17. MEĐUNARODNA NAUČNA KONFERENCIJA

iNDiS 2026

integration
Novelty
Design
interdisciplinarity
Sustainability

ZBORNIK RADOVA

4–6. novembar 2026.

Hotel Fruške Terme, Vrdnik

Univerzitet u Novom Sadu · Fakultet tehničkih nauka
Departman za građevinarstvo i geodeziju

17. MEĐUNARODNA NAUČNA KONFERENCIJA

iNDiS 2026

Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability

ZBORNIK RADOVA

Hotel Fruške Terme, Vrdnik, Srbija

4–6. novembar 2026.

Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka
Departman za građevinarstvo i geodeziju

Urednici:	Andrija Rašeta Igor Džolev Milan Jovin Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, Novi Sad, Srbija
Tehnička organizacija skupa:	Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
Tehnički urednik zbornika radova:	Milan Jovin
Grafički dizajn:	Jelena Mirjanić
Izdavač:	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Srbija
Izdanje:	Elektronsko izdanje (PDF)
Dostupno na:	https://indis.gradjevinans.net/conference-proceedings-2026/
ISBN:	978-86-6022-830-9

Novi Sad, 2026.

Publikacija je sufinansirana sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Napomena izdavača: Izdavač ne daje nikakve izjave, izričite ili implicirane, u pogledu tačnosti informacija sadržanih u ovom zborniku i ne može da prihvati nikakvu pravnu odgovornost za bilo kakve greške ili nedostatke koji su napravljeni.

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

69.05(082)
624(082)
72:502.1(082)

МЕЂУНАРОДНА научна конференција "Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability" (17 ; 2026 ; Vrdnik)
Zbornik radova [Elektronski izvor] / 17. međunarodna naučna konferencija iNDiS 2026 "Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability", Vrdnik, 4-6. novembra 2026. ; [urednici Andrija Rašeta, Igor Džolev, Milan Jovin]. - Novi Sad : Fakultet tehničkih nauka, 2026

Način pristupa (URL): https://indis.gradjevinans.net/conference-proceedings-2026/. - Opis zasnovan na stanju na dan 25.11.2026. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz svaki rad. - Registar.

ISBN 978-86-6022-830-9

а) Индустријска градња - Зборници б) Грађевинске конструкције - Зборници в) Архитектура - Еколошка градња - Зборници

COBISS.SR-ID 206311689

PROGRAMSKI ODBOR

Andrija Rašeta, predsedavajući
Milan Trivunić
Igor Peško
Igor Džolev
Mehmed Batilović
Vladimir Mučenski
Đorđe Jovanović
Ljubomir Budinski
Milan Marinković
Vladimir Bulatović
Vladimir Vukobratović
Mirjana Laban
Miloš Šešlija
Miro Govedarica
Dragana Konstantinović
Miljana Zeković
Milena Krklješ

ORGANIZACIONI ODBOR

Igor Džolev, predsedavajući
Jovana Topalić, tehnički sekretar
Tiana Milović
Marko Marković
Đuro Krnić
Vladimir Živaljević
Danilo Stipić
Jelena Mirjanić
Suzana Draganić
Slobodan Kolaković
Mirjana Terzić
Milan Jovin
Vladan Pantić
Panta Krstić
Olivera Bedov
Dragana Stanojević
Goran Jeftenić
Višnja Žugić
Željko Bugarinović
Ljiljana Popović
Nenad Medić
Tanja Perčić
Marina Davidović Manojlović
Nikolina Ćirić
Dragan Manojlović
Petar Lazičić
Sara Havzi
Marijana Milić
Tamara Pantić
Sara Krsmanović
Cveta Lazić
Anastasija Božić
Nikolina Gajić

Svi članovi Programskog i Organizacionog odbora su sa: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija.

