arată că WMA are un comportament comparabil cu HMA pe o durată de exploatare de peste 15 ani [6].

Rezistența la oboseală: Datorită temperaturilor mai scăzute din stația de asfalt, bitumul din WMA suferă o oxidare (îmbătrânire pe termen scurt) mai redusă comparativ cu HMA. Acest lucru face ca stratul asfaltic să fie mai flexibil la punerea în operă, ceea ce se traduce printr-o rezistență îmbunătățită la inițierea fisurilor din oboseală pe termen lung [1,4].

Sensibilitatea la apă (Moisture Susceptibility): Aceasta este principala provocare tehnică a WMA. Deoarece agregatele sunt încălzite la temperaturi mai mici (cca. 120 °C în loc de 160 °C), există riscul ca umiditatea reziduală din interiorul micro-porilor agregatelor să nu fie complet evaporată. Această umiditate poate slăbi aderența dintre bitum și piatră, ducând la fenomenul de "stripping" (dezgolirea agregatelor) [4]. Pentru a contracara acest efect, normele



tehnice impun utilizarea agenților de adeziune (doped bitumens) sau a varului hidratat în rețetele de WMA.

1.3 Evaluarea impactului asupra mediului (Calculul emisiilor)

Reducerea temperaturii de producție are un impact direct și imediat asupra consumului energetic. Evaluarea se face printr-o metodologie de tip Life Cycle Assessment (LCA). Emisia totală de dioxid de carbon generată strict în stația de preparare se determină prin însumarea emisiilor din arderea combustibilului cu emisiile aferente energiei electrice, conform ecuației (1):

$$E_{total} = (C_{combustibil} * FE_{combustibil}) + (C_{el,electricitate} * FE_{electricitate}) \quad (1)$$

unde: E_{total} = emisiile totale de CO₂ (kg); $C_{combustibil}$ = consumul de combustibil (l); $FE_{combustibil}$ = factorul de emisie al combustibilului (kg/l); $C_{electricitate}$ = consumul de energie electrică (kWh); $FE_{electricitate}$ = factorul de emisie pentru electricitate (kg/kWh).

Pentru HMA (produsă la 160 °C), consumul mediu este de aproximativ 8 l motorină și 7 kWh energie electrică per tonă produsă [2]. Utilizând inventarele standard internaționale de gaze cu efect de seră, factorul de emisie pentru motorină este stabilit la 2,68 kg CO₂/l, iar pentru rețeaua electrică la 0,25 kg CO₂/kWh [7].

Aplicând ecuația (1), emisia este: $(8 \text{ l} * 2,68) + (7 \text{ kWh} * 0,25) = 21,44 + 1,75 = 23,19$ kg CO₂/tonă.

Pentru WMA (produsă la 120 °C), consumul termic scade la circa 6 l motorină, consumul electric rămânând constant. Emisia rezultată este: $(6 \text{ l} * 2,68) + (7 \text{ kWh} * 0,25) = 16,08 + 1,75 = 17,83$ kg CO₂/tonă [2,7].

Comparația relevă că tehnologia WMA generează o reducere directă de 5,36 kg CO₂ per tonă (aproximativ **23,11 %**) strict în faza de producție în stație. Mai mult, dacă se extinde granița sistemului (LCA global), luând în calcul lipsa fumului la așternere și reducerea cu 50-70 % a oxizilor de azot (NO_x) și a compușilor organici volatili (VOCs), beneficiul ecologic global atinge o reducere cuprinsă între **30 % și 40 %** față de HMA [5,6].

2. Studiu de caz: Analiza tehnico-economică a implementării WMA în România

Evaluarea pură a costului inițial de execuție este o abordare limitată, care nu reflectă eficiența investițiilor publice. Din acest motiv, analiza comparativă trebuie realizată prin prisma conceptului de "Life Cycle Cost Analysis" (LCCA). Modelul matematic general de calcul al valorii actualizate a costurilor (Net Present Value - NPV) pe un ciclu de analiză se exprimă prin ecuația (2):

$$C_{total} = C_{inițial} + \sum \frac{C_{intreținere}}{(1+r)^t} + \frac{C_{reabilitare}}{(1+r)^n} - \frac{V_{reziduală}}{(1+r)^n} \quad (2)$$

unde: C_{total} = costul pe ciclul de viață; $C_{inițial}$ = costul de execuție la momentul zero; $C_{intreținere}$ = costurile de intervenție pe parcursul anilor t ; r = rata de actualizare financiară (scont); n = durata de viață analizată (ani); $V_{reziduală}$ = valoarea materialului la sfârșitul perioadei (reciclare). [8]



Pentru simplificare metodologică în contextul prezentei lucrări, vom utiliza o abordare deterministă a costurilor agregate pe o perioadă de analiză de 15 ani, excluzând rata de scont și valoarea reziduală, conform datelor colectate din practica românească a construcțiilor rutiere.

2.1 Analiza economică și ecologică per unitate de produs

Prețul materialelor este influențat de fluctuațiile pieței bitumului, costul de extracție al agregatelor, transport și accizele la carburanți. Evoluția costurilor de-a lungul perioadei de exploatare este diferită pentru cele două tehnologii, din cauza fenomenului de oxidare timpurie (îmbătrânire) suferit de liantul preparat la temperaturi foarte înalte.

Tabelul 1 prezintă sintetic aceste costuri unitare pentru un ciclu de 15 ani, incluzând prețul de execuție, necesarul de intervenții curente și costul de reabilitare structurală la finalul perioadei, conform tarifelor medii din piață [9].

Tabelul 1. Comparația costurilor cumulate pe un ciclu de 15 ani [10].

Tehnologie	Cost inițial (lei/tonă)	Cost întreținere 15 ani (lei/tonă)
HMA	350	35,00
WMA	385	19,25

Din interpretarea datelor din Tabelul 1 se observă clar că, deși varianta caldută (WMA) necesită o investiție de capital (CAPEX) mai mare din cauza aditivilor speciali, costul operațional pe termen lung (OPEX) scade considerabil. Necesitatea mai rară de a interveni pentru colmatări de fisuri sau badijonări, precum și posibilitatea unei reabilitări doar parțiale la 15 ani, compensează categoric diferența inițială de preț.

2.2 Extrapolarea la nivel macroeconomic: Producția națională a României

Pentru a ilustra amploarea și relevanța tranziției tehnologice, rezultatele unitare au fost extrapolate luând ca referință volumul anual de producție la nivel național, estimat de asociațiile profesionale la 3,375 milioane de tone [9].

Dacă rețeaua națională ar fi modernizată exclusiv cu o singură tehnologie, amprenta de mediu ar varia semnificativ, generând implicații majore asupra eforturilor de decarbonizare. Tabelul 2 ilustrează aceste diferențe ecologice.

Tabelul 2. Impactul macro-ecologic al producției anuale de mixturi (3,375 milioane tone).

Tehnologie	Emisii unitare (kg CO ₂ / tonă)	Emisii totale la nivel național (tone CO ₂ / an)
HMA	23,19	78.266,25
WMA	17,83	60.176,25

Diferența rezultată din Tabelul 2 indică o economie anuală uriașă de dioxid de carbon ne-emis în atmosferă. Aceasta reprezintă o valoare fundamentală în atingerea cotelor naționale de mediu impuse de tratatele internaționale. Tradusă în credite de carbon pe piața europeană



(EU ETS), această cantitate reprezintă o economie financiară directă ce poate fi dedusă din costul investiției rutiere.

În plus, o caracteristică deosebit de importantă pentru contextul climatic al României este posibilitatea de a prelungi sezonul de construcții. Prin capacitatea de a fi compactată eficient și la temperaturi exterioare scăzute, defectele premature generate de așternerea pe vreme rece sunt practic eliminate.

3. Concluzii

În urma analizei comparative detaliate, se poate afirma fără echivoc că mixturile asfaltice călduțe (WMA) reprezintă o soluție superioară tehnologiei clasice la cald (HMA), oferind un echilibru optim între performanță structurală, economie pe ciclul de viață și protejarea mediului.

Pentru a simplifica justificarea acestei tranziții tehnologice, prezentăm sinteza avantajelor și dezavantajelor implementării WMA:

Avantaje:

- Impact ecologic masiv redus: Scade emisiile de CO₂ cu peste 23 % strict în faza de malaxare și reduce cu până la 40 % noxele globale și compușii organici volatili.
- Eficiență economică în exploatare: Cheltuielile reduse de întreținere și reparații pe un ciclu de 15 ani generează o economie operațională considerabilă, amortizând rapid investiția inițială.
- Extinderea sezonului de lucru: Capacitatea aditivilor de a menține lucrabilitatea mixturii la temperaturi scăzute permite asfaltarea în siguranță chiar și în lunile reci de toamnă, specific climei din România.
- Sănătate și siguranță ocupațională: Scăderea temperaturii elimină degajările de fum albastru și aerosoli toxici la locul de punere în operă, protejând sănătatea muncitorilor.
- Rezistență superioară la oboseală: Prepararea la 120 °C previne oxidarea prematură a bitumului, liantul menținându-și flexibilitatea o perioadă mai îndelungată.

Dezavantaje:

- Cost de execuție inițial ridicat: Producția per tonă este cu aproximativ 10 % mai scumpă din cauza costului suplimentar generat de aditivii speciali (organici/chimici) sau de modificarea stațiilor de asfalt.
- Sensibilitate la acțiunea apei (Stripping): Din cauza temperaturii reduse de uscare a agregatelor, poate rămâne umiditate în microporii pietrei, existând riscul ca bitumul să se dezlipească. Acest aspect obligă constructorul să folosească agenți de adeziune (ex. lapte de var) pentru a securiza rețeta.

În concluzie, dezavantajele tehnologiei WMA sunt pur operaționale și complet gestionabile printr-un control strict al calității, în timp ce avantajele sale structurale, economice și de mediu sunt incontestabile. Trecerea la WMA aliniaza infrastructura națională la cerințele moderne de sustenabilitate, fiind nu doar o opțiune viabilă, ci o necesitate asumată tehnic.



BIBLIOGRAFIE

1. Capitão A.D., Picado-Santos L., Martinho F., *Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt*. Journal of Construction and Building Materials, 36, 1016-1024 (2012).
2. Ghafari S., Zhao Z., Piao Z., *Environmental and Economic Assessment of Warm Mix Asphalt (WMA) Technologies*, Applied Sciences, 14, 22, 10246 (2024).
3. AND 605, Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald. Condiții tehnice privind proiectarea, prepararea și punerea în operă, România.
4. Rubio M.C., Martínez G., Baena L., Moreno F., *Warm mix asphalt: an overview*, Journal of Cleaner Production, 24, 76-84 (2012).
5. European Asphalt Pavement Association (EAPA), *The use of Warm Mix Asphalt*, EAPA Position Paper, Brussels, 4-18 (2014).
6. D'Angelo J., Harm E., Bartoszek J., Baumgardner G., *Warm-Mix Asphalt: European Practice, Federal Highway Administration (FHWA)*, Report No. FHWA-PL-08-007, 12-25 (2008).
7. Wang C., Li X., *Life Cycle Assessment of Asphalt Pavements: A review*, Journal of Civil Engineering, 45, 2, 110-125 (2021).
8. AND 547, Normativ pentru prevenirea și remedierea defecțiunilor la îmbrăcămînți rutiere moderne.
9. Asociația Profesională a Drumarilor, Rapoarte de cost și buletine tehnice, surse documentare online, consultate în 2026.
10. <https://asfaltrece.ro/calcul-technico-economic>



SISTEM DE ALARMARE PRIVIND CAPACITATEA PORTANTĂ PENTRU GRINZILE DE PODURI

Autori

Ovidiu-Gabriel AFLOAREI¹, Ionuț-Andrei IGNAT², Ilie GURALIUC³

¹Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: ovidiu-gabriel.afloarei@student.tuiasi.ro

²Facultatea de construcții și instalații, Universitatea tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: ionut-andrei.ignat@student.tuiasi.ro

³Facultatea de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată, Universitatea tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: ilie.guraliuc@student.tuiasi.ro

Îndrumător

S.L.dr.ing. Gheorghita BOACĂ⁴

¹Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași,

⁴S.L.dr.ing. BOACĂ Gheorghita, gheorghita.boaca@academic.tuiasi.ro

REZUMAT: *Lucrarea propune dezvoltarea unui sistem pentru detectarea și semnalizarea cedării unei grinzi, bazat pe monitorizarea continuității unui element conductor integrat în structură. Metodologia utilizează o platformă de tip microcontroler pentru identificarea în timp real a întreruperii circuitului electric, fenomen asociat cedării structurale. La detectarea acestui eveniment, sistemul declanșează automat atât o avertizare acustică, cât și transmiterea unui mesaj SMS, asigurând notificarea imediată la distanță. Se vor înregistra cu ajutorul mărcilor tensiometrice și anumite valori ale tensiunii care apare în grindă. Soluția se remarcă prin simplitate, cost redus și fiabilitate ridicată, oferind o alternativă eficientă la metodele convenționale de monitorizare. Elementul de originalitate constă în integrarea unui mecanism automat de alertare în timp real, cu aplicabilitate extinsă în domeniul siguranței structurale. Sistemul propus demonstrează potențialul utilizării tehnologiilor accesibile pentru prevenirea avariilor și creșterea nivelului de securitate în exploatarea structurilor.*

Cuvinte cheie: integritate structurală , monitorizare structurală , microcontroler Arduino, detecția cedării, sistem de avertizare transmitere SMS.

1. Introducere

Monitorizarea integrității structurilor reprezintă un domeniu esențial în inginerie, având ca scop prevenirea avariilor și asigurarea siguranței în exploatare. Cedarea elementelor structurale, precum grinzi, poate avea consecințe majore, motiv pentru care detectarea timpurie a acestor fenomene este deosebit de importantă [1].

În acest context, lucrarea propune dezvoltarea unui sistem experimental bazat pe tehnologii accesibile, care permite detectarea cedării unei grinzi prin monitorizarea continuității unui circuit electric integrat în structură. Sistemul este conceput astfel încât să evidențieze legătura dintre solicitările mecanice aplicate grinzii și răspunsul acesteia, prin apariția tensiunilor și a deformațiilor. [1]

Pe lângă detecția directă a cedării, proiectul integrează și metode de monitorizare indirectă, prin utilizarea senzorilor, care oferă informații suplimentare despre comportamentul

grinzii în timp real. Astfel, se poate observa evoluția stării structurale înainte de apariția unei avarii, ceea ce contribuie la o înțelegere mai aprofundată a fenomenelor implicate.

Scopul principal al proiectului este realizarea unui mecanism de avertizare rapidă, capabil să semnaleze atât local, prin intermediul unui semnal acustic, cât și la distanță, prin transmiterea unui mesaj, apariția cedării structurale.

În acest mod, sistemul propus nu doar detectează o problemă, ci oferă și posibilitatea intervenției rapide, reducând riscurile asociate.

De asemenea, soluția propusă evidențiază potențialul utilizării unor sisteme simple și eficiente în aplicații reale, demonstrând că monitorizarea structurilor poate fi realizată cu costuri reduse, fără a compromite funcționalitatea. Această abordare deschide perspective pentru dezvoltarea unor sisteme mai complexe, adaptate infrastructurilor moderne, precum poduri sau clădiri.

2. Descrierea proiectului

Sistemul propus este alcătuit din următoarele componente principale:

- grindă experimentală, Figura 1
- un fir conductor integrat în structură
- platformă microcontroler (Arduino) [2]
- un modul GSM pentru transmiterea SMS [3]
- un buzzer pentru avertizare locală
- elemente de electrică
- mărci tensiometrice, Figura 2.



Figura 1. Imagine cu grindă pe bancul de testare



Figura 2. Încercare pe mărci tensiometrice din hârtie.

Firul conductor este integrat în structura grinzii și conectat la microcontroler, formând un circuit electric închis în condiții normale de funcționare. Acest circuit are rolul de a monitoriza integritatea structurală a grinzii, oferind o metodă simplă și eficientă de detecție a cedării. În momentul în care grindă este supusă unei solicitări mecanice, în interiorul acesteia apar tensiuni și deformări, care cresc progresiv odată cu mărirea sarcinii aplicate, Figura 3.

Aceste variații sunt monitorizate cu ajutorul mărcilor tensiometrice, care înregistrează valorile tensiunilor din material atunci când grinda funcționează în regim normal, Figura 4.



Figura 3. Realizarea grinzilor

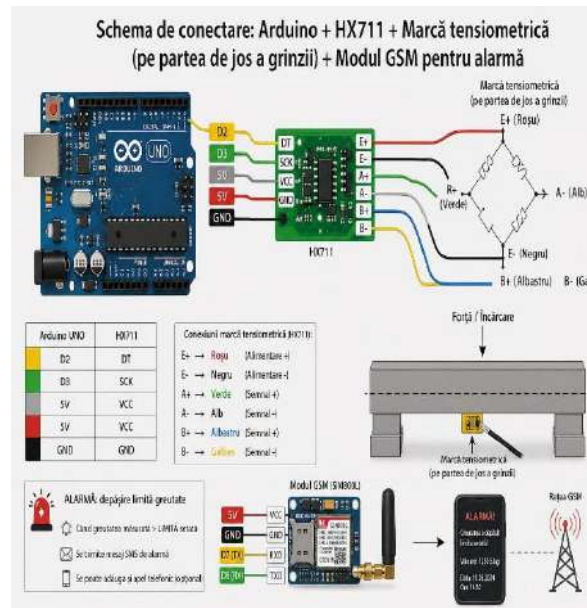


Figura 4. Schema de conectare.

Pe măsură ce solicitarea continuă, structura poate ajunge la limita de rezistență, moment în care apare cedarea. Acest fenomen este însoțit de ruperea firului conductor integrat în grindă, ceea ce determină întreruperea circuitului electric [4].

Microcontrolerul detectează instantaneu această schimbare de stare (trecerea de la circuit închis la circuit deschis) și declanșează automat un mecanism de avertizare. Acesta constă în:

- activarea unui semnal acustic prin intermediul buzzer-ului, pentru avertizare locală
- transmiterea unui mesaj SMS către utilizator, prin intermediul modulului GSM [3].

Prin această metodă, sistemul permite nu doar monitorizarea comportamentului grinzii, ci și detectarea rapidă și eficientă a momentului de cedare, contribuind la creșterea siguranței în exploatare [4].

O marcă tensiometrică este un senzor de dimensiuni reduse, utilizat pentru măsurarea deformațiilor mecanice, prin transformarea acestora în variații ale unui semnal electric. Acest tip de senzor este esențial în analiza comportamentului structurilor supuse solicitărilor.

Principiul de funcționare se bazează pe faptul că, atunci când un material este supus unei forțe, acesta suferă deformări (întindere sau compresiune). Marca tensiometrică, fiind aplicată pe suprafața materialului, se deformează împreună cu acesta, Figura 5.

În urma deformării, firul conductor din interiorul mărcii își modifică lungimea și secțiunea, ceea ce determină o variație a rezistenței electrice.

Astfel, marca tensiometrică permite determinarea indirectă a eforturilor din material, fiind considerată un „senzor de efort”. Aceasta este utilizată pe scară largă în aplicații precum

cântarele electronice, monitorizarea podurilor, a structurilor aeronautice sau a altor elemente de rezistență.

Pentru a putea utiliza semnalul generat de marca tensiometrică, este necesară amplificarea acestuia. În acest scop, se utilizează modulul HX711, un amplificator de semnal proiectat special pentru aplicații cu mărci tensiometrice și sisteme bazate pe microcontrolere, precum Arduino [2].

Semnalul furnizat de marca tensiometrică este foarte mic, de ordinul microvolților sau milivolților, motiv pentru care nu poate fi utilizat direct. HX711 are rolul de a amplifica acest semnal și de a-l converti în format digital, astfel încât să poată fi procesat de microcontroler, Figura 6.

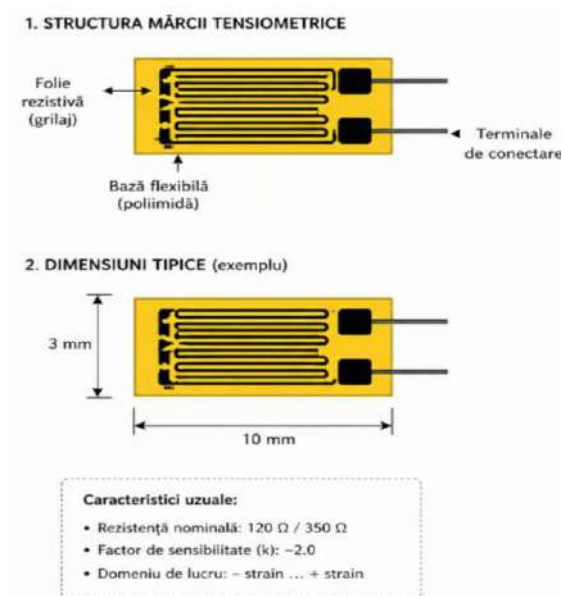


Figura 5. Structură marcă tensiometrică

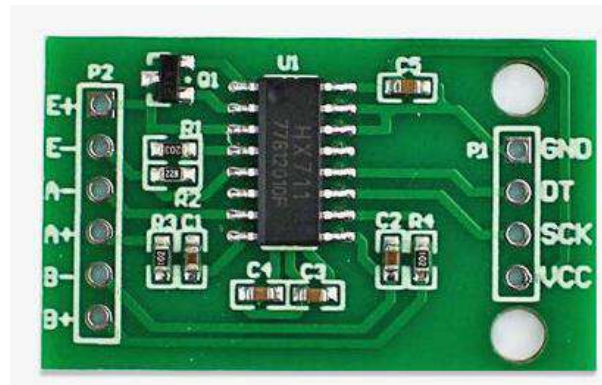


Figura. 6. Aspect HX711.

Relația fundamentală care descrie funcționarea mărcii tensiometrice este:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon \quad (1)$$

unde:

ΔR reprezintă variația rezistenței electrice [Ω], R reprezintă rezistența inițială a mărcii tensiometrice [Ω], k reprezintă factorul de sensibilitate (gauge factor), reprezintă deformația unitară (fără unitate).

Deformația unitară este definită ca raportul dintre variația lungimii și lungimea inițială:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

unde:

ε reprezintă deformația unitară, ΔL reprezintă variația lungimii [m], L reprezintă lungimea inițială [m].

În aplicațiile practice, mărcile tensiometrice sunt conectate într-o punte Wheatstone, care permite transformarea variațiilor de rezistență în variații de tensiune electrică. Tensiunea de ieșire a punții este aproximativ:

$$V_{out} \approx \left(\frac{\Delta R}{R}\right) \times V_{in} \quad (3)$$

unde:

V_{out} reprezintă tensiunea de ieșire a punții Wheatstone [V], $\Delta R / R$ reprezintă variația relativă a rezistenței, V_{in} reprezintă tensiunea de alimentare a punții [V].

Semnalul obținut este foarte mic, de ordinul microvolților sau milivolților, motiv pentru care este necesară amplificarea acestuia. În acest scop se utilizează modulul HX711, care amplifică și convertește semnalul analogic în semnal digital.

Relația de amplificare este:

$$V_{amplificat} = G \times V_{OUT} \quad (4)$$

unde: $V_{amplificat}$ reprezintă tensiunea amplificată la ieșirea modulului [V], G reprezintă Factorul de amplificare, V_{out} reprezintă tensiunea de intrare [V].

Prin utilizarea acestor relații, sistemul permite conversia deformării mecanice în semnal electric, care este ulterior amplificat și procesat de microcontroler, permițând monitorizarea în timp real a stării structurale a grinzii.

Dupa amplificare, semnalul este convertit analog-digital: Valoare digitala este proportionala cu $V_{amplificat}$. HX711 transforma forma aplicata pe senzor în valori numerice citite de Arduino. [2].

Fluxul procesului: Forta $\rightarrow$ Deformatie $\rightarrow$ Variatie de rezistenta $\rightarrow$ Tensiune mica $\rightarrow$ Amplificare $\rightarrow$ Conversie digitala, Fig. 7.

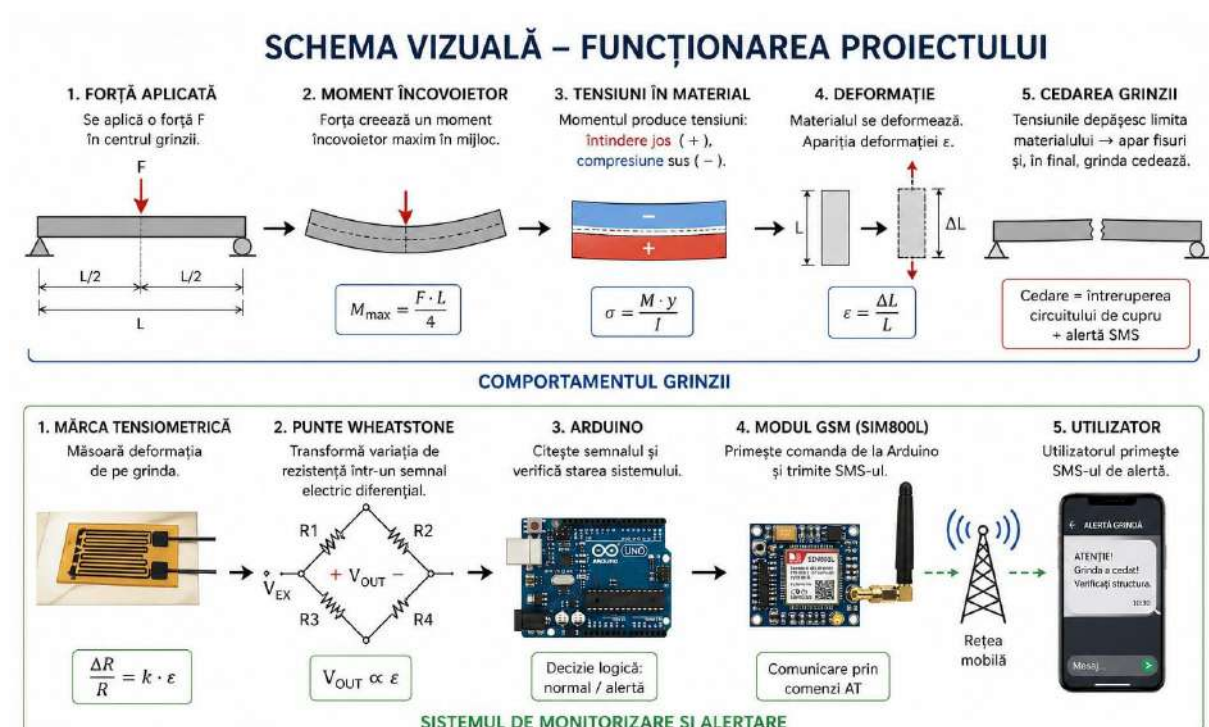


Figura 7. Schemă de funcționare sistem

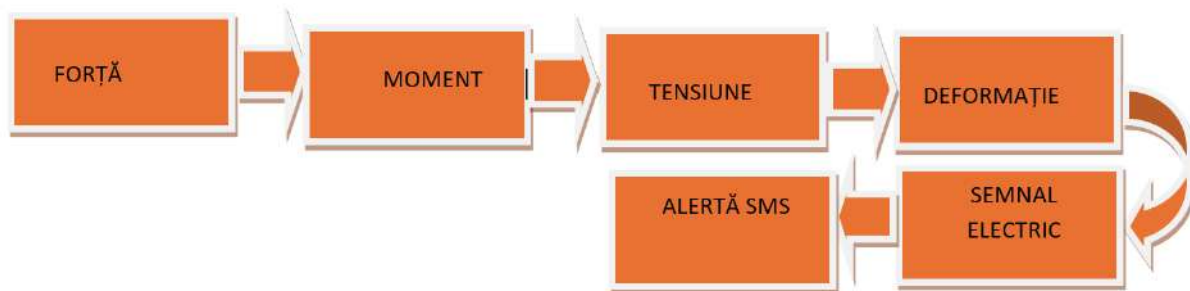


Figura 8. Ordinea evenimentelor

Atunci când asupra grinzii acționează o forță, în interiorul acesteia apare un moment încovoiător, care determină solicitarea materialului. Pentru o grindă simplu rezemată, momentul maxim apare în zona centrală și este proporțional cu forța aplicată și lungimea grinzii:

$$M_{\max} = \frac{F \cdot L}{4} \quad (5)$$

unde: $M_{\max}$ reprezintă momentul încovoiător maxim [Nm], F reprezintă forța aplicată [N], L reprezintă lungimea grinzii [m].

Acest moment generează tensiuni interne în material, a căror valoare depinde de intensitatea solicitării și de geometria secțiunii grinzii:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (6)$$

unde: σ reprezintă tensiunea normală [Pa], M reprezintă momentul încovoiător [Nm], y reprezintă distanța față de axa neutră [m], I reprezintă momentul de inerție al secțiunii [m⁴].

Prin utilizarea acestor relații, sistemul realizat permite monitorizarea indirectă a stării grinzii, prin corelarea dintre forțele aplicate, tensiunile interne și semnalele electrice obținute de la senzori.

În momentul în care solicitarea depășește limita de rezistență a materialului, apar fisuri care conduc, în final, la cedarea grinzii. În cadrul proiectului, acest moment este detectat atât prin analiza deformațiilor măsurate, cât și prin întreruperea circuitului realizat cu firul de cupru, ceea ce declanșează sistemul de alertare [4].

2.1 Implementare experimentală

Experimentul realizat are ca scop analizarea comportamentului unei grinzi simplu rezemate, prin aplicarea unei sarcini progresive până la atingerea stării de cedare, Figura 9.

Această abordare permite observarea etapelor prin care trece structura, de la regimul elastic până la apariția defectelor și, în final, la rupere, Figura 10.

Pe parcursul testului, grinda este supusă unei încărcări controlate, iar evoluția stării sale este monitorizată cu ajutorul mărcilor tensiometrice. Acestea înregistrează variațiile de tensiune

din material, oferind informații relevante despre nivelul solicitării și despre deformațiile apărute, Figura 11.

În paralel, în structura grinzii este integrat un fir conductor, poziționat strategic astfel încât să se rupă simultan cu apariția cedării structurale. Acest element are rolul de a permite detecția directă a momentului critic, prin întreruperea circuitului electric, Figura 12.



Figura 9. Locul cedării



Figura. 10. Imagine grinzii.





Figura 11. Cablu pretensionat și fire pentru testarea tensiunii

Figura 12. Grinda pregătită de testare în momentul alegerii firului care va fi introdus în grindă.

Pe parcursul desfășurării experimentului:

- sistemul monitorizează continuu starea circuitului electric, precum și valorile deformațiilor determinate cu ajutorul mărcilor tensiometrice;
- datele sunt preluate și procesate de microcontroler, care urmărește în timp real comportamentul grinzii;
- în momentul ruperii firului conductor, circuitul se întrerupe, iar sistemul declanșează automat alarma acustică;
- simultan, utilizatorul este notificat la distanță prin transmiterea unui mesaj SMS.

Această combinație între monitorizarea indirectă (prin senzori) și detecția directă (prin firul conductor) permite o identificare rapidă și sigură a momentului de cedare [5].

Rezultatele obținute în urma experimentului confirmă funcționarea corectă a sistemului și evidențiază capacitatea acestuia de a detecta în timp real cedarea structurală, oferind astfel un instrument util pentru creșterea siguranței în exploatare [6].

3. Studiu de caz

Pentru a evidenția aplicabilitatea practică a sistemului propus, se consideră cazul unui pod rutier intens circulat, supus zilnic unor solicitări variabile generate de traficul auto și de condițiile de mediu.

În condiții normale de exploatare, elementele structurale ale podului, în special grinzile de rezistență, sunt supuse unor eforturi repetate de întindere și compresie. În timp, aceste solicitări conduc la acumularea de tensiuni interne și la apariția unor deformații progresive, care pot favoriza dezvoltarea fisurilor în material.

Pe lângă solicitările mecanice, structura este influențată și de factori de mediu, precum variațiile de temperatură și presiune atmosferică. Aceste variații pot determina dilatări sau contracții ale materialului, contribuind la modificarea stării de tensiune din grindă.

În acest context, sistemul propus poate fi implementat pentru monitorizarea în timp real a comportamentului structurii. Grinda este echipată cu mărci tensiometrice, un fir conductor integrat, precum și senzori de temperatură și altitudine, toate conectate la o platformă de tip Arduino și la un modul de comunicație GSM [3].

În timpul funcționării, sistemul monitorizează continuu starea grinzii: Mărcile tensiometrice înregistrează variațiile de deformație produse de sarcinile aplicate senzorii de temperatură și altitudine furnizează informații despre condițiile de mediu microcontrolerul analizează aceste date și urmărește evoluția parametrilor în timp circuitul electric realizat prin firul conductor rămâne închis în condiții normale [5].

În situația în care grindă este supusă unei suprasolicitări, deformațiile cresc semnificativ, indicând apropierea de limita de rezistență a materialului. În momentul în care această limită este depășită, apare cedarea structurală, însoțită de ruperea firului conductor integrat în structură, Figura 2.



Această întrerupere a circuitului este detectată instantaneu de sistem, care declanșează automat următoarele acțiuni: activarea unui semnal acustic local, pentru avertizarea imediată a personalului din apropiere; transmiterea unui mesaj SMS către utilizator sau către echipa de intervenție, prin intermediul modului GSM [3].

Prin aceste mecanisme, sistemul permite intervenția rapidă, cum ar fi restricționarea traficului sau efectuarea unor verificări tehnice, prevenind astfel producerea unor accidente.

Implementarea unui astfel de sistem contribuie la creșterea siguranței structurale, prin transformarea unei structuri pasive într-un sistem activ de monitorizare. De asemenea, permite identificarea timpurie a problemelor și reducerea costurilor de întreținere pe termen lung.

În concluzie, studiul de caz demonstrează că sistemul propus poate fi adaptat cu succes pentru aplicații reale, oferind o soluție eficientă pentru monitorizarea integrității structurilor și prevenirea situațiilor periculoase.

3.1. Avantaje și aplicații

Sistemul propus prezintă o serie de avantaje importante, care îl recomandă atât pentru utilizare experimentală, cât și pentru aplicații practice în domeniul ingineriei structurale.

Un prim avantaj este reprezentat de costul redus, datorat utilizării unor componente accesibile și ușor de procurat, precum platformele de tip Arduino și senzorii uzuali. Acest aspect face ca sistemul să poată fi implementat fără investiții majore [2].

De asemenea, sistemul se remarcă prin implementarea simplă, arhitectura acestuia fiind ușor de înțeles și de realizat. Integrarea componentelor nu necesită echipamente complexe, ceea ce îl face potrivit inclusiv pentru aplicații didactice sau proiecte experimentale.

Un alt avantaj important este răspunsul rapid. Detectarea cedării structurale se realizează instantaneu prin întreruperea circuitului electric, ceea ce permite declanșarea imediată a sistemului de avertizare și reducerea timpului de reacție.

În plus, sistemul oferă posibilitatea monitorizării la distanță, prin utilizarea unui modul GSM, care permite transmiterea automată a notificărilor către utilizator. Astfel, starea structurii poate fi supravegheată în timp real, indiferent de locație [3].

Pe lângă avantajele prezentate, sistemul are multiple domenii de aplicabilitate.

Acesta poate fi utilizat pentru monitorizarea structurilor de construcții, precum grinzi, planșee sau alte elemente portante, contribuind la prevenirea apariției avariilor.

De asemenea, poate fi integrat în supravegherea elementelor de rezistență, unde este necesară detectarea rapidă a degradărilor sau a cedărilor structurale.

În domeniul industrial, sistemul poate fi utilizat în cadrul unor sisteme de siguranță, pentru monitorizarea componentelor mecanice supuse solicitărilor, prevenind astfel cedările neașteptate.

Nu în ultimul rând, sistemul reprezintă un instrument util în educație și experimente didactice, facilitând înțelegerea fenomenelor de rezistență materialelor și a modului de funcționare a sistemelor moderne de monitorizare.



4. Concluzii

Lucrarea de față evidențiază eficiența utilizării unui sistem bazat pe microcontroler pentru detectarea cedării unei grinzi, demonstrând că monitorizarea structurală poate fi realizată prin soluții simple și accesibile.

Sistemul propus se remarcă printr-o implementare facilă și un cost redus, oferind în același timp un mecanism fiabil de avertizare, atât la nivel local, prin semnal acustic, cât și la distanță, prin transmiterea de mesaje.

Un element de originalitate al proiectului îl constituie integrarea unui sistem de alertare automată prin SMS, care permite notificarea rapidă a utilizatorului în momentul apariției unei cedări structurale, facilitând astfel intervenția în timp util.

Rezultatele experimentale obținute confirmă funcționarea corectă a sistemului și evidențiază potențialul utilizării tehnologiilor accesibile în domeniul monitorizării structurilor. Implementarea unor astfel de soluții poate contribui semnificativ la creșterea nivelului de siguranță și la prevenirea unor evenimente nedorite.

În perspectivă, dezvoltarea și extinderea acestui tip de sistem pot conduce la realizarea unor soluții inteligente, aplicabile în infrastructuri reale, precum poduri sau clădiri, având un rol important în monitorizarea continuă a integrității structurale.

BIBLIOGRAFIE

1. SIM800/SIM900 GSM Module, "Technical Documentation," [Online].
2. Ferdinand P. Beer, E. R. Johnston Jr., J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, Mechanics of Materials, McGraw-Hill, 2015.
3. Resurse online privind sisteme embedded și monitorizarea structurală, articole și documentații tehnice de specialitate.
4. Arduino, "Arduino Documentation," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc>
5. James M. Gere and B. J. Goodno, Mechanics of Materials, Cengage Learning, 2012.
6. Materiale didactice din domeniul rezistenței materialelor, suporturi de curs și laborator.



CRITERII DE PROIECTARE ȘI STANDARDE DE SIGURANȚĂ ÎN CIRCUITELE AUTO

Autor

Hajnalka Friderika M. Kocsis

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

Îndrumător/îndrumători

Șef lucrări Dr. Ing. Clitan Andrei Florin

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro](mailto:andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro).

REZUMAT: *Lucrarea de față prezintă o analiză succintă a standardelor fundamentale de proiectare și protecție operaționalăteproteje pentru circuitele auto, cu accent pe reglementările FIA. Scopul cercetării este identificarea diferențelor critice dintre proiectarea infrastructurii rutiere clasice și cea de înaltă performanță. Metodologia utilizată constă într-o analiză comparativă a normelor naționale și a cerințelor internaționale, completată de calcule ale dinamicii vehiculelor în viraje. Concluzia principală evidențiază faptul că supraînălțarea optimizată și utilizarea materialelor bituminoase speciale sunt esențiale pentru gestionarea forțelor tangențiale ridicate, asigurând o infrastructură care protejează participanții și publicul prin limitarea testărilor de viteză pe drumurile publice.*

Cuvinte cheie: Standard de proiectare și siguranță, Circuit auto, Geometria pistei, Zone de degajare, Managementul incidentelor, Sisteme de protecție.

1. Introducere și Cadrul Normativ de Proiectare

1.1. Obiectivele lucrării și importanța conformității

Obiectivul acestei lucrări este analiza procesului și standardelor care transformă un proiect de infrastructură într-un circuit omologat, unde pot fi organizate competiții internaționale în condiții de controlate de micsiguranță. Lucrarea explorează modul în care geometria pistei și calitatea materialelor de construcție influențează direct siguranța piloților și eficiența serviciilor de urgență.

Importanța conformității cu reglementările FIA (Anexa O și H) este una critică din trei perspective fundamentale:

- Validitate legală și sportivă (Anexa O, Art. 1): Conformitatea și respectarea strictă a criteriilor de proiectare este necesară pentru obținerea și menținerea Licenței de Circuit. Prin obținerea acestei licențe organizatorul este protejat de răspundere juridică în cazul unor incidente previzibile.
- Eficiența intervenției (Anexa H, Art 1.1): Geometria pistei trebuie să respecte normele de vizibilitate pentru posturile de comisari, trebuie prevăzute căi de acces pentru vehiculele medicale, altfel anulează capacitatea de intervenție rapidă, măbind exponențial gravitatea oricărui accident.



- Managementul riscului și inovația (e-Safety): Standardele moderne impun reguli noi pentru manipularea vehiculelor electrice și hibride, iar conformitatea presupune și adaptarea la aceste tehnologii noi.

Conformitatea cu standardele internaționale garantează că circuitul este proiectat în așa fel încât erorile umane de pilotaj sunt compensate de o infrastructură. Aceasta trebuie să fie capabilă să absoarbă energia și să faciliteze intervenția rapidă pentru salvarea vieților umane. Astfel, orice schimbare neautorizată, indiferent de amploarea, poate duce la suspendarea licenței circuitului. [1], [2].

1.2. Analiză comparativă a reglementărilor: STAS 863-35 vs. FIA Anexa O

În această secțiune se analizează diferențele fundamentale dintre un drum public european și un circuit auto. În timp ce un drum public este proiectat pentru un spectru larg de utilizatori și vehicule, circuitul este optimizat pentru utilizare extremă, unde vehiculele operează constant la limita aderenței.

a.) Scopul proiectării și profilul utilizatorului

În standardul STAS 863-85 urmărește asigurarea siguranței publice, a confortului și a vizibilității pentru viteze legale (până la 100 km/h). Acesta este completat de Ordinul 1296 și PD 162 pentru autostrăzi (viteze mai mari), unde vitezele de proiectare sunt mai ridicate. În contrast, în Anexa O circuitul este definit ca o entitate închisă, unde viteza și performanța sunt limitate doar de capacitatea de absorbție a forțelor care acționează asupra vehiculelor, în același timp fiind impusă și o structură care protejează pilotul în cazul unei pierderi de control imprevizibile. [1], [5]

b.) Geometria

O diferență majoră apare în gestionarea apelor pluviale, în cazul unui drum public, se utilizează cel mai des șanțuri, rigole și podețe, iar în cazul circuitelor se folosesc drenuri și caneluri transversale. În aliniament, profilul transversal al unui drum public este de tip acoperiș, cu o pantă de 2.0-2.5 %, la circuite acesta variază între 1.5 % și 3 %.

Profilul longitudinal al unui circuit poate fi proiectat după standardul STAS 863-85, ținând cont de Anexa O, în care este precizat că panta la grila de start nu poate să fie mai mare de 2 %. Se mai consideră la schimbări de pante că executarea acestora nu este recomandată în zone de frânare, zone de viteze mari și curbe. Acestea nu sunt interzise, dar trebuie evitate dacă e posibil. Mai este menționat că între grila de start și prima curbă ar trebui să fie aproximativ 250 m, virajul să fie o schimbare de direcție de 45°, cu o rază mai mică de 300 m. [1], [5]

c.) Profilul transversal

Dacă drumul european este segmentat în benzi de circulație fixe (3.5 m - 3.75 m), circuitul este considerat o platformă de rulare unitară cu o lățime de 15 m la grila de start și 12 m la restul circuitului. Această lățime are scopul de a permite explorarea diferitelor traiectorii de concurs



și facilitarea manevrelor de depășire în siguranță. La proiectarea unui circuit înlărgirea se face gradual, maxim 1 m la 20 m. [1], [5]

d.) Supraînălțare (Banking)

În ingineria rutieră, conform STAS, supraînălțarea în curbe este limitată pentru a evita răsturnarea vehiculelor înalte, precizează în funcție de viteză și rază care supraînălțare și supralărgire trebuie folosite. FIA, în Anexa O, precizează o supraînălțare maximă de 10 % (5.7°), cu posibile excepții în cazuri speciale (exemple: AVUS Nordkurve din Berlin (1959) – 43.6°; Hugenoltzbocht de la Zandvoort - 18°; Monza -21°), această componentă a circuitului având ca rol transformarea forțelor laterale în forțe de apăsare, sporind stabilitatea la viteze mari. [1], [5]

Tabelul de mai jos prezintă diferențe între proiectarea unui drum public și cea a unui circuit:

Tabel 1. Elemente tehnice (Drum public, Circuit auto)

Element tehnic	Drum public (STAS 863-85)	Circuit auto (FIA Anexa O)
Scopul principal	Siguranță publică, confort și fluiditate la viteze legale.	Maximizarea performanței și siguranță în condiții de cursă la viteze mari.
Profil transversal	Tip acoperiș (2.0 % - 2.5 %).	Variabil între 1,5 % - 3 %.
Supraînălțare (Banking)	Limitată la 6-7 %.	Limitată la 10 % cu excepții.
Lățimea platformei	Benzi fixe (2.75 m - 3.5 m) + acostamente.	Minim 12 m (min. 15 m la grilă de start).
Borduri	Verticale sau teșite (scop: delimitare, rigole).	Profile speciale (pozitive/negative) (scop: dinamica vehiculului).
Aderență	Medie, optimizată pentru durabilitate și anvelope de stradă.	Ridicată, optimizată pentru pneuri de concurs.
Zone de protecție	Parapete metalice (scop: prevenirea ieșirii de pe carosabil).	Zone de degajare (Run-off area) și bariere de absorbție a energiei.

1.3. Procedura de omologare și gradele de licențiere

Obținerea unei licențe internaționale este un proces riguros, structurat astfel încât să fie îndeplinite la orice circuit criteriile de siguranță corespunzătoare performanțelor vehiculelor care vor rula pe acesta.

a.) Fluxul procedurii de omologare

La începutul procesului se depune un dosar tehnic digital detaliat, care include planuri de execuție, profiluri transversale și studii de siguranță. Aceste planuri digitale sunt referințe esențiale pentru fiecare etapă de inspecție și pentru eliberarea licenței finale. Procedura de recunoaștere presupune verificarea conformității sitului cu specificațiile de proiectare, orice modificare ulterioară trebuie revizuită și necesită o inspecție nouă.

Când un circuit se apropie de data expirării licenței, acest lucru trebuie semnalat către FIA cu 3 până la 6 luni înainte de data scadentă, pentru programarea unei noi verificări. Faptul că un



circuit a deținut anterior o licență de un anumit grad, nu garantează că va primi din nou același nivel, din cauza modificărilor de reglementări, a surplusului de circuite licențiate sau a altor factori. Un circuit care în anii anteriori a găzduit curse de cel mai înalt nivel poate ajunge să primească doar o licență pentru testarea vehiculelor. [1], [2]

b.) Gradele de licențiere FIA

Sistemul de licențiere este organizat pe niveluri ierarhice, în funcție de raportul putere/greutate al vehiculelor și de viteze estimate. Această clasificare stabilește nivelul de dotări tehnice și de măsuri de siguranță necesare pentru fiecare circuit sau locație. [1], [2]

Clasificarea gradelor de licență FIA (Conform Anexa O 2025):

Tabel 2. Grad licență

Grad Licență	Tipuri de vehicule / Competiții Permise	Cerințe specifice de proiectare
Gradul 1	Formula 1. Toate categoriile de vehicule.	Cele mai stricte standarde; lățime minimă 12 m; sisteme de siguranță de ultimă generație, facilități medicale complete. Raport putere/greutate sub 1 kg/hp.
Gradul 2	Formula 2, Formula 3, Monoposturi (ex. IndyCar), WEC, Prototipuri (LMDh, LMH), GT3.	Raport putere/greutate între 1 kg/hp și 2 kg/hp.
Gradul 3	Mașini de turisme (TCR), cupe mono-marcă, vehicule istorice.	Raport putere/greutate între 2 kg/hp și 3 kg/hp
Gradul 4	Formula 4, prototipuri ușoare.	Raport putere/greutate peste 3 kg/hp.
Gradul 5	Licență de nivel introductiv. Nu este valabilă pentru competiții internaționale.	Fără raport specificat.
Gradul 6	Autocross, Rallycross, Drifting.	Circuite cu suprafețe mixte sau specifice; criterii adaptate pentru siguranța la derapaj controlat.

c.) Inspecțiile și menținerea licenței

Licența de circuit nu este permanentă, având o durată de valabilitate limitată (de maximum 3 ani) și fiind supusă unor inspecții periodice, menite să verifice menținerea standardelor de siguranță și starea suprafeței de rulare. În cazul în care un circuit suferă modificări structurale sau dacă starea asfaltului se deteriorează, licența poate fi suspendată sau gradul acesteia poate fi retrogradat până la remedierea deficiențelor. [1]

2. Geometria Pistei și Ingineria Suprafeței de Rulare

2.1. Profilul transversal și managementul apelor

Geometria secțiunii transversale a unui circuit poate fi văzută ca un compromis între două lucruri importante: scurgerea eficientă a apei și aderența cât mai bună. Spre deosebire de drumurile publice, unde profilul transversal este stabilit prin standarde clare, în cazul circuitelor

nu există un profil fix. Acesta devine un factor important care influențează direct performanța și este proiectat în funcție de mai mulți parametri, cum ar fi tipul curbelor, vitezele de rulare și condițiile meteorologice specifice zonei. Spre deosebire de standardele folosite la proiectarea drumurilor publice, care impun un profil transversal de tip acoperiș (2.5 %) pentru siguranța populației, Anexa O permite o pantă unică (cross-fall) de minimum 1.5 %, optimizată astfel încât să prevină adunarea apei în zonele de frânare și viraje de mare viteză. Este eliminat axul central al drumului, oferind o suprafață de rulare continuă pe întreaga lățime a circuitului. Acumulările periculoase de apă în zonele de degajare sunt prevenite prin utilizarea unor rigole de mare capacitate, integrate direct în spatele bordurilor (kerbs). [1], [5]

Comparație tehnică: Profile transversale tip

Tabel 3. Elementele profilului transversal

Element tehnic	Profil transversal Drum public	Profil transversal Circuit auto
Configurația pantei	Tip acoperiș: Două pante simetrice care pornesc din axul central.	Pantă unică (Cross-fall): O singură înclinație pe toată lățimea pistei.
Valoarea pantei (%)	2.0 % - 2.5 %	1.5 % - 3 %
Lățimea platformei	Segmentată în benzi de 3.5 m	Suprafață unitară de minim 12 m
Axul drumului	Punctul cel mai înalt, situat pe centrul platformei.	Inexistent fizic
Sistem de drenaj	Șanțuri sau rigole amplasate după acostament	Rigole de mare capacitate integrate în spatele bordurilor (în zone de frânare și curbe)
Structura marginilor	Acostamente din balast sau asfalt	Borduri de performanță (în zone de frânare și curbe) Pat de pietriș (zone de derapaj)

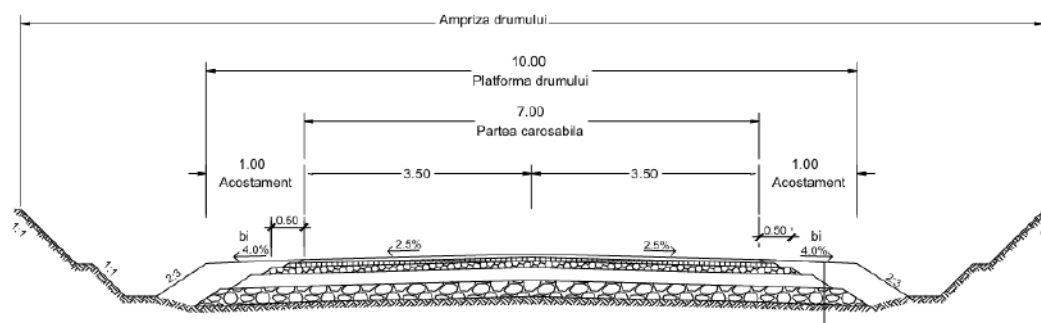


Figura 1. Profil Transversal tip, Drum public

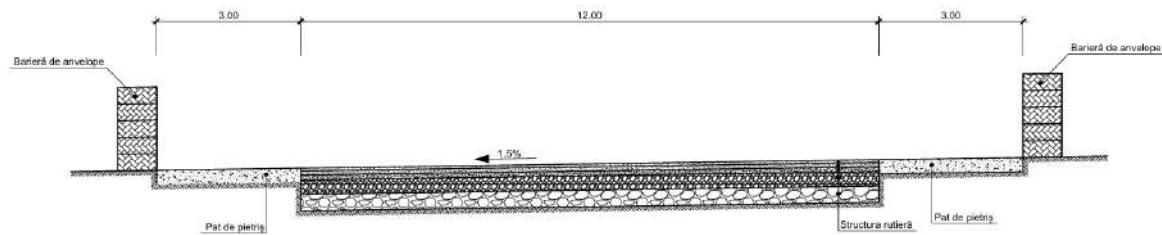


Figura 2. Profil Transversal tip, Circuit auto

2.2. Geometria în curbe și analiza forțelor tangențiale

a) Comparație supraînălțare în curbe [5], [10]

Tabel 4. Supraînălțare în curbe

Parametru	STAS 863-85 (drum european)	FIA Anexa O (Circuit)
Panta maximă în curbă	Max. 7 %	Max. 10 %, cu excepții
Rolul geometriei	Siguranță statică. Evitarea derapajului la viteze legale.	Optimizare forțe G. Maximizarea vitezei de trecere prin viraj.
Tranziție	Clotoidă	Progresivă, adaptată vitezei critice.

b) Analiza parametrică a stabilității în curbe:

Pentru Limita superioară a vitezei într-un viraj poate fi determinată utilizând ecuația echilibrului forțelor care acționează asupra vehiculului într-un plan înclinat.

- Formula vitezei maxime de trecere este: $V_{max} = \sqrt{g \times R \times \frac{\mu + \tan(\alpha)}{1 - \mu \times \tan(\alpha)}}$, unde:
 - g : Accelerație gravitațională (9.81 m/s^2)
 - R : Raza curbei (alegem un viraj de viteză medie, $R=150 \text{ m}$)
 - μ : Coeficient de frecare laterală; aderența între pneu și mixtură asfaltică ($\mu=0.5$ la drum public; $\mu=0.8$ la circuit)
 - α : Unghiul de supraînălțare [1], [10]
- Scenariu A: Drum public
 - $\alpha = 7\% \Rightarrow \tan(\alpha) = 0,07$
 - $\mu = 0,5$
 - $V_{max} = \sqrt{9.81 \times 150 \times \frac{0.5+0.07}{1-0.5 \times 0.07}} = \sqrt{1471.5 \times \frac{0.57}{0.965}} = 29.49 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 106.15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$



- Scenariu B: Circuit Auto
 - $\alpha = 10\% \Rightarrow \tan(\alpha) = 0,1$
 - $\mu = 0,8$
 - $V_{max} = \sqrt{9.81 \times 150 \times \frac{0.8+0.1}{1-0.8 \times 0.1}} = \sqrt{1471.5 \times \frac{0.90}{0.92}} = 37.95 \frac{m}{s} = 136.63 \frac{km}{h}$

Concluzia analizei: Comparând cele două rezultate, observăm o creștere a vitezei critice cu aproximativ 30 km/h (aprox. 23 %). Această diferență provine din sinergia dintre geometrie (creșterea pantei de la 7 % la 10 %) și ingineria materialelor (coeficient μ ridicat, asigurat de mixturile bituminoase). [1], [10]

- Reprezentarea grafică a performanței dinamice: Pentru a evidenția impactul combinat al geometriei (supraînălțare) și al calității materialelor (aderența), am elaborat un tabel și un grafic comparativ care urmărește variația vitezei maxime teoretice (V_{max}) în funcție de raza curbei (R). [1], [5], [10], [12]

Tabel 5. Performanța dinamică în funcție de raza curbei

Raza Curbei (m)	Viteza Drum Public (km/h)	Viteza Circuit FIA (km/h)	Diferența (km/h)
50	61.27	78.84	17.57
75	75.04	96.56	21.52
100	86.65	111.5	24.85
125	96.88	124.66	27.78
150	106.13	136.56	30.44
175	114.63	147.5	32.87
200	122.54	157.69	35.14
225	129.98	167.25	37.28
250	137.01	176.3	39.29
275	143.69	184.91	41.21
300	150.08	193.13	43.04
325	156.21	201.01	44.8
350	162.11	208.6	46.49
375	167.8	215.92	48.12
400	173.3	223	49.7
425	178.64	229.87	51.23
450	183.81	236.53	52.72
475	188.85	243.01	54.16
500	193.76	249.33	55.57

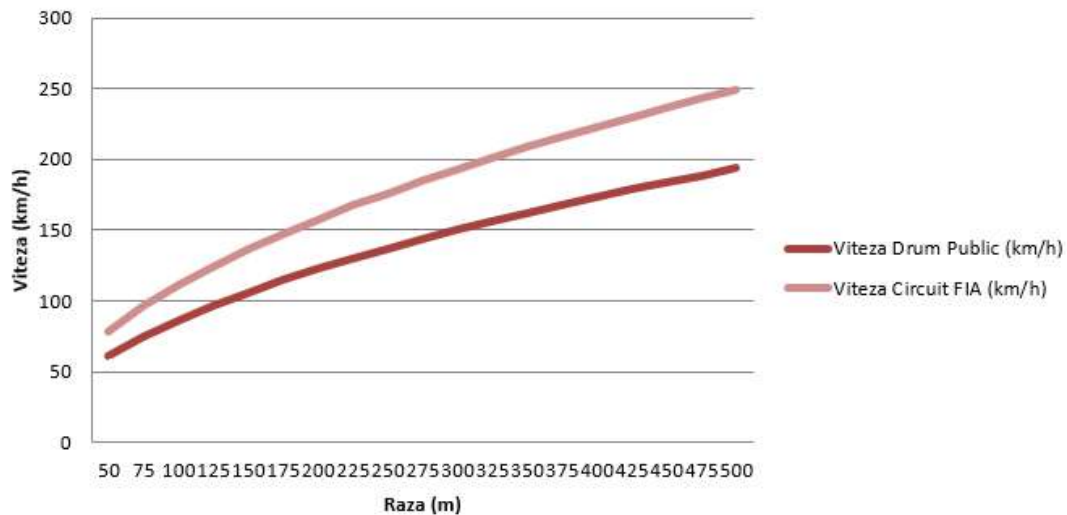


Figura 3. Limita de viteză în curbe

2.3. Materiale și suprafața de rulare

Alegerea materialelor pentru stratul de rulare al unui circuit auto nu urmează criteriile clasice de portanță pentru trafic greu, ci se concentrează pe macrotextură și rezistența la forfecare.

a.) Calculul efortului de forfecare la interfața pneu-asfalt

Pentru a justifica utilizarea bitumului modificat, calculăm efortul tangențial (τ) exercitat de un vehicul de performanță într-un viraj la limita aderenței:

Formula utilizată: $\tau = \frac{F_y}{A_{Contact}} = \frac{m \times a_y}{A_{Contact}}$, unde

- m: Masa pe roată (ex. 400 kg)
- a_y : Accelerația laterală (pe circuit poate atinge 1.5 g - 5.0 g)
- $A_{Contact}$: Aria de contact a pneului. [10]

Exemplu de calcul: Pentru o accelerație de 1.5g (14.7 m/s²) și o arie de contact de 0.04 m².

$$\tau = \frac{400 \times 14.7}{0.04} = 147.000 \text{ Pa} = 147 \text{ kPa}$$

Acest efort este de aproximativ 3-4 ori mai mare decât cel generat de un autoturism pe un drum public, ceea ce explică de ce mixturile asfaltice obișnuite se dezintegrează rapid pe circuit.

b.) Soluții tehnice adoptate:

- Agregate și rugozitate: La drumurile publice sunt puse condiții stricte privind rugozitatea și rezistența la șlefuire. La circuite sunt folosite agregate cu valoare PSV (Polished Stone Value) >60-65 pentru a asigura coeficientul $\mu=0.8$ utilizat la calculul de la secțiunea 2.2.



- Bitum: Pe drumurile europene se utilizează bitum rutier standard (ex. 50/70), iar pe circuite se folosește bitum modificat cu polimeri, care oferă o elasticitate superioară.
- Planeitate: Standardele la drumuri publice permit toleranțe mai mari. În cazul circuitelor este permisă o abatere de maximum 3mm sub dreptarul de 3m, esențială pentru stabilitatea aerodinamică a vehiculelor la viteze mari. [1], [6], [7], [8], [9], [10]

3. Standarde de Siguranță și Sisteme de Protecție

3.1. Zonele de degajare

În timp ce platforma unui drum public conține acostamente înguste, circuitele folosesc zone extinse de degajare, care pot fi asfaltate sau cu pietriș. Cele asfaltate utilizează mixturi cu coeficient de frecare ridicat, pentru decelerare controlată, iar paturile de pietriș (adâncime min. 25 cm) opresc fizic vehiculele înainte ca ele să ajungă până la barieră. [1], [5]

3.2. Bariere de absorbție a energiei

În locul parapetelor metalice se folosesc alte alternative, ele fiind periculoase la viteze mari. [3]

- Bariere Tecpro: Sisteme deformabile care absorb progresiv energia cinetică. [2]
- Bariere de anvelope: Alcătuite din 2-6 rânduri, asigurate cu benzi transportoare pentru a preveni pătrunderea vehiculului sub ele. [2]

3.3. Semnalizarea și logistica boxelor

Linia boxelor (pit lane) este separată de pistă printr-un zid de protecție continuu. Semnalizarea este dublată de panouri LED de înaltă vizibilitate, integrate în sistemul de management al incidentelor (Anexa H). [1], [2]

4. Managementul Incidentelor și Servicii de Intervenție

4.1. Race Control și supravegherea pistei

Centrul de control (Race Control) exercită controlul centralizat asupra evenimentelor pe circuit, utilizând rețele CCTV pentru supraveghere constantă. Rețeaua de suport este formată din posturi de comisari, proiectate astfel încât să asigure vizibilitate maximă, cu intervale maxime de 500 m între punctele succesive. Această structură permite semnalizarea imediată către piloți prin steaguri sau panouri LED în cazul unui accident sau alt eveniment periculos. [2]

4.2. Protocoale medicale și de descarcerare

- Vehicule de intervenție rapidă (Medical car): Ajung în aproximativ 60 de secunde la locul incidentului. [2], [11]
- Echipa specializată în descarcerare medicală: Personal specializat în extragerea piloților din monoposturi fără a agrava eventualele leziuni spinale. [2], [11]



- Centrul medical: Este o unitate autonomă, capabilă de stabilizarea critică a piloților (resuscitare, tratarea arsurilor), situată cu acces facil spre pistă și spre elicopterul de evacuare. [2], [11]

5. Mentenanță și Conformitate Operațională

După inaugurare trebuie asigurată conformitatea circuitului înainte de fiecare cursă și în timpul desfășurării lor. Sunt impuse următoarele reguli: [1]

- Inspecții periodice: Verificarea rugozității și planeității (pentru a preveni degradarea asfaltului).
- Curățarea pistei: Utilizarea mașinilor de măturat mecanizate pentru eliminarea resturilor de cauciuc sau a fluidelor care pot altera aderența.
- Integritatea barierelor: Orice barieră Tecpro sau de anvelope lovită trebuie înlocuită imediat pentru a menține capacitatea de absorbție a energiei.

6. Concluzii

Lucrarea a avut ca scop să demonstreze că un circuit auto este un produs al ingineriei de precizie, unde fiecare detaliu geometric și alegerea materialelor au ca scop final siguranța participanților la curse. Comparția cu drumul public subliniază distanța uriașă dintre infrastructura rutieră și rigorile motorsportului, unde confortul este înlocuit cu asigurarea supraviețuirii piloților. Conformitatea cu standardele FIA garantează o gestionare eficientă a riscurilor operaționale în contextul creșterii performanțelor auto și complexității tehnice. Totodată, existența unui astfel de circuit în proximitate reprezintă o alternativă viabilă pentru testarea mașinilor într-un mediu controlat și închis circulației publice. Prin utilizarea acestui spațiu dedicat, manevrele de testare sunt eliminate de pe drumurile publice, reducând considerabil riscul de accidente și erori umane. [4], [12]

BIBLIOGRAFIE

1. FIA, Appendix O to the International Sporting Code: Procedures for the Recognition of Motor Racing Circuits, 2025.
2. FIA, Appendix H to the International Sporting Code: Recommendations for the Supervision of the Road and Emergency Services, 2025.
3. FIA, Standard 3501-2017: Safety Barriers, 2017.
4. FIA, Guide to the Sustainable Management of Circuits, 2025.
5. STAS 863-85: Elemente geometrice ale drumurilor. Prescripții de proiectare, 1985.
6. AND 605: Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald, 2011.
7. SR EN 14023: Bitumuri modificate cu polimeri, 2013.
8. SR EN 13108: Mixturi asfaltice. Specificații pentru materiale, 2016.
9. STAS 12253: Lucrări de drumuri. Straturi de formă, 1988.
10. Wright, P., Formula 1 Technology, SAE International, 2001.
11. Tremayne, D., The Science of Safety in Formula 1, 2002.
12. Mellor, A., Circuit Safety and Barrier Technology, FIA Institute, 2010.



TEHNOLOGII DE RECICLARE LA RECE A MIXTURILOR ASFALTICE

Autor

Daria IELCEAN

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

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Gavril HODA

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: gavril_hoda@cfdp.utcluj.ro](mailto:gavril_hoda@cfdp.utcluj.ro).

REZUMAT: Prezenta lucrare analizează tehnologia de reciclare la rece a mixturilor asfaltice, o soluție sustenabilă în contextul economiei circulare în infrastructura rutieră. Obiectivul principal este evaluarea eficienței acestei metode în reabilitarea drumurilor prin reutilizarea integrală a materialelor existente. Lucrarea detaliază un studiu de caz aplicat pe DN 2E, unde structura degradată a fost frezată pe o adâncime de 12 cm, și a fost corectată granulometric cu agregate și stabilizată cu emulsie bituminoasă. Printr-un studiu de rețetă pe patru variante experimentale, a fost stabilit un conținut optim de bitum de 2,5%. Rezultatele obținute pe baza testelor de laborator confirmă aplicabilitatea procedurii de reciclare la rece.

Cuvinte cheie: reciclare la rece, mixturi asfaltice, economie circulară, infrastructură rutieră.

1. Introducere

În cadrul actual al dezvoltării drumurilor, trecerea la o economie circulară a adus necesitatea utilizării unor tehnici de reparare prietenoase cu mediul. O soluție principală în acest domeniu, reglementată la nivel național prin normele AND 532, este metoda de reciclare a mixturilor asfaltice la rece. [1] Aceasta implică folosirea completă a materialelor obținute prin frezarea straturilor bituminoase deteriorate.

Aceasta se aliniază direct obiectivelor fundamentale ale Pactului Verde European, care vizează neutralitatea climatică până în anul 2050. Prin eliminarea proceselor de încălzire a agregatelor și a bitumului, se obține o reducere masivă a emisiilor de CO₂ și a consumului energetic. Din perspectiva economiei circulare, procedeul transformă un deșeu într-o resursă strategică, reducând dependența de exploatarea de carieră și minimizând amprenta de transport.

Implementarea acestui model sustenabil prin reciclarea la rece răspunde nu doar cerințelor ecologice, ci și necesității critice de a optimiza resursele naturale și financiare disponibile. Spre deosebire de metodele tradiționale de reabilitare, care presupun decopertarea și înlocuirea straturilor rutiere, tehnologia de reciclare la rece permite regenerarea structurii degradate direct pe amplasament. Această abordare transformă procesul de reabilitare într-un flux circular închis, reducând amprenta logistică a șantierului și durata de execuție, aspecte fundamentale pentru o infrastructură modernă.

1.1 Domeniul de aplicare

În ceea ce privește aria de utilizare, tehnologia de reciclare la rece se evidențiază ca o soluție tehnică flexibilă, integrându-se cu succes în proiectele extinse de reabilitare și modernizare a



infrastructurii de transport. Acest procedeu este conceput în mod special pentru ranforsarea, întreținerea și întărirea sistemelor rutiere care se confruntă cu o stare tehnică deteriorată, caracterizată prin degradări adânci sau o capacitate portantă scăzută. Conform normativelor domeniul de aplicare al acestui proces este clar stabilit, îndreptându-se către drumurile de clasă tehnică II-V, precum și către străzile din categoria tehnică II-IV, acoperind astfel o parte semnificativă a rețelei rutiere în exploatare.[1]

2. Procesul tehnologic și de execuție

Tehnologia reciclării in-situ a materialelor din straturile superioare ale drumurilor, care utilizează lianți hidraulici și bituminoși, implică o serie bine definită de pași tehnologici. Procesul începe cu o pregătire amănunțită a suprafeței, ce include îndepărtarea vegetației, obiectelor străine și a apei bălțite de pe întreaga lățime a drumului, inclusiv benzile adiacente, precum și marcarea precisă a limitelor de tăiere longitudinale.

După această etapă inițială, se trece la frezarea straturilor existente ale infrastructurii, iar acolo unde este necesar, se adaugă agregate aport, având în vedere umiditatea lor.[1] Odată ce acest material de bază a fost preparat, se face dozarea precisă a lianților hidraulici și bituminoși.

Etapă esențială a procesului presupune combinarea și amestecarea uniformă a materialului frezat cu agregatele noi, lianții și apa, această acțiune desfășurându-se continuu cu ajutorul echipamentului specializat de reciclare. În final, materialul reciclabil proaspăt este așternut și nivelat, concretizându-se cu compactarea atentă a noului strat rutier. [1] [4]

2.1 Materiale folosite

Din punct de vedere al materialelor folosite în această tehnică, acestea pot fi grupate în 4 categorii principale: materialul de bază, adică materialul frezat și agregatele aport, lianți bituminoși și hidraulici și apa.

Materialul de bază, cum am menționat este rezultat din frezarea sau mărunțirea îmbrăcăminților rutiere bituminoase existente și degradate, rezultând o valorificare integrală a materialului inițial. Totodată acestuia i se adaugă uneori agregate naturale aport, pentru a corecta curba granulometrică a amestecului sau pentru a asigura grosimea necesară proiectată a stratului.

Din punct de vedere al bitumului, acesta se poate folosi sub formă de emulsie sau bitum spumat. În cele mai multe dintre cazuri se folosesc emulsiile bituminoase cationice, cu rupere lentă sau rapidă, sau anionice, care sunt preparate din bitum pur sau modificat cu polimeri.[1] [5] Bitumul spumat se diferențiază de emulsie prin faptul că acesta este produs pe loc, prin injectarea unei cantități mici de apă rece și aer în bitumul fierbinte, permițând astfel o bună înglobare a agregatelor la rece.

Simultan cu lianții bituminoși se mai folosesc și lianți hidraulici cum ar fi cimentul sau varul. Cimentul este folosit fie ca liant principal în reciclarea exclusiv cu ciment, fie ca filer activ alături de bitum pentru a asigura o rezistență de lungă durată și pentru a reduce sensibilitatea la apă a mixturii. Se recomandă adesea cimenturi cu adaosuri sau cimentul rutier, datorită faptului că au o degajare mai mică de căldură și reduc riscul apariției fisurilor de

contractie. Varul pe de altă parte, este folosit în special la pretratarea materialelor frezate, având rolul de a îmbunătăți capacitatea portantă.

Un ultim material este apa, care are un rol esențial în tehnologia de reciclare la rece, ea fiind folosită pentru: hidratarea cimentului, expandarea bitumului, și mai ales pentru a aduce amestecul reciclat la umiditatea optimă necesară atingerii unui grad maxim de compactare a noului strat rutier.

Toate aceste materiale se dozează conform următorului tabel (Tabel 1) în compoziția mixturii asfaltice:

Tabelul 1. Dozajul materialelor [1] [2] [4] [5].

	Dozaj Liant Bituminos	Dozaj Liant Hidraulic	Dozaj Apă
Reciclare cu emulsie bituminoasă	2,5% - 5,0% emulsie bituminoasă	1,0% în amestecul uscat	Se determină conform umidității optime de compactare stabilită prin încercarea Proctor
Reciclare cu bitum spumat- 100% material asfaltic frezat	2,5% - 5,0% bitum spumat	1,0% ciment	Se stabilește în laborator pentru atingerea umidității optime
Reciclare cu bitum spumat- amestec din straturi diferite	2,5% - 5,0% bitum spumat	Maxim 1,0% ciment	Se stabilește în laborator pentru atingerea umidității optime
Reciclare exclusiv cu ciment	Nu se aplică	3,0% - 6,0% din masa materialului uscat	Se determină pentru obținerea umidității optime de compactare prin metoda Proctor modificată

2.2 Ansamblul de utilaje

Implementarea in-situ a procesului tehnologic de reciclare se realizează prin intermediul unui ansamblu complex de echipamente grele, denumit adesea „tren de reciclare”. [3]

În etapa inițială avem nevoie de utilaje pentru pregătirea suprafeței și pentru dozarea lianților. Acestea sunt: freza rutieră, care este utilizată la o pre-frezare a materialului existent, și de un răspânditor de lianți hidraulici, acesta distribuind uniform pulberea de ciment pe suprafața drumului.

Utilajul principal folosit în acest proces este reciclatorul. Acest echipament masiv este capabil să execute multiple sarcini dintr-o singură trecere: frezarea materialului existent pe adâncimea proiectată, injectează cu precizie dozajul de apă și liant bituminos. De asemenea, acesta dispune de o cameră de omogenizare unde se amestecă la rece toate componentele direct pe drum. Acesta poate fi de două tipuri: reciclator mobil (Fig. 1) sau reciclator fix (Fig. 2).



Figura 1. Reciclator mobil. [3]



Figura 2. Reciclator fix. [3]

Mai apoi tehnologia de așternere este preluată de un repartizator-finișor de asfalt având rolul de a întinde controlat materialul reciclat și de a asigura profilul longitudinal, precum și pantele transversale prevăzute.

În final, pentru asigurarea durabilității și a capacității portante a noului strat rutier se realizează compactarea. Precompactarea se realizează cu ajutorul unui compactor greu cu rulouri vibratoare. Ulterior, operațiunea de compactare-finișare este continuată de un compactor cu tambur vibrator de minimum 15 tone. La final, pentru închiderea și etanșarea perfectă a suprafeței, se utilizează un compactor multipneu, având tot o greutate minimă de 15 tone. [1]

3. Studiu de caz

Utilizarea tehnologiei de reciclare la rece pe DN 2 E, Fălticeni- Gura Humorului

În acest studiu de caz este analizat un sector de drum situat pe DN 2E, o arteră națională importantă care asigură legătura între municipiile Fălticeni și Gura Humorului, cum este ilustrat în figura 3. Având în vedere starea avansată de degradare a drumului (figura 4), s-a decis reabilitarea acestuia prin metoda reciclării la rece in-situ.

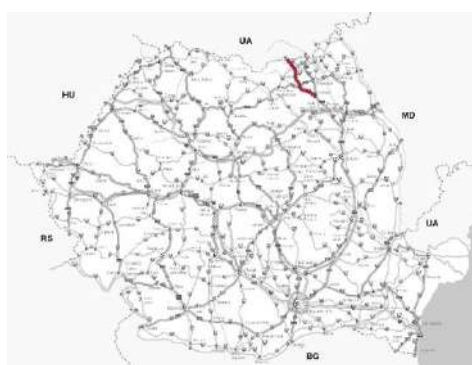


Figura 3. Localizarea DN 2E.



Figura 4. Degradările drumului

În faza inițială a procesului tehnologic, s-a efectuat frezarea structurii rutiere existente, pe o adâncime de 12 cm. Pentru a asigura o capacitate portantă optimă a noului strat, a fost necesară corectarea curbei granulometrice a materialului frezat. Astfel, rețeta a fost îmbunătățită prin adăugarea unui aport de 38% agregate naturale de carieră alături de 2% filer activ. Pentru a atinge curba granulometrică ideală, aportul de agregate a fost dozat astfel: 18% nisip de concasaj, sort. 0-4 mm, 10% criblură, sort. 4-8 mm și 10% criblură, sort 16-31,5 mm.

După omogenizarea acestui material frezat cu agregatele aport, s-a adăugat emulsia bituminoasă, în final obținându-se un nou strat de bază al structurii rutiere, cu o grosime de 20 cm.

Pentru stabilirea conținutului de liant, s-a realizat un studiu de rețetă ce a vizat patru variante experimentale cu un dozaj de bitum pur de 2,0%, 2,5%, 3,0%, respectiv 3,5%. Pentru fiecare dintre aceste 4 concentrații, s-au efectuat câte 6 epruvete cilindrice cu diametru de 100 mm.



Înainte de testarea propriu-zisă, toate epruvetele au fost supuse unui proces de maturare cu o durată totală de 7 zile. Astfel, în prima zi a avut loc prepararea mixturii și compactarea acesteia în tipare. În cea de-a doua zi, epruvetele au fost extrase din tipare și puse într-o cameră climatică, la o temperatură de 20°C și o umiditate relativă de aproximativ 80%. Pentru a accelera procesul de maturare, pe parcursul următoarelor 3 zile, probele au fost introduse într-o etuvă și menținute la o temperatură constantă de 40°C. În penultima zi a procesului cele 6 epruvete au fost împărțite astfel: 3 epruvete au fost imersate în apă la temperatura de 20°C, în timp ce restul au rămas la uscat, în camera climatică. În ultima zi, toate cele 6 epruvete au fost supuse unor teste de rezistență mecanică.

Testările care s-au făcut pe acestea sunt următoarele: pe cele 3 epruvete uscate s-a determinat densitatea și conținutul de apă a acestora, ulterior pe toate cele 6 epruvete s-a determinat sensibilitatea la apă TSR (ITS_{wet}/ITS_{dry}) și indicatorii Marshall.

În tabelul 2 sunt prezentate valorile medii obținute conform testărilor, care arată sensibilitatea la apă acestea fiind efectuate cu Compactorul Marshall, aplicându-se 75 de lovituri. Iar conform tabelului 3 sunt valorile medii obținute conform testului Marshall. [7].

Totodată, analizând stabilitatea Marshall, raportată la limitele pentru mixturi la cald minim 3,5 kN, se constată că variantele V1 (7,18 kN) și V2 (6,33 kN) au un comportament structural net superior. Variantele V3 și V4, în schimb, prezintă o scădere bruscă a stabilității odată cu creșterea procentului de bitum. (Figura 5). În ceea ce privește rezistența la deformății (Figura 6), valorile fluajului Marshall pentru toate mixturile se încadrează perfect în intervalul de siguranță admisibil (1,5 mm - 4,5 mm).

Pentru a valida aceste variante experimentale, se utilizează ca material de referință mixtura asfaltică de tip anrobat bituminos de tip AB 31,5, reglementată de AND 605. Deși normativul specific pentru reciclare este AND 532, raportarea la indicatorii Marshall din AND 605 servește ca etalon de performanță, garantând astfel ca stratul reciclat va avea o capacitate portantă comparabilă cu a unui strat nou. În urma analizei corelate a rezultatelor, s-a decis selecția variantei V2 (2,5% bitum) ca fiind soluția tehnică optimă, comparativ cu celelalte 3 versiuni. Față de V1, deși aceasta prezintă o stabilitate mecanică ridicată, varianta V2 asigură o coeziune internă superioară și cel mai ridicat indicator TSR, aspect critic pentru rezistența stratului la fenomenul de îngheț-dezghet. Iar, față de V3 și V4 care au un conținut ridicat de bitum, se observă că acesta duce la o scădere bruscă a stabilității sub pragul de siguranță, ceea ce ar putea genera deformății plastice sub acțiunea traficului greu.

Totodată această decizie a fost validată, analizându-se 3 carote cu un diametru de 150 mm extrase după punerea în operă a indicat o densitate medie de 1,950 Mg/m³, corespunzătoare unui grad de compactare de peste 90%, o rezistență la tracțiune indirectă de 0,315 N/mm² și un modul de rigiditate de 2680 MPa.

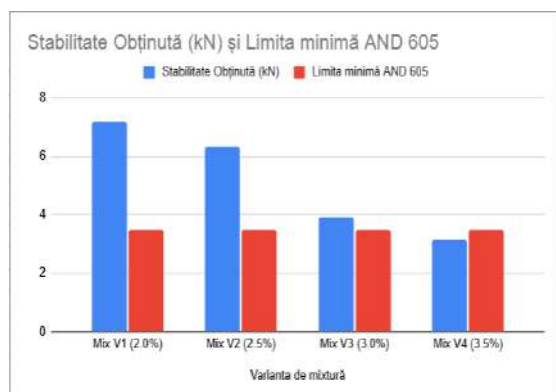


Figura 5. Graficul stabilitatea obținută.

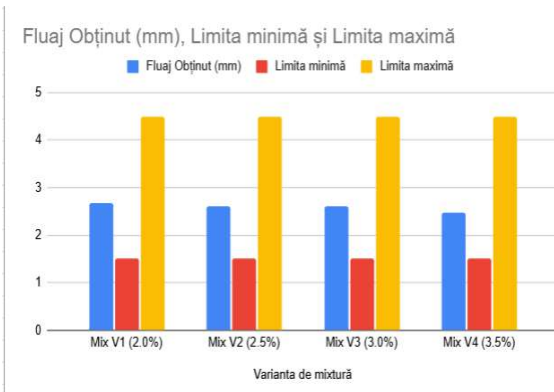


Figura 6. Fluajul Marshall

Tabelul 2. Sensibilitatea la apă TSR (ITS_{wet}/ITS_{dry}) confecționate la compactorul Marshall.

Încercarea	V1-2,0% b	V2-2,5% b	V3-3,0% b	V4-3,5% b
Conținutul de apă [%]	0.5	0.78	0.85	0.94
Densitatea [Mg/m ³]	2.142	2.115	2.067	2.087
ITS _{dry} [N/mm ²]	0.374	0.355	0.295	0.325
ITS _{wet} [N/mm ²]	0.296	0.325	0.204	0.284
TSR [%]	79.10	91.57	69.30	87.60

Tabelul 3. Testul Marshall la 7 zile.

Încercarea	V1-2,0% b	V2-2,5% b	V3-3,0% b	V4-3,5% b
Conținutul de apă [%]	0.5	0.78	0.85	0.94
Densitatea [Mg/m ³]	2.120	2.135	2.141	2.095
Stabilitatea [kN]	7.18	6.33	3.92	3.15
Fluaj [kN]	2.67	2.628	2.61	2.48
S/F [kN/mm]	2.69	2.45	1.5	1.27

4. Concluzii

În urma analizei procesului tehnologic și a studiului de caz prezentat, se poate afirma că reciclarea la rece a mixturilor asfaltice reprezintă o soluție tehnică de viitor, esențială pentru modernizarea și dezvoltarea durabilă a infrastructurii rutiere. Din perspectiva ecologică și strategică, metoda răspunde direct cerințelor Pactului Verde European și principiilor economiei circulare. Prin valorificarea integrală a straturilor rutiere degradate, tehnologia transformă un deșeu într-o resursă utilă, conservând agregatele naturale de carieră. Totodată, eliminarea proceselor de încălzire a materialelor și reducerea masivă a transporturilor grele conduc la o diminuare semnificativă a amprente de carbon a șantierului. Pe plan economic și operațional, utilizarea ansamblurilor complexe de utilaje direct pe amplasament eficientizează costurile de producție și logistică. Viteza mare de execuție scurtează considerabil durata lucrărilor, permițând redarea rapidă a sectorului de drum în circulație. Din punct de vedere tehnic, s-a demonstrat prin studiul de caz că reciclarea la rece nu este doar un compromis ecologic, ci o soluție structurală performantă și versatilă. S-a dovedit prin teste de laborator și validarea ulterioară în teren, succesul procedurii depinde fundamental de un control riguros al rețetei.



O proiectare corectă a mixturii garantează obținerea unui strat de fundație cu o capacitate portantă și o durabilitate echivalente cu cele ale materialelor noi, capabil să reziste pe termen lung sub acțiunea traficului greu și a factorilor climatici

BIBLIOGRAFIE

1. *Normativ AND 532- Privind reciclarea la rece a îmbrăcăminților rutiere*
2. Dr. Ing. Mirela Tănăsescu, Ing. Anca Gheorghe, Dr. Ing. Adriana-Georgiana Tănăsescu, *Reciclarea la rece in situ a îmbrăcăminților*.
3. Conf. Dr. Ing. Gavril Hoda, *Suport de curs DRUMURI III- cursul 9*.
4. Ing. Janis Baumanis, *Initial Findings From the First Cold In-situ Recycling Trial in Latvia*.
5. Ing. Florin Belc, Teză de doctorat, *Reciclarea straturilor rutiere existente*
6. Prof. Andrea Graziani- Universita Politecnica delle Marche, *The italian experience on cold recycling: from research to construction specifications for motorways*
7. Ing. Marian Peticilă, Workshop- „Tendințe actuale în reciclarea structurilor rutiere modificate”- Cluj-Napoca 3-5 iunie 2025-
8. *Normativ AND 605- Mixturi asfaltice executate la cald*



STUDIU COMPARATIV PRIVIND UTILIZAREA PROFILELOR LAMINATE DE TIP HE ȘI HL LA PODURI RUTIERE CU STRUCTURĂ COMPUSĂ OȚEL-BETON

Autor

PEȘTELEU Florina Dariana

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: dariana.pesteleu15@gmail.com](mailto:dariana.pesteleu15@gmail.com)

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. DANCIU Alexandra Denisa

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: alexandra.danciu@cfdp.utcluj.ro](mailto:alexandra.danciu@cfdp.utcluj.ro)

REZUMAT: *Lucrarea abordează un studiu comparativ privind utilizarea profilelor laminate de tip HE și HL în cazul podurilor cu structură compusă oțel-beton, pentru deschiderea de 21 m. Studiul are ca obiectiv evaluarea influenței tipului de profil, a numărului de grinzi longitudinale și al clasei oțelului asupra performanței structurale în vederea identificării unor soluții optime. Predimensionarea sistemelor structurale a fost realizată utilizând programul ACOBRI, considerând variante cu 3, 4, 5 și 6 grinzi în secțiunea transversală, pentru diferite clase de oțel. Evaluarea comparativă a avut în vedere criterii relevante precum capacitatea portantă, rigiditatea la încovoiere și consumul de materiale. Lucrarea subliniază importanța alegerii corecte – tipul profilului, numărul de grinzi și clasa oțelului pentru obținerea unor soluții eficiente și echilibrate pentru podurile cu structură compusă oțel-beton.*

Cuvinte cheie: poduri cu structură compusă, profile laminate, structuri compuse, Acobri.

Capitolul 1. Introducere

Podurile cu structurile compuse oțel-beton au cunoscut o dezvoltare semnificativă în ultimele decenii, devenind o soluție de referință în domeniul construcțiilor podurilor. Principiul de bază al acestor sisteme constă în valorificarea comportării complementare a materialelor componente, respectiv a rezistenței ridicate la întindere și ductilității oțelului, respectiv a capacității betonului de a prelua eforturi de compresiune [1]. Unul din principalele avantaje ale structurilor compuse îl reprezintă eficiența structurală ridicată, materializată printr-un raport optim între capacitatea portantă și masa proprie. Structurile compuse prezintă o rigiditate sporită și un comportament favorabil la acțiuni dinamice, aspect deosebit de important în cazul podurilor rutiere și feroviare. La deschideri mari se utilizează grinzi metalice alcătuite sudat, în timp ce la deschideri mici se pot utiliza profile laminate.

Profilele laminate au un rol foarte important la realizarea acestor structuri, acestea fiind elemente standardizate, fabricate industrial, cu dimensiuni și proprietăți bine definite. Utilizarea profilelor laminate în combinație cu placa de beton permite obținerea unor soluții structurale fiabile, relativ ușor de executat și potrivite pentru deschideri medii și mari. Profilele HE sunt frecvent întâlnite datorită disponibilității și versalității lor, în timp ce profilele HL, având dimensiuni mai mari și o capacitate portantă superioară, fiind utilizate în special pentru deschideri mai mari sau solicitări mai ridicate.

În lucrare s-a analizat posibilitatea utilizării profilelor de tip HE și HL pentru o structură de pod cu deschidere de 21 m, pentru două lățimi uzuale ale părții carosabile pentru poduri în localități.

2. Materiale și metode

Pentru poduri în localități se poate adopta lățimea părții carosabile de 7,00 sau 7,80 m în funcție de tipul străzii deservită de pod conform [2] STAS 2924-91.

Elementele de gabarit pentru podurile cu calea sus sunt conform Figura 1, iar dimensiunile acestora sunt conform tabelului 1.

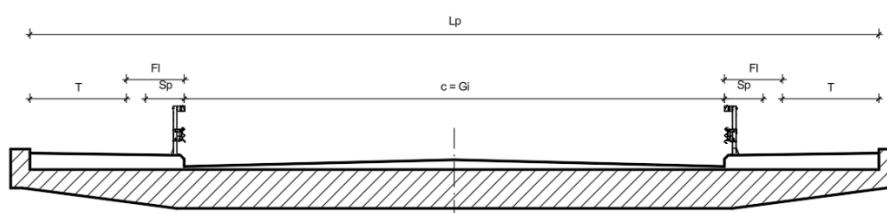


Figura 1. Gabarite pentru poduri

Tabelul 1. Dimensiunile elementelor de gabarit

Categoria străzii	Elemente de gabarit				
	c=Gi	Fl	Sp	T	Lp
Străzi de categoria I	21,00	0,50...2,00	0,50	1,00...5,00	24,00...25,00
Străzi de categoria II	14,00	0,50...1,50		1,00...4,00	17,00...25,00
Străzi de categoria III	7,00	0,50...1,50		1,00...3,00	10,00...16,00
	6,00				9,00...15,00
Străzi categoria IV	3,50	0,50		1,00;1,50	6,50;7,50
	3,00				6,00;7,00

Elementele de gabarit pentru podețe (Figura 2.a) și podurile cu calea sus (Figura 2.b), iar dimensiunile acestora sunt conform Tabelului 2.

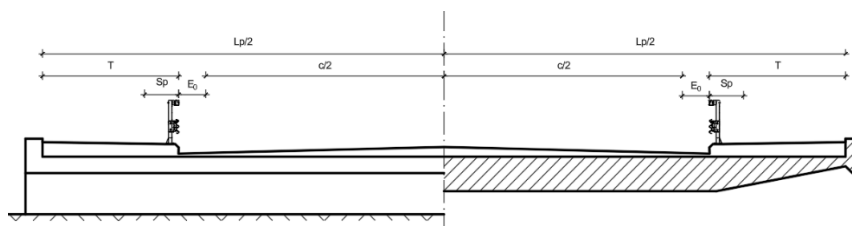


Figura 2. Elemente de gabarit. (a) Podețe; (b) Poduri cu calea sus

Tabelul 2. Dimensiunile elementelor de gabarit

Denumire	Elemente de gabarit				
	c	E0	Sp	T	Lp
Drumuri cu 4 benzi de circulație	14,00	0,40	0,50	min. 1,50	min. 17,80
Drumuri cu 2 benzi de circulație	7,00	0,40	0,50	min. 1,50	min. 10,80

Pentru deschiderea studiată, s-a ales o variație de la 3 la 6 grinzi pe secțiunea transversală, pentru diferite clase de oțel S235, S275, S355, iar pentru predimensionare s-a

utilizat programul Acobri. Prin utilizarea programului Acobri [3] s-a predimensionat structura, rezultând profilul laminat HE.

Pentru lățimea PC de 7,00 m s-a ales o dispunere a grinzilor precum sunt prezentate în figura 3, iar pentru lățimea PC de 7,80 m s-a ales o dispunere a grinzilor precum sunt prezentate în figura 4.

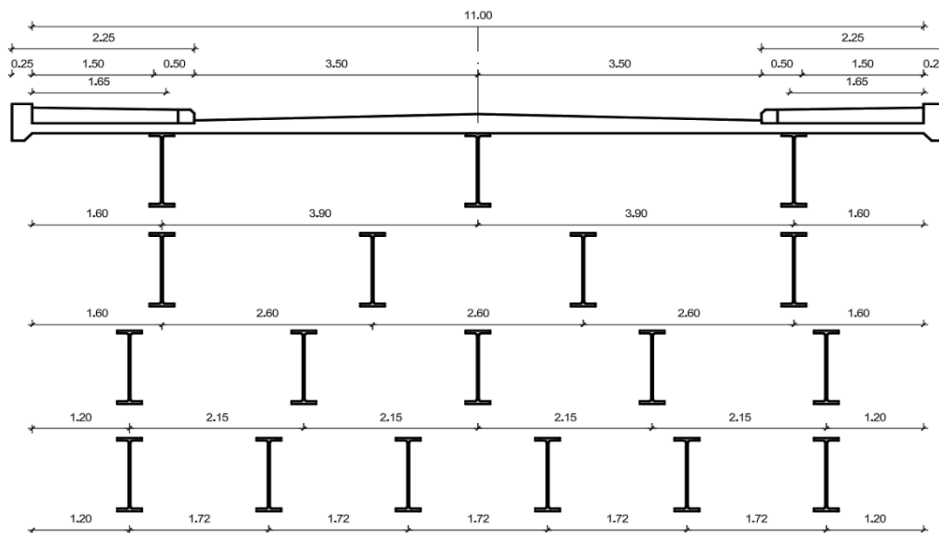


Figura 3. Dispunerea grinzilor pentru partea carosabilă de 7,00 m

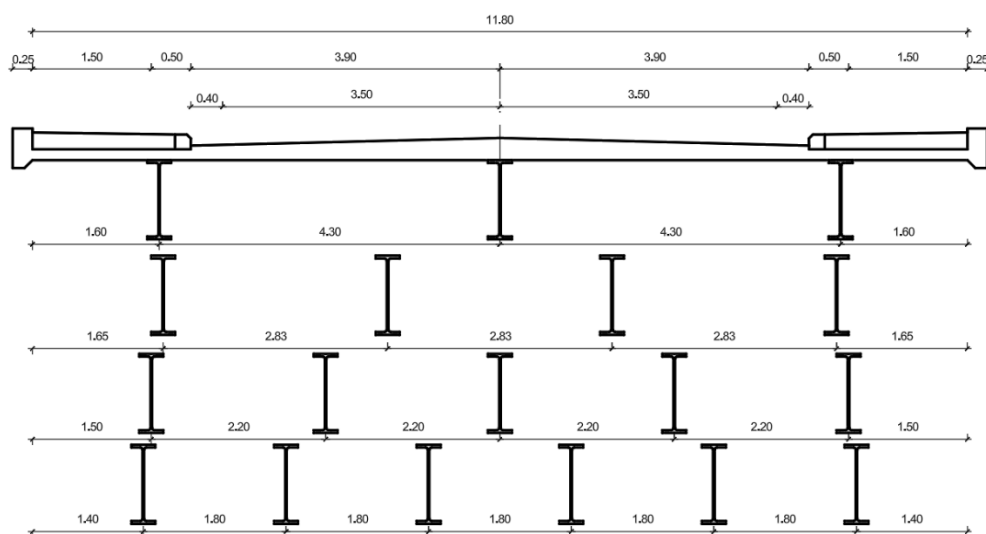
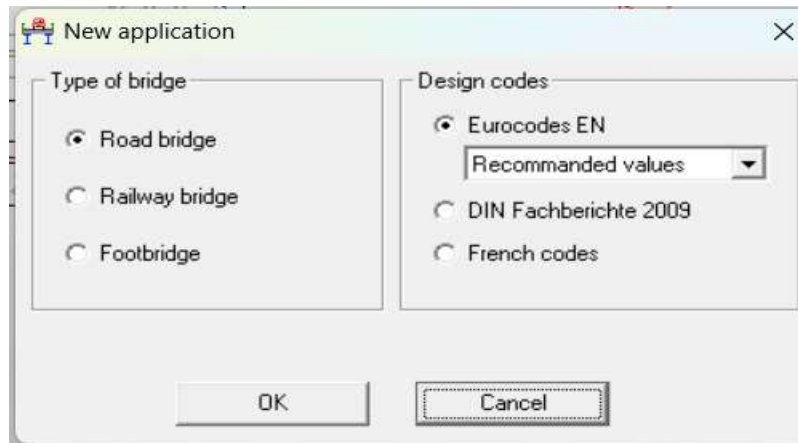


Figura 4. Dispunerea grinzilor pentru partea carosabilă de 7,80 m

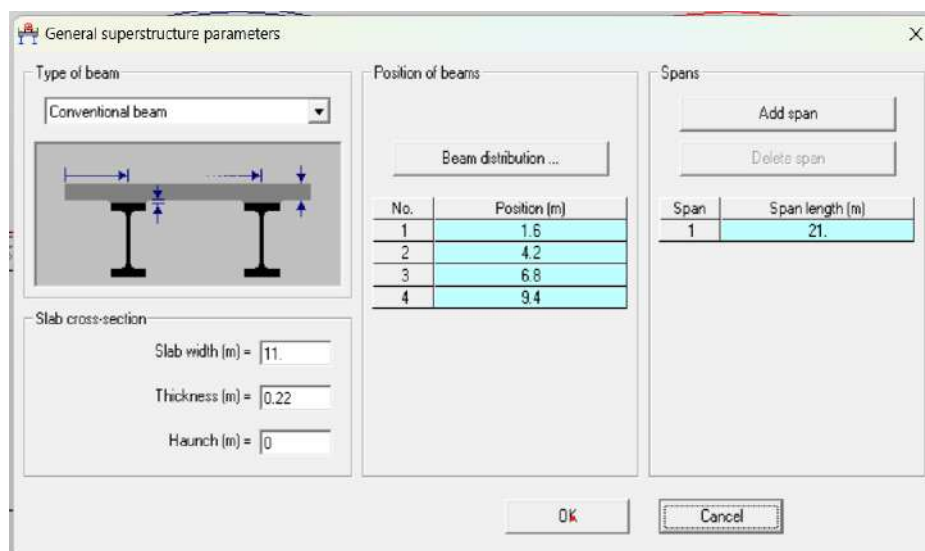
Utilizarea programului are ca scop determinarea celei mai bune soluții de realizare a unui pod.

Definirea tipului de pod se realizează conform figurii 5. Următorul pas este definirea parametrilor suprastructurii. Se menționează lungimea și lățimea podului, grosimea dalei și dacă este cazul, dimensiunea vutei. De asemenea se precizează numărul și modul de distribuție al lor așa cum este prezentat în figura 6.



The 'New application' dialog box contains two main sections: 'Type of bridge' and 'Design codes'. In 'Type of bridge', 'Road bridge' is selected. In 'Design codes', 'Eurocodes EN' is selected, and a dropdown menu shows 'Recommended values'. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Figura 5. Definire tip pod



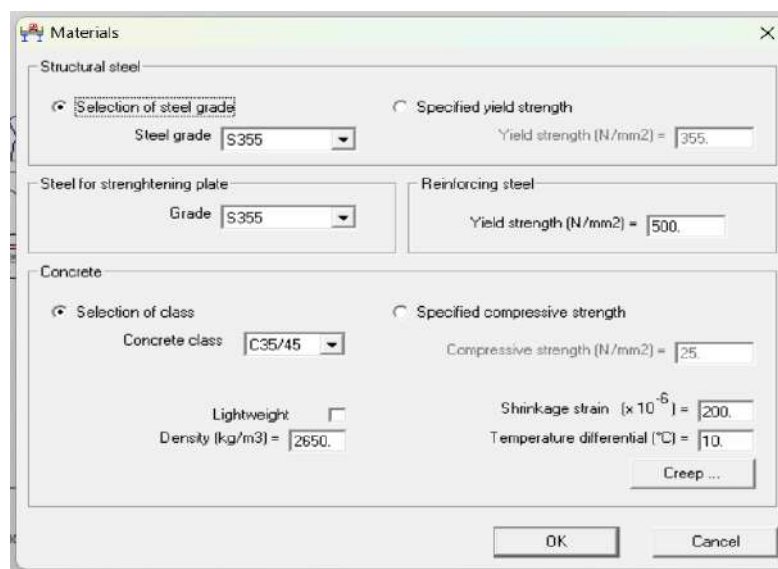
The 'General superstructure parameters' dialog box includes several sections: 'Type of beam' (set to 'Conventional beam'), 'Position of beams' (with a 'Beam distribution...' button and a table of 4 beams at positions 1.6, 4.2, 6.8, and 9.4 m), 'Spans' (with 'Add span' and 'Delete span' buttons and a table showing 1 span of 21 m), and 'Slab cross-section' (with input fields for width: 11, thickness: 0.22, and haunch: 0). 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

No.	Position (m)
1	1.6
2	4.2
3	6.8
4	9.4

Span	Span length (m)
1	21.

Figura 6. Definire schemă geometrică suprastructură

Se definește tipul de oțel și clasa betonului din dală conform figurii 7.



The 'Materials' dialog box is divided into three sections: 'Structural steel', 'Steel for strengthening plate', and 'Concrete'. 'Structural steel' has 'Selection of steel grade' (S355) and 'Specified yield strength' (355 N/mm²). 'Steel for strengthening plate' has 'Grade' (S355). 'Reinforcing steel' has 'Yield strength' (500 N/mm²). 'Concrete' has 'Selection of class' (C35/45), 'Specified compressive strength' (25 N/mm²), 'Lightweight' (unchecked), 'Density' (2650 kg/m³), 'Shrinkage strain' (200 x 10⁻⁶), and 'Temperature differential' (10 °C). There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Figura 7. Clasa oțelului

Figura 8 reprezintă alegerea tipului de conectori.

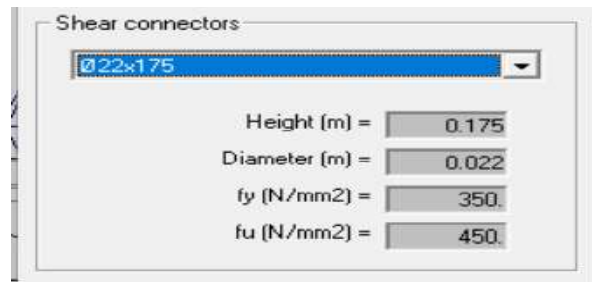


Figura 8. Conectori

Se alege tipul de profil și se stabilește dimensiunea plăcuțelor, ca în figura 9.

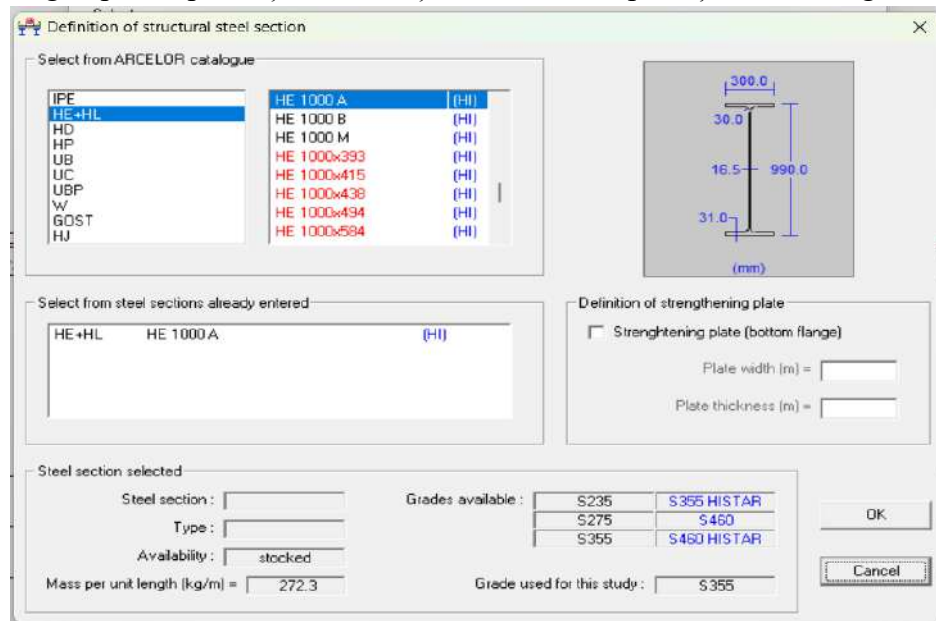


Figura 9. Tipul de profile laminate

Se definește lățimea trotuarului și detalii despre parapet conform figurii 10.

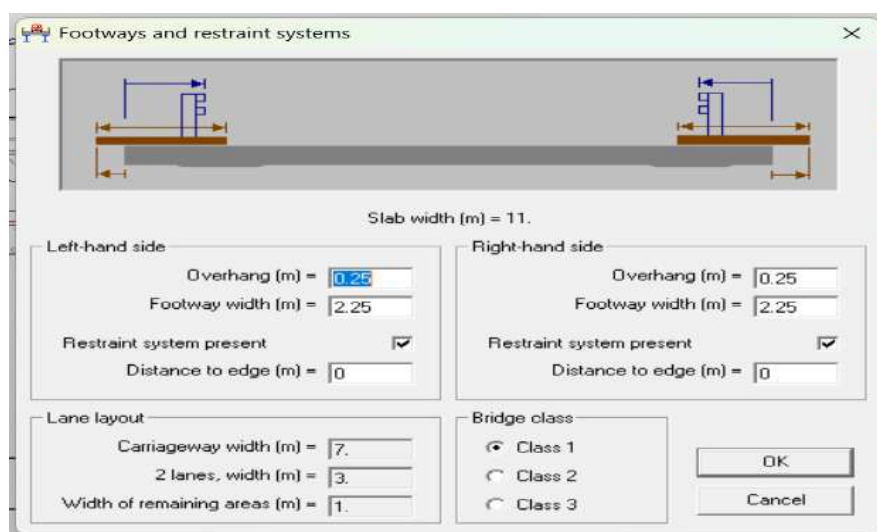




Figura 10. Gabaritul de liberă trecere pe pod

Se aleg încărcările permanente impuse, ilustrate în figura 11.

Figura 11. Încărcări

Se definește greutatea parapetului pietonal și al parapetului de siguranță în conformitate cu figura 12.

dg (m)	lg (kN/m)	Parapets	fd (kN/m)	dd (m)
1.6	0.75	Parapets	0.75	1.6
0	0.75	Restraint systems	0.75	0
0	0	Cornices	0	0
0	0	Drains	0	0
0	0	Utilities	0	0
0	0	Other superimposed loads	0	0

Figura 12. Încărcări

Se stabilesc încărcările utile pe trotuar evidențiate în figura 13.

Figura 13. Încărcări

După ce s-au stabilit toți parametrii enunțați mai sus, se trece la calcul, în urma căruia se obține rezultatul, redat în figura 14.

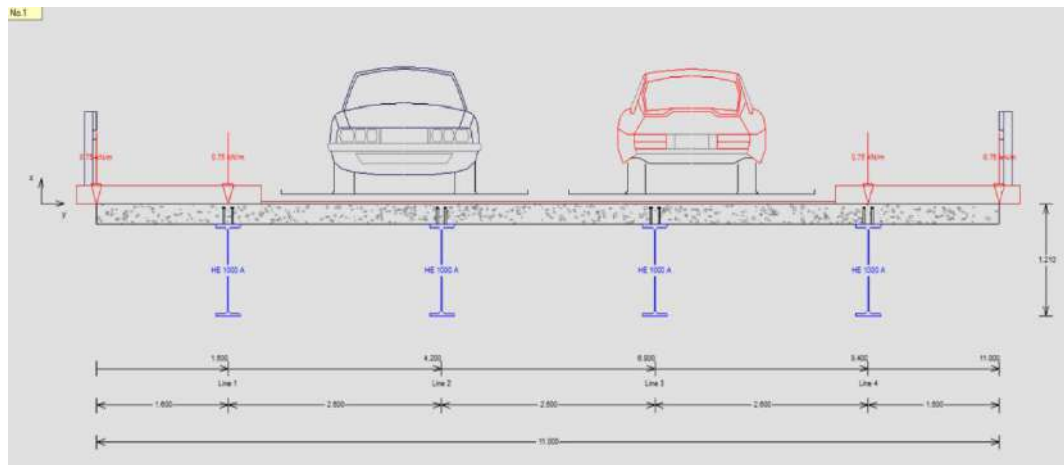


Figura 14. Rezultate

3. Rezultate și discuții

În urma predimensionării structurii s-a analizat posibilitatea utilizării profilelor laminate de tip HE pentru o deschidere de 21 m, în cazul a două lățimi ale părții carosabile: 7,00 m și 7,80 m. Variantele au fost evaluate în funcție de numărul de grinzi, clasa de oțel utilizată, tipul profilului rezultat, consumul de material și raportul maxim de utilizare.

În Tabelul 3 sunt prezentate rezultatele obținute în urma predimensionării structurii, incluzând numărul de grinzi analizate, clasa de oțel utilizată, tipul profilului laminat rezultat, masa structurii metalice, masa betonului, masa totală a structurii și raportul maxim de utilizare pentru fiecare variantă studiată.

Pentru o comparație mai clară între variante, s-a introdus indicatorul consum specific de oțel, exprimat în kg/m^2 de tablier. Acesta permite evaluarea eficienței soluției structurale nu doar prin masa totală de oțel, ci și prin raportarea acesteia la suprafața tablierului analizat.

Pentru lățimea părții carosabile de 7,00 m, variantele cu 3 grinzi realizate din oțel S235 și S275 nu satisfac verificările, având rapoarte de utilizare de 1,22, respectiv 1,04. În schimb, varianta cu 3 grinzi din oțel S355, utilizând profilul HE 900M, conduce la un raport de utilizare de 0,92 și la un consum specific de oțel de $142,52 \text{ kg/m}^2$. Această variantă reprezintă soluția cea mai eficientă din punct de vedere al consumului de oțel dintre variantele care satisfac verificările.

Pentru aceeași lățime, creșterea numărului de grinzi conduce la o reducere a solicitărilor pe fiecare grindă, însă determină o creștere a cantității totale de oțel. De exemplu, pentru 4 grinzi din oțel S355, raportul de utilizare scade la 0,81, dar consumul specific crește la $155,59 \text{ kg/m}^2$. Astfel, această variantă este mai sigură din punct de vedere al rezervei de rezistență, dar mai puțin economică decât soluția cu 3 grinzi S355.

Pentru lățimea părții carosabile de 7,80 m, creșterea lățimii tablierului conduce la creșterea masei totale a structurii, în special prin majorarea cantității de beton. Variantele cu 3 grinzi din oțel S235 și S275 nu sunt corespunzătoare, având raportul de utilizare egal cu 1,11. Varianta cu 3 grinzi din oțel S355, utilizând profilul HE 1000B, are un raport de utilizare de



0,95 și un consum specific de oțel de 120,78 kg/m², fiind soluția cu cel mai redus consum de oțel dintre variantele admisibile.

Totuși, pentru lățimea de 7,80 m, varianta cu 4 grinzi din oțel S355 poate fi considerată o soluție alternativă mai echilibrată. Aceasta are un raport de utilizare de 0,84 și un consum specific de oțel de 139,63 kg/m². Comparativ cu varianta cu 3 grinzi, aceasta prezintă o rezervă de rezistență mai mare, dar implică un consum suplimentar de material.

Analiza rezultatelor evidențiază faptul că utilizarea oțelului S355 conduce la cele mai eficiente soluții, deoarece permite reducerea dimensiunii profilelor laminate și obținerea unor rapoarte de utilizare favorabile. În schimb, utilizarea oțelurilor S235 și S275 conduce, în mai multe cazuri, la rapoarte de utilizare la limită sau nesatisfăcătoare, în special pentru variantele cu număr redus de grinzi.

Prin urmare, soluția optimă trebuie aleasă prin corelarea consumului de material cu raportul de utilizare. Din punct de vedere strict al consumului minim de oțel și al verificărilor de rezistență, soluțiile optime sunt cele cu 3 grinzi din oțel S355 pentru ambele lățimi analizate. Dacă se urmărește o rezervă mai mare de rezistență și o distribuție mai uniformă a eforturilor, variantele cu 4 grinzi din oțel S355 pot fi considerate soluții alternative.

Tabelul 3. Tipuri de profile

	Grinzi	Oțel	Tip profil	Structural steel (t)	Concrete (t)	Subtotal (t)	Max.ratio <0.97	Verificare condiție
7 m PC	3	S235	HE 1000M	21.968	134.673	156.641	1.22	conditie nesatisfacuta
		S275	HE 1000M	21.968	134.673	156.641	1.04	conditie nesatisfacuta
		S355	HE 900M	20.95	134.673	155.623	0.92	conditie satisfacuta
	4	S235	HE 1000M	29.291	134.673	163.964	0.97	conditie satisfacuta
		S275	HE 1000B	26.379	134.673	161.052	0.92	conditie satisfacuta
		S355	HE 1000A	22.871	134.673	157.544	0.81	conditie satisfacuta
	5	S235	HE 1000B	32.974	134.673	167.647	0.89	conditie satisfacuta
		S275	HE 1000A	28.589	134.673	163.262	0.87	conditie satisfacuta
		S355	HE 800A	23.559	134.673	158.232	0.97	conditie satisfacuta
	6	S235	HE 900B	36.723	134.673	171.396	0.9	conditie satisfacuta
		S275	HE 900A	31.703	134.673	166.376	0.88	conditie satisfacuta
		S355	HE 800A	28.271	134.673	162.944	0.85	conditie satisfacuta
7.80 m PC	3	S235	HE 1000M	21.968	151.034	173.002	1.11	conditie nesatisfacuta
		S275	HE 1000M	21.968	151.034	173.002	1.11	conditie nesatisfacuta
		S355	HE 1000B	19.784	151.034	170.818	0.95	conditie satisfacuta
	4	S235	HE 1000M	29.291	151.034	180.325	1	conditie nesatisfacuta
		S275	HE 1000B	26.379	151.034	177.413	0.93	conditie satisfacuta
		S355	HE 1000A	22.871	151.034	173.905	0.84	conditie satisfacuta
	5	S235	HE 1000B	32.974	151.034	184.008	0.93	conditie satisfacuta
		S275	HE 1000A	28.589	151.034	179.623	0.9	conditie satisfacuta
		S355	HE 900A	26.419	151.034	177.453	0.85	conditie satisfacuta
	6	S235	HE 1000A	34.307	151.034	185.341	0.91	conditie satisfacuta
		S275	HE 900A	31.703	151.034	182.737	0.92	conditie satisfacuta
		S355	HE 800A	28.271	151.034	179.305	0.9	conditie satisfacuta

4. Concluzii

Rezultatele arată că soluțiile cele mai eficiente sunt influențate simultan de lățimea părții carosabile, numărul de grinzi și clasa de oțel utilizată.

Pentru ambele lățimi analizate, utilizarea oțelului S355 conduce la cele mai avantajoase soluții, atât prin reducerea dimensiunii profilelor, cât și prin obținerea unor rapoarte de utilizare admisibile. Din punct de vedere al consumului specific de oțel, soluțiile optime sunt reprezentate de varianta cu 3 grinzi HE 900M din S355 pentru lățimea de 7,00 m și varianta cu 3 grinzi HE 1000B din S355 pentru lățimea de 7,80 m.



Totuși, alegerea finală a soluției trebuie să țină cont nu doar de consumul minim de material, ci și de rezerva de rezistență și de comportarea structurală generală. Astfel, variantele cu 4 grinzi din oțel S355 pot reprezenta soluții alternative echilibrate, cu o rezervă mai mare de siguranță.

În concluzie, soluția optimă rezultă dintr-un compromis între consumul de material, raportul de utilizare și comportarea structurală, utilizarea profilelor laminate HE din oțel S355 fiind cea mai favorabilă pentru cazul analizat.

BIBLIOGRAFIE

1. EN 1994-2: Eurocode 4 – Poduri compuse oțel-beton
2. STAS 2924-91 Poduri de sosea. Gabarite
3. Documentație Acobri



MOBILITATEA ACTIVĂ ÎN COMUNA MIHAI VITEAZU, CLUJ

Autori

Cristina Iulia RUS¹, Andrei Claudiu TRITEAN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, e-mail: juliarus52@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, e-mail: triteanandrei2003@yahoo.com

Îndrumători

Șef L.Dr.Ing. Rodica Cadar³, Șef L.Dr.Ing. Melania Boitor⁴

³ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică, e-mail: Rodica.cadar@cfdp.utcluj.ro

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică, e-mail: Melania.boitor@infra.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea de cercetare prezintă oportunitatea realizării unei piste de biciclete în comuna Mihai Viteazu. Analizele din această cercetare pornesc de la investigarea percepției populației locale privind realizarea pistei de biciclete, care s-a realizat utilizând un sondaj în aplicația GIS Survey123. Matricea de date colectate de la 95 de respondenți reprezintă o bază consistentă pentru analiza necesității construirii pistei de biciclete. Ca rezultate, 91% din populația comunei dorește realizarea pistelor de biciclete având în vedere că 21% dintre locuitorii comunei folosesc majoritar bicicleta în deplasările lor. Cercetarea cuprinde și o analiză SWOT privind impactului realizării pistei de biciclete în dezvoltarea comunei. Implementarea pistei de biciclete presupune alegerea dintre două variante de traseu, prima care implică reconversia infrastructurii de transport feroviar pe fostul traseu al mocăniței iar a doua implică reconversia profilului transversal al drumului național DN 75. Pentru argumentarea alegerii variantei optime a căii de rulare pentru pista de biciclete a fost realizată o analiză multicriterială cu 5 criterii și ponderi în funcție de importanța acestora. Ca suport pentru toate analizele de mai sus au fost realizate analize spațiale în ArcGISPro, cu simbologii oportune și amplasamente în teritoriu. Rezultatele demonstrează utilitatea reconversiei traseului CF al fostei mocănițe ca prima opțiune în alegerea traseului de piste de biciclete prin comuna Mihai Viteazu, din județul Cluj.*

Cuvinte cheie: mobilitatea activă, piste de biciclete, reconversie traseu, GIS, comuna Mihai Viteazu

1. Introducere

1.1. Mobilitate activă

Mobilitatea activă reprezintă deplasarea persoanelor folosind exclusiv energia proprie pentru a se deplasa între obiective. Principalele forme de mobilitate activă includ mersul pe jos, utilizarea bicicletei sau alte mijloace de transport nemotorizate: role, trotinete clasice, skateboard-uri sau scaune cu roțile acționate manual. Este cea mai sustenabilă formă de transport.