NAUČNI ODBOR

Aleksandar Pavić	University of Sheffield, Velika Britanija
Ana Baričević	Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska
Ana Trombeva-Gavriloska	Univerzitet u Skoplju, Severna Makedonija
Anka Starčev-Ćurčin	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Asterios Liolios	University of Thrace, Grčka
Baofeng Huang	Shanghai Normal University, Kina
Biljana Šćepanović	Univerzitet u Podgorici, Crna Gora
Bojana Grujić	Univerzitet u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina
Chiara Bedon	University of Trieste, Italija
Damir Markulak	Sveučilište u Osijeku, Hrvatska
Danijel Kukaras	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Darko Nakov	Univerzitet u Skoplju, Severna Makedonija
Dragan Bojović	Institut za ispitivanje materijala, Srbija
Dragan Milašinović	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Dušan Kovačević	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Duško Lučić	Univerzitet u Podgorici, Crna Gora
Goran Ćirović	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Gordana Jakovljević	Univerzitet u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina
György Balázs	University of Budapest, Mađarska
Igor Džolev	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Judith Fauth	Technical University of Munich, Nemačka
Koce Todorov	Univerzitet u Skoplju, Severna Makedonija
Ksenija Janković	Institut za ispitivanje materijala, Srbija
Marijana Lazarevska	Univerzitet u Skoplju, Severna Makedonija
Marina Carević Tomić	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Marko Mihić	Univerzitet u Beogradu, Srbija
Meri Cvetkovska	Univerzitet u Skoplju, Severna Makedonija
Miha Tomaževič	Univerza v Ljubljani, Slovenija
Milan Trivunić	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Miloš Knežević	Univerzitet u Podgorici, Crna Gora
Miloš Šešlija	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Milutin Pejović	Univerzitet u Beogradu, Srbija
Mirjana Laban	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Miro Govedarica	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Mitesh Surana	Indian Institute of Technology Ropar, Indija
Mladena Luković	Delft University of Technology, Holandija

Ognjen Mijatović	Univerzitet u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina
Radovan Đurović	Univerzitet u Podgorici, Crna Gora
Sergio Ruggieri	Polytechnic University of Bari, Italija
Slaviša Trajković	Univerzitet u Nišu, Srbija
Sofija Kekez-Baran	Silesian University of Technology, Gliwice, Poljska
Tomaž Hozjan	Univerza v Ljubljani, Slovenija
Tomo Cerovšek	Univerza v Ljubljani, Slovenija
Vesna Bulatović	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Vladimir Mandić	Univerzitet u Kragujevcu, Srbija
Vladimir Vukobratović	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Vlatko Šešov	Institute of Earthquake Engineering & Engineering Seismology, Severna Makedonija
Wang Guoxin	West Yunnan University of Applied Sciences, Kina
Zoran Sušić	Univerzitet u Novom Sadu, Srbija

RECENZENTI

Sve radove u ovom zborniku recenzirali su članovi Naučnog odbora. Njihove institucije i države navedene su iznad.

PREDGOVOR

Sedamnaesta međunarodna naučna konferencija iNDiS održana je od 4. do 6. novembra 2026. godine u hotelu Fruške Terme u Vrdniku. Konferencija je ove godine obeležila pola veka rada: prvi skup, održan 1976. godine, bio je posvećen industrijskoj izgradnji stanova, a tematika se od tada proširila na ceo životni ciklus izgrađene sredine, od planiranja i projektovanja do građenja, održavanja i upravljanja rizicima.

Radovi u ovom izdanju pokazuju koliko je ta širina i danas prisutna. Više radova bavi se postojećim konstrukcijama i njihovim drugim životom: od procene stanja i sanacije Hale 7 Novosadskog sajma posle superćelijskih oluja u julu 2023. godine, do procene stanja drumskog mosta preko Save u Obrenovcu i savremenih drvenih mostova. Iskustva sa tunela Iriški Venac pokazuju kako se u praksi kontrolišu velike konvergencije pri istiskivanju stenske mase, a analiza požara u noćnim klubovima u Kočanima i Crans-Montani podseća da bezbednost javnih objekata zavisi od zajedničkog delovanja materijala, projekta i upravljanja.

Snažno je zastupljena i digitalna transformacija struke: veštačka inteligencija u proceni troškova građenja i u satelitskoj radarskoj interferometriji, BIM u inspekciji dizalica i dokumentovanju kulturnog nasleđa, laserski skeneri i bespilotne letelice u geodeziji. Cirkularna ekonomija provlači se kroz radove o primeni rečnog sedimenta u putogradnji, recikliranom betonskom agregatu i cementu sa niskim sadržajem klinkera. Radovi iz arhitekture i urbanizma otvaraju pitanja industrijskog nasleđa, javnog prostora i transformacije gradova, a radovi iz upravljanja rizicima obuhvataju evakuaciju, obrazovanje i ulogu volontera.

Radovi konferencije iNDiS 2026 objavljeni su u dve knjige. Ova knjiga, na srpskom jeziku, sadrži 10 radova, a knjiga na engleskom jeziku (Proceedings) sadrži 81 rad, uključujući četiri plenarna predavanja, što je ukupno 91 rad. Radove su potpisali autori iz više od deset zemalja.

Urednici se zahvaljuju autorima, recenzentima, članovima odbora i svima koji su podržali konferenciju.

Urednici zbornika

PODRŠKA I SPONZORI

Publikacija je sufinansirana sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Organizaciju 17. međunarodne naučne konferencije iNDiS podržali su:

Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije

Inženjerska komora Srbije

Društvo za integritet i vek konstrukcija (DIVK)

Zlatni sponzori

Integrated Project Consulting

TeamCAD

Srebrni sponzori

Institut IMS

PRO-ING

Sika Serbia

Bronzani sponzori

Baldinistudio International

Hidrozavod DTD

Piramida

Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija

Kreiranje i sprovođenje politike u oblasti nauke, istraživanja, tehnološkog razvoja i inovacija, u pravcu društva zasnovanog na znanju.

www.nitra.gov.rs

Inženjerska komora Srbije

Okuplja inženjere radi unapređenja inženjerskih standarda, profesionalne prakse i stalnog stručnog usavršavanja.

www.ingkomora.org.rs

Društvo za integritet i vek konstrukcija (DIVK)

Integritet, pouzdanost i preostali vek konstrukcija i materijala – povezivanje nauke i prakse. Izdavač časopisa Integritet i vek konstrukcija.

divk.inovacionicentar.rs

TeamCAD
Vaš pouzdani partner za digitalnu transformaciju

Tražite pouzdanog partnera koji razume vašu industriju, poznaje put ka digitalnoj transformaciji i govori jezik vaših inženjera?

Mi smo **Autodesk Gold Solution Provider**, **Autodesk Platform Services Certified Partner** i vodeći **Autodesk partner na Zapadnom Balkanu**.

Naša ekspertiza obuhvata prodaju softvera, razvoj softvera, BIM i Vault implementaciju, prilagođavanje i obuku - sve pod jednim krovom.

TeamCAD je tu da vam pomogne.

Naši klijenti nas biraju zbog naše stručnosti i ostaju sa nama zbog naše osnovne i strukovne tehničke podrške.

Budućnost je digitalna, hajde da je izgradimo zajedno.

Započnite svoju transformaciju sa nama!

www.TeamCAD.rs

TeamCAD

AUTODESK
Gold Partner
Authorized Training Center
Autodesk Platform Services
(APS) Certified Partner

Consulting & engineering for every phase of your investment project

From design to construction supervision – reliable consulting and engineering services for public and private investors.

Integrated Project Consulting

PRO ING

Design, Consulting, & Construction



office@pro-ing.rs
+381 (21) 489 4200
www.pro-ing.site
Bulevar Mihajla Pupina 3/II, 21000 Novi Sad, Serbia

IMC IMS

SIGURNI U GRADNJI

SA INSTITUTOM ZA ISPITIVANJE MATERIJALA

institutims.rs

+381 (0)11 26 50 322
office@institutims.rs
Bulevar vojvode Mišića 43
11040 Beograd, Srbija

SKENIRAJ

Vaš BIM partner u digitalizaciji

www.baldinistudio.rs

Baldinistudio International

Sika®

BUILDING TRUST

PIRAMIDA

Building construction since 1996

Sremska Mitrovica, Serbia

piramidasm.rs

HIDROZAVOD DTD

AD za studije, istraživanja,
projektovanje, i inženjering

+381 21 300 1 300
Petra Drapšina 56
Novi Sad, Srbija
hidrozavoddtd.rs

SADRŽAJ

GRAĐEVINARSTVO

Petar Lazičić, Jelena Mirjanić, Igor Džolev, Andrija Rašeta i Vladimir Živaljević
KOMPARATIVNA ANALIZA FIKSNO OSLONJENE I BAZNO IZOLOVANE KONSTRUKCIJE PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU **15**

Đani Rahimić
SANACIJA AB TRIBINA STADIONA U KONJICU **23**

Vladimir Vukobratović i Goran Radeka
PROCENA STANJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE VODOTORNJA **30**

Boban Županjac, Danilo Stipić i Ljubomir Budinski
ANALIZA HIDRAULIČKOG UDARA U POTISNIM KANALIZACIONIM CEVOVODIMA PRIMENOM SOFTVERSKOG PAKETA AFT IMPULSE **40**

Ivona Krulanović i Željka Beljkaš
SAVREMENI PRISTUPI AUTOMATIZACIJI U BIM TEHNOLOGIJI: PREGLED LITERATURE **48**

Semir Oglečevac, Stjepan Stanić, Dario Marušić i Jovana Topalić
STANJE POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U BOSNI I HERCEGOVINI **61**

ARHITEKTURA

Milana Šećerov Hrnjez
ODNOS FORME I FUNKCIJE PETROVARADINSKE TVRĐAVE **71**

GEODEZIJA

Goran Marinković, Strahinja Marinković i Žarko Nestorović
ODREĐIVANJE LANČANICE GEODETSKIM TERESTRIČKIM METODAMA MERENJA **88**