Figura 13. Mobilitate activă (Sursă: google Gemini)[2]

1.2. Comuna Mihai Viteazu

Comuna Mihai Viteazu se află în partea de sud est a județului Cluj care face parte din Regiunea de Dezvoltare Nord-Vest a României.

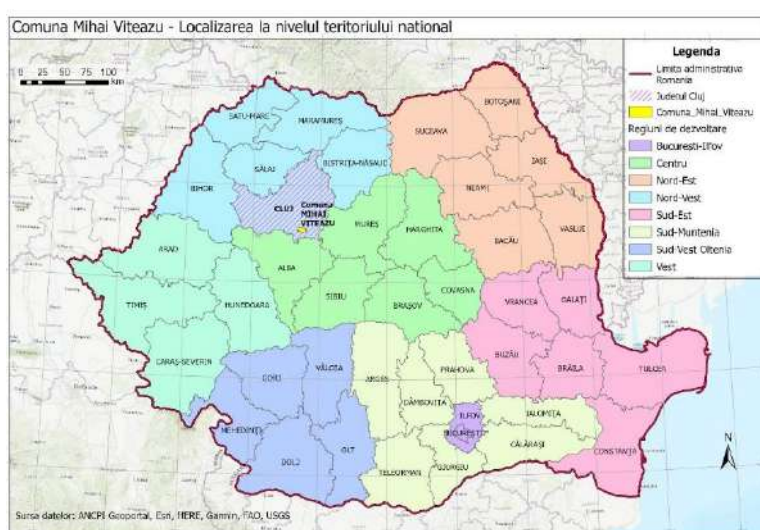


Figura 2. Comuna Mihai Viteazu - Localizarea la nivelul teritoriului național (Sursă: autorii)[4]

Comuna Mihai Viteazu este alcătuită din trei sate componente: Cheia, Cornești și Mihai Viteazu, satul reședință de comună (vezi Figura 2).

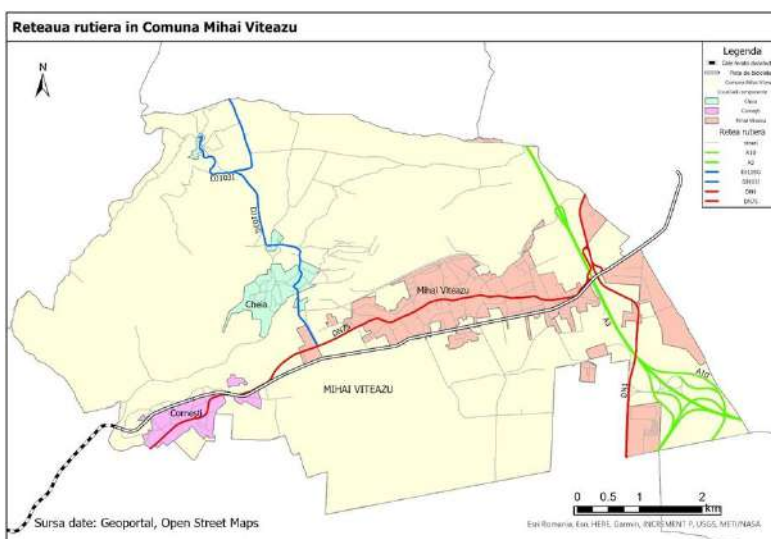


Figura 14. Comuna Mihai Viteazu și localitățile componente (Sursă: autorii)[4]

Infrastructura de transport a comunei este compusă din rețeaua rutieră și cea feroviară. Principala arteră de circulației rutieră ce traversează comuna este DN 75 pe o lungime de 9,65 km. În partea de sud-est a comunei se află un nod rutier important la intersecția autostrăzilor A3 și A10 cu drumul național DN1. Drumurile DJ 103G și DJ 103 I completează rețeaua rutieră majoră a comunei.

Pe teritoriul Comunei Mihai Viteazu, Cluj, se află traseul căii ferate simple, îngustă, neelectrificată, a fostei mocanițe, care în prezent este dezafectată.

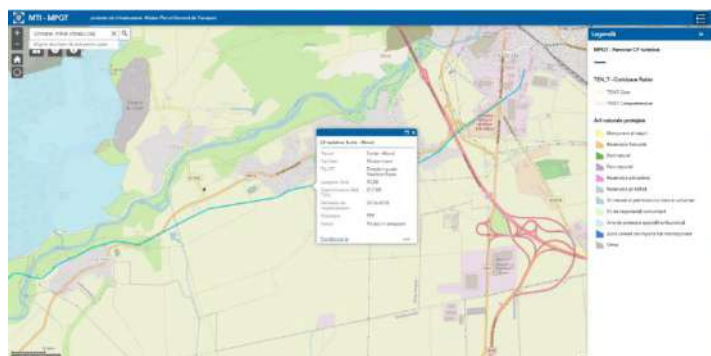


Figura 15. Proiecte din Master Planul General de Transport (Sursa: MPGT (1))

Analizând propunerea din Master Planul de Transport al României, se poate observa că pe acest amplasament este propusă Modernizarea CF turistice dar proiectul este în așteptare (vezi Figura 4).

Pe teritoriul comunei se desfășoară parțial rezervația naturală Cheile Turzii și sunt identificate 7 monumente istorice din patrimoniul cultural național (vezi Figura 4).

Comuna Mihai Viteazu se află în vecinătatea municipiului Turda, ceea ce îi oferă un avantaj din punct de vedere socio- economic. Printre cele mai importante avantaje se enumără: accesul rapid la servicii diverse, instituții de învățământ, spații comerciale, unități medicale, locuri de muncă.

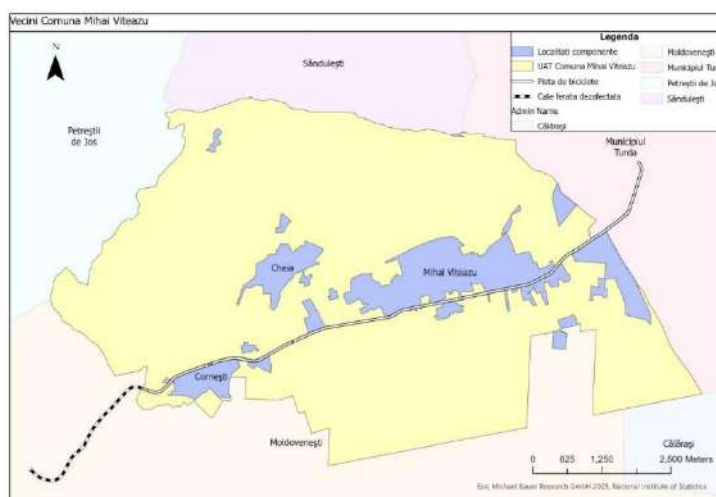


Figura 16. UAT și vecinii(sursa: Realizat autor) [4]

2. Date și metode

Matricea informațională generală conține



- date cartografice - limite teritoriu național, limite unitati administrative si limite localitati componente(<https://geoportal.ancpi.ro/portal/home/>), retea rutiera si CF (<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Geofabrik>), densitatea populatiei (geostat) (<http://statistici.INSSE.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/INSSE-table>), monumente istorice (<https://www.cultura.ro/>).
- matricea de date privind investigarea percepției populației asupra așteptărilor de la implementarea proiectului
- criteriul siguranței a fost determinant, Varianta 1 (mocănița) oferind o separare totală de traficul auto, spre deosebire de Varianta 2 care presupunea interacțiunea cu vehiculele grele de pe DN 75.

Analizele realizate au fost:

- analiza spațială utilizând aplicația Arcgis Pro, cu ajutorul cărei au fost realizate hărți tematice pentru poziționarea comunei în teritoriul județean, regional si național, relații de vecinătate precum si a infrastructurii de transport în comună
- analiza statistică descriptivă realizată în aplicația GIS Survey 123 pentru analiza percepției populației privind necesitatea si oportunitatea realizării pistei de biciclete. Aceste date au fost utilizate pentru identificarea gradului de acceptabilitate socială a proiectului și a principalelor beneficii aduse de către pista de biciclete
- criteriul densității populației a fost utilizat în analiza multicriterială pentru a demonstra că traseul ales deservește zonele cu cea mai mare concentrație de locuitori, maximizând astfel numărul de utilizatori potențiali.

3. Rezultate

3.1. Analiza statistică a matricii de date privind percepția utilizatorilor

Analiza inițială din această cercetare pornește de la investigarea percepției populației locale privind realizarea pistei de biciclete. Aceasta s-a realizat utilizând un sondaj în aplicația GIS Survey123 (3) cu 15 întrebări dintre care o întrebare este cu răspuns deschis, 4 întrebări cu răspuns multiplu și 10 întrebări cu răspuns unic. Trei întrebări documentează caracteristicile socio-economice ale eșantionului investigat pentru stabilirea reprezentativității față de populația comunei.

Matricea de date colectate de la 95 de respondenți reprezintă o bază consistentă pentru analiza necesității construirii pistei de biciclete. Ca rezultate, 91% din populația comunei dorește realizarea pistelor de biciclete având în vedere că 21% dintre locuitorii comunei folosesc majoritar bicicleta în deplasările lor. A fost solicitată și opinia respondenților privind problemele întâmpinate în prezent la circulația velo în comună, precum și o serie de îmbunătățiri propuse de către aceștia. Răspunsurile detaliate sunt prezentate în tabelul următor.



CALCULEAZĂ MĂRIMEA EȘANTIONULUI

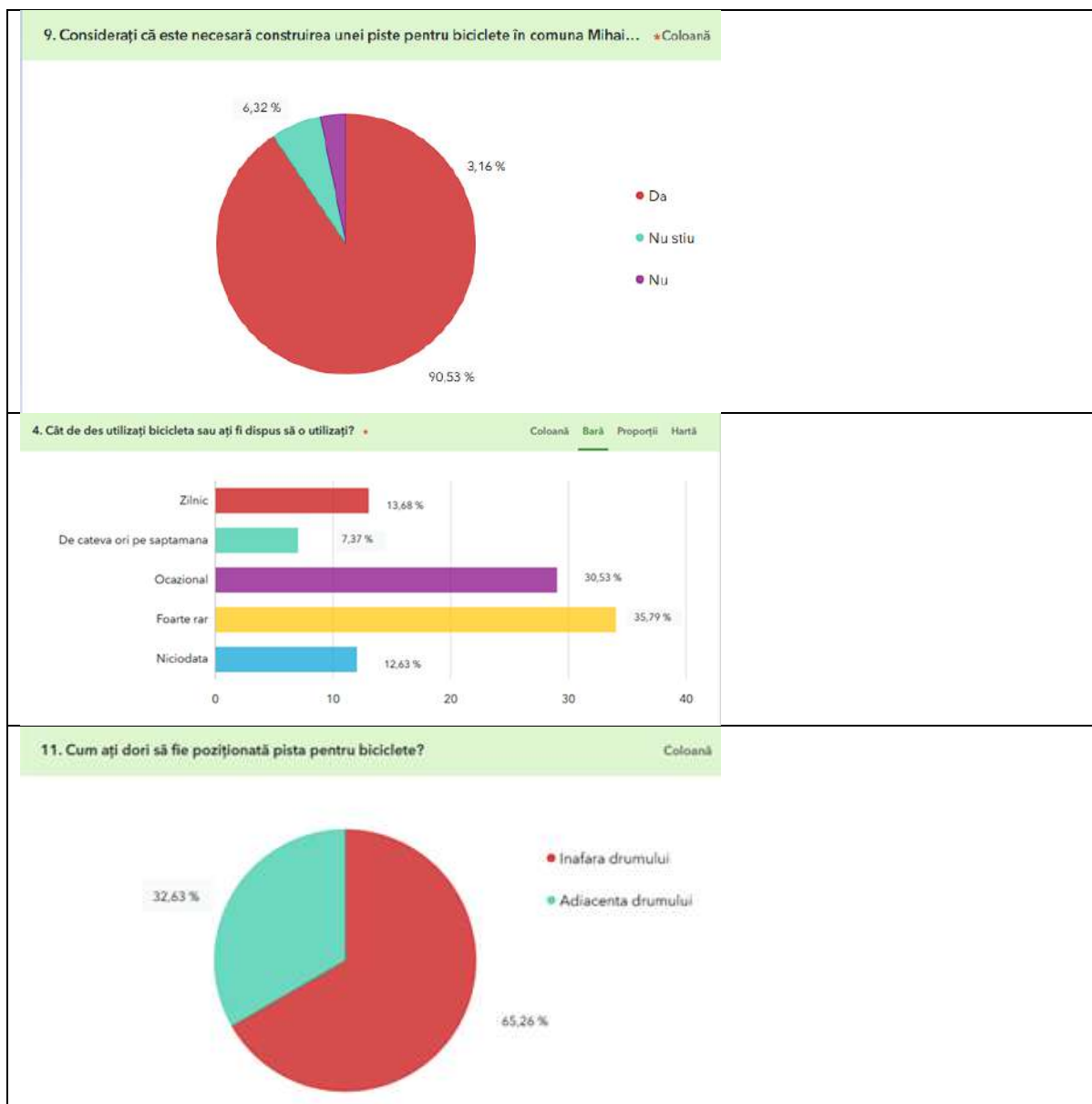
Probabilitate : ☒ 95% ☐ 99%

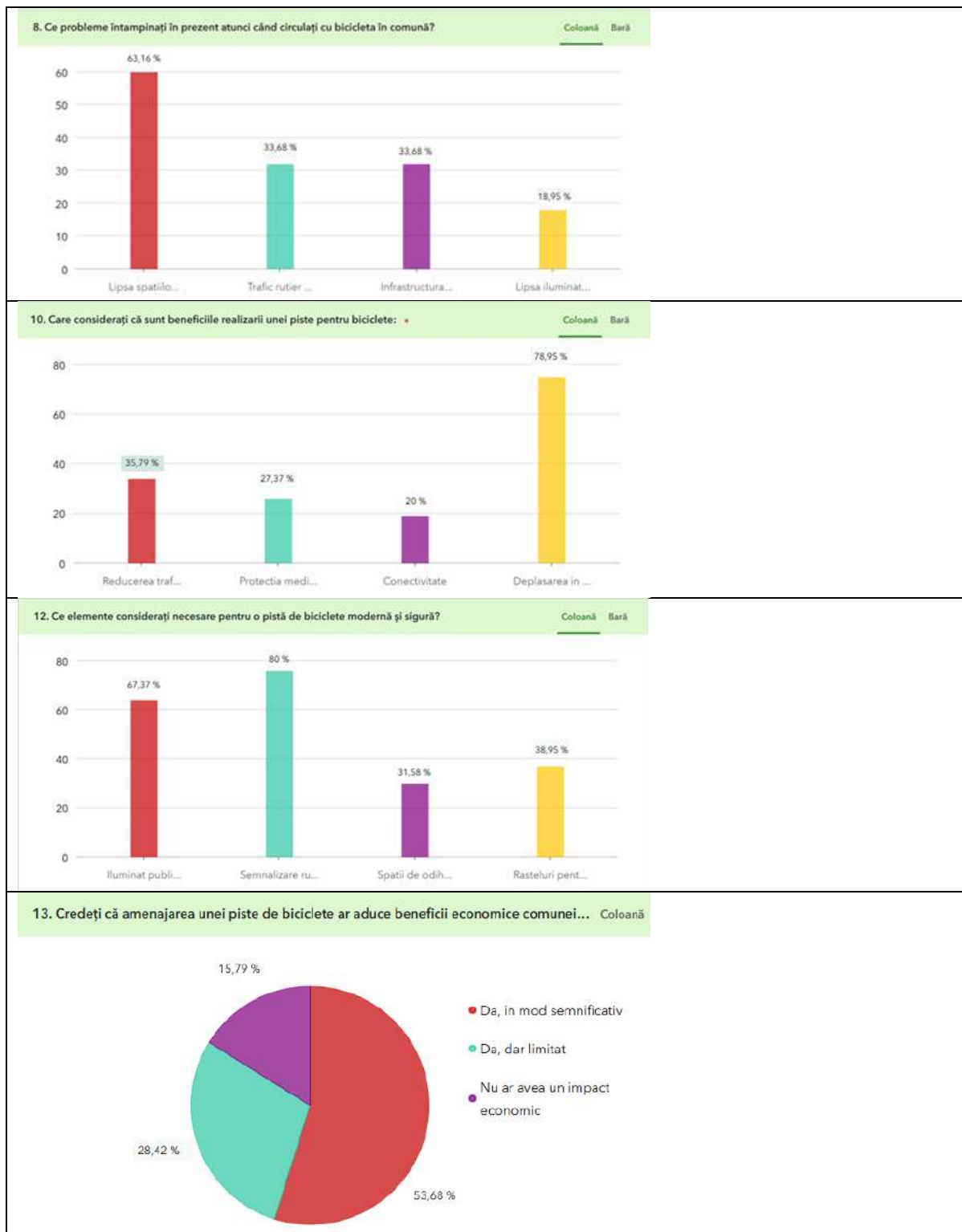
Eroare :

Populație\Universul cercetării:

Marimea esantionului :

Figura 17- Qr code sondaj de opinie și mărime eșantion (sursa: <http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>) [5]







15. Alte sugestii: Sa fie marcata corespunzător Promovarea utilizării bicicletei ca mijloc de transport prioritar Piste pentru bicicliști în toate orașele Pistă de biciclete să nu îngreuneze circulația autovehiculelor iar pista să fie amplasată într-un mod sigur legătura pistei Sa se faca o pista atat pentru biciclete cat si pentru motociclete E o idee foarte buna, una care poate fi foarte folositoare Cele menționate mai sus sunt mai mult decat suficiente Pista de biciclete sa fie despartita prin anumite elemente de partea carosabila, astfel incat biciclistii sa nu fie Ar fi bine sa existe standuri cu biciclete pentru inchiriat inter-conectivitate cu alte comune spre a crea rute pt excursii , de exemplu in zona Buru- Remetea Ar duce un beneficiu pentru copii și părinți, părinții ar putea să fie mai liniștiți când copiii lor iasă cu bicicleta Consider ca pista de biciclete ar avea un impact pozitiv asupra Recomand ca aceasta pistă de biciclete să fie făcută în paralel cu digul adiacent râului Arieș, nu exista Concursuri de ciclism care să încurajeze dezvoltarea comunei în acest sens Invatarea biciclistilor reguli de circulatie. Consider ca amenajarea unei piste de bicicliști va avea impact asupra turismului din zona Sa existe locuri cu pompe pentru biciclete.	
Sa se puna la dispozitia celor interesati biciclete de inchiriat Desigur o pista pentru biciclete este intotdeauna un lucru bun , atat pentru biciclisti cat si pentru soferi , din punct de vedere al pericolului . Ar putea fi si buna pentru turism sa zicem daca ar fi o pista care ar duce pana Atenție la părțile unde se întrerup piste. Sa aibe legături ar merge punerea în dispoziție a bicicletelor ca a trotinetelor electrice Mersul cu bicicleta e ceva recreativ, sportiv și este un mod bun de transport Siguranta e cea mai importanta Biciclete mai ieftine.... Pista de biciclete să fie suficient de lată Amplasarea pistelor de biciclete să fie în toată comuna, nu doar pe Drumul Județean. Amenajarea unei piste de biciclete într-un loc mai retras pentru tineri/adolescenți(loc de distractii) Pista de biciclete pe străzile principale din toată comuna . Sa aiba legatura cu pista din Turda Biciclete de inchiriat pentru turisti Ar fi ok să se unească cu cea din Turda și să continue măcar până spre Cheile Turzii Realizarea unei astfel de piste este un beneficiu atat pentru persoanele în cauza care o folosesc, dar si pentru Crearea unei piste moderne cu tot ce are nevoie Sa se faca real, nu doar pe hartie	

Figura 7. Rezultate chestionar (sursă: <https://arcg.is/eWbKG0>)

3.2. Analiză SWOT

Cercetarea cuprinde o analiză SWOT privind impactului realizării pistei de biciclete în dezvoltarea comunei. Au fost considerate și documentate următoarele aspecte: poziționarea spațială a traseelor, relief, costuri, impact în calitatea vieții populației. Au rezultat următoarele puncte tari, puncte slabe, amenințări și oportunități, Figura 8.

3.3. Studiul traseelor alternative, analiză multicriterială

Implementarea pistei de biciclete presupune alegerea dintre două variante de traseu, prima care implică reconversia infrastructurii de transport feroviar pe fostul traseu al mocăniței iar a doua implică reconversia profilului transversal al drumului național DN 75.



PUNCTE TARI (S) - Traseu existent (fosta Mocăniță) → nu necesită crearea traseu nou - Conectivitate cu alte UAT-uri → posibilitate extindere rețea velo - Zonă turistică (aproape Cheile Turzii) → potențial turistic ridicat - Populație activă și tineri → utilizare zilnică + recreere - Acces facil la pistă → infrastructură ușor de utilizat	PUNCTE SLABE (W) - Necesită intervenții pentru aducere la standarde - Adaptare dificilă la relieful terenului - Circulația auto încă dominantă - Finanțare insuficientă din partea primăriei - Lucrări de curățare și amenajare necesare pe unele sectoare
OPORTUNITĂȚI (O) - Valorificarea patrimoniului (traseul Mocăniței) - Acces la finanțări europene pentru mobilitate verde - Creșterea atractivității turistice - Dezvoltare locală și îmbunătățirea imaginii comunei - Promovarea mobilității nepoluante	AMENINȚĂRI (T) - Întârzieri din lipsa fondurilor - Costuri neprevăzute în execuție - Degradare în lipsa întreținerii - Restricții în zone protejate

Figura 18. Analiză SWOT



Figura 19. Trasee [7]

Pentru argumentarea alegerii variantei optime a căii de rulare pentru pista de biciclete a fost realizată o analiză multicriterială cu 5 criterii:

- lungime traseu (vezi Figura 8);
- beneficiari direcți – populație (vezi Figura 11);
- impact asupra mediului – emisii GES tCO₂ Gaze cu efect de seră din transport (conform ghidului Jasper);
- costuri maxime conform ghidului de finanțare (https://www.afm.ro/piste_biciclete_ghid.php),
- încadrarea în profil transversal (pe sau înafara carosabilului).

Analiza multicriterială		
	DN 75	FOSTUL TRASEU AL MOCĂNITEI
KM	9.65 km	8.25 km
locuitori	3731	3903
Impact asupra mediului CO ₂	16,195 tCO ₂ e	13,004 tCO ₂ e
COST conform ghidului de finanțare	350.000 LEI/km	1.000.000 LEI/km
Profil transversal tip	Pe carosabil 66%	În afara drumului 33%

Figura 10. Analiza multicriterială (sursa: Realizat autor)[5,9]

Au fost atribuite ponderi în funcție de importanța criteriilor și a fost evaluat punctajul final pe fiecare variantă de traseu dintre cele două.



Criteriu	Pondere	DN 75	Fostul traseu al mocăniței
Lungimea traseului	15%	4	5
Siguranța circulației	25%	2	5
Costuri de amenajare	20%	3	4
Accesibilitate	15%	5	4
Impact asupra mediului	15%	2	5
Potențial turistic și de dezvoltare	10%	3	5
TOTAL		19	28

Figura 11. Punctaj pe cele doua trasee (sursa: Realizat autor)

Ca suport pentru toate analizele de mai sus au fost realizate hărți în ArcGISPro, cu simbologii oportune, amplasamente în teritoriu și analize spațiale.

Evaluarea emisiilor GES			
Scenariu	Trafic qc [vt]	Viteza medie [km/h]	GES [tCO ₂ e]
2026 DN75 Comuna Mihai Viteazu	1195	40	10,090
2035 pe DN75 Comuna Mihai Viteazu fără proiect	2009	21	20,147
2035 pe DN75 Comuna Mihai Viteazu cu bandă de biciclete	1998	35	16,195
2035 DN75 Comuna Mihai Viteazu și pistă de biciclete pe CF	1895	36	13,004

Figura 12. Emisii GES(sursa: Studiu de trafic)(8)

Conform Ghidului de evaluare JASPERS (Transport) - Instrument pentru Calcularea Emisiilor de Gaze cu Efect de Sera din Sectorul Transporturilor, transportul are un rol important în gestionarea efectelor schimbărilor climatice și impactul transportului este evaluat prin cantitatea de emisii GES gaze cu efect de seră), exprimate în tCO₂e. Tipul vehiculului, viteza și distanța parcursă determină cantitatea de emisii de GES care provin de la acel vehicul. În contextul unei rețele de transport, combinația dintre tipurile de vehicule, viteza medie și distanțele parcurse determină emisiile totale de GES asociate cu deplasarea oamenilor și a bunurilor. Indicatorii de performanță ai proiectului Ghidului de finanțare sunt: L - lungimea totală a pistelor pentru biciclete rezultată în urma implementării programului (km); și R - reducerea cantității emisiilor de tCO_e. Suplimentar, beneficiarii direcți ai investiției, populația deservită poate fi un indicator de rezultat secundar al acestui proiect.

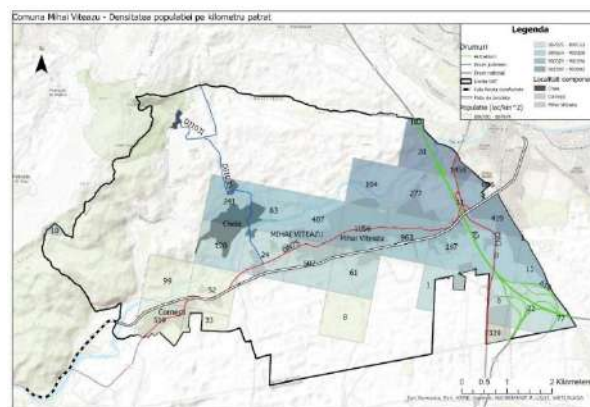


Figura 13. Densitatea populatiei pe kilometru patrat(sursa: Realizat autor) (4)



Rezultatele demonstrează utilitatea reconversiei traseului CF al fostei mocănițe ca prima opțiune în alegerea traseului de piste de biciclete prin comuna Mihai Viteazu, din județul Cluj.

4. Concluzii

Pornind de la rezultatele analizelor s-a concluzionat că:

- Există o dorință clară la nivelul populației pentru dezvoltarea acestui tip de proiect, 91% dintre respondenți declarând că susțin realizarea pistelor de biciclete.
- Studiul relevă că 21% dintre locuitorii comunei folosesc deja bicicleta ca principal mijloc de deplasare, ceea ce justifică necesitatea unei infrastructuri dedicate.
- Există obstacole identificate de utilizatori în prezent sunt lipsa spațiilor dedicate bicicliștilor (63,16%), traficul rutier intens (33,68%) și infrastructura rutieră degradată (33,68%).
- În urma analizei multicriteriale, prima opțiune recomandată pentru traseul pistei este reconversia infrastructurii feroviare dezafectate a fostei mocănițe, fiind considerată mai utilă decât modificarea profilului drumului național DN 75 cu pistă alăturată benzilor de circulație.
- Implementarea proiectului este văzută de locuitori nu doar ca o metodă de transport, ci și ca o modalitate de a crește siguranța deplasării (78,95%), de a reduce traficul (35,79%) și de a proteja mediul înconjurător.

BIBLIOGRAFIE

1. Master Plan General de Transporturi al României
(<https://mtransporturi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=4e84b8ff37de48c6a001c0bae9974693>)
2. Google Gemini
3. Survey 123, <https://survey123.arcgis.com/>
4. ArcGis Pro, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/get-started/download-arcgis-pro.htm>
5. <http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>
6. Ordinul nr. 2.506 din 22 septembrie 2022 pentru aprobarea Ghidului de finanțare a Programului de realizare a pistelor pentru biciclete, https://www.afm.ro/piste_biciclete_ghid.php
7. Rome Traf Plus, Studiu de trafic pentru obiectivul de investiții „CONSTRUIRE PISTE PENTRU BICICLETE ÎN COMUNA MIHAI VITEAZU, JUDEȚUL CLUJ”, 2025
8. Ghid de evaluare JASPERS (Transport) Instrument pentru Calcularea Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră din Sectorul Transporturilor
9. Ghid realizare multicriterială



STUDIU DE CAZ PARK&RIDE TRAIAN VUIA

Autor

Alexia COSMA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: cosma.alexia04@gmail.com

Îndrumători

Șef L.Dr.Ing. Rodica Dorina CADAR², Șef L.Dr.Ing. Rozalia Melania BOITOR³

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

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Melania.boitor@infra.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea de cercetare prezintă analiza parcurii de tip Park&Ride Traian Vuia (PRTV) din municipiul Cluj-Napoca. Analiza realizată pornește de la studiul amplasamentului, investigarea ratei de ocupare, atât pe teren cât și cu ajutorul aplicației online dedicată PRTV din cadrul Primăriei Cluj-Napoca. Datele colectate au fost utilizate pentru stabilirea matricii de date cu locuri libere în PRTV în perioade diferite din zi și în zile diferite pe parcursul perioadei noiembrie 2025 -aprilie 2026. Matricea de date a permis determinarea ratei de ocupare și evaluarea impactului realizării PRTV. Analiza statistică a bazei de date s-a realizat și cu ajutorul MS Office Excel. Cele mai mari valori ale ratei de ocupare a PRTV s-au obținut în perioadele de vacanță, ceea ce arată că o mare parte dintre utilizatori folosesc PRTV pentru facilitarea zborurilor de pe aeroportul din proximitate, ca Park&Fly.*

Cuvinte cheie: Park&Ride Traian Vuia, Cluj-Napoca, rata de ocupare, GIS

1. Introducere

Prin definiție parcurile de tip Park&Ride reprezintă facilități pentru circulația pasivă care asigură conexiunea directă și imediată cu transportul public (TP). Astfel, utilizatorii, de obicei persoane care fac naveta înspre centre urbane aglomerate, pot lăsa autovehiculele personale în Park&Ride la periferia acestora și să folosească TP pentru a continua călătoria spre oraș cu mijloace de transport în comun local disponibile - autobuz, troleibuz, tramvai sau metrou, chiar și bicicletă. Prin integrarea oportunității de parcare cu conexiunea la TP, facilitățile Park&Ride stimulează renunțarea la vehiculul personal în zonele urbane aglomerate dar pot asigura și legătura utilizatorilor de la TP metropolitan, regional, național sau internațional de călători, cu ajutorul autocarelor sau trenului la TP local.

Obiectivul principal al facilităților Park&Ride este de a îmbunătăți condițiile pentru utilizarea modurilor nemotorizate de transport, reducerea numărului de deplasări cu transportul privat (cu autoturisme), creșterea utilizării transportului public, precum și pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din transport [1].

Rata de ocupare a unei parcuri reprezintă raportul dintre numărul locurilor ocupate și numărul total de locuri de parcare.

$$\text{Rata de ocupare} = \frac{\text{nr. locuri ocupate}}{\text{nr. total de locuri}} \times 100 \quad (1)$$

Rata de ocupare reprezintă indicatorul care caracterizează nivelul de utilizare al unei facilități de parcare, evidențiind prin valori ridicate importanța unei parcări.

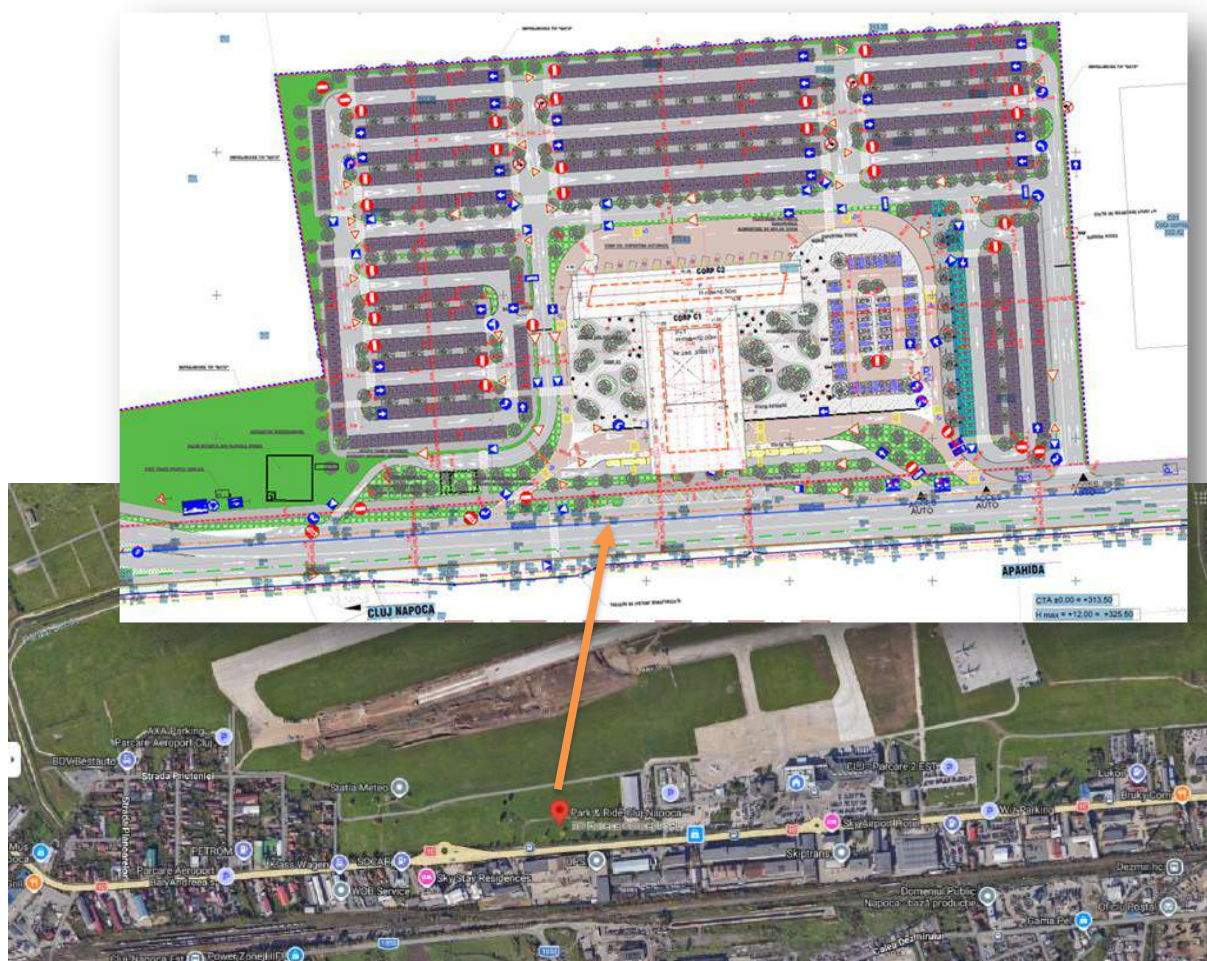
2. Studiu de caz

Studiul de caz analizat, PRTV este amplasat în municipiul Cluj-Napoca, pe strada Traian Vuia la numărul 149-151, în vecinătatea Aeroportului Avram Iancu Cluj-Napoca. Acesta este un loc sigur unde poate fi lăsat autoturismul personal, și de unde poate fi luat un mijloc de TP spre oraș, călătoria cu TP fiind realizată în baza tichetului de parcare.

2.1 Descrierea amplasamentului

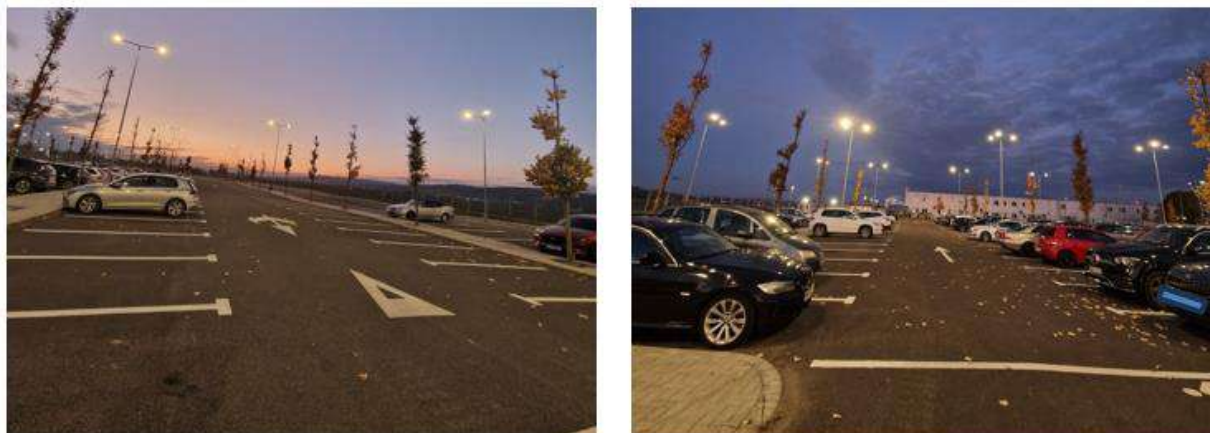
PRTV este conectat la infrastructura de transport existentă, la strada Traian Vuia prin accese auto și pietonale, cu bretele de accelerare/decelerare și spațiu de stocaj. Pentru legătura cu sensul opus de circulație PRTV este deservită de un sens giratoriu de viteză cu 2 benzi pe sens (model turbogirație) cu bretea rapidă pe sensul de ieșire din oraș. Turbogirația s-a amenajat ca să permită întoarcerea autoturismelor ce ies din parcare și se îndreaptă spre direcția Apahida.

Conform indicatorilor urbanistici din documentația tehnică [2] PRTV este amplasată pe o suprafață de 48.501 mp cu o capacitate totală de 889 de locuri de parcare amenajate pe o platformă la sol.



Figură 21 Plan de situație PRTV [2]

Amplasamentul prezintă o diversitate de locuri de parcare dedicate automobilelor, principalele locuri fiind pentru vehicule care funcționează pe bază de carburant fosil, într-un număr de 756 de locuri [3].



Figură 22 Locuri de parcare pentru mașinile pe carburant fosil. Sursă foto: Autor

Următoarea categorie de locuri de parcare sunt cele destinate utilizatorilor vulnerabili, din care 39 destinate persoanelor cu dizabilități și 32 de locuri de parcare destinate mamelor cu copii mici. Acestea sunt localizate în apropierea intrării în parcare pentru facilitarea accesului.

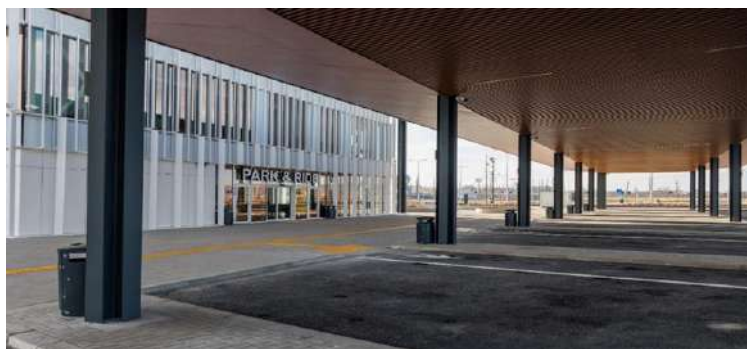
Adiacent parcarilor pentru persoanele cu dizabilități sunt parcarile pentru autovehiculele hibride/electrice care sunt în număr de 30. Au fost montate 5 stații de încărcare rapidă, 8 stații duble cu încărcare lentă și 4 stații simple cu încărcare lentă, la care se utilizează aplicația EV Charge.



Figură 23 parcări pentru mașini electrice (verzi) și pentru persoane cu dizabilități (albastre). Sursă foto: Autor

PRTV dispune și de locuri de parcare dedicate TP incluzând un terminal destinat zonei de „autogară” formată dintr-o clădire P+1 cu acoperiș tip copertină, cu o arie construită totală de 1236.05 mp și un terminal acoperit cu copertină cu regim de înălțime P și aria construită totală este de 543,00 mp, care asigură o capacitate de 8 locuri de parcare pentru autocare. Liniile deservite sunt internaționale (de ex. Flixbus are linii până la Lisabona [4]).

PRTV dispune și de 24 de locuri dedicate taxiurilor. De asemenea, a fost amenajată zona ClujBike pentru cei care preferă bicicletele ca mijloc de transport în interiorul orașului [5].



Figură 24 Autogara PRTV – clădire P+1 și parcare autocare acoperită cu copertină

Accesul în parcare este gestionat cu trei bariere dotate cu sistem de recunoaștere a numărului de înmatriculare, același sistem regăsindu-se și la ieșirea din parcare. Barierele au fost poziționate la o distanță de 57 m față de fluxul direcțional de pe strada Traian Vuia, pentru a permite așteptarea pentru acces fără a bloca circulația pe artera principală.

2.2.Tarife

Prin Hotărârea Consiliului Local al Municipiului Cluj-Napoca Nr. 736 din 2 decembrie 2024 [6] au fost stabilite tarifele inițiale pentru utilizarea locurilor de parcare (vezi Tabel 1). Ulterior, în cadrul ședinței Consiliului Local al Municipiului Cluj-Napoca din 7 iulie 2025 au fost stabilite tarifele modificate, prezentate în același tabel.

Față de tarifele inițiale, tarifele modificate sunt mai mici în cazul intervalelor de timp care depășesc 12 ore. Optimizarea politicii de tarificare a venit ca urmare a gradului de ocupare al parării care a fost sub așteptări.

Tabelul 1. Evoluție tarife PRTV

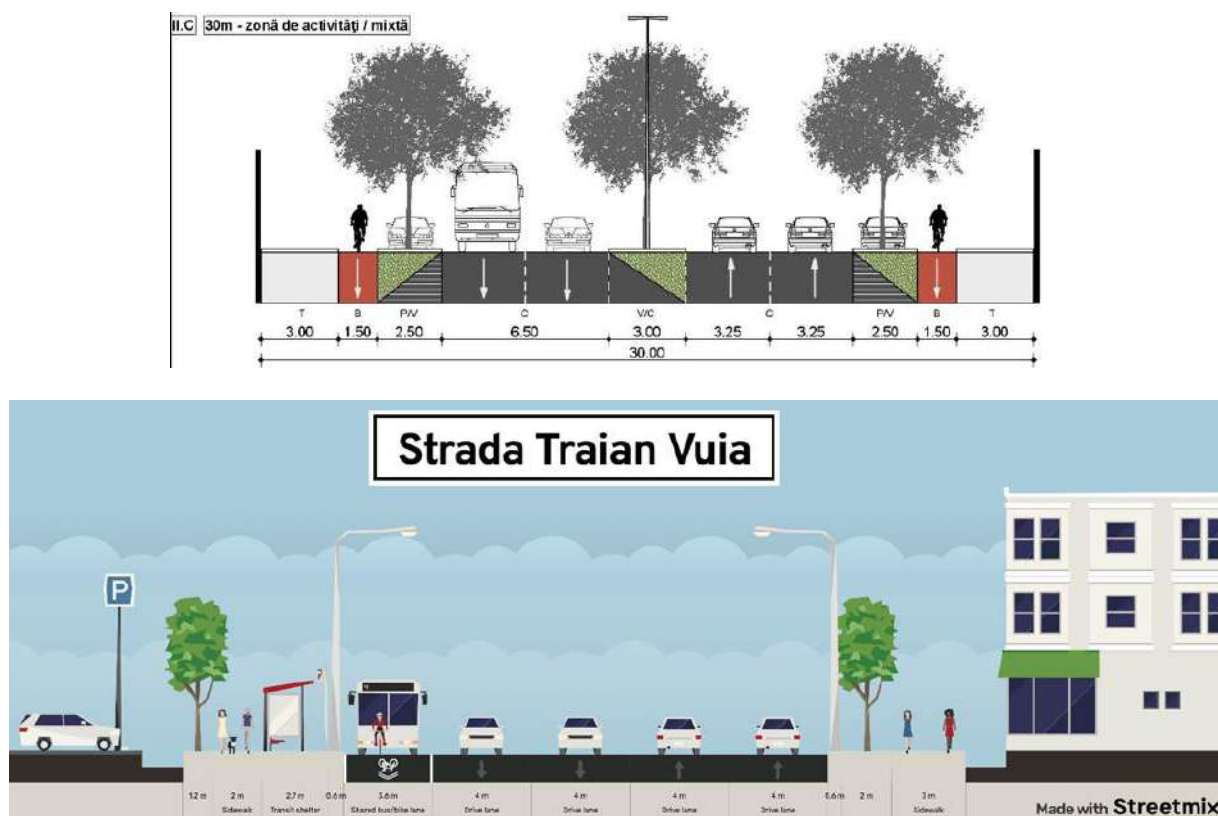
Interval orar	Tarife inițiale (lei)	Tarife modificate (lei)
< 10 minute	0	0
10 minute – 6 ore	2	2
6 ore – 12 ore	5	5
12 ore – 24 ore	240 (10 lei/ora)	15
24 ore – 36 ore	360 (10 lei/ora)	25
36 ore – 48 ore	480 (10 lei/ora)	35
48 ore – 60 ore	600 (10 lei/ora)	45
60 ore - 72 ore	720 (10 lei/ora)	55
72 ore - 84 ore	1260 (15 lei/ora)	65
84 ore - 96 ore	1440 (15 lei/ora)	75
7 zile (168 ore)	2520 (15 lei/ora)	135
14 zile (336 ore)	5040 (15 lei/ora)	205
30 zile (720 ore)	10800 (15 lei/ora)	365

Pentru plată pot fi utilizate aparatele de la locație sau aplicația UpPark disponibilă în Google Play și AppStore. Cu ajutorul tichetului de parcare, utilizatorii pot călători gratuit în Cluj-Napoca cu TP spre oraș [3].

2.3. Stația de autobus adiacentă PRTV

Din punct de vedere al transportului în comun, deoarece parcare este de tip Park&Ride, a fost necesară o abordare diferită și realizarea unei noi stații de autobus pe direcția Apahida – Cluj cu liniile de transport public urban 5, 5N și 8, dar și metropolitan (M41, M41L, M42, M42L, M43, M44 și M45). Această stație se numește Traian Vuia Nord și este amplasată în fața clădirii din incinta parării, iar adiacent stației de autobus s-a marcat o trecere de pietoni semaforizată care este acționată de pietoni, dar are și scopul de a reduce viteza pe sectorul respectiv. Aceasta are o stație pereche, pe partea opusă a străzii, numită Traian Vuia Sud care asigură deplasarea spre limita municipiului, la stația Electromontaj sau înafara municipiului cu liniile metropolitane.

Conform Planului Urbanistic General (PUG) al municipiului, 2014, profilul transversal propus pentru secțiunea străzii Traian Vuia în zona de intervenție este aferent unei străzi de categoria II cu 4 benzi de circulație pentru zona de activități mixtă (transport, industrie, locuințe) [8]. Profilul transversal al străzii Traian Vuia a fost modelat în aplicația Streetmix.com.



Figură 25 Profil Transversal tip conform propunerii PUG Cluj-Napoca (sus [8]) și profil transversal tip actual modelat în Streetmix de către autor (jos)

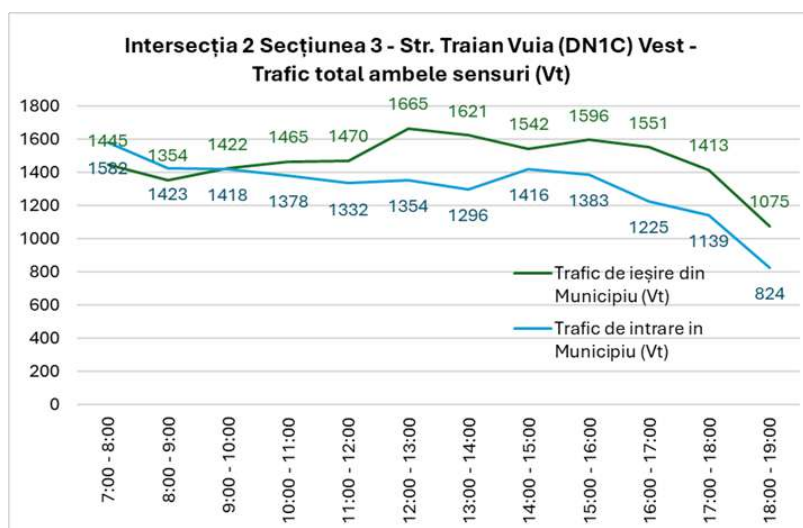


Din punct de vedere financiar, este asigurată mobilitatea facilă și flexibilă a utilizatorilor prin faptul că aceștia pot folosi tichetului de parcare ca bilet pentru TP, în mod gratuit.

2.4. Trafic

PRTV poate prelua fluxurile motorizate din suburban precum și utilizatorii liniilor de transport public metropolitan care facilitează transportul din a doua coroană de localități (Pata, Corpadea, Cojocna etc.) și ai liniilor internaționale care ajung în terminalul de autogară al PRTV.

Astfel, din traficul înregistrat pentru realizarea documentației tehnice [2] se poate observa că pe artera Traian Vuia fluxurile de vehicule pe cele două direcții de deplasare sunt mai mari dimineața pe direcția de intrare în municipiu și după amiaza pe direcția de ieșire din Cluj-Napoca, evidențiind un trafic pendular. Traficul pendular se întâlnește la populația care face naveta, precum este și în cazul celor care locuiesc lângă Cluj-Napoca și vin în oraș la muncă sau la studii, precum și la cei care vin periodic la spitale și clinici sau cei care vin la întâlniri de afaceri în mod frecvent.



Din punct de vedere al deplasărilor asigurate de către TP, cursele liniilor de autobuz 8, și de troleibuz 5 și 5 N asigură preluarea utilizatorilor PRTV în intervalul 5-24.

Tabelul 2. Treccerile curselor de TP prin stația Traian Vuia Nord, adiacentă PRTV

Interval orar	Număr treceri stația Traian Vuia Nord								
	Urbane		Metropolitane						
	5 (Electromontaj N)	8 (Electromontaj N)	M41 (Apahida)	M41L (Câmpenești)	M42 (Sânicosară)	M42L (Parc Nervia)	M43 (Dezmir)	M44 (Corpadea)	M45(Pata)
5:00-7:00	2	5	8	4	1	1	2	1	1
7:00-9:00	11	7	4	5	0	2	3	1	2
9:00-11:00	14	3	4	2	0	0	2	0	0
11:00-13:00	9	4	3	2	0	0	1	0	1
13:00-15:00	10	6	4	4	1	1	2	0	0
15:00-17:00	11	6	4	4	0	2	3	1	1
17:00-19:00	11	5	5	2	2	0	3	1	2
19:00-21:00	9	4	2	2	0	0	2	0	1
21:00-24:00	10	1	2	4	0	0	2	0	1

3. Rata de ocupare

Ca studiu de caz, analiza a fost realizată pe durata noiembrie 2025 – aprilie 2026, prin monitorizarea constantă a locurilor de parcare. Înregistrările au fost realizate în două etape – pe teren și digital. În perioada 4.11.2025 – 12.03.2026, au fost înregistrate pe teren locurile libere afișate de către tabela digitală de la intrarea în PRTV, o dată pe zi, săptămânal. Începând cu 1 aprilie 2026, de la momentul descoperirii aplicației dedicate PRTV găzduită de către Primăria Cluj-Napoca [5], au fost înregistrate locurile libere pe baza datelor disponibile on-line utilizând platforma primăriei, zilnic în patru momente specifice ale zilei astfel: la orele de vârf, ora 7:00 dimineața și ora 16:00 după masa, între vârfuri la ora 12:00 la amiază și în trafic liber seara la ora 19:00. Astfel, s-a realizat matricea de date care evidențiază fluxul autovehiculelor în parcare la orele respective.

Aplicația Park&Ride Cluj reprezintă o platformă accesibilă de pe orice dispozitiv. Arată atât locurile de parcare libere pentru mașinile pe carburant, cât și pentru restul categoriilor. Este ușor de instalat, dar funcționează pe bază de internet, având nevoie constantă de semnal la dispozitivul de pe care se utilizează. Mai mult, în urma studiului s-a constatat faptul că din data de 16.04.2026 a survenit o eroare în aplicație, dar și pe site, arătând constant un număr de 123 de locuri libere. Din fericire, în urma sesizării făcute la Primăria din Cluj-Napoca, s-a remediat problema pe data de 29.04.2026, arătând un număr de 401 locuri libere.



Figură 26 Aplicația Park&RideTV Cluj [5]

4. Rezultate

În urma sintetizării datelor înregistrate pe teren privind locurile libere s-au determinat locurile ocupate și rata de ocupare pentru fiecare înregistrare. Matricea de date obținută conține data și ora înregistrării, locurile libere, locurile ocupate și rata de ocupare.

În urma sintetizării datelor înregistrate on-line, de pe platforma primăriei, transmise în timp real, privind locurile libere s-au determinat locurile ocupate și rata de ocupare pentru fiecare înregistrare. Matricele de date obținute conține data și cele patru ore la care s-au făcut înregistrările, locurile libere, locurile ocupate respectiv ratele de ocupare.



Tabelul 3. Matricea de date colectate de pe teren

Parkare P&R Traian Vuia				
data	ora	locuri libere	locuri ocupate	rata de ocupare [%]
4.11.2025	6:46	465	424	48
7.11.2025	6:55	435	454	51
11.11.2025	6:43	376	513	58
12.11.2025	6:47	380	509	57
15.11.2025	12:44	610	279	31
18.11.2025	6:38	478	411	46
20.11.2025	7:02	312	577	65
26.11.2025	8:57	357	532	60
4.12.2025	6:45	375	514	58
6.12.2025	17:26	789	100	11
9.12.2025	6:48	475	414	47
11.12.2025	6:50	429	460	52
18.12.2025	6:37	461	428	48
13.01.2026	6:34	254	635	71
16.01.2026	6:56	236	653	73
21.01.2026	17:16	404	485	55
31.01.2026	11:35	429	460	52
10.02.2026	7:56	217	672	76
26.02.2026	14:38	352	537	60
3.03.2026	6:55	337	552	62
12.03.2026	6:33	457	432	49

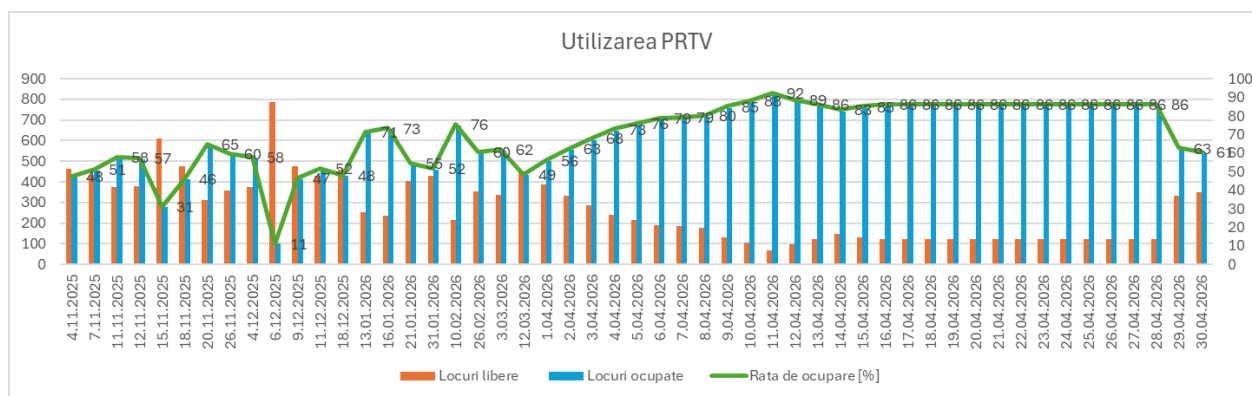
Tabelul 4. Matricile de date privind locurile libere (stânga) și locurile ocupate (dreapta)

Matrice de date Locuri libere						Matrice de date Locuri ocupate					
Ziua	Data/Ora	07:00	12:00	16:00	19:00	Ziua	Data/Ora	07:00	12:00	16:00	19:00
Miercuri	1.04.2026	407	387	366	398	Miercuri	1.04.2026	482	502	523	491
Joi	2.04.2026	384	316	313	319	Joi	2.04.2026	505	573	576	570
Vineri	3.04.2026	305	276	276	285	Vineri	3.04.2026	584	613	613	604
Sâmbătă	4.04.2026	265	245	232	219	Sâmbătă	4.04.2026	624	644	657	670
Duminică	5.04.2026	223	211	202	218	Duminică	5.04.2026	666	678	687	671
Luni	6.04.2026	214	173	174	196	Luni	6.04.2026	675	716	715	693
Marti	7.04.2026	190	169	175	205	Marti	7.04.2026	699	720	714	684
Miercuri	8.04.2026	209	161	156	178	Miercuri	8.04.2026	680	728	733	711
Joi	9.04.2026	147	138	117	126	Joi	9.04.2026	742	751	772	763
Vineri	10.04.202	117	114	97	96	Vineri	10.04.202	772	775	792	793
Sâmbătă	11.04.202	81	65	51	72	Sâmbătă	11.04.202	808	824	838	817
Duminică	12.04.202	100	90	98	110	Duminică	12.04.202	789	799	791	779
Luni	13.04.202	125	110	112	138	Luni	13.04.202	764	779	777	751
Marti	14.04.202	156	128	136	171	Marti	14.04.202	733	761	753	718
Miercuri	15.04.202	159	123	123	123	Miercuri	15.04.202	730	766	766	766
Joi	16.04.202	123	123	123	123	Joi	16.04.202	766	766	766	766
Vineri	17.04.202	123	123	123	123	Vineri	17.04.202	766	766	766	766
Sâmbătă	18.04.202	123	123	123	123	Sâmbătă	18.04.202	766	766	766	766
Duminică	19.04.202	123	123	123	123	Duminică	19.04.202	766	766	766	766
Luni	20.04.202	123	123	123	123	Luni	20.04.202	766	766	766	766
Marti	21.04.202	123	123	123	123	Marti	21.04.202	766	766	766	766
Miercuri	22.04.202	123	123	123	123	Miercuri	22.04.202	766	766	766	766
Joi	23.04.202	123	123	123	123	Joi	23.04.202	766	766	766	766
Vineri	24.04.202	123	123	123	123	Vineri	24.04.202	766	766	766	766
Sâmbătă	25.04.202	123	123	123	123	Sâmbătă	25.04.202	766	766	766	766
Duminică	26.04.202	123	123	123	123	Duminică	26.04.202	766	766	766	766
Luni	27.04.202	123	123	123	123	Luni	27.04.202	766	766	766	766
Marti	28.04.202	123	123	123	123	Marti	28.04.202	766	766	766	766
Miercuri	29.04.202	123	401	401	401	Miercuri	29.04.202	766	488	488	488
Joi	30.04.202	353	325	356	370	Joi	30.04.202	536	564	533	519



Tabelul 5. Rata de ocupare

Matrice de date Rata de ocupare [%]								
Ziua	Data/Ora	07:00	12:00	16:00	19:00	Medie zilnică	Minima zilnică	Maxima zilnică
Miercuri	1.04.2026	54	56	59	55	56	54	59
Joi	2.04.2026	57	64	65	64	63	57	65
Vineri	3.04.2026	66	69	69	68	68	66	69
Sâmbătă	4.04.2026	70	72	74	75	73	70	75
Duminică	5.04.2026	75	76	77	75	76	75	77
Luni	6.04.2026	76	81	80	78	79	76	81
Marti	7.04.2026	79	81	80	77	79	77	81
Miercuri	8.04.2026	76	82	82	80	80	76	82
Joi	9.04.2026	83	84	87	86	85	83	87
Vineri	10.04.2026	87	87	89	89	88	87	89
Sâmbătă	11.04.2026	91	93	94	92	92	91	94
Duminică	12.04.2026	89	90	89	88	89	88	90
Luni	13.04.2026	86	88	87	84	86	84	88
Marti	14.04.2026	82	86	85	81	83	81	86
Miercuri	15.04.2026	82	86	86	86	85	82	86
Joi	16.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Vineri	17.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Sâmbătă	18.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Duminică	19.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Luni	20.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Marti	21.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Miercuri	22.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Joi	23.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Vineri	24.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Sâmbătă	25.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Duminică	26.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Luni	27.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Marti	28.04.2026	86	86	86	86	86	86	86
Miercuri	29.04.2026	86	55	55	55	63	55	86
Joi	30.04.2026	60	63	60	58	61	58	63



Figură 27 Aplicația Park&RideTV Cluj

Se poate observa cum a evoluat impactul PRTV în timp prin creșterea ratei de ocupare. Cu observația că într-o perioadă aplicația a fost inactivă, se poate observa cum ratele de ocupare au urcat de la 11% în 6 decembrie 2025 la 92% în 11 aprilie 2026.



1.6. Concluzii

PRTV, este prima parcare de acest tip Park&Ride din Cluj-Napoca, cu o capacitate de 889 de locuri care deservesc automobile, autobuze, autocare, troleibuze, biciclete și motocicletele. Are facilități de deservire atât pentru persoanele cu dezabilități cât și pentru părinți cu copii mici. Din punct de vedere al tarifelor, acestea au fost modificate pentru a deservi populația care face deplasări preponderent de navetă permanentă sau ocazională în municipiu (Park and Ride), nu doar pentru utilizatorii aeroportului (Park and Fly). Reducerea tarifelor a favorizat creșterea utilizării PRTV. Totuși, se remarcă impactul apropierii de aeroport, datorită ratei mari de ocupare în perioada 10-13 aprilie 2026, în perioada vacanței cu ocazia sărbătorilor pascale.

Rata de ocupare a fost determinată pe matricea de date obținută prin numărători efectuate pe teren, dar și pe matricea de date obținută prin colectarea datelor direct din aplicația on-line dedicată parcării. Utilitatea acestei aplicații este foarte mare atât pentru administrator, cercetători dar mai ales pentru utilizatori.

Aplicația on-line permite cercetării de față să continue pe un termen lung pentru observarea evoluției utilizării PRTV. Mai mult, datele privind utilizarea parcării vor fi completate cu informații privind satisfacția utilizatorilor PRTV. A fost implementat un sondaj de opinie în acest sens, disponibil publicului, a cărui răspunsuri va permite evaluarea impactului post-implementare al proiectului. Acesta poate fi accesat la <https://arcg.is/15mrTfl> și acceptă răspunsuri.

În concluzie, obiectivul general al PRTV este atins, și anume de a asigura facilități pentru parcare autoturismelor și autocarelor într-un spațiu organizat care permite transferul utilizatorilor către serviciul de transport public local de călători și/sau direct către aeroport având în vedere amplasarea în proximitatea acestuia și de a îmbunătăți condițiile pentru utilizarea modurilor nemotorizate de transport, în vederea creșterii utilizării transportului public/nemotorizat, reducerii numărului de deplasări cu transportul privat (cu autoturisme) și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din transport.

Bibliografie

1. Boitor R.M, Dragomir M.L, Cadar R.D, A new PR in the parking system. A case study in a small urban area. CIBv2025 International Scientific Conference, 6-7 noiembrie, Brașov, 2025.
2. Rome Traf Plus. Studiu de trafic aferent obiectivului de investiții PARC&RIDE în municipiul Cluj-Napoca, 2024
3. <https://primariaclujnapoca.ro/informatii-publice/comunicate/park-ride-traian-vuia-cluj-napoca-este-functional/>
4. <https://www.flixbus.ro/curse?departureCity=30cf65a5-0cba-49a1-b921-006c1b3cdb4c>
5. <https://primariaclujnapoca.ro/parcari/park-ride-aeroport-international-cluj-napoca/>
6. Consiliu local/Hotărâri de consiliu. Hotărârea 736/2024 privind Stabilirea nivelurilor pentru valorile impozabile, impozitele și taxele locale pentru anul 2025. [Hotărârea 736/2024 • Cluj-Napoca](#)
7. Compania de Transport Public din Cluj-Napoca. ctpcj.ro
8. Plan Urbanistic General al municipiului Cluj-Napoca, 2014. <https://primariaclujnapoca.ro/strategii-urbane/plan-urbanistic-general/>
9. Streetmix.com



EVALUAREA PARAMETRILOR GEOMETRICI, DINAMICI SI CERINȚELE DE SIGURANȚĂ ÎN PROIECTAREA CIRCUITELOR AUTO DE MARE VITEZĂ.

Autor/autori

Paul-Adam BROȘ

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din CLUJ-NAPOCA, e-mail: brospaul230@gmail.com.

Îndrumător/îndrumători

Drd.Ing. Tudor-Miron HODA

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din CLUJ-NAPOCA, e-mail: tudor.hoda@infra.utcluj.ro

REZUMAT

Lucrarea prezintă principiile de proiectare ale unui circuit auto conform reglementărilor Federației Internaționale de Automobilism (FIA), cu accent pe integrarea cerințelor geometrice, funcționale și de siguranță specifice infrastructurii rutiere de mare viteză.

Sunt analizate caracteristicile tehnice ale vehiculelor de competiție și parametrii dinamici relevanți din care rezulta, valori și dimensiuni minime, utilizate în stabilirea elementelor geometrice ale traseului, atât în plan orizontal cât și în plan vertical.

Se acordă o atenție deosebită soluțiilor de siguranță, în special tipurile de bariere de protecție (safety barriers), criteriile de amplasare și capacitatea acestora de disipare a energiei la impact, esențiale pentru menținerea siguranței în exploatare.

1. Categoriile de circuite

Conform clasificării FIA, sunt definite mai multe categorii de circuite, corelate direct cu performanțele vehiculelor: există 6 categorii, numerotate de la 1 la 6, acestea fiind în funcție de raportul masă-putere a mașinilor de competiție, conform fig. 1.

FIA CIRCUIT GRADES		
F1	GRADE 1	≤ 1KG/HP
F2 F3 WEC	GRADE 2	≤ 2KG/HP
FA GT3 TCR	GRADE 3	≤ 3KG/HP
F4	GRADE 4	> 3KG/HP
ENTRY LEVEL	GRADE 5	
RX AX	GRADE 6R, 6A	

Figura 1. Clasificările traseelor FIA [1]

Același traseu poate fi omologat în diferite configurații, în funcție de geometria disponibilă și forma sectoarelor de circuit. Astfel, un singur circuit poate găzdui multiple

tipuri de evenimente și competiții, în funcție de varianta de traseu utilizată, după cum este ilustrat în fig. 2



Figura 2. Configurația diferitelor categorii de trasee [1]

Aceste categorii influențează în mod direct criteriile de proiectare ale circuitului, atât din punct de vedere al geometriei traseului (lungimi, lățimi), cât și al configurației elementelor componente (parapete, dotări anexe). Cu toate acestea, un circuit nu este limitat la o singură omologare.

2. Plan de situație

Lungimea circuitului reprezintă un parametru esențial în proiectarea și omologarea pistelor de curse. Deși poate părea un aspect pur geometric, analiza cerințelor impuse de FIA evidențiază faptul că aceasta influențează direct atât desfășurarea competițiilor, cât și capacitatea de operare a circuitului, respectiv ușurința piloților de a învăța traseele.

În tabelul 1, se pot observa lungimile minime ale unui traseu în funcție de durata cursei și tipul de motorsport.

categorii de curse	lungimea minima in funcție de durata		
	2h45 min	6h	12h
Mașini sport	3.5	3.7	4.7
GT	3.5	3.7	4.7
F1	3.5	3.5	3.5
Touring cars	3	3.2	4
F3	2	2	2

Tab. 1. Dimensiuni minime pt trasee în funcție de categorii și durata. [3]

Fiecare circuit trebuie să respecte o lungime minimă, stabilită în funcție de durata cursei și de categoria vehiculelor admise. În funcție de acestea, se determină și numărul maxim de vehicule permise simultan pe circuit, folosind formula:

$$N = 0.36 * L * W * T * G \quad (1)$$

- N = numărul maxim de vehicule admise la start
- L = coeficient dependent de lungimea circuitului



- W = coeficient dependent de lățimea minimă a circuitului
- T = coeficient dependent de durata cursei
- G = coeficient dependent de grupa de vehicule participante

Coeficienții L , W , T și G sunt definiți în tabele specifice de omologare și reflectă influența directă a parametrilor geometrici și sportivi asupra capacității de desfășurare în siguranță a competiției.

În cazul drumurilor publice din țara noastră, elementele geometrice se determină în funcție de viteza de proiectare (conform STAS 863/85 și ordinul 1296/2017). În cazul circuitelor de curse, însă, nu există o viteză de proiectare explicit definită.

În aceste condiții, elementele geometrice - aliniamente, curbe, racordări, raze, supraînălțări și supralărgiri - trebuie adoptate pentru viteze mult superioare față de cele din infrastructura rutieră obișnuită, frecvent peste 250 km/h.

FIA nu impune valori fixe pentru razele curbelor, cu excepția primului viraj: prima curbă după linia de start, unde se impune un unghi la vârf de max. 45° și o rază de minimum 300 m, pentru limitarea vitezei inițiale. Pentru restul virajelor, oferă recomandări și principii generale pentru racordarea aliniamentelor. Valoarea razei fiind în funcție de trasa ideală (optimal racing line), viteza și calitatea suprafeței de rulare (rugoizitate), conform formulei:

$$R_{min} = \frac{v_p^2}{127 \cdot (F_{Rdcp} + q_{max})} \quad (2)$$

- R_{min} = Raza minim de racordare [m]
- V_p = viteza estimată [km/h]
- F_{Rdcp} = coeficientul de frecare
- q_{max} = panta maximă a profilului transversal [%]

Pe lângă alegerea razelor curbelor, traiectoria vehiculului constituie un parametru esențial de proiectare. În cazul drumurilor publice, vehiculele circulă pe benzi aferente sensului de mers, iar traiectoria urmează geometria acestora, având aceeași rază cu cea a curbei, în funcție de poziționarea pe banda interioară sau exterioară.

Pe circuite, lipsa benzilor permite utilizarea întregii lățimi a pistei, inclusiv a acostamentului. Obiectivul este minimizarea timpului, ceea ce conduce la optimizarea traiectoriei prin reducerea porțiunilor rectilinii și mărirea razelor efective ale curbelor. Un exemplu de parcurgere a unei curbei este prezentat în figura 5.

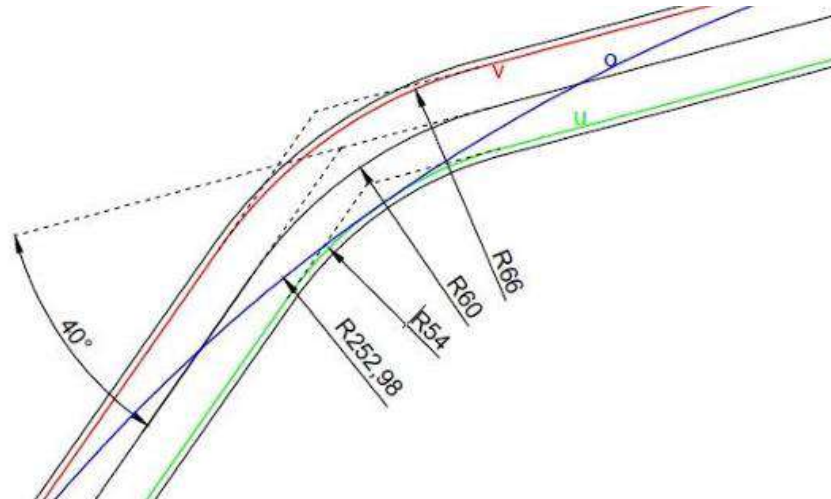


Figura 3. Razele curbei și cea a liniei cursei.[7]

FIA impune ca noile circuite să conțină zone tehnice, pentru a crește competiția între piloți și pentru a diminua diferențele de performanțe mecanice dintre constructori, care se pot realiza prin:

- **Șicane** - sunt o secvență de 2–3 viraje, cu direcții alternante, care deviază traiectoria, revenind apoi la direcția inițială. Ele testează precizia, controlul și capacitatea piloților de a menține linia cursei la schimbări rapide de direcție



Figura 4. Șicane Circuit de Spa-Francorchamps [12]



5. Bus Stop Spa-Francorchamps[12]

Carusel (serpentină) - curbele de tip carusel sunt viraje lungi și continue, care obligă pilotul să mențină o linie constantă și un control precis al vitezei pe toată durata parcurgerii. Ele testează abilitatea de control al vitezei și manevrarea pilotului.



Figura 6 Nürburgring Nordschleife – Carousel (Karussell).[10]

- **Curbele S** - sunt o succesiune de cel puțin două schimbări de direcție, în formă de S, în care linia de cursă din primul viraj influențează traiectoria și viteza în toate virajele. Ele testează abilitatea pilotului de a controla mașina și de a menține stabilitatea la frânare și la accelerare controlată.

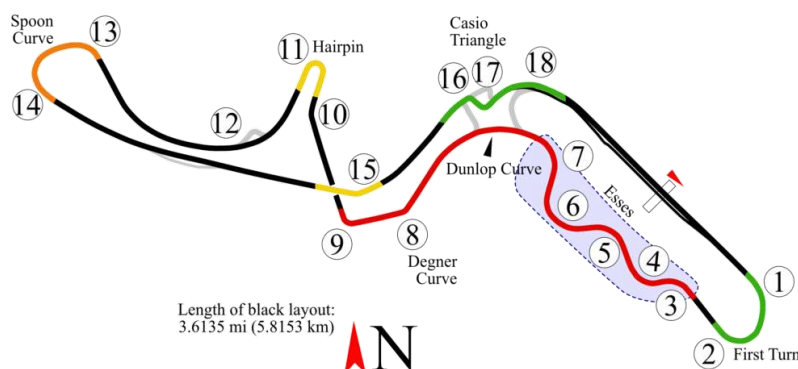


Figura 7. Suzuka Circuit – Esses.[11]

3. Profil transversal si longitudinal

Profilul transversal al pistelor de curse este proiectat pentru asigurarea siguranței piloților și a scurgerii apelor de suprafață. În aliniamente, se utilizează de regulă profil de tip acoperiș sau pantă unică, cu dever transversal de 1,5–3%. În curbe, se introduc supraînălțări (banking), valoarea acestora fiind limitată, la maximum 10%.

Pentru traseele în aliniament, regulile nu sunt exprimate direct prin relații clasice de calcul, ci prin cerințe minime impuse de FIA. Astfel, la proiectarea circuitelor permanente, lățimea pistei trebuie să fie de minimum 12 m. În zonele supralărgite, tranziția trebuie realizată liniar, cu o rată de maximum 1 m la 20 m lungime.

În curbe, lățimea pistei trebuie să fie de minimum 15 m, valoare care se menține până la tangenta de ieșire a curbei racordate cu raza minimă rezultată din trasa ideală de cursă. Dacă se introduc supralărgiri, acestea nu pot fi tratate separat, trebuind corelate cu lungimea de convertire și variația supraînălțării, rezultând o tranziție controlată din punct de vedere geometric între aliniament și curbă (ca și la drumurile publice).

Pentru a testa abilitatea pilotului de a controla mașina, precizia intrării în viraj și menținerea tracțiunii, se realizează frecvent Contra banking-uri (fig.10) , care limitează vitezele în zonele tehnice, (de regulă ≤ 125 km/h). Această caracteristică reprezintă porțiuni de circuit în care deverul în profil transversal este supraînălțat spre exteriorul curbei, reducând aderența laterală și destabilizând traiectoria..



Figura 8. Nürburgring Adenauer Frost(Pflanzgarten).[10]

În profil longitudinal, racordarea declivităților se realizează prin intermediul razelor circulare, valorile minime ale acestora fiind în funcție de viteza estimată pe tronsonul respectiv, conform relației:

$$R = V^2 \cdot K \quad (3)$$

unde:

- **R** - raza minima de racordare verticală [m]
- **V** - viteza de deplasare [km/h]
- **K** - coeficient, egal cu 20 pentru racordări concave și 15 pentru racordări convexe

Valorile razelor trebuie majorate în sectoarele de frânare, în curbe sau în zonele unde se ating vitezele maxime, pentru a asigura continuitatea dinamică a deplasării. Totodată, este indicat ca schimbătorii de declivitate sa nu fie amplasați în aceste zone.

Calculul racordărilor verticale, atât concave cât și cele convexe, trebuie efectuate în funcție de performanțele vehiculelor, astfel încât să nu afecteze stabilitatea și contactul cu suprafața de rulare.

În ceea ce privește linia de start/sosire, declivitatea longitudinală nu trebuie să depășească 2%.

Diferența valorilor coeficientului **K** este justificată de comportamentul dinamic al vehiculului. În cazul racordărilor convexe, există tendința de reducere a forței normale de contact între roată și suprafața de rulare, ceea ce poate conduce la pierderea aderenței la viteze ridicate. Din acest motiv, se impune utilizarea unor raze mai mari .

În schimb, racordările concave generează o creștere a reacțiunii normale datorită efectului de „apăsare” (downforce) al vehiculului pe suprafața de rulare, permițând utilizarea unor raze relativ mai reduse fără afectarea stabilității.



Figura 9. Influența racordării verticale asupra stabilității la viteze mari (Le Mans 1999).[10]

4. Marginile pistei și zonele de evacuare

În completarea profilului transversal, trebuie acordată o atenție deosebită elementelor laterale ale pistei, respectiv marginile, acostamentele (verges) și zonele de degajare (run-off areas).

Conform cerințelor FIA, pista trebuie delimitată pe toată lungimea sa, pe ambele părți, prin linii continue de culoare albă, realizate din material antiderapant, cu o lățime minimă de 10 cm.

În continuarea acesteia se dispun acostamentele (rezonatoarele), neapărat consolidate, cu lățimi uzuale cuprinse între 1 m și 5 m. Acestea trebuie să reprezinte o continuare directă a profilului transversal al pistei, fără schimbări de pantă sau trepte.



Figura 10. Acostamentul și marginea traseului.[4]

Zona de degajare (run-off area) este amplasată între acostament și primul element de protecție (bariera de protecție) și are rolul de a permite decelerarea vehiculului în cazul părăsirii suprafeței de rulare. Panta transversală a zonei de degajare nu trebuie să depășească 3% (cu excepția zonelor cu pietriș), asigurându-se o tranziție continuă față de suprafața pistei.

5. Bariere de protecție și siguranța la impact

Determinarea traiectoriei și vitezei unui vehicul pe circuit, în regim normal de exploatare, reprezintă un domeniu bine dezvoltat, fiind utilizată în mod curent de echipele de competiție pentru optimizarea performanței. Aceste analize se bazează pe modele complexe de dinamică a vehiculului, care iau în considerare influența aerodinamicii, a pneurilor, a sistemului de propulsie și a suspensiei asupra comportamentului în fiecare punct al traseului.

În schimb, analiza traiectoriei vehiculului în momentul pierderii controlului a fost, inițial, mai puțin abordată, deși aceasta are un rol esențial în evaluarea siguranței circuitelor. Spre deosebire de regimul controlat, unde traiectoria este determinată de aderența dintre pneu și cale, respectiv de acțiunile pilotului, în regim de avarie comportamentul vehiculului devine mult mai dificil de anticipat și necesită ipoteze simplificatoare.

Ipoteza fundamentală utilizată este aceea că, în momentul pierderii controlului, vehiculul tinde să urmeze o traiectorie rectilinie, tangentă la linia de rulare în punctul respectiv, datorită reducerii forțelor laterale. Pe baza acestei abordări se pot determina punctele în care vehiculul ar părăsi pista și direcția de deplasare ulterioară, conform fig.14 și fig. 15

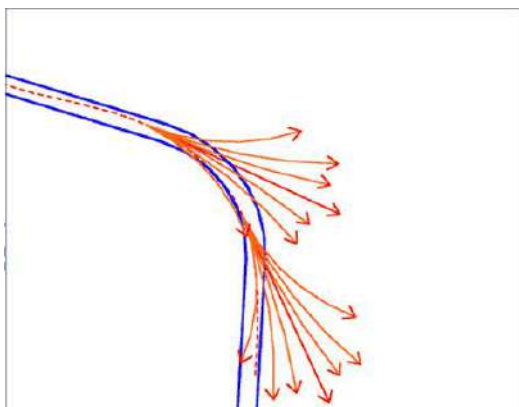


Figura 11. Traiectoriile inițiale posibile. [4]

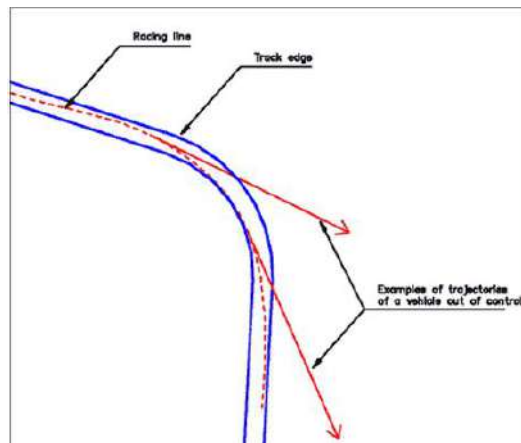


Figura 12. Traiectoriile inițiale.[4]

Rezultatele acestor calcule stau la baza dimensionării elementelor de siguranță ale circuitului, influențând direct poziționarea zonelor de degajare (run-off) și a sistemelor de protecție. Astfel, traiectoriile estimate determină direcțiile critice de impact și permit stabilirea amplasării optime a barierelor, precum și dimensionarea lungimii necesare pentru decelerarea vehiculului înainte de impact.

Pe circuitele de curse, barierele sunt necesare pentru a proteja spectatorii și infrastructura, permițând în același timp apropierea de zona de competiție. Problema este similară cu oprirea unui tren care depășește punctul de frânare, unde energia cinetică trebuie disipată controlat pentru a evita deteriorări ale vehiculelor și accidente ale piloților.

Energia rezultată din impact crește exponențial vitezei, ceea ce înseamnă că la viteze mari nivelul de energie devine extrem de ridicat, echivalent cu căderi de la sute de metri. Din acest motiv, atât vehiculul, cât și bariera sunt proiectate ca sisteme de absorbție a energiei.

Structurile de siguranță ale vehiculului sunt deformabile controlat și disipă energia prin cedare progresivă a materialului, în timp ce barierele funcționează prin mai multe mecanisme: deformare elastică, disipare prin amortizare și transfer de impuls prin preluarea impactului.

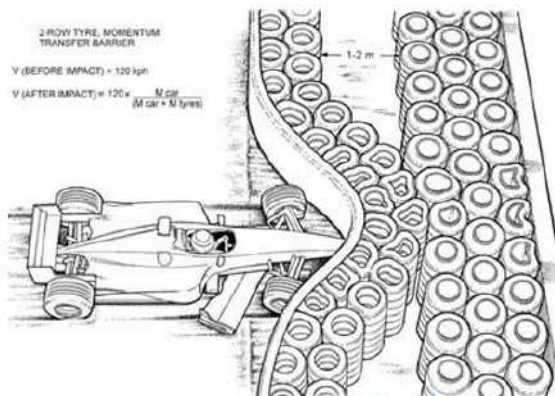


Figura 13. Analiza impactului frontal.[4]

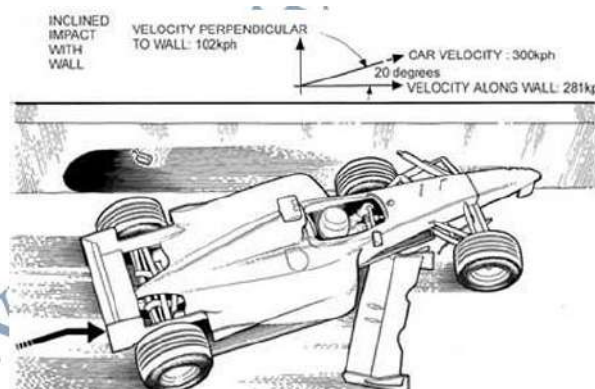


Figura 14. Analiza impactului lateral.[4]

Diferența esențială este că, în motorsport, impactul nu este constrâns geometric și poate apărea la orice unghi, incluzând rotații, derapaje sau combinații de mișcări. Această variabilitate face imposibilă existența unei soluții unice optimizate, motiv pentru care barierele reprezintă întotdeauna un compromis între rigiditate structurală și capacitate de absorbție a energiei.

Mono-posturile actuale au o zonă frontală redusă ca suprafață, ceea ce poate favoriza pătrunderea inițială în barieră, în timp ce în zona laterală există structuri deformabile distribuite pe o lungime mai mare, care permit o disipare mai eficientă a energiei datorită ariei de contact extinse.

În consecință, sistemele de protecție sunt proiectate pe baza unor scenarii de impact probabile, și nu pe o predicție deterministă a accidentului. Poziționarea barierele sunt adaptate fiecărei zone a circuitului, în funcție de riscurile dominante, pentru a asigura un nivel optim de siguranță.

6. CONCLUZII

Proiectarea circuitelor auto de mare viteză este un proces complex, bazat pe corelarea parametrilor geometrici cu performanțele dinamice ale vehiculelor și cu cerințele stricte de siguranță impuse de FIA. Elementele traseului trebuie concepute unitar, astfel încât să asigure stabilitate, continuitate și competiția la viteze ridicate.

În același timp, siguranța reprezintă un factor esențial, fiind integrată încă din faza de proiectare prin dimensionarea zonelor de degajare și a sistemelor de protecție, pe baza unor scenarii de impact probabile.

Astfel, proiectarea unui circuit presupune realizarea unui echilibru între performanță și siguranță, în condiții de exploatare extreme.



Având în vedere existența unor circuite de curse și în România (Transilvania Motor Ring – Tg. Mureș, Adâncata MotorPark - Ialomița), dar neomologate FIA, este foarte importantă cunoașterea și adaptarea legislației internaționale pentru dezvoltarea sporturilor cu motor care să ofere siguranță și competitivitate la un nivel mai înalt și la noi în țară, lucru demarat prin documentarea în cadrul acestei lucrări.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), FIA Standard 3501-2017 – Safety Barriers, FIA, Paris, 2017.
 - [2] Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), Appendix O to the International Sporting Code – Standards for the Construction and Safety of Permanent Circuits, FIA, 2012.
 - [3] Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), Appendix O to the International Sporting Code – Standards for the Construction and Safety of Permanent Circuits, FIA, 2025.
 - [4] F1 Track Design and Safety, Seminar Report – Mechanical Engineering, StudyMafia.org.
 - [5] Fédération Internationale de Motocyclisme (FIM), Standards for Track Racing Circuits (STRC), Appendix 79, FIM, 2024.
 - [6] Kuhn W., Methodology for the Numerical Calculation of Racing Lines and the Virtual Assessment of Driving Behavior for Training Circuits, Transportation Research Procedia, Vol. 25C, 2017, pp. 1416–1429.
 - [7] Hudson R., MacDonald D., Humphreys M., Race Track Modeler: Developing an Iterative Design Workflow Combining a Game Engine and Parametric Design, ACADIA Regional Conference, 2011.
 - [8] Kmoniček H., Ruška F., Barišić I., Racing Circuits and Their Geometric Design Characteristics, e-GFOS, No. 19, 2019, pp. 98–107.
- Surse web:**
- [9] Formula 1 Official Website
 - [10] Nürburgring Official Website
 - [11] Suzuka Circuit Official Website
 - [12] Circuit de Spa-Francorchamps Official Website



ANALIZĂ COMPARATIVĂ A NORMATIVELOR DE PROIECTARE A PODURILOR DIN BETON ARMAT: TRECUT VS. PREZENT, STUDIU DE CAZ PE UN POD DIN ROMÂNIA

Autori

Ovidiu-Paul BOT¹, Daniel CĂPUȘAN², Bianca-Maria COVACI³, Ioan Radu DEGĂU⁴

¹Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Bot.La.Ovidiu@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică Cluj-Napoca e-mail: Capusan.Da.Daniel@student.utcluj.ro

³Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail :Covaci.Si.Bianca@student.utcluj.ro

⁴Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Degau.Io.Ioan@student.utcluj.ro

Îndrumător

Prof. Dr. Ing. Vladimir MARUSCEAC⁵

⁵Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, e-mail: Vladimir.Marusceac@campus.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o analiză comparativă a normativelor de proiectare a podurilor din beton armat utilizate în perioada anilor 1950–1960 (STAS) și a reglementărilor actuale (Eurocod). Studiul are la bază investigarea unui pod existent din România, amplasat într-o zonă caracterizată prin condiții de exploatare intense și factori de mediu agresivi. Analiza a fost realizată pe baza observațiilor vizuale și a identificării principalelor degradări apărute în timp, precum coroziunea armăturii, infiltrațiile, fisurarea și degradarea locală a betonului. Aceste aspecte au fost corelate cu cerințele de proiectare specifice normativelor utilizate la momentul execuției și cu cele actuale. Rezultatele evidențiază diferențe importante între cele două abordări, în special în ceea ce privește tratarea durabilității și a comportării în exploatare. Se observă faptul că reglementările moderne oferă o abordare mai riguroasă și mai completă, contribuind la creșterea duratei de viață a structurilor.*

Cuvinte cheie: poduri din beton armat; normative de proiectare; analiză comparativă; durabilitate; studiu de caz.

1. Introducere

Infrastructura de transport din România include un număr semnificativ de poduri realizate în a doua jumătate a secolului trecut, conform unor normative care nu mai corespund în totalitate cerințelor actuale de siguranță și durabilitate. În paralel, dezvoltarea cadrului normativ european a condus la introducerea unor metode de proiectare moderne, bazate pe evaluarea probabilistică a acțiunilor și pe controlul comportării în timp.

Diferențele dintre aceste două abordări sunt relevante în special în cazul structurilor existente, unde degradările apărute în exploatare pot fi corelate cu modul de proiectare inițial. În acest context, analiza comparativă a normativelor vechi și a celor actuale oferă o perspectivă utilă asupra evoluției conceptelor de proiectare.

Lucrarea își propune evaluarea unui pod rutier existent și identificarea principalelor degradări, urmată de corelarea acestora cu cerințele de proiectare specifice normativelor STAS și Eurocodurilor, în vederea evidențierii avantajelor abordării moderne.

2. Prezentarea structurii analizate



Podul analizat este amplasat în municipiul Cluj-Napoca, în zona gării, având un rol important în asigurarea conexiunilor rutiere și în deservirea traficului urban. Amplasamentul implică condiții dificile de exploatare, caracterizate prin trafic intens, acțiuni dinamice generate de circulația feroviară și expunerea la factori de mediu agresivi, precum umiditatea, sărurile de dezăpezire și ciclurile repetate de îngheț-dezghet.

Structura a fost realizată în perioada 1950–1960, în conformitate cu normativele STAS aplicabile la momentul respectiv. Din punct de vedere structural, podul este alcătuit din elemente de infrastructură din beton armat (pile și culei) și o suprastructură formată din grinzi din beton precomprimat și elemente din beton armat.

Investigațiile efectuate la fața locului au evidențiat prezența unor degradări specifice structurilor aflate în exploatare îndelungată, care afectează atât aspectul, cât și comportarea structurală.

3. Identificarea și analiza degradărilor

3.1 Tipuri de degradări observate și cauze (fisuri, exfolieri, coroziunea armăturii etc.)

Rosturile zidăriei spălate de infiltrații: La executarea zidăriei prin folosirea unui mortar de clasă necorespunzătoare și prin degradarea straturilor superioare de protecție care au rol în protejarea împotriva infiltrațiilor și spălarea mortarului din rosturi.

Prezența vegetației pe elementele infrastructurilor: Vegetația se dezvoltă în general în rosturile dintre culei și zidurile întoarse, în rosturile spălate ale zidurilor sau pe suprafețele orizontale ale suprastructurilor pe care se depun impurități. Degradările cauzate de prezența vegetației sunt de natura dislocărilor și coroziunii biochimice a mortarului, Figura 1.

Culoare neuniformă a suprafeței betonului: Utilizarea unui beton cu compoziție neuniformă și folosirea unor cofraje murdare.

Impurități pe suprafața betonului: Prepararea, transportul, punerea în operă a betonului neconformă, nerespectarea tehnologiei de execuție a cofrajelor.

Pete de rugină pe suprafața betonului: Prezența unor elemente metalice care s-au folosit în realizarea lucrării și nu au fost protejate, corodarea armăturilor din elementele structurii de rezistență și apariția unor pete de-a lungul armăturilor.

Imperfecțiuni geometrice ale suprafeței elementului: Cofraje necorespunzătoare, atât din punct de vedere al concepției, cât și al realizării execuției, decofrarea prematură, acțiuni mecanice accidentale.

Segregarea betonului: Turnarea betonului de la înălțime prea mare, folosirea raportului A/C mare, compactare inefficientă, armătură poziționată greșit.

Cuiburi de pietriș, caverne: Compoziția necorespunzătoare a betonului, nerespectarea timpului de amestecare, folosirea agregatelor aglomerate prin înghețarea apei conținute de acestea.

Infiltrații: Neasigurarea scurgerii apelor, betoane permeabile, execuția defectuoasă și îmbătrânirea hidroizolației, lipsa sau colmatarea drenurilor din spatele culeelor sau aripilor.

Stalactite, draperii (Stalactite): Circulația apei în masa betonului urmată de reacții chimice care au ca efect dizolvarea și spălarea unor produși care se depun sub formă de stalactite; în timp crește porozitatea betonului și scad caracteristicile fizico-mecanice ale betonului, Figura 2.



Figura 1. Prezența vegetației pe elementele infrastructurii



Figura 2. Formarea stalactitelor pe elementele structurale

Uzura betonului: Proces de distrugere a betonului local cauzat de lipsa teșiturilor colțurilor banchetei cuzineților și lipsa aparatelor de reazem.

Exfolierea betonului: Coroziunea betonului, acțiunea îngheț-dezgheț, corozia armăturii.

Fisuri longitudinale: Depășirea efortului de compresiune în beton, corozia armăturii, armare subdimensionată, grosime insuficientă a stratului de acoperire.

Coroziunea armăturii: Proces chimic dezvoltat la suprafața armăturii sub acțiunea oxigenului, a umidității, agenților agresivi. Cauze: strat de acoperire insuficient, caverne, agregate de dimensiuni mari la suprafața betonului, fisuri, crăpături, acțiunea apei.

Armături fără strat de acoperire: (zone cu armături vizibile). Cauze: exfolierea betonului, greșeli de concepție sau execuție, strat insuficient de acoperire, Figura 3.

Agregate de dimensiuni mari la suprafața betonului: Necorelarea dimensiunii maxime a agregatului cu alcătuirea constructivă a elementului betonat, folosirea de agregate cu formă necorespunzătoare, Figura 4.



Figura 3. Exfolierea betonului și expunerea armăturilor



Figura 4. Agregate cu dimensiuni mari la suprafața betonului

3.2 Evaluarea stării tehnice actuale

S-au analizat și măsurat elementele construcției privind defectele și degradările care au apărut de la darea în folosință a lucrării, ținând cont de prevederile din “Indicativ AND 522-2002” și utilizând “Manualul privind defectele și degradările aparente la poduri și pasaje rutiere și indicarea metodelor de remediere”.



- Clasa I – Uzură redusă: Podul este în stare bună. Defecte minore: mici fisuri, exfolieri superficiale, uzură normală. Nu afectează funcționarea. Necesită doar întreținere periodică.
 - Clasa II – Uzură moderată: Degradări vizibile, dar nu afectează capacitatea portantă. Exemple: zone mici de beton degradat, armături expuse local, tasări mici. Necesită reparații programate.
 - Clasa III – Uzură avansată: Degradări importante, care pot afecta siguranța structurală. Exemple: fisuri mari, coroziune avansată, degradări extinse ale grinzilor sau culeelor. Necesită intervenții urgente și eventual restricții de trafic.
 - Clasa IV – Uzură foarte avansată / stare critică: Podul prezintă pericol iminent de pierdere a capacității portante. Exemple: elemente rupte, grinzi grav afectate, tasări mari, instabilitate. Necesită închidere imediată și lucrări majore sau reconstrucție.
- În urma evaluării podului la fața locului am încadrat podul în Clasa III (Uzură avansată) deoarece toate elementele de rezistență prezintă semne de uzură și îmbătrânire accentuată, exfolieri masive, armături corodate în profunzime, infiltrații masive, caverne, hidroizolația tablierului deficitară, neîntreținerea întregii structuri, etc [1].

4. Prevederi de proiectare conform standardelor românești vechi

4.1 Metode de calcul utilizate

Dezvoltarea cerințelor de exploatare și durabilitate în domeniul podurilor din beton, beton armat și beton precomprimat a determinat trecerea de la metoda rezistențelor admisibile la metoda stărilor limită, aceasta oferind o evaluare mai realistă a comportării structurale. Metoda rezistențelor admisibile se bazează pe compararea tensiunilor efective rezultate din valorile maxime ale încărcărilor normate, cu rezistențele admisibile ale materialelor, considerate fracțiuni ale rezistențelor normate. Siguranța structurii este exprimată prin coeficientul de siguranță, definit ca raport între rezistența materialului și efectul acțiunilor. Normativele stabilesc trei grupe principale de încărcări: fundamentală (CI = 1,50), fundamentală suplimentată (CII = 1,33) și specială (CIII = 1,20).

În comparație, metoda stărilor limită reprezintă o metodă semiprobabilistică bazată pe utilizarea valorilor de calcul ale acțiunilor și rezistențelor, obținute prin aplicarea coeficienților parțiali de siguranță asupra valorilor normate. Verificarea structurală urmărește satisfacerea stărilor limită ultime, asociate pierderii capacității portante sau instabilității, precum și a stărilor limită de exploatare normală, referitoare la limitarea deformațiilor și asigurarea funcționalității structurii.

4.1 Încărcări la poduri

Între anii 1930–1951, calculul podurilor rutiere se realiza pentru convoaie alcătuite din compresoare de 7, 16 sau 24 t, însoțite de încărcări uniform distribuite de 300–500 kg/m². Standardul STAS 1545-52 introduce convoaie de tip A13, S60, A10, S30 și A8, iar revizuirea din 1963 adaugă clasa E, caracterizată prin autocamioane de 30 t și vehicule speciale de 80 t. Ca urmare, în STAS 3221-86 au rămas clasele E, I și II.



Clasa E de încărcare este alcătuită din convoiul A30 și vehiculul special V80. Convoiul A30 este format dintr-un șir nelimitat de autocamioane de 30 t, dispuse la 10 m longitudinal și aproximativ 1,1 m transversal, iar convoiul V80 includea vehicule speciale de 80 t, amplasate la minimum 80 m unul față de altul. Poziționarea transversală a vehiculelor depinde de existența trotuarelor și de distanța până la parapet sau bordură [2].

4.2 Clase de beton și armare

Pentru elementele din beton precomprimat se utilizau frecvent betoane de clase superioare, respectiv B400–B600 pentru armături trefilate la rece și B300–B400 pentru armături laminate la cald. Pentru fundații și elevații erau prevăzute valori minime de B150 și B200. Straturile de acoperire cu beton erau stabilite în funcție de tipul elementului și condițiile de exploatare, variind între 10 și 50 mm conform STAS 10107-0-76.

Procentul minim de armare longitudinală pentru stâlpi era de 0,5% din aria secțiunii de beton, iar valorile maxime depindeau de tipul oțelului utilizat: 3% pentru OB37, 2,5% pentru PC52 și 2,0% pentru PC60. În cazul plăcilor se prevedea un procent minim de 0,05% din aria utilă, iar pentru grinzi se recomandau procente medii de armare de 0,6–1,2%, în funcție de tipul secțiunii și nivelul de solicitare [3].

4.3 Coeficienți de siguranță

Coeficienții de siguranță utilizați în metoda stărilor limită variau în funcție de natura acțiunilor și de gruparea de încărcare. Pentru acțiunile permanente se adoptau intervale de tip 0,7–1,5, iar pentru acțiunile variabile, precum convoaiele rutiere sau încărcările pietonale, coeficienții maximi se situau între 1,2 și 1,4 în grupa fundamentală. Acțiunile excepționale, inclusiv cele seismice, erau tratate distinct, prin coeficienți specifici corespunzători caracterului lor rar și sever.[4]

5. Prevederi de proiectare conform SR EN 1992-2

5.1 Principii generale de proiectare

Proiectarea structurilor din beton armat pentru poduri se realizează conform conceptului stărilor limită, diferențiindu-se între stări limită ultime (SLU) și stări limită ale exploatarii normale (SLS), utilizând metoda coeficienților parțiali de siguranță. Se asigură îndeplinirea simultană a cerințelor de siguranță structurală, exploatabilitate și durabilitate pe întreaga durată de viață de proiectare. Standardul SR EN 1992-2 completează prevederile generale din SR EN 1992-1-1, toate regulile din acesta fiind aplicabile, cu excepția cazurilor în care sunt modificate explicit pentru structuri de poduri [5, 6].

5.2 Clase minime de beton în funcție de expunere

Clasa de beton se alege în funcție de condițiile de mediu și de mecanismele de degradare. Pentru coroziunea indusă de carbonatare (clase XC2, XC4), specifice mediilor umede sau alternativ umede și uscate, se recomandă utilizarea betonului de clasă minimă C30/37, respectiv C40/50. În cazul coroziunii induse de cloruri (clasa XD3), caracteristică elementelor expuse la stropire cu apă contaminată, se impune utilizarea betonului de clasă minimă C45/55. Pentru acțiuni de îngheț-dezghet în prezența agenților de dezghet (clasa XF4), se utilizează de asemenea beton de clasă minimă C45/55, având în vedere necesitatea unei durabilități sporite [6].



5.3 Cerințe privind acoperirea armăturii

Acoperirea nominală a armăturii se determină ca: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$, unde c_{min} reprezintă acoperirea minimă necesară pentru asigurarea aderenței și durabilității, iar Δc_{dev} este abaterea admisă de execuție. Componenta de durabilitate $c_{min,dur}$ se stabilește în funcție de clasa de expunere și clasa structurală, conform SR EN 1992-2, având valori crescătoare pentru medii agresive (ex. până la 50–55 mm pentru clasele XD3/XS3 în structuri de importanță ridicată) [5,6].

5.4 Clase de expunere și durabilitate

Durabilitatea structurilor de pod este asigurată prin corelarea clasei de expunere cu clasa structurală și acoperirea minimă a armăturii. Pentru clase inferioare (S1–S2), valorile acoperirii sunt reduse (10–25 mm), corespunzătoare mediilor slab agresive (X0, XC1), în timp ce pentru clase superioare (S5–S6), specifice structurilor cu durată mare de viață sau expuse la medii severe (XD3, XS3), acoperirea minimă poate atinge valori de până la 50–55 mm. Alegerea corectă a acestor parametri este esențială pentru limitarea proceselor de coroziune și degradare [5, 6].

5.5 Reguli privind armarea

Aria minimă de armătură în zonele întinse se determină pentru controlul fisurării, utilizând relația: $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} \cdot A_{ct}$, unde $f_{ct,eff}$ este rezistența efectivă la întindere a betonului, iar A_{ct} reprezintă aria zonei întinse de beton. Asigurarea acestei armări este esențială pentru limitarea fisurilor provenite din contracție și variații termice. În cazul grinzilor continue, armătura minimă trebuie prelungită peste reazeme pentru asigurarea ductilității. În ceea ce privește detalierea, diametrul echivalent al grupurilor de bare nu trebuie să depășească 45 mm, pentru a permite o compactare adecvată a betonului. Armătura transversală la stâlpi va avea diametrul minim egal cu maximumul dintre 6 mm și 0,25 din diametrul barelor longitudinale. De asemenea, se respectă distanțele minime de înădădire, în special pentru armături preîntinse, în funcție de condițiile de solicitare și geometria elementului [5, 6].

5.6 Abordarea stărilor limită (SLU și SLS)

Verificările la SLU includ analiza la încovoiere, forță tăietoare, torsiune și oboseală, aceasta din urmă fiind deosebit de importantă în cazul podurilor supuse încărcărilor repetate. Pentru zonele de discontinuitate (ex. reazeme, noduri), se pot utiliza modele de calcul de tip bielă–tirant. În cadrul SLS, se urmărește limitarea deschiderii fisurilor și a deformațiilor, pentru a asigura funcționalitatea și aspectul structurii. Controlul fisurării se realizează prin limitarea eforturilor în armătură și prin asigurarea unei distribuții adecvate a acesteia, iar verificarea săgeților se efectuează pentru a preveni depășirea valorilor admisibile care ar putea afecta exploatarea podului [5, 6].

6. Analiză comparativă: standarde vechi vs. Eurocoduri

Analiza comparativă evidențiază tranziția de la abordarea deterministă specifică standardelor românești vechi la metodologia semi-probabilistică bazată pe stări limită, promovată de SR EN 1992-2, cu implicații majore asupra siguranței, durabilității și comportării în timp a podurilor din beton [2, 5].

6.1 Diferențe privind clasele de beton



În reglementările tradiționale, betonul era definit prin mărci (B150–B600), corespunzătoare unor rezistențe normate stabilite determinist, fără corelare explicită cu condițiile de mediu. Astfel, pentru fundații se utiliza frecvent B150, respectiv B400–B600 pentru elemente precomprimate [3, 4].

În Eurocoduri, betonul este caracterizat prin clase de rezistență (ex. C30/37), definite pe baza rezistenței caracteristice și integrate într-un sistem care corelează proprietățile materialului cu durabilitatea. Alegerea clasei minime este condiționată de clasele de expunere (XC, XD, XS, XF), ceea ce conduce la utilizarea unor betoane superioare (de exemplu C45/55 în medii agresive), asigurând o protecție sporită împotriva degradărilor [5].

6.2 Diferențe privind acoperirea armăturii

Standardele vechi impuneau valori fixe ale stratului de acoperire (10–50 mm) [3], stabilite în funcție de tipul elementului, fără o fundamentare explicită legată de mecanismele de degradare.

Conform SR EN 1992-2, acoperirea nominală (c_{nom}) este determinată prin relația dintre acoperirea minimă necesară (c_{min}) pentru durabilitate și abaterile de execuție (Δc_{dev}), fiind dependentă de clasa de expunere și de durata de viață proiectată. Astfel, pentru medii severe, valorile pot depăși 50 mm, reflectând o abordare mult mai riguroasă în prevenirea coroziunii armăturii [5].

6.3 Diferențe în procente și distribuția armării

În normele vechi, armarea era definită prin procente minime și maxime (de exemplu 0,5% pentru stâlpi și limite de 2–3% în funcție de tipul oțelului), rezultând o abordare simplificată și uniformă [3, 4].

Eurocodurile introduc o determinare analitică a ariei minime de armătură, în funcție de rezistența efectivă la întindere a betonului și de necesitatea controlului fisurării. În plus, sunt impuse reguli detaliate privind dispunerea armăturii, diametrele echivalente și confinarea elementelor comprimate, ceea ce conduce la un comportament structural mai ductil și mai predictibil [5, 6].

6.4 Diferențe în abordarea durabilității

În reglementările tradiționale, durabilitatea era tratată limitat, fără o corelare sistematică între material, mediu și durata de exploatare, ceea ce putea conduce la degradări premature.

În SR EN 1992-2, durabilitatea devine un criteriu fundamental de proiectare, fiind integrată prin intermediul claselor de expunere, al cerințelor privind compoziția betonului și al controlului fisurării. Proiectarea urmărește explicit atingerea unei durate de viață de referință (de regulă 100 de ani pentru poduri), cu un nivel controlat al riscului de deteriorare [5].

6.5 Impactul asupra comportării în timp a structurii

Metoda rezistențelor admisibile, utilizată în standardele vechi, se baza pe coeficienți globali de siguranță și nu diferenția clar între tipurile de stări limită, ceea ce conducea la soluții conservatoare, dar insuficient optimizate [2].

Metoda stărilor limită din Eurocoduri permite evaluarea distinctă a stărilor limită ultime și de exploatare, utilizând coeficienți parțiali și modele de calcul mai realiste. Sunt introduse analize detaliate ale efectelor de lungă durată, precum fluajul și contracția, precum și verificări la oboseală și controlul deschiderii fisurilor. În consecință, structurile proiectate conform Eurocodurilor prezintă un nivel superior de fiabilitate și performanță pe termen lung, concomitent cu o utilizare mai eficientă a materialelor [5, 6].



7. Corelarea degradărilor cu soluțiile de proiectare

Soluțiile pentru evitarea unor astfel de degradări precum cele prezentate la subpunctul anterior ar fi respectarea Eurocodului și normativelor în vigoare, care aduc o serie de schimbări semnificative la modul de evaluare a claselor de expunere, claselor de beton și schemelor de încărcare, precum:

- Grosimea stratului de acoperire: Creșterea grosimii stratului de beton peste armătură conform Eurocod 2 (clase structurale „S”) pentru a întârzia corodarea armăturii [6].
- Calitatea materialelor și a punerii în operă: Utilizarea aditivilor superplastifianți pentru a reduce cantitatea de apă (raport A/C mic) fără pierderea lucrabilității și aditivi antrenori de aer pentru betonul expus la îngheț-dezghet.
- Mentenanța și gestionarea podurilor: Intervenții tehnice la suprastructură: Refacerea hidroizolației, repararea dispozitivelor de rost, asigurarea scurgerii rapide a apei (pante, guri de scurgere etanșe) și protecția anticorozivă.
- Expertize și restricții: Determinarea capacității portante reale prin încercări pe carote și, dacă este necesar, impunerea unor restricții de tonaj sau viteză.
- Urmărirea comportării în timp: Inspecții periodice detaliate și monitorizarea evoluției degradărilor prin montarea de repere.

8. Concluzii

Analiza realizată evidențiază în mod clar faptul că degradările observate la structura studiată sunt direct corelate cu prevederile normativelor de proiectare utilizate la momentul execuției.

Utilizarea în trecut a unor rapoarte apă/ciment ridicate și a unor clase de beton inferioare a condus la obținerea unui beton cu porozitate crescută, ceea ce a favorizat pătrunderea agenților agresivi. Acest aspect explică apariția fenomenelor de carbonatare și coroziune a armăturii identificate în teren. În același timp, lipsa unei clasificări detaliate a mediului de expunere în normativele vechi a determinat neconsiderarea explicită a acțiunii clorurilor și a ciclurilor îngheț-dezghet, ceea ce se reflectă în degradările precum infiltrațiile, exfolierile și degradarea suprafețelor de beton.

De asemenea, prevederile insuficiente privind stratul de acoperire au condus la grosimi reduse și neuniforme ale acestuia, amplificate de deficiențe de execuție (segregări, cuiburi de pietriș). Aceste neconformități au permis expunerea prematură a armăturii și accelerarea proceselor de coroziune, contribuind la scăderea capacității portante a elementelor structurale.

În contrast, normativele actuale introduc o abordare bazată pe stări limită și pe corelarea directă între cerințele de durabilitate și condițiile de mediu. Definirea claselor de expunere (XC, XD, XF), stabilirea unor acoperiri minime adecvate și limitarea deschiderii fisurilor conduc la o protecție mult mai eficientă a armăturii și la o comportare îmbunătățită în timp. În plus, introducerea verificărilor la oboseală permite evaluarea realistă a structurilor supuse traficului intens, aspect absent în normativele vechi.

Rezultatele obținute confirmă faptul că diferențele dintre cele două generații de normative se reflectă direct în starea actuală a structurii analizate. Astfel, degradările identificate nu sunt întâmplătoare, ci reprezintă consecința unor limitări de proiectare specifice perioadei respective. În perspectivă, evaluarea și reabilitarea structurilor existente trebuie să se bazeze pe metode moderne de investigare și modelare, iar utilizarea conceptelor de tip „digital twin” poate contribui la monitorizarea continuă și la identificarea timpurie a degradărilor.



BIBLIOGRAFIE

1. AND 522 – 2006 – Instrucțiuni tehnice pentru stabilirea stării tehnice a unui pod
2. ILIESCU, M., VIOREL, G., Îndrumător pentru proiectarea podurilor, Cluj-Napoca, U.T. Press, 2012.
3. STAS 10107/0-76 – Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat, București, IRS, 1976.
4. DUMITRESCU, D., AGENT, R., NICULA, I., GĂINĂ, N., POPĂESCU, A., WEISSENBERG, M., LISSAI, F., SĂNDULESCU, G., STĂNESCU, A., Îndrumător pentru proiectarea și calculul construcțiilor din beton, beton armat și beton precomprimat, București, Editura Tehnică, 1978.
5. SR EN 1992-2:2006 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 2: Poduri de beton. Proiectare și prevederi constructive, Bruxelles, CEN, 2006.
6. SR EN 1992-1-1:2004 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, Bruxelles, CEN, 2004.



STUDIUL UNEI PARCĂRI ÎN EXPLOATARE DIN MUNICIPIUL CLUJ-NAPOCA

Autor

Andrei-Sebastian POPA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: popa112c@gmail.com

Îndrumători

S.I.dr.ing. Rodica Dorina CADAR², S.I.dr.ing. Rozalia Melania BOITOR³

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

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: melania.boitor@infra.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea de față prezintă un studiu de caz privind Parking Primăverii 20, un parcaj situat în municipiul Cluj-Napoca. Acesta are amenajate 381 de locuri de parcare, care au fost recenzate manual pentru analiza ratei de ocupare. Analiza statistică a ratei de ocupare a fost întocmită cu ajutorul MS Office Excel. Rata medie de ocupare care a fost determinată clasifică parcajul ca fiind de utilitate majoră pentru circulația pasivă din municipiu, acesta prezentând câteva caracteristici deosebite, descrise pe larg în lucrare. Suplimentar, a fost evaluată experiența utilizatorilor cu ajutorul unui chestionar realizat în aplicația GIS Survey123, pentru a identifica satisfacția acestora privind utilizarea parcarii. Datele au fost analizate și prelucrate statistic cu ajutorul aplicației menționate anterior, care implică și transpunerea în mediul ArcGIS Online, pentru prezentarea interactivă a informațiilor. Astfel, 67,65% din corespondenți au declarat că sunt riverani și 32,35% vizitatori. În acest sens, vor fi prezentate câteva grafice reprezentative pentru accesarea și vizualizarea rezultatelor cercetării.*

Cuvinte cheie: Parking, Chestionar, GIS, Rată de Ocupare, Utilizatori, Circulație Pasivă.

• **Circulația pasivă în Municipiul Cluj-Napoca**

Pentru a înțelege mai bine impactul pe care îl are Parking Primăverii 20 asupra mobilității urbane, trebuie să identificăm parcare în contextul întregului oraș. Astfel, în acest prim capitol este reprezentată și studiată izocrona (zone de influență) pentru parcajele din Municipiul Cluj-Napoca. Toate hărțile ce urmează a fi prezentate au fost realizate cu ajutorul aplicației ArcGIS Pro, presupunând o zonă de influență circulară, de rază $R = 400$ m (5 minute de mers pe jos).

Utilizând Google Maps și site-ul oficial al Primăriei Cluj-Napoca [1], au fost identificate pozițiile parcajelor de interes major din municipiu. A fost creat un proiect ArcGIS Pro cu harta orașului, în sistem de coordonate Pulkovo 1942 Adj 1958 Stereo 1970, unde au fost adăugate Layer-e ce cuprind limite administrative pentru Municipiul Cluj-Napoca și vecini [2], infrastructură rutieră [3] și cursuri de ape [4]. Pozițiile parcajelor au fost introduse în proiect folosind un Feature Layer de tip punct, care a fost numit Parcări. Acest element a fost introdus din meniul Catalog, subsecțiunea Databases. Pentru a numi parcarile pe hartă, a fost folosită funcția Label a Layer-ului menționat anterior. Folosind ulterior funcția Pairwise Buffer, au fost generate zone de influență pentru fiecare parcare (vezi Figura 1). Park&Ride Traian Vuia a fost exclus din acest studiu datorită incompatibilității cu studiul zonelor de influență.

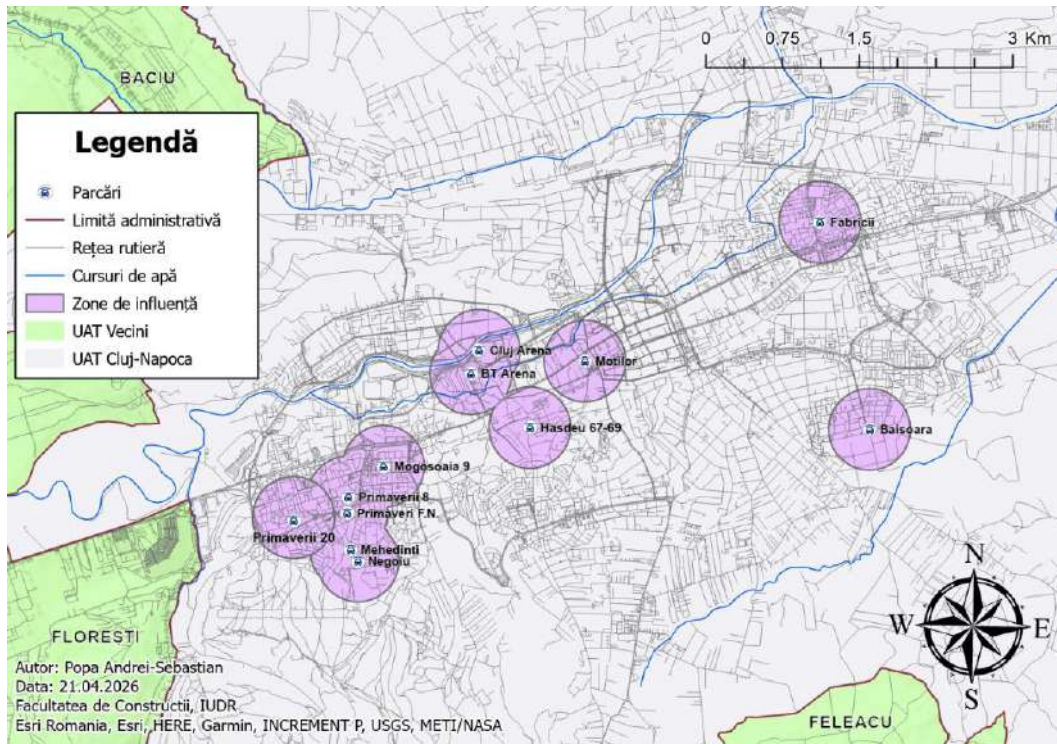


Figura 1. Localizare și zone de influență (400 m).