Merima Orahovac, Pavel Benka, Nikola Santrač i Mehmed Batilović
DEFORMACIJE KARTOGRAFSKIH PROJEKCIJA I NJIHOV UTICAJ NA GEODETSKE PLANOVE NA PRIMERU CRNE GORE **100**

UPRAVLJANJE RIZICIMA OD KATASTROFALNIH DOGAĐAJA I POŽARA

Nada Stajšić-Golijanin, Mirjana Laban i Ljiljana Popović
OGRANIČENJA STATIČKIH MODELA PROCENE POŽARNOG RIZIKA I POTREBA ZA DINAMIČKIM PRISTUPOM UPRAVLJANJU RIZIKOM **112**

REGISTAR AUTORA **126**

GRAĐEVINARSTVO

iNDiS 2026

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-013

KOMPARATIVNA ANALIZA FIKSNO OSLONJENE I BAZNO IZOLOVANE KONSTRUKCIJE PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU

Petar Lazičić[1], Jelena Mirjanić[2], Igor Džolev[3], Andrija Rašeta[4], Vladimir Živaljević[5]

Rezime:

Rad prikazuje seizmičku analizu armiranobetonske okvirne konstrukcije bolnice neregularne osnove u području visoke seizmičnosti (a_{gR} = 0,30g). Upoređen je odgovor fiksno oslonjene konstrukcije, projektovane prema metodi programiranog ponašanja (DCM), i iste konstrukcije oslonjene na izolatore tipa klatna sa trenjem (FPS), projektovane na elastičan odgovor konstrukcije. Bazno izolovana konstrukcija verifikovana je nelinearnom dinamičkom analizom vlaknastog modela sa veštačkim akcelerogramima kao seizmičkim dejstvom, u okviru projektovanja zasnovanog na ponašanju (PBD). Seizmičkom izolacijom je osnovni period produžen sa 0,663 s na 2,515 s, a horizontalna sila u osnovi smanjena za 52 %. Fiksno oslonjena konstrukcija ne zadovoljava uslov smičuće nosivosti stubova, dok bazno izolovana ostaje u domenu elastičnog ponašanja elemenata konstrukcije.

Ključne reči: seizmička analiza konstrukcija, bazna izolacija, nelinearna dinamička analiza, projektovanje zasnovano na ponašanju

COMPARATIVE ANALYSIS OF FIXED-BASE AND BASE-ISOLATED STRUCTURE UNDER SEISMIC ACTION

Summary:

The paper presents a seismic analysis of a reinforced concrete frame hospital building with an irregular plan, located in a region of high seismicity (a_{gR} = 0.30g). The response of the fixed-base structure, designed according to the capacity design method (DCM), is compared with the response of the same structure supported on friction pendulum system (FPS) isolators and designed for an elastic structural response. The base-isolated structure is verified by nonlinear time-history analysis of a fibre model, with artificial accelerograms as the seismic action, within the framework of performance-based design (PBD). Seismic isolation lengthened the fundamental period from 0.663 s to 2.515 s and reduced the horizontal base force by 52 %. The fixed-base structure does not satisfy the shear resistance requirement for the columns, whereas the base-isolated structure remains within the elastic range of behaviour of its structural members.

Keywords: seismic analysis of structures, base isolation, nonlinear time-history analysis, performance-based design

[1] Asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, petarlazicic@uns.ac.rs, ORCID 0009-0008-2589-7746
[2] Asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, jelena.mirjanic@uns.ac.rs, ORCID 0009-0006-6608-056X
[3] Vanr. prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, idzolev@uns.ac.rs, ORCID 0000-0002-7622-7936
[4] Red. prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, araseta@uns.ac.rs, ORCID 0000-0002-4535-1379
[5] Docent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, zivaljevic.vladimir@uns.ac.rs, ORCID 0000-0002-2808-2664