• Studiu de caz - Parking Primăverii 20

În acest capitol sunt evidențiate diverse specificații legate de Parking Primăverii 20, cu accent pe poziționare, zone de acces, dotări specifice și rată medie de ocupare. În final, va fi prezentat și un chestionar de opinie realizat în Survey 123, din suita ArcGIS Online.

2.1 Generalități

Parking Primăverii 20 este un parcaj într-o construcție, Tip P3 [5], amenajat pe 4 seminivele subterane (-2B, -2A, -1B, -1A) și 13 supraterane (0-6B, 0-5A). Acesta este amplasat în cartierul Mănăstur din Municipiul Cluj-Napoca și a fost dat în folosință în septembrie 2020 [6]. Această parcare este una din cele 11 operate de către Primăria și Consiliul Județean Cluj-Napoca (excluzând Parking Cluj Arena și Parking BT Arena), având 381 de locuri de parcare, dintre care 291 pentru riverani, 15 pentru persoane cu handicap, 41 pentru vizitatori, 32 pentru biciclete și 2 stații de încărcare pentru mașini electrice [1]. Înălțimea liberă (distanța dintre fața superioară a pardoselii și cota inferioară a planșului) în dreptul căilor de acces este de 2,5 m, iar dimensiunile locurilor de parcare sunt de 2,5 x 3,8 m, măsurate în teren, folosind ruleta.

2.2 Amplasare și acces

Parking Primăverii 20 deservește cvartalul delimitat de străzile Primăverii, Răvașului, Grigore Alexandrescu și Bucium, asigurând circulația pasivă în zonă. Circulația vehiculelor în interiorul parcajului este cu sens unic, intrarea realizându-se din Aleea Gârbău (altitudine 385 m), cu ieșire în Strada Primăverii (altitudine 401 m). Acest sistem a fost adoptat din cauza diferențelor semnificative de nivel dintre Aleea Gârbău și Strada Primăverii, lucru ce poate fi observat în

harta de mai jos, realizată în ArcGIS Pro, în sistem de coordonate Pulkovo 1942 Adj 1958 Stereo 1970 (vezi Figura 2). Au fost reprezentate Parking Primăverii 20, folosind un Feature Layer de tip punct, cvartalul menționat anterior, folosind un Feature Layer de tip linie, și declivitățile terenului, cu ajutorul unei baze de date topografice [7].

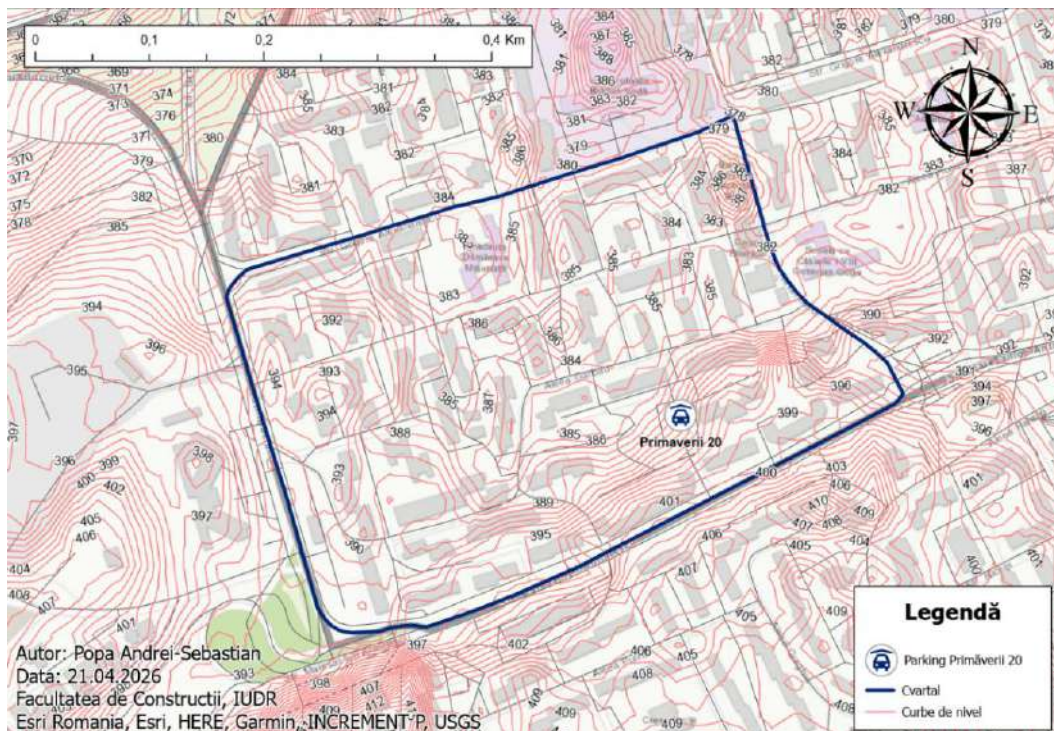


Figura 2. Cvartal și diferențe de nivel.

Pentru a înțelege mai bine impactul pe care această investiție a avut-o asupra zonei, în cele ce urmează vor fi prezentate 2 figuri cu rol comparativ, ce redau aspectul locației din jurul parării, atât înainte de punerea în operă a proiectului, cât și ulterior acesteia. Pozele prezentate au fost procurate folosind Google Maps, fiind analizate sectoarele unde au fost amenajate accesele în Parking Primăverii 20 (vezi Figurile 3 și 4).



Figura 3. Intrare în parcare, din Aleea Gârbău (2011- stânga, 2023 – dreapta).



Figura 4. ieșire din parcare, în Strada Primăverii (2011- stânga, 2023 – dreapta).

2.3 Formă și suprafață

Parcarea studiată are formă trapezoidală, ocupând o suprafață de aproximativ 1650 m². Această arie a fost calculată cu ajutorul schiței de mai jos (vezi Figura 5), realizată în AutoCAD, utilizând măsurători realizate în Google Maps, deoarece parcarea nu este digitizată în planul GIS al localității Cluj-Napoca. Astfel, s-a calculat A_1 , aria dreptunghiului, folosind relația (1) și A_2 , aria triunghiului, folosind relația (2). Acestea au fost ulterior însumate în relația (3) pentru a obține suprafața finală a parcajului, $A_{\text{tot}} = 1650 \text{ m}^2$.

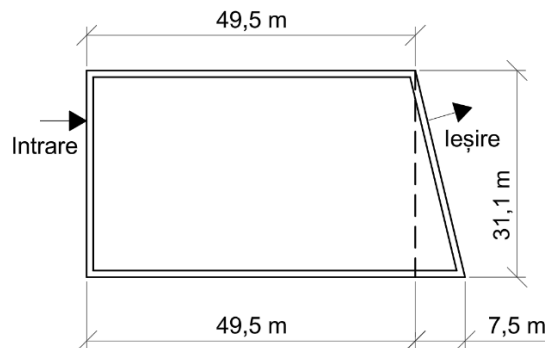


Figura 5. Dimensiuni parcare

$$A_1 = L * l \quad (1)$$

unde L = lungime dreptunghi; l = lățime dreptunghi.

$$A_2 = \frac{b * h}{2} \quad (2)$$

unde b = bază triunghi; h = înălțime triunghi.

$$A_{\text{tot}} = A_1 + A_2 \quad (3)$$

2.4 Zonă de influență

Utilizând zona de influență pentru Parking Primăverii 20, deja determinată în capitolul 1, au fost trecute în revistă obiectivele de interes ce se află în vecinătatea parcajului, de care ar putea

beneficia vizitatorii. Acestea au fost reperate cu ajutorul Google Maps și au fost introduse în baza de date GIS, sub formă de Feature Layer-e de tip punct (vezi Figura 6).

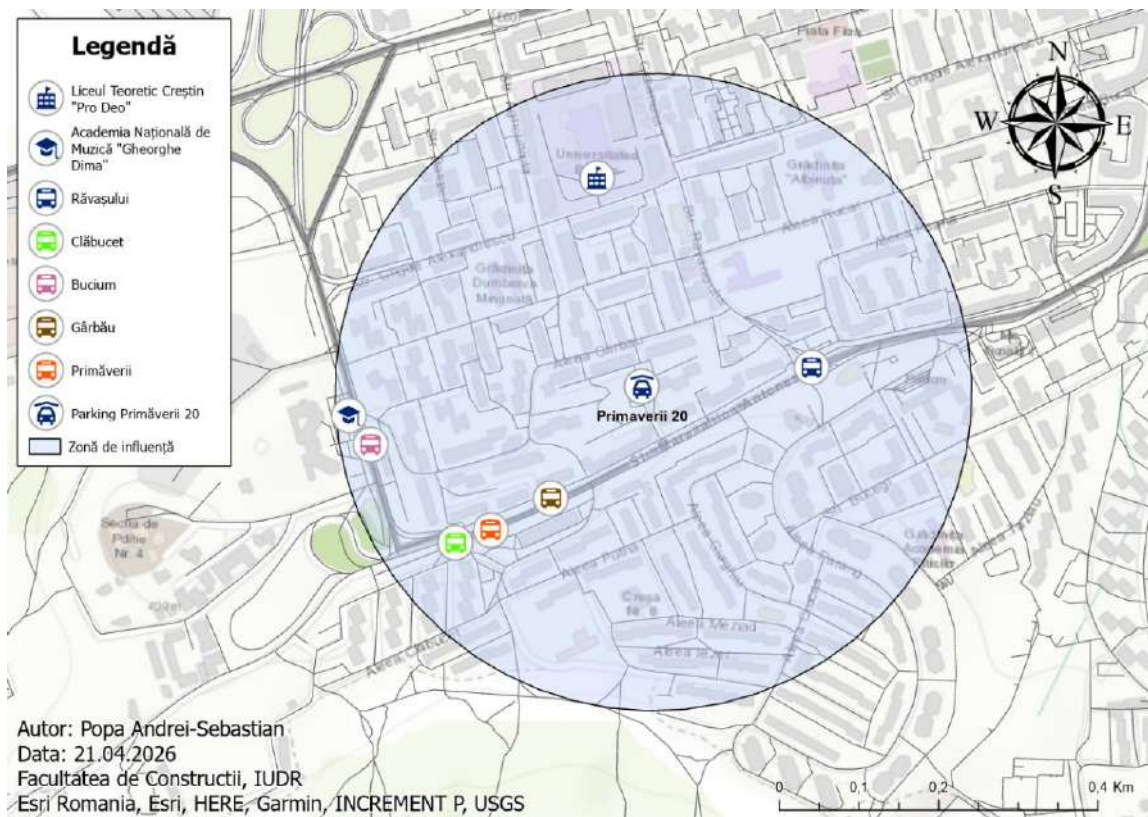


Figura 6. Puncte de interes Parking Primăverii 20.

În harta de mai sus se disting 2 stații de tramvai (Răvașului și Clăbucet), 3 stații de autobuz (Gârbău, Bucium și Primăverii) și 2 instituții de învățământ (Liceul Teoretic Creștin "Pro Deo" și Academia Națională de Muzică "Gheorghe Dima"). Astfel, se remarcă o bună conectivitate cu infrastructura locală de transport din zonă. De asemenea, parcare este de o importanță majoră și în relație cu Academia Națională de Muzică, aflată pe Strada Bucium.

2.5 Dotări specifice

În urma acestui studiu a fost identificată compania fastPark, membră AVITECH Group, aceasta fiind responsabilă pentru executarea sistemului de acces și de taxare pentru Parking Primăverii 20. Conform propriului website, aceasta a livrat și pus în funcțiune 2 terminale de intrare Lane Entry Slim Jupiter, 4 bariere Magnetic Parking Pro, 4 camere Quercus LPR, 1 automat de plată Automatic Pay Station Jupiter, 2 terminale de ieșire Lane Exit Slim Juniper și un sistem electronic de administrare Jupiter Janus System [8]. Pe lângă date despre investiție și proiect, pe website-ul companiei se regăsesc și broșurile produselor menționate anterior.

2.6 Rată medie de ocupare

Pentru a determina impactul investiției Parking Primăverii 20 în ceea ce privește circulația pasivă din municipiu, a fost realizat un calcul pentru determinarea ratei medii de ocupare a



parcajului. Acest studiu a constatat în recenzarea manuală, pe teren, a locurilor de parcare ocupate la diferite intervale orare, în fiecare zi a săptămânii. Au fost realizate 8 măsurători pentru zilele din intervalul luni - joi, respectiv 9 măsurători pentru zilele din intervalul vineri – duminică. Aceste date au fost notate și prelucrate într-un document MS Office Excel pentru determinarea ratei de ocupare (vezi Tabelul 1), atât în cazul locurilor destinate riveranilor cât și în cazul celor destinate vizitatorilor.

Tabelul 1. Calcul rată medie de ocupare.

Ziua	Ora	O _r	O _v	L _r	L _v	R _r (%)	R _v (%)	Rmed _r (%)	Rmed _v (%)
Luni	12.00	112	32	291	41	38,49%	76,19%	49,89%	64,85%
	21.00	179	22			61,51%	52,38%		
Marți	10.00	138	29			47,42%	69,05%		
	18.30	150	24			51,55%	57,14%		
Miercuri	9.30	117	20			40,21%	47,62%		
	18.00	149	25			51,20%	59,52%		
Joi	10.00	132	21			45,36%	50,00%		
	22.00	175	34			60,14%	80,95%		
Vineri	9.30	128	25			43,99%	59,52%		
	20.00	165	32			56,70%	76,19%		
	22.00	172	33			59,11%	78,57%		
Sâmbătă	9.00	131	18			45,02%	42,86%		
	14.00	123	22			42,27%	52,38%		
	21.30	139	35			47,77%	83,33%		
Duminică	10.00	147	29			50,52%	69,05%		
	12.00	140	25			48,11%	59,52%		
	20.30	171	37			58,76%	88,10%		

Rata de ocupare pentru fiecare măsurătoare, atât pentru riverani (4) cât și pentru vizitatori (5), constă în raportul dintre numărul de locuri ocupate și numărul total de locuri.

$$R_r = \frac{O_r}{L_r} \quad (4)$$

unde R_r = rata de ocupare (riverani) la ora măsurătorilor; O_r = numărul de locuri pentru riverani ocupate la ora măsurătorilor; L_r = numărul total de locuri alocate riveranilor.

$$R_v = \frac{O_v}{L_v} \quad (5)$$

unde R_v = rata de ocupare (vizitatori) la ora măsurătorilor; O_v = numărul de locuri pentru vizitatori ocupate la ora măsurătorilor; L_v = numărul total de locuri destinate vizitatorilor.

Ulterior, au fost determinate valorile R_{med_r} (rata medie de ocupare pentru riverani), prin media aritmetică a tuturor valorilor din coloana R_r , respectiv R_{med_v} (rata medie de ocupare pentru vizitatori), prin media aritmetică a tuturor valorilor din coloana R_v . Astfel, în urma calculelor, se observă faptul că parcare vede un uz constant, fiind utilizată intens atât de către riverani ($R_{med_r} = 49,89\%$) cât și de către vizitatori ($R_{med_v} = 64,85\%$).



2.7 Sondaj de opinie

Sondajul de opinie este un obiectiv important pentru estimarea gradului de satisfacție al utilizatorilor Parking Primăverii 20. În acest scop, a fost realizat un scurt chestionar folosind aplicația Survey 123, care a fost distribuit pe grupurile asociațiilor de proprietari din zonă pentru a cumula cât mai multe răspunsuri din partea riveranilor. Pentru a obține răspunsuri și din partea vizitatorilor, au fost efectuate interviuri pe teren, la ieșirea din parcare, lângă automatul de plată. În total, au fost strânse 34 de răspunsuri, 23 din partea riveranilor și 11 din partea vizitatorilor.

2.7.1 Date colectate

Prin întrebarea ‘Care este vârsta dumneavoastră?’ observăm faptul că cei mai mulți repondenți sunt tineri (29,41%), respectiv adulți cu familii (tot 29,41%), o demografică reprezentativă pentru cartierul Mănăștur (vezi Tabelul 2).

Tabelul 2. Categoriile de vârstă.

Grupă de vârstă	Număr răspunsuri	Procentaj
18-24 ani	10	29,41 %
25-34 ani	3	8,82 %
35-44 ani	10	29,41 %
45-54 ani	4	11,76 %
55-64 ani	5	14,71 %
Peste 65 de ani	2	5,88 %

Din răspunsurile la întrebarea ‘De cât timp folosiți Parking-ul Primăverii pentru a vă parca mașina?’ (vezi Figura 7) remarcăm o distribuție echilibrată între utilizatori noi (50% sub 2 ani) și utilizatori vechi (50% peste 2 ani).

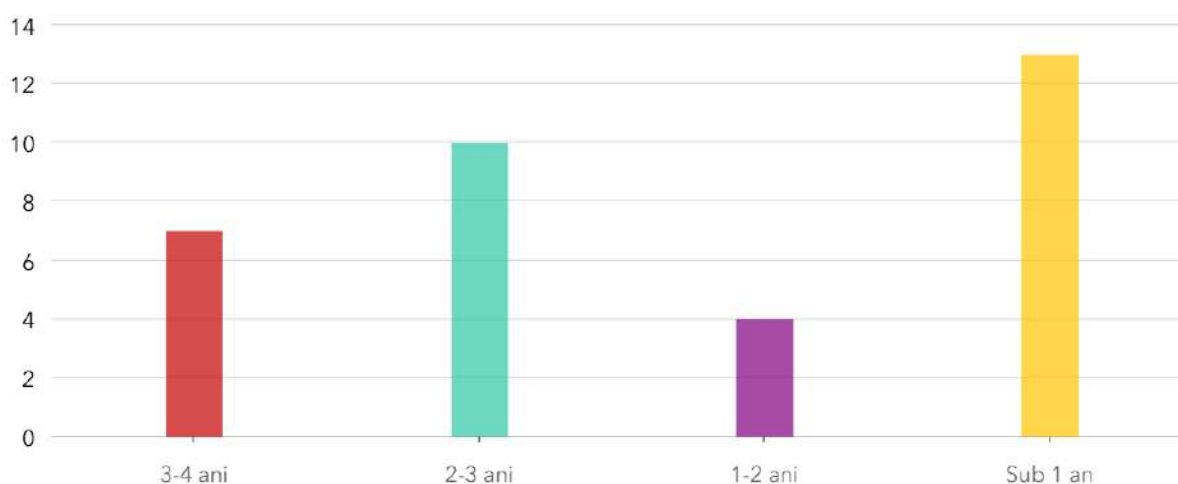


Figura 7. Frecvență utilizare parcare (ani).

Dintre utilizatorii parcarii, remarcăm și faptul că 67,65% sunt riverani și 32,35% vizitatori. Majoritatea de 74% dețin o mașină parcată în incintă, 11% dețin două, iar 15% dețin chiar 3 mașini parcate în incintă.

Detaliat, au fost evaluate de către respondenți și următoarele aspecte: sursele din care au auzit de această parcare, cât de aglomerat, sigur, curat și aerisit este parcajul, opinii despre



prețuri, metode de plată, semnalizare rutieră și calitatea accesului vehiculelor și al pietonilor în incintă. Se remarcă faptul că motivul principal pentru alegerea acestei parări este proximitatea față de locuință / destinație, observându-se în graficul următor că 55,88% dintre utilizatori accesează parcare în maxim 5 minute de mers pe jos (vezi Figura 8)

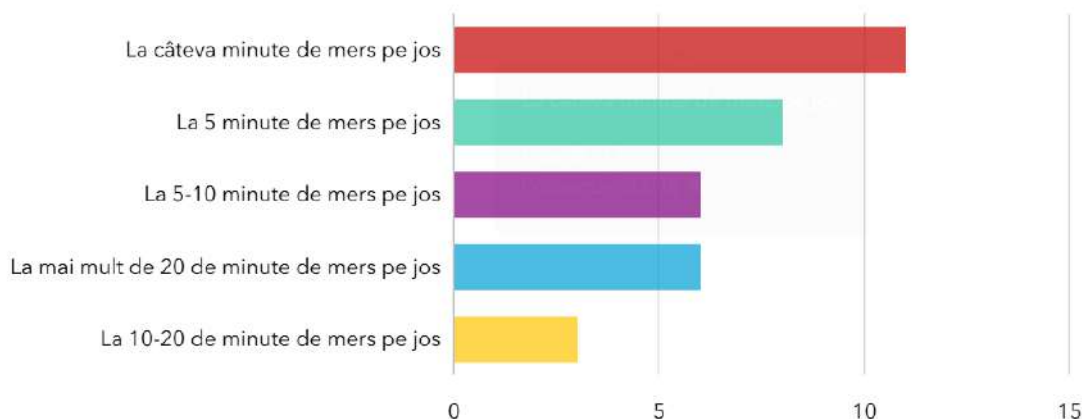


Figura 8. Distanță destinații față de parcare (minute).

2.7.2 Rating oferit de către utilizatori

O notă globală obținută pentru Parking Primăverii 20 din partea utilizatorilor acestuia este 4,1 din 5 stele, ceea ce reprezintă un grad de satisfacție ridicat (vezi Figura 9).

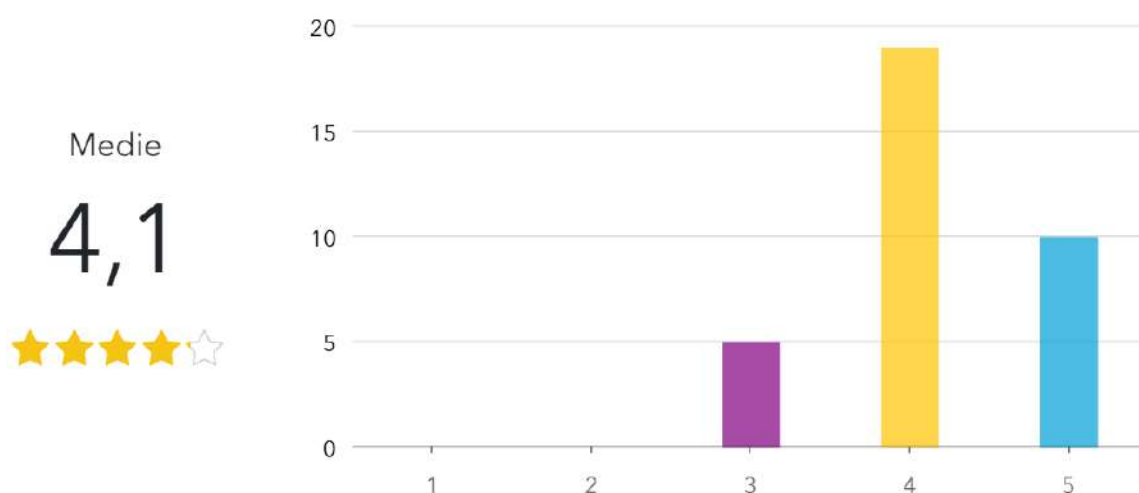


Figura 9. Rating-uri utilizatori.

Printre principalele probleme semnalate de către utilizatori se numără calitatea sistemului de aerisire din parcare, peste 50% dintre aceștia considerând calitatea aerului mediocră sau mai rea (vezi Figura 10). De asemenea, 38% din corespondenți consideră dificil sau foarte dificil accesul pietonilor în parcare (vezi Figura 11).

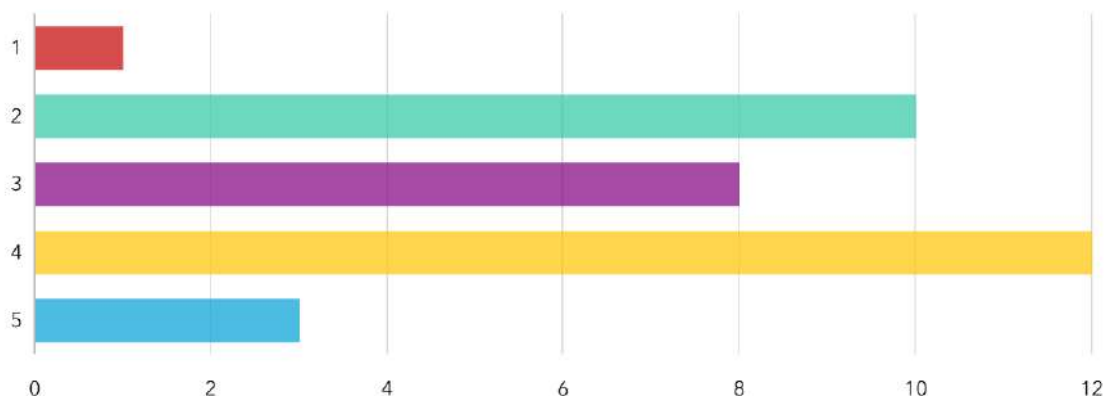


Figura 10. Calitate sistem de aerisire (1 - foarte rău, 5 - foarte bun).

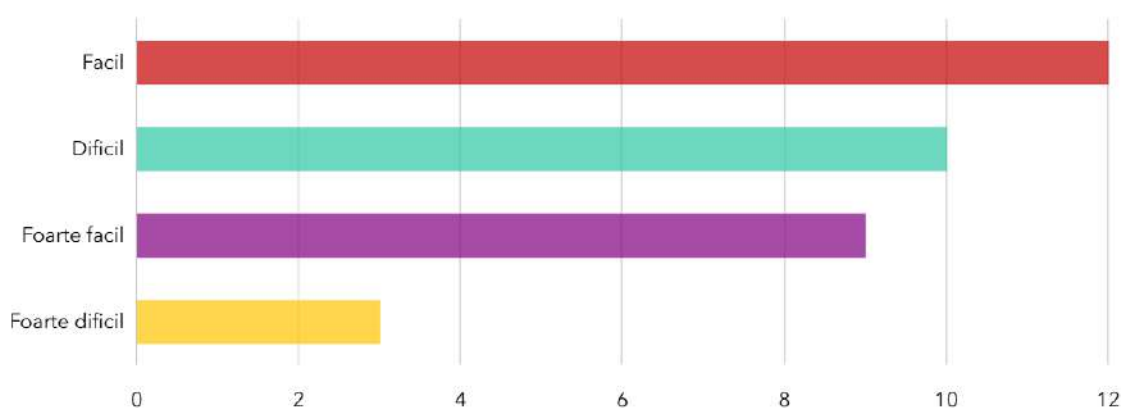


Figura 11. Acces pietonal în parcaj.

• Observații și sugestii

Cu toate că infrastructura existentă de parcuri din Municipiul Cluj-Napoca este relativ bine pusă la punct, există unele aspecte ce ar putea fi modificate pentru a îmbunătăți experiența utilizatorilor. În acest sens, cele 34 de răspunsuri din chestionar au permis prelucrarea statistică a opiniilor oamenilor și evaluarea gradului de satisfacție în ceea ce privește circulația pasivă din municipiu. În cele ce urmează, vor fi dezvoltate câteva propuneri, atât în urma efectuării acestui studiu, cât și din experiența personală a autorului.

În primul rând, parcare Primăverii FN, din cartierul Mănăștur (vezi Figura 1), nu are o denumire oficială, cauzând confuzie în rândul celor mai puțin familiari cu zona. Aceasta ar putea fi numită Parking Minerva.

În al doilea rând, referitor la Parking Primăverii 20, se remarcă faptul că stațiile de încărcare pentru mașini electrice din incintă se află la subnivelul 4B, nu în apropierea zonelor de acces. Mai mult, acestea sunt poziționate într-un colț al parcurii, după un zid, și nu sunt semnalizate corespunzător. Aceste locuri de parcare ar putea fi amplasate la vedere, la intrarea sau ieșirea din parcare, cu indicatoare și marcaje conform standardelor în vigoare.

De asemenea, referitor tot la Parking Primăverii 20, o serie de indicatoare cu direcții spre stațiile de transport din zonă (Primăverii, Clăbucet, Bucium, Gârbău, Răvașului) ar putea ajuta vizitatorii în utilizarea transportului public local (vezi Figura 6). Mai mult, în urma



răspunsurilor din chestionar, putem admite faptul că un număr mare de corespondenți (peste 50%) consideră impropriu sau insuficient sistemul de aerisire al parcajului.

Nu în ultimul rând, accesul spre Parking Primăverii 20, care se realizează virând din Strada Răvașului pe Alea Gârbău, ar trebui semnalizat cu un indicator rutier.

- **Concluzie**

Studiul realizat asupra Parking Primăverii 20 din Municipiul Cluj-Napoca evidențiază importanța investiției în optimizarea circulației pasive din zonă, cu o rată medie de ocupare ridicată (49,89% pentru riverani respectiv 64,85% pentru vizitatori). Analiza datelor, inclusiv chestionarul aplicat utilizatorilor, arată un grad de satisfacție ridicat (4,1 din 5 stele), dar și necesitatea unor îmbunătățiri, cum ar fi sistemul de aerisire și semnalizarea mai clară a stațiilor de încărcare pentru mașini electrice. Cu toate acestea, parcare se dovedește a fi o infrastructură esențială pentru mobilitatea urbană din zonă, cu mult potențial de dezvoltare pe viitor.

BIBLIOGRAFIE

1. <https://primariaclujnapoca.ro/parcari/parkinguri/>
2. <https://geoportal.ancpi.ro/portal/apps/webappviewer/index.html?id=faeba2d173374445b1f13512bd477bb2>
3. <https://www.geofabrik.de/data/>
4. https://data.gov.ro/organization/administratia_nationala_apele_romane
5. Monitorul Oficial al Românie, Partea I, Nr.110 bis/8.II.2023 – Normativ pentru proiectarea parcajelor – Indicativ NP 24-2022
6. <https://primariaclujnapoca.ro/informatii-publice/comunicate/parkingul-primaverii-nr-20-va-fi-dat-in-folosinta-in-luna-septembrie-2020/>
7. OpenTopography. High-Resolution Topography Data and Tools
8. <https://www.fastpark.ro/cluj-napoca-primaverii-20/>



OPTIMIZAREA SOLUȚIEI DE PROIECTARE PENTRU PODUL DE ÎNCRUCIȘARE PE DC44 PESTE AUTOSTRADA TG. MUREȘ - DITRĂU, KM 18+021

Autor:

Andrei-Valentin-Niculiță ZOBRINSCHI

Facultatea de Sisteme Integrate de Armament, Geniu și Mecatronică, Academia Tehnică Militară „Ferdinand I”,

e-mail: andrei.zobrinski07@yahoo.com

Îndrumător

Șef lucr. dr. ing. Corina CHIOTAN

³Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, Universitatea Tehnică de Construcții București,

e-mail: corina.chiotan@utcb.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă proiectarea și analiza structurală a unui pod de încrucișare peste autostradă, realizat în soluție de grindă continuă cu trei deschideri, utilizând grinzi prefabricate din beton precomprimat, dispuse juxtapus, de tip T. Schema statică continuă asigură o distribuție eficientă a eforturilor interne și un comportament structural optim sub acțiunea încărcărilor din trafic. Secțiunea transversală este compusă din zece grinzi longitudinale, dimensionate pentru asigurarea gabaritului de circulație și a spațiului liber pe sub pod. Procesul de proiectare a inclus etapele de predimensionare, determinarea eforturilor interne și dimensionarea elementelor principale de rezistență cu verificările aferente. Analiza structurală a fost realizată pentru cazurile de încărcare relevante, cu accent pe comportarea elementelor din beton precomprimat. De asemenea, analiza a integrat etapele de execuție, punându-se accent pe găsirea unei tehnologii care să permită folosirea cât mai eficientă a elementelor prefabricate în realizarea grinzilor continue. Verificările au fost efectuate la stările limită ultime și de serviciu, în conformitate cu cerințele normelor de proiectare în vigoare. Metodele de calcul adoptate au permis evaluarea răspunsului structural și optimizarea soluției finale. Soluția adoptată asigură performanță structurală adecvată, respectând cerințele de siguranță și exploatare, demonstrând eficiența pentru poduri de deschideri medii realizate din elemente prefabricate din beton precomprimat.*

Cuvinte cheie: beton precomprimat, grindă continuă, grinzi prefabricate, analiză structurală, stări limită.

• Introducere

Podurile reprezintă lucrări de artă aferente căilor de comunicație terestră, destinate să asigure susținerea acestora în traversarea unui obstacol natural sau artificial (cursuri de apă, văi, alte căi de comunicație sau alte amenajări), lăsând un spațiu liber suficient pentru asigurarea continuității obstacolului traversat [1].

În funcție de schema statică utilizată, podurile pe grinzi se clasifică în 4 categorii importante:

- Poduri pe grinzi simplu rezemate
- Poduri pe grinzi simplu rezemate cu console
- Poduri pe grinzi cu console și articulații
- Poduri pe grinzi continue

Pe baza alegerii unei scheme statice, corelată cu alegerea unei configurații pentru suprastructura podului, soluțiile rezultate vor fi diferite din punct de vedere al performanței structurale și economice a podului, așa cum se va observa și în această lucrare [1].

În acest context, se urmărește realizarea unei analize comparative, în vederea evaluării eficienței soluției alese din punct de vedere tehnico-economic, încercându-se optimizarea ei.

1.1 Podurile din beton armat

Podurile din beton armat reprezintă una dintre cele mai utilizate soluții constructive în cadrul rețelei rutiere din România, datorită durabilității, versatilității și costurilor relativ reduse de execuție și întreținere [1]. Acest tip de structură permite realizarea unei game variate de scheme statice, asigurându-se astfel o comportare favorabilă la acțiuni permanente și variabile, în special la încărcările din trafic. Capacitatea betonului armat de a prelua atât eforturi de compresiune prin beton [1], cât și de întindere prin barele de armătură, contribuie la optimizarea elementelor structurale și la adoptarea unor soluții eficiente din punct de vedere tehnic și economic. În prezent, 85% din podurile de mică și medie deschidere sunt realizate din beton armat sau beton precomprimat, acestea reprezentând soluția uzuală în infrastructura rutieră.

În acest context, în continuare se va prezenta analiza și optimizarea soluției unui pod de încrucișare de pe drumul comunal DC44, peste autostrada Tg. Mureș – Ditrău. Km 18 + 021.

• Prezentarea generală a podului analizat

2.1 Obiectiv analizat

Se realizează studiul unui pod rutier de încrucișare care susține un drum comunal cu două benzi de circulație, supra-traversând o autostradă și asigurând spațiul liber necesar acesteia, podul fiind în aliniament și având câte o bandă de circulație pe sens.

Suprastructura podului are următoarea alcătuire [2]:

- Schemă statică - grindă simplu rezemată cu 3 deschideri (vezi Figura 1);

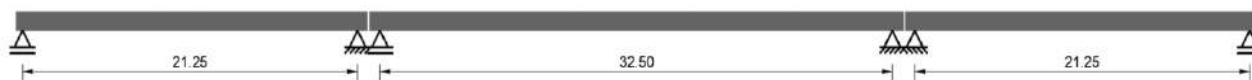


Figura 1. Schema statică existentă a podului – grinzi simplu rezemate

- În secțiune transversală: 10 grinzi prefabricate tip T din beton precomprimat cu armătură preîntinsă, solidarizate între ele printr-o placă de monolitizare din beton armat. Grinzile sunt dispuse la echidistanța $\lambda = 1.22 \text{ m}$, având un rost de montaj între ele de 2 cm (vezi Figura 2);

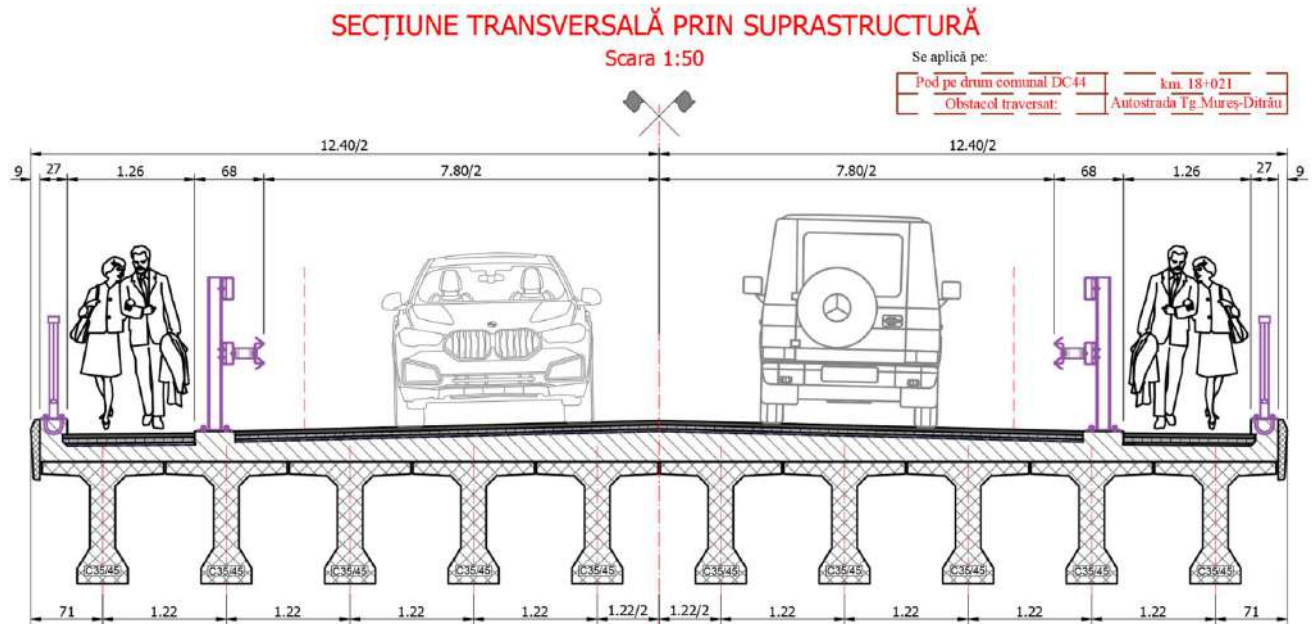


Figura 2. Secțiune transversală prin suprastructură

- Longitudinal: podul este alcătuit dintr-o suprastructură pe 3 deschideri, cu lungimile de $L_m = 22.00 \text{ m}$, respectiv $L_c = 34.00 \text{ m}$, rezultând o lungime totală a podului de 85.40 m. Suprastructura reazemă pe două pile și la capete pe culee înecate. Infrastructurile sunt fundate indirect, pe piloți forati de diametru mare ($\varnothing = 1.20 \text{ m}$). (vezi Figura 3).

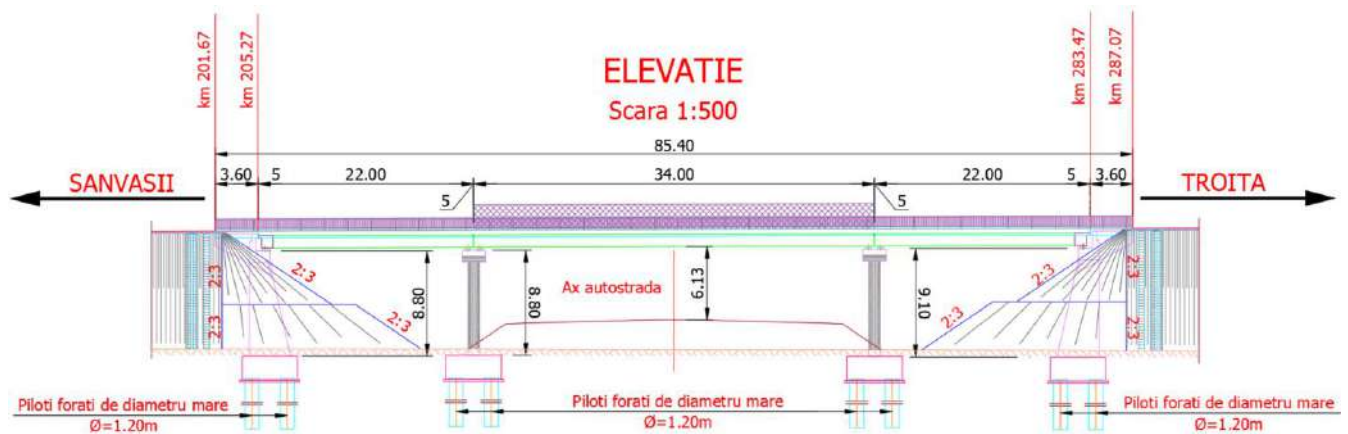


Figura 3. Elevație pod

2.2 Amplasamentul podului

Amplasamentul podului se află în proximitatea localităților Sânvășii și Troița, zonă ce se încadrează din punct de vedere geografic într-un relief colinar jos spre mediu, cu alternanță între versanți domoli și zone de luncă, specific dealurilor subcarpatice. Altitudinea la care se regăsește amplasamentul podului este de 350-450mdNM, așa cum se poate observa și în imaginea de mai jos, unde se observă clar și drumul comunal care leagă cele două localități.



Figura 4. Ridicare topografică prelucrată în InfraWorks

3. Analiza eforturilor secționale în cazul schemei statice – grindă simplu rezemată

3.1 Determinarea eforturilor secționale provenite din acțiuni permanente.

Calculul momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare s-a realizat pe etape de execuție, considerându-se: montarea grinzii prefabricate pe aparatele de reazem, turnarea plăcii de monolitizare și realizarea căii pe pod.

Încărcările permanente sunt:

$$g_{g.pref.k} = A_{g.pref} \cdot \gamma_{b.a} = 0.498 \text{ m}^2 \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 12.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (1)$$

unde: $A_{g.pref}$ = aria grinzii prefabricate (Figura 5),

$\gamma_{b.a}$ = greutate volumică beton armat

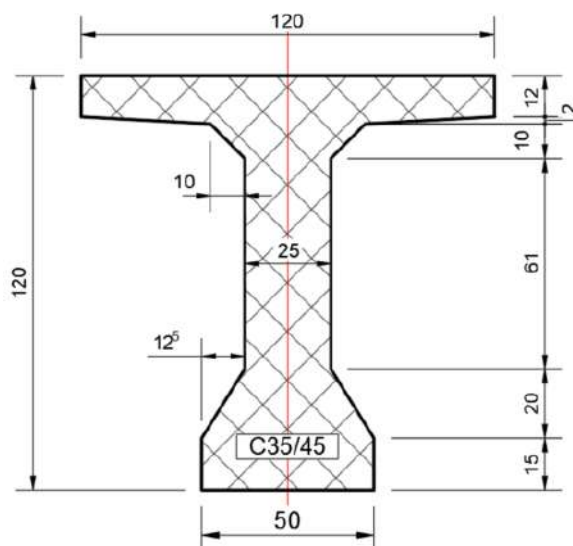


Figura 5. Secțiunea grinzii prefabricate

$$g_{pm.k} = A_{pm.i} \cdot \gamma_{b.a} \quad (2)$$

unde $A_{pm.i}$ = aria plăcii monolite aferente grinzii i, rezultând astfel greutatea:



$$g_{pm1.k} = 7.55 \frac{kN}{m}, g_{pm2.k} = 6.80 \frac{kN}{m}, g_{pm3.k} = 6.70 \frac{kN}{m}, g_{pm4.k} = 7.63 \frac{kN}{m}, g_{pm5.k} = 8.56 \frac{kN}{m}$$

$$g_{cale.k} = \frac{A_{cale} \cdot \gamma_{med.cale} \cdot g_{p.pietonal} \cdot g_{p.directional}}{nr_{grinzi}} = 3.18 \frac{kN}{m} \quad (3)$$

unde A_{cale} = aria straturilor rutiere, $\gamma_{med.cale}$ = greutatea medie a straturilor rutiere, $g_{p.pietonal}$ = greutatea pe ml. a parapetului pietonal, $g_{p.directional}$ = greutatea pe ml. a parapetului direcțional.

Parapetele luate în calcul sunt H4bW4, marca MBS de la Proinvest Infrastructură, respectiv parapete pietonal din țevă rectangulară de aceeași marcă, greutatea lor fiind specificate și luate în calcul conform catalogului tehnic.

Cu programul de calcul Ftool, s-au calculat valorile momentelor încovoietoare atât pentru grinzi din deschiderea marginală cât și pentru cele din deschiderea centrală.

3.2 Determinarea eforturilor secționale provenite din acțiuni variabile - trafic

3.2.1. Determinarea înfășurătorilor de momente încovoietoare și forte tăietoare din sistemele TS și UDL (longitudinal podului)

Valorile acestora au fost determinate încărcând structurile modelate în Ftool cu forțe convenționale, respectiv două forțe concentrate convenționale de 100 kN la distanță de 1.20 m pentru Sistemul Tandem și o forță uniform distribuită convențională de 1 kN/m pentru UDL. Calculul longitudinal a fost completat prin determinarea coeficienților de repartitie transversală pentru acțiuni din trafic.

3.2.2. Repartiția transversală după metoda antretoazei elastice (Fritz Leonhardt) [2]

Aceasta se realizează prin determinarea unor coeficienți de repartitie transversală pentru încărcările variabile, în funcție de rigiditatea și geometria sistemului structural. Astfel tablierul podului se consideră un sistem de grinzi longitudinale, legate printr-o antretoază transversală elastică, care permite redistribuirea sarcinilor între grinzi. În acest caz placa monolită lucrează ca o antretoază fictivă. În această metodă se calculează coeficientul de rigiditate al rețelei de grinzi pentru fiecare deschidere, obținându-se $Z_m = 48.54$, respectiv $Z_c = 276.91$.

$$Z = \frac{I_a}{I_{gc}} \cdot \left(\frac{L}{2\lambda} \right)^3 \quad (4)$$

unde I_a = momentul de inerție al antretoazei, I_{gc} = momentul de inerție al grinzii curente, L = deschiderea marginală/centrală, λ = echidistanța dintre grinzi [2].

S-au determinat ordonatele liniilor de influență transversală $\eta_{i,j}$ care exprimă efortul preluat de grinda i , atunci când o forță solicită grinda j . [2]

În urma aplicării sarcinilor din TS și UDL aferente fiecărei benzi teoretice de circulație și greutății oamenilor pe trotuare, s-au determinat coeficienții repartitiei transversale, respectiv



$C_{RT.TS}$, $C_{RT.UDL}$ și $C_{RT.OT}$ pentru fiecare grindă în parte, rezultatele fiind cele prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Coeficienții repartizării transversale – grindă simplu rezemată.

GRINDA AFERENTĂ	COEFICIENTII REPARTITIEI TRANSVERSALE					
	DESCHIDERE MARGINALA			DESCHIDERE CENTRALA		
	$C_{RT.TS.M}$	$C_{RT.UDL.M}$	$C_{RT.OT.M}$	$C_{RT.TS.C}$	$C_{RT.UDL.C}$	$C_{RT.OT.C}$
GRINDA 1	0.302	3.080	1.954	0.580	4.860	1.538
GRINDA 2	0.560	4.720	1.263	0.636	5.110	1.156
GRINDA 3	0.753	6.100	0.672	0.682	5.370	0.875
GRINDA 4	0.870	6.660	0.265	0.697	5.380	0.506
GRINDA 5	0.896	7.000	0.050	0.667	5.200	0.366

3.2.3. Determinarea înfășurătorilor finale pentru Gr1a.

Determinarea înfășurătorilor finale de momente încovoietoare și forțe tăietoare s-a făcut centralizat în tabele, combinându-se acțiunile permanente cu cele din trafic, considerând coeficienții parțiali de siguranță (vezi Tabelul 2). Astfel de tabele au fost realizate atât pentru deschiderea marginală cât și pentru deschiderea centrală, pentru fiecare grindă în parte rezultând 20 de tabele. Secțiunea cea mai solicitată a rezultat ca fiind mijlocul deschiderii centrale, pentru grinda 5 [3].

Tabelul 2. Înfășurătoarea de momente încovoietoare de proiectare M_{Ed} , pentru Grinda 5, deschiderea centrală. [4]

INFASURATOAREA MOMENTELOR INCOVOIETOARE MAX/MIN DE PROIECTARE - D.CENTRALĂ, in kNm												
Actiuni	ACTIUNI PERMANENTE					GRUPA DE INCARCARI DIN TRAFIC: 1a					M_{Ed}	
Sect.	$M_{Eg.pref,k}$	$M_{Epm,k}$	$M_{Ecalc,k}$	$M_{Eperm,k}$	$M_{Eperm,d}$	$M_{ETS,k}$	$M_{EUDL,k}$	$M_{EOT,k}$	$M_{Egr.1a,k}$	$M_{Egr.1a,d}$	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
1	591.76	406.68	151.15	1149.59	1551.95	382.19	247.16	17.40	646.75	873.11	1551.95	2425.06
2	1052.03	723.32	268.71	2044.06	2759.47	677.67	439.40	30.93	1148.00	1549.80	2759.47	4309.27
3	1380.78	949.58	352.68	2683.05	3622.11	886.44	576.71	40.59	1503.75	2030.06	3622.11	5652.17
4	1578.04	1084.98	403.07	3066.08	4139.21	1008.50	659.10	46.39	1714.00	2313.89	4139.21	6453.11
5	1643.79	1130.18	419.86	3193.83	4311.67	1044.42	686.56	48.32	1779.30	2402.06	4311.67	6713.72
					1.350					1.350		

Din tabelul de mai sus se observă că:

$$M_{Ed,max} = 6713.72 \text{ kNm}$$

În continuare s-a realizat dimensionarea grinzii, calculând necesarul de armătură. S-au utilizat toroane TBP 15.7 mm, din oțel Y1860S7, conf. EN 10138-3:2005, rezultând un necesar total de 33 toroane TBP 15.7 mm / grindă. Se observă că numărul de toroane rezultat este relativ ridicat, ceea ce indică o soluție mai puțin eficientă din punct de vedere economic, motiv pentru care în continuare se va încerca optimizarea soluției prin abordarea unei alte scheme statice, respectiv a unei noi tehnologii de execuție. [5]

4. Optimizarea soluției

4.1 Schema statică

Analiza inițială a structurii în ipoteza unei scheme statice de grinzi simplu rezemate pe fiecare deschidere a evidențiat valori ridicate ale momentelor încovoietoare pozitive în câmpul deschiderilor, conducând la un necesar semnificativ de armătură. În vederea optimizării comportării structurale, s-a adoptat schema de grindă continuă pe 3 deschideri, care permite redistribuirea eforturilor între deschideri și reazeme, așa cum se poate observa în Figura 6.

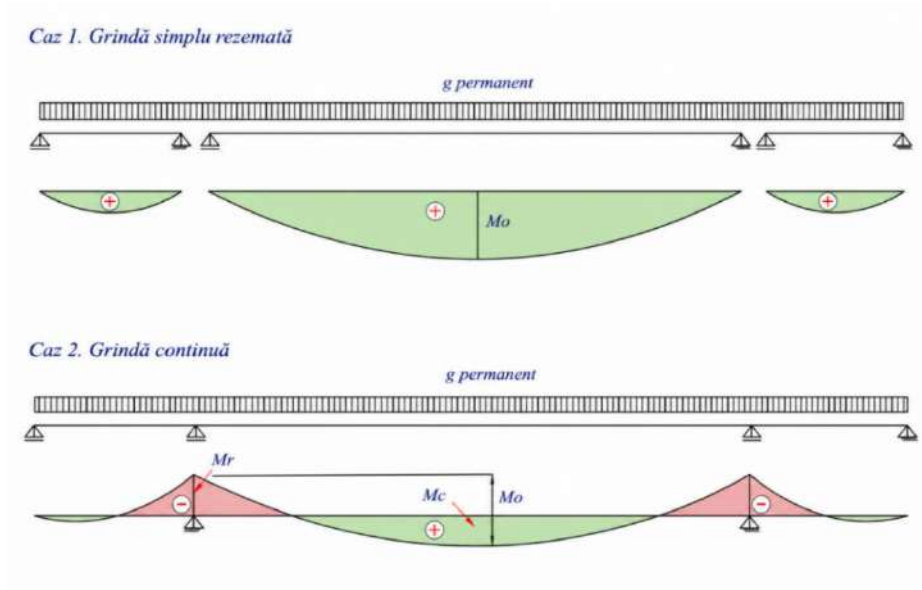


Figura 6. Comparație între grinzi simplu rezemate și grinda continuă

Se observă astfel că prin modificarea schemei statice se vor obține momente mai mici în câmpul deschiderilor, în special în secțiunea periculoasă, o parte din aceste momente fiind parțial transferate în zonele de rezemare sub formă de momente negative. Prin adoptarea acestei scheme statice, pe pile nu mai sunt necesare nici dispozitive de acoperire a rosturilor de dilatație.

4.2 Tehnologia de execuție

4.2.1. Prezentarea generală a tehnologiei de execuție

Se propune ca suprastructura podului să fie realizată din elemente prefabricate precomprimate [5], care inițial se montează pe reazeme definitive pe culee și provizorii pe pile. Acestea se vor monolitiza prin turnarea plăcii de suprabetonare și a unor antretoaze masive pe pile cu grosimea de 1.50m. Grinzile prefabricate vor fi înglobate în antretoaze pe o lungime de 25 cm. Schema statică finală va fi de grindă continuă pe 3 deschideri (22.00 m + 34.00 m + 22.00 m).

Pentru a optimiza și mai mult soluția nou adoptată, am ales o tehnologie de execuție în care turnarea plăcii monolite se va realiza în două etape. Astfel, după prima etapă de turnare, realizată pe 20% din deschiderea grinzii, în zonele de reazem vom obține o rigiditate suplimentară din conlucrarea grindă-placă, capabilă să atragă și să preia o parte semnificativă

din eforturi în aceste zone. În cea de-a doua etapă de turnare, va avea loc redistribuția eforturilor interne în grinzi, în final după monolitizarea totală obținându-se un comportament structural favorabil, cu o reducere semnificativă a momentelor încovoietoare pozitive.

4.2.2. Determinarea eforturilor secționale provenite din acțiuni permanente [4]

În baza acestei tehnologii de execuție, calculul eforturilor provenite din acțiuni permanente a fost făcut pe etapele de realizare a suprastructurii astfel:

- i. Montarea grinzilor prefabricate pe aparatele de reazem provizorii.

În această etapă, eforturile secționale se calculează pe grinzi simplu rezemate, folosindu-se greutatea definită mai sus și anume $g_{g.pref.k} = 12.45 \frac{kN}{m}$.

- ii. Cofrarea, montarea armăturii și turnarea betonului pentru realizarea plăcii monolite și a antretoazelor de pe pile în prima etapă de turnare a plăcii monolite.

În această etapă, greutatea provenită din turnarea plăcii monolite este aceeași ca în cazul grinzii simplu rezemate discutat mai sus, respectiv: $g_{pm1.k} = 7.55 \frac{kN}{m}$, $g_{pm2.k} = 6.80 \frac{kN}{m}$, $g_{pm3.k} = 6.70 \frac{kN}{m}$, $g_{pm4.k} = 7.63 \frac{kN}{m}$, $g_{pm5.k} = 8.56 \frac{kN}{m}$. Turnarea plăcii monolite se realizează doar pe $0.2 \cdot L$, unde L = lungimea deschiderii, respectiv turnare pe 3.90 m în deschiderea marginală și pe 6.30 m în deschiderea centrală (vezi Figura 7). Greutatea antretoazelor va fi estimată folosindu-ne de două suprafețe active în secțiune, deoarece aceasta se toarnă 1.00 m între grinzi, respectiv 25 cm grindă înglobată în antretoază, și va acționa pe capetele grinzilor. Aceste încărcări vor acționa tot pe grinzile simplu rezemate [6].

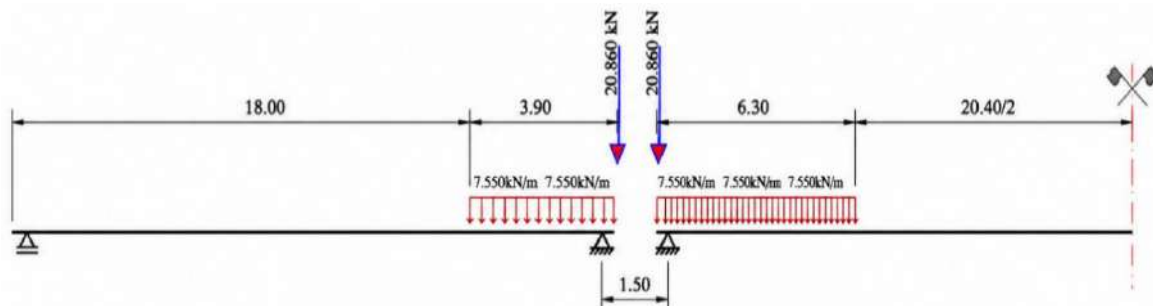


Figura 7. Reprezentare schematică a turnării plăcii monolite în etapa 1 pentru Grinda 1

- iii. Scoaterea reazemelor provizorii de pe pile și introducerea reazemelor definitive pe pile.

În această etapă, are loc transferul reacțiunilor din reazemele provizorii în acțiuni asupra grinzii continue, generând astfel noi eforturi interne. Este prima etapă în care grinda conlucrează cu placa turnată parțial, comportându-se ca o grindă continuă unde vom analiza $M_{Egrd.c,k}$ și $V_{Egrd.c,k}$.

- iv. Cofrarea, montarea armăturii și turnarea betonului pentru realizarea plăcii monolite în a doua etapă de turnare a plăcii monolite.

Se folosesc aceleași încărcări definite la 4.2.2.(ii), însă turnarea se va realiza în restul podului.

- v. Realizarea căii pe partea carosabilă, trotuare și sisteme de siguranță rutieră



Greutatea totală a căii pe pod se determină conf. relației 3.1.(3), respectiv $g_{cale.k} = 3.18 \frac{kN}{m}$. Greutatea caracteristică a căii este aceeași însă va acționa pe grinda continuă.

4.2.3. Determinarea eforturilor secționale provenite din acțiuni variabile – trafic.

Calculul eforturilor secționale provenite din acțiunile din trafic se realizează conform algoritmului detaliat la subpunctul 3.2.

Diferența este dată de faptul că în acest caz (grindă continuă), coeficienții de rigiditate ai rețelelor de grinzi pentru deschiderea marginală Z_m , respectiv centrală Z_c , sunt corecți cu câte un coeficient $k_1 = 1.322$, respectiv $k_2 = 2.100$, care țin seama de raportul [5]:

$$n = \frac{L_c}{L_m} = 1.55 \quad (5)$$

unde L_m , L_c sunt descrise la punctul 2.1.

Valorile înfășurătorilor de proiectare se regăsesc în Tabelul 3.

Tabelul 3. Înfășurătoarea de momente încovoietoare de proiectare M_{Ed} , pentru Grinda 5.

INFASURATOAREA MOMENTELOR ÎNCOVOIETOARE MAXIME/MINIME DE PROIECTARE, $M_{Ed,max/min}$, în kNm																	
Secț.	ACȚIUNI PERMANENTE							GRUPA DE ÎNCARCĂRI DIN TRAFIC: 1a									
	$M_{Egr,k}$	$M_{Epar,k}$	$M_{Egr,d,k}$	$M_{Epar,d,k}$	$M_{Egr,d,k}$	$M_{Epar,d,k}$	$M_{Egr,d,k}$	METS,k		MEUDL,k		MEOT,k		MEgr.1a,k		MEgr.1a,d	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
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	0.00
0	-1.00	0.00	0.00	-0.69	-0.25	-1.94	-2.61	-38.36	0.00	-0.62	0.00	0.00	0.00	-38.99	0.00	-52.63	0.00
1	259.96	5.14	-4.31	118.33	41.84	420.95	568.28	-61.61	356.85	-52.97	155.43	-0.22	0.66	-114.80	512.93	-154.98	692.46
2	460.65	10.27	-8.63	195.92	68.53	726.75	981.11	-123.22	612.86	-105.30	273.16	-0.45	1.16	-228.97	887.17	-309.11	1197.68
3	601.09	15.40	-12.94	232.08	79.84	915.47	1235.88	-184.83	771.76	-157.64	353.19	-0.67	1.50	-343.14	1126.45	-463.25	1520.70
4	681.27	20.54	-17.25	226.80	75.76	987.11	1332.60	-246.44	839.47	-209.98	395.54	-0.89	1.68	-457.31	1236.68	-617.37	1669.52
5	701.19	25.67	-21.57	180.10	56.28	941.68	1271.26	-308.05	830.27	-262.32	400.19	-1.11	1.70	-571.49	1232.15	-771.51	1663.41
6	660.85	30.81	-25.88	91.97	21.42	779.16	1051.87	-369.66	756.55	-314.66	367.14	-1.33	1.56	-685.66	1125.25	-925.64	1519.09
7	560.25	35.94	-30.20	-37.60	-28.84	499.56	674.41	-431.27	617.20	-367.00	296.40	-1.56	1.26	-799.83	914.85	-1079.77	1235.05
8	399.40	41.08	-34.51	-208.59	-94.49	102.89	138.90	-492.89	426.00	-419.34	187.96	-1.78	0.80	-914.00	614.76	-1233.90	829.92
9	178.29	25.50	-38.82	-400.30	-175.53	-410.87	-554.67	-554.50	198.95	-515.15	85.29	-2.18	0.36	-1071.83	284.59	-1446.97	384.20
9'	-0.39	-7.42	-41.67	-526.66	-237.36	-813.49	-1098.21	-595.10	102.69	-644.20	62.93	-2.73	0.27	-1242.03	165.89	-1676.75	223.95
9"	0.00	0.00	-90.92	-548.44	-248.69	-888.05	-1198.87	-602.11	103.90	-670.94	61.93	-2.84	0.26	-1275.89	166.09	-1722.46	224.22
10	0.00	0.00	-189.42	-592.01	-271.96	-1053.39	-1422.08	-616.11	106.31	-728.02	62.02	-18.88	1.61	-1363.01	169.94	-1840.07	229.42
10'	0.00	0.00	-45.43	-548.36	-245.33	-839.12	-1132.81	-441.26	79.24	-505.46	45.12	-17.11	1.53	-963.83	125.89	-1301.17	169.96
10"	-0.39	-7.42	26.56	-526.53	-232.31	-740.09	-999.12	-417.40	76.57	-480.32	44.39	-16.26	1.50	-913.97	122.46	-1233.86	165.33
11	492.02	99.76	26.56	-295.15	-106.54	216.66	292.48	-242.31	199.09	-260.19	60.29	-8.81	2.04	-511.30	261.42	-690.26	352.92
12	995.75	149.24	26.56	1.71	22.13	1195.38	1613.77	-205.98	438.93	-120.82	162.39	-4.09	5.50	-330.90	606.81	-446.71	819.20
13	1355.56	149.24	26.56	249.09	114.03	1894.47	2557.54	-169.66	634.25	-108.80	322.84	-3.68	10.93	-282.15	968.01	-380.90	1306.82
14	1571.44	149.24	26.56	397.52	169.17	2313.93	3123.80	-133.34	759.34	-108.80	426.32	-3.68	14.43	-245.83	1200.09	-331.87	1620.13
15	1643.40	149.24	26.56	447.00	187.55	2453.75	3312.56	-97.02	799.37	-108.80	460.82	-3.68	15.60	-209.51	1275.78	-282.83	1722.31
								1.35						1.35	1.35		

Din tabelul de mai sus se observă că:

$$M_{Ed,max} = 5034.86 \text{ kNm}$$

Comparând rezultatul obținut pentru momentul din secțiunea periculoasă în cazul soluției optimizate, se observă o diminuare cu 25% a momentului încovoietor, după dimensionare rezultând un necesar de doar 24 toroane TBP 15.7 mm /grindă.

În continuarea lucrării s-a realizat întreg procesul de proiectare al podului în scenariul 2. Pentru proiectarea acestuia s-au parcurs următoarele etape: verificarea grinzii la SLU – moment încovoietor; verificarea grinzii la SLS de fisurare beton precomprimat, fisuri normale, longitudinale și înclinate; întreruperea aderenței toroanelor; dimensionarea, alcătuirea și verificarea grinzilor la SLU – forță tăietoare; calculul și armarea zonelor de capăt și a zonelor în care intră în lucru armăturile pretensionate; verificarea SLU la lunecare; calculul și determinarea armăturii pentru moment negativ; întreruperea aderenței pentru moment negativ, verificare la fisurare pentru beton armat [4]. Planșele care au fost realizate în urma procesului de proiectare sunt: Plan de situație, Dispoziția generală, Secțiune transversală, Plan cofraj și dispunere toroane grindă prefabricată din beton precomprimat, Plan armare grindă prefabricată din beton precomprimat, Plan armare placă monolitizare, Plan cofraj culee și Plan cofraj pilă.

5. Concluzii:

Conform celor prezentate mai sus se poate evidenția o scădere semnificativă a momentelor pozitive cu valoare de calcul (vezi graficul 1 din Figura 8).

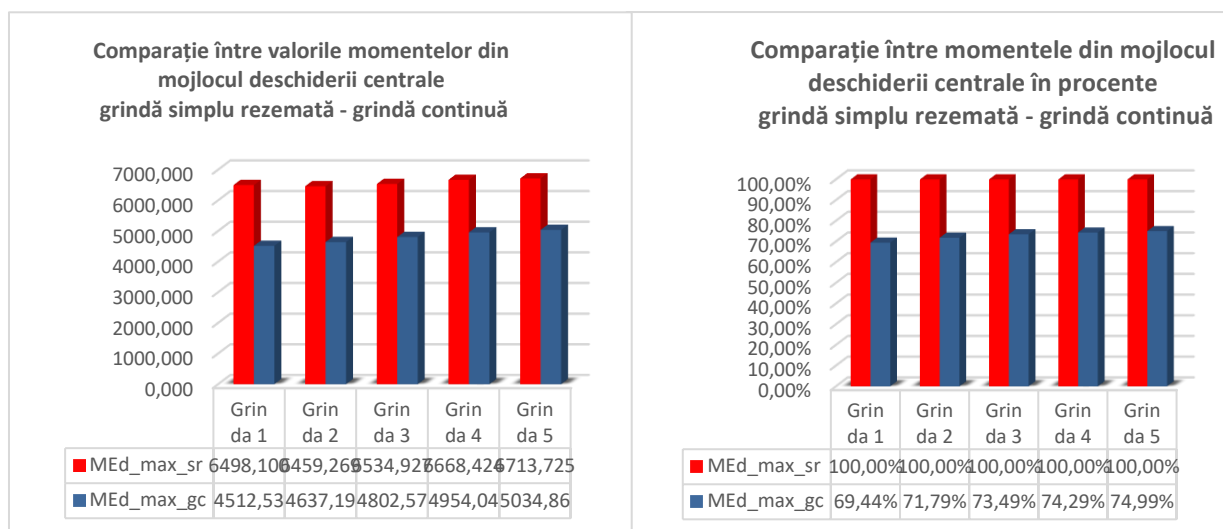


Figura 8. Grafice comparative între momentele din mijlocul deschiderii centrale.

Grindă simplu rezemată vs. Grindă continuă

Pentru. grinda cea mai solicitată, se obține o scădere a momentului la 75% (Grinda 5), permițând o reducere a cantității de armătură pretensionată cu 25%.

Pentru secțiunile de pe pile, momentele încovoietoare negative care apar pe grinda continuă pot fi preluate cu armătură nepretensionată (13 bare $\varnothing 25 \text{ mm}$ B500C), fără a fi necesară precomprimarea.

Proiectarea elementelor prefabricate din beton precomprimat, considerând această tehnologie de execuție, a pus în evidență avantajele acesteia, ce constă în optimizarea costurilor prin reducerea momentelor maxime din deschideri și utilizarea mai eficientă a materialelor, cu impact direct asupra diminuării necesarului de armătură și asigurării unei comportări structurale favorabile atât în execuție cât și în exploatare.



BIBLIOGRAFIE

1. P. I. Radu., E. Negoescu, și P. Ionescu. “Poduri din beton armat.” Editura Didactică și Pedagogică, 1981;
2. Chiotan Corina - Poduri din beton armat I - Note de curs in format electronic, 2016;
3. *** - SR-EN 1991-2 /2005 – “Acțiuni asupra structurilor. Acțiuni din trafic la poduri”;
4. *** - SR-EN 1992-1-1/2004 – “Proiectarea structurilor din beton”;
5. Capatu Chimon – „Poduri din beton precomprimat”, Editura Tehnică, 1983;
6. Chiotan Corina - Poduri din beton armat II - Note de curs in format electronic, 2017;
7. Zoltan Kiss, Traian Oneț – „Proiectarea structurilor de beton după SR EN 1992-1”, Editura ABEL.



EVALUAREA GEOTEHNICĂ ȘI ECOTOXICOLOGICĂ A PĂMÂNTURILOR STABILIZATE CU LIANȚI PUZZOLANICI: O ABORDARE INTEGRATĂ ÎN CONTEXTUL ECONOMIEI CIRCULARE

Autori

Antonia Daria MUREȘAN¹, Andreea Anamaria RUSAN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail:

Muresan.Vi.Antonia@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Rusan.Li.Andreea@student.utcluj.ro

Îndrumător

Drd. Ing. Andor-Csongor NAGY³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: andor.nagy@yahoo.com

REZUMAT: Sectorul construcțiilor rutiere necesită cantități masive de materii prime primare, generând totodată emisii semnificative de gaze cu efect de seră prin utilizarea lianților convenționali pentru stabilizarea terenurilor de fundare. Prezenta lucrare explorează o alternativă sustenabilă, aliniată principiilor Economiei Circulare, prin valorificarea deșeurilor industriale solide (ISW) ca resurse secundare [1]. Cercetarea evaluează potențialul lianților puzzolanici (cenușă de termocentrală și zgură) în stabilizarea pământurilor argiloase destinate execuției stratului de formă. Metodologia abordează problema dual, integrând testări geotehnice și analize de mediu. Din perspectivă mecanică, se analizează modificarea parametrilor de compactare (încercarea Proctor), a compresibilității și a portanței (indicele CBR) [4]. Complementar, lucrarea integrează concepte de ecotoxicologie, evaluând impactul acestor materiale alternative asupra mediului prin teste de fitotoxicitate (alungirea radicală). Rezultatele subliniază un contrast ecologic între tipurile de ISW utilizate, demonstrând că inovația în infrastructură trebuie să valideze nu doar performanța structurală a drumului, ci și siguranța ecosistemului, transformând deșeurile industriale într-o alternativă viabilă și sigură la materialele convenționale [2].

Cuvinte cheie: economie circulară, strat de formă, lianți puzzolanici, cenușă de termocentrală, portanță CBR, ecotoxicologie.

1. Introducere

Dezvoltarea infrastructurii rutiere reprezintă un pilon esențial al progresului economic, însă impactul acestui sector asupra mediului a devenit o provocare globală. În prezent, sectorul construcțiilor este responsabil pentru consumul a aproximativ 50% din materiile prime la nivel mondial și pentru 36% din consumul global de energie. În fața acestor realități, modelul economic liniar, bazat exclusiv pe extragere, producție și aruncare, s-a dovedit a fi nesustenabil pe termen lung. Tranziția către o Economie Circulară în ingineria civilă a devenit o necesitate imperativă, vizând reducerea dependenței de resursele naturale prin reintegrarea deșeurilor în circuitul economic [1].



În proiectarea și execuția structurilor rutiere flexibile, o problemă recurentă o reprezintă capacitatea portantă deficitară a terenului de fundare. Pământurile argiloase sunt adesea caracterizate prin umflări și contracții libere ridicate, plasticitate mare și rezistență mecanică scăzută la variații de umiditate. Tradițional, stabilizarea pământurilor destinate stratului de formă se realizează utilizând lianți hidraulici convenționali, precum cimentul. Deși eficientă din punct de vedere tehnic, producția de ciment este extrem de energofagă și generează emisii masive de dioxid de carbon (CO_2). Ca alternativă ecologică viabilă, utilizarea Deșeurilor Industriale Solide a captat atenția cercetătorilor la nivel internațional [4].

Lucrarea de față se concentrează pe valorificarea lianților puzzolanici, în special a cenușii de termocentrală și a zgurii metalurgice. Aceste materiale alumino-silicioase posedă proprietăți liante latente în prezența apei și a unui activator, oferind potențialul de a înlocui parțial sau total cimentul în lucrările de terasamente. Prezentul studiu își propune o evaluare integrată, pe două paliere fundamentale. Primul palier, cel geotehnic, vizează determinarea parametrilor fizico-mecanici ai pământului stabilizat, incluzând limite de plasticitate, caracteristici de compactare Proctor și indicele de portanță CBR. Al doilea palier, care reprezintă elementul de noutate și inovație al cercetării, integrează principiile analizei ecotoxicologice [2].

Înlocuirea resurselor naturale cu deșeuri industriale atrage după sine riscul levigării compușilor chimici, precum metalele grele, în ecosistemul subteran. Prin urmare, cercetarea utilizează teste de fitotoxicitate pentru a evalua dezvoltarea radiculară și pentru a compara impactul direct al diferitelor materiale asupra biosferei. Scopul final este de a demonstra că elaborarea unei rețete optime de stabilizare cu lianți puzzolanici trebuie să asigure un echilibru perfect între cerințele de design geotehnic și standardele stricte de protecție a mediului.

2. Stadiul actual al cercetării

2.1. Concepte fundamentale. Îmbunătățirea versus stabilizarea pământurilor

În literatura de specialitate, tratarea terenurilor de fundare sensibile la variații de umiditate este abordată prin două procese distincte, dar complementare: îmbunătățirea și stabilizarea. Îmbunătățirea pământurilor reprezintă o intervenție tehnică pe termen scurt, având ca scop principal facilitarea procesului de execuție a terasamentelor. Aceasta vizează modificări imediate, precum reducerea indicilor de plasticitate și optimizarea umidității pentru a asigura o compactare eficientă. Stabilizarea, în schimb, este un proces complex care urmărește obținerea unor modificări structurale permanente. Prin utilizarea unor lianți, se obține o creștere semnificativă și durabilă a parametrilor de rezistență și deformație, asigurând stabilitatea infrastructurii în fața solicitărilor dinamice ale traficului și a factorilor climatici (îngheț-dezgheț) [4].

2.2. Economia Circulară și Deșeurile Industriale Solide

Sub noua paradigmă a Economiei Circulare, industria construcțiilor este încurajată să utilizeze deșeuri industriale solide ca resurse secundare. Această abordare urmărește transformarea



deșeurilor în resurse, minimizând faza de eliminare din ciclul de viață al materialelor. Mai mult, depozitarea necorespunzătoare atrage probleme grave de mediu, incluzând toxicitatea solului din cauza alcalinității ridicate și poluarea aerului generată de particulele fine purtate de vânt [1].

În ingineria geotehnică, utilizarea deșeurilor industriale reprezintă o soluție cu avantaje multiple: reduce volumul depozitelor industriale și scade dramatic nevoia de extracție a agregatelor naturale. Conservarea resurselor naturale protejează ecosistemele de impactul distructiv al carierelor și balastierelor, contribuind la o infrastructură rutieră cu o amprentă de carbon redusă [1].

2.3. Valorificarea lianților puzzolanici în infrastructura rutieră

Lianții puzzolanici, precum cenușa de termocentrală sau zgura, sunt materiale care declanșează reacții chimice în prezența varului și a umidității, formând hidrocompusi stabili similari celor din ciment. Zgura este un subprodus nemetalic generat în timpul separării metalului de minereu în stare topită, provenind din industria metalurgică. Aceasta se prezintă sub formă de granule cu o angularitate ridicată și o textură rugoasă, oferind un unghi de frecare internă superior și o capacitate de interblocare a particulelor optimă pentru straturile de fundație și formă.

Cenușa de termocentrală este un material fin generat din combustia cărbunelui pulverizat în centralele termoelectrice. Studiile recente indică faptul că stabilizarea pământurilor cu acești lianți îmbunătățește considerabil capacitatea portantă și reduce potențialul de umflare liberă al argilelor active [4]. Utilizarea acestor materiale locale scade substanțial costurile de construcție și emisiile de dioxid de carbon comparativ cu materialele tradiționale.

2.4. Perspective ecotoxice. Impactul asupra ecosistemului

O lacună critică în cercetările anterioare o reprezintă ignorarea impactului ecologic pe termen lung al deșeurilor industriale. Riscul major asociat utilizării deșeurilor este reprezentat de potențialul de dizolvare și angrenare în apă a substanțelor chimice și a metalelor grele. Odată ce aceste materiale sunt integrate în corpul drumului, interacțiunea cu apa de infiltrație poate conduce la migrarea poluanților în sol și în acviferele subterane. Din acest motiv, stadiul actual al cercetării pune un accent deosebit pe testele de ecotoxicitate. Acestea permit evaluarea siguranței biosferei prin monitorizarea dezvoltării organismelor vii în contact cu levigatul materialelor alternative, asigurând validarea unei soluții care să fie durabilă și sigură biologic, prevenind contaminarea ecosistemelor adiacente infrastructurii [2].

3. Metodologie și aparatură

Pentru a valida utilizarea deșeurilor industriale în structurile rutiere, programul de cercetare s-a bazat pe un protocol riguros efectuat în laboratoarele SGGW (WULS) din Varșovia. Amestecurile au fost realizate folosind un pământ argilos de referință (cu un indice CBR inițial de 2,1% și densitate Proctor de 1,58 g/cm³) în care s-a integrat un dozaj de 10% liant puzzolanici

(cenușă sau zgură). Obiectivul principal al cercetării a fost evaluarea performanței mecanice și a siguranței ecologice a pământurilor stabilizate [1].

3.1. Încercarea Proctor Normal

Primul pas în stabilirea rețetei de stabilizare constă în determinarea caracteristicilor de compactare. Scopul încercării Proctor este de a identifica umiditatea optimă de compactare și densitatea uscată maximă a amestecului. Metodologia implică amestecarea pământului cu lianții industriali la diferite trepte de umiditate, urmată de compactarea în straturi succesive într-un tipar cilindric standardizat, utilizând o energie mecanică specifică. Trasarea curbei de compactare permite inginerului să prescrie umiditatea de execuție în șantier, garantând astfel o structură densă, cu porozitate minimă și rezistență mecanică maximă [4].



Figura 1. Umectarea și omogenizarea probei standardizate



Figura 2. Scarificarea stratului compactat



Figura 3. Compactarea cu maiul

3.2. Metodologia și Aparatura CBR

Indicele California Bearing Ratio (CBR) reprezintă parametrul esențial pentru dimensionarea straturilor rutiere flexibile și semirigide. Acest test empiric a fost conceput pentru a măsura rezistența la forfecare și la penetrare a pământului compactat. Aparatura utilizată constă dintr-o presă de încărcare mecanică echipată cu un inel dinamometric de precizie și un comparator pentru înregistrarea deformațiilor.

Pentru efectuarea testului, proba de pământ este compactată în tiparul CBR respectând densitatea maximă și umiditatea optimă determinate anterior la încercarea Proctor. După o eventuală etapă de saturație, proba este supusă penetrării folosind un piston metallic standardizat cu diametrul de 50 mm, care avansează cu o viteză constantă. Se înregistrează forțele necesare pentru a atinge adâncimi de penetrare standard de 2,5 mm și 5,0 mm. Indicele CBR se calculează raportând presiunea exercitată pe proba analizată la o presiune de referință corespunzătoare unei pietre sparte de înaltă calitate, rezultatul fiind exprimat în procente [3].



Figura 4. Poziționarea inelelor de supraincercare



Figura 5. Penetrarea pistonului CBR

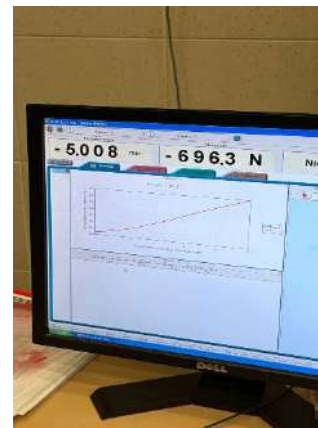


Figura 6. Monitorizarea parametrilor forță-deformație

3.3. Evaluarea ecotoxicologică prin alungire radiculară

Testele de fitotoxicitate constituie elementul inovator al cercetării, având ca scop măsurarea toxicității materialelor asupra plantelor. Metodologia constă în prepararea unui extract apos din proba de deșeu industrial, care simulează procesul de levigare produs de apele meteorice în corpul drumului. Semințele de plante indicator (bio-indicatori) sunt expuse acestui levigat într-un mediu controlat, de obicei în cutii Petri pe hârtie de filtru. După perioada de incubare (uzual 72 de ore), se măsoară comparativ lungimea rădăcinilor dezvoltate pe proba contaminată cu cele dezvoltate pe un eșantion martor curat. Rezultatele sunt interpretate prin calcularea indicelui de inhibare a creșterii radiculare. O reducere semnificativă a lungimii radiclei reprezintă un indicator clar al prezenței compușilor fitotoxici (precum metalele grele) biodisponibili, care pot migra din structura rutieră în ecosistemul înconjurător [2].



Figura 7. Cămarea probei de sol



Figura 8. Prepararea extractului apos



Figura 9. Pregătirea suportului



Figura 10. Aplicarea bio-indicatorilor

4. Studiu de caz: rezultate și discuții

Cercetarea a vizat evaluarea comparativă a două tipuri de deșeuri industriale solide: cenușa de termocentrală și zgura metalurgică.

4.1. Analiza compactării

Rezultatele obținute prin încercarea Proctor Normal diferă semnificativ în funcție de materialul utilizat, reflectând particularitățile fizice ale fiecărui liant.

Pentru amestecul stabilizat cu cenușă de termocentrală, prelucrarea datelor extrase din curba de compactare a indicat următoarele corelații între umiditate și densitatea uscată: la o umiditate de 20,95% s-a înregistrat o densitate uscată de $1,29 \text{ g/cm}^3$; la 21,68% densitatea a crescut la $1,39 \text{ g/cm}^3$; iar la 22,42% a atins valoarea de $1,41 \text{ g/cm}^3$. Conform datelor analizate, se observă că umiditatea optimă de compactare se situează în jurul valorii de 22,42%, punct în care materialul atinge o densitate uscată maximă de aproximativ $1,41 \text{ g/cm}^3$.

Pentru amestecul stabilizat cu zgură, prelucrarea datelor extrase din curba de compactare a indicat următoarele corelații între umiditate și densitatea uscată: la o umiditate de 26,20% s-a înregistrat o densitate uscată de $2,20 \text{ g/cm}^3$; la 29,30% densitatea a crescut la $2,22 \text{ g/cm}^3$. Această valoare maximă a densității ($2,22 \text{ g/cm}^3$) este semnificativ mai ridicată față de materialele granulare uzuale, fenomen explicabil prin greutatea specifică mare a particulelor de zgură metalurgică și capacitatea ridicată de auto-îndesare a acestora. La 32,20% a scăzut la $1,92 \text{ g/cm}^3$; iar la 36,30% a atins valoarea de $1,81 \text{ g/cm}^3$. Conform datelor analizate, se observă că umiditatea optimă de compactare se situează în jurul valorii de 29,30%, punct în care materialul atinge o densitate uscată maximă de aproximativ $2,22 \text{ g/cm}^3$.

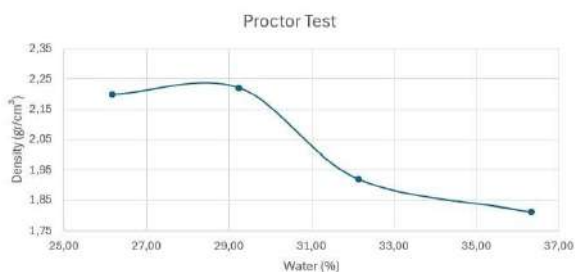


Figura 11. Curba de compactare Proctor pentru amestecul cu zgură

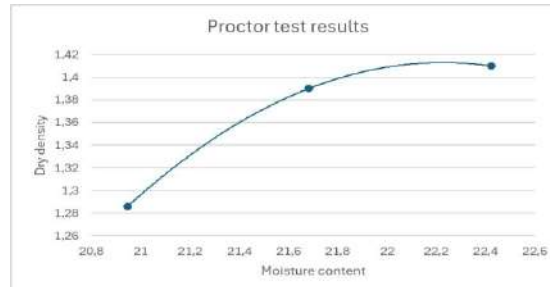


Figura 12. Curba de compactare Proctor pentru amestecul cu cenușă

4.2. Performanța mecanică și dimensionarea structurală poloneză



Figura 13. Principiul de dimensionare a structurilor rutiere flexibile pe baza indicelui CBR

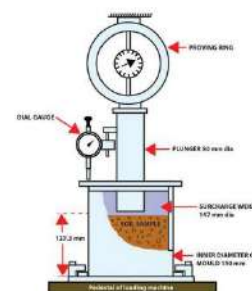


Figura 14. Aparatul CBR

Rezultatele testului CBR permit evaluarea directă a performanței materialelor în contextul ingineriei rutiere [1]. Valorile obținute prin calculul forțelor de penetrare au demonstrat o îmbunătățire structurală evidentă a capacității portante la nivelul patului drumului.



Figura 15. Curba CBR- pământ stabilizat cu zgură metalurgică

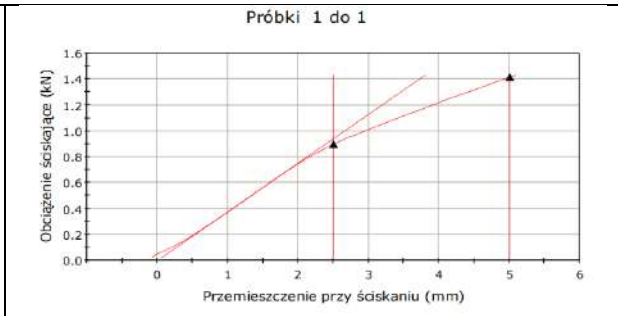


Figura 16. Curba CBR- pământ stabilizat cu cenușă de termocentrală

Tabel 1. Valorile indicelui CBR (2,5 mm și 5,0 mm) obținute pentru probele cu cenușă și zgură

Nr. probă	Valori CBR - pământ stabilizat cu zgură metalurgică		Valori CBR - pământ stabilizat cu cenușă de termocentrală	
	CBR 2.5	CBR 5	CBR 2.5	CBR 5
1.	3.02%	4%	10.42%	10.5%
2.	5.89%	5.75%	12.22%	11.5%
3.	5.81%	6.25%	2.26%	7.65%

Pentru a înțelege impactul practic al acestor valori, ele au fost translatate pe graficele de dimensionare rutieră utilizate în Catalogul Polonez pentru structuri tip [3]. Această metodologie clasifică terenul de fundare în patru categorii de portanță, de la G1 (materiale superioare, cu CBR mare) până la G4 (pământuri slabe, argiloase).

Tabel 2. Clasificarea grupelor de portanță a terenului de fundare în funcție de indicele CBR conform „Catalogului Polonez pentru structuri tip”

Grupa de portanță a terenului de fundare G_i	Condiții de îndeplinit (CBR [%])
G1	$CBR \geq 10\%$
G2	$5\% \leq CBR \leq 10\%$
G3	$3\% \leq CBR \leq 5\%$
G4	$CBR < 3\%$

Pământul natural argilos se încadrează frecvent în categoria G4, caracterizată prin sensibilitate mare la umiditate și portanță foarte redusă. În urma testelor de laborator, amestecul stabilizat cu zgură metalurgică a obținut un indice CBR de 6,25%, valoare care permite încadrarea materialului în categoria de portanță G2 conform normativelor poloneze [3]. Deși zgura îmbunătățește semnificativ terenul, performanța maximă a fost atinsă de amestecul cu cenușă de termocentrală, care a înregistrat un indice CBR de 12,22%. Această valoare superioară propulsează terenul stabilizat direct în categoria G1, cea mai înaltă clasă de portanță pentru stratul de formă [1].

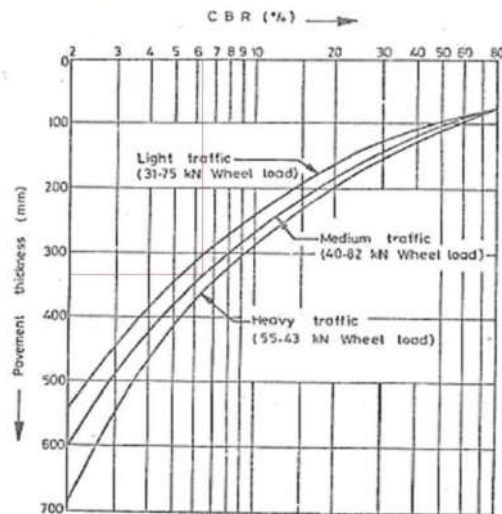


Figura 17. Citirea indicelui CBR și a grosimii structurii rutiere în cazul pământului stabilizat cu zgură metalurgică [5]

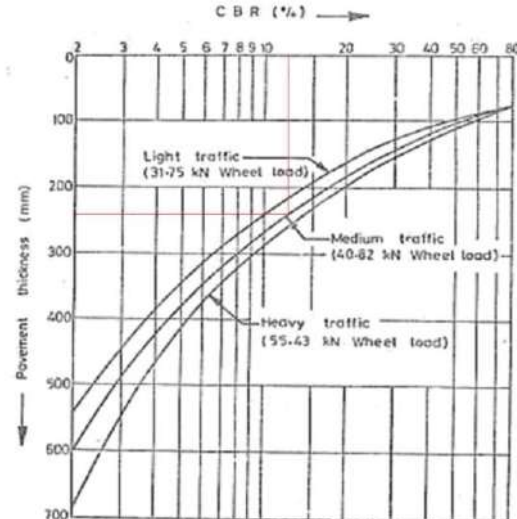


Figura 18. Citirea indicelui CBR și a grosimii structurii rutiere în cazul pământului stabilizat cu cenușă de termocentrală [5]

Dimensionarea structurii a fost realizată utilizând valorile maxime ale indicelui CBR, abordare aleasă pentru a demonstra potențialul tehnologic de vârf al acestor resurse secundare în ingineria rutieră. Trebuie menționat că această dimensionare are un caracter empiric și teoretic, bazându-se pe o metodă nestandardizată în România (Catalogul Polonez) [3], având strict scopul de a compara performanța portantă a celor două materiale.

În cazul pământului stabilizat cu zgură metalurgică, pentru un indice CBR de 6,25% și un regim de trafic mediu, se determină o grosime necesară a straturilor de fundație de 34 cm. Această valoare indică o îmbunătățire considerabilă față de pământul natural, permițând o distribuție eficientă a sarcinilor către un teren de fundare încadrat în grupa de portanță G2.

În contrast, amestecul cu cenușă de termocentrală, datorită valorii superioare a indicelui CBR de 12,22%, necesită o grosime a straturilor de fundație de doar 26 cm pentru același regim de trafic. Această reducere este posibilă deoarece materialul cu cenușă accesează grupa de portanță maximă, G1 [3].

Comparând cele două variante, se observă că cenușă de termocentrală oferă o reducere suplimentară de 8 cm (aproximativ 23%) a straturilor de fundație față de varianta cu zgură. Această diferență are un impact direct asupra sustenabilității proiectului: o structură cu straturi inferioare mai subțiri nu doar că economisește resurse naturale (agregate), dar reduce și volumul total de excavare și transport, demonstrând un potențial de upcycling superior din punct de vedere al eficienței structurale imediate.

4.3. Contrastul ecotoxicologic

Elementul central care decide fezabilitatea tehnică finală a acestor soluții de economie circulară este reprezentat de rezultatele testului de fitotoxicitate. Deși ambele materiale oferă o adecvare mecanică ridicată pentru stratul de formă, profilul de siguranță a mediului diferă radical.

Analiza cantitativă a indicelui de inhibare a alungirii radiculare a confirmat observațiile vizuale. Extractul apos provenit de la cenușa de termocentrală a generat un indice de inhibare de 88% față de proba martor, indicând o toxicitate acută care stopează aproape total dezvoltarea biologică. Această toxicitate acută semnalează o concentrație ridicată de metale grele biodisponibile care pot migra ușor în rețeaua hidrografică subterană. Din punct de vedere ingineresc, deși cenușa este un liant excelent, utilizarea sa în straturi de suprafață sau în ramblee expuse eroziunii este total contraindicată.

În contrast, pentru zgura metalurgică, indicele de inhibare a fost de sub 5%, valoare considerată neglijabilă, confirmând caracterul inert al acestui material în raport cu biosfera. Această compatibilitate ecologică se datorează structurii sticloase a zgurii, care vitrifică elementele chimice, împiedicând eliberarea lor în mediu. Rezultatele confirmă că zgura reprezintă o resursă secundară sigură, a cărei utilizare nu necesită măsuri speciale de izolare hidrogeologică [2].



Figura 19. Proba cu zgură



Figura 20. Proba cu cenușă de termocentrală



Figura 21. Proba de control

5. Concluzii și recomandări de upcycling

Cercetarea demonstrează că utilizarea deșeurilor industriale solide (ISW) reprezintă o soluție viabilă pentru îmbunătățirea proprietăților geotehnice ale pământurilor argiloase, oferind o alternativă sustenabilă la lianții hidraulici convenționali [1].

Cenușa de termocentrală prezintă cele mai ridicate performanțe mecanice, atingând clasa de portanță G1 conform indicelui CBR obținut în laborator. Totuși, gradul său ridicat de fitotoxicitate, evidențiat printr-un indice de inhibare radiculară de 88%, impune măsuri stricte de siguranță ecologică [2]. Utilizarea acesteia este recomandată exclusiv în lucrări de rambleu



protejate, situate sub un complex rutier ale cărui îmbrăcămînți superioare sunt complet impermeabile, pentru a preveni levigarea metalelor grele în pânza freatică.

Zgura metalurgică se distinge ca un material inert ecologic (cu un indice de inhibare sub 5%) și superior mecanic pământului natural, încadrându-se în clasa de portanță G2 [3]. Pentru a maximiza potențialul acesteia, se recomandă un proces tehnologic de upcycling care include concasarea, sortarea și separarea magnetică, urmate de o maturare naturală de 3-6 luni. Zgura poate fi valorificată cu succes pentru execuția stratului de formă, asigurând o platformă stabilă și sigură pentru mediul înconjurător [1].

În concluzie, abordarea integrată între analiza geotehnică și cea ecotoxicologică este esențială pentru validarea soluțiilor de economie circulară. Această metodologie asigură dezvoltarea unor infrastructuri care răspund exigențelor de portanță rutieră [3], protejând simultan sănătatea ecosistemelor pe termen lung [2].

BIBLIOGRAFIE

1. Gluchowski A., Sas W., Methods of Solid Industrial Wastes Treatment in Civil and Environmental Engineering, SGGW Warsaw, 2026.
2. Dzięcioł J., Ecotoxicity, environmental impacts, and remediation potential of ISW materials, BIP Course, 2026.
3. Catalogul Polonez de Structuri Tip de Pavaje Flexibile și Semirigide, Varșovia.
4. Ilieș N.M., Nagy A.C., Soluții moderne de stabilizare a terenurilor de fundare, UTCN, 2024.
5. Das, B. M., Sobhan, K., Principles of Geotechnical Engineering, Cengage Learning, 2021.



RECICLAREA LA CALD A MIXTURILOR ASFALTICE UTILIZÂND BITUM SPUMAT

Autor/autori

Cristian Marian ARHIRE¹, Petru Sebastian BUDA², Hüseyin Can ÇAM³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: arhirecristi26@gmail.com

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

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: cam4616@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Gavril HODA⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: gavril.hoda@campus.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea constă într-o documentare bibliografică și prezentarea unui studiu de caz privind două tipuri de mixturi asfaltice, una HMA clasică și una WMA utilizând bitumul spumat. Sunt prezentate pe scurt rezultatele obținute pe mixtura cu bitum spumat și avantajele pe care aceasta tehnologie le are, metoda aplicându-se tot mai mult, atât prin producerea mixturilor în stații fixe, cât și în situ prin reciclarea mixturilor asfaltice, lucru ce permite reutilizarea materialului existent din drumuri, contribuind la reducerea consumului de resurse naturale și la valorificarea infrastructurii rutiere existente. Metoda valorifică eficient zestrea existentă, refolosind materialul deja prezent și reducând necesarul de agregate și bitum noi. În plus, scade emisiile de CO₂ și consumul energetic, limitează deșeurile și protejează resursele naturale, susținând dezvoltarea unei infrastructuri durabile și a economiei circulare.*

Cuvinte cheie: bitum spumat, RAP, reciclare la cald, curbă granulometrică, rețetă.

1. Introducere

Industria infrastructurii rutiere se află într-un proces de adaptare la cerințele actuale privind utilizarea eficientă a resurselor și reducerea impactului asupra mediului. Reciclarea structurilor bituminoase rutiere la cald, practică deja la scară largă în state precum Germania sau SUA, se află în prezent la începutul implementării în România, fiind utilizată limitat în cadrul unor aplicații și proiecte punctuale. Importanța acestei tranziții este subliniată de Pactul Verde European, care impune neutralitatea climatică până în 2050 și o reducere de 55% a emisiilor până în 2030. Nucleul acestei strategii este Planul de Acțiune pentru Economia Circulară (CEAP), care promovează un model de eficiență maximă: mai puține materii prime, mai puține deșeuri, mai puține emisii. În construcția de drumuri, acest principiu capătă o dimensiune fascinantă prin posibilitatea reutilizării materialelor la infinit (figura 1). Conform modelului prezentat în literatura de specialitate (EAPA/ART2025), drumul nu mai are un sfârșit al duratei de viață, ci devine o "bancă de materiale". Procesul presupune un ciclu continuu: materialul frezat (asfaltul recuperat - RA) este colectat, procesat și testat pentru a fi reintrodus integral în producția de mixturi noi.

Reciclarea structurilor asfaltice cu bitum spumat reprezintă una dintre direcțiile moderne de dezvoltare ale infrastructurii rutiere, fiind susținută la nivel european prin politici orientate spre reducerea amprente de carbon și utilizarea eficientă a resurselor. Conform

rapoartelor EAPA, reutilizarea asfaltului recuperat (RAP) contribuie semnificativ la diminuarea consumului de agregate naturale și bitum nou, materiale cu impact economic și energetic ridicat. În același timp, aplicarea acestor tehnologii permite reducerea volumului de deșuri provenite din lucrări de reabilitare și scăderea numărului de transporturi necesare aprovizionării șantierelor, ceea ce conduce la emisii mai reduse de CO₂ și la optimizarea costurilor de execuție. Din aceste motive, reciclarea a devenit un criteriu important în proiectarea și modernizarea drumurilor durabile.



Figura 1. Ciclul de reciclare

În figura de mai jos se prezintă un grafic care raportează consumul de energie la temperatura utilizată, demonstrând avantajul de utilizare, din punct de vedere economic, la scăderea temperaturii (figura 2).

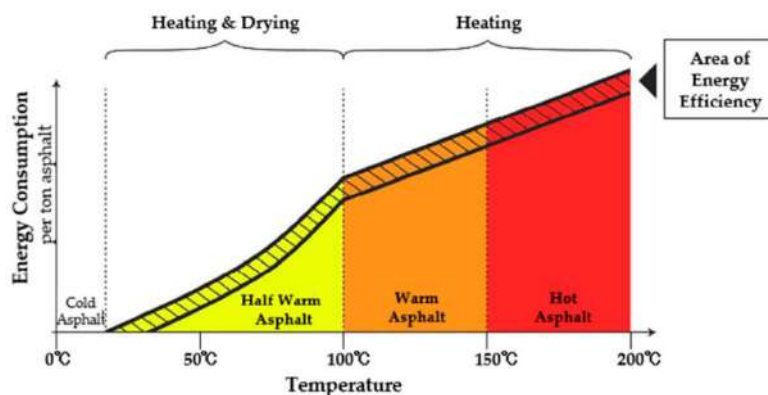


Figura 2. Clasificarea raportului între temperatură și consum de energie

2. Ce presupune procedeul?

Procesul de reciclare cu bitum spumat acoperă un spectru termic flexibil, variind de la mixturi preparate la cald (Hot/Warm Mix, la 100–190°C) până la tehnologii semi-calde (Half-Warm Mix, la 70–100°C). Asfaltul frezat este încălzit controlat pentru a înmuia liantul vechi fără a-l oxida, fiind apoi malaxat cu bitum nou, transformat temporar în spumă prin injecția cu o cantitate minimă de apă. Această expansiune volumetrică uriașă, de până la 15 ori, scade dramatic vâscozitatea liantului, permițându-i să anvelopeze perfect și uniform agregatele chiar și la temperaturile mai scăzute specifice procedeului Half-Warm. Indiferent de regimul termic ales, prin fuziunea optimizată dintre bitumul nou expandat și cel vechi reactivat, se obține un

material rutier durabil și de înaltă performanță, generând totodată reduceri majore ale consumului energetic și ale emisiilor poluante.

În cazul procedeelor la cald, execuția are loc fie direct pe șantier (în situ), fie în stații de mixturi asfaltice (figura 3 și 4). Selectarea tehnologiei optime nu este standard, ci trebuie fundamentată obligatoriu printr-o analiză tehnico-economică specifică fiecărui proiect. Această decizie depinde de factori critici precum grosimea pachetului asfaltic existent și gradul de îmbătrânire (consistența) liantului recuperat.

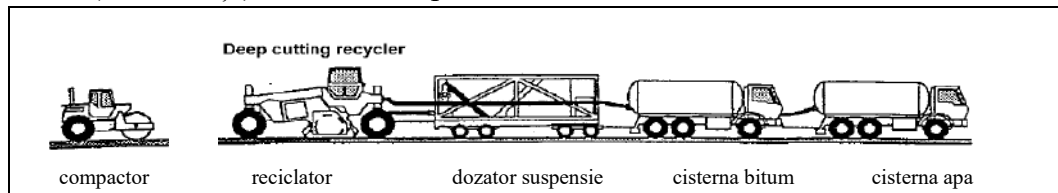


Figura 3. Tren reciclator bazat pe tehnologia bitumului spumat în situ



Figura 4. Execuție pe șantier (în situ) (stânga) și execuție în stație de asfalt (dreapta)

Spre deosebire de tehnologia clasică a mixturilor la cald (170°C), unde liantul fluid anrobează omogen întreaga masă de agregate, mecanismul de dispersie al bitumului spumat este fundamental diferit. În faza de malaxare, spuma bituminoasă aderă selectiv la fracțiunile fine (nisipul și filerul din materialul recuperat sau din agregatele noi), generând un „mortar bituminos”. Acesta preia rolul de liant structural de înaltă performanță, asigurând coeziunea și solidarizarea mecanică a agregatelor groșiere.

Înainte aplicării tehnologiei de reciclare, structura rutieră existentă este analizată prin investigații în situ și încercări de laborator. Se determină grosimea straturilor, gradul de degradare și caracteristicile materialului asfaltic recuperat. Conform prevederilor din DD 509-2003, stabilirea rețetei de reciclare se face pe baza compoziției granulometrice și a conținutului de liant existent în RAP.

Un parametru esențial îl reprezintă proporția de material reciclat utilizat în mixtură. În instalațiile convenționale de asfalt, procentul de RAP este limitat, de regulă, la 10–30%, pentru a evita degradarea suplimentară a liantului existent. În cazul instalațiilor moderne, echipate cu tambur paralel, acest procent poate crește până la 40–50%, în funcție de capacitatea de control termic [2].

Temperatura de preparare a mixturii este un factor critic. Pentru mixturile clasice la cald, temperaturile de malaxare sunt cuprinse între $150\text{--}180^{\circ}\text{C}$, însă în cazul utilizării bitumului spumat se pot utiliza temperaturi mai reduse, de ordinul $100\text{--}140^{\circ}\text{C}$, specifice tehnologiilor

warm mix sau half-warm. Această reducere de temperatură contribuie la limitarea oxidării liantului și la scăderea consumului energetic.

Bitumul utilizat pentru spumare este încălzit la temperaturi de aproximativ 160–180°C, după care se injectează apă în proporție de 1,5–3,0% din masa bitumului, conform practicilor din [1]. Această operație determină expandarea instantanee a bitumului, reducând vâscozitatea și facilitând dispersia acestuia în mixtură (figura 5).

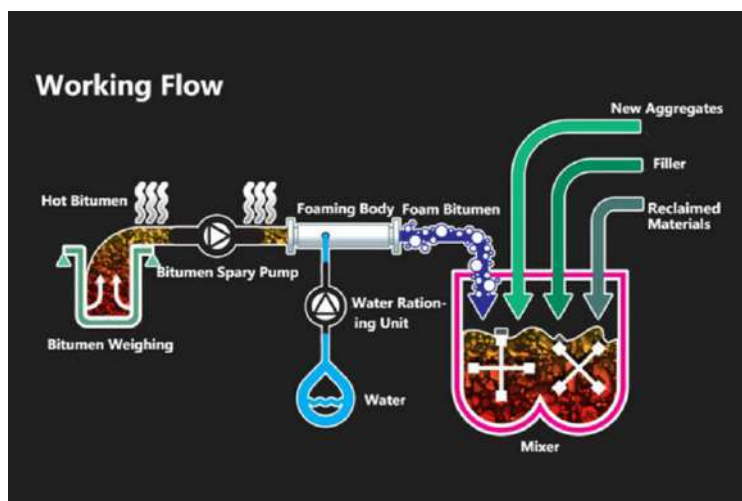


Figura 5. Proces pentru obținerea și introducerea bitumului spumat

Timpul de malaxare este redus, deoarece bitumul spumat își pierde rapid volumul. Din acest motiv, procesul trebuie controlat riguros, iar introducerea liantului trebuie sincronizată cu amestecarea agregatelor.

După preparare, mixtura este transportată și pusă în operă, iar compactarea se realizează la temperaturi de peste 90–110°C, pentru a asigura densitatea optimă și reducerea golurilor de aer. Gradul de compactare impus este, de regulă, peste 97% din densitatea maximă determinată în laborator [2].

3. Parametri

Performanța reciclării cu bitum spumat este influențată de o serie de parametri măsurabili, care trebuie controlați pentru a asigura calitatea finală a stratului rutier [1].

- Rata de expandare (ER)
 - Rata de expandare reprezintă raportul dintre volumul maxim al spumei și volumul inițial al bitumului. Pentru o spumare eficientă, valorile trebuie să fie de minimum 8, iar în practică se recomandă intervalul 10–15. Valori mai mici indică o dispersie insuficientă a liantului [1].
- Timpul de înjumătățire (HL)
 - Timpul de înjumătățire trebuie să fie de minimum 6 secunde, iar valorile optime sunt în intervalul 8–12 secunde. Acest parametru asigură stabilitatea spumei pe durata amestecării și permite formarea unui mortar bituminos uniform [1].
- Temperatura de preparare
 - Temperatura influențează lucrabilitatea și rezistența mixturii:



- bitum pentru spumare: 160–180°C;
- mixtură warm/half-warm: 70–140°C;
- compactare: peste 90°C.
 - Temperaturi prea ridicate duc la oxidarea bitumului, iar temperaturi prea scăzute afectează compactarea
- Umiditatea materialului
 - Umiditatea materialului reciclat trebuie menținută sub 2–3%, deoarece valori mai mari reduc eficiența malaxării și afectează aderența liantului.
- Conținutul de liant
 - Dozajul de bitum nou este stabilit în funcție de conținutul de bitum existent în RAP și este, în general, în intervalul 3–6% din masa mixturii, fiind determinat prin încercări de laborator [2].
- Conținutul de goluri
 - Mixtura finală trebuie să asigure un conținut de goluri de aer de aproximativ 3–6%, pentru a preveni atât deformările plastice, cât și infiltrarea apei [2].

4. Materiale

Eficiența procesului de malaxare este condiționată de calitatea bitumului spumat, care se evaluează în laborator prin doi parametri tehnici fundamentali. Primul indicator, Rata de Expandare (ER), definește capacitatea de creștere volumetrică a liantului, fiind necesară o multiplicare de 8 până la 15 ori pentru a asigura o suprafață de contact optimă în vederea anvelopării materialului frezat. Al doilea indicator, Timpul de Înjumătățire (HL), măsoară stabilitatea fizică a spumei, cuantificând durata în care volumul maxim expandat se reduce la jumătate. Pentru a permite omogenizarea completă a mixturii cu agregatele înainte de colapsarea liantului, acest interval de stabilitate trebuie să fie de minimum 6-10 secunde.

Reciclarea la cald (WMA / Half-Warm / HMA) combină materiale recuperate și virgine, fiecare cu rol definit în performanța stratului final.

- RAP – Reclaimed Asphalt Pavement
 - Conține agregate minerale (90–95%), bitum îmbătrânit (4–7%, penetrare < 25 dmm, punct de înmuiere > 65°C), filer rezidual și contaminanți (beton, marcarea rutieră) — eliminați obligatoriu prin sortare.
- Bitum virgin (figura 6)
 - Nemodificat (50/70, 70/100, 160/220) sau modificat cu polimeri – PMB, ales în funcție de gradul de îmbătrânire al RAP.



Figura 6. Bitum spumat virgin încălzit

- Agregate virgine
 - Criblură, nisip, split — corectează granulometria RAP-ului; preîncălzite la 180–200°C (HMA) sau 110–140°C (WMA).
- Filer de aport
 - Filer de calcar (EN 13043) pentru ajustarea VMA; ciment Portland (0.5–1.5%) cu rol de stabilizator pe termen scurt și rigidizant pe termen lung.
- Aditivi WMA
 - Zeoliti sintetici (Aspha-Min), agenți tensioactivi, parafine sintetice (Sasobit, Licomont) sau emulsii parțiale (Half-Warm, 70–100°C) — reduc temperatura de amestecare cu 20–40°C.

5. Studiu de caz

În contextul analizei comparative a procedeelelor de reciclare a mixturii la cald, a fost elaborat un studiu dedicat tehnologiei de tip Warm Mix Asphalt (WMA), în cadrul căruia sunt evidențiate și examinate mai multe aspecte tehnice.

Datorită avantajelor tehnice, economice și de mediu, tehnologia WMA cu bitum spumat este utilizată tot mai frecvent în infrastructura rutieră modernă, fiind considerată o soluție eficientă pentru dezvoltarea durabilă a rețelelor de drumuri.

În cadrul studiului de caz [11], au fost elaborate două mixturi asfaltice de tip BADPC 22,4 cu materiale recuperate în proporție de 15% , cu aport de bitum rutier 50/70, prima reprezentând o mixtură convențională de tip HMA, preparată în conformitate cu prevederile normativului AND 605, iar cea de-a doua utilizând aceleași materiale și dozaje, cu singura diferență că procesul de fabricare a fost adaptat prin aplicarea tehnologiei WMA, respectiv prin utilizarea bitumului spumat.

Referitor la natura materialului reciclat, acesta a fost obținut prin frezarea unor straturi asfaltice alcătuite din uzura BA 16 și BADPC 25 (22.4), cu grosimea cuprinsă între 8.8 – 10.2 cm. Materialul a fost recuperat din teren de pe un drum județean din zona Bistrița-Năsăud și transportat în stație unde s-au făcut studii de laborator, inclusiv rețeta, iar după analizarea rezultatelor obținute, constatându-se că acestea se încadrează în limitele normativelor, materialul nou este transportat și pus în operă ca strat de baza, el urmând a fi acoperit cu un singur strat de mixtură asfaltică MAS 16, de 5 cm grosime.



În vederea analizării materialelor recuperate, a fost corectată curba granulometrică a agregatului total prin adaos de materiale conform tabel 1, iar în tabelul 2 sunt prezentate rețeta finală din laborator și comparativ cele două realizate pe stație, prima cu bitum 50/70 iar cea de-a doua, cu bitum spumat.

Tabel 1. Curbe granulometrice pe materiale

Site	Curba rețeta obținută în laborator	Curba obținută (producție standard) HMA	Curba obținută (bitum spumat) WMA	Limite AND 605/2016		Tolerante AND 605/2016
22,4	98,4	97,3	94,2	90	100	±5,0
16	80,6	79,6	77,1	73	90	±5,0
8	55,5	57,8	56,6	42	61	±5,0
4	33,8	37,1	37,7	28	45	±4,0
2	24,0	24,7	24,1	20	35	±3,0
0,125	7,1	8,0	7,6	5	10	±1,5
0,063	5,6	6,2	6,0	3	7	±1,0
Bitum	4,3	4,2	4,4	min 4,2		±0,2

Tabel. 2 Materiale de aport in rețetă

Nr. crt.	Material
1	Nisip concasat 0/4 mm
2	Pietriș concasat 4/8 mm
3	Pietriș concasat 8/16 mm
4	Pietriș concasat 16/22,4 mm
5	Filer
6	Bitum 50/70

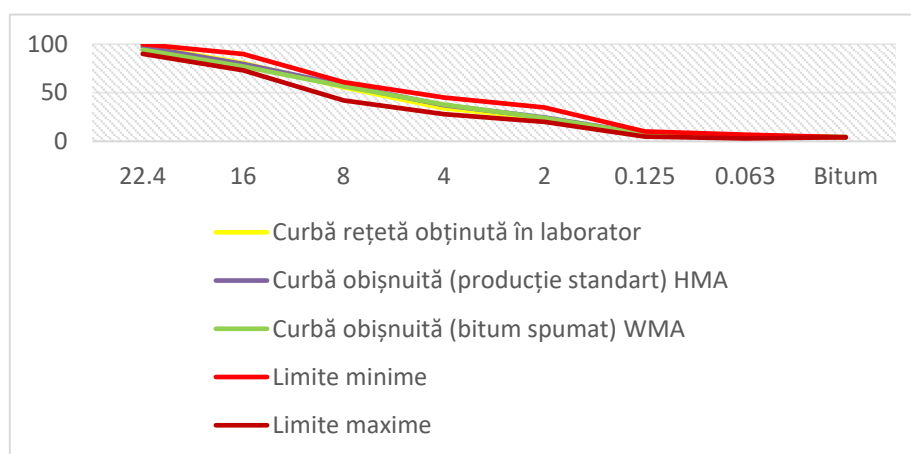


Figura 7. Curbe granulometrice pentru cele două materiale și rețetă

În cazul producerii mixturii asfaltice de tip WMA cu bitum spumat, s-au folosit următorii parametri:

- Cantitate de apă: 3,0%
- Presiunea pe rampă de bitum: 3,5 bari



- Presiune apă: 7 bari
- Temperatura de încălzire a agregatelor: $\approx 150^{\circ}\text{C}$
- Temperatura bitum: $\approx 160^{\circ}\text{C}$
- Temperatura la ieșirea din malaxor: $\approx 140^{\circ}\text{C}$

În tabelul 3 sunt prezentate comparativ valori ale densității aparente, absorbției de apă, stabilității și indicelui de curgere, obținute pentru cele două tipuri de mixturi, iar în figurile 8 și 9 sunt prezentate grafic aceste valori.

Tabel 3. Caracteristicile geotehnice curbelor granulometrice a celor 2 tipuri de mixturi

Rezultate	Curba rețetă obținută în laborator	Curba obținută (producție standard) HMA	Curba obținută (bitum spumat) WMA	Limite AND 605/2016	
Densitate aparentă [kg/m ³]	2316	2303	2293	-	
Absorbția de apă [%]	5,3	5,3	5,8	1,5	6,0
Stabilitate [kN]	10,8	10,6	10,4	5,0	13,0
Indice de curgere [mm]	2,9	2,6	3,6	1,5	4,0

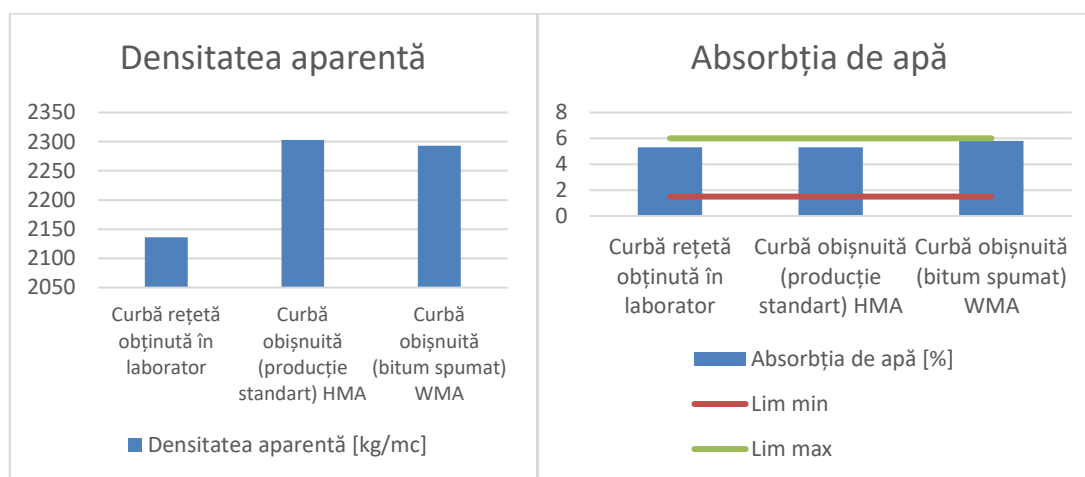


Figura 8. Graficele caracteristicilor celor 2 tipuri de mixturi

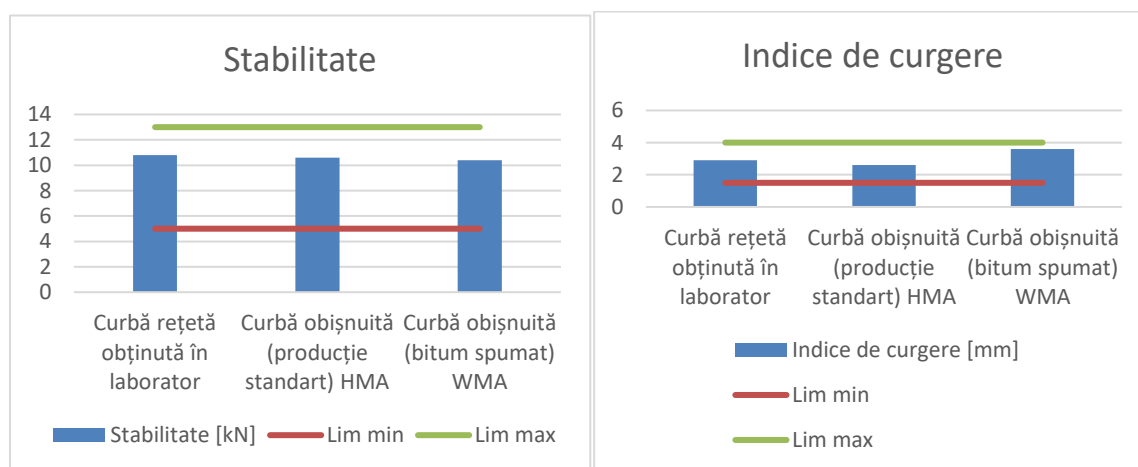


Figura 9. Graficele caracteristicilor celor 2 tipuri de mixturi



6. Concluzii

Rezultatele obținute în urma încercărilor de laborator evidențiază faptul că cele două mixturi asfaltice de tip BADPC 22,4 cu bitum 50/70, preparate prin procedeele HMA și, respectiv, WMA cu bitum spumat, prezintă caracteristici tehnice comparabile. Atât curbele granulometrice, cât și conținutul de liant se încadrează în limitele și toleranțele impuse de normativul AND 605/2016, iar proprietățile fizico-mecanice determinate sunt similare pentru ambele variante. Aceste concluzii demonstrează că aplicarea tehnologiei bitumului spumat nu afectează în mod semnificativ performanțele mixturii asfaltice analizate, fapt atestat în graficele următoare care propun comparații între mixturi pentru densitatea aparentă, absorbția de apă, stabilitate și indicele de curgere.