1. UVOD

Za objekte čija funkcionalnost mora biti očuvana neposredno posle zemljotresa velikog povratnog perioda, konstrukciju projektovanu prema metodi programiranog ponašanja preporučeno je dodatno sračunati i koristeći se naprednim analizama proračuna. Bazna izolacija jedan je od rešenja zaštite objekata usled dejstva seizmičkih sila. Pristup problemu podrazumeva odvajanje nadkonstrukcije i podkonstrukcije interfejs izolacijom, menjajući dinamičke karakteristike konstrukcije – u osnovi čineći je fleksibilnijiom. Posledica je višestruko smanjenje seizmičkih sila i približno kruto pomeranje nadkonstrukcije, što je potvrđeno i ponašanjem izolovanih bolnica tokom stvarnih zemljotresa [1]. Način na koji se pristupa proračunu bazno izolovanih zgrada uređeno je poglavljem 10 standarda EN 1998-1 [2]. Izolacioni sistem je jedini deo konstrukcije u kome se dopušta nelinearno ponašanje, faktor ponašanja nadkonstrukcije ograničen je na vrednosti q =1,0 – 1,5, a pomeranja izolatora uvećavaju se faktorom pouzdanosti γ_x (preporučena vrednost 1,2). Pored linearnih metoda, standard dopušta i analizu u vremenskom domenu, jedinu koja direktno obuhvata nelinearnost izolatora, dok su zahtevi za same uređaje dati u standardu EN 15129 [3].
U radu je armiranobetonska konstrukcija bolnice analizirana kroz tri modela. Model 1 predstavlja fiksno oslonjenu konstrukciju projektovanu u srednjoj klasi duktilnosti (DCM, q = 2) u programu Radimpex Tower8 [4]. Model 2 predstavlja istu konstrukciju oslonjenu na FPS izolatore, proračunatu multimodalnom spektralnom analizom na elastični spektar (q = 1) u programu SAP2000 [5] i dimenzionisanu na elastični odgovor konstrukcije. U Modelu 3 je dimenzionisana konstrukcija Modela 2 prevedena u vlaknasti (fiber) model, u kome je nelinearnom dinamičkom analizom za analizirane veštačke akcelerogramime generisanim u programu SeismoArtif [6], provereno njeno stvarno ponašanje.

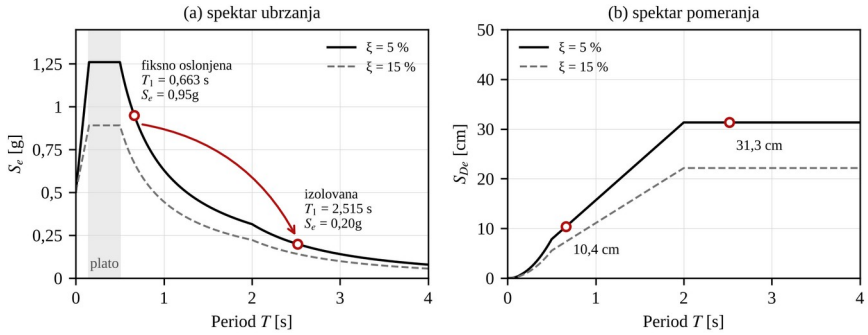
2. TEORIJSKE OSNOVE

2.1. PRINCIP RADA BAZNO IZOLOVANIH KONSTRUKCIJA

Seizmički odgovor konstrukcije u prvom tonu određen je ordinatom spektra odgovora za osnovni period $T = 2\pi\sqrt{(M/K)}$, gde je M masa, a K horizontalna krutost ekvivalentnog sistema. Elastični spektar prema EN 1998-1 [2] ima plato najvećih ordinata u intervalu $T_B \leq T \leq T_C$, iza kog ordinate opadaju srazmerno sa 1/T, a iza perioda T_D sa $1/T^2$. Bazna izolacija male horizontalne krutosti prevodi, prethodno fiksno oslonjenu, krutu konstrukciju, u domen izrazito fleksibilnih sistema (slika 1a). Cena ovakvog rešenja je veće spektralno pomeranje (slika 1b), koje se gotovo u celini ostvaruje u izolatorima i dodatno ograničava disipacijom energije, obuhvaćenom korekcionim koeficijentom prigušenja:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0,55 \qquad (1)$$

gde je ξ ekvivalentno viskozno prigušenje u procentima. Za pojednostavljene metode proračuna standard zahteva da efektivni period bude u granicama $3T_f \leq T_{eff} \leq 3$ s, gde je T_f period fiksno oslonjene konstrukcije, čime se obezbeđuje razdvajanje odgovora nadkonstrukcije i izolacionog sistema.