În concluzie, prezentul studiu de caz atestă faptul că tehnologia Warm Mix Asphalt (WMA) pe bază de bitum spumat reprezintă o alternativă sustenabilă și eficientă la metoda convențională Hot Mix Asphalt (HMA), garantând menținerea integrală a performanțelor tehnice ale mixturii asfaltice. Eliminând barierele de performanță între modurile reciclare/producție a asfaltului. Contribuind la obiectivele de dezvoltare durabilă și la reducerea impactului de mediu al lucrărilor de construcție și reabilitare a drumurilor.

BIBLIOGRAFIE

1. AND 532-2022 - Normativ privind reciclarea la rece a straturilor rutiere
2. DD 509-2003 - Normativ Privind Reciclarea Mixturilor Asfaltice La Cald in Statii Fixe.
3. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7560297/>
4. <https://epa.org/warm-mix-asphalt/>
5. <https://epa.org/recycling/>
6. https://www.researchgate.net/publication/236006723_Mechanical_Performance_and_Economic_Evaluation_of_Warm_Mix_Recycling_Asphalt
7. Cold Recycling using BSM trial section on the German motorway A555 - Dr.-Ing. Ivan Isailović TPA GmbH, Cologne Germany; Dr.-Ing. Mehdi Kalantari BAST, Germany (<https://www.asphalt-recycling-technologies.com/art2025-presentations>)
8. Challenges in hot and warm asphalt recycling - Dr. Martin Hugener (<https://www.asphalt-recycling-technologies.com/art2025-presentations>)
9. Studiu de caz Strabag România „Fabricarea mixturilor de tip WMA folosind tehnologia bitumului spumat.



INSTRUMENTE GIS PENTRU ANALIZA AVANSATĂ A PARCĂRILOR URBANE

Autori

Andreea Moldovan¹, Monica Morar²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Moldovan.Ma.Mariana@student.utcluj.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Morar.Io.Monica@student.utcluj.ro

Îndrumători

Șef.l.Dr.Ing. Melania Boitor¹, Șef.l.Dr.Ing. Rodica Cadar²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Melania.boitor@infra.utcluj.ro

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

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o cercetare extinsă în domeniul managementului urban, care utilizează instrumente moderne pentru analiza avansată a sistemului de parcuri din municipiul Cluj-Napoca. Aplicațiile folosite sunt din suita ESRI, din dotarea Facultății de Construcții, aplicații GIS și anume: ArcGIS Online, Survey123, și Dashboard. Acestea au asigurat colectarea datelor cu ajutorul unui chestionar digital (Survey123) și crearea bazei de date cu 151 de înregistrări dintre care 126 amplasament unice de parcare. Analiza bazei de date cu instrumente GIS a permis analiza parcurilor și a datelor colectate astfel: analiza grafică prin hărți realizate în Survey123 și ArcGIS online, analiză statistică prin rata de ocupare și analiză spațială realizate în ArcGIS online. Rezultatele sunt disponibile la vizualizare prin intermediul unui panou interactiv de tip Dashboard. Ca urmare a cercetării, chestionarul a fost îmbunătățit, a fost stabilită o metodologie de lucru aplicabilă și altor studii de caz iar pe baza datelor colectate se va analiza percepția utilizatorilor și vor fi stabilite o listă de îmbunătățiri pentru utilizatori.*

Cuvinte cheie: parcuri, rata de ocupare, baza de date ,GIS, Cluj-Napoca

1. Introducere

Lucrarea de față prezintă o cercetare extinsă în domeniul managementului urban, cu specific pe circulația pasivă din municipiul Cluj-Napoca. Parcurile analizate deservesc o multitudine de activități, asigurând parcare la instituții educaționale, administrative, agenți economici de mărimi diferite de la supermarket la complex comercial, locuințe individuale și colective, platforme industriale și zone mixte din centrul municipiului.

Pornind de la datele colectate, s-a realizat o matrice de date specifică cercetării circulației pasive care are scopul principal de a determina rata de ocupare.

Rata de ocupare (R_o) reprezintă raportul procentual dintre număr de locuri ocupate și numărul total de locuri al unei parcuri.

$$R_o = \frac{N_o}{N_t} \quad (1)$$

unde N_o = număr de locuri ocupate și N_t = număr total de locuri al parcurii.

Serviciul de parcare oferit de către amplasamentele documentate a fost evaluat calitativ de către recenzorii parcurilor prin observarea funcțiunilor oferite, a disponibilității de locuri pentru utilizatorii vulnerabili, a eventualelor disfuncțiuni și a altor informații suplimentare.

2. Date și metode

Lucrarea utilizează instrumente moderne din suita ESRI, din dotarea Facultății de Construcții. Aplicațiile ESRI sunt aplicații GIS și folosesc puterea locației pentru analiza spațială avansată a sistemului de parcuri din municipiul Cluj-Napoca.

Survey123 este o aplicație web și mobilă pentru crearea și colectarea de formulare și chestionare georeferențiate.

Aplicația Survey123 a asigurat colectarea datelor cu ajutorul unui chestionar digital și crearea bazei de date cu 151 de înregistrări dintre care 126 amplasament unice de parcare. Utilizând instrumentul de filtrare, au fost selectate pentru analiză statistică și spațială doar amplasamentele unice din Cluj-Napoca. La acesta au participat toți studenții specializării IUDR care au lucrat la proiectul de la disciplina Amenajare, organizarea și exploatarea parcurilor, pe parcursul ultimilor 3 ani.

Chestionarul realizat cu aplicația GIS Survey 123, conține 7 întrebări. Din cele șapte întrebări, două au răspuns deschis de tip paragraf scurt (text pe un rând) două întrebări au răspuns deschis de tip număr, o întrebare are răspuns deschis de tip paragraf lung (text pe mai multe rânduri), o întrebare are răspuns de tip locație pe hartă și permite georeferențierea răspunsurilor și o întrebare are răspuns închis de tip dată și oră. Întrebările notate cu * sunt întrebări obligatorii pentru cercetare și sunt stabilite la crearea chestionarului prin alegerea opțiunii de validare - Aceasta este o întrebare obligatorie (vezi Figura 1).

Chestionarul realizat se poate distribui cu link (<https://arcg.is/OnrK50>) sau cod qr (vezi Figura 2).

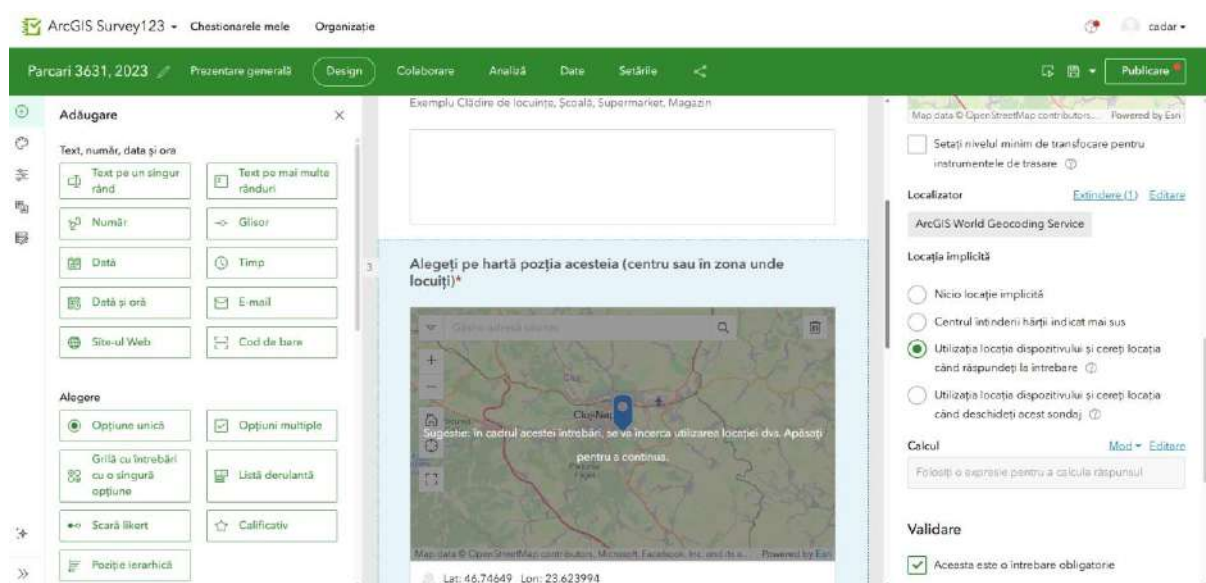


Figura 28. Creare chestionar digital aplicat în cercetare, <https://arcg.is/OnrK50>



Numele și Prenumele

Numele localității unde faceți numărătoarea și activitatea găzduită
Exemplu Clădire de locuințe, Școală, Supermarket, Magazin

Alegeți pe hartă poziția acestuia (centru sau în zona unde locuiți)*

Map data © OpenStreetMap contributors, Microsoft, Facebook, Inc. and its affiliates, Esri ... Powered by Esri

Lat: 46.770198 Lon: 23.590211

Data și ora numărării

Numărul total de autovehicule parcate*

Numărul total de parcări*

Acesta include toate locurile de parcare de pe amplasament (ocupate sau neocupate, gratuite, plătite sau cu abonament).

Informații suplimentare

Descrierea parcarii, dimensiunea amplasamentului, taxele de parcare sau alte note (Exemplu: NoodleP&K este adiacent centrului comercial, cu o suprafață de aproximativ 3.000 de metri pătrați; taxă de parcare pe tot parcursul zilei de luni până sâmbătă, intrarea doar din strada Frunzișului, semnalizată/neseamnalizată, maraje longitudinale etc.)

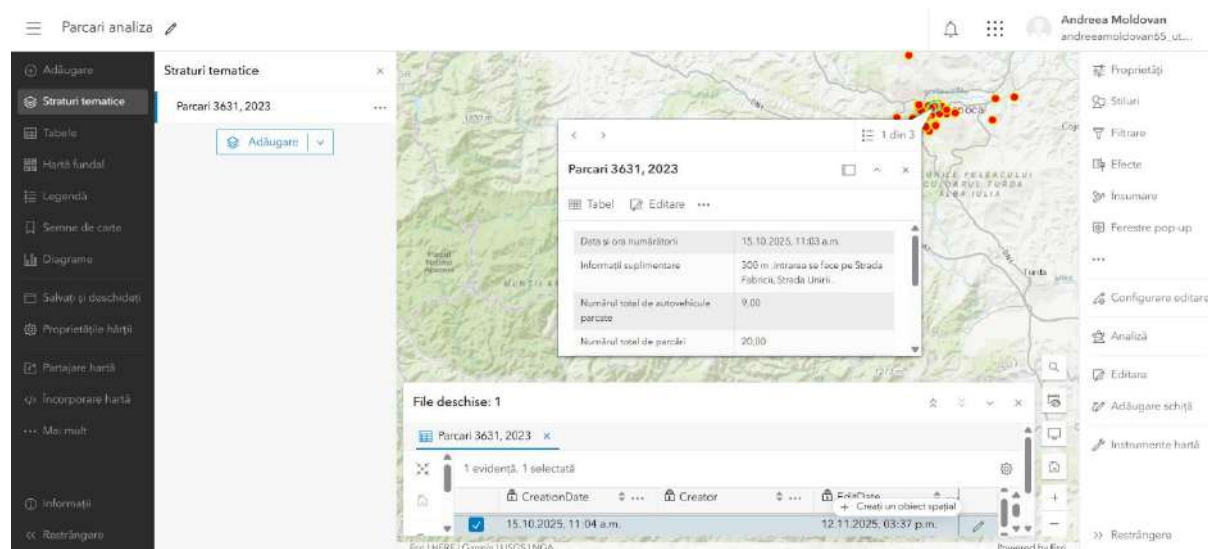


Figura 29. Chestionar digital aplicat on-line

Baza de date obținută după completarea chestionarelor de către studenții IUDR la disciplina Amenajarea, organizarea și exploatarea parcarilor este disponibilă ca strat georeferențiat a cărui tabelă de atribut poate fi descărcată din contul ESRI al utilizatorului pe dispozitive și utilizat în aplicații desktop sau găzduită online ca strat web și folosit în alte aplicații GIS online. Dintre parcarile recenzate, enumerăm: Mega Image Edgar Quinet, Campus studentesc Observator, Sigma Shopping Center, Kaufland strada Fabricii 12, Hotel Royal, Penny, Baza Sportivă Gheorgheni, Bloc de locuințe pe Strada București nr.70 A, Clădire de locuințe pe Alea Negoiu, Parcare din curtea Regionalei CFR Cluj, Parcare Leroy Merlin Vlaicu, Parcare clădire de locuințe de pe Str. Ialomiței nr. 5, Str. Horea, Campus studentesc Mărăști: Cămin 1F, Strada George Coșbuc - clădiri de locuințe, Strada George Coșbuc, Clinica Amethyst, Strada Augustin Presecan nr.2, Parcare campus observator, Clădire de locuințe pe str. Oltului, nr. 12 din Chinteni, Alea Gârbăuz Mănăstur (lângă Bam Market și Bin Go Solutions), Cluj Napoca în Piața Florin Piersic, Alea Gârbău (lângă Big Go Solutions), Parcare Profi Super pe strada Rapsodiei, Parcare Cipariu, Kaufland Mărăști pe strada Fabricii, Cluj Napoca pe Strada 21 Decembrie 1989 numărul 137, Bulevardul 21 decembrie 1989 nr.129, Carrefour de pe strada Observatorului, Mega Image, Dezmir, strada Crișeni, Parking Primăverii 20.

ArcGIS Online este utilizat pentru stocarea, partajarea și vizualizarea hărților și datelor spațiale online, colaborare în timp real și publicarea rapidă de hărți și aplicații, fără instalare locală (vezi Figura 3). Acesta a permis analiza complexă a parcarilor prin analiză statistică și analiză spațială obținând hărți și grafice. A fost determinată rata de ocupare a fiecărei parări

pe baza numărului de locuri ocupate în parcare, precum și a numărului total de locuri de parcare existente, realizând o coloană nouă în baza de date care s-a determinat automat pe baza formulei (1). Mai mult, a fost evaluată și percepția experienței utilizatorilor prin întrebarea deschisă „Informații suplimentare”.



Figură 30. Prelucrarea bazei de date în ArcGIS Online, captură de ecran

Dashboard este o aplicație care permite crearea de panouri interactive pentru monitorizarea și prezentarea datelor în timp real. Dashboard este o aplicație ideală pentru vizualizarea mai multor hărți diferite obținute pe baza aceluiași strat de date. Rezultatele sunt prezentate în secțiunea 3. Rezultate ale lucrării.

Ca metodologie, se poate concluziona ca aplicațiile GIS utilizate în această cercetare permit un flux de lucru complet de la colectarea datelor georeferențiat prin Survey123, analiza lor în Survey123 și ArcGIS Online și prezentarea lor în Dashboard pentru o vizualizare facilă.

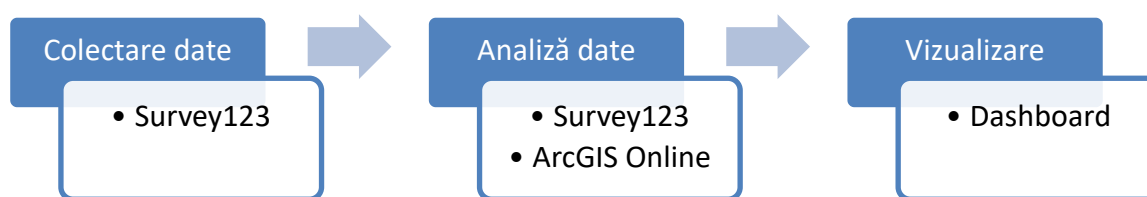


Figura 31. Metodologie de lucru pentru analiza avansată a sistemului de parcuri din municipiul Cluj-Napoca cu utilizând instrumentele de management al activității urbane

3. Rezultate

Rezultatele obținute direct din Survey 123 sunt prezentate etapizat ca o etapă exploratorie în familiarizarea cu instrumentele folosite. Figura 5 prezintă numărul de răspunsuri și numele colegilor ce au completat chestionarul. Până în prezent au fost obținute 151 de răspunsuri.

întrebarea privind numărul total de parcări de pe amplasament

Cele mai multe autovehicule parcate sunt în parcări de mici dimensiuni între 1 și 50 de locuri pe amplasament (vezi Figura 8). Se poate observa că amplasamentele studiate acoperă o arie mare a municipiului. Vizualizarea hărții cu rezultatele oferă o vedere clară asupra reprezentativității cercetării (vezi Figura 9).

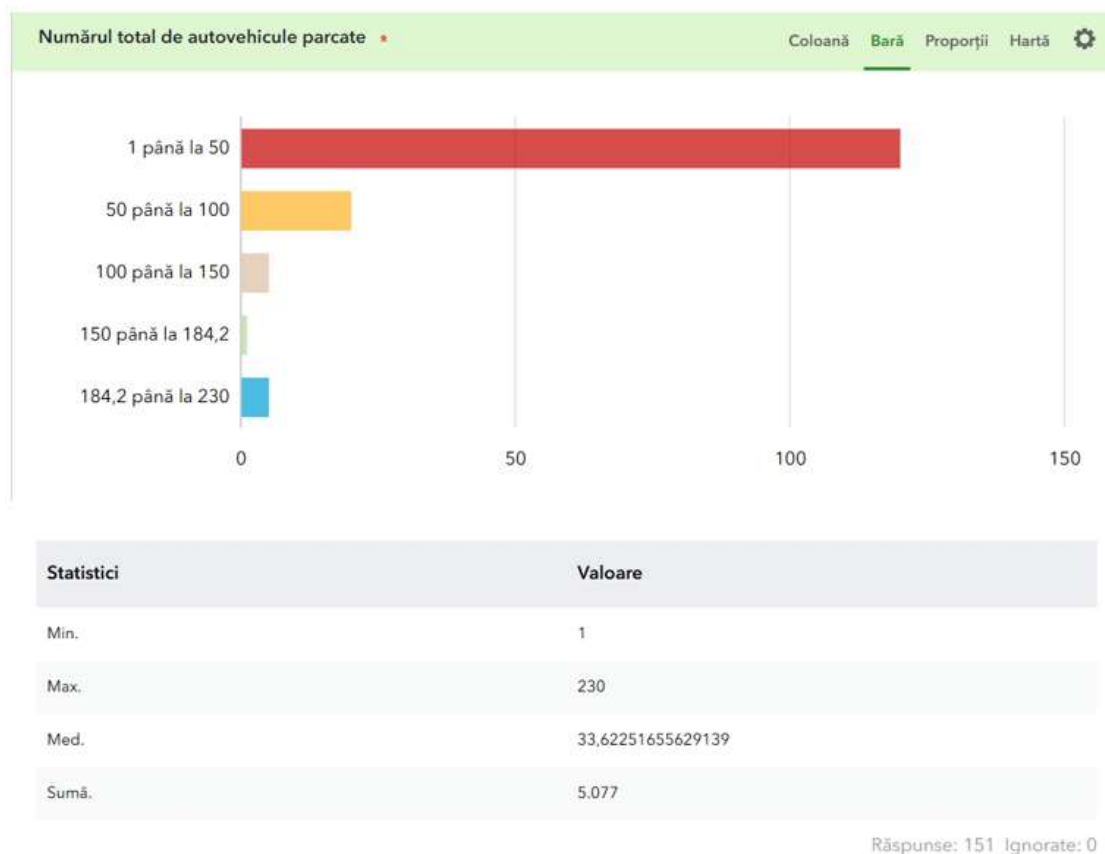


Figura 35. Rezultate grafice și statistice implicite oferite în aplicația Survey123 pentru analiza răspunsurilor la întrebarea privind numărul de autovehicule parcate pe amplasament



Figura 36. Rezultate georeferențiate oferite implicit în aplicația Survey123 pentru analiza răspunsurilor la întrebarea privind numărul de autovehicule parcate pe amplasament



Rezultatele implicite din aplicație au fost explorate prin grafice, statistică descriptivă și ca localizare în hartă. Stratul web de obiecte analizate are o tabelă de atribut ce permite adăugarea de coloane și calculul de noi variabile (vezi Figura 10).

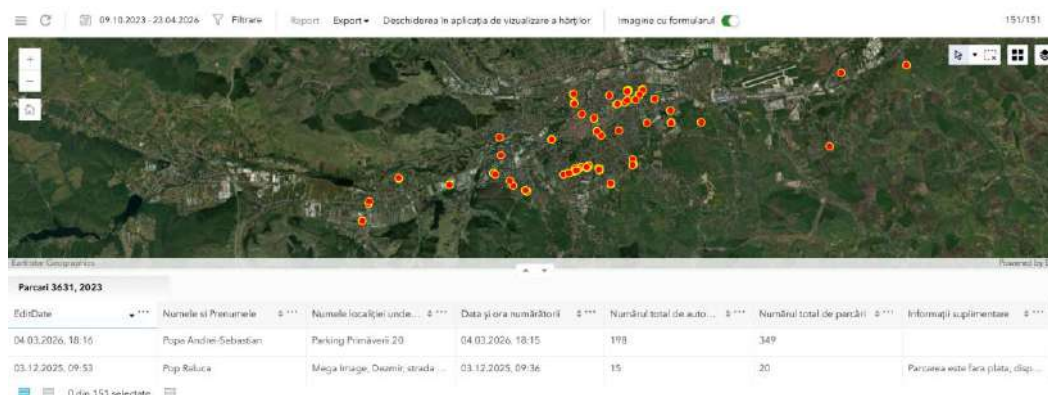


Figura 37. Tabela de atribut a stratului de date web ce cuprinde toate înregistrările de pe teren

Analiza georeferențiată a datelor prin hărțile realizate în ArcGIS online, permite în primul rând determinarea ratei de ocupare, ca variabilă calculată automat în tabela de atribut a bazei de date a stratului de obiecte web, folosind ecuația (1). Aceasta presupune raportarea numărului de locuri ocupate pe fiecare amplasament la numărul total de locuri de parcare disponibile.

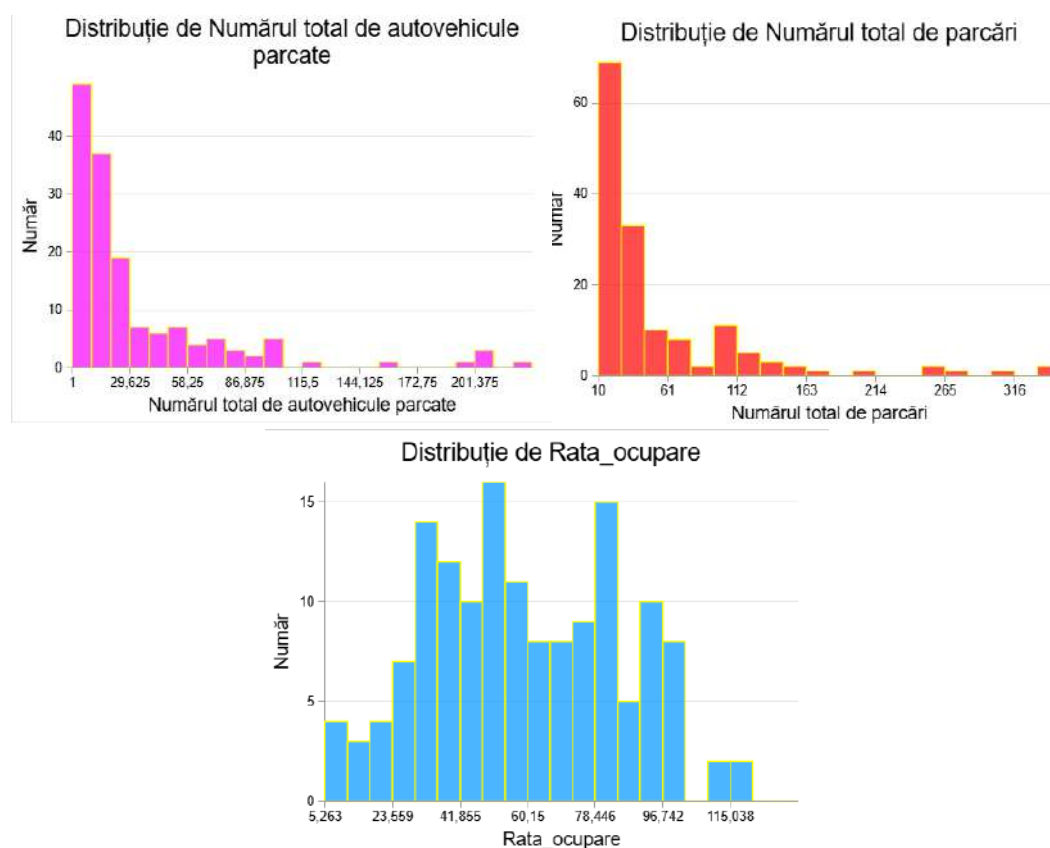


Figura 38. Evoluția pe intervale predefinite a celor trei variabile analizate

Histogramele obținute pentru cele trei variabile au fost generate de către aplicație, după ce s-au selectat intervalele de agregare. Acestea indică variația numărului de autovehicule parcate, numărul total de locuri de parcare și a ratei de ocupare în amplasamentele analizate. În ArcGIS Online se pot realiza mai multe hărți web pornind de la aceeași bază de date, respectiv a aceluiași stratul de obiecte georeferențiate.

Utilizarea aplicației Dashboard a permis vizualizarea aceluiași strat web în mai multe hărți în paralel, în care au fost prezentate simbologii diferite după ratele de ocupare în amplasamentele studiate, analiză spațială a numărului de locuri ocupate ca hartă termică, a numărului total de locuri de parcare agregate în amplasamentele studiate și a locației amplasamentelor studiate.

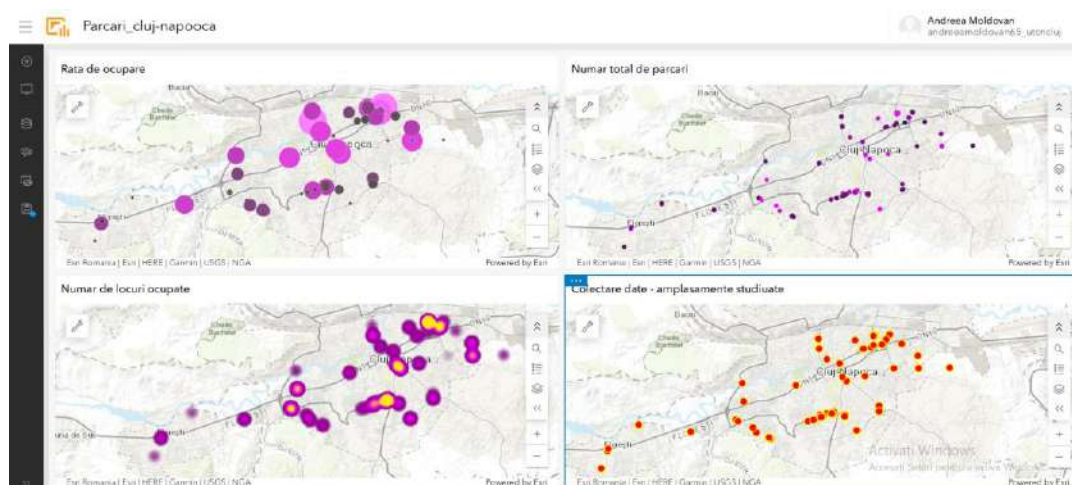


Figura 39. Panou interactiv (Dashboard)

4. Concluzii

În cadrul studiului, instrumentele GIS din suita ESRI au fost utilizate pentru realizarea unei analize integrate a sistemului de parări din municipiul Cluj-Napoca, prin colectarea, gestionarea, prelucrarea și vizualizarea datelor geospațiale. Achiziția datelor s-a realizat prin intermediul aplicației Survey123, utilizând un chestionar digital georeferențiat, iar prelucrarea și analiza statistică și spațială a bazei de date au fost efectuate în mediile Survey123 și ArcGIS Online. Vizualizarea rezultatelor s-a realizat prin intermediul aplicației Dashboard, care a permis reprezentarea simultană a indicatorilor analizați și a distribuției spațiale a amplasamentelor studiate. Instrumentele utilizate fac parte din infrastructura software disponibilă în cadrul Facultății de Construcții.

Acestea au permis colectarea datelor cu ajutorul unui chestionar digital (Survey123) și crearea bazei de date cu 151 de înregistrări dintre care 126 amplasament unice de parcare. Apoi, au asigurat generarea ratei de ocupare, analiza statistică și spațială a datelor colectate (ArcGIS Online), precum și vizualizarea acestora (Dashboard).

Având în vedere că răspunsul la întrebarea următoare „Numele locație unde faceți numărătoarea și activitatea găzduită?” a generat 3 tipuri de variabile și prelucrarea rezultatelor este anevoioasă, aceasta trebuie reformulată. Inițial s-a cerut să fie investigate doar amplasamente din Cluj-Napoca dar studenții au ales și parări din localitatea lor natală. Se vor

aplica pe viitor trei întrebări, două cu răspuns deschis privind localitatea unde se află amplasamentul analizat și denumirea obiectivului, precum și una cu răspuns închis privind activitatea găzduită și care va cuprinde o listă predefinită de opțiuni. Chestionarul digital a fost îmbunătățit prin corectarea enunțului întrebării „Alegeți pe hartă poziția acestuia” deoarece erau două litere inversate.

Noul chestionar este disponibil la codul qr din Figura 13.



Figura 40. Noul chestionar disponibil

În analiza rezultatelor disponibile în aplicația Survey 123 se pot observa perioadele de activitate intensă de colectare a datelor de către studenții IUDR. Se poate observa seriozitatea cu care s-au colectat răspunsurile de către studenții din generația noastră, marea majoritate fiind colectate exact în zilele în care am avut ore.



Figura 41. Activitate completare chestionare de către studenții IUDR

Mai mult, a fost evaluată și percepția experienței utilizatorilor prin întrebarea deschisă „Informații suplimentare”. Acestea vor fi analizate extins într-o lucrare viitoare deoarece stau la baza propunerilor de îmbunătățire a sistemului de parcare din municipiul Cluj-Napoca.

BIBLIOGRAFIE

1. Tosa C., Cadar R., *Colectarea, prelucrarea și reprezentarea spațială a datelor în ingineria urbană*, April 2019, Publisher: UT Press, ISBN: 978-606-737-361-5.
2. Boitor R.M., Dragomir, M.L., Cadar, R.D. (2023). *A new P&R in the parking system. A case study in a small urban area*. CIBv2025 International Scientific Conference Civil Engineering and Building Services, 6 th – 7 th November 2025, Brașov, Romania.
3. Esri. (2024). *ArcGIS Online*. Preluat de la <https://www.arcgis.com>
4. Esri. (2024). *ArcGIS Survey123*. Preluat de la <https://survey123.arcgis.com>
5. Esri. (2024). *ArcGIS Dashboards*. Preluat de la <https://www.arcgis.com>



SECȚIUNEA 4

Măsurători Terestre și Cadastru, master Topografie Digitală în Construcții și Cadastru



ANALIZA EVOLUȚIEI ÎN TIMP A CONFIGURAȚIEI TERENURILOR PRIN UTILIZAREA INTEGRATĂ A INFORMAȚIILOR ÎN FORMAT ANALOGIC ȘI ÎN FORMAT DIGITAL

Autor/autori

Alexia Heghedus, Ioan M. Ciceu

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

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: ioanciceu59@gmail.com](mailto:ioanciceu59@gmail.com).

Îndrumător/îndrumători

Prof. Dr. Ing. Ioel Veres

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: ioel.veres@mtc.utcluj.ro](mailto:ioel.veres@mtc.utcluj.ro).

REZUMAT: *Lucrarea analizează evoluția în timp a configurației terenurilor prin măsurători geodezice evidențiind metodele utilizate, prin avantajele și limitările acestora. Programele precum: AutoCad, Surfer, QGIS fac ca acest lucru să fie ușor de realizat, dar în unele cazuri este necesară utilizarea informațiilor din planuri topografice mai vechi în format analogic.*

Lucrarea prezintă diferite metode de operare cu informații analogice și digitale pentru analiza evoluției unei cariere de calcar utilizând programe precum: AutoCad, Agisoft, Surfer, Civil 3D. Pentru a obține situația actuală din teren s-a realizat un zbor cu drona, datele fiind prelucrate în Agisoft. Configurația actuală a carierei a fost comparată cu o configurație mai veche disponibilă doar în format analogic. Din acest motiv a fost necesară conversia informațiilor în vederea realizării modelului 3D al terenului.

Analiza evoluției carierei s-a făcut prin două metode. Prima metodă constă în compararea celor două modele 3D în Surfer. A doua metodă presupune extragerea unui nor de puncte din modelul realizat în Agisoft, urmată de raportarea acestuia în AutoCad și Civil 3D, pentru ca ulterior să realizăm compararea.

Cuvinte cheie: Tehnologie UAV, modele 3D, precizie, integrarea metodelor.

1. Descrierea aparaturii folosite și softuri utilizate în procesare

Lucrarea analizează evoluția în timp a configurației terenurilor prin măsurători geodezice utilizând informații analogice și digitale efectuate într-o carieră de calcar, utilizând programe precum: AutoCad, Agisoft MetaShape, Surfer 11, Civil 3D. Pentru achiziția datelor s-au utilizat următoarele aparate: Aparat HI-Target V30, Dronă DJI Mavic II.



Fig. 1-Aparat HI- Target V30



Acuratețe STATIC:

- Horizontal: $\pm(2.5 + 1)$ mm;
- Vertical: $\pm(5 + 1)$ mm;
- antena UHF;
- canale receptoare: 220;
- sateliți suportați: GPS, GLONASS, GALILEO.



Fig. 2- Drona DJI Mavic II

Acuratețe:

- Horizontal: ± 0.1 m(când vision positioning este activ);
 ± 0.5 m(cu GPS positioning);
- Vertical: ± 0.3 m(când vision positioning este activ);
 ± 1.5 m(cu GPS positioning);
- memorie internă: 8GB;
- sateliți suportați: GPS, GLONASS;
- rezistentă maximă la vânt: 29-38km/h;
- timp maxim de zbor (fără vânt): 31 minute (la viteză constantă de 25k/h).

2. Studiul amplasamentului

Măsurătorile au fost efectuate într-o carieră de calcar din comuna Băbeni, județul Sălaj, lângă drumul DN1H. suprafața zonei pentru care am efectuat zborul este de 18 ha. (vezi Figura 1)



Figura 3. Situația carierei

3. Studiu de caz

Pentru a putea analiza evoluția configurației terenului din cadrul carierei, am efectuat un zbor cu drona pentru a obține situația actuală a acestuia. Datele obținute au fost procesate prin metode fotogrammetrice digitale, urmând a fi utilizate pentru efectuarea unei comparații prin diverse metode, cu scopul de a evidenția modificările survenite în timp.

Deoarece situația inițială a terenului, cea la care dorim să ne raportăm, se află în format analogic (planșă și tabel de coordonate), a fost necesar să scriem manual într-un fișier .TXT punctele ce constituie planșa, urmând să le raportăm într-un AutoCad, apoi cu ajutorul programului Civil 3D să prelucrăm datele pentru obținerea modelului digital de elevație a terenului.

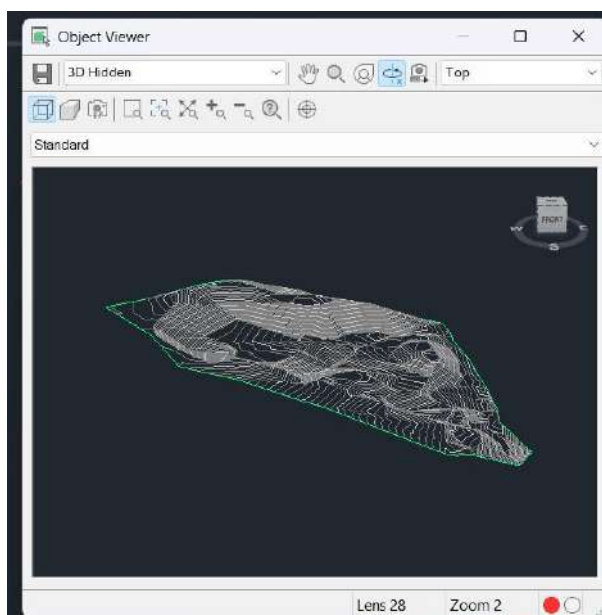


Figura 4. Modelul digital obținut din datele analogice

După obținerea celor două modele digitale de elevație vom începe analiza configurației terenului și observarea diferențelor prin două metode: cu ajutorul programului Surfer 11, iar a doua metodă prin crearea unui model de elevație în Civil 3D folosind un nor de puncte scos din Agisoft Metashape.

3.1. Realizarea analizei configurației terenului cu ajutorul programului Surfer 11

Analiza a fost realizată prin suprapunerea în programul Surfer 11 a două fișiere: unul exportat din Agisoft Metashape, iar al doilea fișier din programul Civil 3D. Pentru a putea fi introduse și suprapuse cât mai ușor, am exportat din Civil 3D un fișier cu extensia .TIFF, fișier ce l-am importat în Surfer 11, iar din Agisoft Metashape am exportat un fișier cu extensia .XYZ, fișier importat în același proiect cu cel din Civil 3D.

A fost necesară o atenție sporită în procesul de selectare a setărilor de export, astfel încât volumul de informații să nu fie prea mare, depășind capacitatea de procesare a sistemului, dar



în același timp să nu pierdem anumite detalii esențiale ale măsurătorii și să verificăm sistemul de coordonate.

În urma suprapunerii am obținut diferența dintre cele două situații, diferență care reprezintă volumul de exploatare al carierei. Acest volum este rezultatul analizei configurației terenului, adică situația unde am dorit să ajungem, rezultat apropiat de cel obținut din Civil 3D, 30.000 m³.

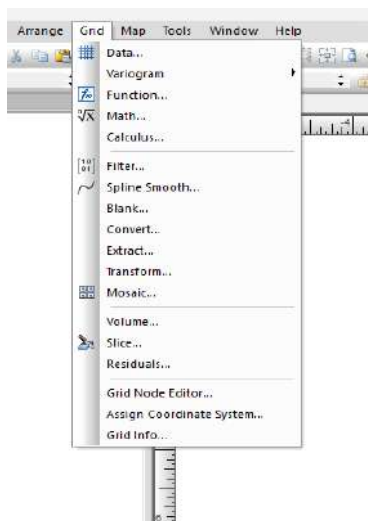


Figura 5. Alegerea opțiunii din meniul programului Surfer 11

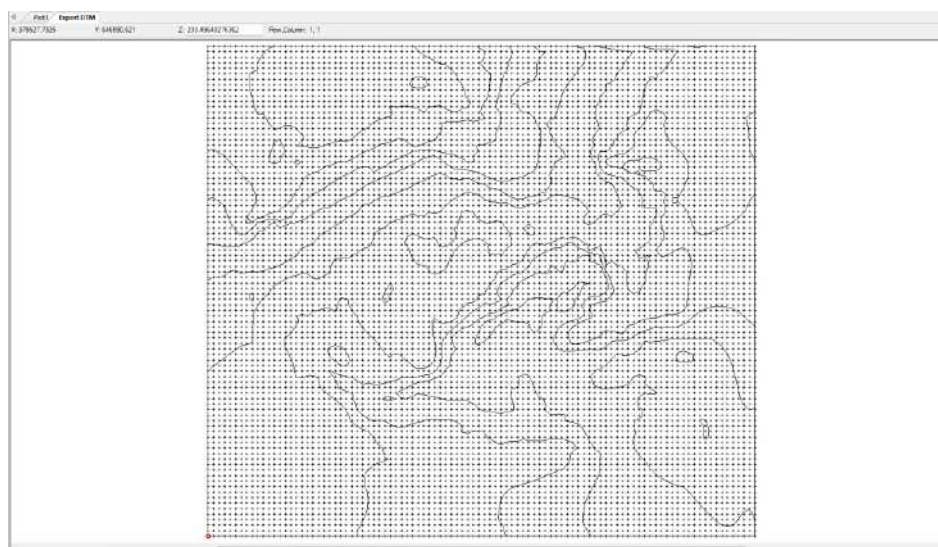


Figura 6. Modelul obținut în aplicația Surfer 11

3.2. Realizarea analizei configurației terenului în Civil 3D folosind norul de puncte extras din programul Agisoft Metashape

Analiza configurației terenului a fost realizată asemănător cu cea prezentată în metoda anterioară, doar că în această metodă suprapunerea planurilor a fost realizată în programul Civil 3D. Pentru a putea importa datele din Agisoft Metashape a fost nevoie de exportul unui fișier cu extensia .TIFF.

Din cauza volumului mare de date, am fost nevoiți să împărțim datele în cinci fișiere mai mici pe care le-am importat ulterior în Civil 3D, iar în urma suprapunerii am observat diferențele dintre cele două planuri. Această diferență reprezintă rezultatul analizei noastre, adică volumul de material exploatat. În urma analizei am obținut un volum de excavație de 29.756 m³.

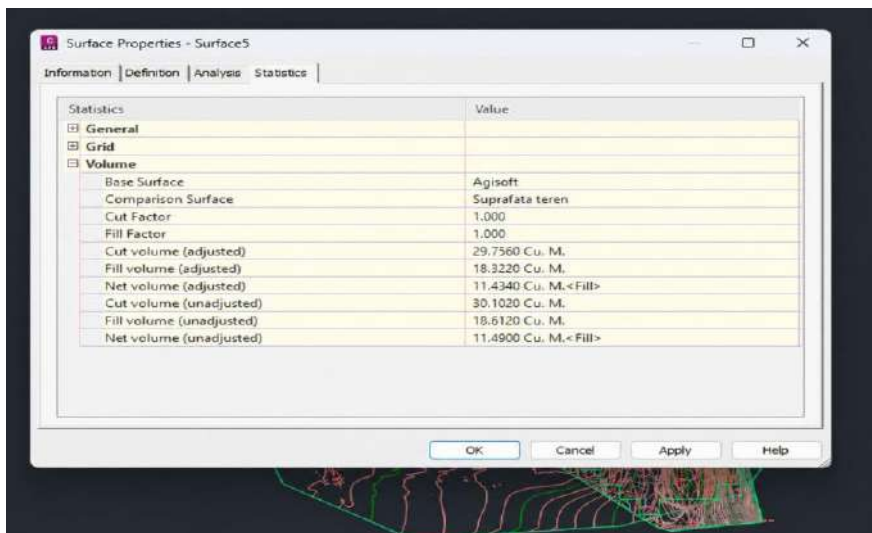


Figura 7. Rezultatul obținut în urma suprapunerii

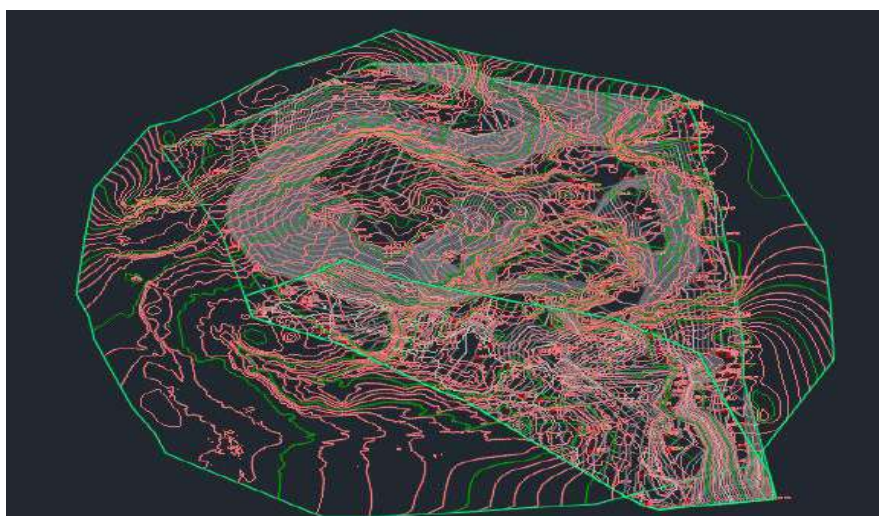


Figura 8. Suprapunerea celor două planuri

4. Procesarea datelor

Prima etapă a presupus planificarea zborului, care include stabilirea parametrilor de achiziție, în funcție de scopul proiectului și rezoluția dorită. Urmează achiziția datelor, etapa în care drona captează imagini, imagini în care trebuie să fie vizibile punctele de control la sol (GCP) măsurate cu GPS-ul HI-Target V30.

Etapă de procesare a fost realizată în Agisoft Metashape, aceasta presupunând verificarea calității imaginilor și eliminarea cadrelor necorespunzătoare. Ulterior în cadrul procesării

fotogrammetrice, se realizează alinierea imaginilor, generarea norului de puncte dens, precum și crearea modelelor digitale ale terenului și ortofotoplanului.

Locația în care am efectuat măsurătorile fiind o carieră de calcar, a trebuit să alegem cu atenție perioada în care să realizăm zborul cu drona și să-l optimizăm pentru că razele solare pot influența calitatea imaginilor. Cu toate că am programat și optimizat cu atenție zborul, unul dintre punctele GCP nu a fost vizibil decât în doua imagini, motiv pentru care am evitat folosirea lui în georeferențiere și am căutat un alt reper fix, vizibil în imagini pentru a nu fi nevoiți să refacem întreg zborul.



Figura 9. Modelul 3D al situației actuale

În final, etapa de post-procesare și analiză constă în interpretarea rezultatelor obținute, extragerea informațiilor relevante și integrarea acestora în soft-urile dorite (Surfer 11 și Civil 3D).

O altă etapă în realizarea analizei este aducerea în format digital a situației inițiale a terenului, cea la care dorim să facem raportarea. Pentru aducerea informației din format analogic în format digital a fost necesară transcrierea manuală a coordonatelor punctelor existente în tabelul aferent planșei într-un fișier .TXT. Am raportat fișierul de coordonate în AutoCad, apoi am utilizat aplicația Civil 3D pentru realizarea modelului digital al terenului pe baza coordonatelor prelucrate.

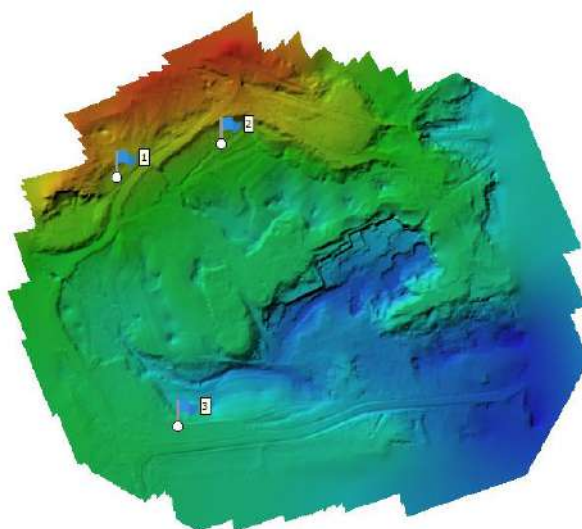


Figura 10. Modelul digital de elevație al terenului curățat de vegetație, anexe și blocuri de calcar deja exploatare

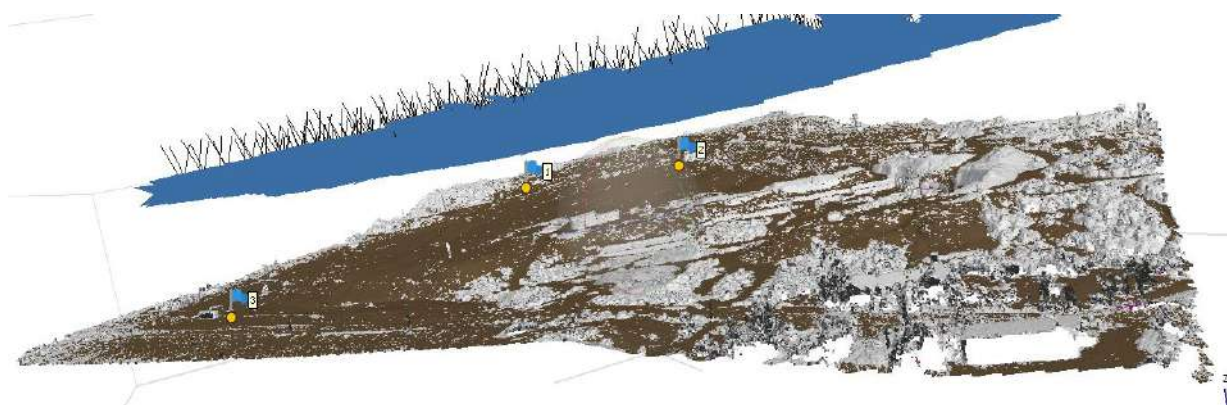


Figura 11. Curățarea terenului

În vederea obținerii modelului digital al terenului destinat analizei, am efectuat curățarea suprafeței prezentate în Figura 8. Procesul a urmărit înlăturarea elementelor disruptive-vegetația, construcțiile provizorii și blocurile de calcar deja exploatare- pentru a asigura fidelitatea datelor topografice.

5. Concluzii

Aducerea informației din format analogic în format digital face lucrurile mult mai simple și mai rapide. Putem salva, organiza și accesa datele mult mai ușor, fără să depindem de suporturi fizice care se pot deteriora. În plus, informația devine mult mai ușor de distribuit și de modificat.

Digitalizarea nu doar că ne economisește timp și efort, dar și face informația mai sigură și mai accesibilă în viața de zi cu zi, iar cu ajutorul soft-urilor existente putem efectua orice analiză dorim cu o precizie ridicată.

În urma analizei configurației terenului efectuată prin doua metode, am obținut două rezultate aproape identice, fapt care asigură acuratețea soft-urilor.



BIBLIOGRAFIE

1. [Moldoveanu C., *Geodezie*, Matrix Rom, București, 2002.]
2. [Gradinaru, Catalin Constantin. "Elemente De Suport Pentru Securitatea Națională Și Europeană Caracteristice Domeniului Geospacial." *Structuri Și Sisteme Satelitare În Ue Și Statele Membre–Stadiul Actual Și Tendințe (Geospatial Domain Support Measures for National And European Security. Satellite Systems and Structures In European Union and Member States–Present And Future)* (2015).]
3. [Rey J.M., Techniques GPS en mode cinématique. *Mensuration Photogrammetrie Genie Rural*, 95, 462–465 (1997).]
4. [Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.]
5. [Smaranda, N. E. (2018). *Fotogrammetrie - Bazele teoretice privind preluarea și prelucrarea informațiilor*. Cluj-Napoca: Editura U.T. PRESS.]
6. [Naș, S. (2015). *Sisteme Informatice Geografice - Teorie și aplicații*. Cluj-Napoca: Editura U.T. PRESS.]
7. [Bondrea, M. (2007). *Topografie Inginerească*. Cluj-Napoca: Editura AcademicPres.]
8. [<https://earth.google.com>]



CONSIDERAȚII PRIVIND REALIZAREA MĂSURĂTORILOR UTILIZÂND DIFERITE TIPURI DE INSTRUMENTE TOPOGRAFICE

Autori

Sarah MAN¹, Alexandra-Rodica LEITI², Alexia Cristina RUS³, Miruna-Ștefania PAPP⁴.

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Man.Va.Sarah@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Leiti.Ma.Alexandra@student.utcluj.ro

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Rus.Pe.Alexia@student.utcluj.ro

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Papp.Ti.Miruna@student.utcluj.ro

Îndrumător

Asist.Drd.Ing. Mihai Dorin ISAC⁵

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Mihai.Isac@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Studiul diferențelor dintre măsurătorile efectuate cu același tip de aparat, dar modele diferite, reprezintă un aspect esențial în domeniul măsurătorilor inginerești, în special atunci când se analizează fenomene sensibile precum trasarea. Precizia instrumentelor utilizate influențează în mod direct calitatea și fiabilitatea datelor obținute, ceea ce poate conduce la interpretări diferite când vine vorba de analize asupra comportării structurilor sau a terenului.

În cadrul acestei lucrări se propune realizarea unei analize comparative între rezultatele a două seturi de măsurători efectuate cu ajutorul a trei stații totale. Cele trei aparate sunt similare din punct de vedere funcțional, diferența lor constând în modelul acestora. În cadrul analizei se vor menține aceleași condiții de măsurare: aceiași operatori, aceeași zonă de studiu, aceleași puncte vizate respectiv metode de lucru. Se urmărește izolarea influenței factorului de precizie în funcție de modelul diferit al celor două stații și evidențierea acestuia în ceea ce privește determinarea trasărilor.

Cuvinte cheie: precizie, măsurători, eroare, analiză, urmărire.

1. Introducere

Lucrarea de față își propune să analizeze comparativ rezultatele obținute în urma măsurătorilor efectuate cu trei tipuri de aparate, Leica TC405, TCR407, TS02 plus. Prin menținerea condițiilor de măsurare identice se vor pune în evidență erorile susținute pe baza diferenței de model a aparaturii. Astfel, lucrarea are ca obiectiv analiza modului în care diferențele constructive și tehnologice ale echipamentelor pot afecta determinarea trasărilor și implicit calitatea rezultatelor obținute.

2. Studiu de caz

2.1. Aparatura utilizată

Pentru această lucrare, măsurătorile au fost efectuate cu trei aparate Leica, TC 405, TCR 407 și TS02 plus, un trepied de lemn și prisma cu constanta de 0.00mm și mini-prisma cu constanta de 17.5mm. Aparatele TC405, TCR407 și TS02 plus sunt trei stații totale cu precizia de 7 secunde și cu aceleași dotări funcționale.

Stația totală Leica TC405 este o stație totală mai veche din seria TPS400 (manuală) este destinată lucrărilor topografice clasice. Aceasta măsoară unghiuri distanțe are o construcție robustă și o interfață simplă.

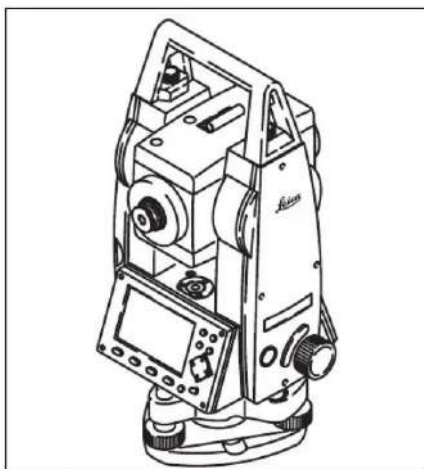


Fig.1. Reprezentare grafică a stațiilor totale TC405 și TCR407.

Stația totală Leica TCR407 este tot din seria TPS400 dar mai avansată decât TC405. Diferența principală dintre aceste stații este funcția reflectorless a TCR407 care permite măsurarea în teren fără prismă.

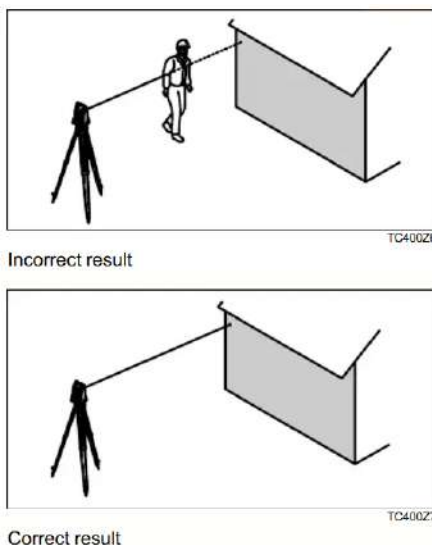


Fig.2. Exemplificare grafică a funcției reflectorless.

Stația totală Leica TS02 plus face parte din seria mai nouă Flex Line. Aceasta are un software modern Flex Field Plus, o interfață intuitivă, memorie mai mare și o autonomie mai mare.

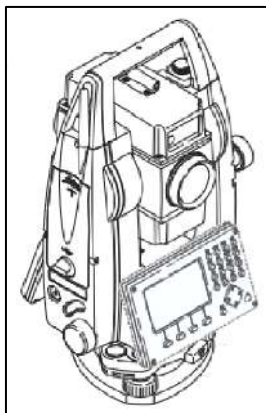


Fig. 3. Reprezentare grafică a stației TS02 plus

2.2. Explicarea procedurii utilizat în trasare

Drumuirile au scopul de a îndesi rețeaua de puncte cu coordonate cunoscute necesare ridicărilor topografice. În principiu, la drumuire se pleacă de pe un punct de coordonate cunoscute (din rețeaua geodezică sau determinat prin intersecții sau cu tehnologie GNSS), se determină pe parcurs un număr de puncte noi, punctul final al drumuirii fiind tot un punct de coordonate cunoscute. Atât la plecare cât și la închiderea drumuirii este necesar să se vizeze un punct de coordonate cunoscute pentru a transmite orientarea și a calcula neînchiderea pe orientare.

După forma traseului drumuirea aferentă măsurărilor din proiect este una închisă pe punctul de plecare (cu circuit închis).

Operațiunile de determinarea a drumuirii în teren sunt:

- a) Recunoașterea în teren a traseului drumuirii și a punctelor din care pleacă și se închide drumuirea. De asemenea se recunoaște amplasamentul, vizibilitatea și staționabilitatea punctelor drumuirii.
- b) Se marchează punctele de stație ce alcătuiesc drumuirea cu țărș și cui.
- c) Se staționează cu aparatul într-un punct de coordonate cunoscute și se vizează un alt punct de coordonate cunoscute, astfel obținându-se baza de trasare.
- d) Din primul punct se trasează punctele drumuirii prin retro-intersecție până când se acoperă tot terenul de măsurat și se ajunge cu aparatul înapoi în punctul de pornire.
- e) După trasarea tuturor punctelor, cu aparatul ajuns înapoi în punctul de pornire se vizează punctul de orientare.
- f) Dacă eroarea orientării pe baza de trasare se încadrează în toleranța aparatului drumuirea este corectă.

După efectuarea drumuirii se staționează în punctele trasate și se radiază punctele de detaliu aferente proiectului.

2.3. Descrierea pașilor efectuați în teren

Efectuarea măsurătorilor a avut loc în cadrul terenului Facultății de Construcții de pe strada Observatorului numărul 72, număr cadastral 304629. Măsurătorile au fost efectuate pe perioada a cate 3 ore cu fiecare aparat, sub aceleași condiții meteorologice. Am efectuat din punct de vedere al formei traseului poligonal, o drumuire închisă cu fiecare aparat. Primul aparat cu care am efectuat ridicări a fost stația TC405 cu care mai întâi am staționat pe punctul 101, de coordonate cunoscute și am vizat punctul 102, de coordonate cunoscute, astfel am obținut baza de trasare pentru poligonație. Următorul pas a fost să facem stație prin retro-intersecție în punctele 104, 105, 108, 109 și înapoi în 101 pentru închiderea drumuirii.

După ce am constatat corectitudinea măsurătorilor am efectuat radierea punctelor de detaliu ale halei din curtea facultății. Din stația 101 am radiat punctele 1H, 2H și 3H urmărind să fie cât mai aproape de colțurile clădirii. Din stația 108 am radiat punctul 4H și 5H, urmărind să fie cât mai aproape de colțurile clădirii. Din stația 109 am radiat punctul 6H urmărind să fie cât mai aproape de colțurile clădirii.

Următorul set de măsurători a fost efectuat după o săptămână timp în care a plouat, dar măsurătorile au fost efectuate la același moment din zi și condițiile meteorologice au fost asemănătoare, cu schimbări minore de temperatură. Măsurătorile realizate cu stația totală TCR407 și TS02 plus au fost efectuate analog cu cele realizate cu stația totală TC405.



Fig.4. Calarea și măsurarea înălțimii aparatului.



Fig.5. Vizarea punctelor de stație cu stația TCR407.

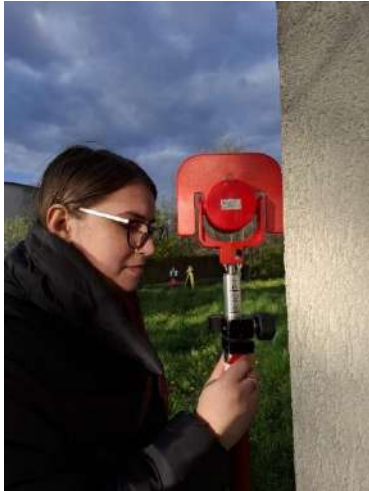


Fig. 6. Staționarea cu prisma în punct de detaliu.



Fig. 7. Vizarea punctelor de detaliu cu stația TC405.



Fig. 8. Staționarea cu mini-prisma în punct de stație.



Fig. 9. Staționarea cu prisma în puncte de detaliu.



Fig. 10. Vizarea punctelor de detaliu cu stația TS02 plus.



2.4. Rezultatele măsurătorilor

După efectuarea măsurătorilor am extras datele din fiecare stație, adică coordonatele atât planimetrice cât și altimetrice ale fiecărui punct, cât și înălțimile aparatului din fiecare stație și înălțimile prismei utilizate în punctele vizate. După obținerea datelor și cu ajutorul aplicațiilor de procesare și prelucrare: AutoCAD, Surfer și QGIS am obținut următoarele planșe în conținutul cărora se pot observa rezultatele măsurătorilor noastre:

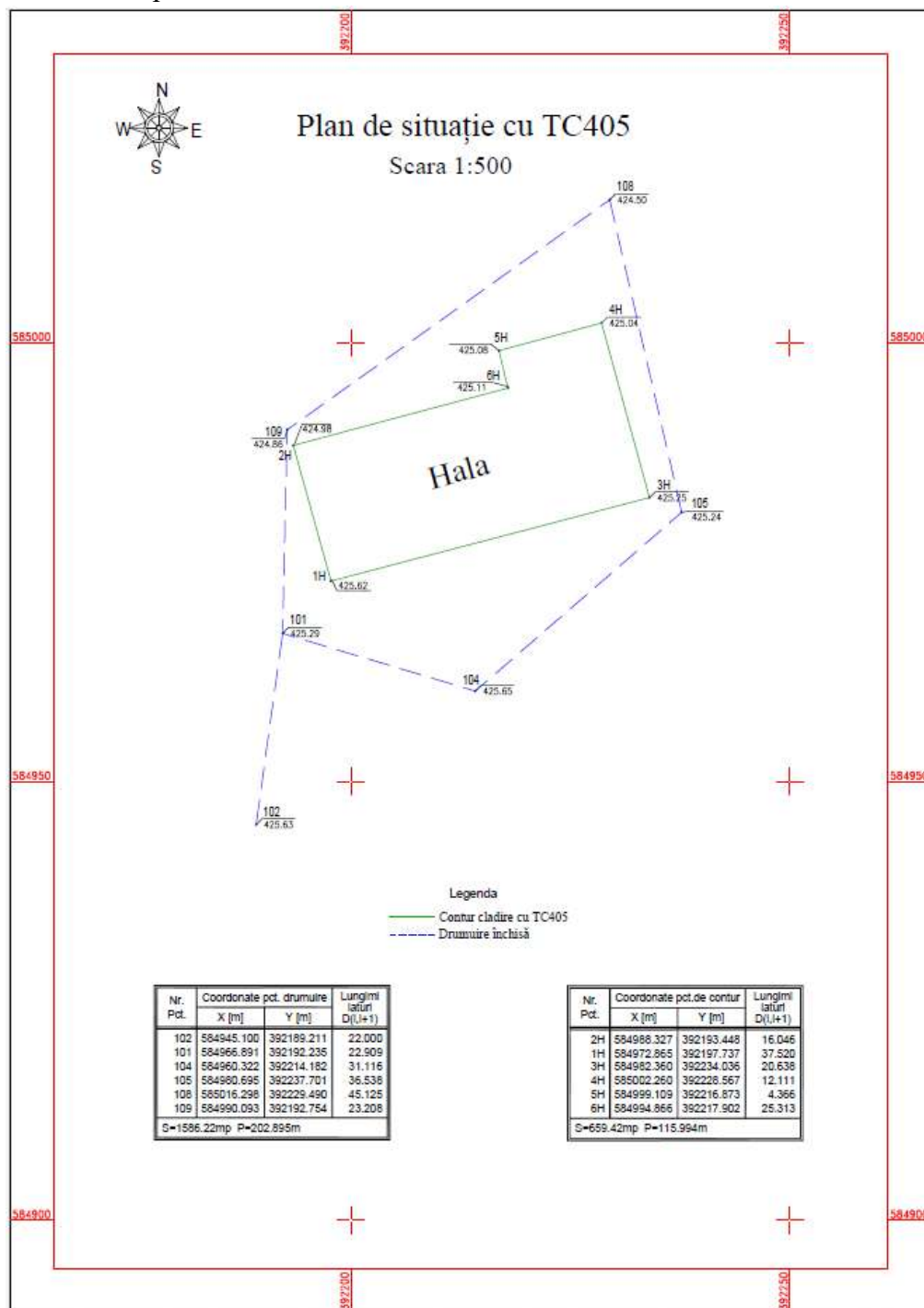


Fig. 11. Plan de situație cu TC405.

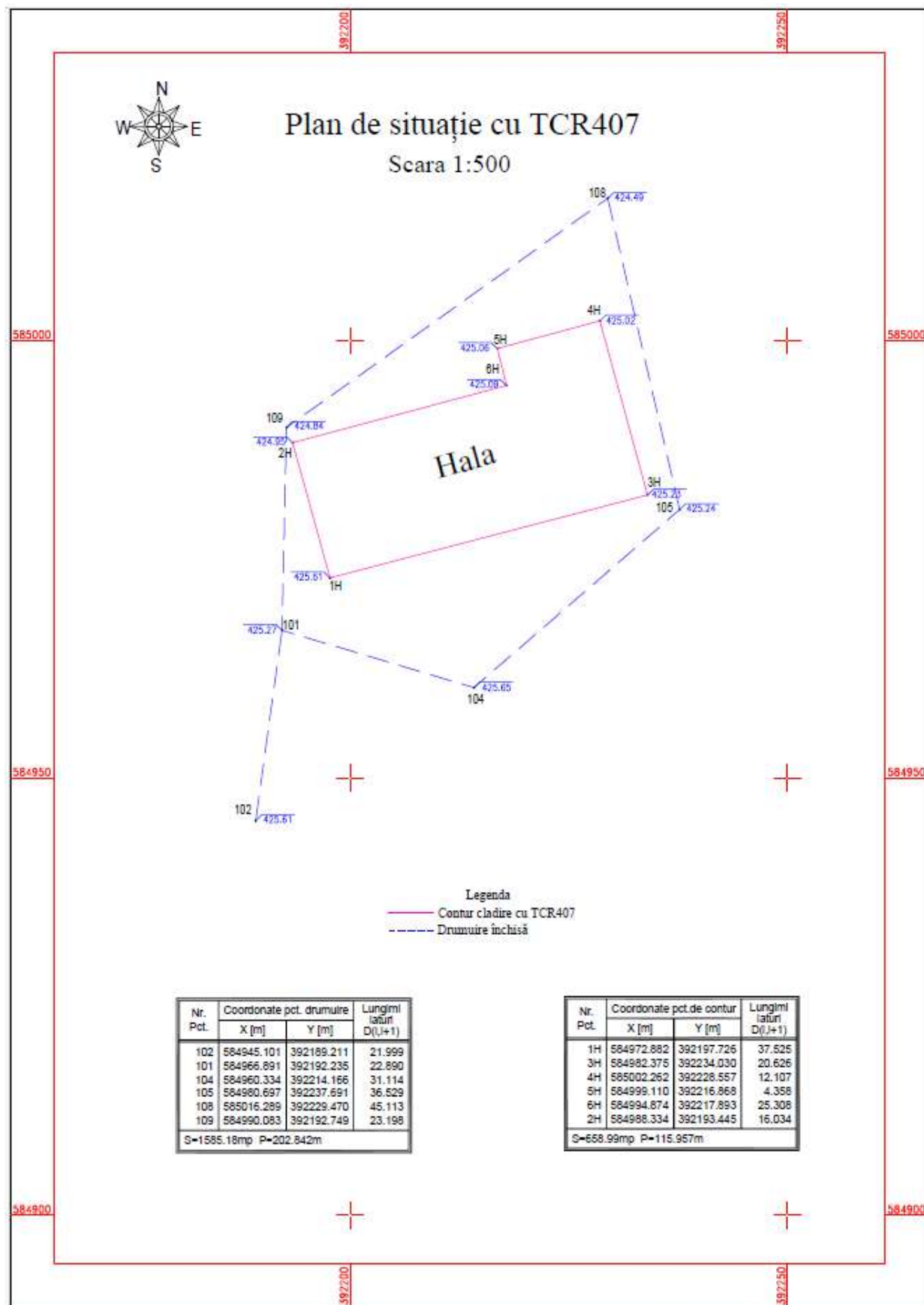


Fig. 12. Plan de situație cu TCR407.

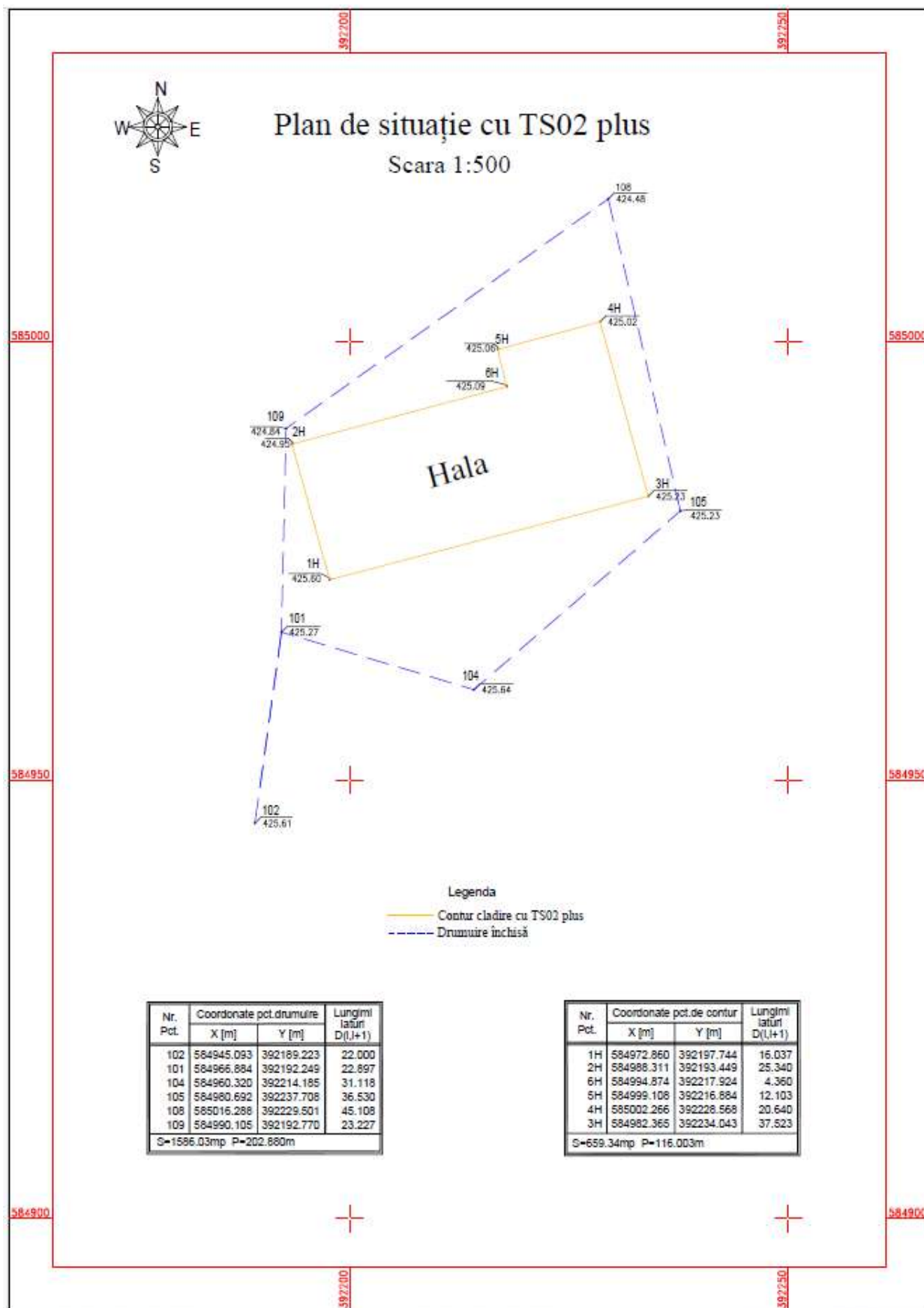


Fig. 13. Plan de situație cu TS02 plus.

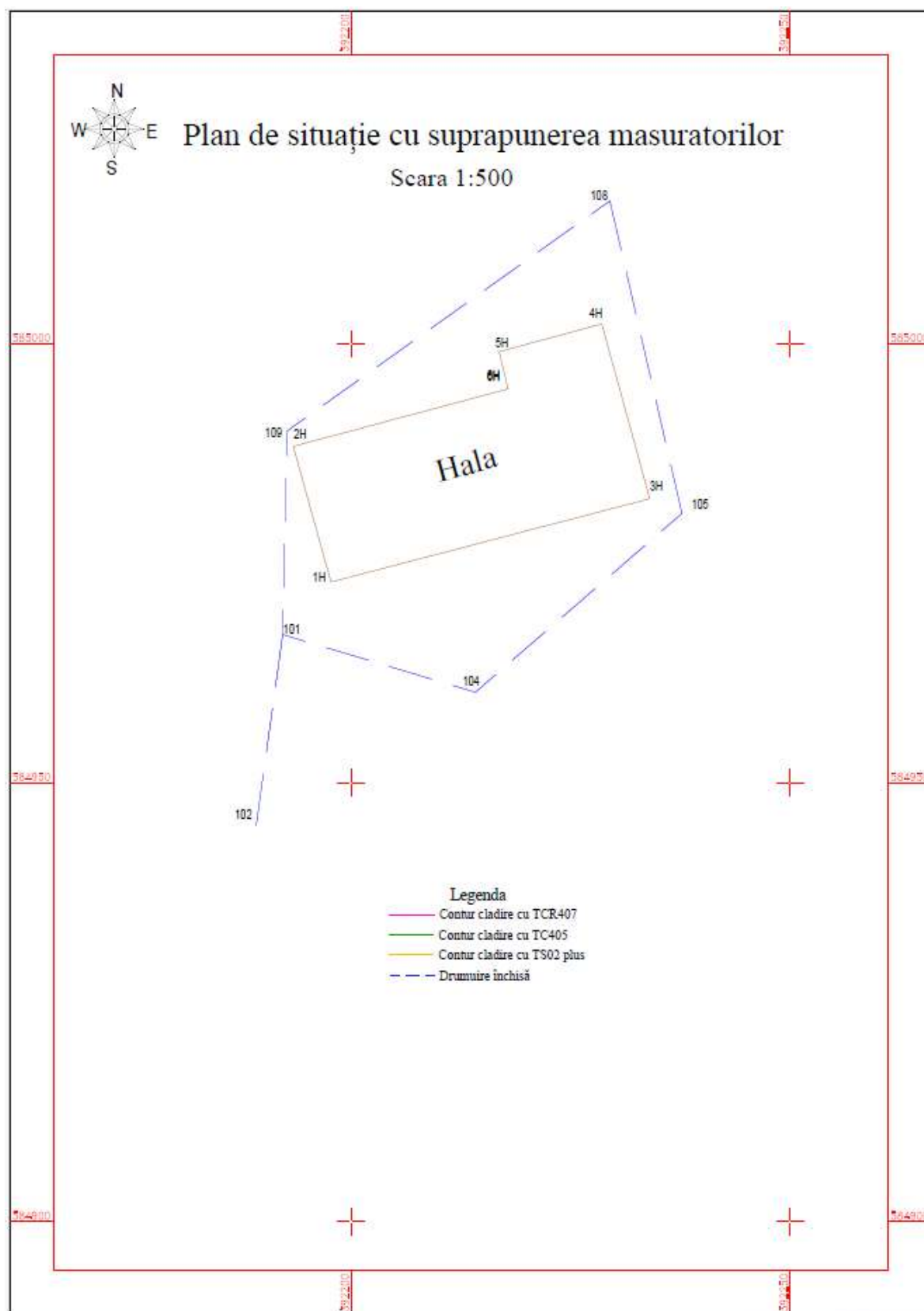


Fig. 14. Plan de situație cu suprapunerea măsurătorilor.



După cum se poate observa din planul de situație cu suprapunerea măsurătorilor, această suprapunere nu poate fi observată cu ochiul liber, dar aceasta există:

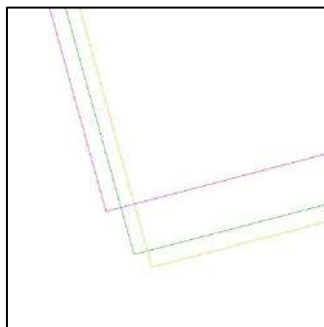


Fig. 15. Vizualizarea diferenței între măsurători.

Comparația măsurătorilor a rezultat în următoarele grafice :

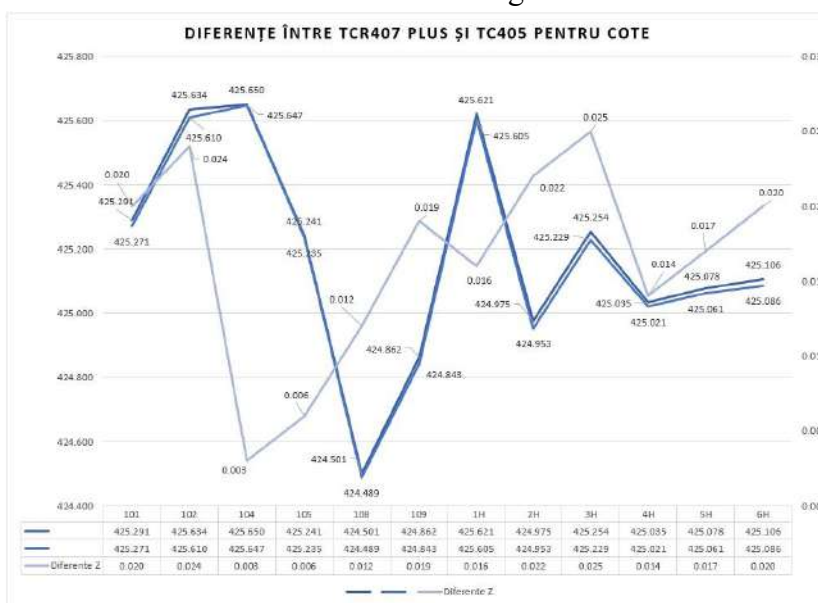


Fig. 16. Diferențe între TCR407 și TC405 pentru cote.

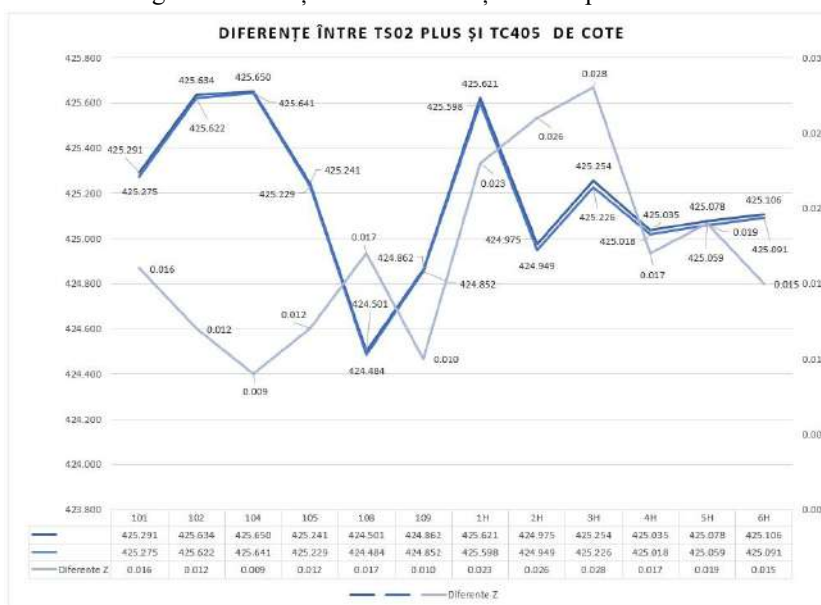


Fig. 17. Diferențe între TS02 plus și TC405 pentru cote.

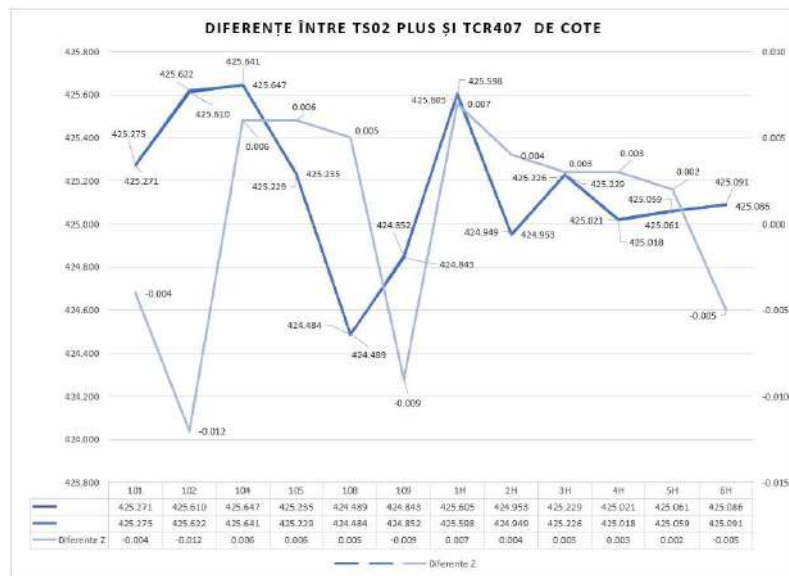


Fig. 18. Diferențe între TS02 plus și TCR407 pentru cote.

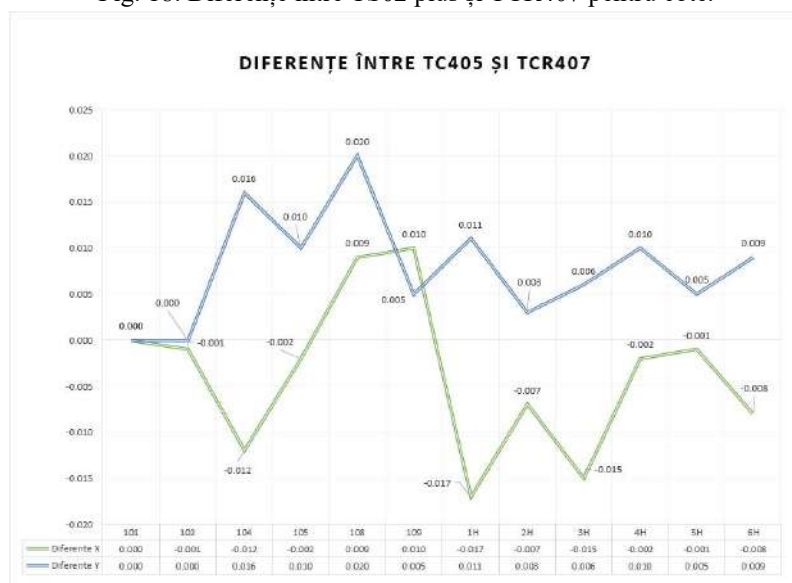


Fig. 19. Diferențe planimetrice între TC405 și TCR407.

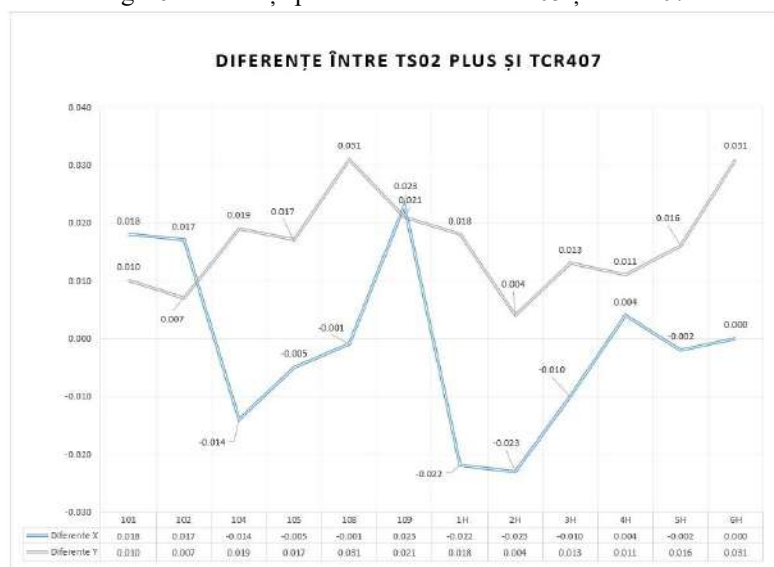




Fig. 20. Diferențe planimetrice între TS02 plus și TCR407.

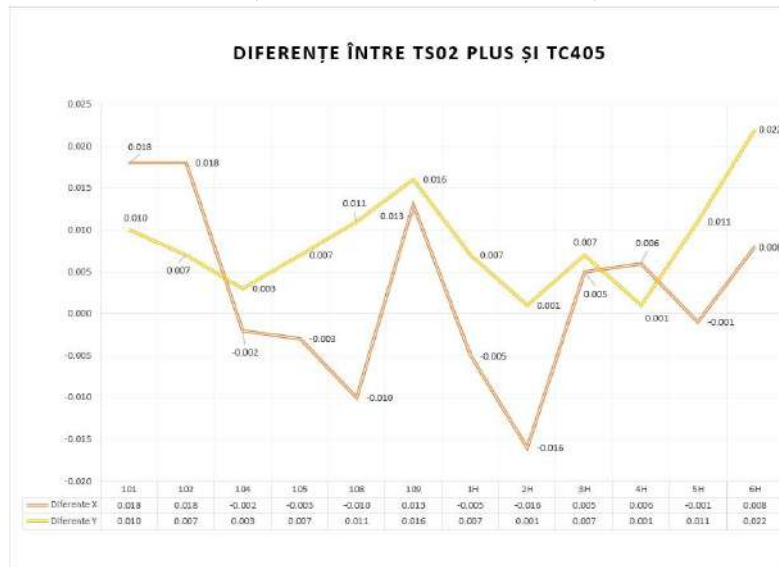


Fig. 21. Diferențe planimetrice între TS02 plus și TC405.

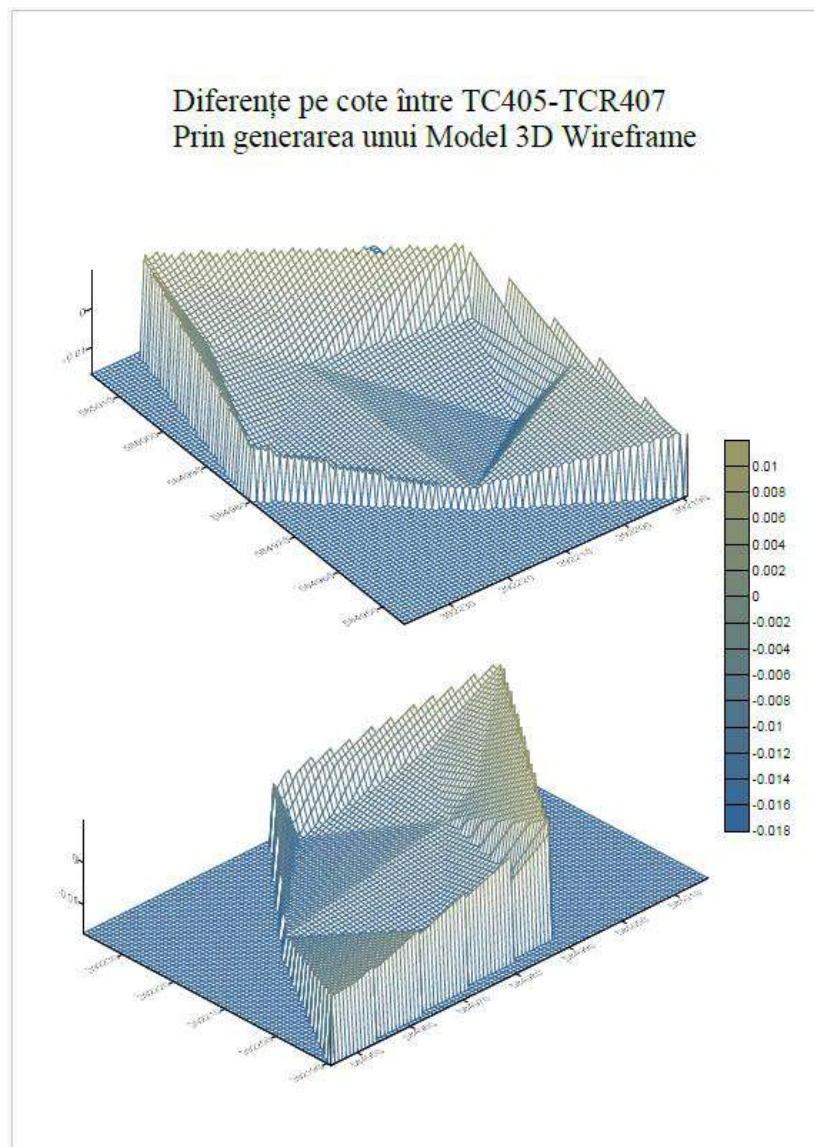




Fig. 22. Diferențe pe cote între TC405 și TCR407 – Model 3D.

3. Concluzii

În urma analizei comparative realizate asupra măsurătorilor efectuate cu stațiile totale Leica TC405, TCR407 și TS02 plus, se poate concluziona că, deși aparatele prezintă caracteristici tehnice similare și au fost utilizate în condiții identice de lucru, există diferențe subtile între rezultatele obținute. Aceste diferențe devin evidente prin prelucrări grafice și analize numerice detaliate.

Rezultatele evidențiază faptul că evoluția tehnologică a stațiilor totale contribuie la îmbunătățirea preciziei și eficienței măsurătorilor. De asemenea, în contextul lucrărilor topografice, diferențele rezultate în modelele prezentate anterior, se încadrează și rămân în toleranțele admise, ceea ce confirmă fiabilitatea tuturor echipamentelor analizate pentru aplicații specifice domeniului ingineriei geodezice.

Studiul subliniază importanța utilizării unor metode riguroase de lucru și a verificării erorilor, indiferent de nivelul tehnologic al aparatului utilizat pentru colectarea datelor topografice.

BIBLIOGRAFIE

1. Cursuri Topografie 1 , Măsurători Inginerești 1 – Conf. Dr. Ing. Sanda Naș
2. <https://leica-geosystems.com/>



DETERMINAREA CREȘTERILOR DE ALTITUDINI UTILIZÂND METODA NIVELMENTULUI TRIGONOMETRIC LA DISTANȚE MICI

Autor:

András AMBARUS-EGYED¹

¹Facultatea Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca , e-mail: ambarusandras@yahoo.com

Îndrumător/îndrumători:

Asist. Drd. Ing. Mihai Dorin ISAC²

²Facultatea Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca , e-mail: mihai.isac@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Nivelmentul trigonometric este o metodă utilizată în topografie pentru determinarea diferențelor de altitudine, în cazul nostru folosind măsurători realizate cu stația totală și prisma. În practică, apar frecvent confuzii legate de aplicarea formulelor de calcul. Un aspect important este faptul că semnul unghiului de viză φ nu determină întotdeauna în mod direct sensul pantei terenului. În funcție de raportul dintre înălțimea aparatului și cea a prisme, pot apărea mai multe situații geometrice neconsiderate. Analiza geometrică arată că aceste variații sunt cauzate de diferența de înălțime între aparatul și prisma. Totuși, aceste cazuri nu schimbă esența calculului, ci doar modul în care sunt interpretate semnele intermediare. Se constată că ecuația de calcul de determinare a creșterilor de altitudine în forma ei actuală necesită o revizuire. Folosirea incorectă a acesteia poate rezultă altitudini aproximative, eronate de mărimea centimetrelor până la rezultate complet greșite de mărimea metrilor.

Cuvinte cheie: Nivelment trigonometric, ecuația, unghiul de viză, prisma, miniprisma.

1. Introducere

Calculul creșterilor de coordonate (ΔH) folosind metoda nivelmentului trigonometric, unde instrumentul folosit, pentru culegerea datelor, este stația totală și prisma, stabilesc anumite cazuri geometrice neconsiderate. Această problemă se datorează faptului că semnul unghiului vertical φ nu asigură într-un mod uniform cunoașterea semnelor pantei pe direcția de observație. Cazul studiat va fi metoda în care înălțimea prisme și înălțimea aparatului sunt variabile și nu sunt egale. Vom demonstra că diferența între înălțimea prisme și înălțimea aparatului are un caracter definitiv. Mai departe se subliniază faptul că în situațiile evidențiate la determinarea cotelor relative o altă ecuație de calcul este valabilă, decât cea cunoscută.

De asemenea se stabilesc categorii care sunt posibile din punct de vedere matematic când înălțimea aparatului nu este egală cu înălțimea prisme:

- 1) Unghiul φ este pozitiv:
 - a) avem teren în rampă
 - b) avem terenul în pantă
 - c) avem terenul în palier



- 2) unghiul φ este negativ:
 - a) avem terenul în rampă
 - b) avem terenul în pantă
 - c) avem terenul în palier
- 3) unghiul φ este zero:
 - a) avem terenul în rampă
 - b) avem terenul în pantă

Când viza stației totale este fixată direct pe prismă (amândouă fiind de o înălțime variabilă), cercul vertical fiind la valoarea $V=100$, am vorbi despre un nivelment geometric accidental. Considerând cât de improbabilă este formarea neintenționată unui dreptunghi perfect între direcția vizei și axa verticală a stației nu vom lua în considerare această posibilitate.

2. Reprezentarea grafică

Pentru exemplificarea fiecărui caz, vom realiza reprezentări grafice care ilustrează cazurile menționate. φ reprezintă unghiul de pantă, iar $p\%$ panta terenului natural.

1.a Unghiul φ este pozitiv și avem terenul în rampă

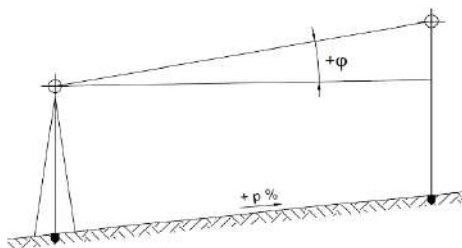


Figura 1. $+\varphi, +p\%$

1.b Unghiul φ este pozitiv și avem terenul în pantă

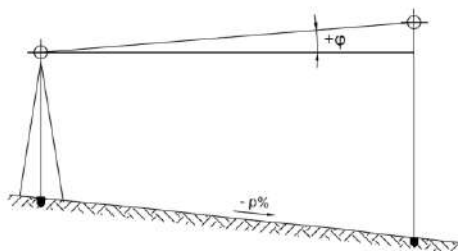


Figura 2. $+\varphi, -p\%$

1.c Unghiul φ este pozitiv și avem terenul în palier

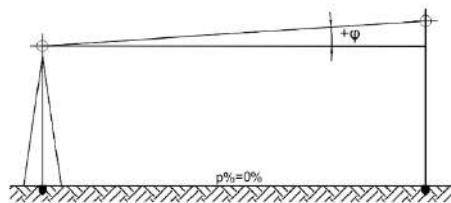


Figura 3. $+\varphi, p\%=0\%$



2.a Unghiul φ este negativ și avem terenul în rampă

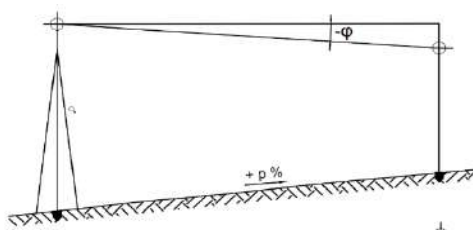


Figura 4. $-\varphi, +p\%$

2.b Unghiul φ este negativ și avem terenul în pantă

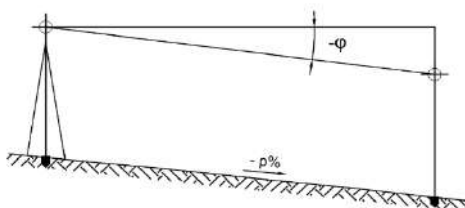


Figura 5. $-\varphi, -p\%$

2.c Unghiul φ este negativ și avem terenul în palier

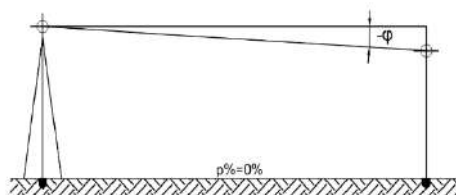


Figura 6. $-\varphi, p\%=0\%$

Pe baza figurilor 1 și 5 se poate constata că unghiul φ ne indică semnul pantei numai în cazurile **1.a** și **2.b**. Pentru înțelegerea cauzei varietății cazurilor posibile trebuie să fie identificate relațiile geometrice care stau la bază nivelmentului trigonometric cu stația totală și prisma.

3. Determinarea semnului pantei

În mod intuitiv se poate presupune pe baza figurilor 2 și 4 că diferența mare între înălțimea prismei și a cea a aparatului duce la apariția unor cazuri speciale de măsurători topografice.

Pentru demonstrația considerată vom simplifica schițele longitudinale realizate în trapezoide caracteristice.

I_{ap} reprezintă înălțimea aparatului, I_p înălțimea prismei, D distanța orizontală, și ΔH diferența de altitudine.



Vom considera desenul:

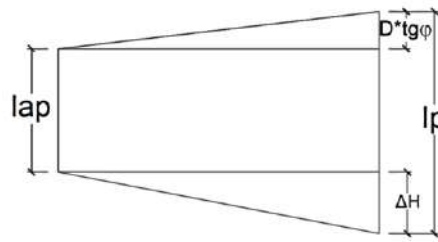


Figura 7. Reprezentarea grafică a calculelor (1)

Din scăderea:

$$|I_{ap} - I_p| = |D \times \tan \varphi + \Delta H| \quad (1)$$

rezultă:

$$|I_{ap} - I_p| > |\Delta H| \quad (2)$$

Vom considera desenul:

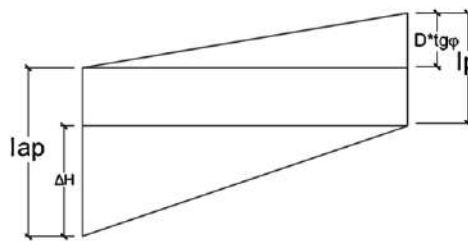


Figura 8. Reprezentarea explicativă a calculelor (3)

Din scăderea:

$$|I_{ap} - I_p| = |\Delta H - D \times \tan \varphi| \quad (3)$$

rezultă:

$$|I_{ap} - I_p| < |\Delta H| \quad (4)$$

Conform acestei determinări, la terenul în palier (unde dispunem de un trapez dreptunghic) aceasta relație se transformă:

$$|I_{ap} - I_p| = |D \times \tan \varphi| \quad (5)$$

Astfel, unghiul φ asigură cunoașterea semnului pantei numai dacă diferența între înălțimea aparatului și înălțimea prisme este mai mică decât diferența cotelor absolute ale punctelor caracteristice în care acestea sunt amplasate. Cu cât diferența de nivel ΔH este mai mică, cu atât mai mare este posibilitatea că pe parcursul măsurătorilor s-a realizat un trapez acut.

Se stabilește o modalitate de determinare a faptului în cazul în care terenul coboară sau urcă pe baza elementelor măsurate fără a cunoaște valoarea lui ΔH . Metoda de determinare depinde de semnul unghiului φ .

- unghiul φ este pozitiv

În acest caz vom folosi diferența dintre valoarea $D \times \tan \varphi$ și înălțimea prisme:

$$i_p - D \times \tan \varphi < i_{ap} \quad (6)$$



– terenul urcă

$$i_p - D \times \tan \varphi > i_{ap} \quad (7)$$

– terenul coboară

$$i_p - D \times \tan \varphi = i_{ap} \quad (8)$$

– terenul este orizontal

- unghiul φ este negativ

În acest caz vom folosi suma dintre valoarea $D \times \tan \varphi$ și înălțimea prisme:

$$i_p + \overline{D \times \tan \varphi} < i_{ap} \quad (9)$$

– terenul urcă

$$i_p + \overline{D \times \tan \varphi} > i_{ap} \quad (10)$$

– terenul coboară

$$i_p + \overline{D \times \tan \varphi} = i_{ap} \quad (11)$$

– terenul este orizontal

4. Determinarea creșterilor de cote

În cele ce urmează, vom demonstra faptul că, ecuația cunoscută nu este valabilă:

$$\Delta H = D \times \tan \varphi \pm i_{ap} \mp i_p \quad (12)$$

Formula de calcul presupune adunarea înălțimii aparatului și scăderea înălțimii prisme când avem terenul în rampă și scădem înălțimea aparatului și adunăm înălțimea prisme când avem terenul în pantă.

1.a Unghiul φ este pozitiv și avem terenul în rampă

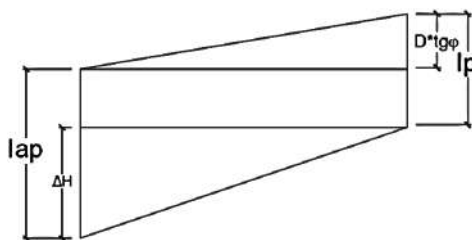


Figura 9. Reprezentarea grafică a calculelor (13-14)

$$\overline{(+)\Delta H} = \overline{(+)\overline{D \times \tan \varphi}} + i_{ap} - i_p \quad (13)$$

$$\overline{(+)\Delta H} = \overline{(+)\overline{D \times \tan \varphi}} + i_{ap} - i_p \quad (14)$$



1.b Unghiul φ este pozitiv și avem terenul în pantă

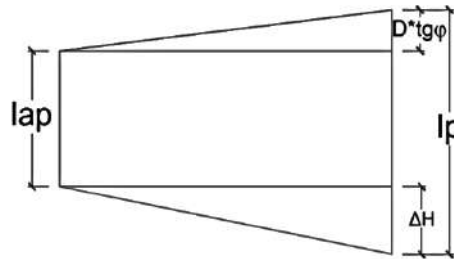


Figura 10. Reprezentarea grafică a calculelor (15-16)

$$\overline{(-)\Delta H} = -\overline{(+)}D \times \tan \varphi - i_{ap} + i_p \quad (15)$$

$$\overline{(+)\Delta H} = \overline{(-)}D \times \tan \varphi - i_{ap} + i_p \quad (16)$$

Dar ΔH trebuie să fie negativ (terenul este în pantă). Astfel, vom multiplica valorile ecuației cu minus unu:

$$\overline{(-)\Delta H} = \overline{(+)}D \times \tan \varphi + i_{ap} - i_p \quad (17)$$

1.c Unghiul φ este pozitiv și avem terenul în palier

$$\Delta H = 0 \quad (18)$$

2.a Unghiul φ este negativ și avem terenul în rampă

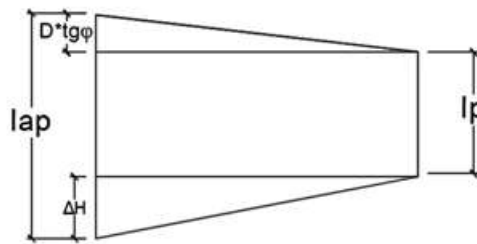


Figura 11. Reprezentarea grafică a calculelor (19-20)

$$\overline{(+)\Delta H} = -\overline{(-)}D \times \tan \varphi + i_{ap} - i_p \quad (19)$$

$$\overline{(+)\Delta H} = \overline{(-)}D \times \tan \varphi + i_{ap} - i_p \quad (20)$$

2.b Unghiul φ este negativ și avem terenul în pantă

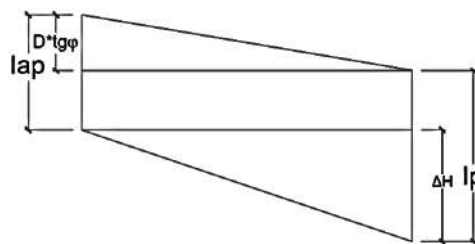


Figura 12. Reprezentarea grafică a calculelor (21-22)



$$\overline{(-)\Delta H} = \overline{(-)D \times \tan \varphi - i_{ap} + i_p} \quad (21)$$

$$(+)\Delta H = (+)D \times \tan \varphi - i_{ap} + i_p \quad (22)$$

Dar ΔH fiind negativ, vom multiplica valorile ecuației cu minus unu:

$$(-)\Delta H = (-)D \times \tan \varphi + i_{ap} - i_p \quad (23)$$

2.c Unghiul φ este negativ și avem terenul în palier

$$\Delta H = 0 \quad (18)$$

Se poate constata că ecuația generalizată este:

$$\Delta H = D \times \tan \varphi + i_{ap} - i_p \quad (24)$$

Se observă că înmulțirea artificială cu -1 la relațiile (17) și (23) se datorează faptului că unghiul φ , dar și coordonata relativă trebuie să fie o valoare negativă. Dacă am efectuat schimbarea aceasta, nu mai putem folosi relațiile corecte din punct de vedere al matematicii pure, ci trebuie modificate și ecuațiile.

În literatura de specialitate ecuația există și sub forma cunoscută [1], [2], dar și sub alte variante [2], [3]. Trebuie să subliniăm că formula (24) este valabilă și în cazul în care unghiul este negativ.

5. Măsurători

Pentru a verifica corectitudinea teoriei prezentate, s-au ales cazurile 1.a, 1.b, 2.a și 2.b. Măsurătorile s-au realizat într-o zonă caracteristică, pe un taluz unde creșterile de coordonate au fost evidente și în conformitate schițelor prezentate anterior.

Cota cunoscută: $H_{111} = 425,922$ m

Prin nivelment geometric s-au determinat cotele punctelor 2 și S2. În acest scop s-a utilizat ca și instrument nivela optică și mira stadimetrică, astfel s-au obținut următoarele valori:

$$H_{S2} = 426,167 \text{ m}$$

$$H_2 = 427,029 \text{ m}$$

Următoare etapă a fost aceea de a amplasa stația totală în punctul S2 și am pus în aplicare cazul în care viza este descendentă și panta terenului ascendentă amplasând miniprisma în punctul 2. Am citit valorile aferente pentru unghiul zenital și distanța.



Figura 12. Realizarea măsurătorilor cu prisma mare

După acesta în același punct am amplasat prisma mare și am repetat măsurătorile.



Figura 11. Realizarea măsurătorilor cu miniprisma

Tabelul nr. 1 Calculul diferențelor cotelor folosind cele două ecuații

Stația	Punctul vizat	Distanța orizontală [m]	φ [g c cc]	p	Cota reală [m]	Cota calculată cu ecuația incorctă [m]	Cota calculată cu ecuația corectă [m]	Diferența între ecuația corectă și ecuația incorctă [m]
S2 (iap = 1,746 m)	2 (ip = 0,1 m)	8,278	-6,0173	+	427,029	423,736	427,028	-3,292
	2 (ip = 1,5 m)		+4,7230			427,028	427,028	0
2 (iap = 1,726 m)	S2 (ip = 0,1 m)	8, 252	-18,6415	-	426,167	422,915	426,167	-3,252
	S2 (ip = 2,6 m)		+0,0569			426,162	426,162	0



6. Concluzie

În final se determină că semnul pantei nu depinde de semnul unghiului φ . S-a stabilit relațiile de precizare al semnului pantei pe baza elementelor măsurate fără să cunoaștem valoarea liniară ΔH . Se determină adițional faptul că relația de calcul a diferenței de nivel, respectiv ΔH , rămâne neschimbată indiferent de înclinația pantei. Folosirea incorectă semnului i_{ap} și semnului i_p rezultă în valori eronate. La folosirea unei prisme mari, cu un unghi de viză mai mic, chiar dacă am folosit ecuația incorectă, i_{ap} ca mărime fiind mai apropiată de i_p , rezultatul va fi mai puțin imprecis. În concluzie, datorită diferenței între i_{ap} și i_p , la folosirea miniprisme, utilizarea relației nepotrivite conduce la obținerea unor rezultate nesatisfăcătoare.

BIBLIOGRAFIE

1. Gheorghe M. T. Rădulescu: *TOPOGRAFIE GENERALĂ. Note de curs*, 2009, 174.
2. Sanda Naș: *Curs Topografie, Nivelment Trigonometric*
3. Alina Buzilă: *Materialul didactic al Universității „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Construcții, Departamentul CCTFC, Specializare Măsurători Terestre și Cadastru, Topografie și Rețele Topo-Geodezice*, 10.
4. Manca Raluca: *TOPOGRAFIE GENERALĂ*, 61.



DOCUMENTAREA CAUZELOR DEGRADĂRILOR ARHITECTURALE ASIMETRICE PRIN TEHNICI FOTOGRAMMETRICE TERESTRE ȘI UAV

Autor/autori

Ionuț-Mihai FUIA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: ionutfuia56@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Raluca-Claudia GÂLGĂU²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: raluca.galgau@mtc.utcluj.ro

Drd.Ing. George ACATRINEI³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: george.acatrinei@campus.utcluj.ro

REZUMAT: *Conservarea și restaurarea patrimoniului construit necesită un diagnostic precis, fundamentat pe date corecte, așadar această lucrare propune un flux de achiziție a datelor modern, non-invaziv împreună cu un flux de prelucrare digital pentru reconstrucția virtuală a unei structuri de patrimoniu, cu scopul de a documenta și analiza starea de conservare. Obiectivul principal al cercetării este identificarea cauzelor degradărilor arhitecturale asimetrice observate pe fațadele clădirii. Cercetarea depășește simpla reprezentare tridimensională, integrând fotogrammetria aeriană și terestră cu analiza spațială a clădirii pentru a demonstra eficiența noilor tehnologii în fundamentarea unui diagnostic rapid și precis, necesar viitoarelor intervenții de restaurare.*

Cuvinte cheie: analiză arhitecturală, fotogrammetrie aeriană, fotogrammetrie terestră, patrimoniu

1. Organizarea lucrării

1.1 Patrimoniul cultural și importanța sa

În general termenul de „patrimoniu” este înțeles ca fiind „ansamblul de bunuri și drepturi moștenite de la strămoși” și se află în strânsă legătură cu un alt cuvânt – „moștenire”, folosit în diferite limbi internaționale pentru a defini patrimoniul cultural, având particularitățile sale bazate pe specificul cultural al societății în care se folosește.^[1]

În țara noastră patrimoniul cultural este definit prin legislație ca fiind „totalitatea bunurilor care reprezintă o mărturie și o expresie a valorilor, credințelor, cunoștințelor și tradițiilor naționale, indiferent de regimul de proprietate ale acestora”^[1], astfel se observă că legea determină că aceste structuri sunt mărturii păstrate ale valorilor, evoluției, credinței și obiceiurilor unei națiuni. În acest context de valoare se încadrează și obiectul principal al acestei lucrări: Biserica Ortodoxă „Sfinții Arhangheli Mihail și Gavriil” din localitatea Dezmir, obiectul principal al patrimoniului cultural, valoric și de identitate al acestei localități care a marcat existența acesteia în ultimul secol, constituind unul dintre cele mai importante repere de continuitate istorică al acestei comunități. Prin longevitatea acesteia și prin rolul de păstrare a

tradițiilor spirituale, edificiul devine un detaliu important în înțelegerea evoluției culturale a spațiului transilvănean de la periferia orașului Cluj-Napoca.

1.2 Structura studiată

Biserica „Sfinții Arhangheli Mihail și Gavril” este situată în vatra veche a localității Dezmir din județul Cluj, localitate situată la periferia estică a municipiului Cluj-Napoca (fig. 1).

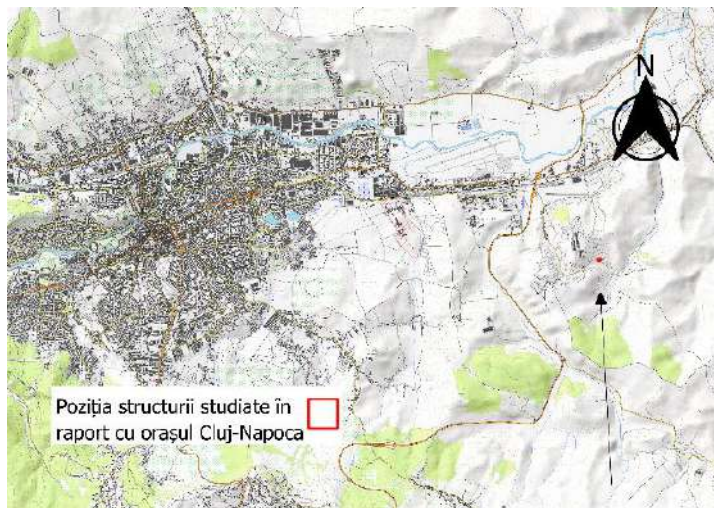


Figura 1. Poziția structurii studiate.

Din punct de vedere istoric, lăcașul de cult actual a înlocuit o biserică din lemn și a fost construit începând cu anul 1912, edificiul fiind poziționat în lungime pe axa est-vest, tipic pentru aceste tipuri de lăcașe de cult din regiunea Transilvaniei. Ridicarea construcției s-a finalizat în jurul anului 1930, astfel în zilele de astăzi monumentul are o vechime de aproape un secol, ultima intervenție majoră fiind consemnată, cel mai probabil în anul 1986.

1.3 Obiectivul și scopul lucrării

În prezent deși structura de rezistență nu prezintă vicii majore vizibile, anvelopanta clădirii se află într-o stare de degradare ce necesită o atenție imediată din cauza expunerii îndelungate la factorii de mediu externi și a lipsei unor lucrări recente de mentenanță (ultima fiind în anul 1986) finisajele exterioare au dezvoltat pe anumite părți ale structurii diferite degradări dezvoltate într-un ritm diferit (fig. 2).



Figura 2. Măsura diferită a degradărilor – în stânga fațada sudică, în dreapta fațada nordică.

Fațada nordică prezintă o stabilitate vizuală bună, în timp ce fațada sudică este sever afectată, având exfolieri masive ale tencuielii și o rețea densă de fisuri.

În acest context, lucrarea de față are ca obiectiv investigarea cauzelor asimetriei degradărilor de pe suprafața anvelopei printr-un flux de lucru geodezic non-invaziv. Obiectivul principal este acela de a valida metodologia geodezică și care va fi folosită spre demonstrarea corelației dintre factorii externi și patologiiile fațadelor. Îndeplinirea acestui obiectiv va fi realizat în trei etape:

1. **Achiziția datelor spațiale:** Colectarea datelor din teren prin fotogrammetrie terestră și aeriană
2. **Realizarea modelului 3D:** Procesarea datelor și generarea reconstrucției digitale de înaltă rezoluție
3. **Analiza spațială și climatică:** Analiza și simularea climatică utilizând baze de date geografice

2. Achiziția datelor spațiale prin metode geodezice și fotogrammetrice

2.1 Metodologia de achiziție a datelor spațiale

Pentru a asigura rigurozitatea geometrică și o documentare a patrimoniului studiat cât mai corectă și completă s-au ales pentru a fi folosite diferite metode geodezice și fotogrammetrice, fiecare având avantajele sau dezavantajele lor. ^[2] Simpla utilizarea unei singure metode de măsurare a fost considerată insuficientă pe fondul acestor dezavantaje. Deși fotogrammetria aeriană (UAV) acoperă eficient ansamblul exterior lăcașului de cult, acoperișul acestuia și părțile mai înalte, acesta nu poate să ofere o rezoluție spațială adecvată pentru captarea detaliilor arhitecturale complexe precum sunt specifice clădirilor de patrimoniu, făcând analiza de detaliu a degradărilor foarte anevoioasă sau chiar imposibilă. Pe de altă parte, o abordare exclusiv prin fotogrammetrie terestră ar fi restricționată de unghiurile de vizibilitate de la nivelul solului, astfel în general clădirile înalte implică o atenție sporită la preluările fotogrammetrice terestre deoarece prin preluarea fotogramelor de la nivelul solului, părțile superioare ale clădirii nu pot fi înregistrate în toate cazurile sau doar parțial.

În consecință, metodologia optimă a constat în fuziunea metodelor anterior precizate și de asemenea corelarea și ancorarea lor într-un sistem de coordonate absolut prin utilizarea unor puncte materializate prin cuie topografice și evidențiate cu ținte fotogrammetrice. (fig. 3).



Figura 3. Țintă fotogrammetrică utilizată.

Aceste ținte fotogrammetrice au fost poziționate în așa fel încât să poată fi văzute atât din dronă cât și din fotogramele făcute la sol.

2.2 Fotogrammetria aeriană (UAV)

Partea aeriană a achiziției de date a fost utilizată pentru capturarea geometriei de ansamblu a locului și pentru preluarea detaliilor superioare ale clădirii precum învelitoarea, turla și obloanele acesteia. Pentru această etapă s-a folosit drona UAV DJI Mavic 3 Enterprise Multispectral (fig. 4), un instrument de nivel profesional, concepută special pentru misiuni de fotogrammetrie. Utilizarea acestui echipament a fost esențială datorită senzorului optic - RGB dotat cu obturator mecanic (mechanical shutter), o componentă a dronei care elimină distorsiunile geometrice ale imaginilor în timpul zborului, garantând precizia metrică a modelului.



Figura 4. Drona DJI Mavic 3 Enterprise.

Protocolul de zbor a fost împărțit în două etape distincte de achiziție, în primul rând cea a zborului automat în care drona s-a deplasat autonom urmând o traiectorie presetată de tip grilă, timp în care senzorul a fost orientat strict vertical și a declanșat automat o fotografie la interval de o secundă.

În a doua etapă, cea a zborului manual, care a fost necesar pentru preluarea îndeaproape a îmbinării dintre corpul clădirii și acoperiș s-au preluat fotograme înregistrate la înălțimea streșinii clădirii. Achiziția de date pe această fâșie de tranziție a clădirii trebuie să permită generarea unui număr suficient de puncte de legătură (tie points) (fig. 5) – pentru a permite alinierea perfectă și fără erori a setului de date aeriene cu cel terestru.



Figura 5. Exemplu de fotogramă preluată din aer în timpul zborului manual.

2.3 Fotogrammetria terestră (Close-Range)

Dacă zborurile UAV au asigurat o bază geometrică precisă pentru ansamblul clădirii și zona adiacentă acesteia, achiziția de date prin fotogrammetrie terestră, numită în limba engleză „Close-Range Photogrammetry” a avut rolul de a capta în detaliu fațadele și degradările specifice ale acesteia și de a oferi claritatea necesară pentru posibile analize arhitecturale.^[4]



Figura 6. Camera digitală Sony ZV-E10.

Pentru această etapă s-a utilizat o cameră digitală Sony ZV-E10 (fig. 6) cu un senzor APS-C de 24.2 megapixeli capabil să capteze fidel detalii fine, cameră care a fost echipată cu obiectivul de kit 16-50mm. Distanța focală a fost menținută la aceeași valoare pe tot parcursul, iar setările aparatului privind triunghiul de expunere (Timp de expunere ~ ISO ~ Diafragmă) au fost constant adaptate la lumina care atinge fațada clădirii pentru a asigura extragerea a cât mai multor detalii și într-un mod cât mai clar. De asemenea, s-a utilizat o focalizare fixă pentru a ține departe distorsiunile și pentru a păstra aproximativ constantă distanța față de structură.

Achiziția datelor a presupus deplasarea circulară în perimetrul bisericii. Decizia de a menține distanța constantă a fost necesară pentru a capta cât mai mult din suprafață într-o singură poză tocmai pentru a susține suprapunerea și rezoluția cât mai asemănătoare în fiecare poză, iar cel mai de ajutor accesoriu în acest sens a fost un trepied pe care a fost montată camera care a conferit stabilitate cadrelor.

Preluarea fotogramelor s-a realizat în trei moduri (fig. 7). Primul mod a constat în fotografierea frontală a zidurilor cu o direcție perpendiculară dintre axa optică a aparatului foto și peretele fotografiat. Deoarece fixând distanța focală la 24 mm camera foto nu putea să cuprindă un perete întreg, s-au realizat în acest mod trei inele de fotografiere în jurul structurii,



Figura 7. Moduri de preluare a fotogramelor de la sol.

primul inel cu camera îndreptată spre soclu, respectiv în partea de jos a structurii, al doilea la mijlocul acesteia și al treilea în partea superioară. Ultimul inel, în care s-a fotografiat cea mai superioară parte a fațadei a surprins exact acea fâșie de legătură capturată de asemenea în zborul UAV și au asigurat alinierea datelor aeriene cu cele terestre. Celelalte două moduri au constat în realizarea a câte un inel de fotografiere în jurul structurii păstrând aceeași distanță, însă fotografiind cu aparatul spre stânga sau spre dreapta pentru a fotografia punctele caracteristice din mai multe unghiuri, lucru care asigură ulterior rigidizarea geometrică.^[3] O atenție deosebită a fost acordată zonelor de intersecție a fațadelor, adică în colțurile clădirii și mai ales în adânciturile geamurilor sau bolților cu picturi exterioare. Pentru a evita ruperile de geometrie și deformările colțurile au fost captate în mod radial și cât mai în detaliu, adică în cât mai multe fotografii

3. Procesarea digitală a datelor spațiale și reconstrucția 3D

3.1 Importul și organizarea datelor

După finalizarea etapei de achiziție a celor două seturi de date vizuale, acestea au fost importate în programul Agisoft Metashape Professional pentru procesarea fotogrammetrică a datelor. Acest software este o soluție avansată pentru acest tip de procesare ce utilizează algoritmi *Computer Vision* pentru a construi geometrii tridimensionale complexe din seturi de date bidimensionale suprapuse, astfel acest program permite extragerea de puncte de coordonate cunoscute din fotografii, crearea de mesh-uri texturate și modele georeferențiate cu o precizie ridicată. Fiecare algoritm utilizat (*SIFT- Scale Invariant Feature Transform*, *SfM – Structure from Motion* sau *MVS - Multi-View Stereo* și altele) este folosit cu scopul de a deduce geometria tridimensională a obiectului și fiecare este prezent în diferite etape de prelucrare din software.

Toate fotografiile, indiferent de modul de preluare a acestora au fost folosite în primul pas, acela de aliniere a imaginilor (camerelor), proces în care software-ul se folosește de algoritmul SIFT pentru a identifica puncte care se diferențiază de restul imaginii, respectiv grupuri de pixeli mai deosebiți pe care să-i poată memora și care să poată fi recunoscuți chiar și în alte fotografii indiferent dacă celelalte sunt făcute din alt unghi sau de la altă distanță. Tot în procesul de aliniere se compară aceste puncte, iar dacă acestea apar în mai multe fotografii sunt catalogate ca fiind „tie points”, mai exact puncte de legătură, puncte care formează norul dispersat, adică „*Sparse Cloud*” (fig. 8). De asemenea, pe baza acestor puncte și a algoritmului SfM softul calculează orientarea externă a camerelor și coordonatele tuturor punctelor.



Figura 8. Norul dispersat de puncte de legătură.

3.2 Georeferențierea modelului prin punctele de control la sol (*Ground Control Points-GCP*)

Odată finalizată alinierea inițială a camerelor pe setările maxime, blocul fotogrammetric a prezentat o aglomerație ridicată a datelor, rezultată din gradul de suprapunere a cadrelor preluat intenționat pe teren. Pentru a eficientiza semnificativ timpii de calcul ai etapelor ulterioare, fără a compromite acuratețea modelului, s-a aplicat funcția *Reduce Overlap*, funcție care analizează topologia rețelei de camere și dezactivează automat fotografiile care oferă informații vizuale care sunt deja disponibile în alte imagini.

Ancorarea modelului în realitate într-un sistem de coordonate absolut s-a bazat pe utilizarea de puncte de control la sol materializate prin cuie topografice peste care s-au așezat ținte fotogrammetrice pentru recunoașterea lor în fotografii. În software-ul utilizat, pe fotografii s-

au adăugat markeri digitali peste aceste puncte materializate și procesul a presupus identificarea manuală a acestora pe fotograme (fig. 9). Fiecare punct a fost marcat pe cât mai multe fotograme, astfel încât programul să poată bloca modelul pe coordonatele reale. Ultima operațiune pentru finalizarea georeferențierii a fost aceea de a folosi funcția de „*Optimize Cameras*” pentru a pune programul să reia alinierea imaginilor știind coordonatele punctelor de control cu scopul de a compensa în totalitate rețeaua de imagini și suprapunerea acestora.



Figura 9. Marcarea punctelor cunoscute pe fotograme.

3.3 Generarea hărților de adâncime în fotografii și a suprafeței de tip Mesh

Deoarece obiectivul principal al lucrării nu a necesitat și generarea unui nor de puncte dens, în fluxul utilizat s-a trecut direct la generarea modelului matematic de reprezentare continuă al geometriei numit „*Mesh*”. Posibilitatea de creare a acestuia fără să fie bazat pe norul de puncte dens este o opțiune care a apărut în versiunile mai recente ale softului, iar crearea se bazează pe utilizarea hărților de adâncime numite „*depth maps*” (fig. 10) care sunt realizate

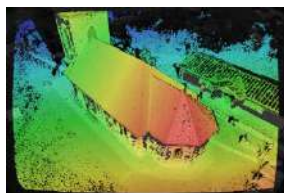


Figura 10. Hartă de adâncime.

pentru fiecare fotogramă, calculând distanța (adâncimea) de la centrul de proiecție al camerei până la suprafața fizică a clădirii pe baza paralaxei deduse din imaginile suprapuse. Rezultatul acestei etape a fost obținerea Mesh-ului final – o rețea poligonală continuă, alcătuită din milioane de triunghiuri interconectate, care învelește geometria clădirii (fig. 11).

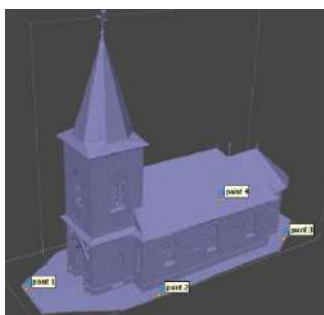


Figura 11. Rețeaua poligonală de tip „Mesh”.

3.4 Generarea modelului texturat

După obținerea geometriei tridimensionale, ultimul pas în acest software a fost generarea texturii fotorealiste (*Texture Mapping*). Această etapă a constatat în proiectarea informației cromatice (RGB) din fotografiile bidimensionale direct pe modelul 3D (fig. 12).

Modelul texturat redă cu fidelitate realitatea, contrastul cromatic natural ajutând la o inspecție vizuală extrem de clară a patologiei. Pe acest model final, exfolierile masive și rețeaua de fisuri de pe fațada sudică sunt vizibile distinct față de tencuiala compactă a fațadei nordice, reprezentând suportul vizual ideal pentru analiza corelației climatice ce urmează a fi realizată.

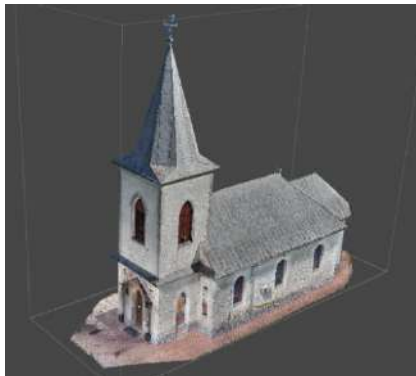


Figura 12. Modelul tridimensional texturat.

3.5 Evaluarea modelului final

Evaluarea cantitativă și calitativă a modelului 3D final confirmă viabilitatea metodologiei aplicate în documentarea acestei structuri de patrimoniu. Din analiza raportului final generat de acest program reies următoarele rezultate cheie: rezoluția spațială (GSD – Ground Sample Distance) a rezultat ca fiind 1.8 mm/pixel, permițând identificarea și măsurarea precisă a fisurilor și degradărilor, precizia metrică în sistemul de coordonate caracterizată prin eroarea medie pătratică egală cu 1.25 cm și numărul de 7.365.558 de fețe poligonale ale mesh-ului.

Parametrii prezentați de acest raport demonstrează că modelul digital tridimensional obținut nu este doar o reprezentare simplă cu rol vizual, ci un instrument tehnic validat, capabil să susțină analize și studii complexe.

4. Studiu comparativ al degradărilor

4.1 Ipoteza

Modelul 3D de înaltă rezoluție, având o distanță de eșantionare la sol (GSD) sub-milimetrică, a permis o inspecție precisă a suprafețelor exterioare, evidențiind o asimetrie majoră a degradărilor între diferitele orientări cardinale ale clădirii.

Studiul comparativ pornește de la analiza vizuală a stării de conservare a suprafețelor exterioare, unde un fenomen atipic a captat atenția - asimetria degradărilor între fațadele opuse ale monumentului. Contrar comportamentelor clădirilor istorice, unde latura nordică este de obicei cea mai vulnerabilă din cauza umidității stagnante, Biserica din Dezmir prezintă o fațadă nordică remarcabil de stabilă. Pe această latură, tencuiala istorică este aderentă, fisurile sunt mult mai puțin prezente, iar urmele de pigment și pictură veche sunt mult mai bine conservate. În contrast, fațada sudică este mult mai afectată, deoarece stratul de finisaj prezintă lipsuri extinse (desprinderi masive de tencuială de pe stratul suport), o rețea densă de fisuri, iar culoarea pigmentului original este estompată și mai palidă. Cu ajutorul modelului 3D s-a determinat astfel că fațada nordică are un azimut geografic de 164.44°, iar cea sudică un azimut de -15.56°.

4.2 Studiu privind orele de însorire și radiația solară primită de fațade

Pentru a înțelege dinamica expunerii solare, primul pas a constat în simularea traiectoriei solare folosind platforma astronomică *Andrew Marsh Sunpath3D*^[6] (fig. 13), platformă care

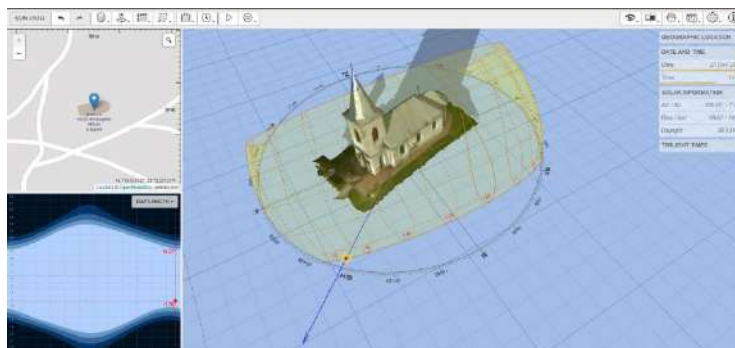


Figura 13. Simularea solară asupra modelului generat.

este un simulator astronomic care modelează traiectoria aparentă a soarelui pe bolta cerească pentru orice locație geografică, pe tot parcursul anului permițând simularea interacțiunii razelor solare cu un model tridimensional. S-a urmărit numărul orelor de însorire directă momente astronomice cheie, iar datele s-au centralizat într-un tabel (fig. 14).

		Fațada sudică	Fațada nordică
Solstițiu de vară	21-Jun	8h15	4h5
Echinocțiu de toamnă	23-Sep	10h15	1h05
Solstițiu de iarnă	21-Dec	8h32	0h
Echinocțiu de primăvară	20-Mar	10h21	1h17

Figura 14. Analiza orelor de însorire.

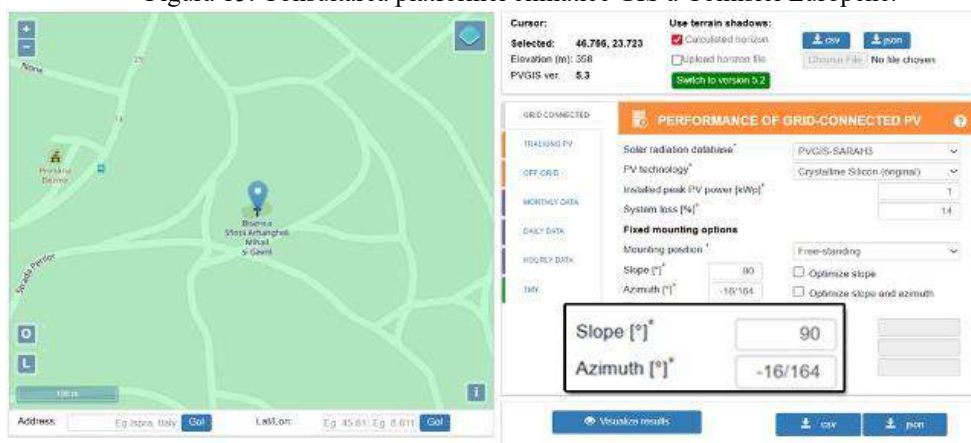
Aceste observații demonstrează că fațada sudică absoarbe cantități masive de energie pe parcursul anului, atingând un maxim de stres termic la echinocții și primind radiație perpendiculară directă în timpul solstițiului de iarnă, pe când fațada nordică rămâne complet umbră în sezonul rece și beneficiază doar de o iluminare tangențială minimă în timpul verii.

4.3 Dinamica anuală și lunară a radiației solare primite

Pentru a cerceta dacă impactul climatic asupra anvelopantei poate fi un motiv de degradare, a fost consultată și baza de date climatice GIS - PVGIS-SARAH3 (Photovoltaic Geographical Information System)^[7], care se află în subordinea Comisiei Europene.

Pentru a susține ipoteza, a fost necesară analiza cantității de energie primită (în kWh/m²). În platforma PVGIS, s-au introdus parametrii geometrici extrași din model: unghiul de înclinare a planului (Slope) setat la 90° (reprezentând peretele vertical) și valorile de azimut calculate anterior (-15.56° pentru Sud, respectiv 164.44° pentru Nord) (fig. 15).

Figura 15. Consultarea platformei climatice GIS a Comisiei Europene.



Analiza acestui set de date arată o încărcare termică totală masivă, de **1064.34 kWh/m²** pe an, pentru fațada sudică (fig. 16). Această valoare este capabilă să inducă niveluri enorme de stres termo-mecanic, care se cumulează treptat în materialele tencuielii și ale zidăriei. Comparativ, fațada nordică absoarbe doar **320.53 kWh/m²** anual, reprezentând abia 30% din aportul recepționat de partea sudică (fiind de peste 3 ori mai ferită de radiația directă). (fig. 17).

De asemenea, raportul de asimetrie dintre valorile Sud-Nord indică o discrepanță maximă în timpul sezonului rece. Acest fenomen este cauzat de faptul că, pe timp de iarnă, soarele are cea mai joasă traiectorie pe bolta cerească și lovește perpendicular latura sudică. În același timp, partea nordică rămâne izolată, neavând parte de radiație solară directă, ci cel mult de o iluminare difuză sau tangențială, aspect evidențiat clar prin proiecția umbrelor din simularea astronomică anterioară.

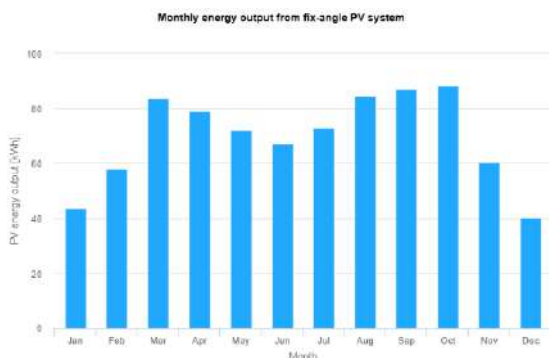


Figura 16. Radiația solară captată de fațada sudică.

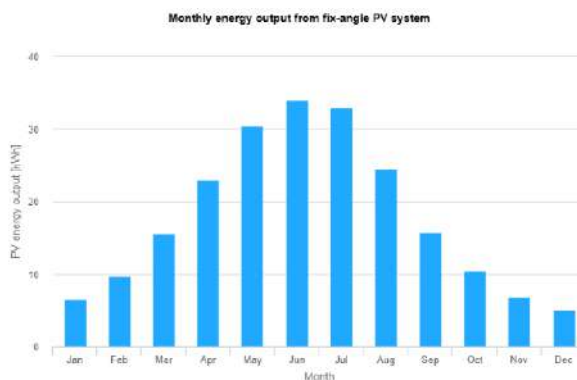


Figura 17. Radiația solară captată de fațada nordică.

5. Concluzii

În concluzie, prezenta lucrare de licență validează eficiența integrării tehnicilor fotogrammetrice aeriene și terestre pentru documentarea structurilor de patrimoniu. Geamănul digital obținut (fig. 18), caracterizat printr-o precizie ridicată și o rezoluție milimetrică, a permis identificarea unei asimetrii severe a degradărilor exterioare. Corelarea acestor observații spațiale cu simulările astronomice (Sunpath3D) și datele iradierii solare (PVGIS) a demonstrat științific ipoteza cercetării: deteriorarea accentuată a fațadei sudice este rezultatul mai multor cauze, una dintre ele fiind cu siguranță stresul termic extrem, indus de absorbția unei cantități de radiație solară de peste trei ori mai mare comparativ cu latura nordică stabilă. Astfel,

demersul practic al acestei lucrări subliniază importanța abordărilor multidisciplinare în protejarea patrimoniului cultural.



Figura 18. Captură de ecran a modelului texturat.

BIBLIOGRAFIE

1. <https://patrimoniul.ro/ro/lectia-de-patrimoniul/articles/patrimoniul-cultural>
2. <https://www.nature.com/articles/s40494-021-00571-8?fromPaywallRec=false> - Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage. Case study: Isabel II dam in Níjar (Almería, Spain)
3. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271615000982> - Identification of damage in buildings based on gaps in 3D point clouds from very high resolution oblique airborne images
4. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/3/239> - Enhancing UAV-SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images
5. <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/8/701> - Mobile Terrestrial Photogrammetry for Street Tree Mapping and Measurements
6. European Commission, Joint Research Centre (JRC). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Baza de date climatică PVGIS-SARAH3: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>
7. Marsh, A. Sunpath3D - Interactive Solar Path and Shading Simulator: <https://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>



EVALUAREA PRECIZIEI NORILOR DE PUNCTE GENERAȚI CU AJUTORUL SENZORULUI LIDAR INTEGRAT ÎNTRU-UN SMARTPHONE, ÎN COMPARAȚIE CU METODELE DE MĂSURARE CLASICE

Autor/autori

Krisztián-Imre BÓDIZS

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

Îndrumător/îndrumători

Asist.Drd.Ing. Dorin ISAC

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: mihai.isac@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Metodele și instrumentele de măsurare topografice se avansează în timp ce apar tehnologii în ce în ce mai noi. Unul dintre tehnologiile mai nou apărute și integrate pe scară largă în topografie comercială este tehnologia LIDAR (Light Detection and Ranging) considerată o metodă modernă de teledetecție. LIDAR este o tehnologie de scanare care folosește fascicule laser pentru a măsura distanțe până la obiective. Scanările LIDAR rezultă un nor de puncte, care oferă o reprezentare precisă a poziției punctelor. În prezent aceste senzori LIDAR-i sunt în ce în ce mai răspândite, cât se pot găsi integrat și într-un smartphone.

Cuvinte cheie: LIDAR, precizie, coordonate relative ,coordonate absolute.

1. Introducere

În domeniul topografiei ne întâlnim des cu diferite situații de a determina distanțele unor laturi și de a calculat suprafețele unei construcții sau a unei încăperi. Aceste determinări se pot realiza prin mai multe metode de determinare, așadar pe cale directă sau pe cale indirectă. Acestea necesită aparatură diferită și etape diferite care se parcurg în timpul măsurătorilor. Determinarea directă necesită parcurgerea distanței efectivă și aplicarea instrumentelor de măsurat asupra aliniamentului de atâtea ori încât să cuprindă tot aliniamentul. Presupune măsurarea distanței utilizând ca și instrumente ruleta clasică sau telemetru. Determinarea indirectă înseamnă că nu este necesară parcurgerea efectivă a aliniamentului dintre cele două puncte, în acest caz determinarea distanței se va face utilizând aparatura topografică modernă (teodolitul, stația totală).

Scanarea construcțiilor sau a încăperilor este o metodă indirectă. În prezent o astfel de scanare se poate face și cu ajutorul unui smartphone prin metoda fotogrammetrice sau cu ajutorul LiDAR-ului, dar trebuie analizată precizia de determinare corespunzătoare unui studiu topografic.

2. Zona în care s-au efectuat măsurătorile

Măsurătorile s-au efectuat asupra unei clădirii ce aparține Facultății de Construcții situata pe Strada Observatorului, nr. 72-74 din municipiul Cluj-Napoca, județul Cluj. S-a măsurat două încăperi a construcției: hol și sala O2 pentru a obține un releveu.



Figura 42- Zona de amplasare

3. Modul de achiziție a datelor, instrumente folosite

Pentru a determina precizia cu care se achiziționează datele, s-au efectuat trei seturi de măsurători diferite: o măsurătoare cu o ruletă clasică de 5 m, împreună cu un telemetru Bosch GLM 50-27 CG. Am efectuat o măsurătoare cu o stație totală Leica TCR 407 și o măsurătoare cu un Iphone 14 Pro Max cu ajutorul softului Dot3D.

3.1. Achiziționarea datelor cu ruletă clasică și telemetru

Aceasta este o metodă directă pentru achiziționarea datelor. Înainte de începerea măsurătorilor am desenat schița încăperii evidențiind geometria acesteia, golurile ușilor și a geamurilor. După ce am făcut schița am început măsurătorile, am măsurat toate elementele jur împrejur începând de la un element comun între hol și sala O2 (ușa acces O2), toate măsurările s-au notat pe schiță. Am măsurat totodată și înălțimile ușilor și a geamurilor, precum și înălțimea parapetului la geamuri. La ușa de intrare în clădire și la ușa care leagă holul cu O2 s-au măsurat și grosimea tocului de ușă.

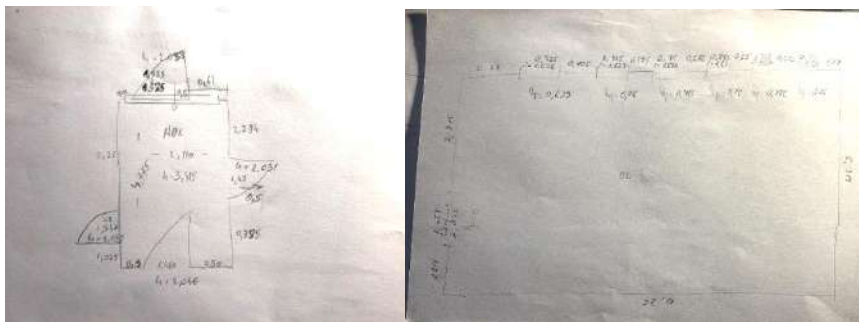


Figura 43- Schița releveu ruletă și telemetru

Prelucrarea datelor în acest caz constă într-un plan releveu în AutoCAD. Mărimile au fost introduse manual având grijă la schimbarea direcțiilor laturilor să avem funcția ORTHO activată. Când modelul era pregătită am creat un tabel cu toate distanțele cu ajutorul TopoLT-ului.



Figura 44- Măsurătorile cu ruletă clasică și telemetru

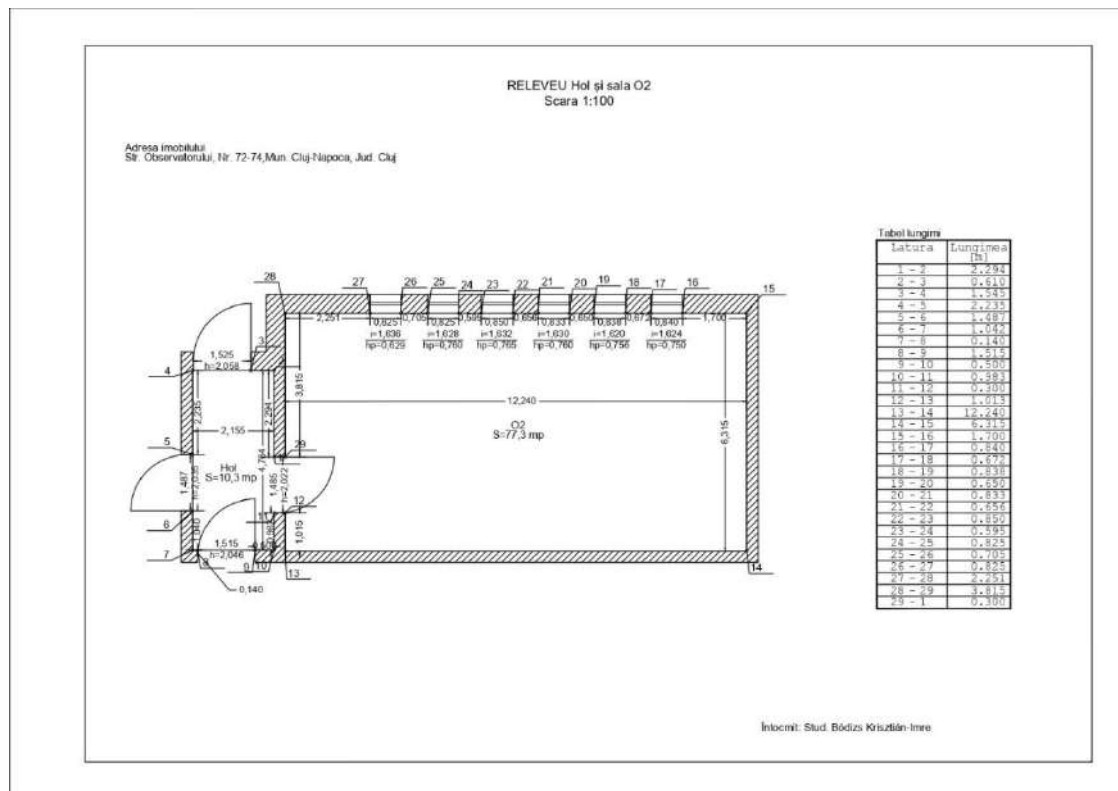


Figura 45- Plan relevu cu ruletă și telemetru

3.2. Achiziția datelor cu stația totală

Metoda constă în determinarea coordonatelor absolute a elementelor caracteristice (colțurile) din care se calculează distanțele laturilor. În cazul nostru am determinat elementele caracteristice în proiecția Stereografică 1970 și în sistemul de cote Marea Neagră 1975. Am staționat în curtea facultății într-un punct cunoscut, 104 (unde am efectuat operațiunea centrare și calare) și m-am orientat către punctul 101 (punct de coordonate cunoscute). Am determinat punctul S2 marcat în holul de acces. Ne-am mutat cu stația în punctul S2 determinat anterior, m-am orientat către punctul 104 și am determinat poziția punctului S3 în încăperea (O2), punct pe care l-am folosit ca stație pentru ridicarea în sala O2. Am încercat să măsoar cât mai multe puncte în ambele încăperi: colțuri jos, colțuri sus, colțurile golurilor de

uși și colțurile golurilor de geamuri. Am înregistrat și citiri asupra a 3 ținte (T1, T2, T4) care erau poziționate în sală.

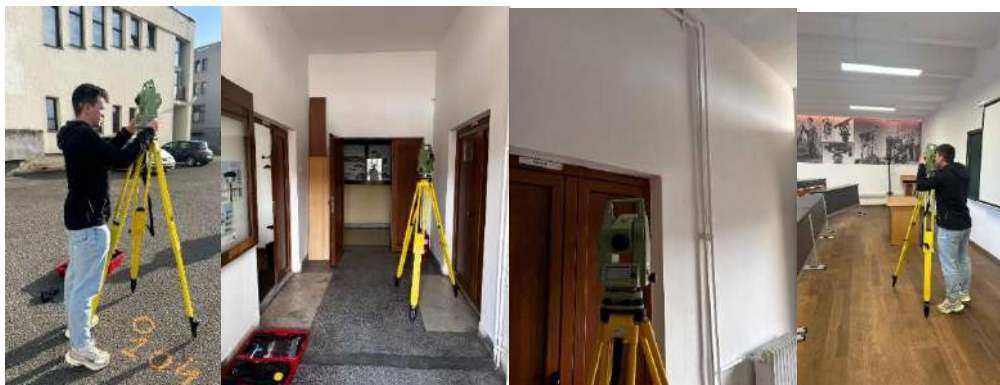


Figura 46-Măsurătoarea cu stația totală

După ce am descărcat coordonatele din stație, am introdus punctele în AutoCAD cu ajutorul TopoLT-ului. Am unit punctele cu ajutorul funcției 3DPOLY, care permite poli linii în 3D și am obținut o reprezentare 3D a obiectivului.

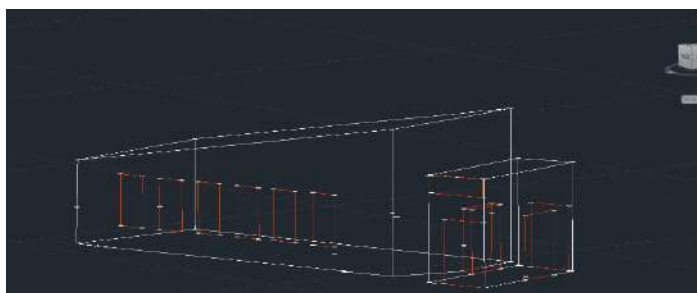


Figura 47-Punctele caracteristice unite 3D

Am secționat modelul la cota de 427,900 m la o înălțime de 1,500 m de cota punctului de intrare pentru a avea o secțiune care cuprinde toate geamurile și ușile. Am măsurat pe desen înălțimile ușilor și a geamurilor, respectiv înălțimea parapetelor.

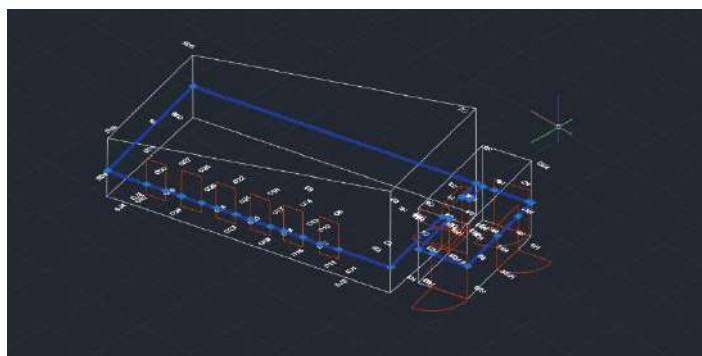


Figura 48-Punctele caracteristice unite 3D secționate

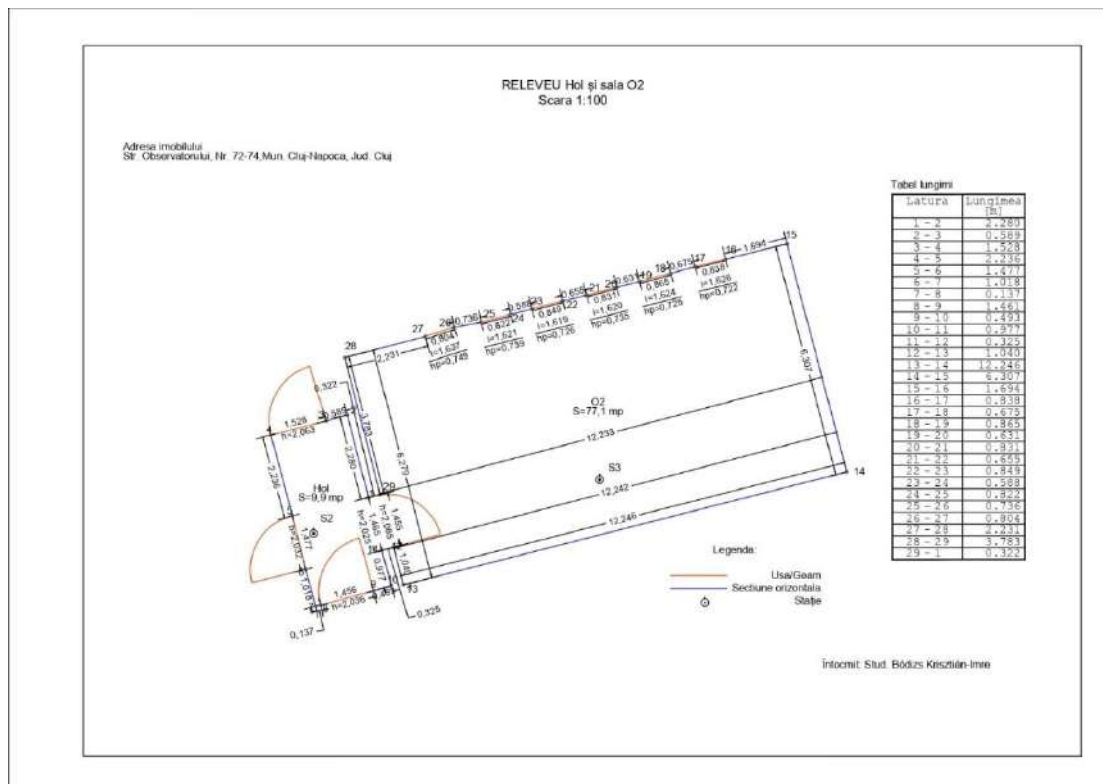


Figura 49-Plan releveu cu stația totală

3.3. Achiziționarea datelor cu un smartphone

Pentru această metodă de măsurare am utilizat aplicația Dot3D compatibilă cu modelul de smartphone utilizat. Dot3D folosește senzorul LiDAR pentru a captura informația spațială a tuturor punctelor create într-un nor de puncte. Pentru o măsurătoare mai precisă și georeferențiată automat, se poate folosi ținte pe care aplicația le recunoaște în timpul scanării.

Am scanat încăperile de două ori, dar am utilizat pentru prelucrare, secționare și măsurarea elementelor doar prima scanare.

3.4. Scanarea I

Am început măsurătorile de la ușa care leagă holul și sala O2, am scanat încăperile având grijă să am suprapunere între punctele înregistrate. Am intrat din hol în O2 fără a întrerupe scanarea iar poziția ușii de intrare a rămas nemișcată până când am terminat scanarea. În timp am înregistrat cele trei ținte pe care le-am determinat cu stația totală anterior. În aplicație am deschis modelul pentru a verifica calitatea norului de puncte generat. După ce am verificat și am constatat că elementele caracteristice sunt vizibile și se determină o geometrie similară cu cea din realitate am apăsat funcția optimize, după care am exportat scanarea în format .PLY pentru prelucrare.



Figura 50-Măsurătoarea cu Iphone 14 Pro Max

Datele exportate le-am introdus în programul CloudCompare pentru a alinia norul de puncte cu ajutorul țintelor măsurate cu stația totală.

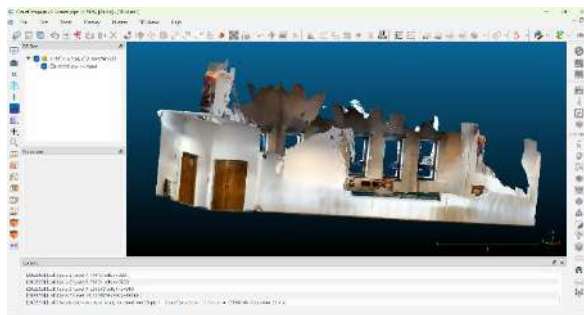


Figura 52-Norul de puncte în CloudCompare

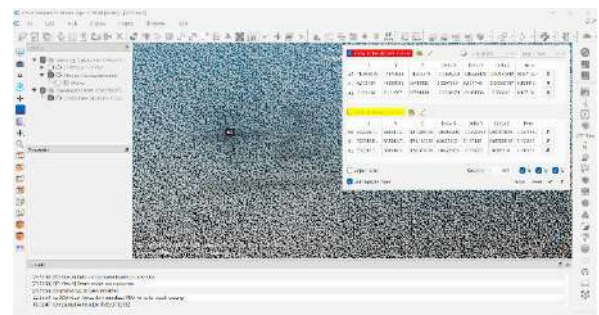


Figura 51-Alinierea norului de puncte

Pentru a avea posibilitatea de a introduce norul de puncte în AutoCAD pentru digitizare am utilizat aplicația Autodesk ReCap Pro. În ReCap s-a realizat indexarea norului de puncte și am avut posibilitatea de a analiza coordonatele acestuia. După salvare în fișier .RCS datele se poate introduce în AutoCAD.

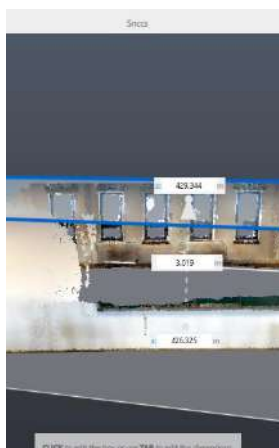


Figura 54-Analiza cotelor în ReCap



Figura 53-Norul de puncte în ReCap

După inserarea în AutoCAD am urmărit aceeași pași ca în prelucrarea datelor obținute din stație totală. Am unit toate punctele caracteristice, am secționat modelul. Înainte de a realiza planul releveu, am căutat centrul modelului digitizată și centrul modelului obținute cu stația totală. Am translatat desenul la centrul modelului obținute din stația totală, așa am adus desenul semi-georeferențiat anterior în coordonatele reale, după care am realizat planul releveu.

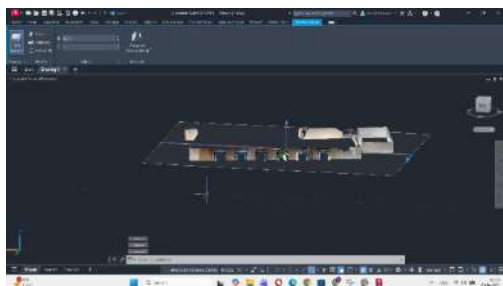


Figura 56-Secționare în AutoCAD

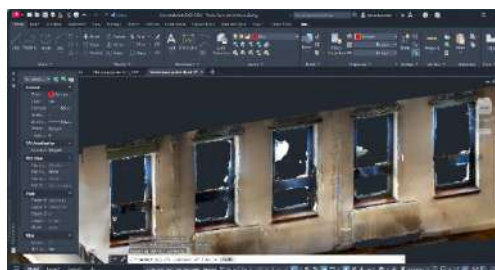


Figura 55-Digitizarea elementelor

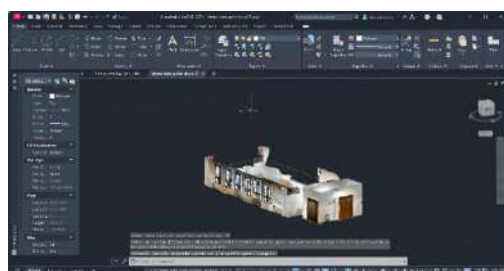


Figura 58-Norul de puncte digitizat

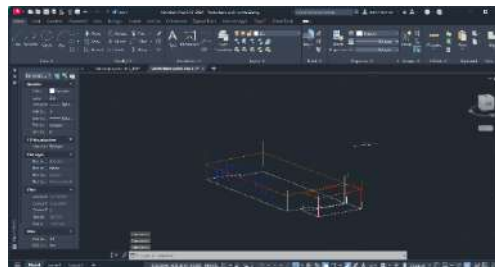


Figura 57-Elementele caracteristice a norului de puncte

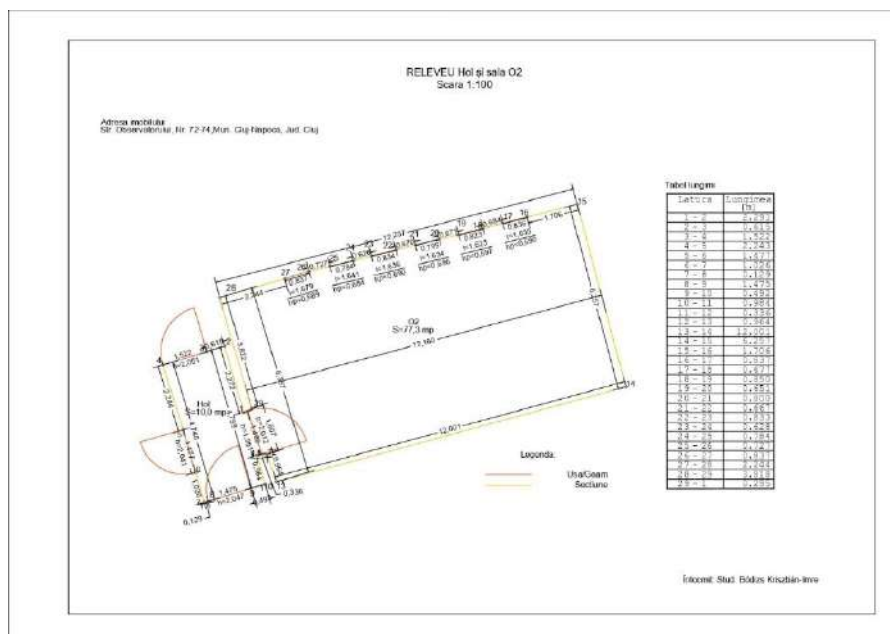


Figura 59-Plan releveu cu LiDAR

3.5. Măsurătoarea II

Măsurătoarea a început tot de la ușa dintre hol și O2, mergând în jur împrejur în hol până când am ajuns înapoi la ușă, am intrat în O2 fără a opri scanarea. După ce am intrat am închis ușa ca să am o vizibilitate mai bună la golul de ușă. Am capturat toate elementele caracteristice (geamuri, ținte, colțuri) și când am ajuns înapoi la ușă, a apărut un strat te zgomot din cauza ca ușa rămânea închisă și nu era vizibilitate între cele două încăperi. În aplicație am analizat modelul creat, și am observat din nou stratul de zgomot, dar totul părea în regulă. Am apăsă optimizarea norului în aplicație după care am exportat fișierul în format .PLY.

Am introdus fișierul în aplicația CloudCompare unde am constatat că norul de puncte este necorelat. O parte din hol s-a suprapus cu O2.

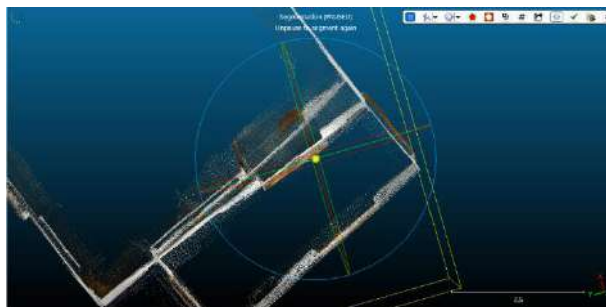


Figura 60-Norul de puncte creat din măsurătoarea II

Am încercat să salvez măsurătoarea prin suprapunerea norului cu cea din măsurătoarea I, dar diferența dintre cele două era una ireversibilă de mare cu orice ajustare.

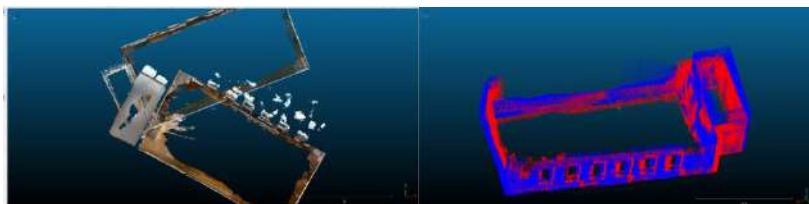


Figura 61-Norurile de puncte din cele două măsurători înainte de aliniere și după alinierea acestora

4. Evaluarea preciziei norilor de puncte generați cu ajutorul senzorului LIDAR integrat într-un smartphone, în comparație cu metodele de măsurare clasice

4.1. Pentru a evidenția diferențele preciziilor între cele trei metode am introdus distanțele obținute într-un tabel excel și am considerat lungimile din stația totală ca lungimi etalon.

Capetele de lungimi au fost notate la fel pentru fiecare relevu realizat prin cele trei metode aplicate.



Tabelul 1.-Difereța lungimilor a laturilor

Latură	Ruletă+ telemetru [m]	Statie totală [m]	LiDAR [m]	Diferență [m]		
				ST-Ruletă	ST-LiDAR	Ruletă -LiDAR
1-2	2,294	2,28	2,291	-0,014	-0,011	0,003
2-3	0,61	0,589	0,615	-0,021	-0,026	-0,005
3-4	1,545	1,528	1,522	-0,017	0,006	0,023
4-5	2,235	2,236	2,243	0,001	-0,007	-0,008
5-6	1,487	1,477	1,477	-0,010	0,000	0,010
6-7	1,042	1,018	1,026	-0,024	-0,008	0,016
7-8	0,14	0,137	0,129	-0,003	0,008	0,011
8-9	1,515	1,461	1,475	-0,054	-0,014	0,040
9-10	0,5	0,493	0,492	-0,007	0,001	0,008
10-11	0,983	0,977	0,984	-0,006	-0,007	-0,001
11-12	0,3	0,325	0,336	0,025	-0,011	-0,036
12-13	1,013	1,04	0,964	0,027	0,076	0,049
13-14	12,24	12,246	12,001	0,006	0,245	0,239
14-15	6,315	6,307	6,257	-0,008	0,050	0,058
15-16	1,7	1,694	1,706	-0,006	-0,012	-0,006
16-17	0,84	0,838	0,837	-0,002	0,001	0,003
17-18	0,672	0,675	0,677	0,003	-0,002	-0,005
18-19	0,838	0,865	0,85	0,027	0,015	-0,012
19-20	0,65	0,631	0,651	-0,019	-0,020	-0,001
20-21	0,833	0,831	0,8	-0,002	0,031	0,033
21-22	0,656	0,655	0,667	-0,001	-0,012	-0,011
22-23	0,85	0,849	0,833	-0,001	0,016	0,017
23-24	0,595	0,588	0,628	-0,007	-0,040	-0,033
24-25	0,825	0,822	0,784	-0,003	0,038	0,041
25-26	0,705	0,736	0,727	0,031	0,009	-0,022
26-27	0,825	0,804	0,837	-0,021	-0,033	-0,012



27-28	2,251	2,231	2,244	-0,020	-0,013	0,007
28-29	3,815	3,783	3,818	-0,032	-0,035	-0,003
29-1	0,3	0,322	0,295	0,022	0,027	0,005

Tabelul 2. –Diferențele lungimilor

	Media diferențelor pe perimetru [m]		
	ST-Ruletă	ST-LiDAR	Ruletă -LiDAR
	-0,136	0,272	0,408
Eroarea max absolută pe latură	0,054	0,245	0,239
Eroarea min absolute pe latură	0,001	0	0,001

După cum se observă în tabelele de mai sus, pentru ambele metode (ruleta + telemetru, scanarea cu LiDAR) sunt abateri față de stația totală, și cum se observă LiDAR-ul are o abatere mai mare. Perimetrul determinat cu ruleta este cu 0,28771% mai lung față de perimetrul realizat cu stația, iar perimetrul determinat cu ajutorul LiDAR-ului este cu - 0,56154% mai scurt decât perimetrul determinat cu stația. Aceste diferențe se aplică și suprafețelor determinate.

Din Tabelul 1. se poate observa că cele mai mari abateri au apărut la laturile cele mai lungi. Diferența cea mai mare între stația totală și LiDAR a apărut la latura 13-14, latura cea mai lungă. Totodată cu LiDAR am obținut pentru o latură și o abatere 0.

Luând în calcul această idee am calculat media diferențelor între lungimea laturilor de unde am exclus latura 13-14.

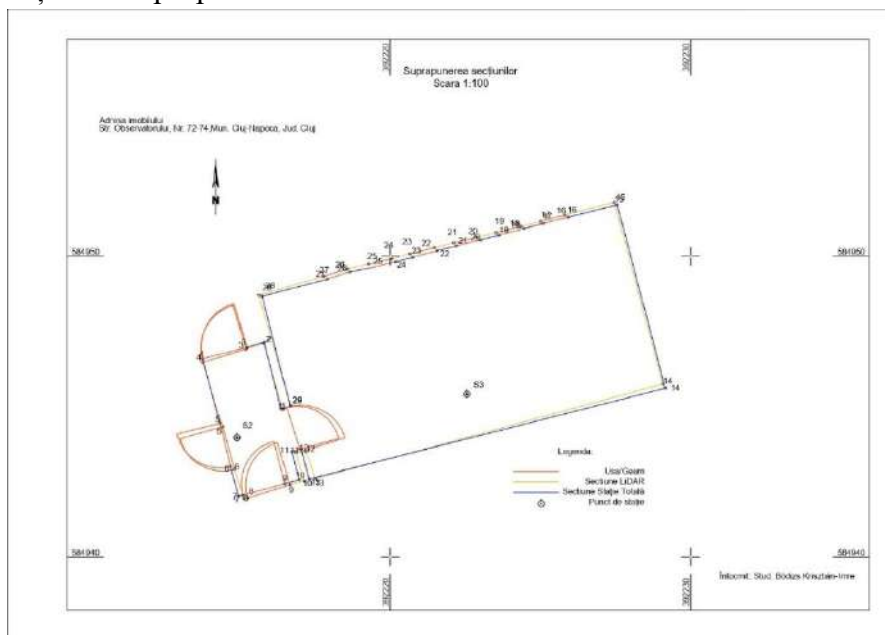
Tabelul 3. – Diferențele lungimilor cu latura 13-14 exclusă

	Media diferențelor pe perimetru exclus latura 13-14[m]		
	-0,142	0,027	0,169
Eroarea max absolută pe latură	0,054	0,076	0,058
Eroare min absolută pe latură	0,001	0	0,001

Se observă că abaterea medie a scăzut, măsurătorile au în total o diferență de 0,0764% între cele două perimetre (stația totală și LiDAR).

4.2. Dacă comparăm secțiunea releveului realizat cu stația totală și cu secțiunea releveului georeferențiat realizat cu LiDAR, se observă că sunt diferențe și între coordonatele absolute a punctelor, acestea pot apărea din faptul că am folosit un număr scăzut de ținte (trei) și pentru că țintele nu respectă specificațiile aplicației. Dacă foloseam ținte profesionale, probabil

georeferențierea ieșea mai apropiat de realitate.



Figură 62- Suprapunerea secțiunilor

5. Concluzii

Precizia norului de puncte generată cu ajutorul senzorului LiDAR încadrat într-un smartphone se poate analiza după două criterii:

Dacă analizăm datele din punct de vedere ingineresc, abaterea medie între măsurătorile cu Stația Totală și norul de puncte generată cu LiDAR-ul este de $\approx 27\text{ cm}$ pe lungimea perimetrului cea ce înseamnă că precizia norului generată cu LiDAR nu este satisfăcătoare pentru acest tip de lucrare.

Pe de o altă parte trebuie precizat că nu am folosit ținte profesionale pentru georeferențiere și nu am setat toate opțiunile aplicației utilizate. Aplicația permite înainte de optimizare, setarea unor parametri precum: care dintre ziduri sunt paralele între ele, distanța măsurată cu telemetru sau cu ruletă se poate introduce între zidurile paralele. Cu aceste ajustări ajungeam la o valoare mai apropiată de valorile obținute cu stația totală.

Precizia norului este strâns legat și de procesul de lucru. Sunt anumiți factori în timpul măsurătorilor care poate îmbunătăți precizia norului, și sunt factori care poate deteriora toate măsurătoarea, așa cum s-a întâmplat în timpul celei de a doua măsurătoare. De asemenea, trebuie să avem o suprapunere între două seturi de puncte recepționate în timpul măsurătorilor, trebuie evitat lungimile mai mari, sau zone cu deschidere mai mari, pentru ca norul de puncte să aibă o precizie mai apropiată de măsurătoarea realizată cu stația totală, măsurătoare considerată etalon la lungimi mai mici.

În concluzie pot afirma că precizia norilor de puncte generată cu ajutorul senzorului LiDAR încadrat într-un smartphone în câțiva ani v-a atinge nivelul cerut în domeniul



ingineriei geodezice, totul va depinde de utilizator pentru a atinge un nivel de măsurare și prelucrare ridicată.

BIBLIOGRAFIE

- [1]Curs Topografie I- Conf. Ing. Sanda Naș
- [2][https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-index-point-clouds-for-](https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-index-point-clouds-for-use-with-Revit.html)[3] [use-with-Revit.html](https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-index-point-clouds-for-use-with-Revit.html)
- [4]<https://www.cloudcompare.org/>
- [5]<https://dotproduct.zohodesk.com/portal/en/kb/articles/getting-started-with-scanning>



EVIDENȚIEREA EFECTELOR APĂRUTE ÎNTR-O CONSTRUCȚIE ÎN TIMPUL EXECUȚIEI UNEI CLĂDIRI ALĂTURATE

Autor

Bianca PINTEA

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: biancapintea679@gmail.com](mailto:biancapintea679@gmail.com).

Îndrumător

Prof.Dr.Ing. Cornel ARSENE

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: Cornel.Arsene@mtc.utcluj.ro](mailto:Cornel.Arsene@mtc.utcluj.ro).

REZUMAT: *Urmărirea comportării în timp constă atât în observarea cât și în înregistrarea unor fenomene, aspecte sau parametrii care pot semnaliza modificări ale capacității construcției de a îndeplini condițiile tehnice de performanță, stabilite prin proiect. Totodată reprezintă și o activitate importantă prin care se asigură menținerea performanțelor tehnice ale unei construcții pe toată durata de utilizare. Scopul principal este obținerea de informații despre starea tehnică pentru prevenirea incidentelor și asigurarea unei exploatare sigure, precum și pentru îmbunătățirea activității din domeniul construcțiilor.*

Cuvinte cheie: nivelment geometric de mijloc, urmărirea comportării în timp a construcției, drumuire sprijinită la capete, reper, tasare.

1. Introducere

Urmărirea comportării în timp a construcțiilor reprezintă o componentă esențială a sistemului calității în construcții, având rolul de a asigura menținerea cerințelor fundamentale de rezistență, stabilitate și siguranță pe întreaga durată de exploatare. Aceasta constă într-o activitate sistematică de observare, măsurare și analiză a parametrilor care caracterizează răspunsul construcției la acțiunile mediului și la condițiile de utilizare.[1]

Prin urmare, monitorizarea comportării în timp permite observarea evoluției construcției și detectarea apariției unor degradări sau modificări structurale, contribuind la evaluarea siguranței și stabilității acesteia. În mod similar, urmărirea comportării terenurilor are rolul de a evidenția modificările produse la nivelul suprafeței sau în masa solului, precum tasări, alunecări sau deplasări spațiale.[2]



2. Date generale

2.1. Localizare

Construcția urmărită se află în județul Cluj, orașul Cluj-Napoca, cartierul Între lacuri.

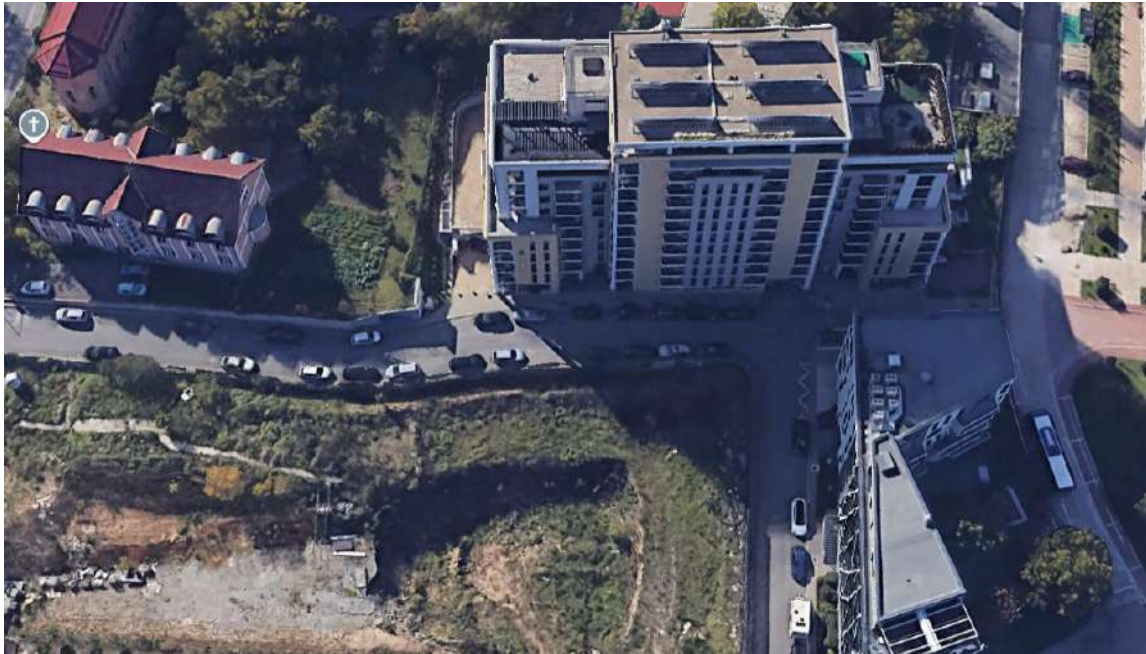


Figura 1. Localizarea construcției

2.2. Aparat folosit

Măsurătorile sunt realizate utilizând nivela de precizie NI 007 Zeiss cu pendul autocalanț și vernier, instrument ce permite citirea a 100 de poziții pe intervalul de 5mm și mire cu bandă de invar (aliaj de fier și nichel).



Figura 2. Nivela Ni007

Miră cu bandă
de invar
(TOPCON –
2m)



Figura 3. Mira cu bandă de invar

3. Studiu de caz

Lucrarea analizează influența execuției unei noi construcții asupra comportării în timp a unei construcții deja existente.

Măsurătorile sunt realizate utilizând nivela de precizie NI 007 Zeiss cu pendul autocolant și vernier, cota mărcilor (buloanelor) fixate în clădire (M1-M12) și a celor fixate la sol în calea de acces (1-16) fiind determinată prin metoda nivelmentului geometric de mijloc, cu precizia impusă de normativele în vigoare. Mărcile fiind fixate în clădire, respectiv în calea de acces, deplasarea mărcilor indică tocmai deplasarea clădirii, respectiv a căii de acces în zona în care este fixată marca respectivă.

Poziționarea mărcilor fixate în clădire a fost condiționată de posibilitatea de acces la acestea, date fiind diversele obstacole existente pe latura de nord și pe latura de vest a clădirii (garduri, construcții anexe, etc.) și acestea sunt dispuse astfel: M1 pe latura de nord, M2 pe colțul de NE, M3-M7 pe latura de est, M8 pe colțul de SE, M9 și M10 pe latura de sud, M11 pe colțul de SW, iar M12 pe latura de vest. Buloanele fixate la sol în calea de acces sunt dispuse pe două rânduri: un profil amonte (1, 2, 3, 4, 5, 6,) și unul aval (11, 12, 13, 14, 15, 16) spre noua construcție.

Întrucât traseul dintre reperul de referință și obiectivul monitorizat este accidentat, observațiile au fost realizate în trei bucle închise.

Nivelment geometric de mijloc se bazează pe principiul vizei orizontale a instrumentului, oferindu-ne o precizie ridicată la determinarea cotelor. Determinările au fost realizate pornind de la reperele RN1, R1, R2.[3]

În urma realizării drumuirii de nivelment, valorile cotelor obținute au fost trecute în fișa de urmărire a tasărilor.

Etapa a II-a

Au fost realizate diagramele pentru tasările mărcilor – diagrama tasărilor pentru mărcile fixate în clădire și diagrama tasărilor pentru mărcile fixate la sol în calea de acces – anexate. Din aceste diagrame se observă că valorile tasărilor pentru mărcile fixate în clădirea existentă

sunt sub $-0,5\text{mm}$, excepție, făcând marca M2 de pe stâlpul colțului de NE, în timp ce pentru mărcile fixate la sol în calea de acces (profilul amonte – mărcile: 1, 2, 3, 4, 5, 6, profilul aval – mărcile: 11, 12, 13, 14, 15, 16,) pentru profilul aval doar marca de capăt a profilului (11) are tasări mai mici de $-0,5\text{mm}$, iar celelalte mărcile ale profilului (12, 13, 14, 16) au tasări mai mari de $-1,0\text{mm}$, ajungând la -3mm pentru marca 16; în cazul mărcii 15 din profilul aval se observă o ridicare de $0,6\text{mm}$.



Figura 4. Linia profilelor 5 (amonte – dreapta) – 15 (aval – stânga) și 6 (amonte – dreapta) – 16 (aval – stânga)

Etapa a III-a

Deplasările determinate după realizarea celei de-a treia măsurătoare arată faptul că valorile tasărilor totale sunt de cel mult jumătate de mm ($-0,5\text{mm}$ marca M3 și marca M6) în cazul mărcilor fixate pe clădire, fapt care indică o stare de stabilitate a clădirii.

În cazul reperelor din calea de acces nu se poate spune același lucru.

Valorile tasărilor totale pentru mărcile fixate pe profilul amonte (1-6 sunt mai mari decât cele ale mărcilor fixate pe clădire și, dacă în etapa precedentă valorile nu depășeau $-1,0\text{mm}$, la măsurătoarea a III-a doar mărcile 1 și 2 au tasări totale mai mici de $-1,0\text{mm}$, celelalte (3, 4, 5, 6) au tasările totale mai mari de $-1,0\text{mm}$ ($-1,1\text{mm}$ marca 6, $-1,3\text{mm}$ marca 8), cu valorile cele mai mari înregistrate de marca 3 ($-3,7\text{mm}$) și marca 4 ($-4,5\text{mm}$).

Pentru mărcile fixate pe marginea spre noua construcție (profilul aval) însă, doar cea de pe capăt (11) are tasări submilimetrice, în timp ce celelalte au valori mai mari de 1mm , marca 13 având o tasare de $-6,8\text{mm}$ în intervalul etapa II – etapa III și o tasare totală de $-8,8\text{mm}$ în intervalul etapa I – etapa III. Din păcate, din cauza vehiculelor parcate, buloanele 14 și 15 nu au putut fi măsurate.

Modul de deplasare a reperelor din calea de acces arată o tasare diferențiată, sugerând o înclinare a căii de acces spre zona lucrărilor, cu apariția unei zone cu tasare mai mare între perechile de bolțuri 3–13 și 4–14.

Conformația acestei zone în plan vertical se poate observa pe diagrama cu tasarea curentă și cea cu tasarea totală a mărcilor fixate la sol în calea de acces; pentru vizibilitate, scara axei verticale a diagramelor a fost mărită de cca. 10 ori, valoarea înscrisă pentru fiecare marcă fiind însă exprimată în milimetri.

La momentul realizării măsurătorilor pentru etapa a II-a în zona construcției noi erau efectuate lucrări care să consolideze elementele de susținere pentru calea de acces (Fig. 5.). Pe figură este marcată zona dintre perechile de bolțuri 3–13 și 4–14.



Figura 5. Consolidarea elemente de sus

Lucrări de consolidare a elementele de susținere pentru calea de acces au continuat și în intervalul etapa II - etapa III (Fig. 7.), însă valorile tasărilor înregistrate de marca 3 (–2,9mm), de marca 4 (–3,7mm) și marca 13 (–6,8mm) în intervalul amintit (între etapa a II-a și etapa a III-a) nu indică o stopare a procesului de tasare pentru reperele din calea de acces.



Figura. 7. Continuarea lucrării de consolidare

Datele rezultate în cele trei etape de observații se regăsesc în fișele de urmărirea tasărilor și în diagramele profilelor.



Tabel 1.Valori tasări totale ale mărcilor construcției

FIȘA DE URMĂRIRE A TASĂRIILOR								
Obiectivul : Clădirea SPA, strada Al, Vaida Voievod, județul Cluj								
Data efectuării măsurătorii primare : ian. 2026				Reper de referință : RN1 = + 333.6800m				
Nr.	Denumire	Măsurătoarea	Măsurătoarea a II-a			Măsurătoarea a III-a		
crt.	reper sau	primară	(la 28 zile de precedenta)			(la 35 zile de precedenta)		
	marcă	ian. 2026	febr. 2026			martie 2026		
		Cota față de	Cota față	Tasarea față de		Cota față	Tasarea față de	
		reperul de	de reperul	ultima	prima	de reperul	ultima	prima
		referință	de referință	citire		de referință	citire	
		[m]	[m]	[mm]		[m]	[mm]	
1	M1	335,4160	335,4161	0,1	0,1	335,4165	0,4	0,5
2	M2	334,3836	334,3828	-0,8	-0,8	334,3832	0,4	-0,4
3	M3	334,2319	334,2316	-0,3	-0,3	334,2314	-0,2	-0,5
4	M4	334,3938	334,3938	0,0	0,0	334,3938	0,0	0,0
5	M5	334,1954	334,1954	0,0	0,0	334,1952	-0,2	-0,2
6	M6	335,0609	335,0605	-0,4	-0,4	335,0604	-0,1	-0,5
7	M7	335,3900	335,3899	-0,1	-0,1	335,3899	0,0	-0,1
8	M8	335,6102	335,6101	-0,1	-0,1	335,6101	0,0	-0,1
9	M9	335,6761	335,6760	-0,1	-0,1	335,6759	-0,1	-0,2
10	M10	338,3384	338,3384	0,0	0,0	338,3385	0,1	0,1
11	M11	338,6049	338,6050	0,1	0,1	338,6052	0,2	0,3
12	M12	338,4690	338,4689	-0,1	-0,1	338,4688	-0,1	-0,2

Tabel 2.Valori tasări totale mărci cale de acces

FIȘA DE URMĂRIRE A TASĂRIILOR								
Obiectivul : Clădirea SPA, strada Al, Vaida Voievod, județul Cluj								
Data efectuării măsurătorii primare : ian. 2026				Reper de referință RN1 = + 333.6800m				
Nr.	Denumire	Măsurătoarea	Măsurătoarea a II-a			Măsurătoarea a III-a		
crt.	reper sau	primară	(la 28 zile de precedenta)			(la 35 zile de precedenta)		
	marcă	ian. 2026	febr. 2026			martie 2026		
		Cota față de	Cota față	Tasarea față de		Cota față	Tasarea față de	
		reperul de	de reperul	ultima	prima	de reperul	ultima	prima
		referință	de referință	citire		de referință	citire	
		[m]	[m]	[mm]		[m]	[mm]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
3	1-11	333,9184	333,9183	-0,1	-0,1	333,9181	-0,2	-0,3
4	2-12	333,9799	333,9795	-0,4	-0,4	333,9793	-0,2	-0,6
5	3-13	334,6954	334,6946	-0,8	-0,8	334,6917	-2,9	-3,7
6	4-14	334,9511	334,9503	-0,8	-0,8	334,9466	-3,7	-4,5
7	5-15	335,0483	335,0477	-0,6	-0,6	335,0463	-1,4	-2,0
8	6-16	335,5768	335,5763	-0,5	-0,5	335,5757	-0,6	-1,1
11	1-11	333,8522	333,8520	-0,2	-0,2	333,8521	0,1	-0,1
12	2-12	333,8320	333,8302	-1,8	-1,8	333,8296	-0,6	-2,4
13	3-13	334,7132	334,7112	-2,0	-2,0	334,7044	-6,8	-8,8
14	4-14	335,0148	335,0135	-1,3	-1,3			
15	5-15	335,0990	335,0996	0,6	0,6			
16	6-16	335,5527	335,5497	-3,0	-3,0	335,5490	-0,7	-3,7



Diagrama 1.Etapa a II-a pentru tasări totale ale mărcilor construcției

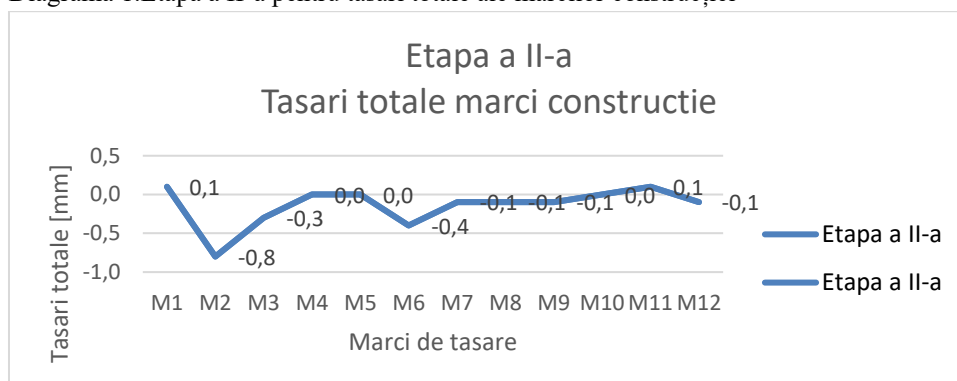


Diagrama 2.Etapa a III-a pentru tasări totale ale mărcilor construcției

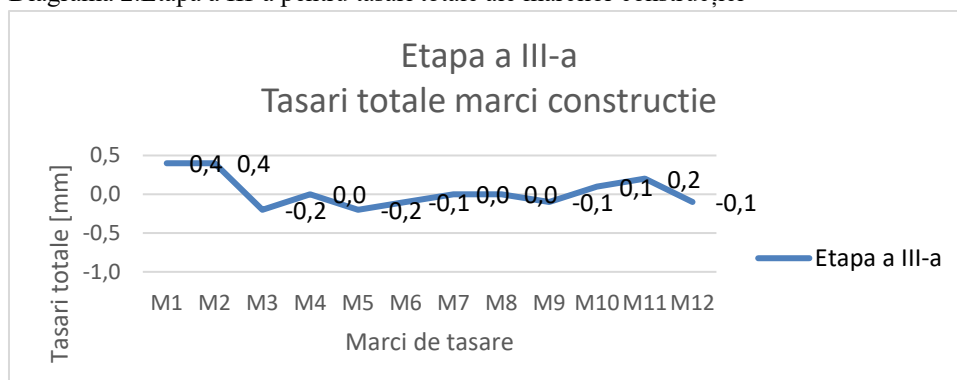


Diagrama 3.Etapa a II-a pentru tasări totale mărci cale de acces

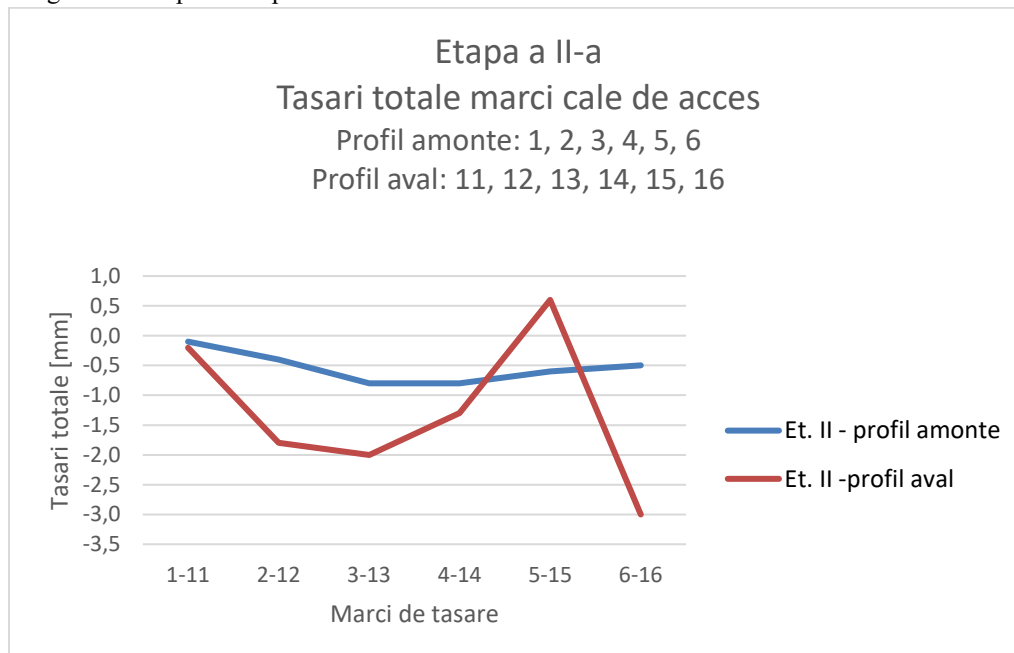
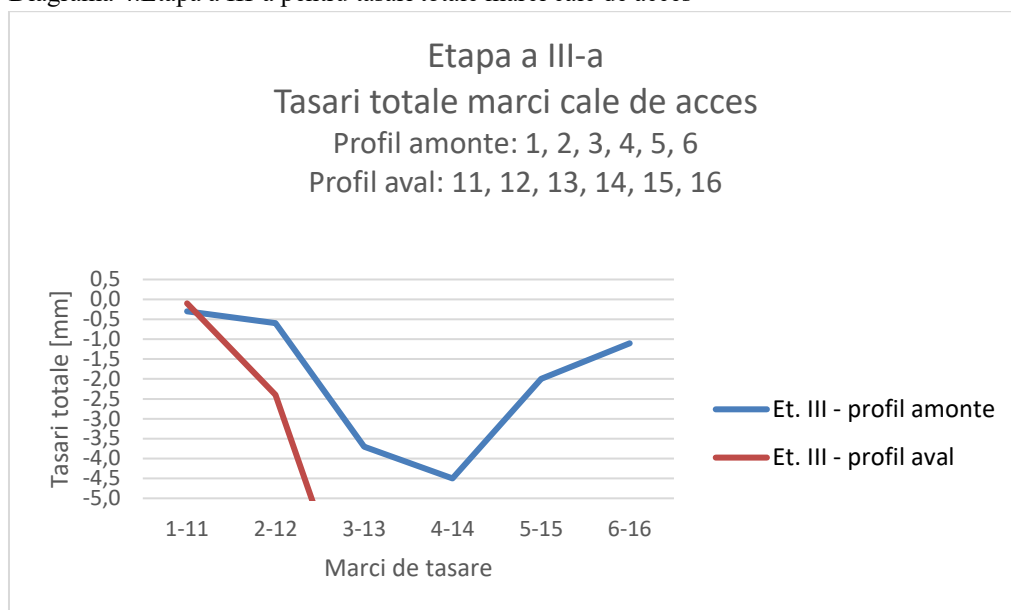




Diagrama 4.Etapa a III-a pentru tasări totale mărci cale de acces



4.Concluzie

În urma prelucrării ciclurilor de măsurători altimetrice realizate cu nivela NI007, raportate la reperele deja cunoscute RN1, R1 și R2, se constată că nu există diferențe mari de tasare între punctele monitorizate ale construcției.

Valorile determinate indică o comportare relativ uniformă a blocului rezidențial existent, fără apariția unor tasări diferențiate semnificative. Acest lucru sugerează că, în perioada analizată, influența construcției noi din apropiere nu a produs efecte majore asupra stabilității verticale a clădirii monitorizate.

Prin urmare, construcția analizată prezintă o comportare stabilă din punct de vedere altimetric, iar tasările înregistrate se încadrează într-un interval redus, fără indicii clare de deformări periculoase sau de evoluții care să afecteze siguranța în exploatare. Totuși, se recomandă continuarea monitorizării prin cicluri periodice de măsurători, pentru confirmarea menținerii acestei tendințe în timp.

BIBLIOGRAFIE

1. *Normativ privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor, indicativ P 130-2025*
2. Adrian Traian G.M. Rădulescu, Gheorghe M.T. Rădulescu , *Urmărirea comportării terenurilor și a construcțiilor 2017*
3. Sanda Mărioara Naș, *Curs Topografie II*



GEOREFERENȚIEREA DATELOR SPAȚIALE PRIN METODE DE CALCUL MATEMATIC ȘI ALGORITMI DIGITALI

Autor/autori

Karina Ștefania Podaru¹, Cristian Sauca²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, [e-mail: podaru.st.karina@student.utcluj.ro](mailto:podaru.st.karina@student.utcluj.ro).

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, [e-mail: sauca.va.cristian@student.utcluj.ro](mailto:sauca.va.cristian@student.utcluj.ro).

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Raluca Claudia Gâlgău³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, [e-mail: raluca.galgau@campus.utcluj.ro](mailto:raluca.galgau@campus.utcluj.ro).

REZUMAT: *Georeferențierea reprezintă un proces fundamental în geomatică, prin care datele spațiale raster (planuri, foi de hartă, imagini aeriene sau satelitare) sunt integrate într-un sistem de coordonate geografice sau proiective. Această operațiune esențială stabilește o corespondență precisă între coordonatele pixelilor imaginii și pozițiile reale în teren, utilizând o metodologie analitică bazată pe algoritmi matematici riguroși și sisteme de ecuații. Procesul implică aplicarea unor transformări geometrice, precum rotația, scalarea și translația, pentru a ajusta imaginea conform sistemului de coordonate țintă. Eficiența și precizia sunt optimizate prin utilizarea aplicațiilor software specializate, cum ar fi QGIS, TopoLt, Global Mapper, care implementează aceste metode matematice avansate și facilitează gestionarea punctelor de control. Un studiu comparativ al algoritmilor matematici și digitali, utilizând o foaie de trapez ca referință, poate evidenția performanța acestora în reducerea erorilor și optimizarea preciziei georeferențierii. Obiectivul principal este minimizarea erorilor reziduale și îmbunătățirea calității datelor spațiale. Scopul final al georeferențierii este pregătirea datelor pentru utilizarea eficientă și analize spațiale avansate în cadrul Sistemelor Informaționale Geografice (GIS), contribuind la decizii informate în diverse domenii.*

Cuvinte cheie: Georeferențiere, GIS, date raster, algoritmi matematici, QGIS, TopoLt, transformări geometrice, precizie spațială.

1. Introducere

Georeferențierea asigură transpunerea informațiilor din format analogic în sisteme de coordonate digitale. O transformare de coordonate utilizează parametrii care trebuie determinați empiric pe baza unui set de puncte având coordonatele în ambele sisteme de referință. Precizia datelor spațiale dictează calitatea deciziilor ingineresti, iar procesul de integrare a planșelor cartografice vechi devine o provocare esențială, luând ca studiu de caz foaia de trapez specifică județului Cluj identificată prin nomenclatura L-34-48-C-a.



2. Materiale și metode

Etapa de culegere și pregătire a datelor are ca suport principal foaia de trapez L-34-48-C-a, reprezentând județul Cluj, scara este de 1:25.000, proiecția cilindrică transversală conformă Gauss-Kruger, sistemul de coordonate 1942, iar ca și sistem de referință altimetric Marea Neagră-1975. Echidistanța curbelor de nivel normale este de 5 metri. Foaia de trapez a fost întocmită în anul 1979, după originalul din 1977, dispunând atât de caroiaj rectangular cât și de cel geografic. Ca încadrare în caroiajul geografic, zona este cuprinsă între paralele: 46 °45'00'' și 46°50'00'', respectiv meridianele: 23°30' 00'' și 23° 37'30''.

2.1 Metoda analitică (transformarea afină)

Ca și metodă analitică eficientă, transformarea afină funcționează ca un mecanism de calcul, ajustând foaia de trapez. Această metodă utilizează șase parametrii matematici care permit rotirea, scalarea și întinderea imaginii în mod diferențiat pe lățime și înălțime. Este necesar un minim de trei puncte de control. Algoritmul afin corectează inclusiv efectul de forfecare (colțurile hărții nu mai sunt perpendiculare). Pentru calculul manual în vederea determinării parametrilor transformării afine prin metoda celor mai mici pătrate, se parcurg următoarele etape:

2.1.1 Scrierea relațiilor fundamentale de legătură (1), (2) între coordonatele rectificate pe care vrem să le determinăm și parametrii:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y \quad (1)$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y \quad (2)$$

Unde:

- X, Y- Coordonatele cele mai probabile
- a_0, b_0 -Parametrii de translație care indică distanța de mutare a hărții pe axa orizontală și axa verticală
- a_1, b_2 - Factorii de scară independenți
- a_2, b_1 - Parametrii de rotație și forfecare

2.1.2 Calculul parametrilor prin metoda matriceală (3):

$$P = (A^T * A)^{-1} * A^T * L \quad (3)$$

Unde:

- A- reprezintă matricea coeficienților
- P - matricea parametrilor de transformare
- A^T -transpusa matricei A
- L- matricea termenilor liberi

2.1.3 Determinarea reziduurilor și eroarea medie pătratică (4):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(v_x^2 + v_y^2)}{n}} \quad (4)$$



Unde:

- N-Numărul punctelor de control
- v-reziduurile pe fiecare axă

$$A_i = \begin{pmatrix} 1 & x_i & y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i \end{pmatrix} \quad (5) \quad P = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad (6) \quad L_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \quad (7)$$

Tabel 3. Calculul analitic utilizând parametrii specifici

Punct	Coordonate vechi		Coordonate impuse		Matricea P	Punct	Coordonate vechi		Coordonate calculate	
	xi	yi	Xi	Yi			xi	yi	Xi	Yi
1	585078.6	374614.6	584436.6	385410.5	-66838.5	1	585078.6	374614.6	584417.8	385360.9
2	585082.6	383940.8	584263.2	394959.1	1.122725	2	585082.6	383940.8	584282.2	395009.2
3	593296.8	383895.6	593524.6	395120.1	-0.01502	3	593296.8	383895.6	593505.2	395068.9
4	593363.6	374777.6	593697.9	385586.1	-9769.67	4	593363.6	374777.6	593717.2	385636.9
					0.012959					
					1.034526					

2.2 Metode digitale

Pentru procesul digital al georeferențierii am utilizat rețeaua de trapeze, scară 1:5000 nomenclatura Gauss pentru teritoriul României în coordonate stereografice 1970 (figura nr. 1), selectând conturul necesar pentru trapezul nostru, scară 1:25000 (figura nr. 2). Elipsoidul folosit atât în Gauss Kruger cât și în Stereo 1970 este Krasovski 1942, parametrii elipsoidului sunt aceleași, de aceea s-a păstrat aceeași împărțire în trapeze pe baza coordonatelor geografice. Indiferent de scară planului, în coordonate geografice colțurile au aceleași valori, păstrând diferența coordonatelor rectangulare.

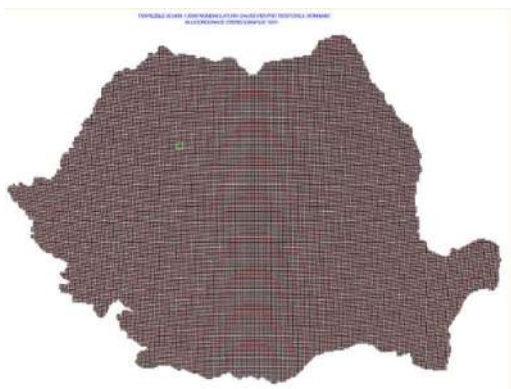


Figura nr. 1. Rețea trapeze scară 1 la 5000

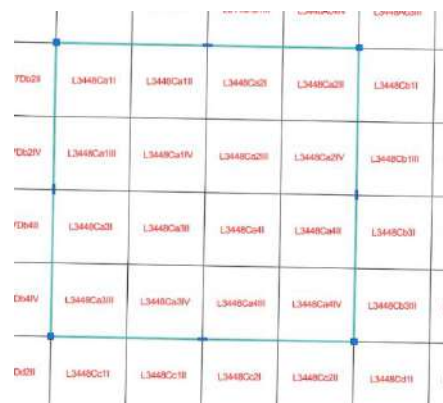


Figura nr. 2. Contur trapez L34-48-C-a

A. Software Autocad și Topot

Pentru georeferențierea foi de trapez în acest pachet de software, am preluat conturul trapezului selectat din rețea (figura nr. 2) și folosind comanda Paste with Original Coordinates, am lipit trapezul cu coordonatele originale. După setarea configurărilor, importăm imaginea foi de trapez și o așezăm lângă contur. Se alege metoda de transformare (în cazul prezentat: afină) și se accesează punctele de control folosite (colțurile trapezului) cu Add Points. Fiecare săgeată albastră acționează ca un indice de precizie unde originea vectorului reprezintă poziția inițială a punctului, iar vârful arată poziția finală calculată de soft (figura nr. 3), marcând erorile rezultate în urma procesului (figura nr. 4).

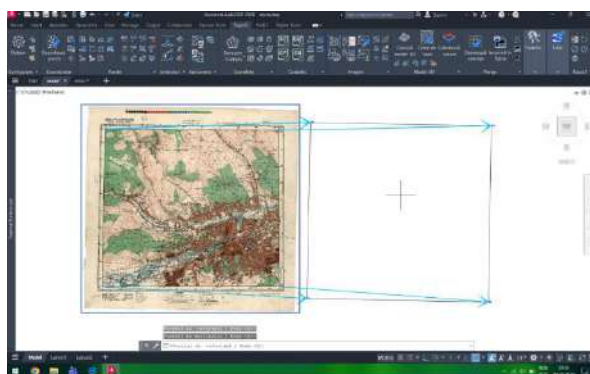


Figura nr. 3. Georeferențiere TopoLt



Figura nr. 4. Rezultate

B. Baza de date QGis

În acest soft procedeul se aseamănă, diferențiindu-se interfața. După ce am accesat fereastra de georeferențiere selectăm aceeași transformare afină, sistemul de proiecție corespunzător și datumul. Adăugăm ca puncte de control colțurile trapezului, atribuindu-le coordonatele geografice aferente (figura nr. 5).

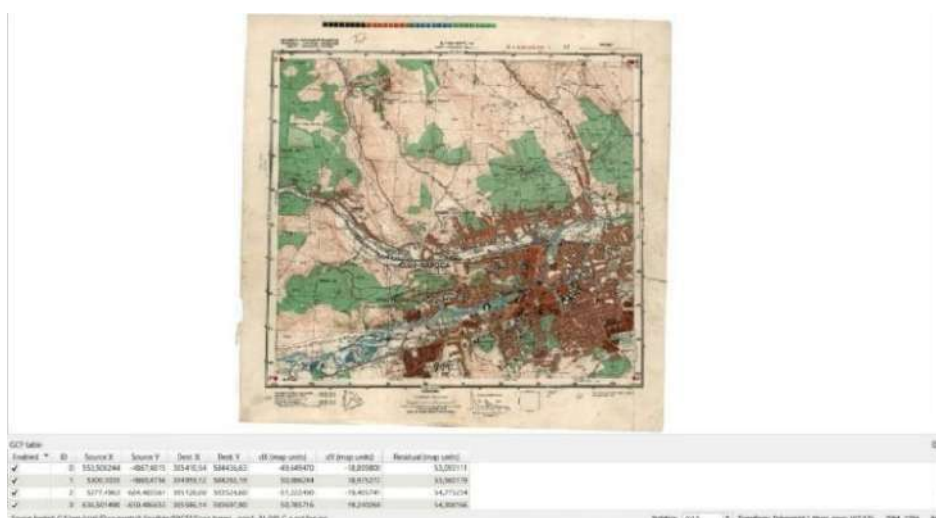


Figura nr. 5. Georeferențiere în baza de date QGis



Erorile pentru fiecare punct sunt afișate în ultima coloană din căsuța inferioară (Residual) (figura nr. 6).

GCP table								
Enabled	ID	Source X	Source Y	Dest. X	Dest. Y	dX (map units)	dY (map units)	Residual (map units)
✓	0	553,500244	-4867,4815	385410,54	584436,63	-49,649470	-18,809800	53,093111
✓	1	5300,5035	-4865,4756	394959,12	584263,19	50,086244	18,975272	53,560179
✓	2	5277,4963	-684,483561	395120,08	593524,60	-51,222490	-19,405741	54,775234
✓	3	636,501490	-650,486653	385586,14	593697,90	50,785716	19,240269	54,308166

Source loaded: C:/Users/cristi/Documents/A Facultate/SNCS/SFoia trapez - qgis/L-34-048-C-a-pct fox.jpg

Figura nr. 6. Erori rezultate din baza de date QGis

C. Software Global Mapper

Procesul de georeferențiere din software-ul Global Mapper a început prin importul imaginii raster, optând pentru rectificarea manuală a imaginii. O etapă importantă este selecția proiecției Gauss-Kruger, datumul specific României, S-42 (Pulkovo 1942), dar și selecția transformării afine. Procesul de rectificare se realizează prin identificarea celor patru puncte de control (GCP) pe cele patru colțuri de trapez, îndeplinindu-se condiția transformării afine.

Pentru fiecare punct s-a efectuat o corelație precisă între pixeli imagini și coordonatele geografice prezente pe foaia de trapez, introducând valorile corespunzătoare. Software-ul a calculat automat eroarea reziduală, având o distorsiune minimă și precizie ridicată a poziționării spațiale.

Rezultatul este un strat de date geospațiale funcționale (figura nr. 7).

În căsuța Ground Control Points (figura nr. 8) valorile Pixel X și Pixel Y reprezintă amplasamentul fiecărui colț selectat, coordonatele Ground X și Ground Y sunt valorile reale pe teren, iar coloana Error afișează precizia cu care s-a efectuat procesul de georeferențiere. Inconvenientul este că erorile nu sunt afișate în metri, ci în pixeli, necesitând transformări suplimentare.

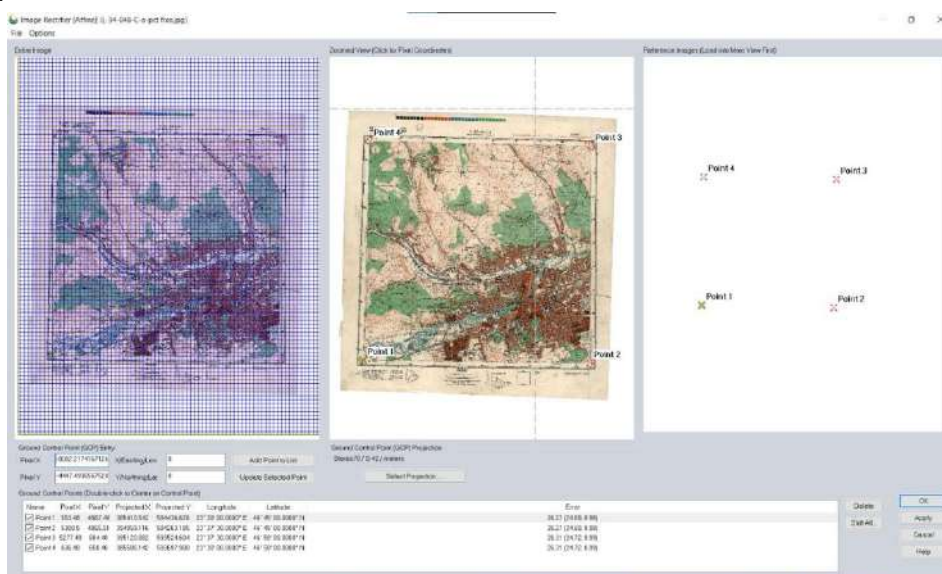


Figura nr. 7. Georeferențierea în Global Mapper

Ground Control Point (GCP) Entry

Pixel X: 8082.2174157126 X/Easting/Lon: 0 Add Point to List

Pixel Y: -4447.4936597520 Y/Northing/Lat: 0 Update Selected Point

Ground Control Point (GCP) Projection: Stere70 / S-42 / meters

Select Projection ...

Ground Control Points (Double-click to Center on Control Point)

Name	Pixel X	Pixel Y	Projected X	Projected Y	Longitude	Latitude	Error
☒ Point 1	553.48	4867.49	385410.542	584436.626	23° 30' 00.0000" E	46° 45' 00.0000" N	26.27 (24.68, 8.98)
☒ Point 2	530.5	4865.51	394959.116	584263.185	23° 32' 30.0000" E	46° 45' 00.0000" N	26.27 (24.68, 8.98)
☒ Point 3	5277.49	684.46	395120.082	593524.604	23° 32' 30.0000" E	46° 50' 00.0000" N	26.31 (24.72, 8.99)
☒ Point 4	636.48	650.48	385506.142	593697.900	23° 30' 00.0000" E	46° 50' 00.0000" N	26.31 (24.72, 8.99)

Figura nr. 8. Rezultate georeferențiere Global Mapper

D. Autocad Raster design

Procesul este analog celui din Autocad, diferența constând în faptul că tabelul rezultat în Raster Design este mai degrabă un tabel de corespondență și control al pixelilor. Practic tabelul din TopoLt ne precizează corectitudinea lucrării, iar cel din Raster Design procesarea imaginilor la nivel de pixeli, utilizând funcția Rubbersheet (figura nr. 9).

După selecția punctelor de control (Add Points) apare iar fereastra Rubbersheet unde se regăsesc punctele de control cu coordonatele în sistemul imagine (Source point) și în sistemul real, dar și eroarea de transformare pentru fiecare punct. Eroarea medie pătratică este afișată în căsuța Total RMS Error (figura nr. 10).

Cu cât eroarea medie pătratică este mai mică, cu atât transformarea este mai precisă. Prin comanda OK începe procesarea imaginii, rezultatul fiind foaia de trapez georeferențiată.

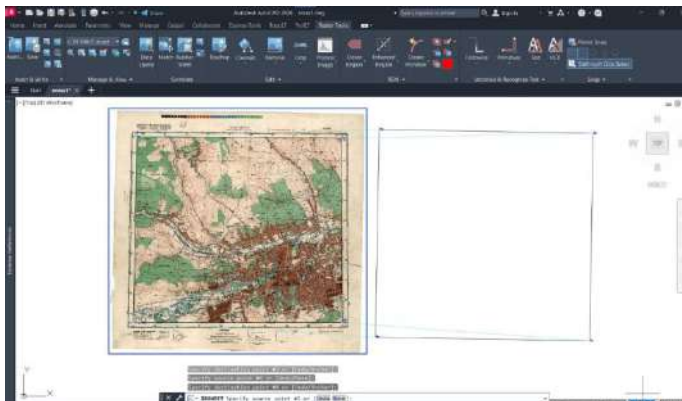


Figura nr. 10. Georeferențiere Raster

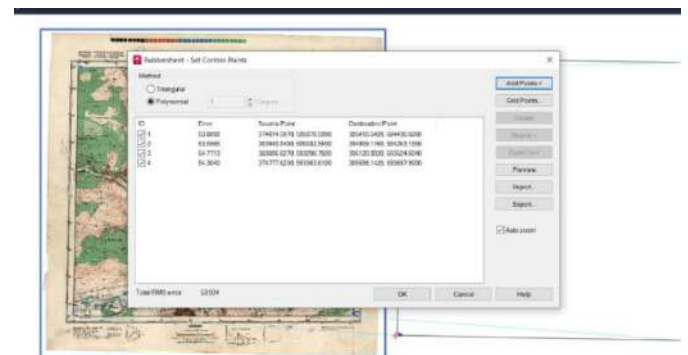


Figura nr. 10. Rezultate georeferențiere Design Raster Design

3. Rezultate obținute și discuții

3.1 Rezultate analitice

Pentru simplificarea și precizia calculelor matematice, s-a folosit aplicația Excel, după calcularea matricelor, tabelul rezultat de erori se prezintă astfel:

Tabel 4. Rezultate metoda analitică

Punct	Excel [m]
1	53.089
2	53.556
3	54.771
4	54.304



3.2 Rezultate digitale

La finalul georeferențierilor în soft-urile folosite, s-au obținut valori pentru erorile aparținând fiecărui punct astfel:

Tabel 5. Rezultate metode digitale

Punct	TopoLT [m]	Raster Design [m]	Global mapper	QGis [m]
1	53.089	53.089	-	55.093
2	53.556	53.556	-	53.560
3	54.771	54.771	-	54.775
4	54.304	54.304	-	54.308

De precizat este că în Global Mapper valorile nu pot fi comparate cu restul seturilor de erori deoarece acestea sunt în pixeli, nu în metrii.

4. Rezultate finale

În tabelul se prezintă rezultatele erorilor pe fiecare punct atât în procedeul analitic cât și în cele digitale. Se observă o identitate absolută între metoda de lucru analitică, TopoLt și Raster Design (tabel 4).

Datele din coloana specifică soft-ului QGis prezintă ușoare variații pentru punctele 2,3,4 (de ordinul milimetrilor), problemă pusă pe baza utilizării unui algoritm specific de reeșantionare. Discrepanța valorilor de la punctul 1 sugerează o sensibilitate a programului la selectarea pixelului corespunzător colțului de trapez.

Tabel 4. Rezultate finale

Punct	Excel [m]	TopoLT [m]	Raster Design [m]	Global mapper	QGis [m]
1	53.089	53.089	53.089	-	55.093
2	53.556	53.556	53.556	-	53.560
3	54.771	54.771	54.771	-	54.775
4	54.304	54.304	54.304	-	54.308



5. Concluzii

Prezenta lucrare științifică demonstrează corelația directă dintre fundamentul matematic al transformării afine și implementările algoritmice din soluțiile soft-urilor de specialitate.

Concluzia tehnică este că procesul de georeferențiere este stabil, deoarece trei metode au dat rezultate identice, confirmând validitatea calcului matematic realizat în TopoLt și Raster Design. Discrepanțele din QGIS nu contrazic procesul, ci subliniază modul diferit în care s-a gestionat proiecția. Evoluția de la algoritmi matematici la algoritmi digitali permite procesarea unui volum mare de date cu erori minime (RMS) și transformă o simplă foaie scanată într-o sursă de baze precisă.

După finalizarea procesului de georeferențiere, imaginea devine o entitate geografică integrată în sistemul de coordonate național, având diverse scopuri.

Tabel 5. Studiu comparativ de eficiență

Platformă de lucru	Algoritm de bază	Eficiență în procesare	Analiza Erorilor (RMS)	Punctul Forte
Metoda Analitică	Afină	Redusă (Efort manual ridicat)	Calcul manual de precizie	Verificarea teoretică
QGIS	Afină	Ridică	Real-time pe fiecare punct	Flexibilitate ridicată
Autocad, Raster design	Afină	Medie	Raportare grafică	Manipulare precisă a imaginii
Global Mapper	Afină	Foarte Ridică	Generare raport tehnic	Viteză mare de procesare
TopoLT	Afin	Ridică	Tabel de coordonate	Automatizarea pe trapeze



BIBLIOGRAFIE

1. 3D SPACE, Manual de utilizare TopoLt. Program pentru calcule topografice și desene planuri [Online] la adresa: <https://www.topolt.com/ro/manuale-de-utilizare/>, [Accesat la data de: 27.04.2026].
2. AUTODESK, AutoCad Help Documentation And User Guide, [Online], la adresa: <https://help.autodesk.com/view/ACD/2026/>, [Accesat la data de: 27.04.2026].
3. Bahgat, K., & Runfol, D. (2021). Toponym-assisted map georeferencing: Evaluating the use of toponyms for the digitization of map collections. Plos one, 16(11), e0260039.
4. BLUE MARBLE GEOGRAPHICS, Global Mapper User's Guide, [Online] la adresa: <https://www.blumaplegeo.com/knowledgebase/global-mapper/GlobalMapper.htm>, [Accesat la data de: 27.04.2026].
5. Gâlgau, R., Ortelecan, M., Geodezie Elipsoidala, Editura Utpress, Cluj-Napoca, 2025.
6. Hackeloeer, A., Klasing, K., Krisp, J. M., & Meng, L. (2014). Georeferencing: a review of methods and applications. Annals of GIS, 20(1), 61-69.
7. Milleville, K., Verstockt, S., & Van de Weghe, N. (2022). Automatic georeferencing of topographic raster maps. ISPRS International Journal of Geo-Information, 11(7), 387.
8. NAȘ, Sanda; GÂLGĂU, Raluca, Automatizarea lucrărilor geodezice și topografice, Editura Risoprint, Cluj-Napoca, 2017.
9. **QGIS PROJECT**, *QGIS User Guide*, [Online] la adresa: <https://docs.qgis.org>, [Accesat la data de: 27.04.2026].



LUCRĂRI TOPO-GEODEZICE ȘI BATIMETRICE PENTRU AMPLASAREA ȘI VERIFICAREA PANOURILOR FLOTANTE

Autor/autori

Adrian B. Coț¹, Gabriel A. Sîrbu²

¹Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Cot.Va.Adrian@student.utcluj.ro

²Facultatea de construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Sirbu.Io.Gabriel@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Adrian T. Rădulescu³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: Adrian.Radulescu@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea analizează lucrările topo-geodezice și a studiilor batimetrice pentru amplasarea panourilor solare flotante. Scopul este identificarea pozițiilor corecte și evaluarea condițiilor din teren bazate pe ridicările topografice efectuate în etapele premergătoare proiectului. Rolul topografului într-un astfel de șantier este fundamental, deoarece acesta asistă la toate etapele proiectului. El asigură baza de date spațială pe baza căreia se iau deciziile tehnice. Atât în lucrările topografice terestre, cât și în cele batimetrice, precizia este esențială pentru obținerea unor rezultate corecte și pentru asigurarea stabilității și siguranței amplasamentului panourilor solare flotante. După montaj, topograful face măsurători de verificare. Confirmă că panourile sunt amplasate corect și că sistemul respectă proiectul. Acest control asigură poziția finală planimetrică a panourilor solare flotante. Prin aceste activități, topograful reduce riscurile tehnice și costurile generate de erori. Fără măsurători precise, proiectul nu poate fi recepționat.*

Cuvinte cheie: studii batimetrice, panouri solare flotante, precizie, ridicări topografice, baza de date spațială

1. Descrierea aparaturilor topografice folosite

Stație totală robotizată Leica TS16P + accesorii



Figura 1. Stația totală Leica TS16P
Specificații:



Figura 2. Miniprismă 360° Leica



Precizia măsurare unghiuri: 5" (1.5mgon)

Măsurare distanțe prismă: 1mm+1.5ppm

Fixare automată țintă: (ATR) Prisma GPH1P, GPR1 la 1500/1000m și 360° GRZ4, GRZ12
1000m/

Aparat CHCNAV i83 + accesorii



Figura 3. Receptor GNSS CHCNAV i83

Aparat CHCNAV iBase + accesorii



Figura 4. Receptor GNSS CHCNAV iBase

Acuratețe RTK:

Horizontal: 8mm + 1 ppm

Vertical: 15mm + 1 ppm

Acuratețe STATIC:

Horizontal: 2.5 mm + 0.1 ppm RMS

Vertical: 5mm + 0.5 ppm RMS

Alte specificații:

Canale receptoare: 336

Suportă orice tip de sateliți

GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou

Antenă UHF

cu o rază mare de acțiune, compatibil cu diverse protocoale radio

Alte specificații:

Canale receptoare: 1408

Urmărire completă a constelațiilor

Radio UHF: Modem UHF integrat (Tx/Rx)

Senzor IMU: Echipat cu tehnologie IMU pentru compensarea înclinăției (util în mod RTK, dar indică o tehnologie avansată de procesare a semnalului)

Dronă marină CHCNAV APACHE 4 Pro + modul RTK



Figura 5. Dronă marină CHCNAV APACHE 4 Pro



Specificații:

- Poziționare GNSS integrată cu IMU pentru determinarea precisă a poziției și orientării;
- Interval de măsurare a adâncimii de aproximativ 0,1 m până la 200 m;
- Pescaj redus de doar 7.5 cm, potrivit pentru ape de mică adâncime;
- Motoarele rotative inteligente îi permit un unghi de întoarcere de doar 2 metri, strecurându-se fără probleme printre stâlpii podurilor sau în canalele înguste;
- Vedere 360° și Evitarea Obstacolelor : Un sistem inteligent cu radar cu unde milimetrice "vede" obstacolele de la 40 de metri distanță și le ocolește automat.

2. Softuri de specialitate utilizate

- AutoCAD
- Agisoft Metashape



Figura 6. Siglă AutoCAD



Figura 7. Siglă Agisoft

3. Zona în care s-au efectuat măsurătorile

Măsurătorile topo-geodezice și batimetrice au fost realizate pe râul Râul Olt, în zona barajului aferent CHE Ipotești. Amplasamentul analizat reprezintă perimetrul propus pentru implementarea sistemului de panouri solare flotante, fiind selectat datorită caracteristicilor favorabile ale luciului de apă și infrastructurii existente.

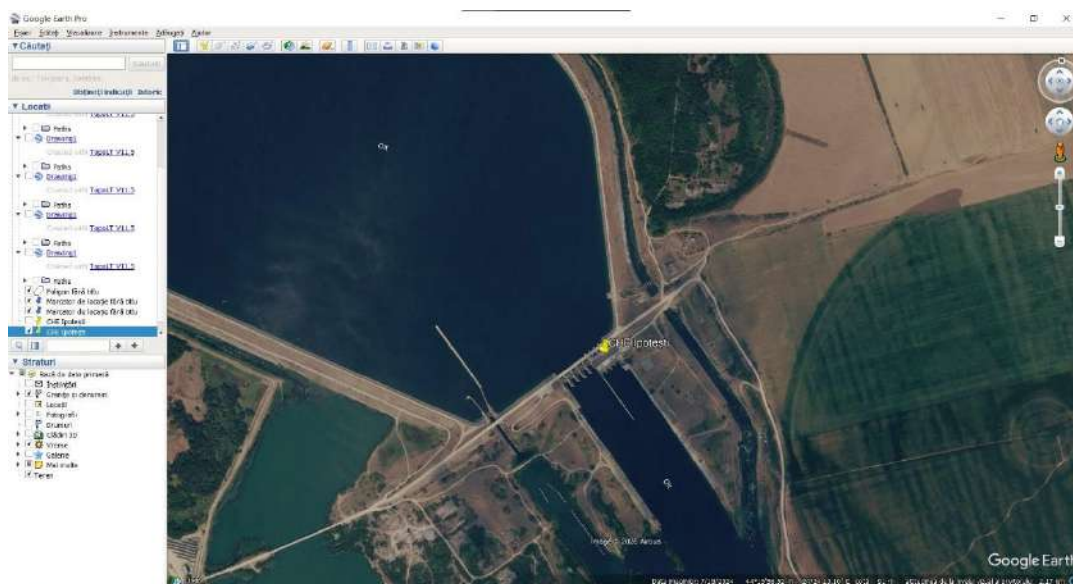


Figura 8. Zona de amplasament

4. Studiu de caz

Proiectul de implementare a panourilor solare flotante în zona CHE Ipotești evidențiază aplicabilitatea lucrărilor topo-geodezice și batimetrice în analiza și pregătirea amplasamentelor destinate infrastructurii energetice pe suprafețe acvatice. Prin integrarea măsurătorilor topografice terestre cu datele batimetrice obținute asupra luciului de apă, s-a realizat modelarea completă a amplasamentului și identificarea condițiilor necesare pentru poziționarea optimă a sistemului flotant și a elementelor de ancorare. Acest proiect demonstrează contribuția directă a topografiei la fundamentarea deciziilor tehnice și la asigurarea unei implementări conforme cu cerințele de proiectare și execuție.

5. Descrierea generală a proiectului și etapele de execuție

5.1 Introducere și obiectivul lucrării

Proiectul urmărește realizarea unei structuri flotante modulare utilizate ca platformă tehnică sau pasarelă. Lucrarea îmbină elemente de construcții civile, inginerie hidrotehnică și topografie inginerească. Scopul principal constă în poziționarea și stabilizarea unei structuri pe lăcuș de apă, cu control geometric și topografic riguros.

5.2 Studiul amplasamentului

În etapa inițială s-a efectuat analiza amplasamentului din punct de vedere hidrologic și geometric, cu scopul evaluării condițiilor de teren și apă necesare implementării structurii flotante. În cadrul acestei analize au fost determinate adâncimea apei, variațiile nivelului hidrometric, viteza curenților și caracteristicile fundului albiei. De asemenea, au fost identificate căile de acces către zona de lucru și punctele stabile de referință amplasate pe mal.

Pentru colectarea acestor date s-a utilizat drona maritimă CHCNAV APACHE 4 Pro, cu ajutorul căreia s-a realizat scanarea batimetrică a zonei de studiu. Informațiile obținute au permis modelarea detaliată a fundului apei și au furnizat datele necesare pentru fundamentarea etapelor ulterioare de proiectare și execuție.

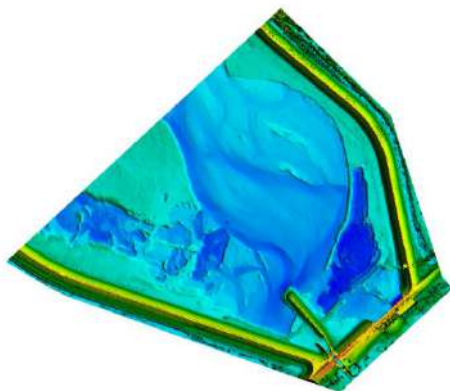


Figura 9. Ortofotoplan batimetric

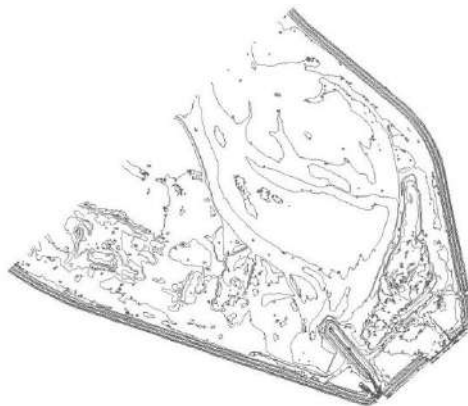


Figura 10. Curbele de nivel rezultate

5.3 Modul de preluare a datelor batimetrice

Drona maritimă CHCNAV APACHE 4 Pro este echipată cu un sistem performant de scanare și anume cu un ecosonar NORBIT.

Sub apă (Ecosonda Multibeam NORBIT) emite simultan sute de raze acustice care lovesc fundul apei, generând la nivel de milisecundă un model 3D dens (point cloud) al reliefului scufundat, epavelor sau fundațiilor de poduri, capturând date de o precizie uluitoare.

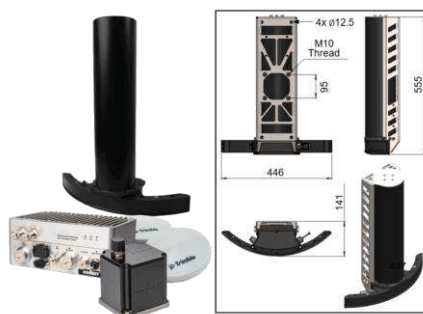


Figura 11. Ecosonar NORBIT

Pentru creșterea preciziei poziționării în timpul scanării batimetrice s-a utilizat suplimentar o stație totală robotizată, integrată în procesul de măsurare pentru determinarea exactă a poziției platformei de scanare pe parcursul deplasării.

În acest scop, pe catargul dronei maritime a fost montată o prismă 360°, alcătuită dintr-un ansamblu de oglinzi reflectorizante capabile să retransmită fasciculul laser către sursă indiferent de orientarea ambarcațiunii sau de mișcările generate de valuri. Stația totală robotizată a fost instalată pe mal, pe un punct de stație materializat și determinat topografic în prealabil.

După inițializarea sistemului și blocarea automată a vizei pe prismă, stația totală a urmărit permanent deplasarea dronei prin rotație automată pe ambele axe, menținând ținta în vizor pe întreaga durată a măsurătorilor. În timpul operațiunii, echipamentul a efectuat măsurători continue ale distanței și direcției către prismă, la frecvență ridicată, transmițând coordonatele instantanee către sistemul de achiziție de la bord.

Datele de poziționare astfel obținute au fost sincronizate cu valorile de adâncime înregistrate de ecosonar, permițând georeferențierea precisă a fiecărui punct batimetric și creșterea acurateței modelului digital al fundului apei.



Figura 12. – Modul de funcționare a ecosonarului

Acest tip de sistem este utilizat frecvent în cadrul lucrărilor maritime și hidrotehnice de importanță ridicată, unde precizia poziționării și acuratețea datelor batimetrice sunt factori determinanți pentru proiectare și execuție.

5.4 Ridicarea topografică inițială

În etapa următoare s-a realizat ridicarea topografică a amplasamentului analizat, în vederea reprezentării digitale a situației existente din teren într-un format utilizabil pentru proiectare și execuție. Măsurătorile au fost efectuate cu tehnologie GNSS pentru determinarea coordonatelor generale ale zonei, iar în sectoarele unde s-a impus o precizie mai ridicată s-a utilizat stația totală.

Prin această operațiune au fost determinate cotele terenului din zona de mal, poziția elementelor caracteristice ale amplasamentului și punctele de sprijin necesare trasării ulterioare a lucrării. Pe baza datelor colectate s-a întocmit planul topografic de bază, utilizat ca suport tehnic în procesul de proiectare și în desfășurarea execuției.

Un element esențial al proiectului este utilizarea rețelei topografice locale ca sistem de referință pentru toate lucrările executate. Toate măsurătorile, trasările și verificările din teren au fost raportate la această rețea, ceea ce a asigurat unitatea datelor și precizia poziționării pe parcursul întregului proces. Proiecția folosită este STEREO 70.

5.5 Concepția tehnică a structurii

În urma consultărilor tehnice desfășurate împreună cu echipa de coordonare a proiectului, s-a stabilit geometria finală a platformei flotante, în funcție de cerințele funcționale, condițiile amplasamentului și soluțiile constructive adoptate. Structura a fost compartimentată în module constructive distincte pentru a facilita transportul, manipularea și montajul în teren.

În această etapă au fost definite dimensiunile fiecărui modul, pozițiile punctelor de îmbinare și configurația generală a ansamblului structural. Stabilirea corectă a acestor parametri prezintă o importanță majoră, întrucât eventualele erori de proiectare sau dimensionare pot conduce la neconformități în execuție, costuri suplimentare și întârzieri în desfășurarea lucrărilor.