Slika. 1 Elastični spektar ubrzanja (a) i pomeranja (b) prema EN 1998-1 (tlo B, tip 1, a_g = 0,42g) sa osnovnim periodima fiksno oslonjene i izolovane konstrukcije

2.2. IZOLATORI TIPA KLATNA SA TRENJEM (FPS)

FPS izolator (slika 2a) čine donja ploča sa sfernom kliznom površinom poluprečnika R, artikulisani klizač sa oblogom niskog trenja i gornja ploča povezana sa nadkonstrukcijom [8]. Pri pomeranju klizač se kreće po sfernoj površini i podiže nadkonstrukciju, pa gravitacija stvara povratnu silu, a trenje disipira energiju. Osnovni period konstrukcije, postaje funkcija geometrije klatna:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} \tag{2}$$

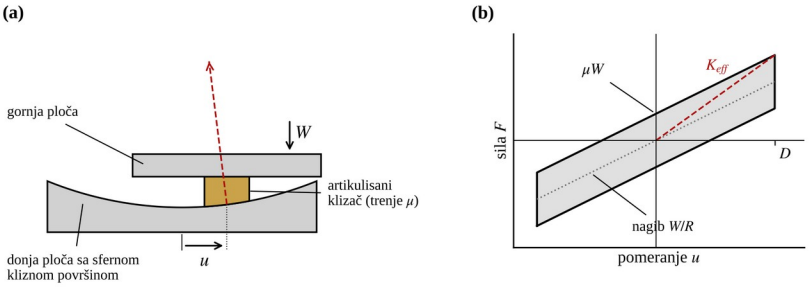
Veza sile i pomeranja izolatora sa vertikalnom silom W idealizuje se bilinearnom petljom (slika 2b), čiji prvi član predstavlja povratnu silu, a drugi silu trenja:

$$F = \frac{W}{R}u + \mu W \cdot sgn(\dot{u}) \tag{3}$$

Za ekvivalentnu linearnu analizu horizontalna krutost se opisuje preko efektivne vrednosti koja predstavlja količnik aksijalne sile u stubu iznad izolatorske jedinice i poluprečnika krivine sferne klizne površine:

$$K_{eff} = \frac{W}{R} \tag{4}$$

Koeficijent trenja raste sa brzinom klizanja prema eksponencijalnom zakonu [10], što je u modelu obuhvaćeno parametrom brzine. Kako je krutost svakog izolatora srazmerna vertikalnoj sili, centar krutosti izolacionog sistema poklapa se sa centrom masa, čime se torzioni efekti kod konstrukcija nepravilne osnove znatno umanjuju.



Slika. 2 Šematski prikaz FPS izolatora u pomerenom položaju (a) i idealizovana histerezisna petlja (b), prema [9]

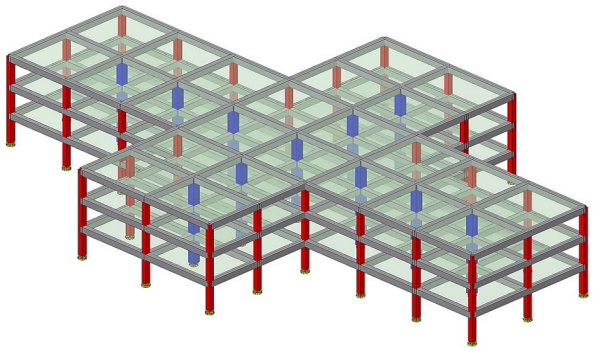
2.3. PROJEKTOVANJE ZASNOVANO NA PONAŠANJU

Projektovanje zasnovano na ponašanju (Performance-Based Design, PBD) polazi od dimenzionisane konstrukcije i ocenjuje njen stvarni odgovor kroz nivoe ponašanja neposredne upotrebljivosti (IO), zaštite života (LS) i sprečavanja rušenja (CP) [9, 10]. Umesto sila i nosivosti prate se deformacijske veličine – rotacije plastičnih zglobova, dilatacije u betonu i armaturi, međuspratna pomeranja i ubrzanja – za šta je neophodan model sa stvarnim rasporedom armature u poprečnom preseku elementa i nelinearni radni dijagrami materijala [11]. Kod bazno izolovanih konstrukcija dejstvo je potrebno zadati akcelerogramima: histerezis izolatora, zavisnost trenja od brzine pomeranja na nivou izolatora, vertikalna komponenta seizmičkog dejstva koja izaziva eventualno odizanje konstrukcije, mogu se obuhvatiti samo integracijom jednačina kretanja u vremenskom domenu [12], dok spektralna analiza počiva na ekvivalentnoj linearnoj krutosti.

3. NUMERIČKE ANALIZE

3.1. OPIS MODELA

Predmetni objekat je bolnica armiranobetonske okvirne konstrukcije spratnosti Po+P+2, sa tri etaže spratne visine 3,4 m iznad ravni izolacije (ukupno 10,2 m). Osnova je neregularna (slika 3), sa rasponima 3×7 + 2×8 + 3×7 m u pravcu X i 2×6 + 2×7 + 3×6 m u pravcu Y. Ivični stubovi su dimenzija 50/50 cm, unutrašnji 70/70 cm, grede 50/70 cm, a ploče debljine 22 cm modelirane kao krute dijafragme.