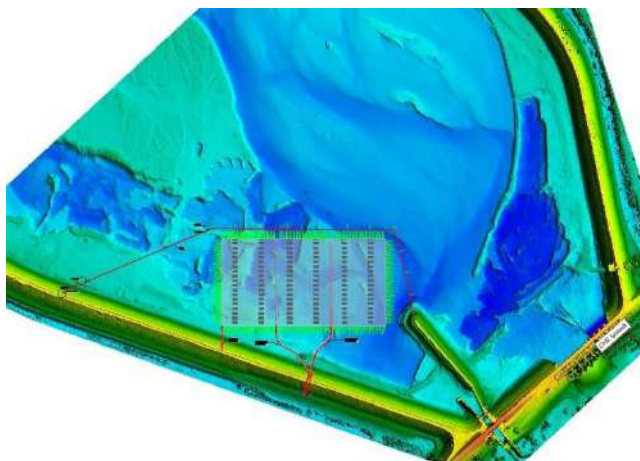


Figura 13. Amplasarea platformei pentru montajul panourilor

5.6 Proiectarea sistemului de ancorare

S-au stabilit punctele de fixare ale structurii în raport cu terenul. De asemenea s-au ales soluții de ancorare în funcție de condițiile locale. Poziționarea acestora se realizează pe baza coordonatelor topografice obținute anterior. Ancorele sunt sub forma unor blocuri de beton.

5.7 Trasarea elementelor în teren

În această fază s-a efectuat trasarea și materializarea în teren a elementelor principale prevăzute în proiect, conform coordonatelor și planurilor tehnice stabilite anterior. Au fost marcate pozițiile punctelor de ancorare, conturul structurii flotante și traseele de acces către zona platformei de lucru.

De asemenea, s-a trasat traseul cablurilor de joasă tensiune destinate conectării panourilor fotovoltaice, precum și amplasamentul ancorei mecanice fixate pe marginea betonată a lacului, element utilizat pentru asigurarea suplimentară a sistemului de prindere.

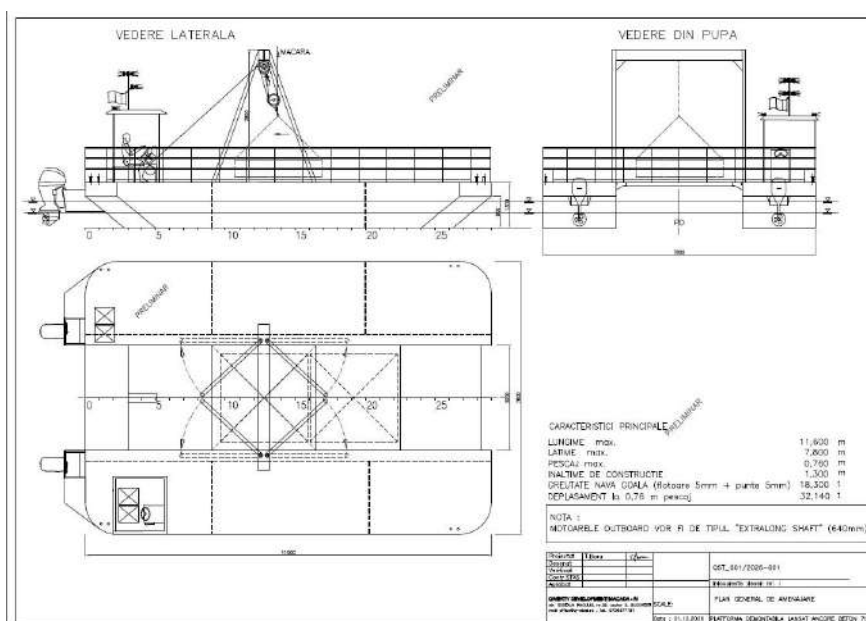


Figura 14. Macaraua pentru montarea ancorelor



După materializarea în teren a elementelor trasate de către topograf, se efectuează verificarea acestora prin măsurători de control. Se compară pozițiile obținute în teren cu coordonatele din proiect, pentru confirmarea corectitudinii amplasării. În urma validării rezultatelor, se aprobă continuarea lucrărilor și se trece la etapele următoare de execuție.

5.8 Asamblarea structurii flotante

După finalizarea etapelor precedente, se trece la montajul și conectarea modulelor flotante conform proiectului tehnic. Elementele componente sunt asamblate și integrate în structura finală. În această fază se verifică poziția și alinierea fiecărui modul în raport cu axele trasate anterior. Controlul se realizează prin măsurători topografice de precizie, utilizând echipamente adecvate, pentru a asigura respectarea geometriei proiectate și a cerințelor de execuție.

5.9 Racordarea la sistemul de ancorare

Structura este fixată la punctele de ancorare sub forma unor lanțuri cu o rigiditate ridicată. Se reglează poziția finală pentru eliminarea deplasărilor sau rotațiilor care pot deteriora structura panourilor.

5.10 Recepția topografică finală

În etapa finală se efectuează măsurători de control pentru verificarea poziției finale a structurii. Se compară coordonatele obținute în teren cu valorile proiectate și se identifică eventualele abateri geometrice.

În acest context, activitatea topografului are un rol determinant, deoarece asigură precizia poziționării, conformitatea cu proiectul tehnic și validarea finală a execuției în teren.

5.11 Monitorizarea în exploatare

Se efectuează verificări periodice ale poziției structurii pentru urmărirea comportării în exploatare. Se analizează eventualele deplasări sau modificări produse de variațiile nivelului apei sau de acțiunea factorilor externi.

În funcție de rezultatele măsurătorilor, documentația topografică se actualizează pentru a reflecta poziția reală a structurii în teren.

6. Concluzii

Proiectul a urmărit realizarea și poziționarea unei structurii flotante prin integrarea lucrărilor de construcții cu activități topografice de precizie. Prin utilizarea măsurătorilor GNSS, a stației totale și a scanărilor batimetrice, s-a obținut o reprezentare fidelă a amplasamentului și a condițiilor din teren.

Etapile de trasare, execuție și verificare au permis materializarea corectă a elementelor proiectate și controlul permanent al poziției structurii. Rețeaua topografică locală a asigurat unitatea sistemului de referință pe tot parcursul lucrării, contribuind la coerența datelor și la reducerea erorilor de amplasare.



Rezultatele obținute confirmă importanța colaborării dintre ingineria topografică și execuția construcțiilor în medii acvatice. Monitorizarea ulterioară asigură menținerea stabilității și a conformității geometrice în timp.

BIBLIOGRAFIE

1. Naș Sanda, – ”Măsurători topografice”, Editura Risoprint ^[2]
2. Rădulescu Gheorghe, Rădulescu Adrian Traian, - „Topografie inginerească”, Editura UTPress ^[2]
3. Topografie Inginerească, C. Grecea, Editura Matrix Rom, București, 2010 ^[2]
4. Batimetrie aplicată și modelarea suprafețelor acvatice în proiecte energetice, Revista română de geomatică, vol. 12, nr. 2, 2021 ^[1]
5. <https://dronshop.ro/statie-totala-leica-ts16p-5-cu-cs20-viva?srsId=AfmBOooYHZALPBVV-xN0I-SFp26-zUgwXLnTeCAWhOD1Y4pXzNNeVO>
6. https://skygrid.ro/produs/prisma-360-grz4/?srsId=AfmBOopSwoKU7Xqc_WHWrQwJtCnN_pUe0yarO5sRR7u_6kEwnLsxCmHI
7. <https://geospatial.chcnv.com/products/chcnv-i83>
8. <https://www.geosat.de/en/products/chcnv-i83?srsId=AfmBOoozfdVsKdLabXGHZUj6DwskIa-V2b-IYxvM8zbW4PUwyDIuXUM7>
9. https://shnewdi.en.made-in-china.com/product/OfapoEPVOAkM/China-GPS-Rtk-Chcnv-Ibase-X1-Surveying-and-Mapping-Instrument-Gnss-Receiver.html?pv_id=1jn4rq1a3a7b&faw_id=1jn4rqe2f02f&bv_id=1jn4rqgkcec4&pbv_id=1jn4rpugo73cr
10. <https://norbit.com/oceans/subsea/subsea-real-time-monitoring>
11. <https://www.oceansciencetechnology.com/feature/benefits-of-the-norbit-winghead-b57s-multibeam-sonar-for-subsea-mapping/>



MONITORIZAREA DINAMICII FRONTURILOR DE LUCRU ÎNTR-O CARIERĂ DE GIPS PRIN TEHNOLOGII FOTOGRAMMETRICE ȘI ANALIZĂ GEOSPATIALĂ INTEGRATĂ

Autor

Laura CHIUZBĂIAN¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, e-mail: chiuzbaian.cc.laura@student.utcluj.ro

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Mircea BONDREA¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, e-mail: Mircea.Bondrea@mtc.utcluj.ro

REZUMAT: Prezenta lucrare constă în cuantificarea vectorilor de deplasare ai fronturilor carierei prin utilizarea fotogrammetriei aeriene (UAV). Metodologia propusă integrează un flux de lucru menit să asigure o acuratețe superioară și o validare riguroasă a datelor, utilizând diverse soluții software (DJI Terra, Agisoft Metashape, Global Mapper). Astfel, studiul vizează identificarea zonelor de instabilitate, volumul masei dislocate și monitorizarea evoluției fenomenelor de alunecare. În final, se dorește o comparație între metodele digitale de monitorizare și topografia convențională

Cuvinte cheie: Carieră de gips, Fotogrammetrie UAV, Analiză Multitemporală, Modele Digitale de Elevație (MDE), Monitorizarea stabilității, Precizie

1. Introducere

Exploatarea minierei la zi reprezintă una dintre cele mai dinamice categorii de lucrări de construcții și inginerie geotehnică, caracterizate prin modificări topografice rapide și continue. Monitorizarea precisă a volumelor de material extras, a avansului fronturilor de lucru și a stabilității taluzurilor constituie cerințe tehnice și legale esențiale pentru operatorii minieri, autoritățile de reglementare și personalul de siguranță.

Cariera de Gips Cheia, situată în apropierea localității Cheia, în județul Cluj, reprezintă una dintre cele mai importante surse de materie primă pentru industria materialelor de construcții din România. Gipsul extras din această carieră este utilizat în producția de plăci de gips-carton, tencuieli și altele.



Figura 1. Localizarea pe hartă a Carierei de Rigips

Metodele tradiționale de monitorizare topografică, bazate pe stații totale și nivelmente geometrice, implică resurse umane și temporale considerabile, acoperire spațială limitată și riscuri de securitate pentru personalul ce lucrează în zone active de exploatare. Tehnologiile fotogrammetrice moderne bazate pe UAV (Unmanned Aerial Vehicle) au revoluționat acest domeniu, oferind soluții rapide, sigure și cu precizie metrică ridicată [1].

Prezenta lucrare propune și validează o metodologie completă de monitorizare integrată a dinamicii fronturilor de exploatare prin fotogrammetrie UAV și analiză geospațială, aplicată la Cariera Cheia pe parcursul a cinci campanii succesive desfășurate între Iulie 2025 și Decembrie 2025.

2. Zona de studiu și context geologic

Cariera de Gips Cheia este amplasată în Depresiunea Transilvaniei, în apropierea localității Cheia, la circa 12 km nord-vest de municipiul Turda, județul Cluj. Exploatarea se desfășoară pe o suprafață totală de aproximativ 35 ha, la altitudini cuprinse între aproximativ 375 m și 550 m (cotele cele mai înalte ale zonei neexploatate).

Din punct de vedere geologic, depozitele de gips aparțin straturilor de roci formate prin evaporarea apei dintr-un bazin, din timpurile epocii geologice miocene, și sunt caracteristice Depresiunii Transilvaniei. Gipsul se prezintă în structuri masive sau fibroase (selenită), cu un grad ridicat de puritate ($>90\%$) și grosimi ale stratului exploatabil de 15–40 m. Roca are o densitate medie de aproximativ 2.300 kg/m^3 .

Relieful actual al carierei este rezultatul mai multor decenii de exploatare la zi, prezentând o morfologie complexă cu fronturi etajate, banchete de siguranță, drumuri de acces sinuoase, platforme pentru instalații de sortare-concasare și iazuri de decantare.

3. Aparatură, software și metodologie de achiziție

3.1 Sistemul UAV – DJI Matrice 400 RTK

Achizițiile fotogrammetrice au fost realizate cu drona profesională DJI Matrice 400 RTK, un sistem UAV de înaltă performanță destinat aplicațiilor industriale și de cartografiere.



Principalele caracteristici tehnice relevante pentru această aplicație sunt: timp de zbor de până la 59 minute, sarcină utilă maximă de 6 kg, rezistență la vânt de până la 12 m/s, în condiții operaționale sigure, sistem de navigație RTK integrat cu precizie de poziționare orizontală ± 1 cm +1ppm și verticală $\pm 1,5$ cm +1 ppm și grad de protecție la factori de mediu IP55, care permite operarea în condiții meteorologice variate.

Camera utilizată a fost Zennair L3, cu senzor P1 de 100 megapixeli și obiectiv cu distanță focală de 35 mm, permițând obținerea de ortofotoplanuri cu rezoluție la sol (GSD) de 1,5–2,5 cm la altitudinea de zbor de 100–130 m deasupra terenului. Sistemul RTK a fost utilizat în configurație rețea (NTRIP), eliminând necesitatea unui număr mare de puncte de control la sol (GCP) și asigurând precizie absolută ridicată.

3.2 DJI Terra

DJI Terra reprezintă platforma software dedicată pentru planificarea misiunilor UAV și procesarea datelor fotogrammetrice în ecosistemul DJI. Funcționalitățile utilizate în cadrul acestei lucrări includ: planificarea automată a traseelor de zbor cu acoperire controlată (overlap frontal $\geq 80\%$, overlap lateral $\geq 70\%$), procesarea norilor de puncte 3D prin algoritmi SfM (Structure from Motion), generarea modelelor de suprafață digitală (DSM) și a ortofotoplanurilor cu procesare grafică accelerată. DJI Terra a asigurat o primă procesare rapidă a datelor imediat după finalizarea zborurilor, permițând validarea calității achiziției pe teren [2].

3.3 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape a constituit platforma principală de procesare fotogrammetrică riguroasă. Fluxul de lucru a inclus: importul și alinierea fotogramelor cu utilizarea blocurilor de calibrare, optimizarea rețelei de puncte de legătură, construirea norilor denși de puncte (Dense Point Cloud) cu precizie Ultra-High, generarea Modelului Digital al Suprafeței (DSM) și a ortomozaicului cu rezoluție de 2 cm/pixel. Acuratețea absolută a modelelor a fost verificată prin comparare cu puncte de control GPS-RTK independente, obținând erori medii pătratice de 2–4 cm în plan și 3–6 cm pe verticală, valori considerate excelente pentru aplicații miniere [3].

3.4 PixfordSurvey

PixfordSurvey este o platformă cloud specializată pentru procesarea și managementul datelor geospațiale provenite din zboruri UAV. Aceasta a fost utilizată în cadrul proiectului pentru validarea independentă a modelelor obținute cu Agisoft Metashape, procesarea automată a datelor din misiunile de rutină, generarea rapidă a rapoartelor topografice standardizate și stocarea securizată și partajarea datelor între membrii echipei de proiect. Integrarea cu serviciile cloud a permis o colaborare eficientă între echipele de teren și cei care prelucrează datele, reducând semnificativ timpii de livrare a produselor finale.

3.5 Global Mapper

Global Mapper a reprezentat instrumentul central de analiză geospațială, utilizat pentru: importul și co-registrarea modelului digital de elevație (MDE) din campaniile succesive în



sistemul de proiecție Stereo 70, calculul diferențelor de elevație prin operatorul de analiză de teren DoD (DEM of Difference), calculul volumetric al maselor dislocate prin metoda prismatică, generarea profilelor longitudinale și transversale ale fronturilor de exploatare, producerea hărților de progres topografic color-codificate și exportul planșelor topografice în formatul standardizat al documentației carierei [4].

4. Campaniile de zbor și parametri de achiziție

Pe parcursul anului 2025, au fost efectuate cinci campanii de zbor fotogrammetric asupra Carierei Cheia. Fiecare campanie a acoperit integral perimetrul autorizat de licență, cu o suprafață totală de zbor de circa 42 ha (incluzând tampon exterior).

Tabelul 1. Parametrii campaniilor de zbor fotogrammetric – Cariera Cheia 2025

Campanie	Data	Altitudine zbor (m)	GSD (cm/px)	Nr. imagini
1	Iulie 2025	120	2.1	1.247
2	Octombrie 2025	115	2.0	1.318
3	Noiembrie 2025	120	2.1	1.283
4	Decembrie 2025	110	1.9	1.401

Fiecare misiune de zbor a fost planificată cu un overlap frontal de 80% și lateral de 70%, asigurând date geometrice în exces, dar suficiente pentru reconstrucția tridimensională de înaltă precizie. Misiunile au fost efectuate în condiții meteorologice favorabile: vânt sub 6 m/s, vizibilitate excelentă și fără precipitații. Durata medie a fiecărei campanii a fost de 4–5 ore, incluzând pregătirea echipamentului, efectuarea zborurilor (2–3 baterii per misiune) și verificarea datelor achiziționate.

Punctele de control la sol utilizate pentru verificarea acurateții absolute a modelelor au fost materializate prin 12 target-uri de 50×50 cm, distribuite uniform în perimetrul de zbor, măsurate cu receptori GNSS în mod RTK față de Rețeaua Națională ROMPOS cu precizii de $\pm 1,5$ cm plan și $\pm 2,5$ cm altimetric.

5. Rezultate și analiză comparativă a fronturilor de exploatare

5.1 Modele Digitale de Elevație obținute

Procesarea fotogramelor din cele patru campanii de zbor a generat Modele Digitale de Elevație (MDE) cu rezoluția spațială de 4 cm/pixel, acoperind integral perimetrul de licență de exploatare al carierei. Modelele au fost generate în sistemul de proiecție Stereo 70 și sistemul de referință altimetric Marea Neagră 1975, asigurând compatibilitatea cu documentațiile topografice existente ale carierei.

Analiza vizuală a MDE temporale evidențiază dinamica fronturilor de exploatare: în zona nordică a carierei (cotele 450–520 m) se remarcă avansul continuu al frontului superior, cu extragerea materialului în trepte etajate la intervale de 10–15 m; în zona centrală (cotele 415–460 m), care corespunde platformelor de concasare și sortare, se observă modificări minore

legate de depozitarea temporară a materialului; zona sudică (cotele 375–430 m) prezintă cel mai intens avans al fronturilor, cu rate de extracție superioare celorlalte zone.

5.2 Calculul volumelor maselor dislocate

Calculul volumelor a fost realizat în Global Mapper prin metoda diferenței MDE (DoD – DEM of Difference), bazată pe scăderea algebrică a MDE anterioare din MDE mai recente, urmată de integrarea volumetrică a câmpului de diferențe. Această abordare permite distincția dintre zonele de excavare (valori negative ale diferenței) și zonele de depunere/acumulare (valori pozitive ale diferenței) [5].

Pe baza analizei datelor topografice din campaniile succesive, s-au determinat fronturile active de exploatare și suprafețele corespunzătoare fiecărei perioade analizate. Intervalele Iulie–Octombrie 2025 și Octombrie–Noiembrie 2025 prezintă cel mai mare dinamism, cu volume semnificative de material dislocat.



Figura 2. Iulie 2025

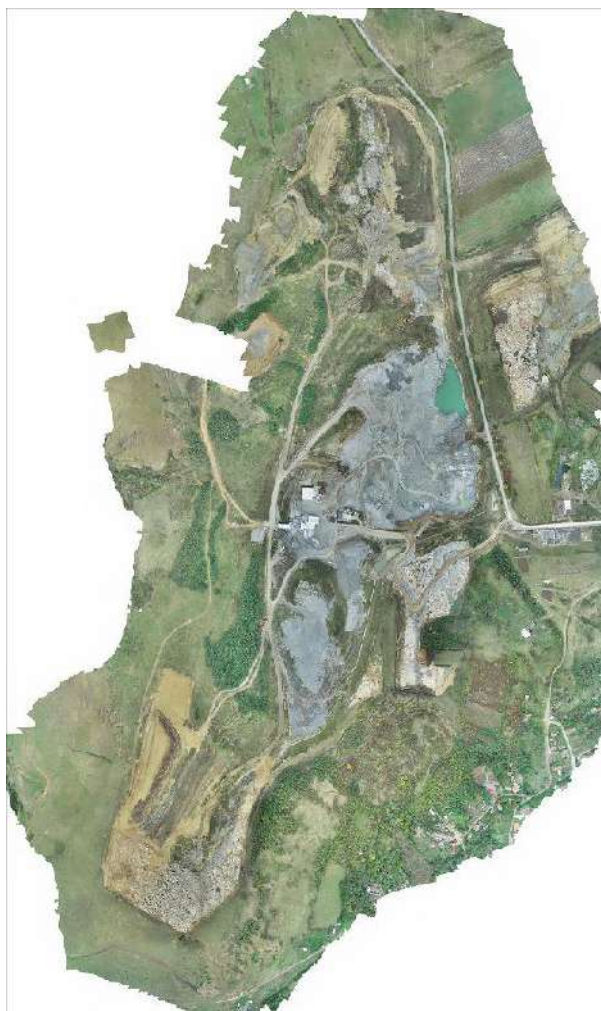


Figura 3. Octombrie 2025

Tabelul 2. Volumele maselor dislocate per interval de monitorizare

Interval	Suprafață front activ (m ²)	Adâncime medie extracție (m)	Volum dislocat (m ³)	Masă extrasă (tone)
Apr.–Iul. 2025	~38.500	~3,2	~123.200	~283.360
Iul.–Oct. 2025	~45.000	~3,8	~171.000	~393.300
Oct.–Nov. 2025	~32.000	~4,2	~134.400	~309.120
TOTAL (Apr.–Nov. 2025)	—	—	~428.600	~985.780

Calcululele au fost efectuate folosind densitatea medie a gipsului de 2.300 kg/m³. Valorile reprezintă estimări bazate pe analiza comparativă a MDE temporale prin metoda DoD implementată în Global Mapper. Incertitudinea estimată a calcululelor volumetrice este de $\pm 3-5\%$, determinată de propagarea erorilor de precizie ale MDE.

Analiza spațială a fronturilor de exploatare evidențiază că avansul mediu al fronturilor în intervalul Iulie–Octombrie 2025 a fost de 8–15 m/lună în plan orizontal și 1,5–3 m/lună pe verticală, valori coerente cu capacitatea de producție declarată a instalațiilor de concasare și sortare ale carierei.

5.3 Analiza planșelor topografice de fronturi

Planșele de fronturi de exploatare produse prin metodologia fotogrammetrică UAV prezintă conturul fronturilor la scara 1:2.000, suprapuse pe ortofotoplanuri și modele de curbe de nivel la echidistanță de 1 m. Acestea includ cotele punctelor caracteristice (creste, picioare de taluz), contururile perimetrelor de licență și ale arealelor de exploatare anterioare, reprezentate conform legendei standardizate utilizate.



Figura 4. Plan topografic scara 1:2000-December 2025



Planșa aferentă campaniei din Decembrie 2025 relevă frontul nordic aflat în exploatare activă (conturul albastru), cu o morfologie complexă de taluzuri succesive la cotele 460–540 m, zona central-sudică cu extracție la cotele 415–460 m și zona de haldă restaurată în sud-vest, cu suprafața redată vegetației de 16,6 ha. Se remarcă, de asemenea, zona „Salcie” ($S = 3.002 \text{ m}^2$), delimitată prin contur verde, reprezentând un obiectiv de protecție a vegetației.

6. Discuții și evaluarea metodologiei

Metodologia propusă prezintă multiple avantaje față de abordările topografice convenționale utilizate anterior la Cariera Cheia:

Eficiență operațională: o campanie completă de zbor și procesare necesită 1–2 zile de teren și 3–5 zile de procesare, față de 2–3 săptămâni pentru o ridicare topografică completă prin metode clasice.

Acoperire spațială totală: fotogrammetria UAV asigură acoperirea 100% a suprafeței investigate, față de măsurătorile punctuale ale metodelor clasice, eliminând riscul de omitere a unor zone de interes.

Siguranță: eliminarea necesității deplasării personalului topografic pe fronturile active de excavare reduce semnificativ riscurile de accidente.

Trasabilitate și documentare: modelele 3D și ortofotoplanurile cu rezoluție centimetrică constituie o arhivă fidelă și auditabilă a evoluției carierei, utilizabilă în scopuri legale, de reabilitare sau de proiectare.

Principalele limitări identificate includ: dependența de condițiile meteorologice (vânt, precipitații, ceață), restricțiile privind spațiul aerian în proximitatea zonelor locuite, necesitatea actualizării periodice a licențelor software și costul inițial relativ ridicat al echipamentelor UAV de precizie [6].

Comparând rezultatele obținute cu datele de producție declarate de operatorul carierei, s-a constatat o concordanță de 92–96% între volumele calculate fotogrammetric și cele rezultate din evidența contabilă a producției, confirmând validitatea metodologiei ca instrument independent de verificare a producției.

7. Concluzii

Lucrarea prezintă și validează o metodologie integrată de monitorizare fotogrammetrică UAV a fronturilor de exploatare la Cariera de Gips Cheia – Turda, utilizând drona profesională DJI Matrice 350 RTK și un lanț de procesare bazat pe DJI Terra, Agisoft Metashape, PixfordSurvey și Global Mapper. Fotogrammetria UAV cu sisteme RTK permite obținerea de MDE cu precizie de $\pm 3\text{--}5 \text{ cm}$, suficientă pentru calculul riguros al volumelor de material dislocat în exploatarea miniere la zi. Analiza DoD implementată în Global Mapper a permis cuantificarea dinamicii fronturilor de exploatare, cu un volum total dislocat estimat la circa 428.600 m^3 ($\sim 985.780 \text{ tone}$) în intervalul Aprilie–Noiembrie 2025. Metodologia propusă este superioară topografiei clasice din perspectiva eficienței, siguranței, acoperirii spațiale și calității documentației produse. Produsele cartografice obținute (planșe de fronturi la scara 1:2.000, MDE, ortofotoplanuri) satisfac cerințele documentare ale beneficiarului și ale autorităților de reglementare a activităților miniere. Există potențial pentru extinderea metodologiei la alte exploatare similare



din România și pentru integrarea cu sisteme BIM/GIS pentru managementul integrat al ciclului de viață al carierei.

BIBLIOGRAFIE

1. Uysal M., Toprak A.S., Polat N., *DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler Hill. Measurement*, 73, 141–145 (2015).
2. DJI Enterprise, *DJI Terra User Manual v3.x*. DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, 2024.
3. Agisoft LLC, *Agisoft Metashape Professional Edition User Manual*, Version 2.0. St. Petersburg, Russia, 2024.
4. Blue Marble Geographics, *Global Mapper User's Guide v25*. Blue Marble Geographics, Hallowell, Maine, 2024.
5. Williams R.D., DEMs of Difference. *Geomorphological Techniques*, 2.3.2, *British Society for Geomorphology*, London, 2012.
6. Hugenholtz C.H., Moorman B.J., Riddell K., Whitehead K., *Small unmanned aircraft systems for remote sensing and Earth science research*. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 93(25), 236–236 (2012).
7. Javernick L., Brasington J., Caruso B., *Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry*. *Geomorphology*, 213, 166–182 (2014).
8. Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J., Reynolds J.M., *Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*. *Geomorphology*, 179, 300–314 (2012).



STUDIU COMPARATIV PRIVIND UTILIZAREA FOTOGRAMMETRIEI AERIENE ȘI A MĂSURĂTORILOR TOPOGRAFICE ÎN DETERMINAREA DIMENSIUNILOR ELEMENTELOR ARHITECTURALE ALE BISERICII DIN CICEU-CORABIA, JUDEȚUL BISTRIȚA-NĂSĂUD

Autor

Paul-Ciprian Pascu

Facultatea de Construcții, Departamentul de Măsurători Terestre și Cadastru, UTCN,
e-mail: Pascu.Ce.Paul@student.utcluj.ro

Îndrumător

Conf. Dr. Ing. Mihai Rădulescu

Facultatea de Construcții, Departamentul de Măsurători Terestre și Cadastru, UTCN,
e-mail: Mihai.Radulescu@campus.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă o analiză comparativă a metodelor fotogrammetrice și topografice utilizate pentru determinarea dimensiunilor unor elemente arhitecturale amplasate pe turla bisericii din Parohia Ciceu-Corabia, județul Bistrița-Năsăud. A fost realizată o rețea topografică de sprijin determinată prin GNSS RTK, măsurători terestre cu stația totală (telemetru laser, puncte inaccesibile) și un zbor fotogrammetric UAV cu generare de model 3D. Compararea rezultatelor evidențiază concordanța valorilor și demonstrează eficiența utilizării combinate a celor două tehnici pentru analiza elementelor arhitecturale greu accesibile.*

Cuvinte cheie: fotogrammetrie aeriană, măsurători topografice, UAV, puncte inaccesibile, model 3D, elemente arhitecturale.

1. Introducere

Determinarea elementelor arhitecturale amplasate la înălțime reprezintă o provocare majoră în domeniul măsurătorilor topografice, în special pentru construcții istorice sau edificii religioase. Crucile și ornamentele din vârful turelor sunt dificil de accesat, măsurarea directă fiind imposibilă prin metode clasice.

Tehnologiile moderne – stațiile totale cu telemetru laser și fotogrammetria aeriană UAV – permit determinarea coordonatelor punctelor inaccesibile cu precizie ridicată. Lucrarea compară cele două metode aplicate pe crucea principală a bisericii din Ciceu-Corabia, județul Bistrița-Năsăud.

2. Materiale și metode de lucru

2.1 Echipamente utilizate

Au fost utilizate: (1) GNSS Hi-Target V60 în mod RTK – pentru rețeaua de sprijin; (2) Stația totală Leica TCRP 1201 (precizie $1'' + 1 \text{ ppm}$) cu controller RX1250 și Prisma 360 Leica GRZ122 – pentru măsurători terestre; (3) UAV DJI Phantom 4 RTK – pentru documentație fotogrammetrică.



Figura 1. Sistemul GNSS Hi-Target V60



Figura 2. Stația totală Leica TCRP 1201



Figura 3. Prisma 360 Leica GRZ122



Figura 4. Sistemul UAV DJI Phantom 4 RTK

2.2 Metodologia de lucru

S-a realizat o rețea de 6 puncte de control (P1–P6) materializate prin buloane metalice, determinate GNSS RTK cu 100 observații/punct. Ulterior, stația totală a determinat punctele caracteristice ale crucii (bază, extremități brațe, vârf) prin funcția puncte inaccesibile. Concomitent, zborul UAV orbital a produs imaginile necesare modelului 3D.

3. Metodele de lucru din teren

3.1 Măsurătorile topografice

Stația totală a staționat în două puncte ale rețelei pentru a asigura vizibilitate completă asupra crucii. Datele descărcate din controller au fost importate în AutoCAD Map 3D 2026 (extensia TopoLT) și reprezentate 3D.



Figura 5. Măsurători din stația 100



Figura 6. Măsurători din stația 200



Figura 7. Vizualizare prin obiectivul aparatului



3.2 Măsurătorile realizate cu sistem UAV

Zborul orbital DJI Phantom 4 RTK a fost executat cu preluare la 15 secunde și overlap 75% longitudinal/transversal. Patru puncte de control (3 colțuri acoperiș + vârf cruce) au fost măsurate cu stația totală pentru georeferențierea și calibrarea modelului.

3.3 Justificarea zborului orbital vs. grid

Zborul orbital asigură captare din toate unghiurile – esențial pentru obiecte verticale și izolate față de grila nadirul favorabilă suprafețelor orizontale. Diversitatea unghiurilor îmbunătățește bundle adjustment și crește precizia finală a modelului.

4. Prelucrarea datelor

4.1 Date stație totală – AutoCAD Map 3D

Punctele X, Y, Z importate în AutoCAD au fost conectate cu 3DPolyline, obținând reprezentarea 3D a crucii și calculul dimensiunilor prin metode geometrice directe.

Tabel 1 Coordonatele CP-urilor (Control Points)

ID	X	Y	H
110	638964.981	419359.294	548.122
108	638964.668	419359.489	548.537
109	638964.583	419359.542	548.639
107	638964.683	419359.512	548.739
111	638965.003	419359.452	548.988
101	638965.061	419359.369	549.057
112	638965.114	419359.326	548.983

Tabel 2 Coordonatele punctelor din stația 101

ID	X	Y	H	COD
101	638965.061	419359.369	549.057	Vârf cruce
300	638962.098	419357.842	533.348	Colț acoperiș
302	638966.724	419356.729	533.309	Colț acoperiș
301	638963.033	419362.5	533.452	Colț acoperiș

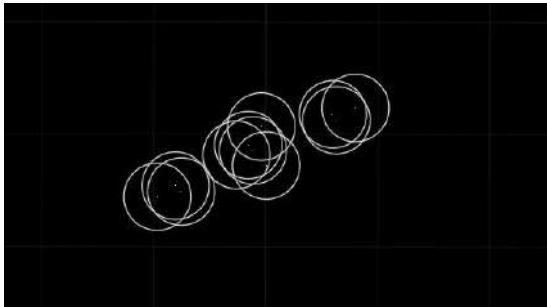


Figura 8 Punctele duse in 3D

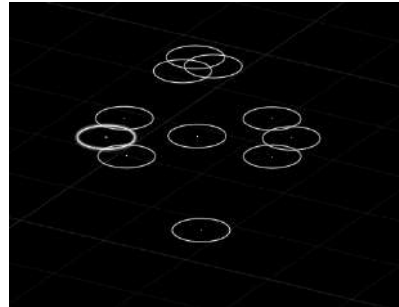


Figura 9 Punctele din AutoCAD in vedere 2D

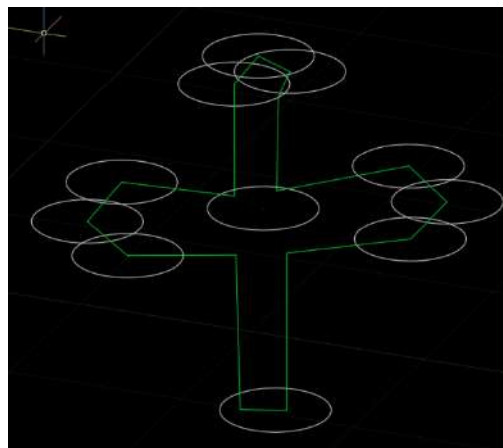


Figura 63 Punctele unite cu 3DPolyline

4.2 Date fotogrammetrice – 3D Survey

Fluxul în 3D Survey: import imagini → definire datum → introducere GCP → aliniere camere (bundle adjustment) → Dense Cloud → Mesh → măsurători 3D Distance → export AutoCAD.

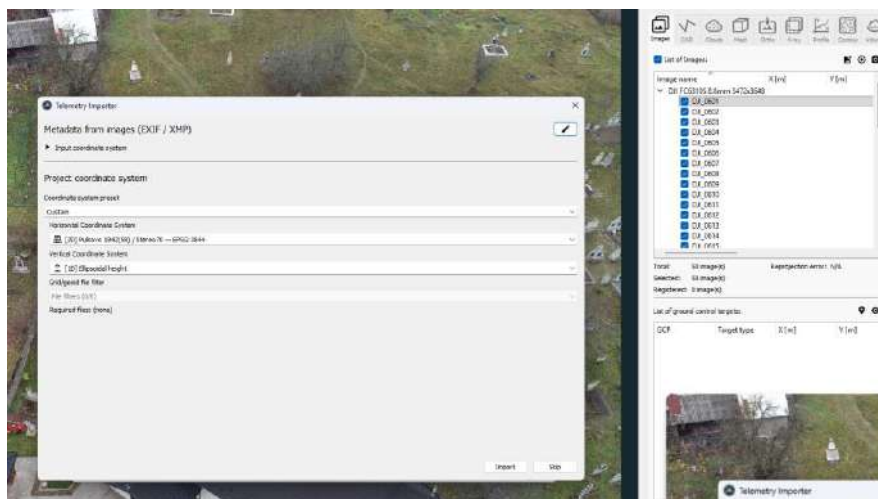


Figura 64 Selectarea datumului in 3Dsuryey

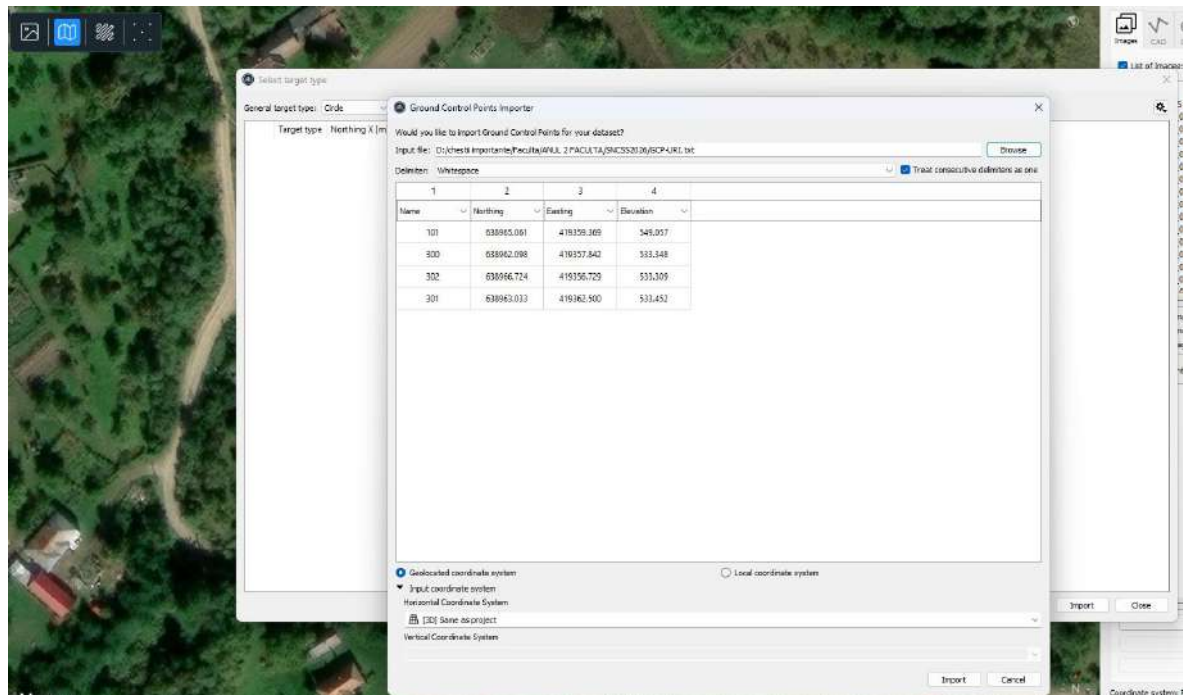


Figura 12. Introducerea coordonatelor punctelor de control

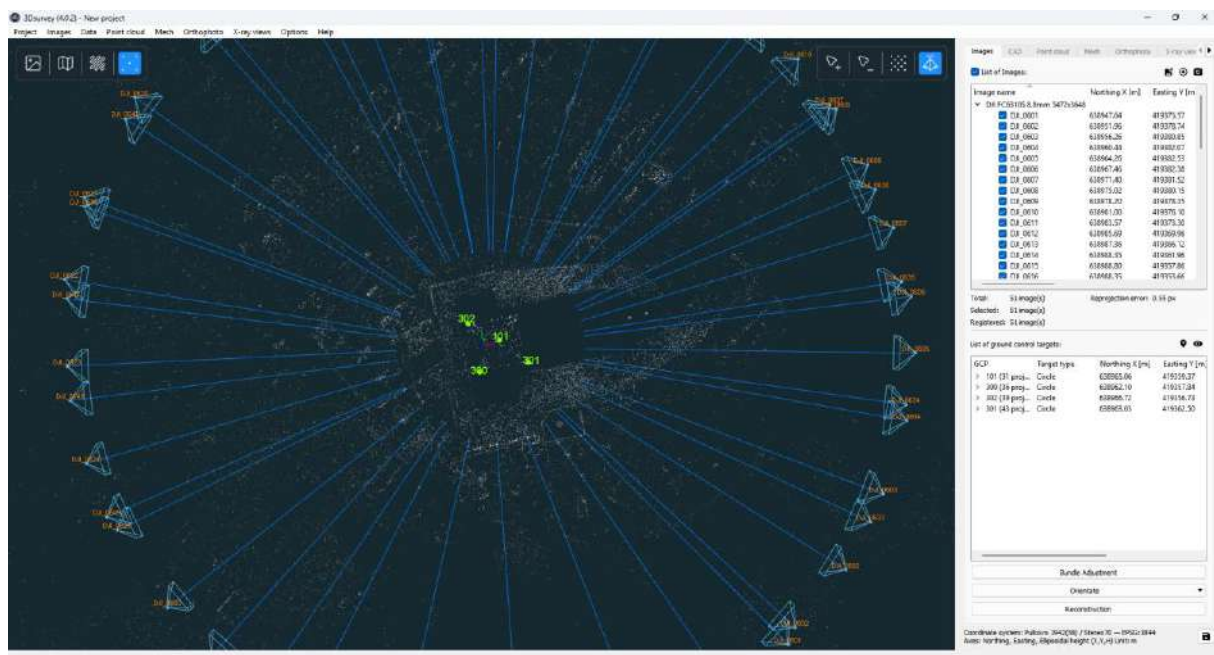


Figura 13 Generarea norului de puncte

5. Compararea rezultatelor

5.1 Dimensiuni globale

Brațul orizontal: 1,00 m (stație totală) vs. 1,018 m (UAV) $\rightarrow \Delta = 1,8$ cm. Dimensiunea verticală: 1,25 m vs. 1,034 m $\rightarrow$ diferență mai pronunțată, explicată prin densitatea norului de puncte și precizia georeferențierii.

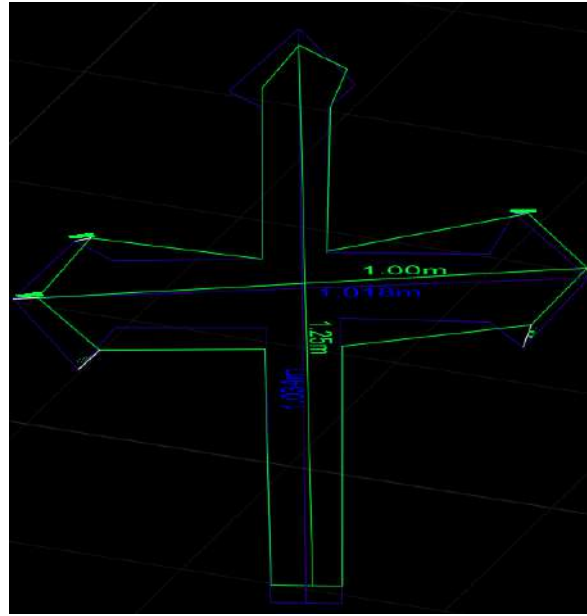


Figura 15. Comparație dimensiuni (verde – stație totală, albastru – UAV)

5.2 Diferențe locale – extremitățile brațelor și punctul de bază

Brațul drept: abateri de 3,0 cm / 2,1 cm / 5,0 cm față de referința 101. Punctul de bază: abatere de 3,3 cm. Brațul stâng: 3,0 cm / 3,3 cm / 6,6 cm. Valorile se înscriu în intervalul centimetric, confirmând concordanța generală a celor două metode.

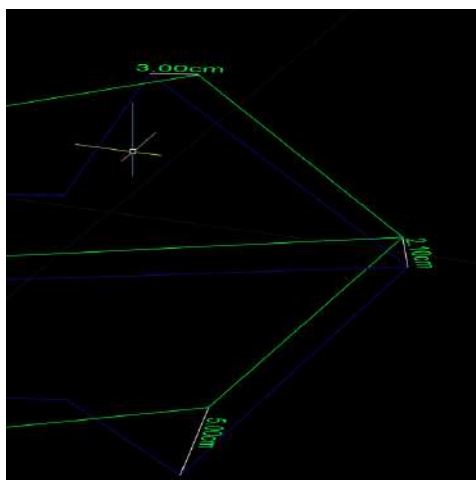


Figura 16. Diferențe la brațul drept al crucii

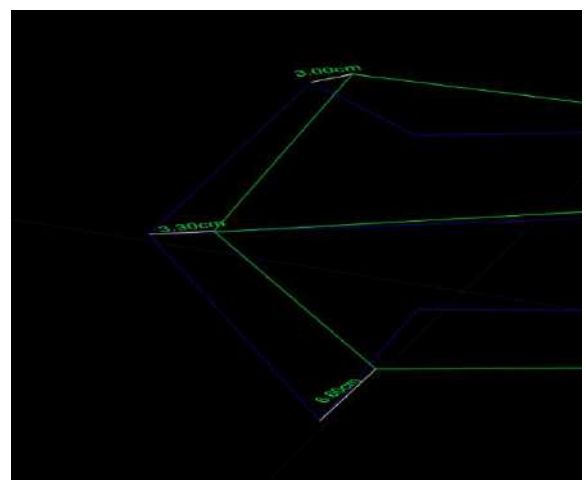


Figura 17. Diferențe la brațul stâng al crucii

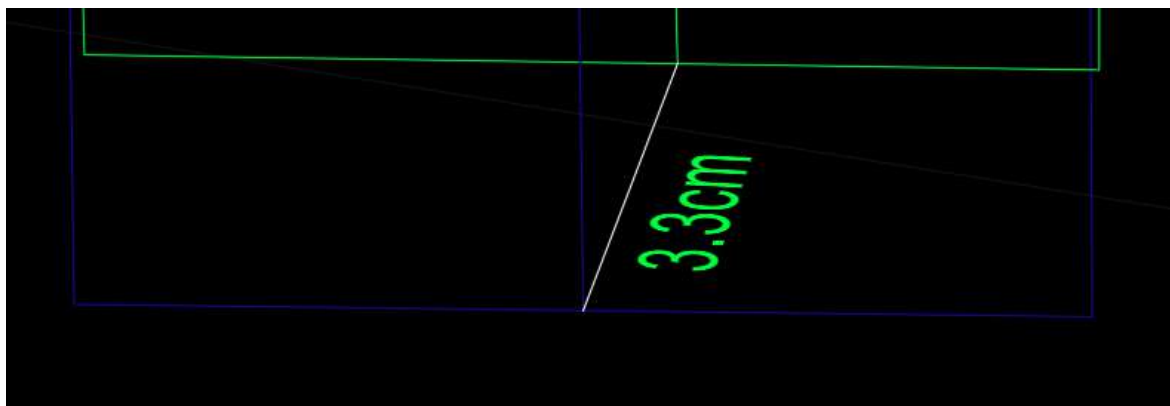


Figura 18. Diferențe la punctul de bază

6. Concluzie finală

Stația totală oferă acuratețe superioară datorită controlului direct al punctelor măsurate. UAV-ul prezintă surse suplimentare de eroare (orientare imagini, georeferențiere, densificare nori), dar asigură rapiditate și modelare 3D completă. Diferențele rămân la nivel centimetric, confirmând complementaritatea celor două metode: stația totală – referință pentru precizie ridicată; UAV – metodă complementară eficientă pentru reprezentare și analiză spațială.

BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://3dsurvey.si/products/3dsurvey/mapping-processing/>
- [2] https://tmackinnon.com/2005/PDF/Leica_TPS1200_User_Manual.pdf
- [3] https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf
- [4] https://ro.wikipedia.org/wiki/Ciceu-Corabia,_Bistrița-Năsăud



STUDIU PRIVIND PRECIZIA ȘI FIABILITATEA POZIȚIONĂRII GNSS UTILIZÂND DISPOZITIVE MOBILE ÎN MEDIUL URBAN CLUJEAN

Autor/autori

Neemia MOGOVAN¹, Andrei Ș. BOTEZAT², Simona PAPUC³

¹Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: neemia0978@gmail.com](mailto:neemia0978@gmail.com).

²Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: andreistefanbotezat@gmail.com](mailto:andreistefanbotezat@gmail.com).

³Facultatea de Construcții., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: simona.simo706@gmail.com](mailto:simona.simo706@gmail.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: *Lucrarea noastră vrea să analizeze performanța receptoarelor GNSS integrate în smartphone-urile actuale prin a evalua relevanța și viabilitatea acestora pentru aplicații simple de cartografiere sau de culegerea datelor din teren, dar și în a determina variațiile acestora în funcție de mediul urban înconjurător. Metodologia de cercetare a lucrării constă în realizarea unui experiment practic în municipiul Cluj-Napoca, prin măsurarea unor puncte topografice de coordonate cunoscute, aflate anterior cu ajutorul unor echipamente geodezice de înaltă precizie. În experiment, vor fi folosite diverse modele de smartphone-uri ce au integrate diferite cipuri GNSS mobile iar datele vor fi extrase în zone urbane diverse cum ar fi: zone centrale cu densitate ridicată a construcțiilor sau spații deschise sau semideschise precum parcuri sau bulevarde. Ideea în sine constă în analiza comparativă a diferitelor generații de cipuri GNSS mobile în puncte cu vizibilitate redusă la sateliți. Concluziile lucrării vor duce la înțelegerea limitărilor practice ale poziționării GNSS în dispozitivele mobile și vor oferi recomandări privind eficacitatea lor în extragerea de date geodezice unde nu este nevoie de înaltă precizie sau privind serviciile bazate pe locație sau mobilitate urbană.*

Cuvinte cheie: măsurători urbane, cipuri GNSS, erori de măsurare, servicii de locație, sateliți.

1. Introducere.

Sistemele GNSS determină poziția unui receptor prin trilaterare spațială, bazată pe măsurarea pseudo distanțelor față de minimum patru sateliți vizibili simultan. Acești sateliți emit semnale cu informații despre poziție și timp, iar receptorul GNSS calculează distanțele față de aceștia pe baza întârzierii semnalului GNSS sunt afectate de stratul de ionosferă, care poate cauza întârzieri și erori în calculul poziției. Aceste întârzieri depind de condițiile atmosferice și de ionizarea stratului, fiind necesare corecții pentru a obține o precizie ridicată. De exemplu, sistemele moderne de GNSS utilizează modele și corecții diferențiale pentru a minimiza erorile.

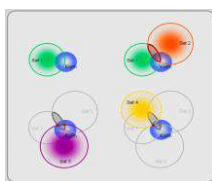


Figura 1. Principiul triangulației cu ajutorul celor 4 sateliți



1.2. Diferența de precizie între aparatura profesională și telefon.

Precizia superioară a receptorilor RTK față de smartphone-uri stă în fundamentul lor tehnic diferit: receptorii dedicați utilizează corecții diferențiale în timp real furnizate de rețele de stații de referință eliminând erorile troposferice, ionosferice și de ceas și atingând precizii centimetrice. Smartphone-urile operează în mod stand alone, fără corecții externe, cu antene miniaturizate și cipuri optimizate pentru consum redus, rezultând precizii metrice, degradabile semnificativ în mediu urban.

1.3 Factori care afectează precizia GNSS

Precizia determinării poziției prin GNSS este influențată de mai mulți factori care au un impact direct asupra rezultatelor obținute în mediul urban. Efectul de multipath este unul dintre ele și apare atunci când semnalele sateliților se reflectă pe fațadele clădirilor sau alte suprafețe dure înainte de a atinge antena receptorului, introducând erori de distanță care degradează precizia pozițională, fenomen care este foarte pronunțat în zonele cu densitate urbană ridicată. Numărul de sateliți vizibili condiționează și el calitatea soluției de poziționare, **cu cât mai mulți sateliți sunt vizibili, cu atât poziția calculată este mai fiabilă și mai precisă**. În context urban, densitatea construită acționează simultan prin două mecanisme: blocarea parțială a constelației vizibile și amplificarea efectului de multipath, ambele contribuind la degradarea preciziei, aspect investigat sistematic în cadrul prezentului studiu prin măsurători în trei zone cu grade diferite de densitate urbană.

2. Rezumat scurt al metodologiei lucrării practice

Prezenta lucrare și măsurarea punctelor s-a făcut în mediul urban al orașului Cluj-Napoca. Pentru ca analiza să reflecte realitatea din teren, am selectat un set reprezentativ de puncte care acoperă întreaga diversitate morfologică a orașului. Am efectuat măsurători în zone degajate ferite aproape total de efectul de multipath (lângă bazinul UTCN), în cartiere cu densitate medie (locația facultății de Construcții, pe strada Observatorului) și, în mod esențial, în zone cu clădiri foarte înalte, acele „canioane urbane” unde vizibilitatea spre bolta cerească este sever obstructată (în Piața Muzeului). În fiecare locație aleasă s-a alocat un timp generos de staționare. Pe durata acestei ferestre, am pus la lucru simultan echipamentul geodezic de referință și telefoanele mobile. Această abordare a garantat că senzorii evaluează aceiași sateliți, prin aceleași straturi atmosferice în exact același moment.



Figura 2. Determinarea punctelor în diverse zone urbane

2.1. Prezentarea instrumentelor folosite in cadrul măsurătorilor

Pentru a stabili un adevăr de referință de o acuratețe incontestabilă, am utilizat echipamente de nivel profesional, pe care le-am contrapus tehnologiei de larg consum.

a) Receptorul geodezic Hi-Target V30 Plus

V30 Plus este un receptor GNSS profesional, conceput pentru a livra coordonate de o precizie milimetrică/centimetrică. Echipamentul urmărește concomitent constelațiile majore (GPS, GLONASS, Galileo și BeiDou) și operează pe frecvențe multiple, ceea ce îi permite să modeleze și să corecteze direct abaterile cauzate de refracția ionosferică. Astfel, prin aplicarea corecțiilor diferențiale absolute, acesta atinge o precizie tipică RTK de ordinul a $8\text{mm} + 1\text{ppm}$ orizontal, stabilind baza perfectă pentru comparație.

b) Telefoanele mobile (iPhone 12 și iPhone 15)

Telefoanele Apple testate sunt echipate cu cipuri GNSS miniaturizate (Qualcomm Snapdragon X55 și Snapdragon X70, cu tranziții către suport dual-frequency L1/L5 pentru modelele mai noi din seria 15). Arhitectura lor este optimizată pentru a proteja autonomia bateriei și a facilita navigația de masă. Ele se bazează puternic pe sistemul Assisted GPS (A-GPS). Acesta interoghează rapid serverele SUPL (Secure User Plane Location) prin intermediul rețelelor celulare pentru a obține efemeridele sateliților și a calcula prima poziție într-o fracțiune de secundă.



Figura 3. Receptorul GNSS RTK Hi-Target V30 Plus

2.2. Aplicația proprie dezvoltată în cadrul măsurătorilor pentru telefoane (iOS)

Aplicațiile comerciale de navigație ascund precizia în mod intenționat. Ele preiau datele brute și le „lipesc” artificial de cea mai apropiată stradă, celebrul efect de „snap-to-road” – pentru a oferi o experiență fluidă la volan. Pentru a ocoli această filtrare, am dezvoltat o aplicație iOS proprie. Această abordare a oferit un avantaj tehnic esențial: accesul direct la hardware-ul dispozitivului, extrăgând coordonatele într-o formă cât mai brută posibilă.

Interfața grafică a fost implementată în SwiftUI. O astfel de soluție robustă care rulează fluid și răspunde prompt pe teren devine necesară. La nivel funcțional, codul ignoră limitările de consum energetic: forțează programatic senzorul GNSS să solicite constant precizia exactă a locației. Astfel, cipul intern este obligat să se actualizeze la frecvența sa maximă de operare.

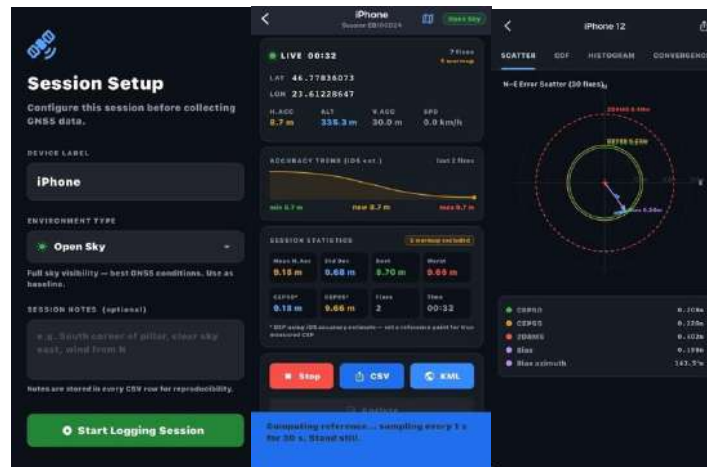


Figura 4. Aplicația (GNSS Research Logger) și funcțiile diverse existente

Rămâne însă problema erorilor aleatoare mari, inerente poziționării absolute necorectate. Soluția a fost implementarea unui algoritm de mediere a epocilor direct în codul aplicației. Când timp operatorul staționează pe punct, sistemul captează un flux continuu de coordonate la interval de o secundă. Ulterior, se aplică o medie matematică strictă asupra latitudinilor (ϕ) și longitudinilor (λ) extrase pe durata sesiunii, conform formulelor (1) și (2) :

$$\bar{\phi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (1)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2)$$

unde n reprezintă numărul total de epoci înregistrate.

Acest simplu procedeu statistic stabilizează semnificativ coordonata finală a punctului măsurat (punctul de referință).

În paralel cu achiziția de date, aplicația oferă feedback vizual imediat. O zonă dedicată a ecranului proiectează grafic dispersia punctelor individuale. Operatorul poate observa astfel în



timp real perturbațiile semnalului induse de clădiri și poate decide obiectiv asupra calității măsurătorii. Totul culminează cu modulul de export. La finalizarea staționării, baza de date este compilată și generată instantaneu sub forma unui fișier tabelar (.CSV) sau în format (.KML).

Interpretarea datelor și a măsurătorilor efectuate în teren

3. Formula Haversine

În calcularea preciziei de măsurare, proporționalității preciziei în funcție de densitatea urbană, respectiv a erorilor cauzate de instrumentele folosite (V30 Plus, Iphone 12, Iphone 15) vom utiliza formula lui Haversine datorită distanțelor mici, de ordinul metrilor. Deși pământul este mai precis modelat ca și elipsoid WGS84, formula oferă o distanță de tip „cerc mare” a modelului sferic pământesc introducând o eroare neglijabilă față de mărimea erorilor GNSS, fiind adecvată pentru studiul de față. Astfel, vom folosi următoarea relație (3) :

$$d = 2r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (3)$$

unde r = raza pământului (6371 km) iar $(\phi_1, \lambda_1), (\phi_2, \lambda_2)$ = coordonatele geografice ale punctului măsurat de cele 2 instrumente diferite.

3.2. Tabelele cu erorile măsurătorilor în funcție de densitatea urbană și hărțile QGIS

În figurile următoare, sunt redate tabele din Excel cu punctele de referință ale fiecărui instrument, fiind urmate de calculele erorilor de deviație în metri și hărți create prin QGIS ce reprezintă distribuția spațială a erorilor poziționale, punctele fiind clasificate în felul următor: cel alb (RTK Hi-Target V30 Plus), cele roșii (punctele de referință pentru iPhone 12 și 15), cele galbene (epocile totale ale iPhone 12) și cele albastre (epocile totale ale iPhone 15).

a) Zona cu densitate minimă (parcarea de lângă bazinul UTCN)

Tabel 1. Calculele efectuate în zona bazinului UTCN

Bazin UTCN									
Punct	RTK Hi-Target V30		Iphone 12		Iphone 15				
	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Eroare RTK-Ip 12(m)	Eroare RTK-Ip 15 (m)	Eroare Ip 12 - 15 (m)
Baz1	46,7664033	23,5653149	46,76641696	23,56529634	46,76639885	23,5653194	2,074967407	0,601929246	3,159411981
Baz2	46,7663135	23,564944	46,76640383	23,56521798	46,76632669	23,56496801	23,15935192	2,344224357	28,88596884
Baz3	46,7664861	23,5646272	46,76648232	23,56462313	46,76649732	23,56464346	0,522266623	1,757921122	2,729032264
Baz4	46,7667578	23,5641725	46,76677287	23,56415967	46,76676962	23,56416791	1,939823168	1,360024457	0,974285822
Baz5	46,7666416	23,5656605	46,76661593	23,5656437	46,76662414	23,56565406	3,128061656	2,002467295	1,423815538
						Medie erori (m)	6,164894155	1,613313296	7,434502889

Aici și în celelalte zone, după cum se poate observa, am luat ca și coordonate de referință valorile determinate de receptorul RTK Hi-Target datorită preciziei nominale de ± 2 cm. Dacă am omite punctul baz2 pentru iPhone 12, cu o eroare de 23.15 m (aproximativ de 7.4x mai mare decât media celorlalte puncte) cauzată probabil de geometria nefavorabilă a sateliților, erorile primului telefon sunt cuprinse între 0.52 m și 3.12 m având o medie de 1.91 m, în timp ce al doilea are erori între 0.6 m și 2.34 m, cu o medie de 1.61 m, fiind sistematic mult mai reduse.



Figura 5. Punctele baz2 si baz3



Figura 6. Pozițiile punctelor măsurate în zona bazinului UTCN

b) Zona cu densitatea medie (Facultatea de Construcții, strada Observatorului)

Tabel 2. Calculele efectuate în zona facultății de Construcții

Observer									
Punct	RTK Hi-Target V30		Iphone 12		Iphone 15				
	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Eroare RTK-Ip 12 (m)	Eroare RTK-Ip 15 (m)	Eroare Ip 12 - 15 (m)
Obs1	46,7555391	23,5870411	46,75558829	23,58696531	46,75558826	23,58700893	7,953217589	5,990579492	3,3230157
Obs2	46,7551226	23,587099	46,75509238	23,58714624	46,75511283	23,58710743	4,923738651	1,262000255	3,729923579
Obs3	46,7552015	23,587543	46,7552064	23,58753717	46,75520747	23,58752902	0,702940893	1,254965198	0,632176424
Obs4	46,7555473	23,5873204	46,75554273	23,58730405	46,7555903	23,58734076	1,345231164	5,026664247	5,983331767
Obs5	46,7555963	23,5876517	46,75558358	23,58764207	46,75561991	23,58763646	1,59333869	2,870571312	4,062255533
						Medie erori	3,303693397	3,280956101	3,546140601

Zona această prezintă pentru primul telefon erori cuprinse între 0.7 m și 7.95 m cu o medie de 3.3 m, iar pentru al doilea erori de la 1.25 m la 5.99 m cu o medie 3.28 m. În cazul de față diferența de 0.023 m între erorile telefoanelor este neglijabilă și arată faptul că telefonul mai performant nu demonstrează un avantaj consistent și sugerează că factorii locali de mediu depășesc în influență capacitatea dual-frequency a iPhone 15.



Figura 7. Punctele Obs2 si Obs5

Figura 8. Punctul Obs1

c) Zona cu densitate ridicată „canion urban” (Piața Muzeului)

Tabel 3. Calculele efectuate în zona pietonală (Piața Muzeului)

Piața Muzeului									
Punct	RTK Hi-Target V30		Iphone 12		Iphone 15				
	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Eroare RTK-Ip 12 (m)	Eroare RTK-Ip 15 (m)	Eroare Ip 12 - 15 (m)
Ptm1	46,7711887	23,588209	46,77125028	23,58815552	46,77122009	23,58820143	7,967170094	3,537701483	4,847108644
Ptm2	46,7712	23,588201	46,77122446	23,58822671	46,77122255	23,58820432	3,351328621	2,520161755	1,718372229
Ptm3	46,7709966	23,5876598	46,7710474	23,58762603	46,77104623	23,58765189	6,20664796	5,5513873	1,973767028
Ptm4	46,7708524	23,5873143	46,77085957	23,58736549	46,77084218	23,58735467	3,979285063	3,277853029	2,101943631
Ptm5	46,7711249	23,5870133	46,77115631	23,58699396	46,7711181	23,58704194	3,790509285	2,308534885	5,603967612
Medie erori (m)							5,058988205	3,439127691	3,249031829

Aici erorile primului telefon sunt cuprinse între 3.35 m și 7.96 m, acesta având o medie de 5.0 m. Pentru cel de al doilea, erorile încep de la 2.3 m până la 5.55 m și media este de 3.49 m ceea ce clarifică o performanță superioară pentru iPhone 15.

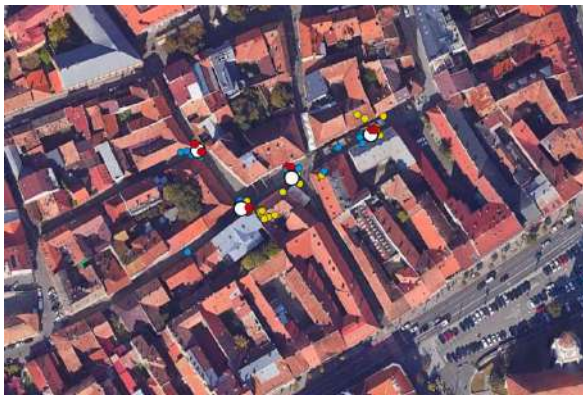


Figura 9. Poziția punctelor măsurate în Piața Muzeului

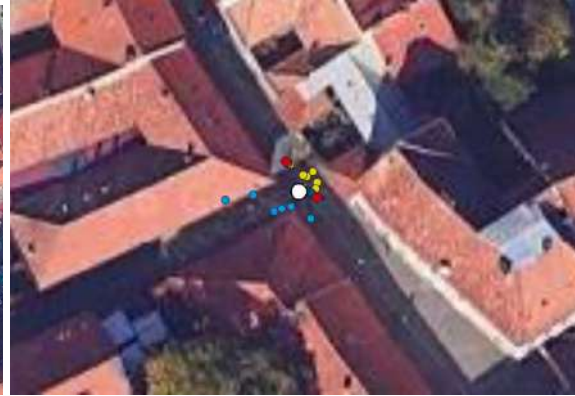


Figura 10. Punctul Ptm5

Pentru a calcula rata de îmbunătățire între telefoane (RI), folosim formula următoare:

$$RI = \frac{\mu_{12} - \mu_{15}}{\mu_{12}} \cdot 100 \quad (4)$$

unde μ_{12} , μ_{15} este media erorilor a telefoanelor mobile.

Astfel, obținem în zona bazinului, $RI = 25,25\%$, în zona Observator, $RI = 0,69\%$ iar în zona Piața Muzeului, $RI = 32,02\%$, ceea ce confirmă definitiv superioritatea lui iPhone 15 atât ca acuratețe medie, cât și ca stabilitate.

Conform presupusei teorie și a datelor analizate mai sus, reiese că ierarhia influenței densității urbane (dificultatea zonei) este identică pentru ambele instrumente (bazin UTCN < facultatea din Observator < Piața Muzeului). În plus, putem calcula și coeficientul de corelare între cele 3 zone pentru a demonstra același aspect și anume proporționalitatea influenței densității urbane, utilizând următoarea relație (5):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$



unde n = numărul de zone, x_i = media pe zone pentru Iphone 12, y_i = media pe zone pentru iPhone 15, iar $\bar{x}$ și $\bar{y}$ = media aritmetică pentru x_i , respectiv y_i .

Calculând, vom obține o corelație puternic pozitivă, $r = 0.867$.

4. Concluzii

Studiul nostru a demonstrat, prin analiza măsurătorilor efectuate în municipiul Cluj-Napoca, faptul că precizia cipurilor GNSS integrate în smartphone-uri este direct proporțională cu gradul de deschidere a orizontului și invers proporțională cu densitatea urbană. Ierarhia observată în toate contextele urbane, de la zona deschisă din parcare la bazinul UTCN la zona cu densitate medie de pe strada Observatorului și până la „canionul urban” din Piața Muzeului, arată că degradarea preciziei nu este aleatorie, ci urmează o relație clară între obstacolele fizice, reflexiile multipath și deviația pozițională finală.

Pentru a depăși limitările hardware și a asigura o fiabilitate superioară, abordarea software dezvoltată în cadrul lucrării, aplicația iOS dedicată a jucat un rol tehnic esențial. Prin facilitarea accesului la datele GNSS brute și implementarea algoritmului de mediere a epocilor pe durata staționării, sistemul a reușit să stabilizeze coordonatele finale și să filtreze erorile aleatoare mari. Măsurătorile confirmă că, aplicând acest procedeu statistic, dispozitivele mobile (cum ar fi iPhone 15, susținut de tehnologia dual-band L1-L5) pot menține o precizie operațională medie de aproximativ 1-2 m în medii cu spații deschise, 2-3 m în medii cu obstrucții moderate și 3-5 m în medii sever obstrucționate. Această performanță obținută validează telefoanele mobile ca fiind perfect viabile pentru sarcini din domeniul GIS, inventariere urbană sau colectare de date spațiale în teren, mai ales în zonele deschise și semi-deschise. Acestea mai evidențiază și un potențial real pentru utilizări geodezice expeditivă, în special în condiții favorabile de observare.

Mai mult, perspectivele de viitor pentru poziționarea prin dispozitive inteligente mobile sugerează o evoluție rapidă către o acuratețe sub-metrică, ceea ce reprezintă o fiabilitate și precizie incredibilă pentru astfel de instrumente. Studii științifice de specialitate și inovații tehnologice recente arată că acest prag devine tot mai posibil, printre ele regăsindu-se soluții precum integrarea inteligenței artificiale pentru anularea erorilor locale (SDK Zephros), folosirea serviciilor de tip Galileo HAS și corecțiilor PPP/RTK.

BIBLIOGRAFIE

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation
2. <https://gis.stackexchange.com/questions/12866/why-does-gps-positioning-require-four-satellites>
3. <https://www.hi-target.com.cn/wp-content/uploads/2025/07/v301.png>
4. <https://www.mdpi.com/2673-4591/126/1/24>
5. <https://www.businesswire.com/news/home/20260105743834/en/Zephros-New-Positioning-SDK-Brings-Sub-Meter-Precision-to-Android-Devices-Laying-the-Groundwork-for-Location-Aware-AI>



UTILIZAREA FOTOGRAMETRIEI AERIENE IN VEDEREA REALIZARII PLANULUI CADASTRAL AL CETATII BOLOGA

Autor/autori

Răzvan I. TODEA¹, Adrian I. SZEKELY², Cătălin-Ionuț D. ZAH³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:todeaa99@yahoo.com](mailto:todeaa99@yahoo.com)

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:adrianszekely2003@gmail.com](mailto:adrianszekely2003@gmail.com)

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:catalinzah303@gmail.com](mailto:catalinzah303@gmail.com)

Îndrumător/îndrumători

Prof.Dr.Ing. Ioel-Samuel D. VEREȘ⁴, Conf.Dr.ING Mircea-Vasile T. BONDREA⁵

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:Ioel.Veres@mtc.utcluj.ro](mailto:Ioel.Veres@mtc.utcluj.ro)

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail:Mircea.Bondrea@mtc.utcluj.ro](mailto:Mircea.Bondrea@mtc.utcluj.ro)

REZUMAT: *Lucrarea prezintă utilizarea tehnologiei UAV pentru relevarea fotogrammetrică și reconstituirea tridimensională a Cetății Bologa, județul Cluj. Scopul principal a fost obținerea unui model 3D al zonei studiate și utilizarea acestuia pentru realizarea unei cadastrări și compararea cu situația existentă.*

În etapa de teren s-a realizat recunoașterea zonei și materializarea a 5 puncte de control (GCP), determinate cu receptor GPS Hi-Target. Pentru creșterea preciziei, fiecare punct a fost măsurat de 10 ori. Achiziția datelor s-a realizat cu drona DJI Mavic 2 Enterprise, prin două zboruri la altitudinile de 36 m și 60 m.

Procesarea imaginilor s-a efectuat în Agisoft Metashape, parcurgând etapele de aliniere, generare a norului dens de puncte, construire a modelului de suprafață și aplicare a texturii, rezultând un model tridimensional și un ortofotoplan georeferențiat.

Pe baza ortofotoplanului, s-a realizat delimitarea imobilelor în AutoCAD Map 3D, prin vectorizare, obținându-se o reprezentare cadastrală a zonei. Aceasta a fost comparată cu cadastrarea existentă, evidențiindu-se diferențele de poziționare și reprezentare. Rezultatele confirmă utilitatea fotogrammetriei în actualizarea datelor cadastrale.

Cuvinte cheie: Fotogrametrie, ortofotoplan, cadastru, modelare 3D.

1. Introducere

Tehnologia UAV (Unmanned Aerial Vehicle) aplicată în fotogrametrie reprezintă o metodă modernă de obținere a datelor spațiale, utilizată frecvent în topografie și cadastru. Prin utilizarea imaginilor aeriene și a unor software-uri specializate, este posibilă generarea de produse cartografice precum ortofotoplanuri și modele tridimensionale ale suprafețelor analizate.

1.2. Prezentarea zonei de interes:

Zona unde s-au desfășurat măsurătorile se situează în comuna Bologa pe strada Principală nr. 202.

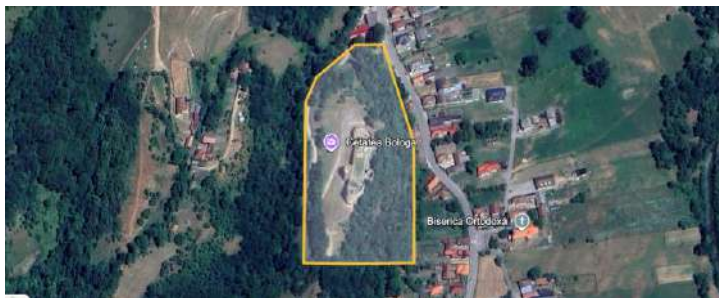


Figura 1. Zona de interes

1.3.Descrierea aparaturii:

Drona DJI Mavic 2 Enterprise

DJI Mavic 2 Enterprise este o dronă profesională de înaltă performanță, care are următoarele caracteristici tehnici principale:

Autonomie de zbor: până la 31 de minute, în funcție de configurația payload-ului.

Viteză maximă: până la 70 km/h (20 m/s) în modul S.

Rezistență la vânt: până la 10 m/s.

Capacitate de încărcare utilă: până la 1100 g,

Temperatura de operare: între -10°C și +40°C



Figura 2.Drona DJI Mavic 2 Enterprise



Figura 3.Drona DJI Mavic 2 Enterprise

GPS Hi-Target V30

Hi-Target este un receptor GNSS profesional utilizat în topografie și cadastru pentru determinarea coordonatelor punctelor cu precizie ridicată.

Precizie RTK: $\pm 8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm (plan)}$ / $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm (altimetric)}$; Număr canale: peste 800 (tracking multi-constelație); Autonomie: aproximativ 8–12 ore; Protecție: IP67 (rezistent la apă și praf); Comunicare: GSM și/sau radio pentru corecții RTK.



Figura 4. GPS HI-Target v30 [2]

2. Studiu de caz

2.1 Etapa de măsurători desfășurată în teren

Partea practică a lucrării a constat în realizarea a două zboruri cu drona, utilizând aceeași cameră fotogrametrică, la altitudini diferite de 36 m și 60 m. Pregătirea zborurilor a inclus, în primul rând, recunoașterea obiectivului, poziționarea punctelor de control la sol (5 puncte) cu ajutorul tehnologiei GNSS, preluând câte 10 măsuratori pentru fiecare punct. Ulterior, a fost generată o rută nouă folosind funcția de mapping, pe baza căreia s-a realizat planul de zbor. În această etapă au fost stabiliți parametrii principali, precum altitudinea de zbor și procentul de suprapunere a imaginilor. Înainte de decolare, s-a efectuat o verificare finală a tuturor datelor relevante. După inițierea comenzii de start, drona a decolat și a executat automat planul de zbor prestabilit

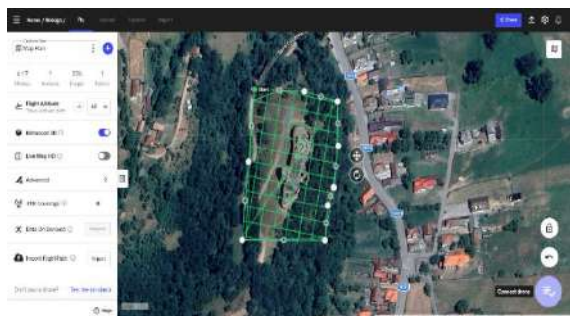


Figura5. Plan de zbor 1

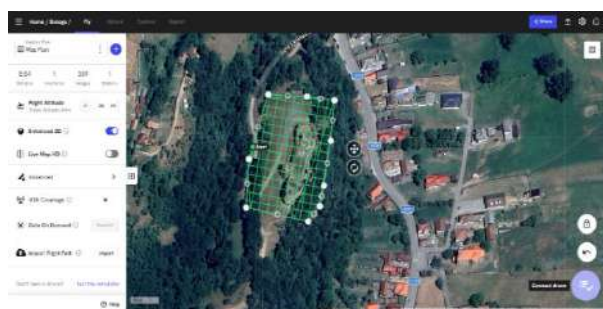


Figura 6. Plan de zbor 2

2.2 Etapa de prelucrare a datelor culese în urma zborului

Pentru procesarea datelor colectate s-a utilizat programul Agisoft Metashape, aplicație de fotogrametrie destinată generării de modele tridimensionale pe baza imaginilor digitale.

Prima etapă a fluxului de lucru a constat în alinierea imaginilor, proces prin care sunt identificate și corelate punctele comune din fotografiile suprapuse, rezultând un nor rar de

puncte. Acesta reprezintă o etapă intermediară, oferind o reprezentare generală a geometriei obiectului, însă fără un nivel ridicat de detaliu.

În vederea obținerii unei reconstrucții mai precise, s-a realizat ulterior generarea norului dens de puncte, care furnizează o descriere mult mai detaliată a suprafețelor.

Etapă următoare a implicat filtrarea norului de puncte, cu scopul eliminării elementelor nerelevante sau eronate, precum punctele generate de reflexiile suprafețelor vitrate, mișcarea vegetației sau efectele de umbră.

După finalizarea filtrării, s-a trecut la generarea și aplicarea texturii pe modelul tridimensional. Această etapă presupune proiectarea informațiilor cromatice din imagini asupra suprafeței modelului, conducând la o reprezentare realistă, apropiată de condițiile existente în teren.

Fluxul de procesare a continuat cu generarea modelului de tip *tiled*, utilizând funcționalitățile oferite de Agisoft Metashape. Acest tip de model permite gestionarea eficientă a unui volum mare de date, fiind optimizat pentru vizualizare și analiză la diferite niveluri de detaliu, fără a compromite performanța sistemului.

Ulterior, a fost realizat Modelul Digital al Elevației (DEM), obținut pe baza norului dens de puncte. Acesta reprezintă suprafața terenului sub formă raster, fiind utilizat pentru analiza altimetrică și pentru derivarea altor produse cartografice.

În etapa finală, a fost generat ortomosaic-ul, prin ortorectificarea și mozaicarea imaginilor aeriene. Acest produs reprezintă o imagine planimetric corectată, lipsită de distorsiuni geometrice, care poate fi utilizată pentru măsurători precise și integrare în sisteme GIS sau CAD.

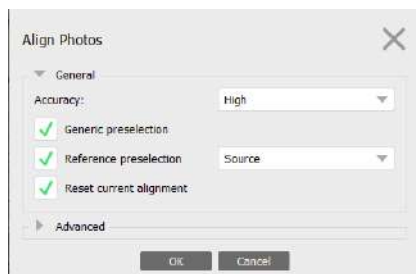


Figura 8. Alinierea imaginilor

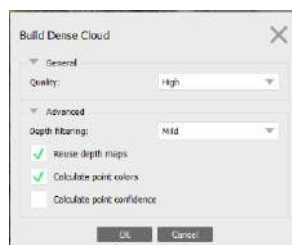


Figura 9. Construirea norului dens de puncte

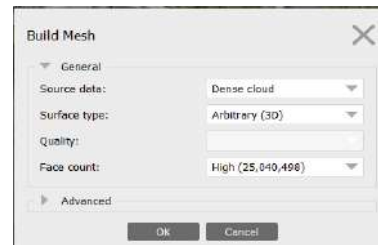


Figura 10. Generare Model Mesh

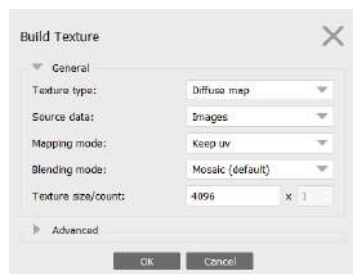


Figura 11. Texturarea Modelului 3D



Figura 12. Construire DEM



Figura 13. Generare Ortomosaic

2.3 Etapa de prelucrare a datelor obținute în Agisoft

După generarea ortofotoplanului, acesta a fost utilizat ca suport cartografic pentru integrarea și verificarea datelor obținute în teren. Astfel, peste ortofotoplan au fost inserate punctele

determinate prin tehnologia GNSS, în vederea evaluării corectitudinii și integrității măsurărilor efectuate.

Această etapă a permis compararea pozițiilor punctelor măsurate cu reprezentarea lor în modelul fotogrammetric, evidențiind eventualele abateri sau neconcordanțe. Prin această metodă de validare s-a putut aprecia acuratețea produselor generate, confirmând coerența dintre datele obținute prin zborul UAV și măsurătorile realizate în teren.

Pentru evidențierea diferențelor dintre datele existente și cele obținute în cadrul lucrării, s-a realizat o reprezentare comparativă a planului cadastral existent și a planului cadastral rezultat în urma măsurărilor efectuate cu tehnologia UAV. Cele două planuri au fost poziționate alăturat, la aceeași scară și în același sistem de coordonate, pentru a permite o analiză vizuală directă.

Această metodă de prezentare facilitează identificarea rapidă a diferențelor privind poziția, forma și dimensiunea imobilelor și construcțiilor. În același timp, compararea „side-by-side” oferă o imagine clară asupra gradului de actualizare și acuratețe a planului cadastral existent, în raport cu datele obținute prin măsurători moderne.

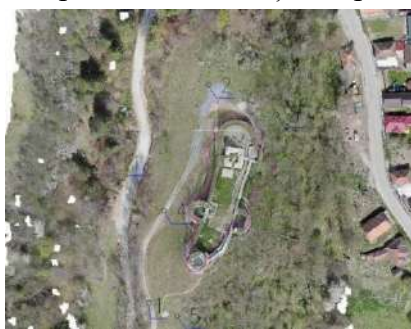


Figura 14. Plan Cadastral existent Figura 15. Suprapunere plan cadastral existent si propus Figura 16. Plan cadastral propus



Figura 17. Plan cadastral existent Figura 18. Suprapunere plan cadastral existent si propus Figura 19. Plan cadastral propus

2.4 Sursa de erori

În cadrul lucrării, analiza surselor de erori a fost realizată în contextul comparării datelor obținute prin tehnologia UAV cu cele provenite din planul cadastral existent, rezultat în urma cadastrului sistematic.



Erorile asociate modelului fotogrammetric sunt generate în principal de procesul de achiziție și procesare a imaginilor. Acestea includ erori determinate de precizia poziționării GNSS, parametrii de zbor (altitudine, suprapunere), precum și de condițiile din teren, cum ar fi iluminarea neuniformă, prezența umbrelor sau a elementelor dinamice (vegetație). De asemenea, procesul de aliniere a imaginilor și generare a norului de puncte poate introduce abateri locale în zonele cu textură redusă sau cu detalii repetitive.

Un factor important care poate influența acuratețea datelor este reprezentat de calitatea semnalului GNSS și condițiile de vizibilitate din teren. Lipsa sau degradarea semnalului, determinată de obstacole precum construcțiile, relieful sau vegetația densă, poate conduce la erori în determinarea coordonatelor punctelor de control. În mod similar, vizibilitatea redusă poate afecta atât calitatea imaginilor captate, cât și corectitudinea identificării punctelor comune în procesul fotogrammetric.

Pe de altă parte, planul cadastral existent, fiind realizat în cadrul cadastrului sistematic, prezintă limitări specifice metodei de realizare, cum ar fi generalizarea detaliilor, precizia variabilă în funcție de metoda inițială de ridicare și eventualele actualizări incomplete în timp.

În urma analizei comparative, diferențele identificate între cele două seturi de date nu sunt generate exclusiv de erorile măsurătorilor UAV, ci și de caracteristicile și limitările planului cadastral existent. Astfel, abaterile observate trebuie interpretate în mod corelat, ținând cont de ambele surse de date.

Rezultatele indică faptul că metoda fotogrammetrică utilizată oferă un nivel ridicat de detaliu și o bună coerență spațială, fiind adecvată pentru actualizarea și verificarea datelor cadastrale existente.

2. Concluzii

Lucrarea a avut ca scop realizarea modelului tridimensional al Cetății Bologa, precum și întocmirea documentației cadastrale necesare în vederea reabilitării obiectivului.

Prin utilizarea tehnologiei UAV și a procesării fotogrammetrice în Agisoft Metashape, au fost obținute produse cartografice relevante, precum modelul 3D, ortofotoplanul și modelul digital al elevației. Acestea au permis o reprezentare detaliată și fidelă a stării actuale a sitului, constituind o bază solidă pentru analize ulterioare.

Integrarea punctelor determinate GNSS și compararea cu planul cadastral existent au evidențiat gradul de concordanță dintre datele obținute și cele disponibile, precum și eventualele diferențe care pot necesita actualizare.

Rezultatele obținute demonstrează utilitatea metodelor moderne de achiziție și procesare a datelor în domeniul cadastrului, în special în cazul obiectivelor de patrimoniu, unde este necesară o documentare detaliată și precisă. În acest context, modelul 3D și produsele derivate pot constitui suport tehnic pentru lucrările de reabilitare și pentru gestionarea eficientă a informațiilor spațiale.

BIBLIOGRAFIE:

- [1]<https://www.dji.com/global/support/product/mavic-2-enterprise>
- [2]https://globalgpsystems.com/south-galaxy-g4-rover-set/?gad_source=1&gad_campaignid=18956513728&gbraid=0AAAAAClX1qBfFM_U31oak3yCeRMaN7KGJ&gclid=CjwKCAjwtcHPBhADEiwAWo3sJjB3CWU6HBOsFg0z2N2KwNTep4QqMsF7pObIyI1zZYyjjAxnvOjOiBoCPbQQAvD_BwE
- [3]<https://www.dronedeploy.com/app2/sites/69e81012e4d5053e944a2ba9/fly/map/69e81081e4d5053e944a2baa>



SECȚIUNEA 5

Arhitectură, CCIA, masterat, doctorat



IMPACTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ASUPRA PODURILOR. EVALUAREA PERICOLELOR HIDROLOGICE VIITOARE

Autor

ing. Antonia SĂLĂGEAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, salagean.tu.antonia@student.utcluj.ro.

Îndrumători

Sef lucr. dr. ing. Lucian ȘTEFAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, lucian.stefan@mecon.utcluj.ro

dr. ing. Ionuț MOLDOVAN

Universidade Lusófona - Centro Universitário de Lisboa, dragos.moldovan@ulusofona.pt

REZUMAT: Schimbările climatice cresc frecvența și intensitatea fenomenelor hidrologice extreme, periclitând siguranța podurilor. Având în vedere resursele limitate ale agențiilor pentru analize riguroase pe întreg patrimoniul de infrastructură, există o nevoie acută de prioritizare a structurilor cele mai vulnerabile. Lucrarea dezvoltă o aplicație MATLAB convivială pentru evaluarea vulnerabilităților hidrologice viitoare, bazată pe debite istorice de la stații hidrometrice sau platforme open-source și proiecții climatice pentru diferite scenarii climatice (RCPs), prelevate de pe platforma europeană Copernicus. Datele acoperă perioada 1992-2100, iar debitele maxime viitoare sunt generate pentru diverse orizonturi temporale cu posibilitatea ca utilizatorul să selecteze probabilitatea anuală de apariție. Dezvoltată în cadrul proiectului CLIMABRISK (Portugalia), soluția urmărește o identificare a podurilor prioritare pentru intervenții.

Cuvinte cheie: schimbări climatice, siguranța podurilor, debite maxime, Copernicus, vulnerabilitate.

1. Introducere

Podurile sunt părți esențiale ale infrastructurii de transport, iar integritatea lor depinde direct de efectele negative ce pot fi provocate de schimbările climatice care cresc frecvența și intensitatea evenimentelor hidrometeorologice extreme, afectând siguranța hidraulică a acestor structuri. Schimbările climatice actuale modifică fundamental riscurile la care sunt expuse aceste structuri, în special prin intensificarea ciclului apei. Conform raportului IPCC [1], activitățile umane influențează deja numeroase fenomene meteorologice și climatice extreme la nivel global, generând efecte negative extinse, precum și pierderi și pagube semnificative pentru ecosisteme și populație. În acest context, înțelegerea modului în care variabilele climatice influențează regimul râurilor este esențială pentru siguranța podurilor. Dintre toate amenințările, cele de natură hidraulică sunt printre cele mai distructive. Un studiu major asupra defecțiunilor podurilor din SUA [2] a concluzionat că „Peste 50% din cedările de poduri din Statele Unite între 1980 și 2012 au fost cauzate de inundații și afuieri (scour)”. Această statistică arată că, alături de degradarea materialelor (cum ar fi coroziunea), evenimentele hidrologice extreme reprezintă deja un pericol sever imediat.



Tabelul 1. Numărul de cedări de poduri din S.U.A. VS cauzele colapsului între anii 2000-2012. [2]

Cauza defectiunii	Număr de poduri
Afuiere	53
Coliziune	51
Inundație	40
Supraîncărcare	37
Cauze interne (defecte structurale)	32
Degradare ambientală	23
Incendiu	12
Vânt	8
Cutremur	1

Adaptarea infrastructurii necesită o abordare multidisciplinară care să pună accent pe reziliența hidrologică. Acest fapt subliniază necesitatea ca cercetarea științifică să se orienteze decisiv către disciplinele tehnice: „deși până în prezent focusul a fost pe climatologie, orice plan practic pentru adaptarea podurilor trebuie să fie ancorat în alte discipline, inclusiv fizică și inginerie”. [3] Impactul financiar este foarte mare, iar resursele necesare pentru adaptare depășesc posibilitățile multor administratori de poduri. De aceea, este esențială identificarea rapidă a structurilor vulnerabile și stabilirea priorităților de intervenție. Instrumentul CLIMABRISK permite evaluarea rapidă a riscurilor climatice pentru poduri, folosind informații minime, fiind util pentru administratori, proiectanți și autorități locale.

Lucrarea de față continuă un proiect de cercetare început în cadrul tezei de masterat și marchează etapa de dezvoltare a instrumentului digital: o aplicație care să permită evaluarea pericolelor hidrologice viitoare. Pentru această estimare sunt utilizate debite de calcul istorice obținute fie de la stații hidrometrice din apropierea podului, fie de pe platforme open-source, precum și proiecții ale acestora pentru diferite scenarii climatice din viitor, disponibile pe platforma Copernicus. Lucrarea se desfășoară în cadrul proiectului CLIMABRISK – Climate Impacts on Bridge Inventories: Risk and Strategic Knowledge for Resilience (Portugalia), orientat către implementarea unor instrumente rapide și prietenoase pentru evaluarea hazardelor climatice și identificarea podurilor aflate în pericol. În acest context, lucrarea propune un modul hidro-climatic pentru evaluarea pericolelor hidrologice viitoare asupra podurilor. Cercetarea extinde evaluările climatice existente, axate inițial pe efectele temperaturii asupra podurilor, prin dezvoltarea unui modul hidro-climatic dedicat pericolelor hidrologice. Modelul utilizează debite istorice (1992–2023) și proiecții climatice până în anul 2100, corespunzătoare mai multor scenarii RCP/SSP, obținute de pe platforma Copernicus. Rezultatul urmărit este o soluție de identificare a podurilor ce necesită prioritizare din punct de vedere al fenomenelor hidrologice extreme.

2. Propunerea metodologică pentru evaluarea pericolelor hidrologice

2.1 Cadrul general al proiectului CLIMABRISK

Prezenta cercetare se desfășoară în cadrul proiectului CLIMABRISK – Climate Impacts on Bridge Inventories: Risk and Strategic Knowledge for Resilience, dezvoltat în Portugalia de Universitatea Lusófona, sub coordonarea unor specialiști din domeniul ingineriei structurilor. Proiectul are ca obiectiv dezvoltarea unor instrumente practice pentru evaluarea rapidă a impactului schimbărilor climatice asupra inventarelor de poduri, în condițiile unor resurse limitate pentru analize detaliate la nivel individual.

Abordarea CLIMABRISK se bazează pe un sistem de avertizare de tip „semafor”, aplicat principalelor categorii de risc climatic relevante pentru siguranța podurilor: solicitări structurale induse de temperaturi extreme și valuri de căldură, procese de afuiere și inundații asociate precipitațiilor intense, precum și deteriorări accelerate prin coroziune, ca efect al creșterii concentrației de CO₂.

Structura metodologică inițială a proiectului CLIMABRISK a fost dezvoltată pentru evaluarea efectelor termice asupra podurilor și este ilustrată în Figura 1.

Metodologia este organizată în trei etape principale: În prima etapă (Etapa 1), sunt generate date climatice relevante prin integrarea scenariilor de schimbare climatică, a modelelor climatice regionale și a tehnicilor de *downscaling* bazate pe date de la stații meteorologice. A doua etapă (Etapa 2) utilizează datele de inventar ale podurilor pentru evaluarea răspunsului structural în termeni de deplasări și tensiuni excesive induse de solicitările termice, iar în a treia etapă (Etapa 3) se evaluează răspunsul structural din punct de vedere hidraulic. În etapa finală (Etapa 4), rezultatele sunt integrate într-un instrument de tip *toolbox*, care permite analiza vulnerabilității întregului inventar de poduri.

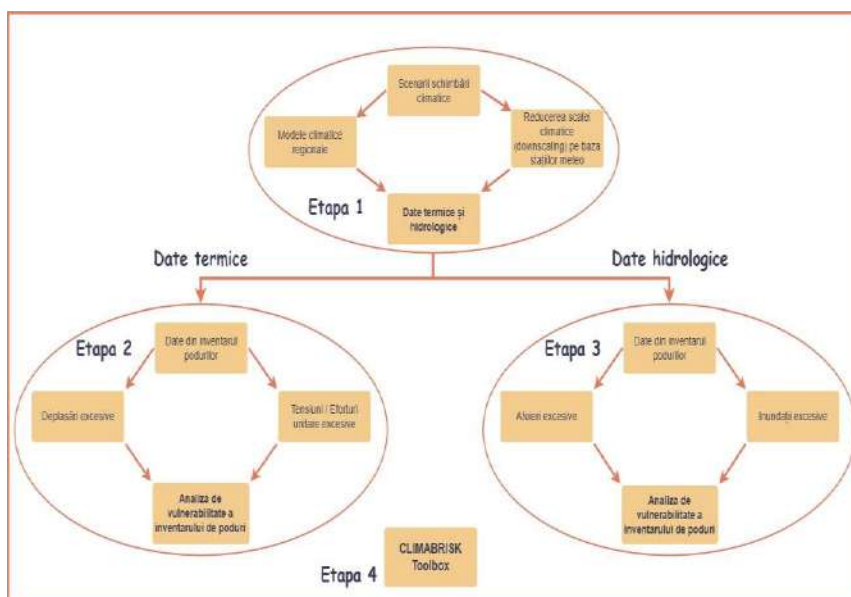


Figura 1. Structura conceptuală a evaluării vulnerabilității a inventarului de poduri în cadrul proiectului CLIMABRISK.

Această arhitectură modulară a reprezentat baza conceptuală pentru dezvoltarea extensiilor metodologice ulterioare ale proiectului.

2.2 Extinderea către pericole hidrologice

Modulul hidro-climatic CLIMABRISK-Hydro este conceput ca un instrument de tip *screening* pentru identificarea podurilor vulnerabile la pericolele hidrologice amplificate de schimbările climatice, în special inundațiile și afuieri ale infrastructurilor. Abordarea urmărește transpunerea informației hidro-climatice, disponibilă la scară de bazin, în parametri hidraulici relevanți la nivelul fiecărui pod, prin proceduri simplificate, dar fundamentate științific, adaptate evaluării rapide a inventarelor extinse de infrastructură.

Metodologia se integrează în sistemul de clasificare „semafor” dezvoltat în cadrul proiectului CLIMABRISK și generează două tipuri de indicatori: amenințarea la inundație și amenințarea la afuiere, fiecare clasificată în niveluri de vulnerabilitate scăzută, moderată sau ridicată. Fluxul general de lucru al modulului este ilustrat în Figura 2, care sintetizează etapele de la preluarea automată a datelor până la clasificarea finală a vulnerabilității podurilor. În ceea ce privește caracteristicile geotehnice ale albiei, workflow-ul actual, inspirat din metodologia utilizată în Portugalia, pune accent pe eficiența costurilor în etapa de screening. Având în vedere numărul mare de structuri, realizarea de studii geotehnice detaliate pentru fiecare ar fi prea costisitoare.

Astfel, abordarea este etapizată: în faza preliminară se folosesc valori estimate sau conservatoare. Dacă rezultă un risc ridicat de afuiere, devine necesară realizarea unor studii geotehnice in-situ, care permit o evaluare mai precisă, la nivel de analiză detaliată.

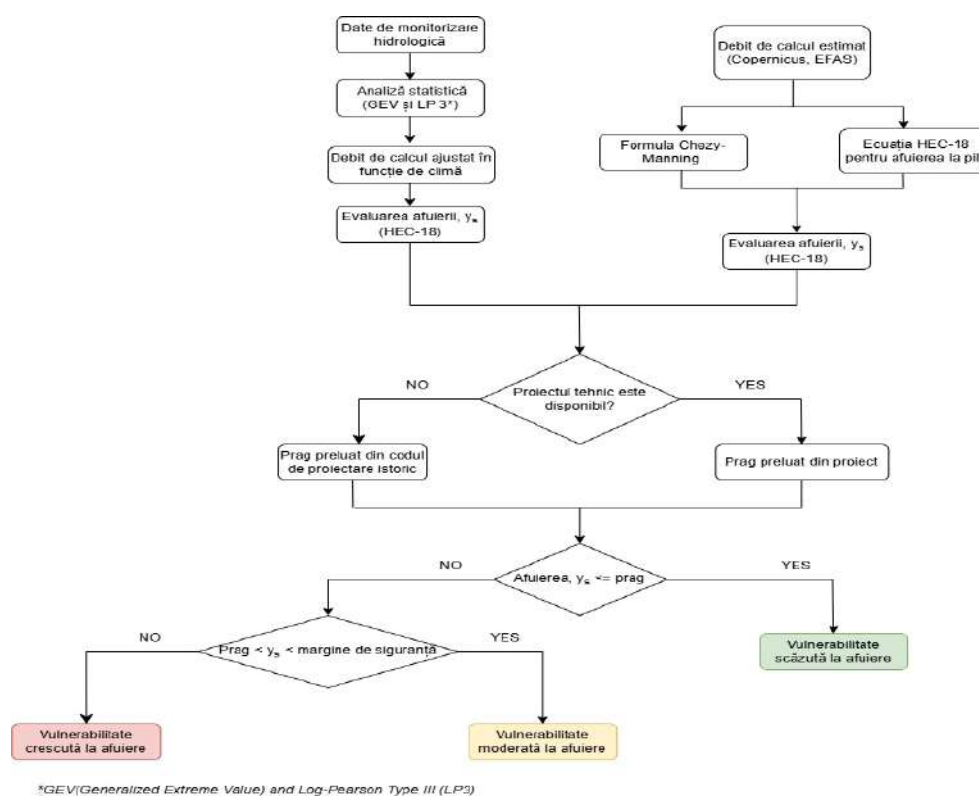


Figura 2. Schema logică CLIMABRISK-Hydro



2.2.1 Structura generală a workflow-ului

Workflow-ul CLIMABRISK-Hydro este organizat în trei etape principale (Sarcina H1–H3), care pot fi aplicate automat pentru fiecare pod pe baza coordonatelor geografice și a unui set minim de informații despre structură. Într-o primă etapă, sunt colectate și procesate date hidro-climatice și fizico-geografice la nivel de bazin hidrografic; în etapa a doua, aceste informații sunt transformate în condiții hidraulice locale și în estimări ale afuierii; în etapa finală, rezultatele sunt comparate cu praguri de siguranță pentru clasificarea vulnerabilității.

Un element esențial al metodei îl reprezintă ramificarea automată a calculului în funcție de disponibilitatea datelor hidrometrice la locația podului, permițând aplicarea metodei atât în zone instrumentate, cât și în locații neinstrumentate.

2.2.2 Caracterizarea hidro-climatică și determinarea debitelor de dimensionare și verificare (Sarcina H1)

Sarcina H1 vizează determinarea debitului de dimensionare și verificare ajustat climatic pentru fiecare pod, utilizând informații istorice și proiecții climatice. Bazinele hidrografice sunt delimitate automat pornind de la poziția podului, folosind modele digitale ale terenului (EU-DEM) și rețele hidrografice publice. Caracteristicile bazinului (suprafață, pantă, acoperirea terenului) sunt extrase din seturi de date Copernicus, permițând estimarea parametrilor de scurgere.

În funcție de disponibilitatea datelor, sunt aplicate două căi de calcul:

- Calea A – locații monitorizate: atunci când există stații hidrometrice în apropierea podului, debitele maxime istorice (1992–2023) sunt supuse unei analize de frecvență pentru determinarea debitelor de referință corespunzătoare probabilităților anuale selectate. Aceste debite sunt ulterior ajustate pentru schimbările climatice prin factori de amplificare derivați din proiecții de debite fluviale Copernicus, pentru diferite scenarii climatice (RCP/SSP) și orizonturi temporale.
- Calea B – locații nemonitorizate: în absența măsurătorilor directe, debitele de dimensionare și verificare sunt estimate prin combinarea proiecțiilor grilă de debite (Copernicus, EFAS) cu relații empirice ploaie–scurgere, bazate pe caracteristicile bazinului și intensități de precipitație proiectate climatic. Rezultatele sunt ponderate în funcție de calitatea datelor disponibile.

Rezultatul Sarcinii H1 este un set de debite de dimensionare și verificare ajustate climatic, utilizate în etapele ulterioare.

2.2.3 Răspunsul hidraulic și evaluarea afuierii (Sarcina H2)

În Sarcina H2, debitele de dimensionare și verificare sunt transformate în condiții hidraulice locale la nivelul podului, utilizând ipoteze simplificate de curgere permanentă și uniformă. Parametrii geometrici ai albiei (lățime, pantă, rugozitate) și caracteristicile pilelor sunt furnizați de administratorul infrastructurii sau estimați din surse publice (ortofotoplanuri, imagini satelitare).

Adâncimea apei și viteza curgerii sunt estimate cu relația Chezy–Manning, iar aceste mărimi constituie baza pentru evaluarea afuierii locale. Adâncimea maximă de afuiere este



estimată prin formule empirice consacrate (de tip HEC-18, [4]), permițând o evaluare conservativă a riscului la fundație. În paralel, este evaluat riscul de inundație prin compararea nivelului calculat al apei cu gabaritul liber disponibil sub suprastructură.

Este important de subliniat că metoda nu urmărește o modelare hidraulică detaliată, ci obținerea unor estimări coerente și comparabile între structuri, adecvate clasificării preliminare a vulnerabilității.

2.2.4 Clasificarea vulnerabilității și integrarea în aplicația MATLAB (Sarcina H3)

Sarcina H3 realizează clasificarea finală a vulnerabilității podurilor prin compararea rezultatelor hidraulice cu două niveluri de siguranță: pragul de proiectare și marja de siguranță la afuiere, asociată adâncimii reale a fundației. Pragul de proiectare este definit, în funcție de disponibilitatea documentației, fie pe baza proiectului inițial al podului, fie pe baza prevederilor normative în vigoare la momentul construirii.

Conform logicii semafor:

- vulnerabilitatea este scăzută (verde) dacă afuierea calculată rămâne sub pragul de proiectare;
- moderată (galben) dacă pragul este depășit, dar există marjă de siguranță la fundație;
- ridicată (roșu) dacă afuierea estimată depășește marja de siguranță.

Întregul workflow este implementat într-o aplicație MATLAB cu interfață grafică, care permite selectarea scenariilor climatice, a orizonturilor temporale și a probabilităților anuale de apariție, generând automat rapoarte sintetice pentru fiecare pod. Modulul extinde astfel funcționalitățile existente ale CLIMABRISK și sprijină prioritizarea structurilor ce necesită investigații detaliate sau intervenții de adaptare.

3. Implementarea aplicației MATLAB pentru evaluarea pericolelor hidrologice. Stadiul actual.

Implementarea practică a modulului hidro-climatic a fost realizată sub forma unei aplicații MATLAB cu interfață grafică, concepută pentru prelucrarea eficientă a seturilor extinse de date hidro-climatice, provenite din surse open-source Copernicus, și pentru generarea unor rezultate vizuale intuitive, adecvate evaluărilor de tip screening.

Pentru a facilita utilizarea corectă și reproductibilă a metodologiei propuse, precum și pentru a asigura transparența procesului de obținere a rezultatelor, a fost elaborat un manual de utilizare care descrie atât modul de interpretare a materialelor video demonstrative, cât și pașii de formare și structurare a matricei datelor de debit utilizate în aplicație. Astfel, soluția propusă poate fi aplicată coerent și adaptată și altor regiuni, în funcție de disponibilitatea datelor hidrologice.

3.1 Fluxul general al aplicației

Aplicația urmează un flux secvențial care include: (i) importul incremental al datelor NetCDF, (ii) filtrarea și reorganizarea spațială a informației hidrologice, (iii) selecția scenariilor



climatice, a orizonturilor temporale și a probabilităților anuale de apariție, respectiv (iv) vizualizarea și exportul rezultatelor sub formă de hărți statice sau animații temporale.

O particularitate esențială a implementării o reprezintă utilizarea unei structuri sparse, care permite stocarea exclusivă a pixelilor corespunzători suprafeței terestre, eliminând permanent zonele maritime, fiind înlocuite cu valori nule sau *NaN*. De asemenea, debitele cu o valoare mai mică de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ au fost neglijate. Această abordare reduce semnificativ cerințele de memorie și face posibilă procesarea incrementală a fișierelor, fără încărcarea simultană a întregului volum de date în memorie.

3.2 Surse de date și tipologia informației preluate

Aplicația utilizează două fluxuri principale de date hidrologice furnizate de serviciile Copernicus:

- Date istorice de debite, descărcate din cadrul *EFAS – European Flood Awareness System* [5], care oferă serii temporale de debite simulate coerent pentru perioada 1992–2023;
- Proiecții climatice ale debitelor, preluate din seturile derivate din modele hidro-climatice (E-HYPEgrid), corespunzătoare diferitelor scenarii climatice (RCP/SSP), cu orizont de proiecție până în anul 2100. [6]

Este important de menționat că utilizarea datelor din EFAS, bazate pe medii zilnice, poate prezenta limitări în surprinderea valorilor de vârf ale viiturilor. Această potențială subestimare a debitelor de vârf este asumată în etapa de screening, fiind compensată prin posibilitatea utilizatorului de a selecta probabilități anuale de depășire conservatoare (de exemplu, utilizarea unor perioade de revenire mai mari, precum 1:500 sau 1:1000 de ani). Pentru analize de detaliu la poduri critice, metodologia recomandă calibrarea acestor date cu înregistrări orare de la stațiile hidrometrice locale acolo unde acestea sunt disponibile.

Fișierele NetCDF conțin variabilele de debit (de tip *dis06* pentru datele istorice și *rdis* pentru proiecții), coordonate geografice (latitudine și longitudine), precum și informații temporale exprimate sub formă de timestamp-uri.

Utilizarea unei perioade de referință de aproximativ 30 de ani (1992–2023) pentru analiza istorică este conformă cu recomandările climatologice standard, oferind o bază stabilă pentru identificarea tendințelor actuale. Totuși, din perspectivă hidrologică, această fereastră temporală poate acoperi un număr limitat de cicluri multianuale și poate să nu includă evenimente extreme cu perioadă mare de revenire, care apar rar în înregistrările istorice.

3.3 Selecția orizonturilor temporale și a debitelor

Interfața aplicației permite utilizatorului să selecteze intervale temporale de interes, atât pentru analiza istorică (vezi Figura 3), cât și pentru scenarii viitoare. Se pot analiza perioade individuale (ex. ani sau sezoane reprezentative), dar și ferestre temporale extinse, corespunzătoare diferitelor orizonturi climatice.

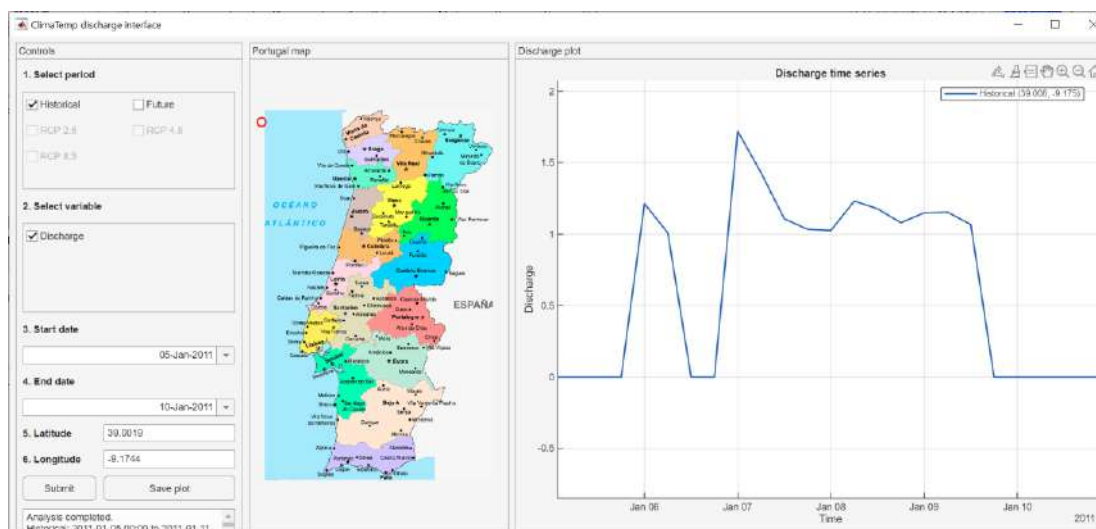


Figura 3. Fereastră temporală istorică.

Selecția probabilităților anuale de apariție a debitelor maxime este realizată la nivel conceptual, în acord cu metodologia de *screening*, urmând ca valorile extrase din câmpurile de debit să fie utilizate ulterior în analiza de frecvență și în evaluarea vulnerabilităților hidrologice la nivel de pod. Această flexibilitate permite compararea directă a rezultatelor pentru diferite scenarii climatice și ipoteze de vulnerabilitate.

3.4 Vizualizare, animații și stadiul actual al implementării

O funcționalitate centrală a aplicației este generarea de hărți tematice ale debitelor, atât sub formă de cadre individuale, cât și sub formă de animații temporale. Utilizatorul poate vizualiza evoluția spațială a debitelor pentru intervale selectate și poate exporta animațiile sub formă de fișiere video (format *.mp4*), utile pentru analiza exploratorie și comunicarea rezultatelor. (Vezi figura 4)

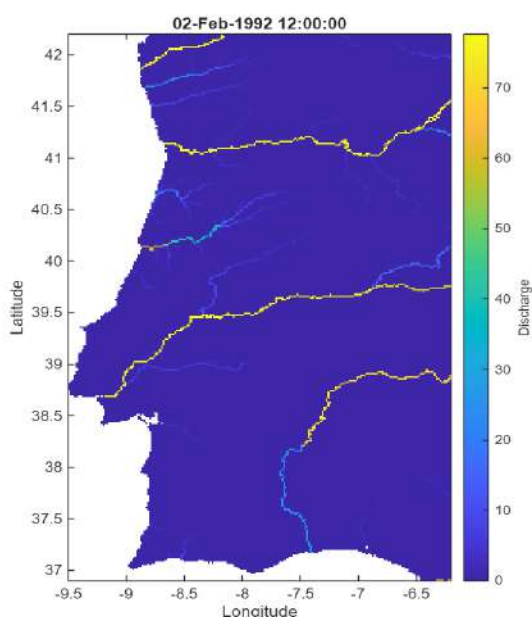


Figura 4. Generare valori de debite. (Portugalia, 2 februarie, 1992, ora 12:00)



Interfața grafică dezvoltată (exemplificată în Figura 3) a fost adaptată dintr-un modul anterior dedicat temperaturilor extreme, fiind recalibrată pentru afișarea câmpurilor de debit. Această reutilizare conceptuală asigură coerență între modulele CLIMABRISK și facilitează extinderea ulterioară a aplicației către alți indicatori climatici.

În stadiul actual, aplicația permite ingestia complet funcțională a datelor istorice și a proiecțiilor climatice, filtrarea spațială, selecția temporală și vizualizarea debitelor. Etapele ulterioare de dezvoltare vizează integrarea completă a rezultatelor hidraulice și a clasificării automate a vulnerabilității podurilor, în concordanță cu logica semafor utilizată în cadrul proiectului CLIMABRISK.

4. Concluzie

Plecând de la existența unor inventare extinse de poduri, care, în contextul actual al schimbărilor climatice, pot genera semnale de alarmă asupra siguranței patrimoniului construit, lucrarea își propune identificarea unei soluții convenabile, rapide și eficiente destinată sprijinirii factorilor responsabili în procesul decizional. Metodologia dezvoltată conduce la realizarea unei hărți de semnalizare de tip „semafor”, menită să evidențieze structurile potențial vulnerabile la acțiunea fenomenelor hidraulice extreme. Aplicația este adaptată condițiilor specifice Portugaliei și oferă rezultate relevante în analiza proceselor hidraulice și a evenimentelor extreme care pot periclita siguranța podurilor, oferind informații despre debite cu diferite probabilități de depășire și pe ferestre temporale distincte, selectate de utilizator.

BIBLIOGRAFIE

- [1] IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [2] Lee, G. C., Mohan, S. B., Huang, C., & Fard, B. N. (2013). *A Study of U.S. Bridge Failures (1980-2012)* (Technical Report MCEER-13-0008). University at Buffalo, The State University of New York.
- [3] Figueiredo, E., Santos, L. O., Moldovan, I., Kraniotis, D., Melo, J., Dias, L., & Coelho, G. B. A. (2023). A Roadmap for an Integrated Assessment Approach to the Adaptation of Concrete Bridges to Climate Change. *Journal of Bridge Engineering*, 28(6).
- [4] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, HEC-18, Evaluating Scour at Bridges, ediția V, (2012), Publication No. FHWA-HIF-12-003
- [5] <https://ewds.climate.copernicus.eu/datasets/efas-historical?tab=overview>
- [6] <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-hydrology-variables-derived-projections?tab=overview>



STRUCTURI MODULARE METALICE PENTRU CLĂDIRI MULTIETAJATE STUDIU DE CAZ

Autor

Andra FUNARIU¹

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara, [e-mail:andra.funariu@student.upt.ro](mailto:andra.funariu@student.upt.ro).

Îndrumător

Prof.Dr.Ing. Aurel STRATAN²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara, [e-mail:aurel.stratan@upt.ro](mailto:aurel.stratan@upt.ro).

REZUMAT: Criza de locuințe reprezintă o problemă importantă în Europa această criză este accentuată de cerința mare de locuințe venită în urma calamităților. Structurile modulare oferă o soluție eficientă pentru această problemă. Utilizarea unui sistem modular reduce timpul de execuție și costurile unei structuri, cu toate acestea lipsa unui cod de proiectare și cunoștințele reduse despre comportarea seismică reprezintă probleme critice de analizat pentru a facilita utilizarea la scară largă a acestui sistem. Lucrarea de față analizează stadiul actual al cercetărilor în domeniu și propune spre analiză un studiu comparativ între o structură realizată în soluție clasică și una modulară, evaluând provocările de proiectare și răspunsul structural al ambelor soluții.

Cuvinte cheie: structuri modulare, modelarea îmbinărilor inter-modulare.

1. Introducere

În prezent, Europa se confruntă cu o criză a locuințelor caracterizată printr-o discrepanță majoră între cererea crescută și oferta limitată de spații de locuit disponibile [1]. Această situație este accentuată de evenimentele extreme și calamitățile naturale ce generează fluxuri masive de populație care necesită soluții de adăpost rapide. Conform raportului Housing Europe [1] rata supraaglomerării și costul ridicat al locuinței afectează peste 10% din populația Uniunii Europene, care alocă mai mult de 40% din venitul disponibil pentru cheltuieli legate de locuință, precum costuri ridicate ale locuințelor și chiriilor. Nevoia de a construi rapid și economic își poate găsi rezolvare în alegerea unui sistem modular. Conform [2] utilizarea unui sistem modular reduce timpul de execuție al unei structuri cu până la 50% și costurile aceleași structuri cu 20% comparativ cu o clădire realizată în sistem clasic. Piața construcțiilor modulare a cunoscut o creștere accelerată. În anul 2025 valoarea pieței globale a fost estimată la aproximativ 111 miliarde de dolari, Europa deținând aproximativ 45% din această piață, cu toate acestea utilizarea sistemelor modulare se concentrează în zona de nord a continentului, unde în Suedia 84% din locuințele noi utilizează sisteme modulare și prefabricate [3].

1.1 Proiectarea a sistemelor modulare

O structură modulară este formată din elemente prefabricate volumetrice denumite „module”. Aceste module sunt construite în afara șantierului, într-o unitate de producție centralizată,



transportate către șantier și apoi asamblate la fața locului pe o fundație construită în prealabil. Fiecare modul poate să fie gata finisat, echipat cu instalații electrice, sanitare, de ventilație gata de mutare din fabrică. Construcțiile modulare își găsesc cu ușurință aplicabilitatea în structurile unde sunt preferate configurații repetitive cum ar fi clădirile rezidențiale, hotelurile, spitalele și școlile. Din punct de vedere structural sistemele modulare metalice se pot întâlni sub o varietate de forme. Putem grupa aceste structuri în trei categorii principale în funcție de modul de preluare al forțelor laterale. Sisteme modulare autoportante a căror rezistență la acțiuni laterale este asigurată integral de rigiditatea sistemului de module și îmbinărilor dintre acestea. Sisteme hibride a căror rigiditate la forțe laterale este oferită de un nucleu central din cadre metalice contravântuite sau un nucleu din beton în jurul căruia se dispun modulele metalice. Sisteme de tip infill, în acest tip de sistem se construiește un schelet metalic care preia încărcările laterale în care modulele sunt introduse ulterior ca elemente de "umplutură".

Datorită constrângerilor în ceea ce privește transportul și logistica conceptul general al structurilor modulare diferă de cel al structurilor convenționale, gabaritul general al modulului fiind cel ce influențează în mod direct costurile unei astfel de structuri. O alegere nepotrivită a dimensiunilor modulului poate duce la o creștere de până la 20% a costului structurii [4]. Dimensiunile maxime ale unui modul sunt limitate de reglementările transportului rutier astfel: lungimea maximă 12 m, lățimea maximă 3.20 m și înălțimea maximă 4,5 m. Pentru o eficiență ridicată a modulului greutatea totală a acestuia trebuie să fie mai mică decât 20 t (capacitatea uzuală de ridicare a macaralelor).

Rezistența la forțe laterale ale structurilor modulare se bazează în special pe capacitatea îmbinărilor inter-modulare și pe capacitatea de deformare și disipare a structurii. Pentru a face față încărcărilor laterale de cele mai multe ori structurile modulare au nevoie de un sistem ajutător pentru preluare forțelor laterale. Cele mai des întâlnite sisteme sunt sistemele de contravântuiri, nucleele din beton, pereții de forfecare și izolarea bazei [5]. Contravântuirile pot fi adăugate în interiorul planșeelor modulelor pentru a limita efectele de torsiune. Nucleele de beton pot fi integrate cu ușurință în zone funcționale precum casa scării și liftul sporind rezistența la acțiunile laterale. Izolarea bazei reduce frecvența structurală, reducând forțele dinamice și asigură deplasarea uniformă a structurii [6]. În lipsa unor reglementări explicite de proiectare seismică în practică se pot aborda modele simplificate conservatoare sau mai puțin conservatoare care să simuleze comportarea reală a unei astfel de structuri.

1.2 Îmbinări pentru structurile modulare

Îmbinările pentru structurile modulare pot fi clasificate ca fiind (1) îmbinări intra-modulare, (2) inter-modulare, (3) îmbinări între module și cadre, (4) îmbinări între module și fundații [7]. Îmbinările intra-modulare unesc elementele unui modul (stâlpi, grinzi, panouri), iar cele inter-modulare unesc două sau mai multe module adiacente. Conform [8] îmbinările inter-modulare se împart în: dispozitive de fixare, îmbinări post-tensionate, îmbinări cu șuruburi (îmbinări stâlp-stâlp, grindă-grindă), îmbinări umede (wet or grouted connections).

Dispozitivele de fixare (locking devices) (Figura 3) sunt o categorie inovatoare a îmbinărilor inter-modulare sunt mecanisme de tip „plug-and-paly” ce reduc semnificativ timpul de montaj, dar necesită precizie de fabricare și aliniere

Îmbinările post tensionate (Figura 4) sunt formate din tije metalice introduse în interiorul stâlpilor, de cele mai multe ori pe toată înălțimea acestor, continuitatea lor fiind asigurată la nevoie cu ajutorul cuplelor sau cu piulițe de tip manșon. Strângerea acestui tip de îmbinare se realizează cu ajutorul unor piulițe fixate pe plăci de conectare ce au adesea și chei de forfecare. Deși aliniere la montaj a modulelor în cazul acestui tip de îmbinare se efectuează cu ajutorul unor bolțuri, operațiunea de post-tensionare ulterioară încetinește procesul de execuție.

Îmbinările cu șuruburi (Figura 5) reprezintă cea mai diversă categorie dintre cele trei tipologii. Aceste îmbinări utilizează componente uzuale precum corniere, plăci de capăt, șuruburi, saibe și alte elemente suplimentare precum dornuri sau cauciuc.

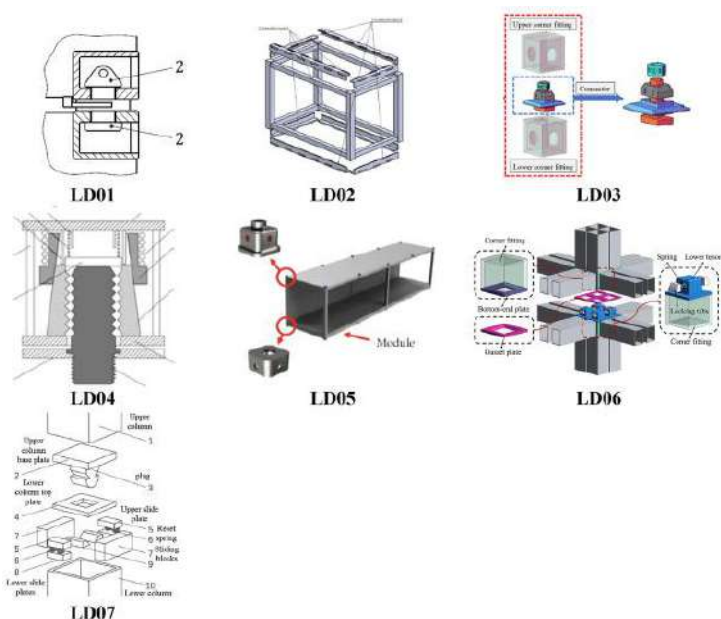


Figura 3 Îmbinări cu mecanism de fixare [8]

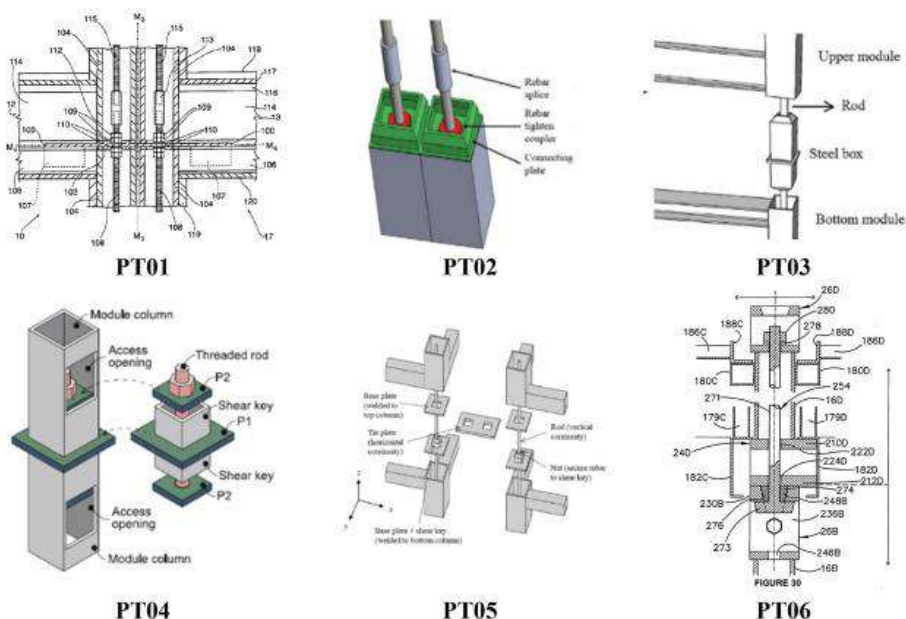


Figura 4 Îmbinări post-tensionate [8]

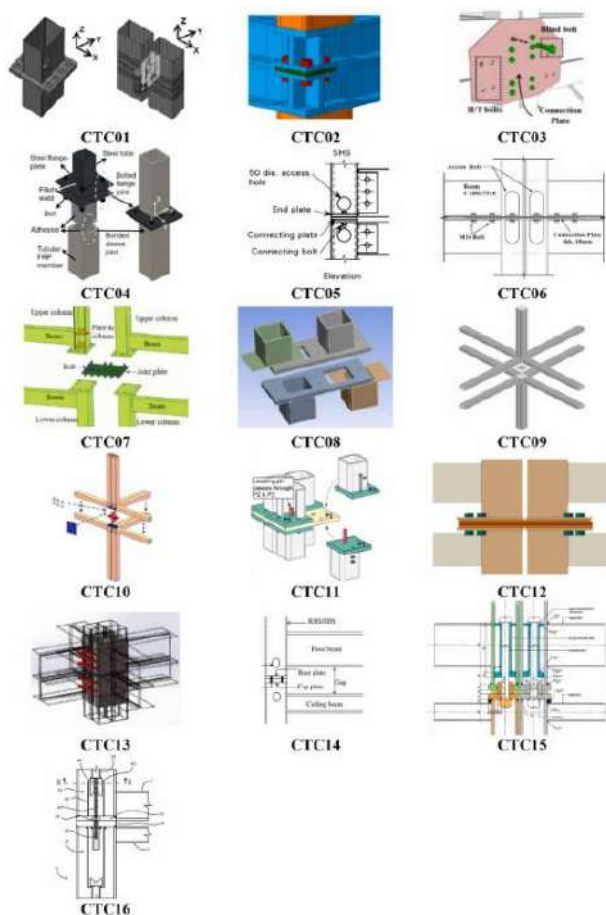


Figura 5 Îmbinări cu suruburi [8]

2. Studiu de caz

Pentru a investiga avantajele și dezavantajele unei structuri modulare au fost proiectate două structuri cu dimensiuni în plan și pe verticală asemănătoare. Structurile selectate pentru analiză sunt două clădiri de birouri cu regim de înălțime P+4 E cu o înălțime de nivel de 3.75 m interax (Figura 6).

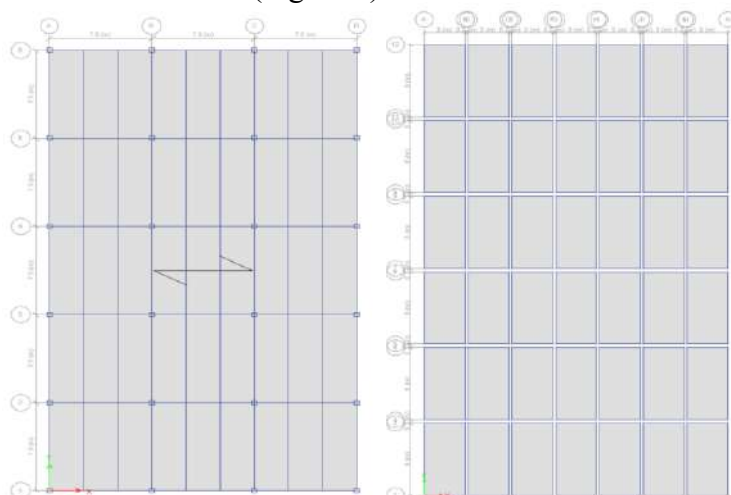


Figura 6. Configuratia în plan a structurii conventionale si a structurii modulare



Structurile sunt amplasate în orașul Brașov conform P100-1-2013 accelerația de vârf a terenului a_g este de 0,2g, iar perioadele de control sunt $T_B=0,14s$, $T_C=0,70s$, $T_D=3,00s$. Spectrul de răspuns utilizat în calcul a fost obținut prin împărțirea spectrului de proiectare la factorul de comportare $q=6,5$ (DCH). Valoarea de caracteristică a încărcării din zăpadă este $s_k=2kN/m^2$, iar valoarea de referință a vântului este $q_b=0,6 kN/m^2$. Destinația structurilor este clădire de birouri astfel încât încărcarea utilă pe planșeele curente este $q=2,50 kN/m^2$.

Structurile au fost analizate în programul ETABS23, utilizând un model de calcul spațial. Toți stâlpii au fost considerați încastrați la nivelul fundațiilor. Încărcările gravitaționale au fost aplicate la nivelul planșeelor (încărcările variabile și permanente) și pe grinzile perimetrale (încărcarea din pereți exteriori). Masele structurilor au fost calculate automat în programul de calcul din încărcările gravitaționale aplicate pe structură.

Pentru structura proiectată în variantă convențională planșeul din beton armat cu cofraj pierdut din tablă cutată reazemă pe un sistem de grinzi secundare articulate și are rol de diafragmă rigidă. În toate axele sistemul de preluare a încărcărilor laterale este compus din cadre necontravântuite atât pe direcția X cât și pe direcția Y. Secțiunile utilizate în structură Tabelul 6.

Tabelul 6. Secțiunile pofilelor utilizate în structură

Nivel	Grinzi secundare	Grinzi principale X	Grinzi principale Y	Stâlpi
5	IPE 220	HE300A	HE300A	SHS360x20
4	IPE 220	HE360A	HE360A	SHS360x20
3	IPE 220	HE400A	HE400A	SHS360x20
2	IPE 220	HE450A	HE450A	SHS360x20
1	IPE 220	HE450A	HE450A	SHS360x25

Primele trei moduri de vibrație au fost două de translație și unul de torsiune cu perioadele fundamentale $T_1=1,14 s$, $T_2=1,12 s$, $T_3=1,03 s$.

Pentru structura proiectată în sistem modular modulele au fost considerate a fi autoportante dimensiunile modului sunt: lungime 6,00 m, lățime 3,00 m și înălțime 3,75 m. Planșeul modulelor metalice a fost considerat unul ușor, din lemn astfel încât el nu a fost considerat o diafragmă rigidă. Pentru a ține cont de configurarea modulelor placa fiecărui modul a fost modelată individual și nu s-a considerat conlucrarea pe tot nivelul a planșeelor conform [9]. Îmbinările intra-modulare au fost considerate rigide. Fiecare modul a fost modelat cu un spațiu de 220 mm și 320 mm inter-ax (Figura 8) pentru a lăsa un mic spațiu între stâlpii decalați ai modulelor.

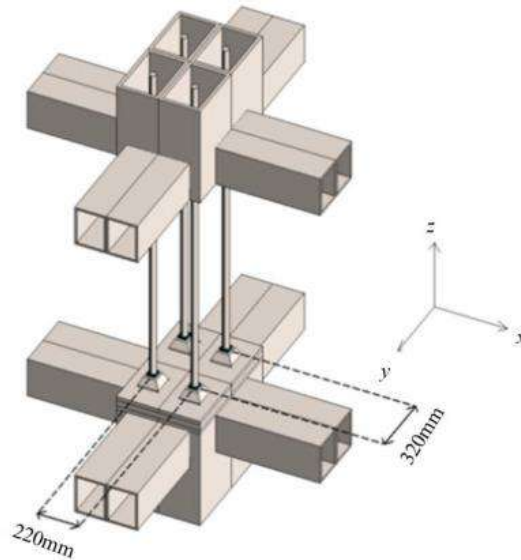


Figura 7 Modelarea îmbinărilor inter-modulare sursa [9]

În Figura 8 este reprezentată tipologia de îmbinare stâlp-stâlp aleasă utilizată pentru conectarea modulului superior cu cel inferior. Îmbinarea verticală a modulelor se realizează prin intermediul unei tije filetate din oțel, ancorată la fiecare nivel de planșeu cu piulițe de blocare. Această soluție asigură continuitatea structurală pe verticală a stâlpilor și permite transmiterea momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare către infrastructură. Transferul forțelor tăietoare între modulele suprapuse se realizează prin intermediul cheilor de forfecare (shear key). Forțele axiale sunt transmise prin contactul direct dintre capetele stâlpilor adiacenți.

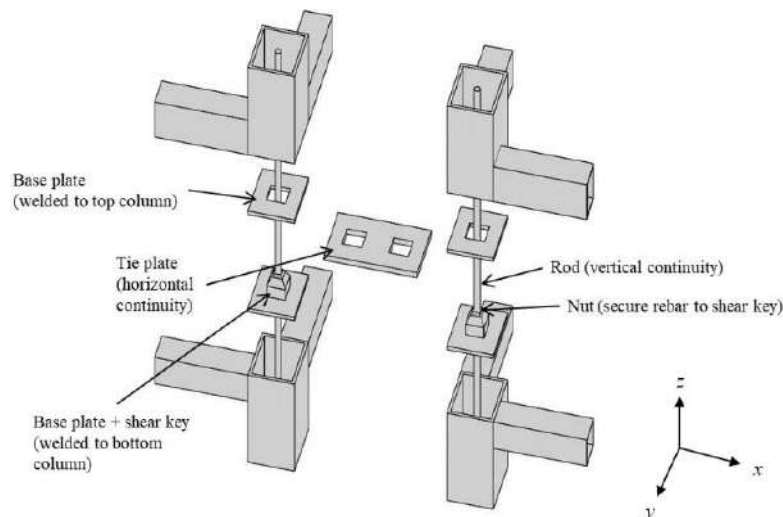


Figura 8 Vedere a îmbinării inter-modulare sursa [10]

Pentru a modela conexiunea pe verticală a îmbinării inter-modulare a fost modelată extinzând capetele stâlpilor peste locul de intersecție al grinzii cu stâlpul, atribuind acestui capăt o articulație. Conexiunea orizontală dintre module se efectuează utilizând o placă de legătură (tie plate) ce a fost modelată simplificat prin introducerea unui element de tip frame, cu

proprietățile plăcii de legătură, între punctele extinse ale stâlpilor. S-a presupus că placa este legată rigid de stâlpi (Figura 9).

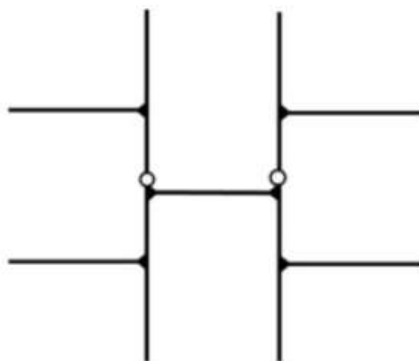


Figura 9 Modelarea simplificată a îmbinării inter-modulare [9]

Tabelul 7 Secțiunile profilelor utilizate în structura modulară

Element	Secțiune
Grindă tavan	RHS 160X80X6,3
Grindă podea	RHS 160X80X6,3
Stâlp nivel 1	SHS 300X300X20
Stâlp nivel 2-5	SHS 300X300X16,2

Primele trei moduri de vibrație au fost două de translație și unul de torsiune cu perioadele fundamentale $T_1=1,38$ s, $T_2=1,30$ s, $T_3=0,82$ s. Demonstrând faptul că structura modulară este mai flexibilă decât cea proiectată convențional și evidențiind importanța modelării corespunzătoare a rigidității laterale a structurii.

Pentru realizarea structurii convenționale se vor utiliza 306 t oțel, iar pentru realizarea structurii modulare 500 t, astfel după o primă iterație modelul propus pentru structura modulară are nevoie de optimizare.

3. Concluzii

Adoptarea sistemelor modulare câștigă popularitate și reprezintă o soluție a marilor probleme legate de locuințe cu care ne confruntăm. Prin rapiditatea instalării și calitatea ridicată dată de prefabricare se elimină costuri considerabile ale unei structuri.

Această lucrare a oferit o trecere în revistă a clasificării tipurilor de module, tipurilor de îmbinări și a unor abordări simplificate în ceea ce privește modelarea acestor îmbinări în softuri de calcul.

Studiul de caz evidențiază dificultățile aplicării standardelor tradiționale de proiectare seismică pentru structurile modulare. Ipotezele privind conexiunile inter-modulare ridică întrebări despre ce abordare este conservativă și cum putem reda comportarea reală a îmbinărilor într-o analiză simplificată, dar și ce influență are modelarea individuală a plăcii modulelor.

Structura modulară are un consum ridicat de oțel însă proiectarea acesteia a fost una preliminară fără a beneficia de o optimizare.



Studii viitoare vor aborda optimizarea proiectării structurilor modulare și evaluarea performanței seismice a structurilor modulare în comparație cu soluțiile convenționale

În concluzie, deși construcțiile modulare oferă beneficii promițătoare, implementarea lor cu succes la scară largă depinde de dezvoltarea unor norme de proiectare specifice care să detalieze comportarea structurală și abordările simplificate pentru realizarea unei astfel de structuri.

MENTIUNI

Această lucrare a fost susținută de un grant al Ministerului Cercetării, Inovării și Digitalizării din România, CCCDI-UEFISCDI, numărul proiectului PN-IV-P7-7.1-PTE-2024-0624, în cadrul PNCDI IV.

BIBLIOGRAFIE

- [1] European Commission. Eurostat, *Housing in Europe*. in Housing in Europe. LU: Publications Office of the European Union, 2025. Accessed: Apr. 27, 2026. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2785/1681390>
- [2] 'Modular construction: From projects to products | McKinsey'. Accessed: Apr. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>
- [3] 'Europe Modular Construction Market Size, Trends & Research Report 2031', Mordor Intelligence. Accessed: Apr. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-modular-construction-market>
- [4] F. Ahmed, M. Gkantou, G. Nikitas, M. Ferentinou, A. Bras, and M. Riley, 'A review of recent developments in structural elements of modular steel building systems', *J. Build. Eng.*, vol. 111, p. 113087, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.job.2025.113087.
- [5] R. Peres, C. Eshaghi, E. Cerqueira, and J. M. Castro, 'Seismic Design of Modular Steel Buildings—A Comprehensive Review', in *Proceedings of the 11th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas*, F. M. Mazzolani, V. Piluso, E. Nistri, and A. Formisano, Eds, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 1006–1017. doi: 10.1007/978-3-031-62884-9_88.
- [6] R. Peres, C. Eshaghi, E. Cerqueira, and J. M. Castro, 'Seismic Design of Modular Steel Buildings—A Comprehensive Review', in *Proceedings of the 11th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas*, F. M. Mazzolani, V. Piluso, E. Nistri, and A. Formisano, Eds, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 1006–1017. doi: 10.1007/978-3-031-62884-9_88.
- [7] E.-F. Deng *et al.*, 'Seismic performance of mid-to-high rise modular steel construction - A critical review', *Thin-Walled Struct.*, vol. 155, p. 106924, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.tws.2020.106924.
- [8] D.-A. Corfar and K. D. Tsavdaridis, 'A comprehensive review and classification of inter-module connections for hot-rolled steel modular building systems', *J. Build. Eng.*, vol. 50, p. 104006, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.104006.
- [9] Y. S. Chua, J. Y. R. Liew, and S. D. Pang, 'Modelling of connections and lateral behavior of high-rise modular steel buildings', *J. Constr. Steel Res.*, vol. 166, p. 105901, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jcsr.2019.105901.
- [10] J. Y. R. Liew, Y. S. Chua, and Z. Dai, 'Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings', *Structures*, vol. 21, pp. 135–149, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.istruc.2019.02.010.



STUDIUL PREDISPOZIȚIEI LA MECANISMUL PLASTIC DE ETAJ PRIN DISTRIBUȚIA DEPLASĂRILOR RELATIVE DE NIVEL

Autori

George-Andrei HODIȘAN¹, George-Mihai MENȚEA²

¹Facultatea de Construcții, Cadastru și Arhitectură, Universitatea din Oradea, e-mail: george.hodisan95@gmail.com

²Facultatea de Construcții, Cadastru și Arhitectură, Universitatea din Oradea, e-mail: georgementea11@gmail.com

Îndrumător

Dr. Ing. Anna ENE³

³Facultatea de Construcții, Cadastru și Arhitectură, Universitatea din Oradea, e-mail: ene.anna@outlook.com

REZUMAT: România, fiind caracterizată printr-un grad ridicat de hazard seismic, impune o abordare riguroasă a proiectării structurale pentru a asigura un comportament global ductil și o disipare optimă a energiei induse de cutremur. În proiectarea seismică curentă, un deziderat fundamental îl constituie prevenirea mecanismului plastic de etaj. Acest fenomen indezirabil se manifestă prin concentrarea deformațiilor plastice și a degradărilor la un singur nivel al clădirii, de regulă ca urmare a unei variații semnificative a rigidității laterale, conducând rapid la pierderea stabilității și la colapsul structural. În acest context, prezenta lucrare investighează influența variațiilor de rigiditate laterală în elevație asupra răspunsului seismic al unei structuri multietajate din oțel, prin prisma prevederilor normative referitoare la regularitatea pe verticală. Structura a fost analizată printr-un calcul modal cu spectre de răspuns prin intermediul programului SAP2000. Răspunsul structurii a fost cuantificat prin monitorizarea modurilor proprii de vibrație, a perioadelor fundamentale și a deplasărilor relative de nivel, pentru evaluarea cerințelor de deformabilitate și pentru identificarea zonelor de vulnerabilitate pe înălțimea clădirii. Concluziile studiului evidențiază relația dintre variația rigidității laterale aferente nivelurilor adiacente și riscul dezvoltării unor zone sensibile, subliniind importanța unei distribuții uniforme a rigidității în elevație pentru atenuarea riscului de formare a mecanismului plastic de etaj.

Cuvinte cheie: acțiune seismică, structuri metalice, mecanism plastic, rigiditate laterală, deplasări relative de nivel

1. Introducere

Teritoriul României este caracterizat printr-un hazard seismic ridicat, determinat în principal de sursa subcrustală Vrancea, ceea ce impune o abordare riguroasă în procesul de proiectare structurală. Conform prevederilor CR 0-2012 [1] și P100-1/2013 [2], evaluarea acțiunii seismice trebuie realizată astfel încât să asigure nu doar rezistența construcțiilor, ci și o capacitate adecvată de deformare. În acest sens, ductilitatea globală devine esențială, deoarece permite disiparea energiei seismice fără apariția unor mecanisme de cedare fragile. Structurile metalice în cadre necontravântuite reprezintă o soluție practică și frecvent utilizată în zonele seismice. Totuși, în absența unor sisteme suplimentare de rigidizare, cum sunt contravântuirile, aceste structuri prezintă o flexibilitate laterală relativ mare. Din acest motiv, ele pot deveni sensibile la anumite fenomene de instabilitate, dintre care cel mai critic este



mecanismul plastic de etaj. Acest mecanism se caracterizează prin formarea simultană a articulațiilor plastice la capetele stâlpilor unui singur nivel. În aceste condiții, etajul respectiv se comportă ca un mecanism cinematic, iar concentrarea deformațiilor plastice și a deplasărilor relative conduc la un colaps progresiv. Pentru structurile metalice, această situație este amplificată de efectele de ordinul II, care pot conduce rapid la reducerea rigidității și la pierderea stabilității globale.

Pentru a evita formarea unui astfel de mecanism, se urmărește distribuția cât mai uniformă a eforturilor și deformațiilor în elementele structurii, precum și ierarhizarea rezistenței pentru a evita formarea articulațiilor plastice în stâlpi. În acest scop se aplică principiile proiectării la capacitate, concept introdus de Thomas Paulay și Nigel Priestley [3], inițial pentru structurile din beton armat. Însă ideea de bază ”stâlp puternic - grindă slabă” este aplicabilă tuturor construcțiilor, pentru disiparea controlată a energiei prin formarea articulațiilor plastice în grinzi, reducând riscul cedării premature a stâlpilor.

Influența iregularităților pe verticală asupra răspunsului seismic a fost analizată în numeroase studii. Lucrarea lui Fragiadakis et al. (2006) [4] evidențiază, pe baza unor analize dinamice (IDA), faptul că variațiile de rigiditate și rezistență pe verticală pot modifica semnificativ distribuția cerințelor seismice. Autorii arată că reducerile bruște de rigiditate la anumite niveluri conduc la concentrarea deformațiilor și la creșteri locale ale deplasărilor relative de nivel, favorizând apariția mecanismelor de tip soft-storey. Rezultate similare sunt raportate recent [5], analizând comportarea structurilor metalice neregulate sub acțiuni seismice succesive (mainshock–aftershock). Studiul arată că zonele cu rigiditate redusă acumulează deformații plastice încă de la primul eveniment seismic, devenind ulterior puncte critice în cazul replicilor. Un alt studiu [6] confirmă că variațiile de rigiditate conduc la o distribuție neuniformă a deformațiilor. Etajele cu rigiditate redusă tind să concentreze drifturile și să dezvolte mecanisme de cedare locală.

În concordanță cu cele prezentate, codul de proiectare seismică P100-1/2013 [2], aliniat la EN 1998-1 [7], impune criterii de regularitate în elevație. O condiție importantă este limitarea variației rigidității laterale între etaje consecutive, astfel încât rigiditatea unui nivel să nu fie mai mare de 30% din rigiditatea nivelului superior sau inferior. Respectarea acestei cerințe conduce la un răspuns structural mai uniform și reduce riscul concentrării deformațiilor într-un singur nivel.

Pornind de la aceste aspecte, lucrarea de față își propune să analizeze influența depășirii criteriului de regularitate pe verticală asupra comportării seismice a unei structuri metalice cu cadre necontravântuite, precum și influența unor elemente considerate nestructurale – panourile de umplutură din zidărie, dar care interacționează puternic cu cadrul.

2. Studiu de caz

2.1 Configurațiile studiate

În această lucrare se urmărește răspunsul seismic și predispoziția la mecanismul plastic de etaj, pentru 9 structuri metalice din cadre necontravântuite cu regim de înălțime P+3, amplasate în municipiul București, zonă cunoscută pentru hazardul seismic ridicat.

Tabelul 1. Nomenclatorul modelelor de calcul investigate

Nr. d/o	ID	Descriere model
1	Str_REF	Model structura de referință - $H_{\text{nivel}} = 3,50$ m (const.)
2	130% H_{parter}	Model structură cu $H_{\text{parter}} = 4,55$ m
3	130% $H_{\text{parter}} + \text{ZID}$	Model structură cu $H_{\text{parter}} = 4,55$ m + panouri din zidărie
4	150% H_{parter}	Model structură cu $H_{\text{parter}} = 5,25$ m
5	150% $H_{\text{parter}} + \text{ZID}$	Model structură cu $H_{\text{parter}} = 5,25$ m + panouri din zidărie
6	130% H_{etaj1}	Model structură cu $H_{\text{etaj1}} = 4,55$ m
7	130% $H_{\text{etaj1}} + \text{ZID}$	Model structură cu $H_{\text{etaj1}} = 4,55$ m + panouri din zidărie
8	150% H_{etaj1}	Model structură cu $H_{\text{etaj1}} = 5,25$ m
9	150% $H_{\text{etaj1}} + \text{ZID}$	Model structură cu $H_{\text{etaj1}} = 5,25$ m + panouri din zidărie

Nomenclatorul celor 9 modele de calcul e prezentat în Tabelul 1. Configurația geometrică a structurii de referință este prezentată în Figura 10, și reprezintă o clădire rectangulară în plan, cu înălțimile de nivel constante pe toată înălțimea clădirii. În ce privește soluția structurală, stâlpii sunt realizați din profile laminate HE450B, grinzile cu îmbinări rigide - din profile IPE400 la primele două nivele și IPE360 la nivelele 3 și 4, iar grinzile articulate -din profile IPE220. Stâlpii sunt confecționați din oțel S355 și grinzile din oțel S235.

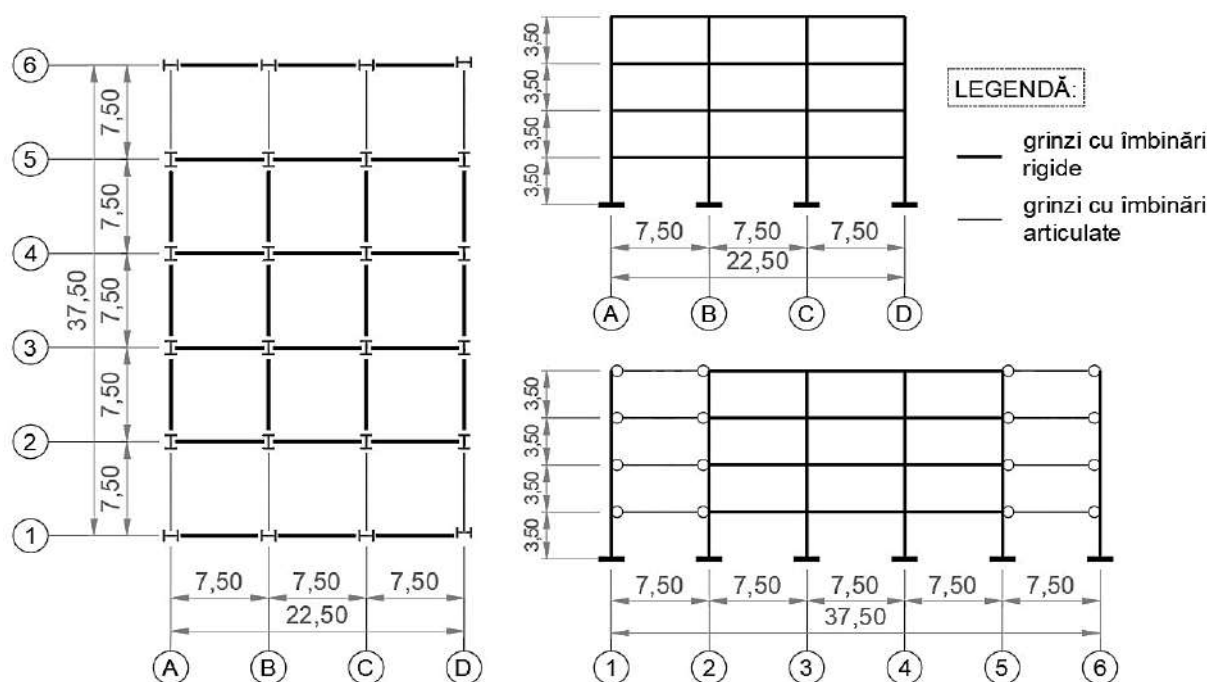


Figura 10. Configurația structurii de referință (Str_REF)



Alegerea următoarelor 8 modele de calcul se justifică prin interesul de a evalua sensibilitatea structurii la variația de rigiditate în elevație, prin reproducerea unor situații frecvent întâlnite în practica inginerescă, cum ar fi parterele înalte cu suprafețe vitrate extinse pentru spații comerciale, precum și efectul panourilor de umplură din zidărie, (care, fiind considerate elemente nestructurale, adesea nu sunt luate în considerare în calculul structural) prin aprecierea aportului acestora asupra rigidității laterale a structurii. Astfel în modelele 2-5 se introduc modificări ale rigidității laterale la nivelul parterului prin mărirea înălțimii cu 30% și cu 50%, dar și prin introducerea efectelor induse de panourile de zidărie. În modelele 6-9 același set de modificări sunt reproduse la nivelul etajului 1. Prin această abordare se urmărește evidențierea modului în care variațiile de rigiditate influențează distribuția deformațiilor.

2.2 Criterii de proiectare

Clădirile analizate au destinația - clădire de birouri, și sunt încadrate în clasa de importanță și expunere III ($\gamma_{I,e} = 1,0$), conform prevederilor tabelului 4.1 din codul P100 1/2013 [2], corespunzătoare construcțiilor obișnuite, fără funcțiuni critice, dar pentru care se impune asigurarea unui nivel adecvat de siguranță structurală. Structura de referință a fost proiectată la clasa de ductilitate DCM, cu o valoare a factorului de comportare $q = 4$. Încărcările gravitaționale din Tabelul 2 au fost definite conform normativelor CR 0-2012 [1] respectiv CR 1-1-3/2012 [8]. Cele două componente orizontale ale acțiunii seismice au fost luate în calcul printr-un spectru de proiectare bazat pe parametrii seismici ai amplasamentului, definiți prin accelerația de vârf a terenului $a_g = 0,30g$ (pentru un interval mediu de recurență de 225 ani). De asemenea, perioadele de control ale spectrului de răspuns pentru amplasamentul studiat ($T_B = 0,32s$, $T_C = 1,6s$ și $T_D = 2,0s$) caracterizează forma spectrului elastic și influențează în mod direct răspunsul seismic al structurii.

Tabelul 2. Acțiuni asupra structurilor

Încărcări	Notatie	Valoare	U.M.
Permanente	GP (greutate proprie)	determinată automat în programul de calcul	kN/m ²
	PCF (nivele curente)	4,00	
	PCF (acoperiș)	5,00	
Variabile	Q_k (utilă - nivele curente)	3,00	
	Z_k (zăpadă - acoperiș)	1,60	

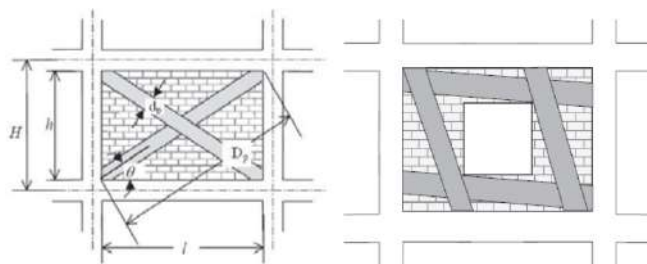
Componentele orizontale ale mișcării seismice au fost combinate în baza prevederilor din secțiunea 4.5.3.6.1 din P100-1/2013, iar gruparea acțiunilor pentru situația de proiectare seismică a fost adoptată conform relației 6.11 din codul CR 0-2012 [1]:

$$E_d = \sum_{j=1}^n G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i=2}^m \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

unde valorile lui $\psi_2 = 0,3$ pentru Q_k și $0,4$ pentru Z_k conform Tabel 7.1 din CR 0-2012 [1].

2.3 Ipoteze de modelare

Analiza a fost realizată pe modele spațiale, utilizând programul SAP2000, printr-un calcul liniar elastic cu spectre de răspuns. La modelare s-a ținut cont de prevederile P100-1/2013 referitoare la cerința ca suma maselor modale efective ale modurilor considerate să depășească 90% din masa totală a structurii. Sistemul de preluare a încărcărilor orizontale e compus din cadre necontravântuite cu noduri rigide dispuse perimetral, atât pe direcție transversală (în axele A-D), cât și pe cea longitudinală (în axele 2-5).



(a) Panou plin (b) Panou cu gol de fereastră
Zidărie înrămată în cadre. Sisteme de diagonale comprimate

Figura 11. Introducerea în calcul a pereților din zidărie înrămată conf. P100-1/2013 [2]



Figura 12. Modelarea panourilor de zidărie în modelele investigate, pe exemplul structurii 150%H_{partier}+ZID

Efectul panourilor de umplutură din zidărie (cărămidă cu goluri verticale) a fost introdus în calcul cu respectarea prevederilor din secțiunea 10.5.3.1.1 (6) din P100-1/2013, prin modelarea unor diagonale echivalente pe perimetrul structurii, care țin cont de rigiditatea panourilor prin modulul de elasticitate $E = 2000 \text{ N/mm}^2$ pentru fiecare deschidere. Grosimea acestor diagonale este echivalentă cu grosimea panoului de zidărie, iar modulul de elasticitate a fost estimat pe baza prevederilor din §4.1.2.2.1 (3) din normativul CR 6 – 2013 [9], pentru zidărie fără rosturi longitudinale, executată din blocuri ceramice din grupa 2 și mortar M5. În fiecare model cu zidărie, panourile au fost modelate doar la nivelurile la care înălțimea a rămas neschimbată, astfel reproducând situațiile reale în care se optează pentru un nivel mai înalt, destinat spațiilor comerciale sau zonelor de recreere, la care anvelopa constă doar din suprafețe vitrate. Efectul rezultat din astfel de soluții este unul care amplifică predispoziția la mecanismul de etaj, determinând concentrarea deformațiilor și a cerințelor de ductilitate la nivelul flexibil.

3. Analiza rezultatelor calculului cu spectre de răspuns



Modul 1 – translație Y

Modul 2 – translație X

Modul 3 – torsiune Z

Figura 13. Deformatele structurii de referință Struct_REF în primele 3 moduri proprii

Respectând cerința din §4.5.3.3 din P100-1/2013, în calculul seismic au fost luate în calcul 6 moduri proprii de vibrație, suma maselor modale efective ale cărora depășesc 90% din masa totală a structurii. Primele două moduri de vibrație sunt dominate de translații pe direcțiile principale, iar al treilea introduce contribuția componentei de torsiune. Deformatele aferente primelor 3 moduri de vibrație pentru structura de referință sunt prezentate ilustrativ în Figura 13.

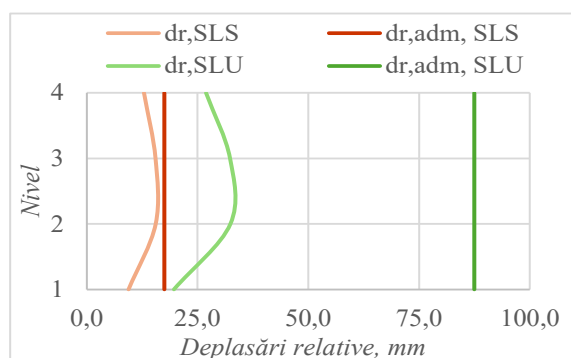


Figura 14. Verificarea deplasărilor relative pentru Struct_REF

Tabelul 3. Perioadele proprii pe direcțiile principale, și deplasările absolute ale modelelor studiate

	T_{1X}	$d_{abs,X}$	T_{1Y}	$d_{abs,Y}$
	(s)	(mm)	(s)	(mm)
Str_REF	1,360	28,7	1,370	26,7
130% H_{parter}	1,528	31,5	1,512	29,1
130% H_{parter} + ZID	0,966	17,9	0,849	15,5
150% H_{parter}	1,659	33,7	1,619	31,1
150% H_{parter} + ZID	1,132	20,3	0,977	17,4
130% H_{etaj1}	1,552	31,6	1,537	29,1
130% H_{etaj1} + ZID	0,974	18,3	0,892	16,4
150% H_{etaj1}	1,693	33,8	1,657	31,0
150% H_{etaj1} + ZID	1,123	20,6	1,011	18,2

Este important de menționat că în acest studiu se analizează primordial criteriul pentru caracterizarea construcțiilor ca regulate, stipulat în alin. (2) secțiunea 4.4.3.3. a codului de proiectare seismică P100-1/2013 [2]. Această condiție precizează că structura nu prezintă, la nici un nivel, reduceri de rigiditate laterală mai mari de 30% din rigiditatea nivelului adiacent. Prin analiza efectuată am investigat influența unor reduceri de rigiditate de 30% și de 50% asupra răspunsului structural. În Tabelul 3 se prezintă sintetic perioadele proprii din primele 2 moduri de vibrație, pe direcțiile principale X și Y, precum și deplasările absolute, pentru identificarea impactului acestor reduceri de rigiditate la un singur nivel asupra răspunsului de vârf al structurii și a flexibilității de ansamblu.

Conform acestui tabel, se poate observa un impact cu peste 1,5% mai mare asupra perioadei fundamentale (1.552s față de 1.528s) la reducere similară a rigidității la etajul 1 decât la parter. Concomitent, creșterea deplasărilor absolute la vârful structurii este proporțională cu reducerea rigidității laterale și nu depinde semnificativ de nivelul la care se produce variația. Spre exemplu, deplasarea la vârf constituie 33,7 mm la creșterea înălțimii parterului cu 30%, și 33,8 mm la creșterea înălțimii etajului cu 30%, urmând același tipar la modelele 150% H_{parter} și 150% H_{etaj1} . Introducerea în calcul a aportului de rigiditate indus de panourile de umplură din zidărie reduce semnificativ perioada de vibrație cu 32 până la 37%. Panourile de zidărie au redus deplasările la vârf cu până la -37,7% față de structura de referință și cu până la -43% față de modelele fără zidărie. Indiferent de nivelul unde se modifică înălțimea sau rigiditatea, reducerea deformațiilor datorată panourilor de umplură rămâne relativ similară în toate cazurile analizate.

O observație deosebit de interesantă rezultată din analiza modală este reprezentată de inversarea direcției modului fundamental de vibrație odată cu modificarea înălțimii de nivel. Pentru toate modelele analizate, direcția de oscilație în modul 1 se schimbă în raport cu structura de referință, fenomen explicat prin redistribuirea rigidității între elementele verticale. În Str_REF, anterior oricăror intervenții, contribuția stâlpilor marginali de pe axele 1 și 6 este determinantă, conferind o rigiditate superioară pe direcția transversală (X). În schimb, odată cu reducerea rigidității prin creșterea înălțimii de nivel, devine predominantă influența cadrelor intermediare cu îmbinări rigide. Datorită paralelismului inimii stâlpilor cu direcția longitudinală (Y) a mișcării seismice, structura manifestă o creștere accentuată a flexibilității pe direcție transversală (X). Acest fapt conduce la schimbarea direcției modului fundamental

către axa X, ca efect al redistribuirii rigidității laterale și al modificării raportului de rigiditate între cele două direcții principale.

În timp ce Tabelul 3 confirmă modificările globale de rigiditate, analiza deplasărilor relative de nivel (drift-uri) prezentată în continuare localizează exact vulnerabilitățile structurale în funcție de configurația modelului investigat. O primă etapă a evaluării a constat în verificarea structurii la Starea Limită Ultimă (SLU), unde s-a constatat că toate modelele de calcul satisfac criteriile privind deplasările relative maxime de etaj. Totuși, așa cum este ilustrat în Figura 14, limitările deplasărilor laterale impuse de starea de serviciu sunt considerabil mai stricte decât cele de la SLU. Având în vedere că cerințele SLS devin astfel criteriul determinant pentru conformarea structurală a cadrelor metalice analizate, în cele ce urmează vor fi prezentate și discutate doar rezultatele relevante pentru starea limită de serviciu.

Verificările la SLS sintetizate în Tabelul 4 confirmă încadrarea tuturor modelelor în limitele normative admise, însă evidențiază o reducere drastică a rezervelor de deformabilitate în dreptul etajelor cu o rigiditate redusă. Dacă pentru structura de referință valorile driftului la etajul 1 sunt superioare celor de la parter, cu reducerea rigidității parterului acesta concentrează și deformațiile laterale.

Tabelul 4. Verificarea deplasărilor relative de nivel la SLS pentru 3 modele

Direcție calcul	Nivel	h_{nivel} (m)	$d_{r,SLS}$ (mm)			$d_{r,adm}$ SLS (mm)
			Str REF	130% H_{parter}	150% H_{parter}	
X	4	3,5	12,2	11,1	10,3	17,5
	3	3,5	16,0	14,9	14,1	17,5
	2	3,5	17,3	17,5	17,4	17,5
	1	3.5 / 4.55 / 5.25	11,9	19,6	25,7	17.5 / 22.75 / 26.25
Y	4	3,5	12,9	12,1	11,6	17,5
	3	3,5	15,5	14,9	14,5	17,5
	2	3,5	15,6	16,1	16,4	17,5
	1	3.5 / 4.55 / 5.25	9,4	15,1	19,6	17.5 / 22.75 / 26.25

Introducerea panourilor de zidărie acționează ca un factor determinant, reușind să diminueze deplasările relative de nivel pe nivelurile aferente cu aproximativ 78-80% față de cazurile ne-rigidizate. Această distribuție neuniformă a deformațiilor pe înălțime confirmă tendința de formare a mecanismului de „etaj slab” (soft-storey) în absența panourilor de umplutură, în special la nivelurile superioare parterului.

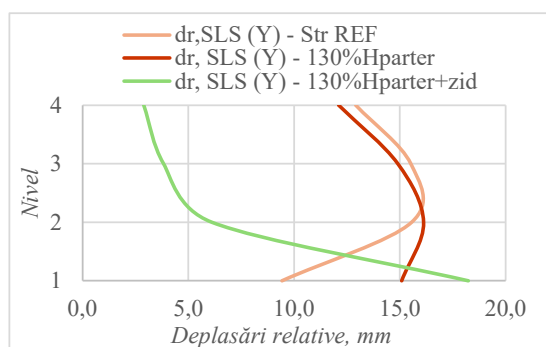


Figura 15. Influența modificărilor de rigiditate la nivelul parterului față de structura de referință, și a panourilor de zidărie

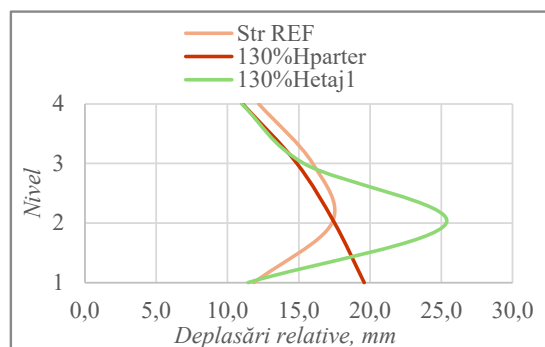


Figura 16. Variația deplasărilor la SLS la modificarea rigidității laterale la parter și la etajul 1



În Figura 15 sunt analizate comparativ drifturile la SLS pentru structurile cu înălțimea parterului mai mare cu 30% față de structura de referință. Previzibil, modelul $130\%H_{\text{parter}}$ înregistrează valori mai mari la nivelul flexibilizat. O concentrare semnificativă a rigidității structurii la nivelurile prevăzute cu panouri de zidărie la modelul $130\%H_{\text{parter}} + \text{zid}$, însoțită de creșterea considerabilă a deformațiilor la parter poate fi remarcată clar în diagramă. Această observație este deosebit de importantă pentru evaluarea impactului panourilor de umplură asupra predispoziției la mecanismul plastic de etaj. Ea accentuează faptul că, dacă în practica de proiectare se ignoră efectul zidăriei asupra rigidității laterale, există riscul major de a subestima sensibilitatea reală a etajului slab.

Așa cum reiese din Figura 16, o susceptibilitate sporită de producere a mecanismului plastic de etaj se înregistrează specific la nivelul etajului 1. Deși amplificarea deplasărilor relative de nivel se produce într-o manieră relativ constantă pentru aceleași procente de neregularitate, fiind favorizată de forma modului propriu de vibrație și de încastrarea stâlpilor de la parter care le oferă o rigiditate suplimentară la bază, creșterea deplasării relative la etajul 1 datorată reducerii de rigiditate sporește considerabil riscul declanșării mecanismului plastic de etaj.

După cum s-a menționat anterior, din perspectivă normativă, codul P100-1/2013 condiționează regularitatea pe verticală de limitarea reducerii rigidității laterale la maximum 30% față de nivelurile adiacente. O particularitate interesantă obținută în urma analizei este faptul că, deși reducerile de rigiditate introduse (creșteri ale înălțimii de 30% și 50%) depășesc această limită, totuși acestea nu reprezintă un impediment pentru conformarea seismică a structurilor. Pentru toate modelele investigate zveltețea stâlpilor a fost verificată.

4. Concluzii

Studiul prezentat în această lucrare evidențiază influența decisivă a variațiilor de rigiditate laterală în elevație asupra distribuției deplasărilor relative de nivel și asupra predispoziției la mecanismul plastic de etaj. Creșterea înălțimii unui nivel (30–50%) determină reducerea semnificativă a rigidității locale și concentrarea drifturilor la nivelul respectiv, cu o vulnerabilitate mai pronunțată la etajul 1 decât la parter, datorită condițiilor de rezemare și formei modului fundamental de vibrație.

Panourile de umplură din zidărie au un rol determinant în reducerea răspunsului seismic, diminuând perioadele de vibrație și deplasările relative de nivel cu până la 80%. Totuși, introducerea lor generează o distribuție neuniformă a rigidității pe verticală, ceea ce poate crește riscul de concentrare a deformațiilor în zonele fără zidărie, în special în cazul parterelor înalte sau al etajelor cu suprafețe vitrate extinse.

Deși modelele analizate respectă cerințele la SLU, se constată o reducere a rezervelor de deformabilitate în raport cu deplasările admisibile la SLS în dreptul nivelelor cu rigiditate redusă, evidențiind sensibilitatea locală a sistemului structural. În ansamblu, rezultatele confirmă că distribuția uniformă a rigidității pe înălțime și considerarea efectului panourilor de umplură sunt esențiale pentru prevenirea mecanismului plastic de etaj și pentru asigurarea unui răspuns seismic favorabil.

BIBLIOGRAFIE

1. CR 0-2012. Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor, București: MDRT, 2012.



2. P100-1/2013 - Cod de proiectare seismică – Partea I. Prevederi de proiectare pentru clădiri, București: Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, 2013.
3. N. M. P. Thomas Paulay, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, New York: John Wiley & Sons, 1992.
4. M. Fragiadakis, D. Vamvatsikos și Papadrakakis, M., „Evaluation of the influence of vertical irregularities on the seismic performance of a nine-storey steel frame,” Earthquake Engineering & Structural Dynamics, vol. 1, nr. 35(12), pp. 1489-1509, 2006.
5. A. Javed și P. Samyak, „Seismic Performance of Vertical Irregular Steel Frame Structure under Mainshock-Aftershock,” International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, vol. 11(5), p. 4666–4688, 2023.
6. N. Gore și I. F. M. Khan, „Impact of Stiffness Irregularity on the Seismic Response of Multi-Storey Vertical Irregular Structures,” International Journal of Innovative Research in Technology, vol. 12/2025.
7. E. C. f. Standardization, EN 1998-1:2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels: CEN, 2004.
8. CR 1-1-3/2012. Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor, MDRAP, 2012.
9. CR 6 - 2013. Cod de proiectare pentru structuri din zidărie, București: MDRAP, 2013.
10. P100-3/2019. Cod de proiectare seismică – Partea a III-a – Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, București: MDRAP, 2019.



ADAPTAREA SISTEMELOR DE MANAGEMENT BANCAR LA PROVOCĂRILE GEOPOLITIC

Autori

Florentin-Gabriel FLOREA¹, Adela IONIȚĂ², Sandra-Elena MARINESCU³

¹Facultatea de Științe Economice, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, e-mail: florentin.florea@upg-ploiesti.ro

²Facultatea de Științe Economice, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, e-mail: adela.adelaflowa@gmail.com

³Facultatea de Științe Economice, Universitatea Valahia din Târgoviște, e-mail: elena.marinescu.ae@valahia.ro

Îndrumător

Lect.Dr.Ec. Marian-Cătălin VOICA⁴

⁴Facultatea de Științe Economice, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, e-mail: catalin.voica@upg-ploiesti.ro

REZUMAT: Sectorul bancar global operează într-un mediu din ce în ce mai complex, influențat de tensiuni geopolitice, instabilitate economică și schimbări de reglementare. În acest context, sistemele de management bancar trebuie să se adapteze la riscurile și provocările emergente generate de evoluțiile geopolitice. Această lucrare analizează modul în care instituțiile bancare își ajustează strategiile de management pentru a răspunde eficient presiunilor geopolitice și incertitudinii financiare. Folosind o perspectivă comparativă, studiul examinează principalele abordări de management adoptate de sistemele bancare în diferite medii economice. Cercetarea evidențiază rolul managementului riscului, al luării deciziilor strategice și al rezilienței instituționale în menținerea stabilității financiare. Constatările subliniază importanța practicilor de management adaptiv în consolidarea capacității instituțiilor bancare de a naviga prin incertitudinea geopolitică.

Cuvinte cheie: management bancar, provocări geopolitice, stabilitate financiară, managementul riscului, sisteme bancare.

1. Introducere

În ultimul deceniu, intensificarea riscurilor geopolitice a determinat transformări semnificative în modul de funcționare al sistemelor bancare europene, influențând procesele decizionale strategice, structura capitalului și mecanismele de gestionare a riscurilor. Evenimente precum conflictele regionale, tensiunile comerciale globale, volatilitatea piețelor energetice și reconfigurarea lanțurilor internaționale de aprovizionare au determinat creșterea nivelului de incertitudine macroeconomică și financiară, afectând stabilitatea sectorului bancar și capacitatea instituțiilor de credit de a menține performanța financiară sustenabilă [4].

În acest context, sistemele de management bancar sunt supuse unor presiuni crescute privind adaptarea rapidă la schimbările mediului extern, fiind necesară integrarea riscurilor geopolitice în strategiile de capital, politicile de creditare și procesele de guvernare corporativă. Studiile recente evidențiază faptul că riscurile geopolitice influențează direct stabilitatea instituțiilor financiare prin impactul asupra lichidității, calității activelor și costurilor de finanțare, determinând creșterea riscului sistemic la nivelul sectorului bancar european [6].

În același timp, rolul leadershipului strategic și al guvernării corporative devine esențial în procesul de adaptare instituțională la incertitudinea geopolitică. Cercetările recente



arată că structura decizională a conducerii executive și capacitatea consiliilor de administrație de a gestiona riscurile externe contribuie semnificativ la reducerea vulnerabilităților bancare și la consolidarea stabilității financiare [8].

În acest cadru, lucrarea își propune analizarea modului în care sistemele de management bancar se adaptează la provocările geopolitice contemporane, printr-o abordare comparativă aplicată sectorului bancar european, cu accent asupra studiului de caz al Băncii Transilvania. Analiza urmărește identificarea mecanismelor instituționale de adaptare strategică și evaluarea impactului acestora asupra rezilienței organizaționale și performanței financiare într-un mediu caracterizat de volatilitate și incertitudine ridicată.

2. Literatură de specialitate

Literatura recentă evidențiază faptul că riscurile geopolitice reprezintă unul dintre cei mai importanți factori care influențează stabilitatea sistemelor bancare contemporane, afectând simultan performanța financiară, structura capitalului și nivelul riscului sistemic. Studiile empirice realizate asupra băncilor europene demonstrează că expunerea la riscuri geopolitice externe contribuie la creșterea vulnerabilităților sistemice, în special în cazul instituțiilor financiare cu activitate internațională extinsă [8].

În același timp, cercetările recente arată că episoadele de instabilitate geopolitică pot afecta solvabilitatea bancară prin reducerea ratelor de capital și prin deteriorarea indicatorilor de stabilitate financiară, în special în perioade caracterizate de volatilitate macroeconomică ridicată (Caldara & Iacoviello framework, aplicat în analize recente ale riscului geopolitic bancar, 2025).

Un alt domeniu important al literaturii de specialitate îl reprezintă rolul guvernancei corporative în reducerea impactului riscurilor geopolitice asupra performanței instituțiilor bancare. Studiile recente evidențiază faptul că structurile decizionale eficiente, caracterizate prin leadership strategic consolidat și consilii de administrație puternice, contribuie la diminuarea efectelor negative ale incertitudinii economice și geopolitice asupra stabilității bancare [8].

De asemenea, literatura instituțională europeană subliniază faptul că integrarea riscurilor geopolitice în procesele de planificare strategică și în mecanismele de supraveghere macroprudențială reprezintă o direcție esențială pentru consolidarea rezilienței sectorului bancar. Testele de stres realizate la nivelul Uniunii Europene indică faptul că șocurile geopolitice pot conduce la deteriorarea indicatorilor de capital, în special în cazul băncilor mai puțin diversificate din punct de vedere operațional [6].

În plus, rapoartele recente ale Autorității Bancare Europene evidențiază faptul că sectorul bancar european continuă să funcționeze într-un mediu caracterizat de incertitudine geopolitică ridicată, ceea ce determină creșterea riscurilor operaționale, de credit și de piață, precum și necesitatea adaptării continue a strategiilor de management bancar la noile condiții economice și tehnologice [4].



3. Întrebarea cercetării și metodologia cercetării

În contextul intensificării riscurilor geopolitice și al transformărilor structurale ale mediului financiar european, capacitatea instituțiilor bancare de a integra incertitudinea externă în procesele decizionale strategice reprezintă un factor determinant al stabilității organizaționale și al performanței financiare. În acest cadru, lucrarea își propune investigarea modului în care sistemele de management bancar se adaptează la provocările generate de mediul geopolitic contemporan, printr-o abordare comparativă aplicată sectorului bancar regional.

Întrebarea centrală a cercetării este formulată astfel: în ce măsură adaptarea sistemelor de management bancar la riscurile geopolitice influențează reziliența organizațională și performanța financiară a instituțiilor de credit, reflectată prin indicatori specifici sectorului bancar, în cazul Băncii Transilvania?

Pentru a răspunde acestei întrebări, cercetarea utilizează o metodologie mixtă, bazată pe analiza calitativă și cantitativă, structurată sub forma unui studiu de caz aplicat asupra Băncii Transilvania, considerată una dintre cele mai relevante instituții de credit din sistemul bancar românesc. Alegerea studiului de caz este justificată de poziția strategică a băncii în cadrul sectorului financiar național și de capacitatea acesteia de adaptare la schimbările mediului macroeconomic și geopolitic din ultimii ani.

Analiza empirică se bazează pe evaluarea unor indicatori financiari reprezentativi pentru performanța instituțiilor bancare, precum rentabilitatea capitalurilor proprii (ROE), rata adevărării capitalului (CAR), rata creditelor neperformante (NPL) și evoluția valorii de piață a acțiunii. Acești indicatori permit evaluarea capacității instituției de credit de a menține stabilitatea financiară și de a genera valoare pentru investitori într-un context caracterizat de volatilitate geopolitică și economică.

Datele utilizate în analiză provin din rapoarte financiare publice ale Băncii Transilvania, rapoarte ale autorităților de supraveghere europene și naționale, precum și din surse statistice ale pieței de capital. Interpretarea acestora este realizată printr-o abordare comparativă și longitudinală, având ca obiectiv evidențierea relației dintre adaptarea strategică a managementului bancar și evoluția indicatorilor de performanță financiară.

4. Studiu de caz: Banca Transilvania

4.1 Context strategic

Banca Transilvania reprezintă una dintre cele mai importante instituții financiare din sistemul bancar românesc, consolidându-și poziția strategică în ultimul deceniu printr-un model de dezvoltare bazat pe extindere organică, integrarea unor instituții financiare relevante și accelerarea proceselor de digitalizare. Integrarea Volksbank România și Bancpost, precum și consolidarea poziției pe segmentul IMM-urilor și al serviciilor retail, au contribuit semnificativ la creșterea cotei de piață și la diversificarea portofoliului operațional al băncii.

În același timp, strategia instituțională a Băncii Transilvania s-a orientat către dezvoltarea unor mecanisme eficiente de guvernare corporativă și optimizarea structurii capitalului, în concordanță cu cerințele cadrului de reglementare european. Adaptarea

modelului operațional la cerințele mediului financiar contemporan a inclus investiții consistente în digitalizarea serviciilor bancare, creșterea accesibilității produselor financiare și consolidarea relației cu mediul antreprenorial local, contribuind la creșterea rezilienței organizaționale.

4.2 Adaptarea la riscuri geopolitice

În contextul intensificării riscurilor geopolitice generate de pandemia COVID-19, conflictul din proximitatea granițelor Uniunii Europene și volatilitatea piețelor energetice și financiare, Banca Transilvania a implementat măsuri strategice orientate către consolidarea stabilității financiare și menținerea capacității de finanțare a economiei reale.

Adaptarea la mediul geopolitic instabil s-a realizat prin menținerea unor niveluri adecvate ale indicatorilor de capitalizare și lichiditate, prin gestionarea prudentă a riscului de credit și prin consolidarea portofoliului de finanțare destinat sectorului IMM. În același timp, instituția a accelerat procesele de digitalizare și optimizare operațională, contribuind la creșterea eficienței organizaționale și la reducerea vulnerabilităților generate de incertitudinea macroeconomică regională.

Prin aceste măsuri, Banca Transilvania a demonstrat capacitatea sistemului său de management de a integra riscurile geopolitice în procesele decizionale strategice și de a susține performanța financiară într-un context caracterizat de volatilitate ridicată.

4.3 Analiza indicatorilor de performanță

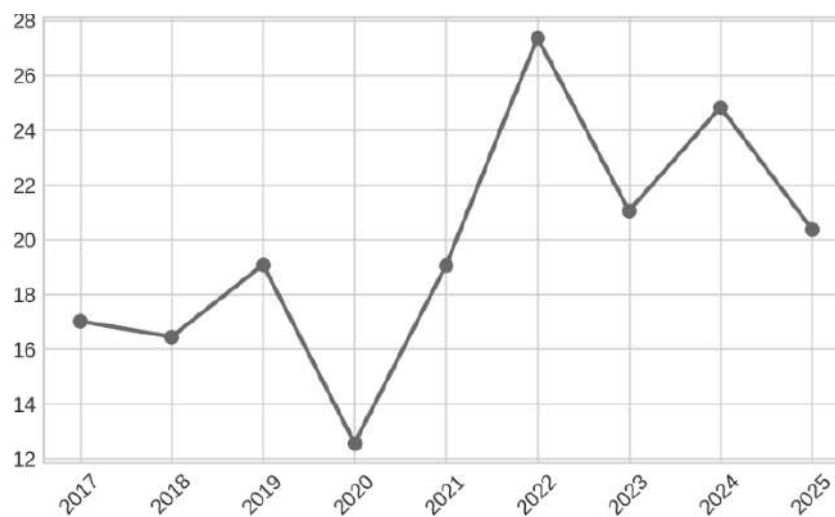


Figura 1. Rentabilitatea capitalurilor proprii (ROE) în perioada 2017-2025

În anul 2020, în timpul pandemiei de COVID-19, s-a înregistrat valoarea minimă a ROE, de 12,57% (vezi Figura 1), dar Banca Transilvania a reușit să își revină rapid în următorii doi ani, atingând 27,37% în anul 2022, indicând o capacitate excelentă a managementului de a genera profit din capitalul acționarilor.

În următorii ani s-au înregistrat fluctuații, dar valorile trec de pragul de 20%, astfel, maximizându-se eficient capitalul și menținându-se o profitabilitate superioară mediei sectorului bancar european.

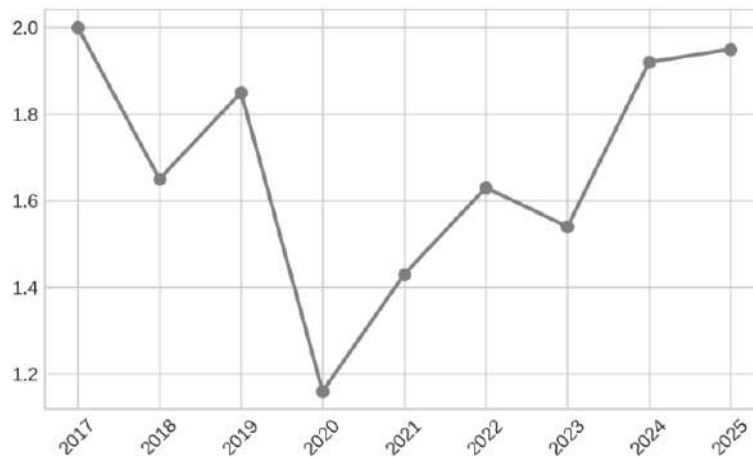


Figura 2. Rentabilitatea activelor (ROA) în perioada 2017-2025

Exceptând anul 2020, ROA a avut o tendință stabilă, între 1,4% și 2% (vezi Figura 2). Vârful din 2017 (2%) și valorile recente în creștere (1,92% în anul 2025 și 1,95% în anul 2025) arată o utilizare eficientă a activelor, chiar și în perioade de expansiune accelerată a bilanțului.

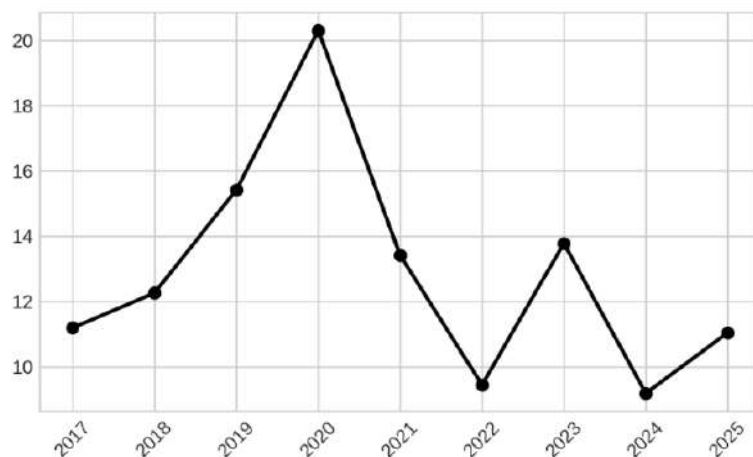


Figura 3. Ponderea numerarului în active în perioada 2017-2025

Tendința este una controlată, astfel creșterea puternică din anul 2020 (20,30%) reflectă o strategie prudentă în pandemie, banca apelând la consolidarea lichidității (vezi Figura 3). Astfel, după criză, banca reduce treptat numerarul, revenind la valori normale (9-10%).

Această evoluție reflectă în mod clar o gestionare a lichidității în mod strategic, adaptată rapid la șocurile externe.

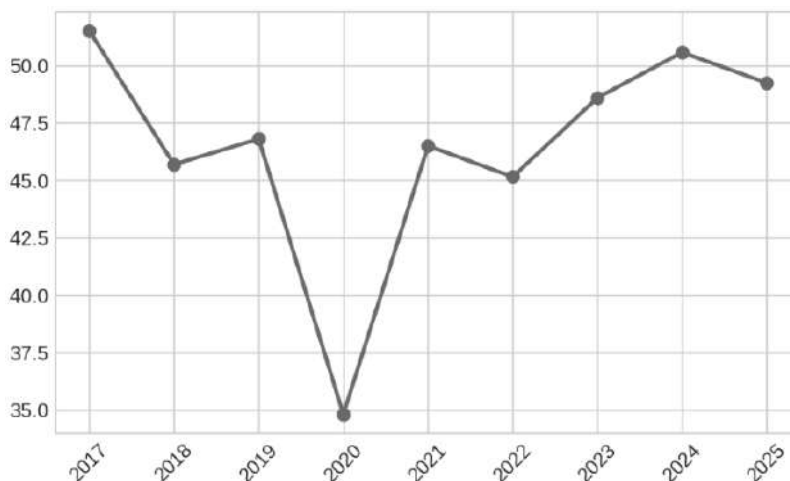


Figura 4. Marja operațională în perioada 2017-2025

Marja operațională se menține între 45% și 52% (vezi Figura 4), fapt care indică eficiența operațională puternică. Scăderea din 2020 (34,82%) este explicabilă prin contextul economic, dar recuperarea rapidă în 2021-2025 arată disciplină managerială.

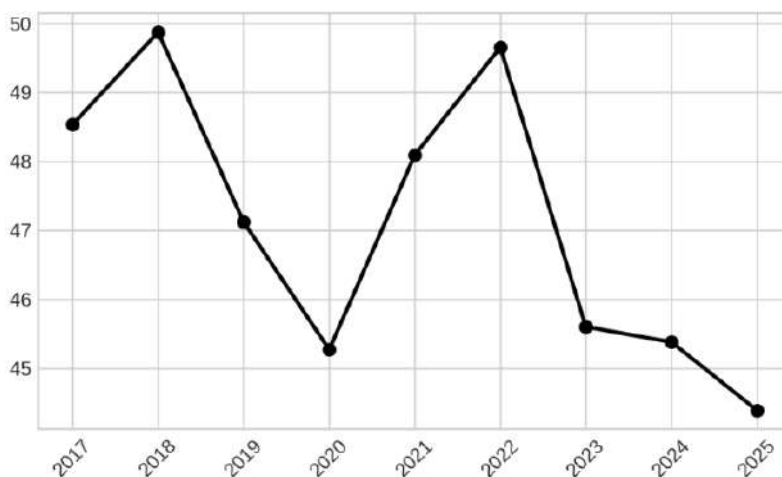


Figura 5. Cost-to-Income Ratio în perioada 2017-2025

Cost-to-Income Ratio rămâne între 44% și 49% (vezi Figura 5), ceea ce plasează Banca Transilvania în zona băncilor eficiente operațional. În contextul creșterii cheltuielilor cu personalul și a taxelor, BT a reușit să își diminueze cheltuielile operaționale în anul 2025 prin digitalizarea și automatizarea proceselor.

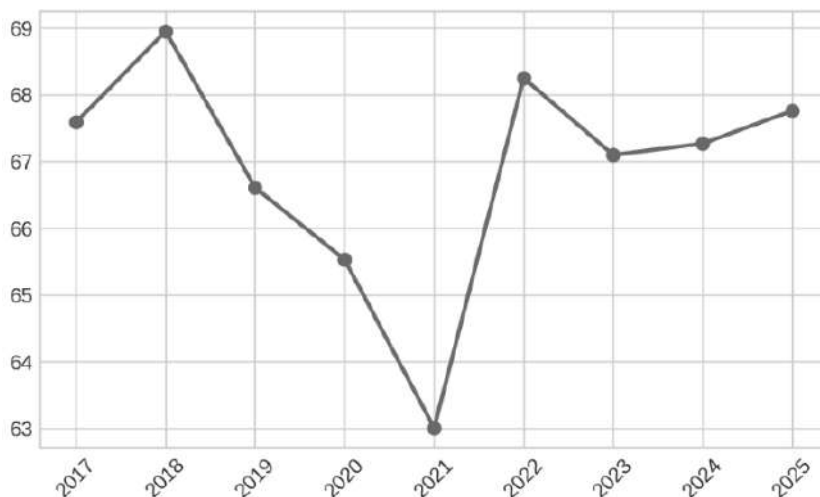


Figura 6. Ponderea veniturilor din dobânzi în perioada 2017-2025

Veniturile din dobânzi au înregistrat o evoluție cuprinsă între 63% și 69%. Timp de 4 ani au scăzut de la nivelul maxim la cel minim, fiind urmate în anul 2022 de o creștere uriașă de 5 procente. De atunci, valorile se mențin la pragul de 67%-68% (vezi Figura 6), arătând stabilitate și predictibilitate. Astfel, BT are un model de business solid, bazat pe creditare și intermediere financiară, față de dependență excesivă de venituri volatile.

5. Concluzii

Analiza adaptării sistemelor de management bancar la provocările geopolitice evidențiază faptul că instituțiile financiare contemporane sunt nevoite să integreze într-un mod sistematic incertitudinea externă în procesele decizionale strategice, pentru a menține stabilitatea operațională și performanța financiară într-un mediu caracterizat de volatilitate ridicată. Rezultatele cercetării arată că adaptarea structurilor de guvernare corporativă, consolidarea mecanismelor de management al riscurilor și accelerarea proceselor de digitalizare reprezintă factori esențiali în creșterea rezilienței instituțiilor bancare.

Studiul de caz aplicat asupra Băncii Transilvania evidențiază faptul că strategiile de management orientate către optimizarea structurii capitalului, menținerea indicatorilor de solvabilitate și consolidarea relațiilor cu sectorul antreprenorial au contribuit la menținerea stabilității financiare într-un context geopolitic complex. În același timp, integrarea riscurilor geopolitice în procesele de planificare strategică a permis adaptarea modelului operațional la noile condiții ale mediului financiar european.

În perspectivă comparativă, rezultatele cercetării confirmă faptul că flexibilitatea organizațională, capacitatea instituțională de anticipare a riscurilor externe și orientarea către inovare reprezintă elemente definitorii ale sistemelor moderne de management bancar. Astfel, adaptarea strategică la riscurile geopolitice devine o condiție esențială pentru susținerea performanței financiare și consolidarea stabilității sectorului bancar în context european.



BIBLIOGRAFIE

1. Banca Transilvania, *Annual Report 2023*. Banca Transilvania, Bucharest Stock Exchange (2023).
2. Banca Transilvania, *Annual Report 2024*. Banca Transilvania, Bucharest Stock Exchange (2024).
3. European Banking Authority, *Risk assessment of the European banking system*. EBA Publications (2024).
4. European Banking Authority, *EU banking sector risk dashboard and resilience assessment*. EBA Reports (2025).
5. European Central Bank, *Financial Stability Review*. European Central Bank Publications (2024).
6. Haselmann R., et al., *Geopolitical risk and financial stability: Implications for the European banking sector*. European Parliament, Economic Governance Support Unit (2025).
7. National Bank of Romania, *Financial Stability Report*. National Bank of Romania (2024).
8. Nguyen T., Nguyen H., Hoang L., *Corporate governance and bank stability: Evidence from European banking institutions*. Journal of Financial Stability, 64, 101097 (2023).
9. Zhang D., Hu M., Ji Q., *Geopolitical risks and banking sector performance: Evidence from European financial institutions*. Research in International Business and Finance, 72, 102462 (2025).



ANALIZĂ COMPARATIVĂ A CLĂDIRILOR ÎN CADRE DIN BETON ARMAT ȘI ZIDĂRIE CONFINATĂ

Autor

Ghițulescu Mihai-Valentin

Facultatea de Construcții, Universitatea Ovidius din Constanța, mihaighitulescu170@yahoo.com

Îndrumător

Ș.I.dr.ing. Sunai Gelmambet

Facultatea de Construcții, Universitatea Ovidius din Constanța, gelmambets@univ-ovidius.ro

REZUMAT: România se află într-o etapă accelerată de dezvoltare a zonelor periferice, precum și a localităților adiacente marilor centre urbane, fenomen care impune adoptarea unor soluții structurale ce țin cont atât de amplasament, cât și de destinația construcțiilor. În cazul clădirilor cu regim redus de înălțime sunt frecvent utilizate două sisteme structurale: sistemul în cadre spațiale din beton armat și cel din zidărie confinată. Ambele soluții de conformare prezintă avantaje și dezavantaje din punct de vedere al proiectării, precum și al execuției. Prezenta lucrare își propune să analizeze comportarea unei clădiri cu regim de înălțime P+2E, situată în București, având destinația de locuință unifamilială, atât prin adoptarea sistemului în cadre din beton armat, cât și prin utilizarea soluției structurale din zidărie confinată. Ambele sisteme vor fi modelate în programul de calcul SCIA Engineer 2022 Legacy pentru a extrage rezultatele cu privire la deplasările maxime de nod și tensiunile principale. În acest sens, se poate obține o imagine de ansamblu asupra comportării fiecărui model structural aferent clădirii analizate. În vederea realizării unei evaluări economice comparative a celor două modele structurale, la finalul lucrării va fi elaborat un deviz estimativ pentru fiecare variantă, incluzând totodată principalele operații tehnologice aferente procesului de execuție.

Cuvinte cheie: dezvoltare, comportarea, conformare, execuție, procesului.

1. Introducere

Clădirile de locuințe sunt concepute astfel încât sistemul structural să asigure preluarea, transmiterea și disiparea corectă a încărcărilor care acționează asupra construcției, atât în condiții de exploatare curentă, cât și în situații speciale, precum acțiunile seismice.

Alegerea soluției structurale are un rol esențial în obținerea unei comportări sigure și economice, iar dintre variantele utilizate pe scară largă se disting sistemele în cadre din beton armat și sistemele din zidărie portantă, apreciate pentru eficiența lor structurală și pentru tehnologiile de execuție relativ simple și bine cunoscute în practica construcțiilor.

Din punct de vedere conceptual, proiectarea cadrelor din beton armat se realizează pe baza prevederilor codului NP007/2025, care stabilește cerințele de calcul și detalieri pentru asigurarea unui comportament seismic adecvat. În mod complementar, proiectarea construcțiilor din zidărie portantă se bazează pe codul CR6/2013, normativ care definește principiile de dimensionare, verificare și alcătuire a elementelor structurale din zidărie, în acord cu cerințele de siguranță structurală. Prevederile aferente ambelor concepte structurale sunt reglementate prin codul de proiectare seismică P100-1/2013, explicit în Capitolele 5 și 8. De asemenea, acestea trebuie corelate cu dispozițiile normativelor anterioare, aplicându-se, acolo unde este cazul, cerințele cele mai restrictive.



Lucrarea analizează o clădire P+2E din București realizată în două scenarii: în cadre din beton armat și zidărie confinată, prin raportare atât la modelarea acestora în programul SCIA Engineer 2022 Legacy, cât și la nivelul normativelor în vigoare. Totodată, cu ajutorul modelărilor numerice sunt evidențiate deplasările maxime de nod și tensiunile principale.

2. Măsurile de implementare și conformare a sistemelor analizate conform normativelor P100-1/2013, CR6/2013 și NP007/2025

Pentru stabilirea principalelor măsuri de conformare ale celor două modele structurale sunt utilizate, în mod prioritar, prevederile normativelor CR6/2013 și NP007/2025, care completează cadrul general reglementat de P100-1/2013. Cerințele acestor normative trebuie corelate, adoptându-se, în toate situațiile, soluția cea mai restrictivă din punct de vedere al siguranței structurale.

Din punct de vedere al alcătuirii, sistemul structural în cadre din beton este constituit din stâlpi, grinzi și planșee, pereții de compartimentare și cei exteriori având rol nestructural. În cazul zidăriei confinate, pereții sunt elemente structurale, preluând încărcările transmise de planșee și conducându-le către fundații. Zidăria poate fi realizată din blocuri ceramice cu goluri verticale sau din BCA, clasificate în funcție de profil, dimensiuni și densitate în stare uscată (tip LD sau HD).

Conform CR6/2013, clasa minimă admisă pentru beton este C12/15. Cu toate acestea, potrivit NE012-1/2022, pentru clasa de expunere XC1 se impune utilizarea unui beton de minimum C20/25. Codul NP007/2025 definește clasa betonului în funcție de clasa de ductilitate a clădirii care în cazul de față este DCH, deci se utilizează un beton de minimum C25/30. Pentru ambele soluții, în normativele NP007/2025 și CR6/2013 este prevăzută utilizarea oțelului de tip BST500C.

În ceea ce privește condițiile geometrice, NP007/2025 stabilește pentru stâlpii cadrelor o dimensiune minimă a laturii secțiunii de 30 cm, în timp ce CR6/2013 impune pentru stâlpișorii zidăriei confinate o latură minimă de 25 cm. Totodată, CR6/2013 reglementează dimensiunile minime ale centurilor, cu rol de închidere a conturilor structurale, prevăzând o lățime minimă de 25 cm. În mod similar, NP007/2025 prevede pentru grinzi o lățime minimă de 25 cm, corelată cu clasa de ductilitate adoptată în proiectare.

Un element semnificativ în proiectarea structurală îl constituie stabilirea clasei de ductilitate: DCL (ductilitate redusă), DCM (ductilitate medie) și DCH (ductilitate înaltă). Încadrarea se realizează în funcție de accelerația de vârf a terenului (ag). Pentru amplasamentul analizat, caracterizat prin accelerația de vârf a terenului de 0,30g, structura se încadrează în clasa de ductilitate înaltă, conform P100-1/2013, Capitolul 5. Această încadrare influențează valoarea factorului de comportare q, stabilit pentru construcțiile din cadre din beton armat în funcție de tipul sistemului structural, numărul de niveluri și deschideri. În cazul zidăriei confinate, normativul P100-1/2013, Capitolul 8, definește factorul q în funcție de tipul zidăriei și de regularitatea structurii în plan și elevație. Valorile rezultate ale factorului de comportare pentru cele două tipuri de structuri diferă, de la 2 pentru zidăria confinată cu armătură în rosturi, până la 6,75 pentru structura în cadre din beton armat.

Clădirea analizată din perspectiva zidăriei confinate, având destinația de locuință unifamilială, se încadrează în clasa a III-a de importanță, ceea ce permite utilizarea mortarului



pentru uz general (G), conform P100-1/2013. Pentru asigurarea cerinței de robustețe structurală și prevenirea ruperilor fragile sub acțiuni seismice, se impune utilizarea elementelor ceramice din grupele 1 sau 2. Un criteriu esențial de conformare îl reprezintă densitatea pereților structurali, care, pentru accelerația de vârf a terenului egală cu 0,30g, trebuie să fie mai mare de 6.0%, conform Tabelului 8.9 din P100-1/2013. De asemenea, această valoare a accelerației impune armarea zidăriei în rosturile orizontale, rezultând o zidărie confinată cu armătură în rosturi.

În ceea ce privește verificările structurale, pentru sistemele în cadre din beton armat este necesară evaluarea efortului axial normalizat al stâlpilor, în funcție de clasa de ductilitate și de poziția acestora în cadrul sistemului structural (de colț, perimetral sau central). În cazul zidăriei confinate, CR6/2013 impune verificarea montanților la compresiune axială, moment încovoietor și forță tăietoare. Pentru ambele soluții, P100-1/2013 prevede verificarea deplasărilor laterale, care trebuie să se încadreze în limitele admisibile pentru stările limită de serviciu (SLS) și ultime (SLU), conform Anexei E.

Diferențele dintre cele două sisteme sunt evidente și în ceea ce privește armarea elementelor de rezistență. Zidăria confinată nu prezintă zone critice la capetele elementelor, spre deosebire de cadrele din beton armat. O diferență relevantă o constituie procente minime de armare longitudinală: minimum 1% pentru stâlpișorii din zidărie confinată cu accelerația de vârf a terenului mai mare decât 0,25g, comparativ cu intervalul 1%–4% pentru stâlpii cadrelor din beton armat. În plus, pentru structura analizată este necesară armarea rosturilor la intersecțiile montanților, cerință care nu se regăsește în cazul sistemelor în cadre din beton armat. De asemenea, există diferențe în ceea ce privește diametrele minime ale armăturilor longitudinale: pentru grinzile cadrelor din beton armat diametrul minim este 2Ø14, în timp ce pentru centuri este 2Ø12, ambele având aceeași lățime minimă a secțiunii.

Așadar, cele două modele structurale se diferențiază prin cerințe distincte de conformare, armare și verificare, precum și prin valori diferite ale factorului de comportare, reflectând principii structurale și mecanisme de disipare a energiei specifice fiecărui sistem.

3. Studiu de caz: Clădire unifamilială situată în București

Pentru a evidenția diferențele dintre structuri, a fost aleasă o clădire situată în București, cu destinația locuință unifamilială. Construcția face parte dintr-un ansamblu de locuințe executate conform normativului P100-1/2013, având o structură cu regim de înălțime P+2E, ce va fi modelată în două scenarii distincte.

Studiul de caz a urmărit comportarea seismică în două situații distincte: în urma modelării cadrelor din beton armat, iar apoi conformarea aceleiași clădiri prin adăugarea zidăriei confinate. Pentru realizarea fiecărui scenariu au fost elaborate două modele tridimensionale ale clădirii utilizând software-ul SCIA Engineer 2022 Legacy, care permite evidențierea deplasărilor maxime de nod sau tensiunilor principale.

Clădirea analizată este alcătuită din trei nivele ce însumează o suprafață locuibilă de 386,92 m². Structura este de formă dreptunghiulară în plan, cu dimensiuni de 17,65x11,95 m, și o dispunere simetrică a stâlpilor pe direcțiile longitudinală și transversală. Materialele au fost introduse cu următoarele caracteristici: beton de clasă C25/30 și armături tip BST500C, alese datorită clasei de ductilitate înalte a structurii în cadre din beton armat, conform NP007/2025



și beton de clasă C20/25 pentru structura din zidărie confinată, conform NE012-1/2022. Înălțimea de nivel este de 3 m, iar cea a aticului de 0,9 m. Terasa circulabilă are închiderea perimetrală din sticlă. Pentru o vedere de ansamblu a clădirii, Figurile 2 și 3 prezintă fațadele acesteia, iar Figura 1 planul parter.

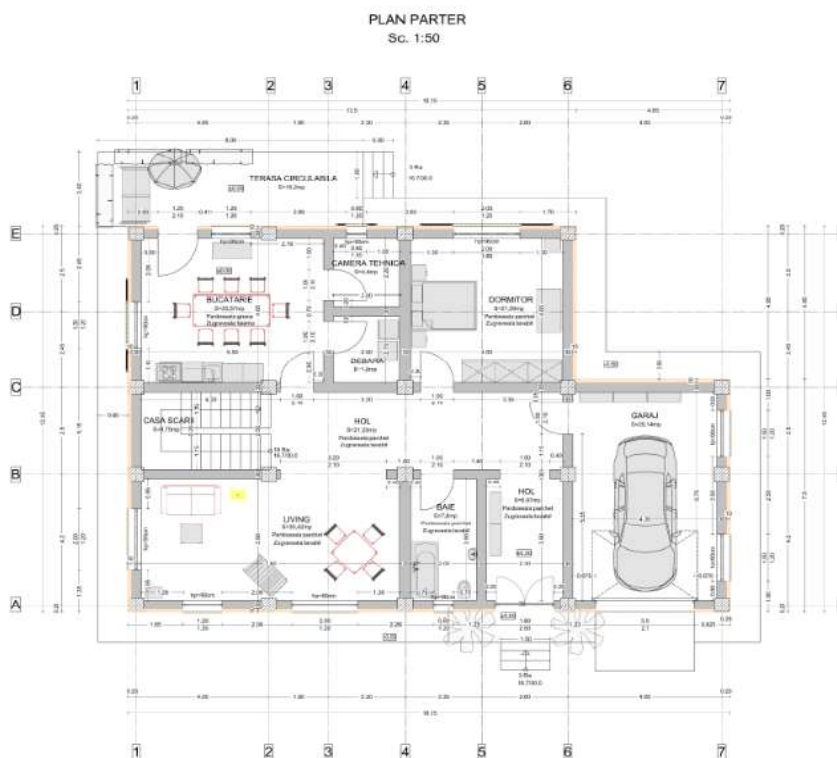


Figura 1. Plan parter

Pentru evaluarea încărcărilor permanente s-a utilizat normativul SREN1991-1-1:2004. Astfel, s-au determinat următoarele valori ale încărcărilor specifice: 5,49 kN/m² pentru etajele curente, 7,12 kN/m² pentru terasa necirculabilă și 7,35 kN/m² pentru terasa circulabilă.

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:

$$S = \gamma_{Is} * Ce * Ct * \mu * s_k ; \text{ unde reiese că } S = 1,60 \text{ kN/m}^2$$



Figura 2. Fațada Sud



Figura 3. Fațada Nord

3.1. Scenariul 1 – Aplicarea sistemului în cadre din beton armat pentru locuința vizată

Pentru conformarea primului model structural, în cadre din beton armat, s-a utilizat preponderent normativul de proiectare NP007/2025 cu completări din P100-1/2013, Capitolele 4 și 5, precum și normativul SREN 1992-1-1-2004, Capitolul 8. Acestea reprezintă principalele cadre legislative în vederea proiectării acestui tip de structură.

În urma verificării deplasărilor laterale, conform Anexa E din P100-1/2013, au rezultat următoarele secțiuni ale elementelor structurale: stâlpii 45x45 cm, grinda longitudinală 25x50 cm, grinda transversală 25x40 cm și planșeul de 13 cm.

Analiza se concentrează pe rezultatele privind tensiunile principale, deplasările maxime de nod, perioada fundamentală a clădirii și forța de bază de pe fiecare direcțiile 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 au fost analizate în special axele cu deplasări semnificative, respectiv axul transversal exterior și longitudinal exterior.

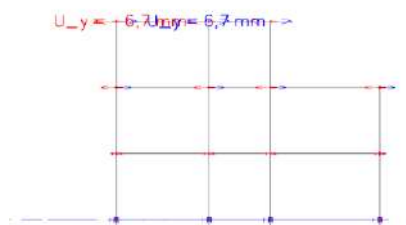


Figura 4. Deplasările maxime de nod ale axului transversal

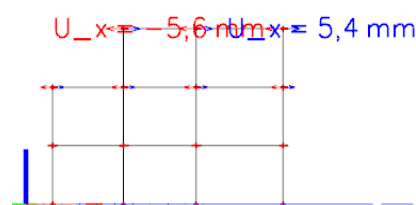


Figura 5. Deplasările maxime de nod ale axului longitudinal

În acest sens, în Figura 4, pe direcția axei Y, a fost obținută valoarea maximă a deplasării de 6,7 mm pe axul transversal exterior, iar pe axul longitudinal exterior în Figura 5, pe direcția axei X, valoarea 5,6 mm.

În ceea ce privește distribuția tensiunilor principale, în ambele cazuri, acestea se concentrează în capătul grinzilor, respectiv la extremitățile stâlpilor. Un exemplu relevant este prezentat în cadrul Figurilor 6 și 7, care ilustrează distribuțiile tensiunilor principale pe axul transversal exterior și axul longitudinal exterior din gruparea seismică.

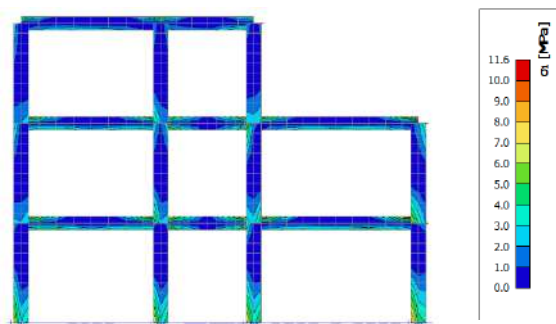


Figura 6. Tensiunile principale din Gruparea Seismică ale axului transversal exterior

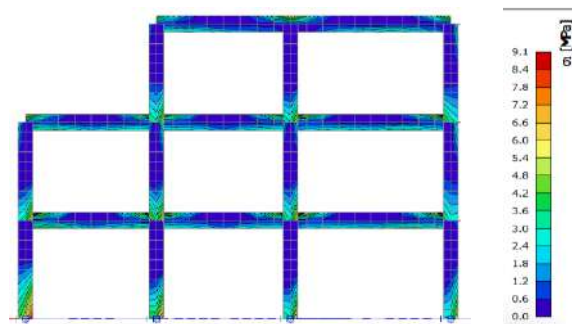


Figura 7. Tensiunile principale din Gruparea Seismică ale axului longitudinal exterior

Importantă pentru această analiză este perioada fundamentală a clădirii, care ajunge la valoarea $T_1=0,39s$, precum și forța de bază de pe fiecare direcție, unde s-au înregistrat $F_x=618,22 \text{ kN}$ și $F_y=623,33 \text{ kN}$. Din punct de vedere al armării elementelor structurale, în urma calculului au rezultat următoarele: pentru stâlpii de colț și perimetrali 4Ø20, stâlpii centrali 4Ø22, ambele soluții având ca armătură transversală 2Ø8, grinzile transversale și longitudinale la partea inferioară 3Ø14, la cea superioară 3Ø16, cu etrieri Ø8, iar la nivelul plăcilor calculul a fost realizat pe metru liniar rezultând 9Ø8/ml. Pentru compartimentarea locuinței au fost utilizate blocuri din BCA cu grosimea de 25 cm.

3.2. Scenariul 2 – Implementarea zidăriei confinată pentru aceeași locuință

Pentru conformarea celui de al doilea model structural s-a utilizat codul CR6/2013 cu completări din P100-1/2013, Capitolul 8, precum și normativul NE012/2022 privind alegerea clasei de beton.

Pentru clădirea analizată, în urma verificării deplasărilor laterale și a densității pereților, au rezultat următoarele caracteristici structurale: blocuri ceramice cu goluri verticale cu grosimea de 30 cm, stâlpișori cu secțiunea de 30x30 cm, centuri de 30x30 cm și planșeul de 13 cm. Asemenea scenariului anterior, sunt evidențiate în special rezultatele aferente axei transversale exterioare și axei longitudinale exterioare, considerate reprezentative pentru evaluarea comportării structurale.

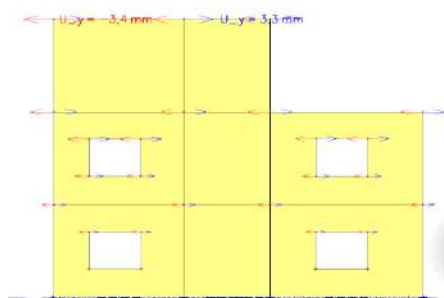


Figura 8. Deplasările maxime de nod ale axului transversal

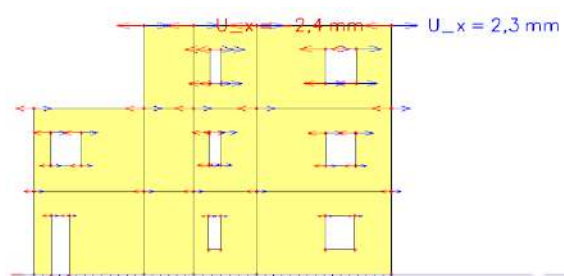


Figura 9. Deplasările maxime de nod ale axului longitudinal

Astfel, în cadrul Figurii 8 pe direcția axei Y, s-a înregistrat valoarea maximă de 3,4 mm pe axul transversal exterior, iar pe axul longitudinal interior, în Figura 9 pe direcția X, valoarea 2,4 mm. Din punct de vedere al distribuției tensiunilor principale, acestea se concentrează în dreptul golurilor de ușă, respectiv la extremitățile golurilor de fereastră. Un exemplu semnificativ este prezentat în cadrul Figurilor 10 și 11, care ilustrează distribuțiile tensiunilor principale pe axul transversal și longitudinal din gruparea seismică.

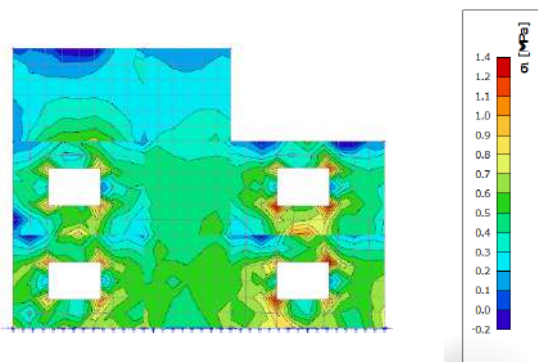


Figura 10. Tensiunile principale din Gruparea Seismică ale axului transversal exterior

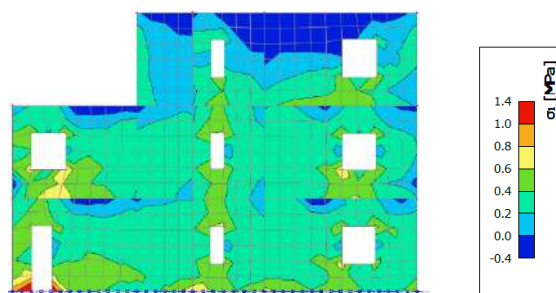


Figura 11. Tensiunile principale din Gruparea Seismică ale axului longitudinal exterior

Relevantă pentru această analiză este perioada fundamentală a clădirii care ajunge la valoarea de $T_1=0,13s$, precum și forța de bază de pe fiecare direcție, unde s-au înregistrat $F_x=4182,59$ kN și $F_y=3807,46$ kN. Din punct de vedere al armării elementelor structurale au rezultat următoarele: pentru stâlpișori 3Ø14 cu etrieri Ø8, centurile având armătura longitudinală la partea superioară și inferioară 3Ø14 cu etrieri Ø8, iar la nivelul plăcilor calculul a fost realizat pe metru liniar rezultând 9Ø8/ml. În cazul pereților structurali, au fost utilizate blocuri ceramice cu goluri verticale Porotherm 30, cu dimensiunile de 250x300x238 mm. Având în vedere înălțimea blocurilor ceramice, rosturile orizontale au fost armate la fiecare două asize cu bare Ø8. În urma verificării montanților, s-a stabilit utilizarea mortarului M5 pentru uz general.

3.3. Analiza rezultatelor și interpretarea comportamentului structural

Prin implementarea cadrelor din beton armat clădirea prezintă o flexibilitate sporită comparativ cu zidăria confinată care impune o rigiditate considerabilă la acțiuni seismice. Rezultatele modelării accentuează această diferență, unde în cazul cadrelor din beton armat la nivelul axului transversal a fost obținută, din punct de vedere al deplasărilor de nod, valoarea 6,7 mm, comparativ cu 3,4 mm obținută în cazul zidăriei confinate.

Analiza este completată de diferențele tensiunilor principale obținute la nivelul elementelor structurale, unde, în varianta cadrelor din beton pentru axul transversal a rezultat valoarea 11,6 MPa, iar în cazul zidăriei portante 1,4 MPa. Aceste valori reies din modul în care este realizată descărcarea eforturilor în elementele structurale. În cazul structurii în cadre din beton armat, eforturile se distribuie la capetele grinzilor și stâlpilor, comparativ cu structura din zidărie confinată unde eforturile se distribuie în pereți. În plus, se remarcă diferența dintre forța de bază preluată de structuri, de la $F_x=618,22$ kN în cazul cadrelor din beton armat la $F_x=4182,59$ kN la nivelul zidăriei confinate, aspect ce evidențiază gradul ridicat de rigiditate al celei din urmă.

Totodată, perioada fundamentală înregistrează valoarea 0,39s la nivelul structurii în cadre din beton armat, iar pentru zidăria confinată aceasta atinge valoarea 0,13s. Aceste caracteristici accentuează caracterul rigid pe care îl impune structura din zidărie confinată, comparativ cu cea în cadre din beton armat, care se distinge printr-o flexibilitate sporită.

4. Antemăsurătoare. Încadrarea articolelor de lucrare în indicatoare de norme de deviz

Pentru a stabili cantitățile de lucrări pentru fiecare articol de lucrare ce urmează a se executa în cadrul obiectului de construcție este nevoie de elaborarea unei documentații de deviz, denumită



antemăsurătoare. Prin această piesă scrisă, se poate evalua costul unei construcții, fiind, totodată, întocmită de către proiectantul de profil. Acesta poate împărți obiectivul în mai multe ansambluri sau subansambluri, denumite și părți de construcție.

Cea mai importantă etapă în elaborarea antemăsurătorii o reprezintă încadrarea articolelor de lucrare în indicatoare de norme de deviz aferente. Pentru identificarea articolelor s-a utilizat indicatorul de norme de deviz pentru lucrări de construcții industriale, agrozootehnice, locuințe și social-culturale din 1981. În acest sens, a fost realizată antemăsurătoarea pentru fiecare sistem structural în parte, la nivelul suprastructurii.

În vederea întocmirii devizului estimativ, a fost utilizat programul DOCLIB38, prin intermediul căruia au fost generate listele de resurse (C6, C7, C8 și C9), precum și formularul F3, după introducerea articolelor de deviz și a cantităților corespunzătoare. Pe baza acestor date, costul total aferent structurii în cadre din beton armat este de 260,12 euro/m² construit, în timp ce pentru varianta realizată din zidărie confinată valoarea estimată este de 219,03 euro/m² construit. Rezultă astfel o diferență de 41,09 euro/m² construit, ceea ce reprezintă o majorare de aproximativ 19% în cazul soluției structurale în cadre din beton armat față de varianta din zidărie confinată. Această diferență de cost se justifică în principal prin consumul mai ridicat de beton și oțel, complexitatea mai mare a lucrărilor de cofrare și armare, precum și manopera suplimentară necesară execuției elementelor structurale specifice sistemului în cadre din beton armat, respectiv stâlpi, grinzi, planșee și noduri structurale.

În acest sens, din punct de vedere economic, varianta realizată din zidărie confinată se dovedește mai avantajoasă în etapa de execuție a suprastructurii comparativ cu cea în cadre din beton armat.

5. Tehnologii aferente lucrărilor de construcții

Cele două soluții de conformare structurală presupun desfășurarea unor procese tehnologice distincte, diferențiate atât prin succesiunea etapelor de execuție, cât și prin modul de realizare și integrare a elementelor structurale. Alegerea uneia dintre aceste soluții influențează organizarea șantierului, necesarul de forță de muncă, tipologia utilajelor utilizate și durata de execuție.

În cazul clădirilor cu structură în cadre din beton armat, se aplică următoarea ordine a operațiilor tehnologice: execuția stâlpilor caracterizată prin montarea armăturilor, cofrarea acestora și turnarea betonului; cofrarea grinzilor și planșeul, urmată de armarea elementelor, turnarea și vibrarea betonului. Trebuie avută în vedere ungerea cofrajelor cu decofrol pentru o îndepărtare ușoară a acestora, precum și vibrarea corespunzătoare în timpul execuției pentru evitarea segregărilor.

În cazul zidăriei confinate, procesul tehnologic este diferit și se realizează prin mai multe operații specifice, precum: montarea zidăriei prin amplasarea blocurilor ceramice, utilizarea unui mortar adecvat, armarea stâlpișorilor, cofrarea stâlpișorilor, turnarea betonului în stâlpișori și vibrarea corespunzătoare a acestuia, cofrarea centurilor, cofrarea planșeelor, montarea armăturii în centuri și planșee și, la final, turnarea betonului și vibrarea acestuia.

Ambele soluții implică utilizarea unor echipamente și utilaje specifice, precum vibratoare pentru beton, betoniere sau stații de preparare a betonului, macarale sau automacarale pentru manipularea armăturilor și a cofrajelor, nacele pentru lucrări la înălțime, distribuitoare de beton,



încărcătoare pentru organizarea șantierului și echipamente pentru fasonarea și tăierea armăturilor. Coordonarea acestor operații și utilizarea adecvată a resurselor tehnice și umane sunt esențiale pentru asigurarea unei execuții eficiente, sigure și conforme cu cerințele proiectului.

6. Concluzii

Lucrarea și-a propus să evidențieze diferențele clădirilor realizate în cadre din beton armat și din zidărie confinată, fiind două sisteme structurale utilizate frecvent la construcțiile cu regim redus de înălțime. Prin modelarea aceleiași clădiri în două variante distincte, utilizând programul SCIA Engineer 2022 Legacy, s-a realizat evaluarea comportării seismice în condiții similare de încărcare și amplasament.

Un aspect important din punct de vedere al proiectării îl reprezintă normativele de proiectare specifice fiecărui concept structural. Pentru construcțiile în cadre din beton armat se aplică prevederile normativul NP007/2025, iar pentru structurile din zidărie confinată cele ale codului CR6/2013, ambele trebuind corelate cu reglementările aferente codului seismic P100-1/2013 și alese dispozițiile cele mai restrictive.

Studiul de caz, o clădire P+2E din București conformată atât în cadre din beton armat, cât și din zidărie confinată, a evidențiat diferențele de proiectare și execuție între cele două soluții analizate. În acest sens, se remarcă faptul că structura în cadre din beton armat a prezentat o flexibilitate mai ridicată, materializată prin deplasări laterale mai mari și o perioadă fundamentală superioară. În schimb, structura din zidărie confinată a înregistrat o rigiditate mai mare, cu deplasări laterale reduse și perioadă fundamentală mai mică, ceea ce indică un răspuns structural diferit la acțiunea seismică comparativ cu sistemul în cadre din beton armat care a prezentat o flexibilitate crescută.

Totodată, modul de transmitere a tensiunilor principale diferă semnificativ între cele două sisteme. În cazul cadrelor din beton armat solicitările se concentrează în capetele grinzilor și stâlpilor, în timp ce la nivelul zidăriei confinate acestea se distribuie pe pereții structurali. Din punct de vedere al execuției, cele două modele structurale implică tehnologii diferite, succesiuni distincte ale etapelor de lucru, precum și costuri variate de materiale, manoperă și utilaje. Astfel, devizele estimative întocmite exclusiv suprastructurilor arată că varianta realizată din zidărie confinată are un cost redus față de soluția în cadre din beton armat, datorită consumului mai mic de beton și armătură, precum și volumului redus al lucrărilor de cofrare și manoperă. În schimb, sistemul în cadre din beton armat prezintă cantități ridicate de beton și armătură, fapt ce evidențiază diferența de preț.

În acest sens, atât structura în cadre din beton armat, cât și cea din zidărie confinată, reprezintă soluții viabile pentru clădirea analizată, având amplasamentul în București și regim de înălțime P+2E. Alegerea soluției optime trebuie realizată în funcție de cerințele proiectului, condițiile de amplasament și performanța structurală urmărită.

BIBLIOGRAFIE

1. P 100-1/2013 – “Cod de proiectare seismic, Partea I”.
2. NP007/2025 – “Cod de proiectare pentru structuri în cadre din beton armat”.
3. CR6/2013 – “Cod de proiectare pentru structuri din zidărie”.
4. NE012-1/2022 – “Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat, Partea 1: Producerea betonului”.
5. CR 1-1-3/2012 – “Cod de proiectare. Evaluarea zăpezii asupra construcțiilor”.
6. SREN1991-1-1:2004 – “Acțiuni asupra structurilor”.
7. Indicator de norme de deviz pentru lucrări de construcții industriale, agrozootehnice, locuințe și social-culturale din 1981.



BETONUL GEOPOLIMER – MATERIAL SUSTENABIL PENTRU CONSTRUCȚIILE MODERNE

Autor/autori

Maria-Cristina TRUȘCĂ¹

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

Îndrumător/îndrumători

Șef L.Dr.Ing. Andrei-Florin CLITAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, [e-mail: andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro](mailto:andrei.clitan@cfdp.utcluj.ro)

REZUMAT: *Lucrare analizează betonul geopolimer ca alternativă ecologică a betonului cu ciment Portland, evidențiind reducerea emisiilor de dioxid de carbon cu 80% și rezistența sporită la coroziune și temperaturi înalte. Elementul de originalitate al studiului constă în utilizarea relaxometriei RMN pentru a înțelege microstructura și dinamica apei în matricea aluminosilicatică. Prin optimizarea raportului Siliciu-Aluminiu, studiul atestând rezistența geopolimerilor în infrastructura modernă, transformând deșeurile industriale în resurse fundamentale pentru atingerea neutralității climatice.*

Cuvinte cheie: beton geopolimer, policondensare, relaxometrie RMN, raport molar .

1. Introducere: criza de carbon si imperativul schimbării

Industria construcțiilor se află într-un punct critic al evoluției sale. Cimentul Portland, deși a reprezentat motorul modernizării în ultimul secol, a devenit simbol al ineficienței ecologice. Procesul de fabricație a clincherului necesită temperaturi ce depășesc 1450°C și generează emisii masive de dioxid de carbon prin decarbonatarea calcarului, fiind responsabil pentru aproximativ 8% din totalul emisiilor antropice la nivel mondial. [5]

Betonul geopolimer nu reprezintă doar o simplă îmbunătățire a materialelor existente, ci simbolizează transformarea majoră. Spre deosebire de procesul de hidratare a cimentului Portland, care produce silicați de calciu hidratați, alcătuirea betonului geopolimer se bazează pe un proces complex de policondensare. Acest mecanism implică dizolvarea oxizilor de aluminiu și siliciu din materii prime chimice, cenușa zburătoare sau metacaulinul, într-un mediu puternic alcalin [1]. Structura inelară polimerică tridimensională rezultată, formată din legături de siliciu-oxigen-aluminiu, creează o matrice densă și stabilă care constituie structura de rezistență principală a materialului la nivel microscopic.

2. Evoluția cinetică: sinteza atomică a polimerilor anorganici

Formarea matricei geopolimerice este un proces chimic complex, care implică transformarea precursorilor amorf-vitroși într-o rețea structurală rigidă. Acest proces nu urmează modelul liniar de hidratare, ci o succesiune de etape kinetice dependente de pH-ul sistemului și reactivitatea fazei solide.

Procesul debutează cu atac nucleofil al ionilor hidroxil asupra legăturilor siloxanice și aluminosilicatic, proces ce conduce la hidroliza și eliberarea speciilor monomerice în soluție.

Pe măsură ce concentrația speciilor dizolvate atinge un prag de suprasaturare, are loc o reorientare moleculară ce conduce la precipitarea unui gel primar metastabil. Odată cu progresia dizolvării siliciului, acest gel evoluează către o structură mai stabilă termodinamic, Aluminosilicat de sodiu hidrat, care constituie faza liantă principală [1], [9].

Eficiența acestui sistem constă în valorificarea energiei potențiale chimice a activatorului, eliminând necesitatea aportului termic masiv specific clincherizării, ceea ce justifică caracterul sustenabil al materialului [5].

Reacția chimică a geopolimerizării:



Figura 1. Reprezentarea schematică a procesului de geopolimerizare

3. Optimizarea structurală: rolul raportului molar Si/Al

Performanțele mecanice și stabilitatea dimensională a betonului geopolimer sunt direct corelate cu raportul molar Siliciu-Aluminiu. Acest raport reprezintă determinantul principal al densității polimerice, condiționând în mod direct răspunsul elastic al betonului și rezistența sa mecanică sub sarcini axiale.

Conform studiilor recente [2], intervalul optim pentru integritatea structurală este situat între 2.5 și 3.5. În acest domeniu, densitatea cross-linking-ului molecular atinge valori maxime, permițând materialului să dezvolte 70% din rezistența finală la compresiune în primele 48 de ore [3], [4].

Creșterea controlată a conținutului de siliciu conduce la o matrice mai compactă, îmbunătățind conectivitatea unităților tetraedrice și, implicit, rezistența la propagarea fisurilor. Această calibrare chimică precisă permite dezvoltarea unor compozite de înaltă performanță care pot depăși pragul de 120 MPa, oferind o alternativă durabilă oțelului în anumite configurații structurale [2],[10].

4. Durabilitatea și reziliența în medii agresive

Absența portlandului din matricea geopolimerică reprezintă principalul avantaj în ceea ce privește longevitatea structurală. Betonul geopolimer este un sistem sărac în calciu, ceea ce îi conferă imunitate la mecanismele de degradare care afectează betoanele OPC (Ordinary Portland Concrete- Ciment Portland Obișnuit).

În medii acide și sulfatate, unde cimentul convențional suferă procese de expansiune și dezintegrare prin formarea etringitei întârziate, betonul geopolimer își menține integritatea structurală, păstrând până la 95% din masa inițială [4], [7]. Mai mult, materialul prezintă un comportament deosebit la solicitări termice extreme. Datorită structurii sale polimerice anorganice, acesta nu suferă fenomenul de exfoliere explozivă prin deshidratare, trecând în schimb printr-un proces de ceramicizare care asigură stabilitatea structurală la temperaturi de până la 1000°C [6].

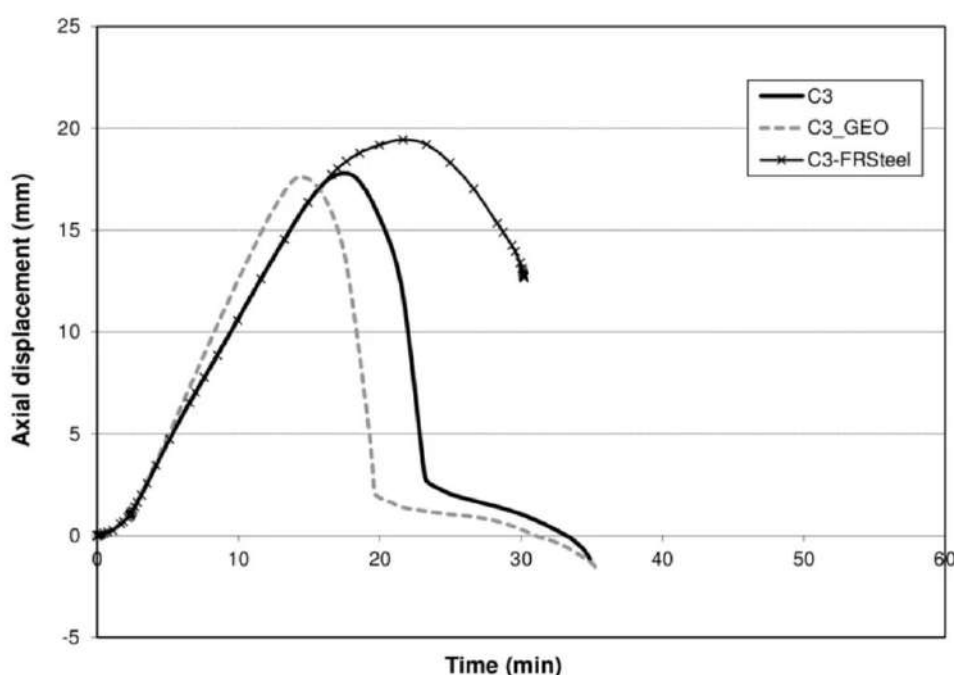


Figura 2: Rezistența la foc. Analiză comparativă a integrității structurale între betonul OPC și cel geopolimer după expunerea la 1000°C

5. Caracterizarea microstructurală prin relaxometrie RMN

Validarea integrității matricei la nivel nanometric a fost realizată prin Relaxometrie RMN, o metodă analitică non-distructivă ce permite investigarea dinamicii moleculare a fluidelor intra-poroase. Analiza timpului de relaxare transversală permite clasificarea porilor în funcție de dimensiune, separând porii de gel de cei capilari [10].

Rezultatele indică o răsucire ridicată a rețelei poroase, fenomen ce restricționează difuzia ionilor de clorură, principalul agent coroziv pentru armăturile metalice în infrastructura marină [8, 10]. Identificarea echilibrului dintre apa legată chimic și apa liberă prin tehnici RMN oferă date predictive riguroase asupra fluajului și contracției, permițând o proiectare structurală optimizată și reducerea coeficienților de siguranță excesivi utilizați în cazul materialelor cu comportament imprevizibil.

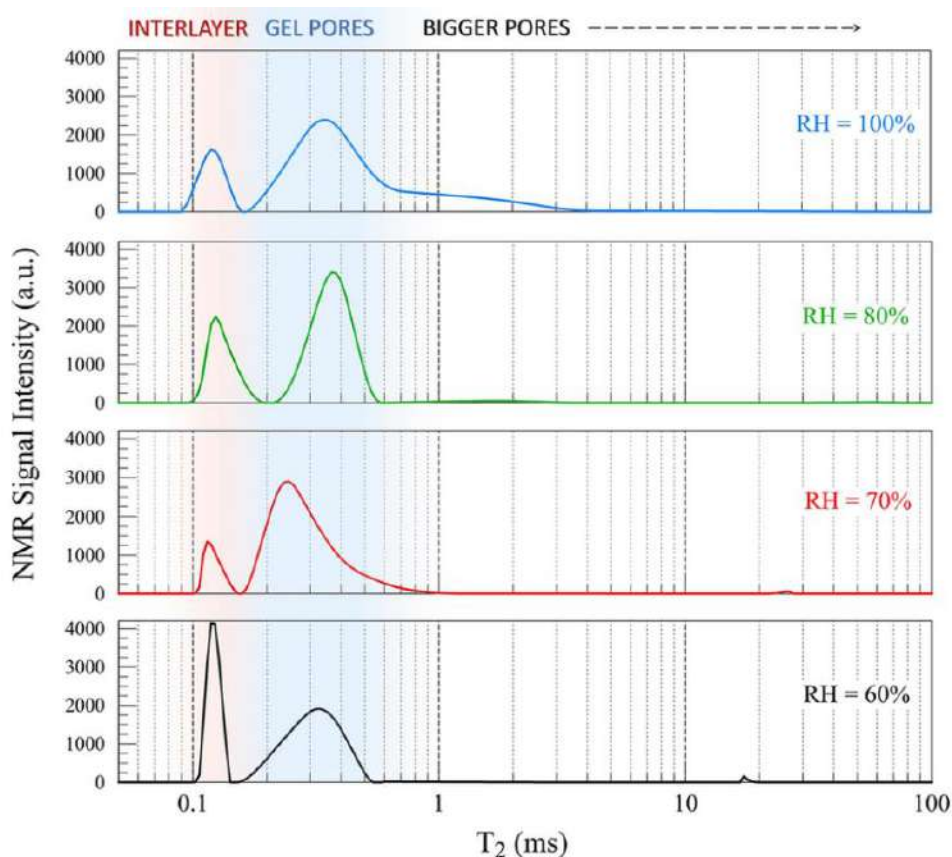


Figura 3. Spectrul distribuției timpilor de relaxare transversală T_2 obținut prin relaxometrie RMN

6. Valorificarea subproduselor: pilon al economiei circulare

Implementarea tehnologiei geopolimerice facilitează conversia deșeurilor industriale în resurse sustenabile de construcție. Acest proces de valorificare neutralizează amprenta ecologică a industriilor extractive și energetice, integrându-le într-un circuit economic închis. Eficiența acestui model de economie circulară este demonstrată prin analiza comparativă a indicatorilor de performanță, care evidențiază superioritatea tehnică și ecologică a sistemului geopolimer față de soluția convențională pe bază de ciment Portland.[3], [8].