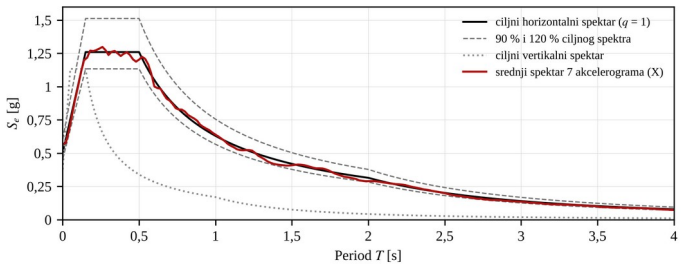


Slika. 3 Aksonometrijski prikaz konstrukcije [5]

Prema EN 1991-1-1 [13], pored sopstvene težine uzeto je dodatno stalno opterećenje od 1,79 kN/m² na etažama i 4,65 kN/m² na krovu, fasadni zidovi od 11,09 kN/m′, atika od 7,39 kN/m′ i korisno opterećenje od 5,0 kN/m² (kategorija C3, ψ_2 = 0,6), odnosno 1,0 kN/m² na krovu. Masa za seizmičku proračunsku situaciju iznosi 5670 t. Seizmičko dejstvo definisano je za a_{gR} = 0,30g, klasu značaja IV (γ_I = 1,4), tlo B i spektar tipa 1. Kako je a_{Rg} = 0,3g > 0,25g, obuhvaćena je i vertikalna komponenta. Model 1, kao torziono fleksibilan tip konstrukcije, proračunat je na projektni spektar sa q = 2,0 (vertikalno q = 1,5), a Model 2 na elastične spektre (q = 1) sa platoom od 1,26g horizontalno i 1,13g vertikalno. Za Model 3 programu SeismoArtif generisano je sedam različitih veštačkih akcelerograma za pravce X, Y i Z, trajanja 20 s sa inkrementom zapisa 0,01 s.

Izolacioni sistem Modela 2 čini 39 FPS izolatora ispod stubova prizemlja, poluprečnika krivine R = 1,553 m, koji prema izrazu (2) odgovara ciljnom periodu od 2,5 s. Izolatori su prema vertikalnoj sili u seizmičkoj kombinaciji svrstani u četiri grupe (N = 704–2200 kN), sa K_{eff} = N/R = 453,3–1416,6 kN/m u linearnoj analizi, u kojoj su doprinos trenja i dodatno prigušenje konzervativno izostavljeni. U nelinearnoj analizi zadati su

koeficijenti trenja 0,02 i 0,04 pri malim i velikim brzinama, parametar brzine 20 s/m i početna krutost 20 000 kN/m. Konstrukcija je dimenzionisana prema EN 1992-1-1 [14] i pravilima niske klase duktilnosti.



Slika. 4 Ciljni elastični spektri i osrednjeni spektar za sedam veštačkih akcelerograma X pravca

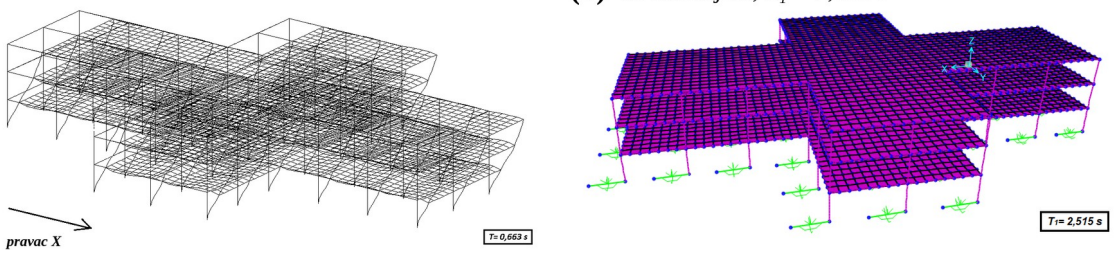
Sprovedene su modalna analiza (Model 1 svojstvenim, Modeli 2 i 3 Ritzovim vektorima [15]), multimodalna spektralna analiza sa CQC kombinovanjem tonova (Modeli 1 i 2) i nelinearna dinamička analiza u vremenskom domenu (Model 3), Njumarkovim postupkom sa 4000 koraka i 5 % Rejlijevog prigušenja. U Modelu 3 grede i stubovi zamenjeni su vlaknastim presecima (15 × 15 vlakana po preseku) sa tačnim položajem armature i definisanim radnim dijagramima za neutegnuti beton, utegnuti beton i čelik, a na krajevima linijskih elemenata zadati su plastični zglobovi za P–M2–M3 kako bi se pratila eventualna plastifikacija istih prema PBD analizi.