Tabelul 1: Analiză comparativă a indicatorilor de impact: OPC vs. GPC

Parametru de analiză	Beton Convențional (OPC)	Beton Geopolimer (GPC)	Impact Tehnologic
Amprentă CO ₂	~350 - 400 kg/m ³	~70 - 90 kg/m ³	Reducere de ~80%
Energie încorporată	Ridicată (proces termic)	Scăzută (proces chimic)	Eficiență energetică
Consum resurse virgine	Ridicat (calcar/argilă)	Neglijabil (subproduse)	Sustenabilitate

7. Concluzii: viitorul infrastructurii reziliente

Betonul geopolimer constituie o soluție de inginerie avansată, ce redefineste standardele de sustenabilitate prin neutralizarea amprentei de carbon și valorificarea subproduselor industriale. Performanța sa este dictată de o rețea de tip aluminosilicat, a cărei stabilitate termochimică depășește net limitele lianților hidraulici convenționali, oferind o rezistență superioară în medii



corozive și la temperaturi extreme. Prin urmare, migrarea tehnologică de la chimia calciului către rețelele covalente de aluminosilicat reprezintă vectorul fundamental pentru dezvoltarea unei infrastructuri globale Net-Zero, capabilă să asigure o durabilitate extinsă în condiții de exploatare severe.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Davidovits, J. (2021). *Geopolymer Chemistry and Applications*, 5th Ed. Institut Géopolymère.
- [2] Lang, Y. J., & Yin, G. J. (2025). "Research progress and future trends of geopolymer concrete (2000–2024)." *Journal of Cleaner Production*.
- [3] Khasawneh, M. A. (2025). "Geopolymer concrete in construction projects: a review of mechanical properties." *Discover Civil Engineering*.
- [4] Amar, M., et al. (2025). "Metakaolin-Enhanced Performance and Sustainable Replacement in Harsh Environments." *MDPI Buildings*.
- [5] Provis, J. L. (2024). "Alkali-activated materials: State of the art and future challenges." *Cement and Concrete Research*.
- [6] Zhang, P., & Wang, K. (2024). "Thermal properties and microstructure of fly ash-based geopolymers at elevated temperatures." *J. Mater. Civ. Eng.*
- [7] Zhao, Y., et al. (2026). "Chloride diffusion and microstructure evolution of alkali-activated slag." *Construction and Building Materials*.
- [8] Moodi, F., et al. (2025). "Toward high sustainability using fully recycled geopolymer concrete." *RSC Advances*.
- [9] Li, Z., et al. (2025). "Molecular dynamics of aluminosilicate networks: A study on N-A-S-H gel stability." *Journal of Non-Crystalline Solids*.
- [10] Wang, H., et al. (2024). "The role of NMR Relaxometry in characterizing geopolymerization kinetics." *Materials Characterization*.



EFFECTUL REGULARITĂȚII ÎN PLAN ASUPRA RĂSPUNSULUI SEISMIC AL UNEI STRUCTURI DIN BETON ARMAT

Autori

Rareș G. HURBAN¹, Nadir A. CHERQUI²

¹Facultatea de Construcții, Cadastru și Arhitectură, Universitatea din Oradea, e-mail: rareshurban@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Cadastru și Arhitectură, Universitatea din Oradea, e-mail: nadir.cherqui@gmail.com

Îndrumător

Dr. Ing. Anna ENE³

³Facultatea de Construcții, Cadastru și Arhitectură, Universitatea din Oradea, e-mail: ene.anna@outlook.com

REZUMAT: Clădirile cu neregularitate în plan au început să fie utilizate încă din perioada interbelică, pe fondul intensificării urbanizării și al necesității de utilizare eficientă a terenului disponibil. În contextul actual al proiectării construcțiilor, soluțiile arhitecturale complexe conduc frecvent la adoptarea unor configurații structurale neregulate în plan. În România, zonă caracterizată prin hazard seismic semnificativ, proiectarea acestor structuri trebuie realizată cu respectarea strictă a prevederilor normative în vigoare privind siguranța, rezistența și comportarea seismică. Un aspect esențial prevăzut în codurile de proiectare îl constituie cazul structurilor neregulate în plan, unde pot apărea efecte semnificative de torsiune, implicând forțe seismice mai mari care conduc la consumuri mai mari de material, precum și apariția unor zone sensibile cu concentrări de eforturi. În lucrarea curentă se prezintă un studiu comparativ asupra răspunsului seismic a patru structuri din beton armat, cu aceleași deschideri și suprafețe de nivel, dar configurații diferite în plan: o structură regulată și trei neregulate. Modelele cercetate au fost analizate printr-un calcul modal cu spectre de răspuns, obiectivul studiului vizând compararea parametrilor relevanți ai răspunsului seismic și evidențierea impactului configurației în plan asupra răspunsului seismic.

Cuvinte cheie: Răspuns seismic, moduri de vibrație, regularitate în plan, torsiune.

1. Introducere

În proiectarea modernă a clădirilor din beton armat, soluțiile arhitecturale se îndepărtează tot mai des de tiparele convenționale și conduc la structuri cu forme variate în plan. Codul de proiectare seismică P100-1/2013 [1] preia filozofia Eurocodului 8 [2] și introduce criterii explicite pentru regularitatea structurii în plan (§4.4.3.2): formă compactă a planului și simetrie în raport cu 2 direcții ortogonale, distribuție aproximativ simetrică a maselor, rigidităților și capacităților de rezistență, limitarea retragerilor în plan astfel încât acestea să nu afecteze rigiditatea planșeului, precum și prevederi referitoare la sensibilitatea la torsiune de ansamblu, evaluată pe baza deplasărilor maxime și minime înregistrate pe perimetrul construcției. Structurile care nu îndeplinesc aceste cerințe sunt încadrate ca neregulate, li se limitează valorile admise ale factorului de comportare și sporesc semnificativ forțele seismice de proiectare, fiind necesar ca proiectantul să aibă în vedere caracteristicile reale de vibrație și posibila predominanță a modurilor torsionale. În acest context, studiul comparativ între configurații regulate și neregulate în plan devine un instrument valoros pentru cuantificarea



influenței regularității asupra răspunsului seismic și pentru evaluarea conformității cu cerințele P100-1/2013 [1].

Analiza literaturii științifice românești și internaționale arată că abaterile de la regularitatea în plan conduc la creșterea exigențelor seismice și la activarea unor mecanisme torsionale nefavorabile, atât în structurile din beton armat, cât și la cele din oțel. În mediul național, studiul „Amplificarea dinamică a clădirilor neregulate” elaborat la INCĐ URBAN-INCERC [3] analizează atât o clădire reală cu plan în L (USAMV București), cât și patru modele idealizate în L prin analize seismice spațiale, arătând că excentricitățile măsurate depășesc limitele de regularitate din Eurocodului 8 [2] și P100-1/2013 [1], iar răspunsul seismic se caracterizează prin deplasări și eforturi amplificate în zonele de colț și în tronsoanele înguste față de o clădire aproape dreptunghiulară echivalentă. Pe plan internațional, studiul „Seismic capacity assessment of existing irregular reinforced concrete buildings” [4] aplică o analiză statică neliniară adaptivă pe trei clădiri neregulate, inclusiv clădirea experimentală SPEAR (Seismic Performance Assessment and Rehabilitation) și două clădiri Z1 și Z2 din zona Zeytinburnu, Istanbul, și arată că evaluarea clădirilor din beton armat cu neregularități în plan necesită o analiză tridimensională și o abordare neliniară, deoarece aceste configurații dezvoltă cerințe seismice mai mari și dezvoltă un răspuns seismic mai nefavorabil decât clădirile regulate. O lucrare recentă [5] confirmă prin analize dinamice efectuate pe două clădiri în cadre din beton armat, cu regim de înălțime P+10 și P+20, modelate atât în variante regulate, cât și cu patru tipuri de neregularități (de masă, de rigiditate, de geometrie verticală și de plan), că neregularitatea în plan, printre altele, se traduce, în general, prin deplasări maxime mai mari și cerințe sporite de ductilitate față de soluțiile regulate. În ceea ce privește efectele torsionale, sinteze recente și studii dedicate clădirilor cu planuri asimetrice [6] arată că structurile cu distribuție neuniformă în plan a rigidității și masei (de tip L, T, U) sunt mult mai sensibile la unghiul de acțiune al undelor seismice, care pot influența sensibilitatea la torsiunea de ansamblu a structurii și concentrarea eforturilor în stâlpii marginali ai cadrelor de la capetele aripilor și la nivelul planșeelor, în special în zonele cu colțuri intrânde, iar soluțiile de remediere (rosturi seismice, pereți de forfecare în colț) reduc, fără a le elimina complet, vulnerabilitatea la torsiune.

Pe baza acestor rezultate teoretice și experimentale, care evidențiază rolul decisiv al regularității în plan asupra răspunsului seismic, se justifică realizarea unui studiu comparativ aplicat între configurații regulate și neregulate, în condițiile unui amplasament cu hazard seismic ridicat și bine definit – București. Zona de proiectare aferentă municipiului București este caracterizată de acțiuni seismice puternice asociate sursei Vrancea și de valori ridicate ale accelerației de vârf conform hărții de zonare seismică din P100-1/2013 [1]. Studiul analizează patru variante de configurare în plan: o structură rectangulară regulată, adoptată ca model de referință, și trei structuri neregulate: în formă de U, în formă de L cu aripi egale și în formă de L cu aripi inegale. Pe baza rezultatelor analizei statice liniare cu spectre de răspuns s-au formulat concluzii privind rolul decisiv al regularității în plan în asigurarea unui răspuns seismic favorabil al structurilor din beton armat.

2. Studiu de caz

2.1 Configurația modelelor investigate și criteriile de proiectare

S-a realizat un studiu aplicativ asupra a patru structuri în cadre din beton armat, ale căror configurație în plan este prezentată în Figura 10, iar nomenclatura adoptată pentru modelele studiate este următoarea:

- StructREC** - structura rectangulară de referință, cu 4 deschideri $\times 6,0$ m și 5 travee $\times 6,0$ m
- StructU** – structură în formă de U
- StructL-EG** – structură în formă de L cu aripi egale
- StructL-INEG** – structură în formă de L cu aripi inegale

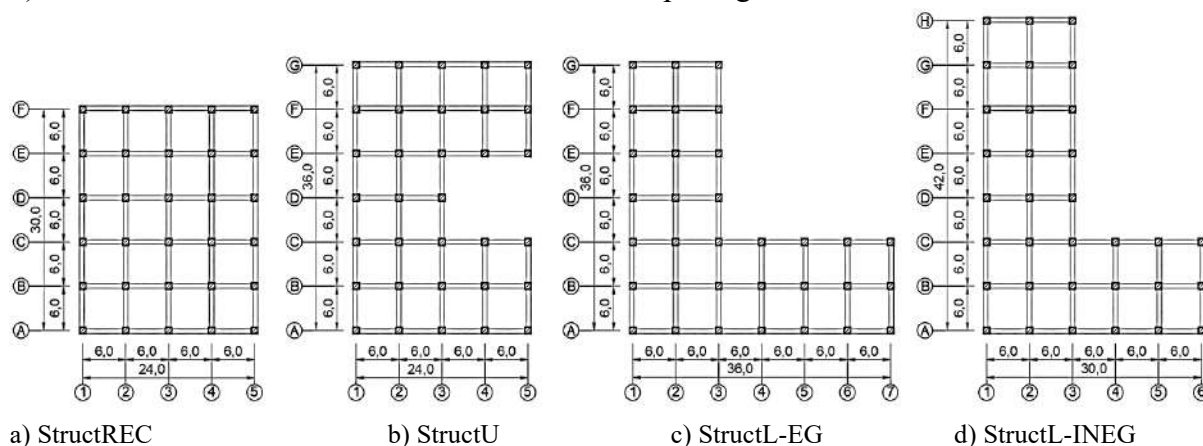


Figura 17. Configurația în plan a structurilor analizate

Este important de menționat următoarele ipoteze care au fost luate în considerare la elaborarea modelelor de calcul:

- 1) Toate modelele au aceeași arie a planșeului (720 m^2), și respectiv, masă de nivel, precum și caracteristici de proiectare identice – deschideri, travee, secțiuni, materiale, încărcări;
- 2) Regimul de înălțime pentru toate modelele este P+3, cu înălțimea de nivel de $3,00$ m;
- 3) Dimensiunile elementelor structurale: stâlpi $0,50 \times 0,50$ m; grinzi $0,30 \times 0,55$ m;
- 4) Materialul utilizat pentru elementele structurale este beton clasa C30/37, iar pentru verificarea deplasărilor, conform prevederilor §E.2 alin. (2) din P100-1/2013 [1], rigiditatea la încovoire a secțiunilor din beton armat s-a considerat egală cu jumătate din valoarea corespunzătoare secțiunilor nefisurate, adică $0,5E_cI_g$ ($E=16,5 \text{ N/mm}^2$);
- 5) Pentru amplasamentul - București, accelerația de vârf a terenului este $a_g=0,30g$, iar perioadele de control: $T_B=0,32s$, $T_C=1,60s$ și $T_D=2,00s$;
- 6) Clasa de importanță și expunere a clădirii – III, conform P100/2013 [1], cu factorul de importanță $\gamma_{I,e}=1,0$, având destinația de clădire de birouri. Structurile au fost proiectate pentru clasa de ductilitate medie DCM, iar factorul de comportare adoptat în analiză este $q=4,73$.

Încărcările gravitaționale sunt prezentate în Tabelul 5, iar acțiunea seismică a fost luată în calcul prin spectrul de proiectare ilustrat în Figura 18. Calculul a fost efectuat la combinația seismică de proiectare conform relației (6.11) din CR 0-2012 [7]:

$$E_d = \sum_{j=1}^n G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i=2}^m \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

Tabelul 5. Încărcări gravitaționale

Categorie de încărcări	Notație	Valoare de proiectare
Permanente	GP (greutate proprie)	automat
	PCF (pardoseli, compartimentări, finisaje)	2,50 kN/m ²
Variabile	Q _k (utilă)	3,00 kN/m ²
	Z _k (zăpadă)	1,60 kN/m ²

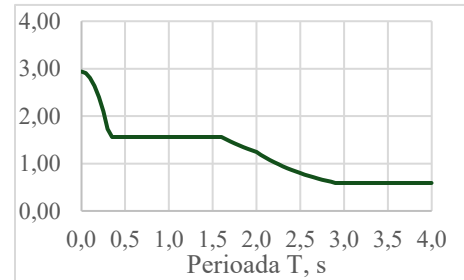


Figura 18. Spectrul de proiectare-accelerații

Analiza s-a realizat în programul SAP2000, printr-un calcul liniar elastic cu spectre de răspuns, în conformitate cu prevederile P100-1/2013 [1] și cu respectarea cerinței ca suma maselor modale efective ale modurilor considerate să depășească 90% din masa totală a structurii (au fost luate în calcul 6 moduri de vibrație). Modelele au fost considerate structuri spațiale în cadre din beton armat, cu stâlpi încastrați la bază și cu planșee rigide în plan, capabile să asigure efectul de șaibă.

3. Calculul structural și interpretarea rezultatelor

Ca rezultat al analizei modale cu spectre de răspuns, au fost extrase și interpretate un set de rezultate relevante privind influența regularității în plan asupra răspunsului seismic. Pentru a stabili un context de interpretare al acestor rezultate, se prezintă o analiză a cerințelor privind regularitatea în plan stipulate în P100-1/2013, relevante pentru structurile analizate.

Cerința (1) din §4.4.3.2, P100-1/2013

Codul de proiectare prevede că structura trebuie să fie aproximativ simetrică în plan în raport cu două direcții ortogonale. În baza acestei cerințe, se poate considera regulată doar StructREC – structură simetrică față de cele două axe principale care sunt și direcții de acțiune ale mișcării seismice. StructU, StructL-EG și StructL-INEG se încadrează la structuri neregulate.

Cerința (2) din §4.4.3.2, P100-1/2013

Normele precizează că structura se consideră a prezenta suficientă regularitate dacă aria retragerilor în plan nu depășește 10% din aria planșeului.

$$\text{StructU: } S_{\text{infăș}} - S_{\text{planșeu}} = 864 - 720 = 144 \text{ m}^2 > 10\% S_{\text{planșeu}} = 72 \text{ m}^2 \quad (2)$$

$$\text{StructL-EG: } S_{\text{infăș}} - S_{\text{planșeu}} = 1296 - 720 = 576 \text{ m}^2 > 10\% S_{\text{planșeu}} = 72 \text{ m}^2 \quad (3)$$

$$\text{StructL-INEG: } S_{\text{infăș}} - S_{\text{planșeu}} = 1260 - 720 = 540 \text{ m}^2 > 10\% S_{\text{planșeu}} = 72 \text{ m}^2 \quad (4)$$

După cum se poate concluziona din calculele prezentate mai sus, acest criteriu de încadrare confirmă clasificarea din paragraful precedent, unica structură care se poate considera regulată rămânând clădirea rectangulară – StructREC, care nu prezintă retrageri în plan.

Cerința (5) din §4.4.3.2, P100-1/2013

Această cerință apreciază sensibilitatea la torsiunea de ansamblu pe baza raportului dintre deplasarea maximă înregistrată pe perimetrul construcției în combinația seismică de



proiectare, și 135% din media deplasărilor maxime și minime. Se menționează și recomandarea decuplării modurilor de vibrație torsiune cu cele de translație.

Tabelul 6. Verificarea sensibilității la torsiune a structurilor studiate

	$d_{abs,max,X}$	$1,35 \times d_{abs,med,X}$	$d_{abs,max,Y}$	$1,35 \times d_{abs,med,Y}$
StructREC	17,160	23,166	18,435	24,887
StructU	19,421	24,338	17,507	21,319
StructL-EG	35,073	40,144	35,119	40,206
StructL-INEG	31,611	27,058	38,436	32,191

În Tabelul 6 sunt sistematizate comparativ valorile deplasărilor absolute maxime la vârful structurilor și 135% din valoarea medie a deplasărilor maxime și minime înregistrate în aceeași combinație de calcul. Se observă că pentru primele 3 structuri, deplasările maxime nu depășesc cu mai mult de 35% media deplasărilor maxime și minime, excepție constituind doar StructL-INEG, care poate fi categorizată ca fiind sensibilă la torsiunea de ansamblu. Conform prevederilor §5.2.2.2 din P100-1/2013, pentru structuri flexibile la torsiune, factorul de comportare q este limitat superior la valoarea 2,0 (față de 4,73). În aceste condiții, forța seismică de proiectare va crește de 2,36 ori, implicând o redimensionare a structurii și o proiectare inefficientă economic, cu un consum de materiale sporit.

Acestea fiind prezentate, se poate concluziona că prevederile P100-1/2013 privind regularitatea în plan sunt parțial independente și, deși unele structuri pot fi definite ca fiind neregulate în plan, gradul lor de expunere la efectele de torsiune diferă mult de la caz la caz.

În cele ce urmează se prezintă o analiză comparativă a rezultatelor calculului structural în termeni de moduri de vibrație și caracteristicile acestora, precum și a deplasărilor relative de nivel determinate din combinațiile seismice de proiectare, și verificate la stările limită.

Tabelul 7. Perioadele proprii și masele modale efective în primele 3 moduri de vibrație

	Mod de vibrație	T (s)	$M^*_{n,x}$ (%)	$M^*_{n,y}$ (%)	$M^*_{n,z}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,x}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,y}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,z}$ (%)
StructREC	1	0,555	0,0%	84,3%	0,0%	0,0%	84,3%	0,0%
	2	0,547	84,5%	0,0%	0,0%	84,5%	84,3%	0,0%
	3	0,496	0,0%	0,0%	84,5%	84,5%	84,3%	84,5%
StructU	Mod de vibrație	T (s)	$M^*_{n,x}$ (%)	$M^*_{n,y}$ (%)	$M^*_{n,z}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,x}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,y}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,z}$ (%)
	1	0,695	84,2%	0,0%	0,0%	84,2%	0,0%	0,0%
	2	0,694	0,0%	84,2%	0,0%	84,2%	84,2%	0,0%
StructL-EG	3	0,639	0,0%	0,0%	84,3%	84,2%	84,2%	84,3%
	Mod de vibrație	T (s)	$M^*_{n,x}$ (%)	$M^*_{n,y}$ (%)	$M^*_{n,z}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,x}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,y}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,z}$ (%)
	1	0,699	38,9%	38,9%	0,7%	38,9%	38,9%	0,7%
StructL-INEG	2	0,695	42,1%	42,1%	0,8%	81,0%	81,0%	1,6%
	3	0,648	3,2%	3,2%	0,1%	84,2%	84,2%	1,6%
	Mod de vibrație	T (s)	$M^*_{n,x}$ (%)	$M^*_{n,y}$ (%)	$M^*_{n,z}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,x}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,y}$ (%)	$\Sigma M^*_{n,z}$ (%)
	1	0,710	0,4%	78,0%	5,5%	0,4%	78,0%	5,5%
StructL-INEG	2	0,688	81,8%	1,0%	1,5%	82,2%	79,0%	7,1%
	3	0,653	2,2%	5,1%	77,0%	84,4%	84,1%	84,1%

Pe măsură ce gradul de neregularitate în plan al unei structuri crește, se observă o creștere a perioadei proprii de vibrație în primele moduri proprii de vibrație. Spre exemplu, se remarcă o

creștere a perioadei fundamentale de la $T_1=0,555s$ în cazul structurii rectangulare, la $T_1=0,709s$ pentru structura în formă de L cu aripi inegale. Această tendință poate fi explicată prin faptul că neregularitățile în plan conduc la sporirea excentricității maselor în raport cu centrul de rigiditate și a contribuției efectelor de torsiune, favorizând o amplitudine mai mare a deplasărilor și în consecință sporind flexibilitatea și perioada proprie.

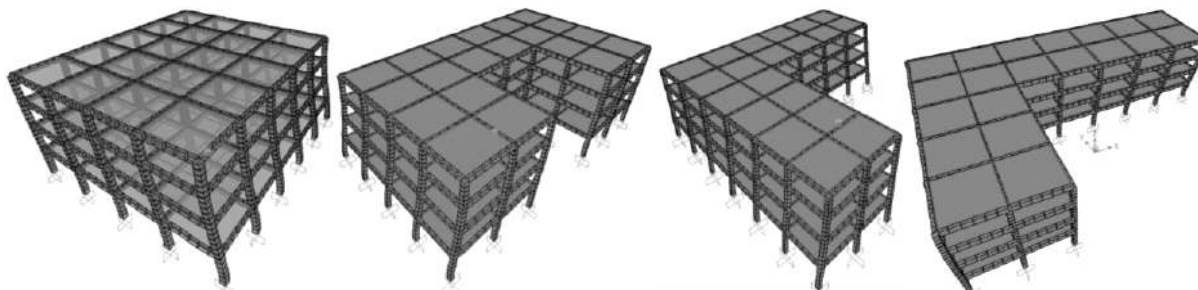


Figura 19. Deformatele structurilor în modul fundamental de vibrație

Masa modală efectivă reprezintă fracțiunea din masa totală a structurii care participă la răspunsul seismic corespunzător unui anumit mod de vibrație. Conform normativului P100-1/2013 [1], concentrarea masei modale în modurile fundamentale de translație este dezirabilă pentru a asigura un răspuns structural predictibil și eficient. Analiza efectuată relevă o distribuție a maselor modale în oscilațiile de translație pe una dintre cele două direcții ale acțiunii seismice, în primele două moduri de vibrație, pentru StructREC și StructU. În cazul StructL-EG se poate observa o contribuție relativ redusă a maselor la componenta de răsucire, chiar în modul fundamental, însoțită de o repartizare aproape egală a maselor la oscilația de translație pe direcțiile X și Y. Acest fapt poate fi explicat prin simetria structurii în formă de L cu aripi egale față de o axă diagonală, ceea ce implică limitarea efectelor torsionale din cauza distanței reduse dintre centrul de masă și centrul de rigiditate al structurii. În contrast, StructL-INEG prezintă o contribuție de cca 5,5% la oscilația de răsucire în modul fundamental, confirmând sensibilitatea la torsiunea de ansamblu identificată anterior. Totuși, toate modelele respectă cerința de decuplare a modurilor de vibrație torsiune cu cele de translație, așa cum este prevăzut în P100-3/2017 §6.3.2 [8]. Deformatele structurilor sunt prezentate în Figura 19.

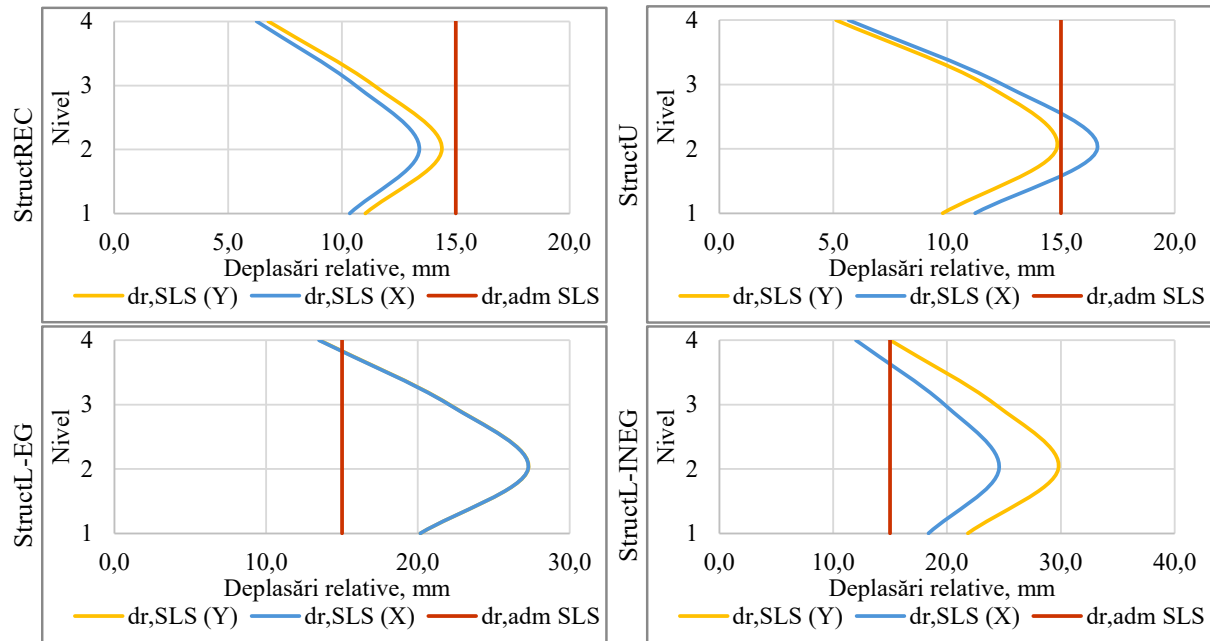


Figura 20. Verificarea deplasărilor relative de nivel la starea limită de serviciu (SLS)

Pe baza diagramelor distribuțiilor deplasărilor relative de nivel pentru fiecare dintre structuri, prezentate în Figura 20, s-au formulat o serie de concluzii care validează importanța regularității în plan în raport cu cerințele de siguranță structurală și limitare a degradărilor. Structura de referință StructREC a fost dimensionată inițial din criteriul de limitare a driftului la SLS, fapt prezentat în prima diagramă. Deplasările relative sunt mai mari pe direcția transversală a clădirii. O observație interesantă este inversarea direcției slabe a clădirii, respectiv creșterea amplitudinii driftului pe axa X pentru StructU, fenomen care poate fi explicat de flexibilizarea structurii pe direcție longitudinală datorită retragerii în plan. Pentru StructL-EG, se remarcă depășirea driftului admisibil la primele trei nivele, pe ambele direcții în egală măsură. Acest răspuns confirmă constatarea prezentată anterior, prin care se admite ipoteza influenței creșterii excentricității între centrele de masă și de rigiditate, în acest caz similară pe ambele direcții de calcul. Previzibil, odată cu restructurarea configurației clădirii și obținerea unei structuri asimetrice StructL-INEG, se poate observa o diferență considerabilă între deplasările înregistrate pe cele două direcții, respectiv răspunsuri diferite funcție de direcția de acțiune a mișcării seismice considerate. Driftul maxim înregistrat pe direcția Y înregistrează o creștere aproape dublă în acest caz, față de structura de referință, iar pe direcția X – o creștere de cca 1,84 ori. Un alt aspect care merită accentuat este că deplasarea relativă la vârful structurii se verifică la SLS pentru toate structurile, în timp ce valorile deplasărilor la nivelul 2 înregistrează cele mai mari valori, indicând o concentrare a deformabilității la nivelurile inferioare. Această comportare este explicabilă prin forma modului fundamental de vibrație și condițiile de rezemare la bază, care conduc la o variație neliniară a deplasărilor pe înălțime.

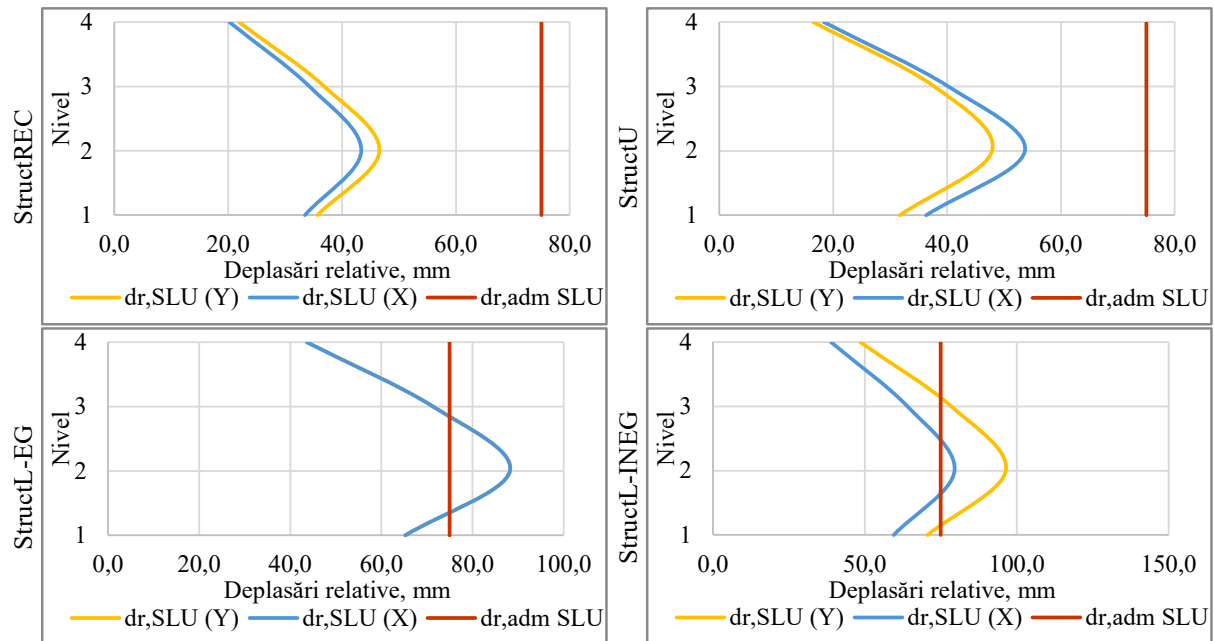


Figura 21. Verificarea deplasărilor relative de nivel la starea limită ultimă (SLU)

Conformarea structurilor la criteriul de siguranță a vieții, reflectată în verificarea deplasărilor relative de nivel la Starea Limită Ultimă (SLU) este prezentată în Figura 21. Întrucât cerințele SLU sunt mai puțin restrictive decât la SLS, se observă o reducere a numărului de depășiri a valorilor admisibile ale drifturilor. Astfel, doar pentru structurile în formă de L verificarea la SLU nu este satisfăcută, în special la nivelul 2, indicând o distribuție similară a deplasărilor de nivel la ambele stări limită, dar cu diferite amplitudini. Întrucât StructL-EG are rigidități similare pe cele două direcții principale, valorile drifturilor pe direcția X și Y sunt aproape identice. În același timp, StructL-INEG, datorită diferențelor de rigiditate ale aripilor, are o deplasare mai redusă pe direcția X decât pe direcția Y.

4. Concluzii

Rezultatele studiului evidențiază faptul că, pe măsură ce gradul de neregularitate în plan crește, răspunsul seismic al structurilor analizate devine mai nefavorabil, iar drifturile relative de nivel tind să depășească din ce în ce mai frecvent valorile admise. StructREC, regulată în plan, satisface toate verificările la SLS și SLU, în timp ce StructU nu mai respectă criteriul SLS. StructL-EG și StructL-INEG prezintă depășiri și la SLU. Pentru varianta StructL-INEG, cu neregularitate mai accentuată, numărul nivelurilor la care nu se respectă driftul admisibil la SLU crește, confirmând influența directă a neregularității asupra amplificării deplasărilor laterale și efectelor de torsiune generate de excentricitatea dintre centrele de masă și rigiditate. Deși conform unor criterii din codul de proiectare P100-1/2013, StructU și StructL-EG pot fi considerate cu sensibilitate torsională moderată, arată depășiri ale deplasărilor admisibile. Se observă că efectele neregularității în plan nu se manifestă uniform, ci depind semnificativ de tipul geometriei și de distribuția rigidității pe direcțiile principale. Acest aspect evidențiază faptul că simpla încadrare „regulat/neregulat” nu este suficientă pentru caracterizarea completă a răspunsului seismic. Se evidențiază, de asemenea, că evaluarea răspunsului seismic trebuie realizată prin calcul spațial chiar și pentru structuri aparent simple, întrucât



efectele de interacțiune între modurile de vibrație pot modifica semnificativ distribuția drifturilor. În ansamblu, rezultatele susțin ideea că optimizarea formei în plan reprezintă un criteriu esențial în proiectarea seismică, cu impact direct atât asupra cerințelor de siguranță, cât și asupra celor de exploatare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] P100 1/2013 - Cod de proiectare seismică – Partea I. Prevederi de proiectare pentru clădiri, București: Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, 2013.
- [2] European Committee for Standardization, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1), Brussels: CEN, 2004.
- [3] I. B. Dragomir – INCERC București, „Amplificarea dinamică a clădirilor neregulate,” Construcții, vol. 1, pp. 54-60, 2009.
- [4] H. B. R. Oyguc, „Seismic Capacity Assessment Of Existing Irregular Reinforced Concrete Buildings,” în 15 WCEE, Lisboa, 2012.
- [5] D. Annapurna, Ezatullah Yaqubi, P. Anuradha, K.L. Radhika, „Seismic response of RC framed irregular structures,” Materials Today: Proceedings, Vol. 1 din 293, part 3, pp. 530-537, 2023.
- [6] M. Mubashir, „Study on Torsional Response of Irregular Buildings under Seismic Loading,” Kothamangalam: International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2022.
- [7] CR 1-1-3/2012. Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor, București: MDRAP, 2012.
- [8] P100-3/2019. Cod de proiectare seismică – Partea a III-a – Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, București: MDRAP, 2019.
- [9] CR 0-2012 - Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor, București: Monitorul Oficial al României, MDRAP, 2012.



PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ȘI ACUSTICE ALE BETONULUI ECOLOGIC CU CAUCIUC

Autor/autori

Anita VASS¹, Marinela-Daniela VÂRTELEAN²

¹ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: vass.le.anita@student.utcluj.ro

² Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: vartelean.du.ma@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Camelia NEGRUȚIU³

Conf.Dr.Ing. Roxana TĂMAȘ-GAVREA⁴

³ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, e-mail: camelia.negrutiu@dst.utcluj.ro

⁴ Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, email: roxana.tibrea@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: *Deșeurile de cauciuc produse de industria automobilistică au un efect poluant asupra mediului. Pentru a recicla anvelopele într-un mod eficient am propus încorporarea cauciucului în beton. Comportarea acestui material a fost studiată din punct de vedere al rezistențelor mecanice și a comportării acustice. Pentru a evidenția diversitatea cauciucului ca material, a fost realizat o rețetă de beton în care o cantitate de 50% din agregatele naturale au fost înlocuite cu granule reciclate de cauciuc. Astfel au fost propuse probe de diferite dimensiuni pentru efectuarea încercărilor fizico-mecanice și acustice. Rezultatele finale evidențiază că probele turnate din această rețetă au rezistențe considerabile la compresiune și se comportă favorabil din punct de vedere acustic.*

Cuvinte cheie: *optimizare, frecvențe, cauciuc, zgomot*

1. Introducere

Realizarea unui beton durabil, cu proprietăți acustice adecvate presupune eficientizarea rețetei de beton simplu. Construcțiile moderne trebuie să asigure nu numai siguranță ci și confort locuitorilor. Izolarea acustică presupune minimizarea zgomotelor perturbatoare în interiorul spațiilor locuite. Conform Badida et al., granulele de cauciuc reciclate din anvelope au proprietăți acustice bune, când sunt testate în formă de cuburi [7].

Un studiu de Jedidi M. et al afirmă că un amestec din beton fluid și cauciuc poate absorbe eficient zgomotul în încăperi [8].

Acest studiu propune analiza unor probe de beton cu cauciuc din mai multe puncte de vedere. În primul rând, evidențiază posibilitatea realizării a unui beton mai ușor și elastic care chiar dacă prezintă o slăbire de rezistență, poate fi utilizat ca și un element nestructural și are proprietăți acustice optime.

2. Program experimental

2.1. Rețete de beton

Rețeta de beton simplu a fost modificată, înlocuind 50% din agregatele naturale cu cauciuc granulat, reciclat din anvelope . Cimentul folosit a fost un ciment Portland compozit având clasa de rezistență 52.5.

Ca strat de absorbție a fost aplicat un strat de pietriș de 2 cm. Amplasarea acestui strat era necesar pentru prevenirea disipării laptelui de ciment din probă înainte ca betonul să intre în priză. Ulterior stratul de pietriș nu a putut fi îndepărtat, nici cu ajutorul unor substanțe pentru decofrarea betonului de înaltă rezistență, cel mai probabil datorită reacțiilor chimice care sunt formate între cauciuc și restul amestecului.

Tabelul 1. Materiale folosite

	Rețeta standard	Rețeta cu cauciuc
	1 m ³ (kg)	0.07 m ³ (kg)
CEM II/A 52.5R	300	21.16
apă	187	13.19
superplastifiant	5.70	0.4
agregat/cauciuc	829.5	58.52



Figura 1. Probele turnate din rețeta



Figura 2.Substrat de absorbție din pietriș de beton cu cauciuc

2.2. Proprietăți fizico-mecanice

Rezistențele la compresiune, încovoiere și despicare au fost testate cu ajutorul a mai multor aparate. Au fost efectuate două turnări separate, astfel asigurând măsurarea rezistențelor

cu mijloace diferite. De asemenea aceste rezultate au fost comparate cu probe etalon de dimensiuni identice.

2.2.1. Rezistența la compresiune

Cuburile testate la compresiune au prezentat rezistențe slabe comparativ cu proba de beton simplu, AE, care poate fi clasificat ca și un beton de înaltă performanță[5].

Cuburile A1,A2,A3,M1,M2 (cu rețeta cu cauciuc) și AE,ME,DE (cu rețeta de beton simplu) au fost testate cu ajutorul preseii “Avantest”(denumită metoda 1 de testare), iar probele R1.1, R1.2, R2.1, R2.2, RE.1.1 , RE.1.2 au fost testate cu aparatul “Tecnotest”(denumită metoda 2 de testare). În urma acestor testări betonul testat are clasa C16/20.

Rezistențele la compresiune au fost calculate conform standardului român SR-EN 12390-3[9], cu relația (1):

$$f_{cm.cub} = \frac{F}{A} (N/mm^2) \quad (1)$$

unde F= valoarea maxima a forței, A= aria secțiunii cubului.

Figura 3. Diagramele încercărilor la compresiune a probelor cu cauciuc cu metoda 1 de testare

Probă	Masa (kg)	Densitate (kg/m ³)	Compresiune		Media (N/mm ²)
			F _{rupere} (kN)	f _{cm.cub} (N/mm ²)	
A1	4.01	1188.15	46.41	2.063	1.95
A2	4.205	1245.93	42.97	1.91	
A3	4.23	1253.33	41.95	1.864	
AE	8.26	2447.41	1633.67	72.67	72.67

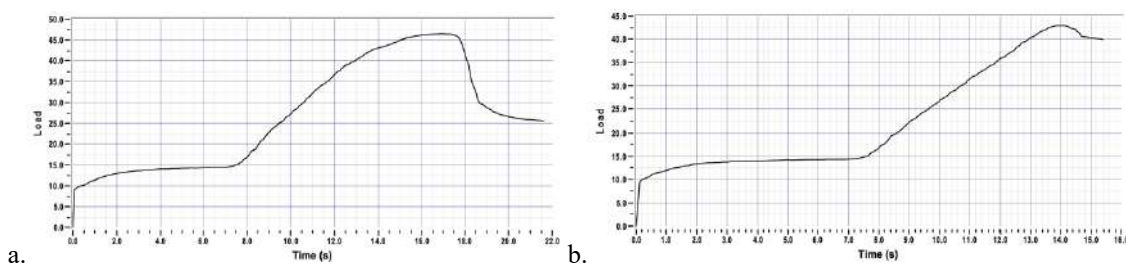


Figura 4. Diagramele încercării la compresiune a probei A1 (a.) și A2 (b.)

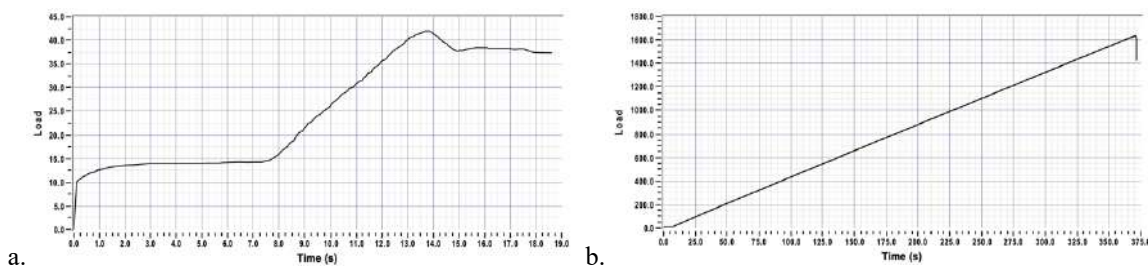


Figura 5. Diagramele încercării la compresiune a probei A3 (a.) și AE (b.)



Tabelul 2. Rezistențele la compresiune măsurate pe probe de 40x40x160 mm cu metoda 2 de testare

Probă	Masa (kg)	Densitate (kg/m ³)	Compresiune		Media (N/mm ²)
			F _{rupere} (kN)	f _{cm.cub} (N/mm ²)	
R1.1	0.3397	1326.95	3.47	2.16	2.175
R1.2	0.3397	1326.95	3.8	2.37	
R2.1	0.3426	1338.28	3.06	1.91	
R2.2	0.3426	1338.28	3.62	2.26	
RE.1.1	0.5539	2163.67	60.62	37.88	40.015
RE1.2	0.5539	2163.67	67.44	42.15	

2.2.2. Rezistența la întindere prin încovoiere

Calcululele pentru a afla rezistențele la încovoiere au fost efectuate conform SR EN 123905-5 [10], cu ajutorul relației (2):

$$f_{ct,fl} = \frac{F \cdot l}{d^3} (N/mm^2) \quad (2)$$

unde F= valoarea maxima a forței,

l= distanța dintre reazeme,

d= latura secțiunii transversale a prisme.

Tabelul 3. Rezistențele la încovoiere a probelor cu metoda 1 de testare

Nr. probă	Masa (kg)	Densitate (kg/m ³)	Încovoiere		Medie (N/mm ²)
			F _{rupere} (kN)	f _{ct,fl} (N/mm ²)	
M1	3,36	1120	2,442	0,24	0,23
M2	3,15	1050	2,191	0,22	
ME	7,29	2430	15,382	1,54	1,54

2.2.3. Rezistența la întindere prin despicare

Pe probele de beton cu cauciuc nu am putut să înregistrăm rezistențe la despicare, spre deosebire de proba etalon din beton simplu.

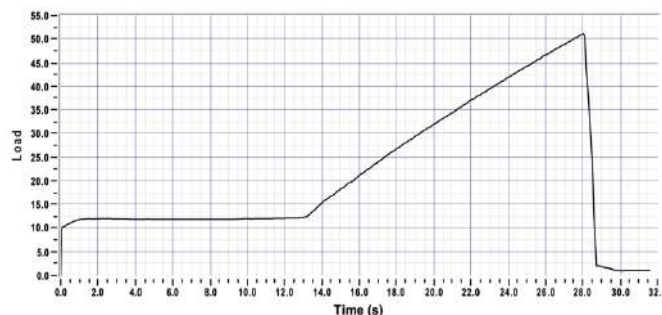


Figura 6. Diagrama încercării la întindere prin despicare a probei DE



Figura 7. Poze cu încercările de compresiune, întindere prin încovoiere și întindere prin despicare (de la stânga la dreapta) cu metoda 1 de testare

2.3. Proprietăți acustice

Pentru a evidenția proprietățile acustice ale unei compoziții de beton cu cauciuc, au fost turnate plăci de dimensiunea 600x300 mm cu diferite înălțimi 50÷70 mm, care au fost testate ca și dale flotante. Proba etalon a fost considerată șapa din beton simplu având dimensiunile 600x300x50 mm. De asemenea cauciucul a fost valorificat și prin realizarea unei saltele de cauciuc de dimensiunea 600x300x20 mm, utilizându-se ca liant un lipici lichid, rezistent, marca Bison. Probele au fost testate ca și șape de beton.

După efectuarea testelor acustice pe probele de beton obținute, o saltea de cauciuc a fost amplasată sub proba care a înregistrat cele mai bune proprietăți acustice.

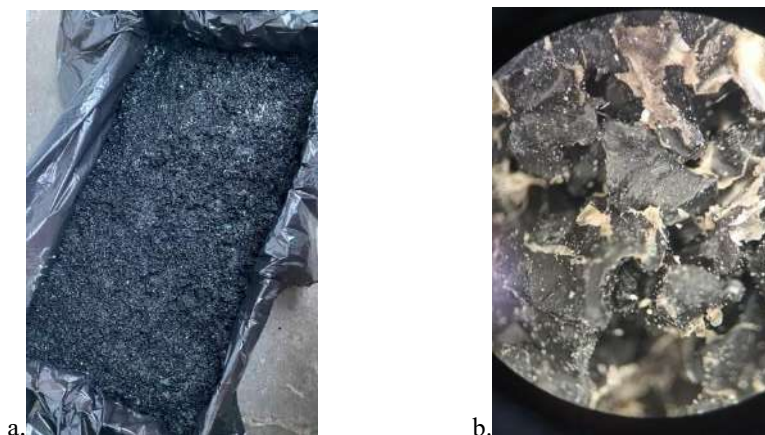


Figura 8. Salteaua de cauciuc de dimensiunea 600x300x20 mm (a.), văzută la microscop (b.)



Conform C125-1-2013, zgomotul de impact normalizat se determină prin aplicarea relației(3):

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (3)$$

unde L_i =nivelul de zgomot în sala de recepție, A = aria de absorbție echivalentă, A_0 = aria de absorbție acustică echivalentă de referință ($A_0 = 10 \text{ m}^2$)

$$A = 0.167 \frac{V}{T}$$

unde V =volumul încăperii în m^3

$$V = 12.2\text{m} \cdot 2.4\text{m} \cdot 2.8\text{m} = 81.984 \text{ m}^3$$

Nivelul de zgomot în sala de recepție (L_i) a fost determinat cu ajutorul unui ciocan de impact tip Bruel&Kjaer, în conformitate cu cerințele standardului SR EN ISO 16283-2.



Figura 9. Testarea acustică a probelor cu ciocanul de impact

Valorile nivelului de zgomot la impact înregistrate în sala de recepție sunt prezentate în Tabelul 4.

Tabelul 4. Nivelul de zgomot în sala de recepție (L_i)

Frecvența (Hz)	Proba etalon (dB)	Proba 1 (dB)	Proba 2 (dB)	Proba 3 (dB)	Proba 4 (dB)	Proba 5 (dB)	Proba 3 cu saltea de cauciuc (dB)	Planșeu cu mozaic (dB)	Zgomot ul de fond în sala de recepție (dB)	Durata de reverber ație în sala de recepție T (s)
100	56.2	55.2	56.8	54.6	55.6	59.3	34.9	52.6	32.2	0.88
125	62.2	60.8	60.6	58.5	59.8	65.3	34.1	59.2	32.3	1.28
160	61.2	59.7	59	62	58.7	60.1	32.5	57	28.1	1.21



200	66.6	64.2	61.5	58.8	64.1	62.7	36.5	63.3	36.2	0.9
250	66.2	64.3	67.3	59.6	68.5	65.3	34.3	68.1	33.8	0.97
315	65.4	64.5	62.4	57.1	63.3	62.3	39.3	66.3	40.6	1.15
400	60.2	62.2	57.2	51.1	58.2	54.1	35.8	67.2	36.9	0.86
500	63.1	61.2	56.2	47.1	58.1	49.4	31.7	66.5	30	0.86
630	66	63.4	53.2	42.2	55.1	47.1	34.6	68.6	31.9	0.75
800	61	58.3	46.7	37.8	50.1	45	30.2	65.9	29.9	0.78
1000	53.2	50.4	41.9	33.1	44.8	38.3	25.9	64.3	22.2	0.73
1250	46.1	43.4	32.8	31.4	35.1	31.8	21.6	60.4	19.5	0.67
1600	44.9	42	25.6	25.8	25.7	24	18.6	58.6	16.8	0.67
2000	38.9	35.9	20.9	23.5	20.8	20.7	18.8	55.7	16.6	0.7
2500	41	38.1	18.5	21.7	17.4	20	18	53.7	15.4	0.65
3150	38.3	35.4	20.9	20.5	15.8	21.8	17.1	52.2	14.9	0.56

Zgomotul de impact normalizat a fost determinat pe baza valorilor măsurate, prin aplicarea corecțiilor standard necesare, fiind prezentat în tabelul 5.

Tabelul 5. Zgomotul de impact normalizat (L_n)

Frecvența (Hz)	Proba etalon (dB)	Proba 1 (dB)	Proba 2 (dB)	Proba 3 (dB)	Proba 4 (dB)	Proba 5 (dB)	Proba 3 cu saltea de cauciuc (dB)	Planșeu cu mozaic (dB)
100	58.0	57.0	58.6	56.4	57.4	61.1	36.7	54.4
125	62.4	61.0	60.8	58.7	60.0	65.5	34.3	59.4
160	61.6	60.1	59.4	62.4	59.1	60.5	32.9	57.4
200	68.3	65.9	63.2	60.5	65.8	64.4	38.2	65.0
250	67.6	65.7	68.7	61.0	69.9	66.7	35.7	69.5
315	66.1	65.2	63.1	57.8	64.0	63.0	40.0	67.0
400	62.1	64.1	59.1	53.0	60.1	56.0	37.7	69.1
500	65.0	63.1	58.1	49.0	60.0	51.3	33.6	68.4
630	68.5	65.9	55.7	44.7	57.6	49.6	37.1	71.1



800	63.3	60.6	49.0	40.1	52.4	47.3	32.5	68.2
1000	55.8	53.0	44.5	35.7	47.4	40.9	28.5	66.9
1250	49.1	46.4	35.8	34.4	38.1	34.8	24.6	63.4
1600	47.9	45.0	28.6	28.8	28.7	27.0	21.6	61.6
2000	41.7	38.7	23.7	26.3	23.6	23.5	21.6	58.5
2500	44.1	41.2	21.6	24.8	20.5	23.1	21.1	56.8
3150	42.1	39.2	24.7	24.3	19.6	25.6	20.9	56.0

Tabelul 6. Compararea curbei $\text{Ln}(f)$ pentru fiecare probă cu curba etalon

Frecvențele (Hz)	Valorile măsurate pentru proba etalon (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatăre cu 1 dB	Abatere defavorabilă (dB)	Valorile măsurate pentru proba 1 (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatăre cu 0 dB	Abatere defavorabilă (dB)
1	2	3	4	5=4-2	2	3	4	5=4-2
100	58.0	62	63	-5.0	57.0	62	62	5.0
125	62.4	62	63	-0.6	61.0	62	62	1.0
160	61.6	62	63	-1.4	60.1	62	62	1.9
200	68.3	62	63	5.3	65.9	62	62	-3.9
250	67.6	62	63	4.6	65.7	62	62	-3.7
315	66.1	62	63	3.1	65.2	62	62	-3.2
400	62.1	61	62	0.1	64.1	61	61	-3.1
500	65.0	60	61	4.0	63.1	60	60	-3.1
630	68.5	59	60	8.5	65.9	59	59	-6.9
800	63.3	58	59	4.3	60.6	58	58	-2.6
1000	55.8	57	58	-2.2	53.0	57	57	4.0
1250	49.1	54	55	-5.9	46.4	54	54	7.6
1600	47.9	51	52	-4.1	45.0	51	51	6.0
2000	41.7	48	49	-7.3	38.7	48	48	9.3
2500	44.1	45	46	-1.9	41.2	45	45	3.8



3150	42.1	42	43	-0.9	39.2	42	42	2.8
				Sumă =-29.2				Sumă =-26.5

Valorile măsurate pentru proba 2 (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatare cu 4 dB	Abatere defavorabilă (dB)	Valorile măsurate pentru proba 3 (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatare cu 7 dB	Abatere defavorabilă (dB)
2	3	4	5=4-2	2	3	4	5=4-2
58.6	62	58	-0.6	56.4	62	55	-1.4
60.8	62	58	-2.8	58.7	62	55	-3.7
59.4	62	58	-1.4	62.4	62	55	-7.4
63.2	62	58	-5.2	60.5	62	55	-5.5
68.7	62	58	-10.7	61.0	62	55	-6.0
63.1	62	58	-5.1	57.8	62	55	-2.8
59.1	61	57	-2.1	53.0	61	54	1.0
58.1	60	56	-2.1	49.0	60	53	4.0
55.7	59	55	-0.7	44.7	59	52	7.3
49.0	58	54	5.0	40.1	58	51	10.9
44.5	57	53	8.5	35.7	57	50	14.3
35.8	54	50	14.2	34.4	54	47	12.6
28.6	51	47	18.4	28.8	51	44	15.2
23.7	48	44	20.3	26.3	48	41	14.7
21.6	45	41	19.4	24.8	45	38	13.2
24.7	42	38	13.3	24.3	42	35	10.7
			Sumă =-30.7				Sumă =-26.8



Valorile măsurate pentru proba 4 (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatăre cu 7 dB	Abatere defavorabilă (dB)	Valorile măsurate pentru proba 5 (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatăre cu 3 dB	Abatere defavorabilă (dB)
2	3	4	5=4-2	2	3	4	5=4-2
57.4	62	59	1.6	61.1	62	59	-2.1
60.0	62	59	-1.0	65.5	62	59	-6.5
59.1	62	59	-0.1	60.5	62	59	-1.5
65.8	62	59	-6.8	64.4	62	59	-5.4
69.9	62	59	-10.9	66.7	62	59	-7.7
64.0	62	59	-5.0	63.0	62	59	-4.0
60.1	61	58	-2.1	56.0	61	58	2.0
60.0	60	57	-3.0	51.3	60	57	5.7
57.6	59	56	-1.6	49.6	59	56	6.4
52.4	58	55	2.6	47.3	58	55	7.7
47.4	57	54	6.6	40.9	57	54	13.1
38.1	54	51	12.9	34.8	54	51	16.2
28.7	51	48	19.3	27.0	51	48	21.0
23.6	48	45	21.4	23.5	48	45	21.5
20.5	45	42	21.5	23.1	45	42	18.9
19.6	42	39	19.4	25.6	42	39	13.4
			Sumă =-30.5				Sumă =-27.2

Valorile măsurate pentru proba 3 cu saltea (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatăre cu 27 dB	Abatere defavorabilă (dB)	Valorile măsurate pentru placa de referință (dB)	Curba etalon (dB)	Valori de referință după translatăre cu 8 dB	Abatere defavorabilă (dB)
2	3	4	5=4-2	2	3	4	5=4-2
36.7	62	35	-1.7	54.4	62	70	15.6
34.3	62	35	0.7	59.4	62	70	10.6



32.9	62	35	2.1	57.4	62	70	12.6
38.2	62	35	-3.2	65.0	62	70	5.0
35.7	62	35	-0.7	69.5	62	70	0.5
40.0	62	35	-5.0	67.0	62	70	3.0
37.7	61	34	-3.7	69.1	61	69	-0.1
33.6	60	33	-0.6	68.4	60	68	-0.4
37.1	59	32	-5.1	71.1	59	67	-4.1
32.5	58	31	-1.5	68.2	58	66	-2.2
28.5	57	30	1.5	66.9	57	65	-1.9
24.6	54	27	2.4	63.4	54	62	-1.4
21.6	51	24	2.4	61.6	51	59	-2.6
21.6	48	21	-0.6	58.5	48	56	-2.5
21.1	45	18	-3.1	56.8	45	53	-3.8
20.9	42	15	-5.9	56.0	42	50	-6.0
			Sumă =-31.2				Sumă =-25.1

Valorile din ultimul rând al Tabelului 6 reprezintă suma abaterilor negative din coloanele corespunzătoare fiecărei probe, astfel încât valoarea finală, să nu depășească 32 dB, menținându-se cât mai aproape de această limită.

A fost calculată valoarea indicelui de îmbunătățire a izolării la zgomot de impact conform C125-2013, cu relația (4):

$$\Delta L_w = L_{n,r,o,w} - L'_{n,r,w} \quad (4)$$

unde ΔL_w = indicele de îmbunătățire a izolării la zgomot de impact corespunzător pardoselii cu dală flotantă, $L_{n,r,o,w}$ = indice de izolare pentru planșee brute din beton armat, $L_{n,r,w}$ = indicele de izolare la zgomot de impact normalizat

Indicii obținuți se compară între ei și cu limitele din C125-1-2013, conform Tabel 7. Valoarea în decibeli a curbei de referință la 500 Hz este $L'_{n,r,w}$

În normativ nu este prezentată o alăturare de tip hol-hol, decât săli de clasă suprapuse. Vom considera această valoare pentru comparație și comentarii.

$$L'_{n,w,nec} = 65 \text{ dB}$$



$L'_{n,w,nec}$ = indicele de izolare la zgomot de impact normalizat, al planșeului brut cu pardoseală, necesar

Tabelul 7. Comparația valorilor între ele și limitele din normativul C125-1-2013

	$L_{n,r,o,w}$ (dB)	$L_{n,r,w}$ (dB)	ΔL_w (dB)	Valoarea maximă a indicielui $L'_{n,r,w}$ (dB)
Proba etalon	78	61	17	65
Proba 1	78	60	18	65
Proba 2	78	56	22	65
Proba 3	78	53	25	65
Proba 4	78	57	21	65
Proba 5	78	57	21	65
Proba 3 cu saltea	78	33	45	65
Placa de referință	78	68	10	65

Sistemul propus cu proba de beton ecologic și saltea de cauciuc a prezentat proprietăți acustice bune, oferind cea mai bună izolare fonică dintre toate probele măsurate.

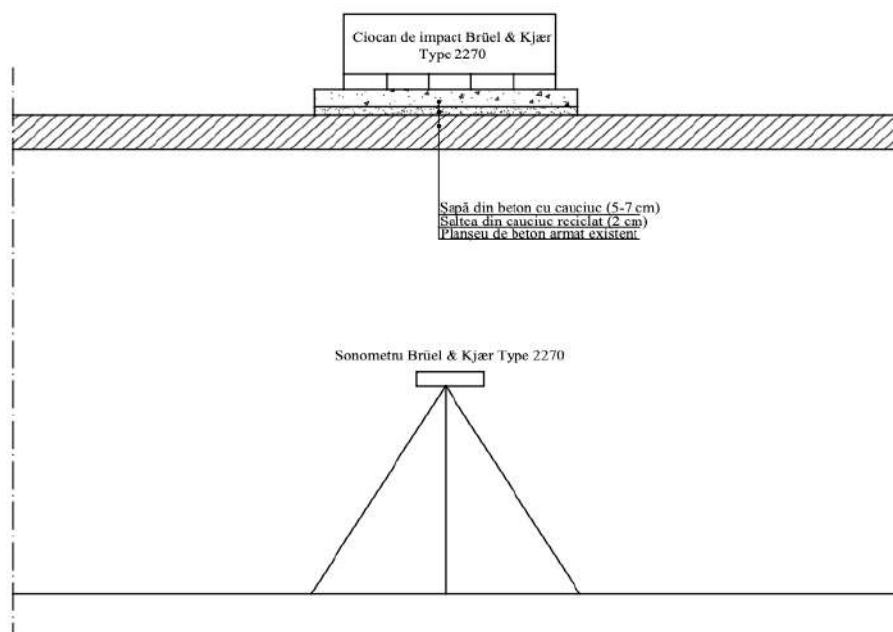


Figura 10. Principiul metodei de testare acustică, exemplu Proba 3



2.4 Analiză de costuri

Conform calculelor efectuate aproximativ, o soluție de pardoseală pe dală flotantă cu șapă și saltea ar costa în jur de 2717 lei (cu TVA)/ mc pentru betonul cu cauciuc, și 13537 lei (cu TVA)/mc pentru saltea.

Tabelul 8. Calcule aferente aproximării de costuri

Beton simplu		Saltea de cauciuc		Beton cu cauciuc	
Material	Cost (RON)	Material	Cost (RON)	Material	Cost (RON)
ciment	345	cauciuc	3120	ciment	345
agregat	25	lipici	10417	agregat	12.5
superplastifianți	203.2		Sumă=13537	superplastifianți	203.2
	Sumă= 573.2			cauciuc	2156.7
				substrat pietriș	0.0075
					Sumă= 2717.4075

3. Concluzii

Rețeta de beton cu cauciuc ar fi o alternativă bună pentru un sistem de pardoseală pe dală flotantă, având proprietăți acustice bune. Soluția amplasării unui strat elastic de tip saltea sub șapa de beton simplu poate îmbunătăți considerabil la zgomotul de impact produs în spații adiacente. Rezistențele mecanice ale probelor cu cauciuc sunt mai mici decât cele ale unei beton simplu. Aceste soluții ar oferi greutatea proprii mai mici unei clădiri și ar oferi o soluție la reciclarea deșeurilor considerabil de poluante produse de industria automobilistică. Costurile ridicate a producerii acestui produs însă este mult prea ridicat, nu este accesibil și momentan producerea pe scară industrial este imposibilă.

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. Jaiswal V., Vishvakarma A., Yadav B., Sharma M., *Utilization of Waste Tire Rubber in Concrete and Its Characteristics*, Lucknow India, MKSES Publication Lucknow, 2023, pp. 386–396. doi: 10.5281/zenodo.10361543
4. SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008. Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. București: Asociația de Standardizare din România (ASRO)
5. Holcim (România) S.A. *Beton de înaltă performanță – Fișă de produs*. București: Holcim (România) S.A., 2019 (pp. 1, 8).
6. Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice. *Normativ privind acustica în clădiri și urbanism, indicativ C 125-2013*. București: Buletinul Construcțiilor, 2013.
7. Badida, Miroslav, Miriam Andrejiova, Miriama Pinosova, and Marek Moravec. 2025. "Acoustic Analysis of Soundproofing Materials Using Recycled Rubber from Automobiles" *Materials* 18, no. 13: 3144. <https://doi.org/10.3390/ma18133144>
8. Jedidi M., Boulila A., Benjeddou O. and Soussi C., 2014. Crumb Rubber Effect on Acoustic Properties of Self-Consolidating Concrete. *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*, 8(2), pp. 69–76.



9. ASRO. SR EN 12390-3:2019: Încercare pe beton întărit. Partea 3: Rezistența la compresiune a epruvetelor. București: ASRO, 2019.
10. ASRO. SR EN 12390-5:2019: Încercare pe beton întărit. Partea 5: Rezistența la întindere prin încovoiere a epruvetelor. București: ASRO, 2019.
11. SR EN ISO 16283-2:2020. Acustică. Măsurarea in situ a izolării acustice în clădiri și a elementelor de construcții. Partea 2: Izolarea la zgomot de impact



SISTEM DE ALARMARE PRIVIND CAPACITATEA PORTANTĂ PENTRU GRINZILE DE PODURI

Autori

Afloarei Ovidiu-Gabriel, Ignat Ionuț-Andrei, Guraliuc Ilie

Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: ovidiu-gabriel.afloarei@student.tuiasi.ro

Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: ionut-andrei.ignat@student.tuiasi.ro

Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: ilie.guraliuc@student.tuiasi.ro

Îndrumător

S.L.dr.ing. BOACĂ Gheorghita

Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași, e-mail: gheorghita.boaca@academic.tuiasi.ro

REZUMAT: *Lucrarea propune dezvoltarea unui sistem pentru detectarea și semnalizarea cedării unei grinzi, bazat pe monitorizarea continuității unui element conductor integrat în structură. Metodologia utilizează o platformă de tip microcontroler pentru identificarea în timp real a întreruperii circuitului electric, fenomen asociat cedării structurale. La detectarea acestui eveniment, sistemul declanșează automat atât o avertizare acustică, cât și transmiterea unui mesaj SMS, asigurând notificarea imediată la distanță. Se vor înregistra cu ajutorul mărcilor tensiometrice și anumite valori ale tensiunii care apare în grindă. Soluția se remarcă prin simplitate, cost redus și fiabilitate ridicată, oferind o alternativă eficientă la metodele convenționale de monitorizare. Elementul de originalitate constă în integrarea unui mecanism automat de alertare în timp real, cu aplicabilitate extinsă în domeniul siguranței structurale. Sistemul propus demonstrează potențialul utilizării tehnologiilor accesibile pentru prevenirea avariilor și creșterea nivelului de securitate în exploatarea structurilor.*

Cuvinte cheie: integritate structurală , monitorizare structurală , microcontroler Arduino, detecția cedării, sistem de avertizare transmitere SMS.

1. Introducere

Monitorizarea integrității structurilor reprezintă un domeniu esențial în inginerie, având ca scop prevenirea avariilor și asigurarea siguranței în exploatare. Cedarea elementelor structurale, precum grinzele, poate avea consecințe majore, motiv pentru care detectarea timpurie a acestor fenomene este deosebit de importantă [4].

În acest context, lucrarea propune dezvoltarea unui sistem experimental bazat pe tehnologii accesibile, care permite detectarea cedării unei grinzi prin monitorizarea continuității unui circuit electric integrat în structură. Sistemul este conceput astfel încât să evidențieze legătura dintre solicitările mecanice aplicate grinzii și răspunsul acesteia, prin apariția tensiunilor și a deformațiilor. [4]

Pe lângă detecția directă a cedării, proiectul integrează și metode de monitorizare indirectă, prin utilizarea senzorilor, care oferă informații suplimentare despre comportamentul grinzii în timp real. Astfel, se poate observa evoluția stării structurale înainte de apariția unei avarii, ceea ce contribuie la o înțelegere mai aprofundată a fenomenelor implicate.

Scopul principal al proiectului este realizarea unui mecanism de avertizare rapidă, capabil să semnaleze atât local, prin intermediul unui semnal acustic, cât și la distanță, prin transmiterea unui mesaj, apariția cedării structurale.

În acest mod, sistemul propus nu doar detectează o problemă, ci oferă și posibilitatea intervenției rapide, reducând riscurile asociate.

De asemenea, soluția propusă evidențiază potențialul utilizării unor sisteme simple și eficiente în aplicații reale, demonstrând că monitorizarea structurilor poate fi realizată cu costuri reduse, fără a compromite funcționalitatea. Această abordare deschide perspective pentru dezvoltarea unor sisteme mai complexe, adaptate infrastructurilor moderne, precum poduri sau clădiri.

1.1. Descrierea proiectului

Sistemul propus este alcătuit din următoarele componente principale:

- o grindă experimentală [Figura 1]
- un fir conductor integrat în structură
- o platformă microcontroler (Arduino) [1]
- un modul GSM pentru transmiterea SMS [2]
- un buzzer pentru avertizare locală
- elemente de electrică
- mărci tensiometrice [Figura 13]



Figura 1. Imagine cu grindă pe bancul de testare

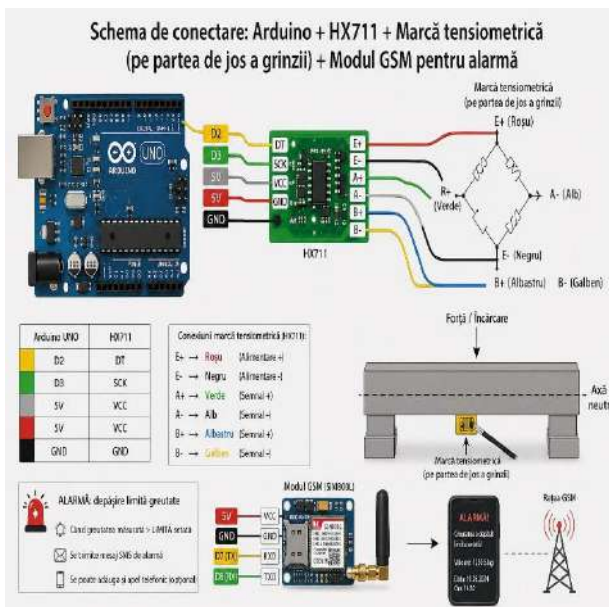


Figura 2. Schema de conectare

Firul conductor este integrat în structura grinzii și conectat la microcontroler, formând un circuit electric închis în condiții normale de funcționare. Acest circuit are rolul de a monitoriza integritatea structurală a grinzii, oferind o metodă simplă și eficientă de detecție a cedării.

În momentul în care grindă este supusă unei solicitări mecanice, în interiorul acesteia apar tensiuni și deformații, care cresc progresiv odată cu mărirea sarcinii aplicate. [Figura 10]

Aceste variații sunt monitorizate cu ajutorul mărcilor tensiometrice, care înregistrează valorile tensiunilor din material atunci când grinda funcționează în regim normal. [Figura 2]

Pe măsură ce solicitarea continuă, structura poate ajunge la limita de rezistență, moment în care apare cedarea. Acest fenomen este însoțit de ruperea firului conductor integrat în grindă, ceea ce determină întreruperea circuitului electric. [5]

Microcontrolerul detectează instantaneu această schimbare de stare (trecerea de la circuit închis la circuit deschis) și declanșează automat un mecanism de avertizare. Acesta constă în:

- activarea unui semnal acustic prin intermediul buzzer-ului, pentru avertizare locală
- transmiterea unui mesaj SMS către utilizator, prin intermediul modulului GSM [2]

Prin această metodă, sistemul permite nu doar monitorizarea comportamentului grinzii, ci și detectarea rapidă și eficientă a momentului de cedare, contribuind la creșterea siguranței în exploatare. [5]

O marcă tensiometrică este un senzor de dimensiuni reduse, utilizat pentru măsurarea deformațiilor mecanice, prin transformarea acestora în variații ale unui semnal electric. Acest tip de senzor este esențial în analiza comportamentului structurilor supuse solicitărilor.

Principiul de funcționare se bazează pe faptul că, atunci când un material este supus unei forțe, acesta suferă deformări (întindere sau compresiune). Marca tensiometrică, fiind aplicată pe suprafața materialului, se deformează împreună cu acesta. [Figura 3]

În urma deformării, firul conductor din interiorul mărcii își modifică lungimea și secțiunea, ceea ce determină o variație a rezistenței electrice.

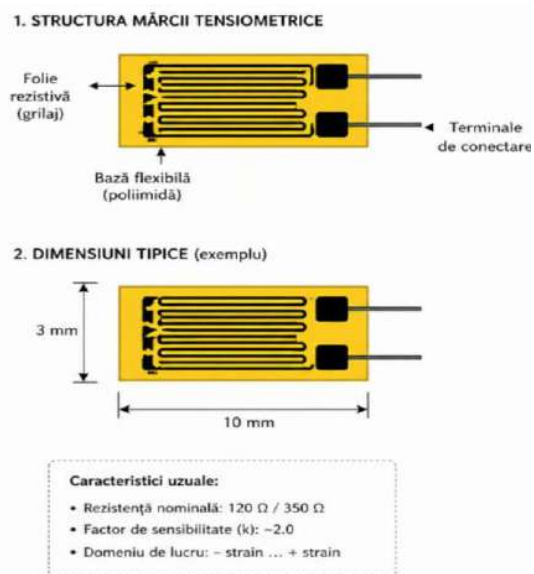


Figura 3. Structură marcă tensiometrică

Astfel, marca tensiometrică permite determinarea indirectă a eforturilor din material, fiind considerată un „senzor de efort”. Aceasta este utilizată pe scară largă în aplicații precum cântarele electronice, monitorizarea podurilor, a structurilor aeronautice sau a altor elemente de rezistență.

Pentru a putea utiliza semnalul generat de marca tensiometrică, este necesară amplificarea acestuia. În acest scop, se utilizează modulul HX711, un amplificator de semnal proiectat special pentru aplicații cu mărci tensiometrice și sisteme bazate pe microcontrolere, precum Arduino. [1]

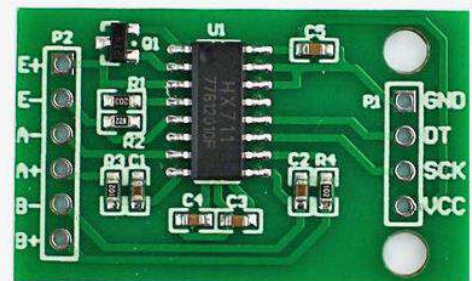


Figura 4. Aspect

Semnalul furnizat de marca tensiometrică este foarte mic, de ordinul microvolților sau milivolților, motiv pentru care nu poate fi utilizat direct. HX711 are rolul de a amplifica acest semnal și de a-l converti în format digital, astfel încât să poată fi procesat de microcontroler. [Figura 4]



Relația fundamentală care descrie funcționarea mărcii tensiometrice este:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon \quad (1)$$

unde:

ΔR reprezintă variația rezistenței electrice [Ω]

R reprezintă rezistența inițială a mărcii tensiometrice [Ω]

k reprezintă factorul de sensibilitate (gauge factor)

ε reprezintă deformația unitară (fără unitate)

Deformația unitară este definită ca raportul dintre variația lungimii și lungimea inițială:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

unde:

ε reprezintă deformația unitară

ΔL reprezintă variația lungimii [m]

L reprezintă lungimea inițială [m]

În aplicațiile practice, mărcile tensiometrice sunt conectate într-o punte Wheatstone, care permite transformarea variațiilor de rezistență în variații de tensiune electrică. Tensiunea de ieșire a punții este aproximativ:

$$V_{out} \approx \left(\frac{\Delta R}{R}\right) \times V_{in} \quad (3)$$

unde:

V_{out} reprezintă tensiunea de ieșire a punții Wheatstone [V]

$\Delta R / R$ reprezintă variația relativă a rezistenței

V_{in} reprezintă tensiunea de alimentare a punții [V]

Semnalul obținut este foarte mic, de ordinul microvolților sau milivolților, motiv pentru care este necesară amplificarea acestuia. În acest scop se utilizează modulul HX711, care amplifică și convertește semnalul analogic în semnal digital.

Relația de amplificare este:

$$V_{amplificat} = G \times V_{OUT} \quad (4)$$

unde:

$V_{amplificat}$ reprezintă tensiunea amplificată la ieșirea modulului [V]

G reprezintă factorul de amplificare

V_{out} reprezintă tensiunea de intrare [V]

Prin utilizarea acestor relații, sistemul permite conversia deformării mecanice în semnal electric, care este ulterior amplificat și procesat de microcontroler, permițând monitorizarea în timp real a stării structurale a grinzii.

După amplificare, semnalul este convertit analog-digital:

Valoare digitală este proporțională cu $V_{amplificat}$.

HX711 transformă forma aplicată pe senzor în valori numerice citite de Arduino. [1]

Fluxul procesului:

Forță → Deformație → Variație de rezistență → Tensiune mică → Amplificare → Conversie digitală [Figura 5]

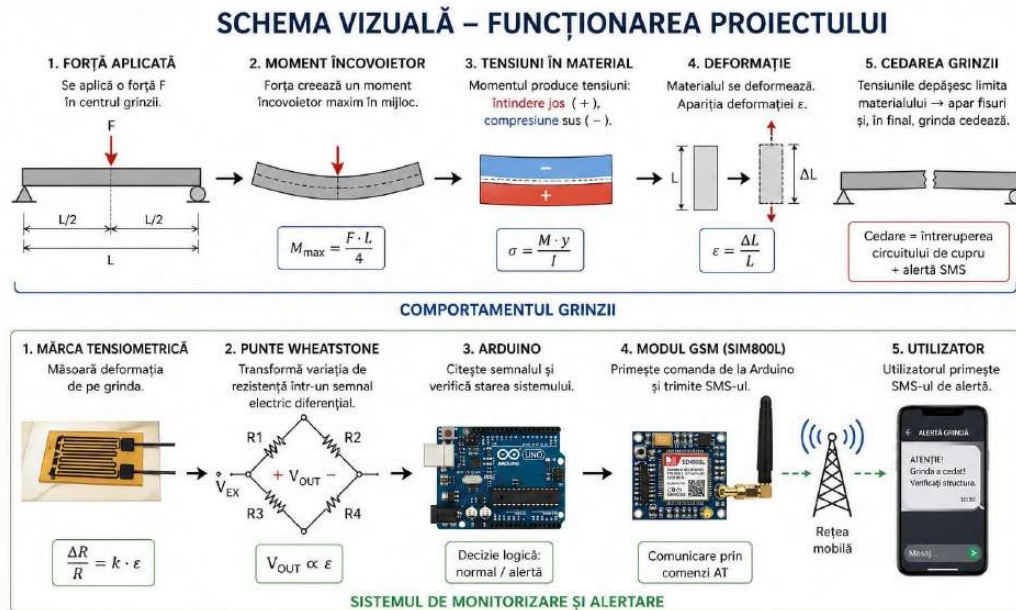


Figura 5. Schemă de funcționare sistem

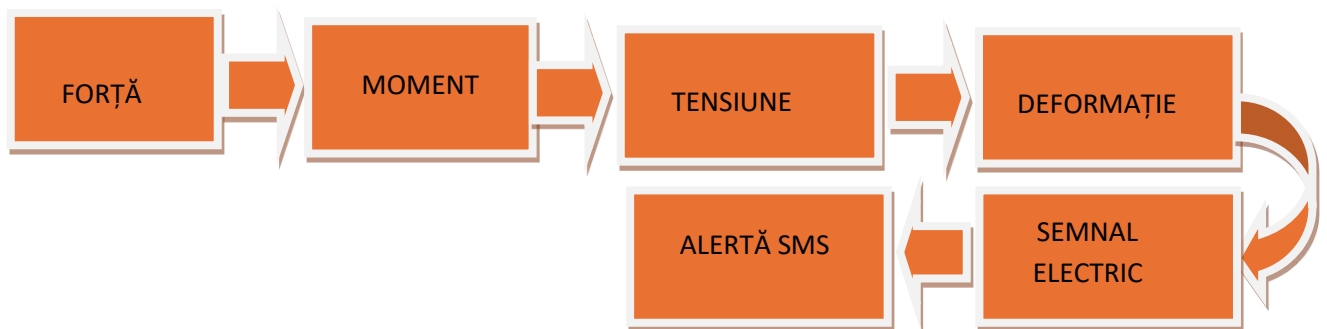


Figura 6. Ordinea evenimentelor

Atunci când asupra grinzii acționează o forță, în interiorul acesteia apare un moment încovoietor, care determină solicitarea materialului. Pentru o grindă simplu rezemată, momentul maxim apare în zona centrală și este proporțional cu forța aplicată și lungimea grinzii:

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4} \quad (5)$$

unde:

M_{max} reprezintă momentul încovoietor maxim [Nm]

F reprezintă forța aplicată [N]

L reprezintă lungimea grinzii [m]

Acest moment generează tensiuni interne în material, a căror valoare depinde de intensitatea solicitării și de geometria secțiunii grinzii:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (6)$$

unde:

σ reprezintă tensiunea normală [Pa]

M reprezintă momentul încovoietor [Nm]

y reprezintă distanța față de axa neutră [m]

I reprezintă momentul de inerție al secțiunii [m⁴]

Prin utilizarea acestor relații, sistemul realizat permite monitorizarea indirectă a stării grinzii, prin corelarea dintre forțele aplicate, tensiunile interne și semnalele electrice obținute de la senzori.

În momentul în care solicitarea depășește limita de rezistență a materialului, apar fisuri care conduc, în final, la cedarea grinzii. În cadrul proiectului, acest moment este detectat atât prin analiza deformațiilor măsurate, cât și prin întreruperea circuitului realizat cu firul de cupru, ceea ce declanșează sistemul de alertare. [5]



Figura 7. Imagine grinzi



Figura 8. Cablu pretensionat și fire pentru testarea tensiunii

1.2. Implementare experimentală

Experimentul realizat are ca scop analizarea comportamentului unei grinzi simplu rezemate, prin aplicarea unei sarcini progresive până la atingerea stării de cedare. [Figura 11]

Această abordare permite observarea etapelor prin care trece structura, de la regimul elastic până la apariția defectelor și, în final, la rupere. [Figura 7]

Pe parcursul testului, grinda este supusă unei încărcări controlate, iar evoluția stării sale este monitorizată cu ajutorul mărcilor tensiometrice. Acestea înregistrează variațiile de tensiune din material, oferind informații relevante despre nivelul solicitării și despre deformațiile apărute. [Figura 8]

În paralel, în structura grinzii este integrat un fir conductor, poziționat strategic astfel încât să se rupă simultan cu apariția cedării structurale. Acest element are rolul de a permite detecția directă a momentului critic, prin întreruperea circuitului electric. [Figura 12]

Pe parcursul desfășurării experimentului:

- sistemul monitorizează continuu starea circuitului electric, precum și valorile deformațiilor determinate cu ajutorul mărcilor tensiometrice

- datele sunt preluate și procesate de microcontroler, care urmărește în timp real comportamentul grinzii
- în momentul ruperii firului conductor, circuitul se întrerupe, iar sistemul declanșează automat alarma acustică
- simultan, utilizatorul este notificat la distanță prin transmiterea unui mesaj SMS

Această combinație între monitorizarea indirectă (prin senzori) și detecția directă (prin firul conductor) permite o identificare rapidă și sigură a momentului de cedare. [6]

Rezultatele obținute în urma experimentului confirmă funcționarea corectă a sistemului și evidențiază capacitatea acestuia de a detecta în timp real cedarea structurală, oferind astfel un instrument util pentru creșterea siguranței în exploatare [3].



Figura 9. Cedare grindă în urma testării



Figura 10. Realizarea grinzilor



Fig. 11. Locul cedării



Fig. 12. Grinda pregătită de testare în momentul alegerii firului care va fi introdus în grindă



Fig. 13. Încercare pe mărci tensiometrice din hârtie

2. Studiu de caz

Pentru a evidenția aplicabilitatea practică a sistemului propus, se consideră cazul unui pod rutier intens circulat, supus zilnic unor solicitări variabile generate de traficul auto și de condițiile de mediu.

În condiții normale de exploatare, elementele structurale ale podului, în special grinzile de rezistență, sunt supuse unor eforturi repetate de întindere și compresiune. În timp, aceste solicitări conduc la acumularea de tensiuni interne și la apariția unor deformări progresive, care pot favoriza dezvoltarea fisurilor în material.

Pe lângă solicitările mecanice, structura este influențată și de factori de mediu, precum variațiile de temperatură și presiune atmosferică. Aceste variații pot determina dilatări sau contracții ale materialului, contribuind la modificarea stării de tensiune din grindă.

În acest context, sistemul propus poate fi implementat pentru monitorizarea în timp real a comportamentului structurii. Grinda este echipată cu mărci tensiometrice, un fir conductor integrat, precum și senzori de temperatură și altitudine, toate conectate la o platformă de tip Arduino și la un modul de comunicație GSM. [2]

În timpul funcționării, sistemul monitorizează continuu starea grinzii: Mărcile tensiometrice înregistrează variațiile de deformare produse de sarcinile aplicate senzorii de temperatură și altitudine furnizează informații despre condițiile de mediu microcontrolerul analizează aceste date și urmărește evoluția parametrilor în timp circuitul electric realizat prin firul conductor rămâne închis în condiții normale. [6]

În situația în care grindă este supusă unei suprasolicitări, deformările cresc semnificativ, indicând apropierea de limita de rezistență a materialului. În momentul în care această limită este depășită, apare cedarea structurală, însoțită de ruperea firului conductor integrat în structură. [Figura 9]

Această întrerupere a circuitului este detectată instantaneu de sistem, care declanșează automat următoarele acțiuni:

activarea unui semnal acustic local, pentru avertizarea imediată a personalului din apropiere transmiterea unui mesaj SMS către utilizator sau către echipa de intervenție, prin intermediul modului GSM. [2]

Prin aceste mecanisme, sistemul permite intervenția rapidă, cum ar fi restricționarea traficului sau efectuarea unor verificări tehnice, prevenind astfel producerea unor accidente.

Implementarea unui astfel de sistem contribuie la creșterea siguranței structurale, prin transformarea unei structuri pasive într-un sistem activ de monitorizare. De asemenea, permite identificarea timpurie a problemelor și reducerea costurilor de întreținere pe termen lung.

În concluzie, studiul de caz demonstrează că sistemul propus poate fi adaptat cu succes pentru aplicații reale, oferind o soluție eficientă pentru monitorizarea integrității structurilor și prevenirea situațiilor periculoase.

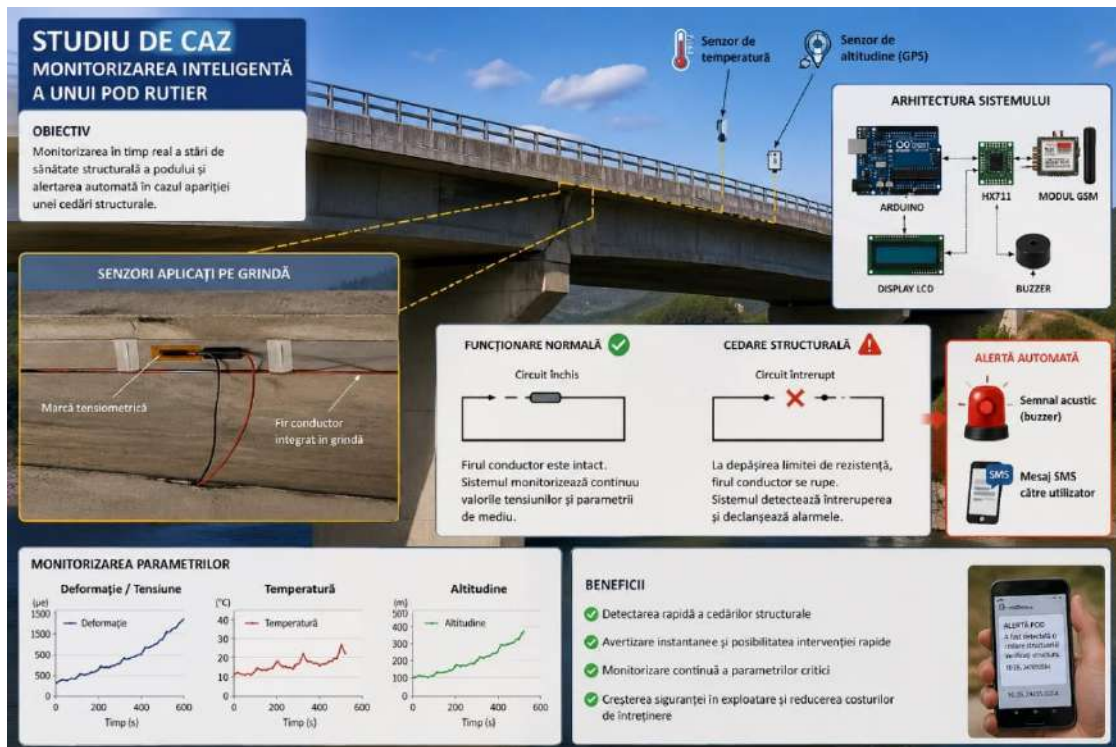


Fig. 14. Monitorizarea inteligentă a unui pod rutier

2.1. Avantaje și aplicații

Sistemul propus prezintă o serie de avantaje importante, care îl recomandă atât pentru utilizare experimentală, cât și pentru aplicații practice în domeniul ingineriei structurale.

Un prim avantaj este reprezentat de costul redus, datorat utilizării unor componente accesibile și ușor de procurat, precum platformele de tip Arduino și senzorii uzuali. Acest aspect face ca sistemul să poată fi implementat fără investiții majore. [1]

De asemenea, sistemul se remarcă prin implementarea simplă, arhitectura acestuia fiind ușor de înțeles și de realizat. Integrarea componentelor nu necesită echipamente complexe, ceea ce îl face potrivit inclusiv pentru aplicații didactice sau proiecte experimentale. Un alt avantaj important este răspunsul rapid. Detectarea cedării structurale se realizează instantaneu prin întreruperea circuitului electric, ceea ce permite declanșarea imediată a sistemului de avertizare și reducerea timpului de reacție.



În plus, sistemul oferă posibilitatea monitorizării la distanță, prin utilizarea unui modul GSM, care permite transmiterea automată a notificărilor către utilizator. Astfel, starea structurii poate fi supravegheată în timp real, indiferent de locație. [2]

Pe lângă avantajele prezentate, sistemul are multiple domenii de aplicabilitate.

Acesta poate fi utilizat pentru monitorizarea structurilor de construcții, precum grinzi, planșee sau alte elemente portante, contribuind la prevenirea apariției avariilor.

De asemenea, poate fi integrat în supravegherea elementelor de rezistență, unde este necesară detectarea rapidă a degradărilor sau a cedărilor structurale.

În domeniul industrial, sistemul poate fi utilizat în cadrul unor sisteme de siguranță, pentru monitorizarea componentelor mecanice supuse solicitărilor, prevenind astfel cedările neașteptate.

Nu în ultimul rând, sistemul reprezintă un instrument util în educație și experimente didactice, facilitând înțelegerea fenomenelor de rezistența materialelor și a modului de funcționare a sistemelor moderne de monitorizare.

3. Concluzii

Lucrarea de față evidențiază eficiența utilizării unui sistem bazat pe microcontroler pentru detectarea cedării unei grinzi, demonstrând că monitorizarea structurală poate fi realizată prin soluții simple și accesibile.

Sistemul propus se remarcă printr-o implementare facilă și un cost redus, oferind în același timp un mecanism fiabil de avertizare, atât la nivel local, prin semnal acustic, cât și la distanță, prin transmiterea de mesaje.

Un element de originalitate al proiectului îl constituie integrarea unui sistem de alertare automată prin SMS, care permite notificarea rapidă a utilizatorului în momentul apariției unei cedări structurale, facilitând astfel intervenția în timp util.

Rezultatele experimentale obținute confirmă funcționarea corectă a sistemului și evidențiază potențialul utilizării tehnologiilor accesibile în domeniul monitorizării structurilor. Implementarea unor astfel de soluții poate contribui semnificativ la creșterea nivelului de siguranță și la prevenirea unor evenimente nedorite.

În perspectivă, dezvoltarea și extinderea acestui tip de sistem pot conduce la realizarea unor soluții inteligente, aplicabile în infrastructuri reale, precum poduri sau clădiri, având un rol important în monitorizarea continuă a integrității structurale.

BIBLIOGRAFIE

1. Arduino, "Arduino Documentation," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc>
2. SIM800/SIM900 GSM Module, "Technical Documentation," [Online].
3. Ferdinand P. Beer, E. R. Johnston Jr., J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, Mechanics of Materials, McGraw-Hill, 2015.
4. James M. Gere and B. J. Goodno, Mechanics of Materials, Cengage Learning, 2012.
5. Materiale didactice din domeniul rezistenței materialelor, suporturi de curs și laborator.
6. Resurse online privind sisteme embedded și monitorizarea structurală, articole și documentații tehnice de specialitate.



STEEL REUSE IN CONSTRUCTION: DESIGN STRATEGIES AND ECONOMIC–ENVIRONMENTAL PERFORMANCE IN EUROPE AND ASIA

Authors

Heng Cheng KI¹, Tayair MEAN²

¹Faculty of Civil Engineering, Institute of Technology of Cambodia, [e-mail: hengcheng65@gmail.com](mailto:hengcheng65@gmail.com).

²Faculty of Civil Engineering, Institute of Technology of Cambodia, [e-mail: tayair168@gmail.com](mailto:tayair168@gmail.com).

Supervisor

Prof.Dr.Ing. Cristina CAMPIAN³

³Faculty of Civil Engineering, Technical University of Cluj-Napoca, [e-mail: Campian.Cristina@campus.utcluj.ro](mailto:Campion.Cristina@campus.utcluj.ro).

ABSTRACT: *This study examines the reuse of structural steel as a sustainable approach in the construction industry. It compares practices in Europe and Asia, focusing on design strategies and economic–environmental performance. The Japanese approach emphasizes engineering design, structural safety, and seismic performance, especially through design principles that reduce damage and support future reuse. The European approach focuses on design for deconstruction, standardization, demountable connections, material traceability, and circular economy principles. Case studies from Korea and Romania are used to evaluate the environmental and economic effects of steel reuse. The results show that structural steel reuse can reduce material consumption and carbon dioxide emissions, although its economic feasibility depends on transportation, processing, inspection, and the condition of reclaimed members. The study highlights the importance of early design planning, reliable documentation, supportive standards, and economic evaluation to improve the practical application of steel reuse in sustainable construction.*

Keywords: structural steel reuse; design for deconstruction; sustainable construction; circular economy; life cycle assessment; construction costs.

1. Introduction

The construction industry plays an important role in global resource consumption and carbon emissions. Steel is one of the most widely used structural materials, but its production requires a large amount of energy and contributes to environmental impact. Therefore, improving the sustainability of steel use has become an important objective in modern construction.

One effective approach is the reuse of structural steel. Unlike recycling, which requires melting and reprocessing, reuse allows steel components to be used again in new structures with limited material transformation. This can reduce construction waste, lower carbon dioxide emissions, and support circular economy principles. However, the practical application of steel reuse is still limited by challenges related to design, standardization, cost, documentation, and regulations.

Different regions have developed different approaches to address these challenges. Japan focuses strongly on engineering design, structural safety, and seismic performance, particularly through strategies that reduce damage and allow steel members to remain suitable



for future reuse [1]. In Europe, steel reuse is mainly supported through design for deconstruction, standardization, demountable connections, and circular economy policies [2]. In addition, case studies from Korea and Romania provide useful examples for evaluating the environmental and economic performance of steel reuse in real construction projects [3], [4].

This paper aims to compare these approaches by analysing design strategies and economic–environmental performance. The objective is to understand how structural steel reuse can be improved and applied more effectively as a sustainable construction practice.

2. Design for deconstruction and reuse

2.1 Japan

To make steel reuse a standard practice in construction, buildings should be designed from the beginning with future reuse in mind. This requires coordinated decisions throughout the entire lifecycle of a structure, including design, procurement, fabrication, construction, operation, maintenance, and demolition. Although avoiding yielding is especially important in high-seismic regions such as Japan, the remaining principles can be applied more broadly in different construction contexts.

One important principle is to avoid yielding of structural steel members during normal service conditions. Steel components should remain within the elastic range and should not experience permanent plastic deformation. Although plastic deformation can increase energy dissipation during extreme loading, it may reduce ductility and cause permanent damage, making future reuse more difficult. Design approaches such as damage-control design and seismic isolation can help limit structural damage and improve the reuse potential of steel members [1]. However, these methods may not be suitable for all building types.

Another important principle is design for disassembly. Structures should be planned so that steel members can be removed without excessive damage. Connections should allow simple dismantling, inspection, and reuse of beams, columns, and other components. Fire protection systems should also support reuse. For example, removable fire protection materials, such as boards or wraps, are preferable to sprayed coatings because they can be removed more easily during deconstruction.

Standardization and modularization also play an important role in steel reuse. Standardized floor heights, column spacing, member dimensions, and connection details increase the possibility that steel components can be reused in future projects. When structural members follow common dimensional systems, they are more likely to fit new design requirements without major modification.

Material traceability is also necessary for reliable reuse. Important information about each steel member, including its original location, geometry, strength, material properties, and service history, should be recorded and stored. This information allows engineers to evaluate whether a reused member is suitable for a new structure and supports safer decision-making during future reuse processes.

Service-life planning can further support the reuse of steel structures. In some cases, buildings are designed with a predetermined service life and specific conditions of use. This

allows design and maintenance requirements to be adjusted according to the expected use of the structure. For temporary or short-term applications, this approach may reduce costs and provide more flexible design solutions. Existing recommendations for buildings with predetermined service life provide guidance on how service-life information can be used effectively in both short-term and long-term applications [1].

Two practical examples of disassembly technology used in Japan are presented below.

Helical piles. Helical piles provide a practical example of reusable foundation elements. After their service period, the piles can be extracted by applying rotational methods that reduce soil resistance during removal. The removed piles can then be cut for transportation, inspected, refurbished, and reused in another structure. This method was successfully applied after the 2011 Tohoku earthquake, where helical piles used for the temporary stabilization of bridge piers were later reused for permanent foundation strengthening [1].



Figure 1. Continuous spiral helical pile



Figure 2. Alternating spiral helical pile

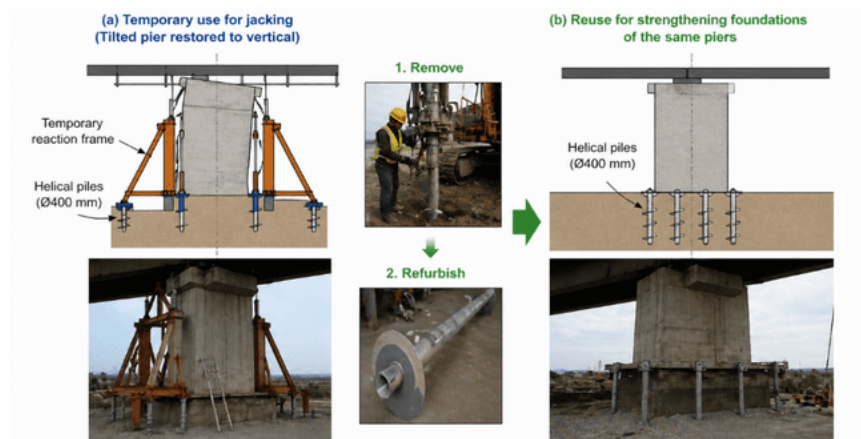


Figure 3. Example of helical pile reuse

Detachable connections for automated construction. Another example is a detachable connection system developed for circular steel columns. This system uses a sleeve tube, wedges, and mortar to connect the upper and lower steel columns. The wedges help align the components during assembly and can be removed during disassembly, allowing the connected members to be separated more easily. Experimental studies have shown that this connection system provides adequate seismic performance, while laboratory tests confirmed that removing the wedges allows straightforward separation of the components [2].

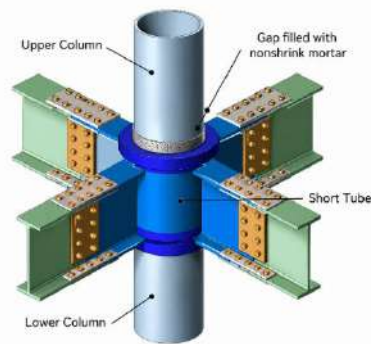


Figure 4. Detachable connection system



Figure 5. Connection disassembly procedure

2.2 Europe

In Europe, the reuse of structural steel is strongly connected to design for deconstruction, standardization, and circular economy principles. To maximize the reuse potential of steel components, designers should consider reuse from the early stages of a project and adopt solutions that allow structural members to be dismantled, inspected, and reused with limited damage.

Bolted connections are generally preferred over welded joints because they allow easier dismantling during deconstruction. Connection details should also be standardized, including bolt sizes, hole spacing, and connection geometry. This improves the possibility of reusing members in future projects and reduces the need for additional modification. Connections should remain accessible throughout the service life of the building so that they can be inspected, maintained, and removed when necessary.

The use of coatings or coverings that prevent visual inspection of steel members should be avoided where possible. Similarly, fixings that require welding, drilling, or permanent fastening should be minimized. Clamped fittings are preferable when they can provide the required structural performance because they allow easier removal and reduce damage to the original steel members.

Material identification and documentation are also essential for steel reuse. Information about the origin, dimensions, grade, and properties of each component should be recorded and stored. Methods such as barcoding, electronic tagging, stamping, and digital inventories can help maintain traceability and support future reuse decisions [2].

Work led by the Steel Construction Institute in the United Kingdom has focused on developing steel structural systems for multi-storey buildings that are easier to deconstruct and reuse. Important research areas include the standardization of structural grids, the optimization of span-to-depth ratios for steel and composite beams, the development of adaptable connections, and the testing of demountable composite flooring systems [2].

Research on single-storey portal frame buildings has also explored ways to improve deconstruction and reuse potential. Recommended strategies include standardized span increments, regular frame spacing, bolted haunch connections, and accessible column-base details. These design measures can make dismantling easier and increase the likelihood that structural components can be reused in future buildings [2].

Building Information Modelling, or BIM, can further support steel reuse by storing information about structural members, connection details, material properties, and maintenance history. This digital information can help engineers assess whether steel components are suitable for reuse and can improve coordination between designers, contractors, owners, and future users.

Overall, the European approach emphasizes that steel reuse should not be treated only as a demolition-stage activity. Instead, it should be integrated into the entire design and construction process through standardization, documentation, accessible connections, and digital information management.

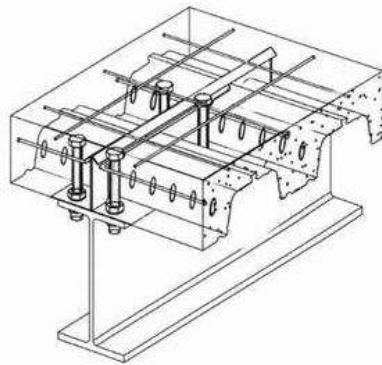


Figure 6. Demountable shear connectors with partial depth edge trim and U-bars



Figure 7. Bolted haunch plate connection



Figure 8. Shield plate to keep base plate connection accessible after concreting

3. Economic and environmental performance

Before presenting the two case studies, it is necessary to clarify that the cost-estimation methods are different. In the Korean case study, the economic performance was evaluated using a Life Cycle Cost (LCC) approach combined with Life Cycle Assessment (LCA). This method considered several stages of the steel reuse process, including transportation, manufacturing, cutting, bending, deconstruction, construction, maintenance, and material procurement. Therefore, the Korean study represents a broader life-cycle economic evaluation.

In contrast, the Romanian case study used a simplified project-based cost comparison between Model A, based on reused steel elements, and Model B, based on newly manufactured steel

elements. The cost estimation mainly included material cost and transportation cost. Reused members taken from the previous building were considered to have no initial material cost, while their transportation cost was included. Therefore, the Romanian result should be understood as a project-based cost comparison under specific case-study assumptions rather than a complete life-cycle cost evaluation.

3.1 Korea

A framework for designing structures with reusable steel beams was developed in Korea to evaluate both environmental and economic performance. The framework includes three main components: Design for Reuse, a material bank for storing reusable steel members, and a design support tool that matches available reclaimed materials with the requirements of a new structure. The environmental performance was evaluated using life cycle assessment, while the economic performance was evaluated using life cycle cost analysis [3].

The case study was based on a noise barrier tunnel structure. Reusable steel beams were obtained from a deconstructed five-storey building and applied to the new structure. The noise barrier tunnel was selected because it requires a large quantity of steel and has a repetitive structural layout, making it suitable for the use of reclaimed steel members.

The study considered the material flow from the original building to the new construction site, including transportation, manufacturing, cutting, bending, deconstruction, construction, and maintenance. This allowed the environmental and economic impacts of different reuse alternatives to be compared.

As shown in Figure 13, the relationship between carbon dioxide emissions and cost varies depending on the selected alternative. The no-reuse option results in the highest carbon dioxide emissions, although it has a relatively lower cost. In contrast, the reuse options significantly reduce emissions, but they may increase costs because of transportation, cutting, processing, and material preparation. Among the reuse alternatives, some options provide a better balance between environmental benefits and economic feasibility. Overall, the Korean case study shows that structural steel reuse can reduce environmental impact, especially carbon dioxide emissions. However, the economic feasibility of reuse depends on several factors, including transport distance, processing requirements, availability of reclaimed members, and the efficiency of the design support system.

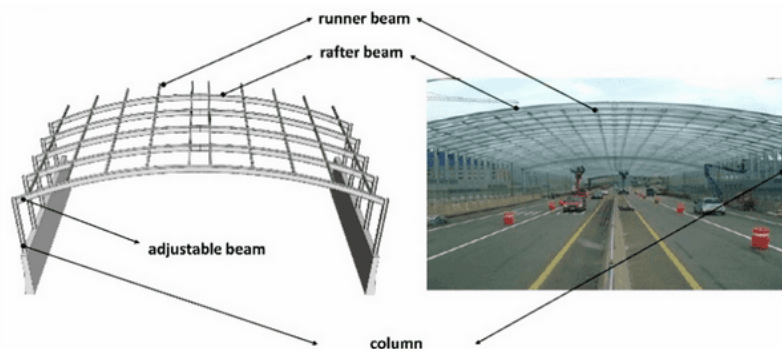


Figure 9. Noise barrier tunnel structure

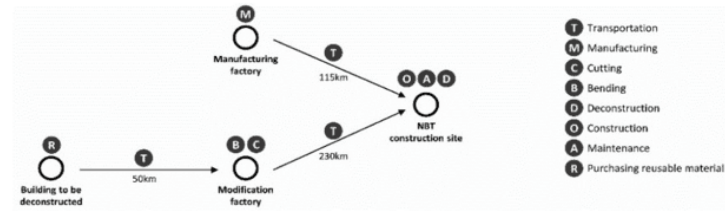


Figure 10. Material flow network and life cycle system boundary

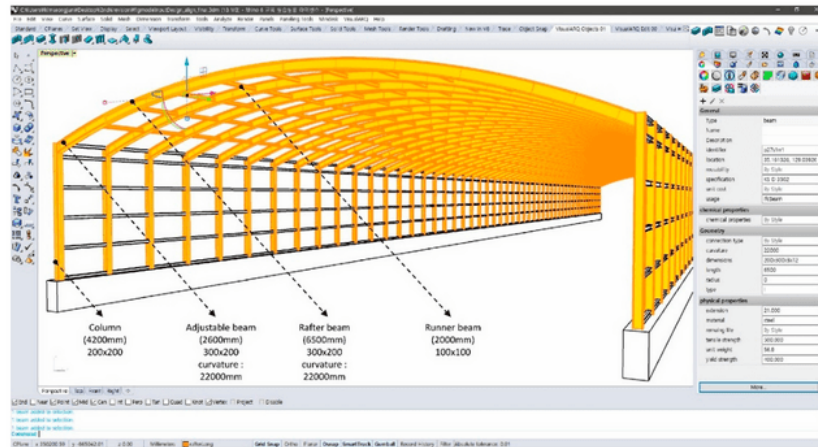


Figure 11. Initial design of the noise barrier tunnel (NBT)

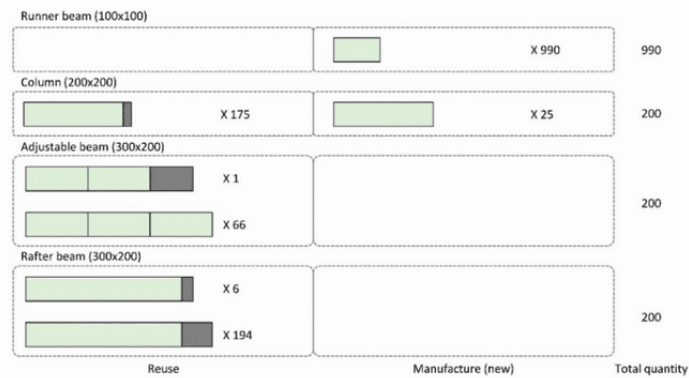


Figure 12. Initial solution to the cutting stock problem and material procurement plan

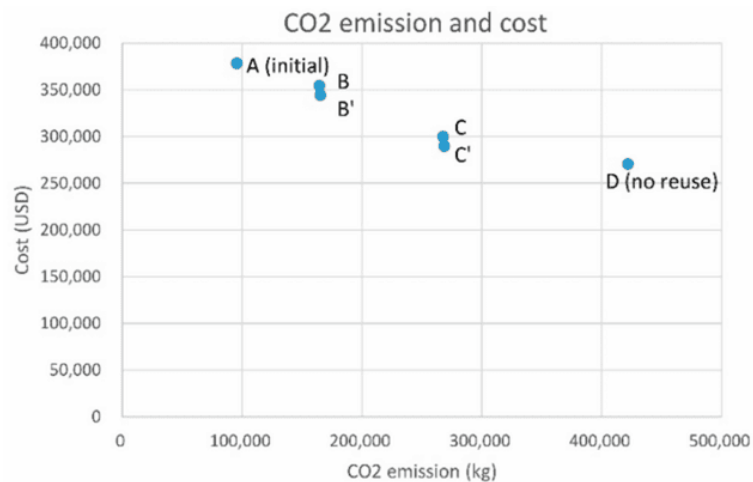


Figure 13. Life cycle assessment and life cycle cost results

3.2 Europe

A European case study evaluated the reuse of steel structures by comparing two design approaches: Model A, based on reused steel elements, and Model B, based on new steel elements. The study assessed the structural feasibility, material consumption, economic performance, and sustainability of the two alternatives [4].

The case study involved a real project in Romania. The original building was an industrial structure constructed in 2004 in Craiova, while the new building was constructed in 2012 in Bucharest. In the new project, part of the steel structure from the old building was reused. The new building included both an industrial steel structure and an office area composed of steel and cold-formed members.

In Model A, steel elements from the previous building were reused as much as possible. Additional new elements were used only when the reclaimed members were not sufficient or suitable for the new design. In Model B, the structure was designed using new steel elements according to a standard design approach.

The comparison shows that reuse can reduce the need for newly produced steel and can lower material consumption. However, the reuse option also involves additional costs related to dismantling, transportation, inspection, and possible adaptation of the reclaimed members. Therefore, the economic advantage of steel reuse depends on the condition of the existing components, the distance between the old and new sites, and the amount of modification required.

The results indicate that steel reuse can be a practical solution when the reclaimed components satisfy the structural requirements of the new building. The Romanian case study demonstrates that reuse can reduce material demand and support more sustainable construction, but successful implementation requires careful planning, proper documentation, and verification of the reused members.



Figure 14. New building in Bucharest

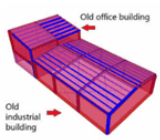
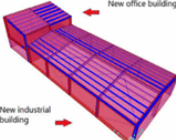
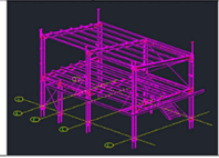
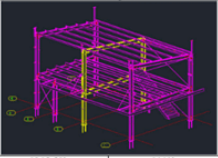
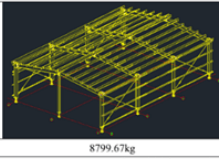
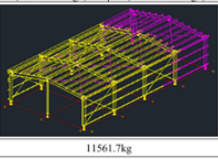
INFORMATION ABOUT CASE			
Model			
Time	2004	2012	
Location	Craiova	Bucharest	
Material	Office: Part of Steel, Part of Cold-form Industrial building: Steel plate	Office: Part of Steel, Part of Cold-form Industrial building: Steel plate	
	Old Project	New Project	
Office			
Weight	6436.3kg	6965.58kg (Reused Design)	6441kg (Standard Design)
Industrial			
weight	8799.67kg		11561.7kg

Figure 2.2 Information about the real case

Figure 15. Information about the real case



Item	Previous building	reused purpose design			New standard design	
		Old elements from previous building	New elements from steel making factory	Totally consumption	New elements from steel making factory	Totally consumption
Industrial	8799.67 kg	8799.67 kg	2762.03 kg	11561.7 kg	11561.7 kg	11561.7 kg
office	6436.3 kg	6436.3 kg	529.28 kg	6965.58 kg	6441 kg	6441 kg
Total	15235.97 kg	15235.97 kg	3291.31 kg	18527.28 kg	18002.7 kg	18002.7 kg

Figure 16. Comparison of material about Model A and Model B

COMPARISON OF THE MATERIALS						
PREVIOUS BUILDING	MATERIALS (INDUSTRIAL BUILDING)			MATERIALS (OFFICE BUILDING)		
	Columns		steel plates and profiles	Columns		C350/3
	Beams	S355		Beams		C300/3
	Bracing (wall)		φ27	Floor beams	cold-form	Z200/2
	Roof panels		Z200/2.5 Z200/2	Gable Roof frames		C200/2
	Roof sheet	Cold-form	LTP 45/0.5	Floor sheet		LTP 45/0.6 LTP 45/0.5
	Wall		LLP20 0.6/0.5	Bracing (wall)	S355	Φ25
NEW BUILDING	MATERIALS (INDUSTRIAL BUILDING)			MATERIALS (OFFICE BUILDING)		
	Columns		steel plates and profiles	Columns		C350/3
	Beams	S355		Beams		C300/3
	Bracing (wall)		φ27	Floor beams	cold-form	Z200/2
	Bracing (roof)		φ20	Gable Roof frames		S500 MC S420 MC
	Roof sheet	Cold-form	LTP 45/0.5	Floor sheet		LTP 45/0.6 LTP 45/0.5
	Wall		LLP20 0.6/0.5	Bracing (wall)	S355	Φ25

Figure 17. Comparison of the load factor between previous building and new building

Source category	Building part	Mass (kg)	Material cost (€)	Transportation cost (€)	Total cost (€)
New elements from steel making factory	Industrial	2762	3380.72	350.00	3730.72
New elements from steel making factory	Office	529.28	647.84	85.00	732.84
Old elements from previous building	Industrial	8799.7	0.00	2870.00	2870.00
Old elements from previous building	Office	6436.3	0.00	760.00	760.00
Total	New and Old	18527	4028.56	4065.00	8093.56

Figure 18. Total expense about the Model A (Reused Design)

Source category	Building part	Mass (kg)	Material cost (€)	Transportation cost (€)	Total cost (€)
New elements from steel making factory	Industrial	11561.70	14151.52	350.00	14501.52
New elements from steel making factory	Office	6441.00	7883.78	85.00	7968.78
Total	New	18002.70	22035.30	435.00	22470.30

Figure 19. Total expense about the Model B (Standard Design)



4. Conclusion

This study compared approaches to structural steel reuse in Europe and Asia, focusing on design strategies and economic–environmental performance. The results show that steel reuse can contribute to more sustainable construction by reducing the demand for newly produced steel and lowering carbon dioxide emissions.

The Japanese approach emphasizes engineering design, structural safety, and seismic performance. Design principles such as avoiding yielding, designing for disassembly, standardizing components, recording material information, and planning service life can improve the future reuse potential of steel members. These strategies are especially important in seismic regions, where structural damage may limit the possibility of reuse.

The European approach focuses on design for deconstruction, standardization, accessible connections, material traceability, and digital information management. Bolted and demountable connections, standardized grids, and Building Information Modelling can help make steel components easier to inspect, dismantle, and reuse in future projects.

The Korean and Romanian case studies show that steel reuse can reduce environmental impact, especially carbon dioxide emissions. However, the economic performance depends on several factors, including transportation distance, processing requirements, inspection, storage, and the condition of reclaimed members. In some cases, reuse may increase costs, but it can still provide important environmental benefits.

Overall, steel reuse has strong potential as a sustainable construction strategy. Its successful implementation requires early design planning, reliable documentation, supportive standards, and careful economic evaluation. Future improvements should focus on better standardization, cost reduction, digital material tracking, and wider practical application in the construction industry.

REFERENCES

- [1] M. Fujita et al., “Japanese efforts to promote steel reuse in building construction,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 149, no. 1, 2023.
 - [2] Steel Construction Institute, “Recycling and reuse,” *SteelConstruction.info*. [Online]. Available: https://www.steelconstruction.info/Recycling_and_reuse. [Accessed: 2026].
 - [3] S. Kim and S.-A. Kim, “Framework for designing sustainable structures through steel beam reuse,” *Sustainability*, vol. 12, no. 9494, 2020.
 - [4] J. Xiang, *Reuse of Existing Steel Structures: A Romanian Case Study*. Politehnica University Timișoara, 2017.
-