3.2. REZULTATI

3.2.1. Promena perioda vibracija

Ugradnjom izolatora periodi prva tri tona (translacija X, translacija Y, torzija) povećani su sa 0,663 s, 0,655 s i 0,654 s na 2,515 s, 2,515 s i 2,503 s (slika 5). Kod fiksno oslonjene konstrukcije prva tri tona imaju gotovo jednake periode, pa je odgovor konstrukcije po tonovima spregnut translatorno-torzioni. Kod izolovane konstrukcije prva tri tona odgovaraju kretanju krute nadkonstrukcije na izolatorima.

(a) *bez izolacije, T_1 = 0,663 s* **(b)** *sa izolacijom, T_1 = 2,515 s*



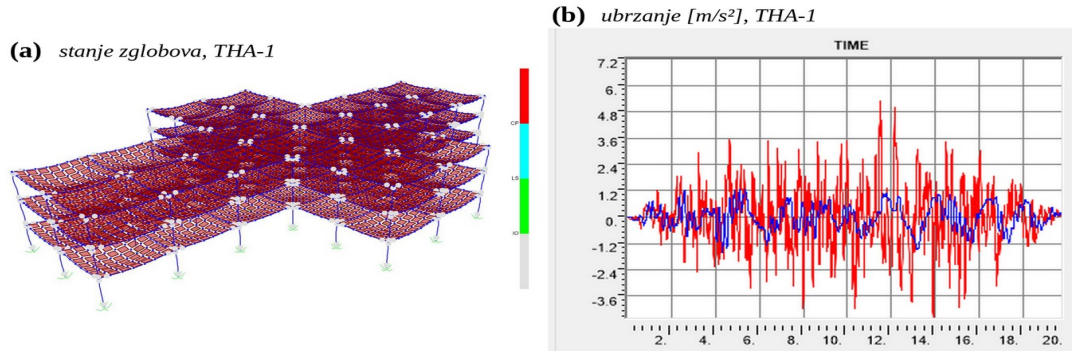
Slika. 5 Prvi oblik vibracija konstrukcije bez izolacije (a) i sa izolacijom (b)

3.2.2. Konstrukcija bez izolacije

Fiksno oslonjena konstrukcija je torziono fleksibilan sistem (torzioni radijus manji od radijusa inercije), pa je faktor ponašanja ograničen na q = 2,0. Najveće međuspratno pomeranje od 53,1 mm manje je od granice od 63,75 mm za duktilne, ali veće od granice od 42,5 mm za krte nekonstruktivne elemente. Većina stubova, uključujući i unutrašnje stubove 70/70 cm, ne zadovoljava uslov maksimalne smičuće nosivosti $V_{Rd,max}$ čime konstrukcija nije zadovoljila jednu od proračunskih kontrola. Konstrukcija u usvojenim dimenzijama stoga ne može biti projektovana metodom programiranog ponašanja, već bi bila neophodna izmena konstruktivnog sistema ili dodatno povećanje dimenzija poprečnog preseka vertikalnih linijskih elemenata.

3.2.3. Elastičan odgovor bazno izolovane konstrukcije

Nelinearna analiza Modela 3 potvrdila je pretpostavku projektovanja: ni u jednom zapisu nijedan plastični zglob nije dostigao granicu IO (slika 6a), a dijagrami moment–rotacija karakterističnih preseka grede i stuba srednjeg okvira su linearni. Jedino je u zategnutom zaštitnom sloju grede prekoračena dilatacija pucanja neutegnutog betona, što ukazuje na moguću pojavu prslina na tom mestu.



Slika. 6 Stanje plastičnih zglobova za zapis THA-1 (a) i apsolutna ubrzanja na nivou izolacije (crveno) i krova (plavo) (b)

3.2.4. Bazne sile

Iako je konstrukcija bez izolacije proračunata na spektar redukovan faktorom ponašanja q = 2, a izolovana na elastični spektar, horizontalne sile u osnovi izolovane konstrukcije manje su za 52–53 % (tabela 1). Vertikalna reakcija smanjena je za 32 %. Smanjenjem sila otklonjen je i problem smičuće nosivosti stubova, a maksimalni moment u dnu stubova prizemlja, najveći kod fiksno oslonjene konstrukcije, kod bazno izolovane konstrukcije jednak je nuli.

Tab. 1 Ukupne reakcije u osnovi iz spektralne analize

Reakcija	Bez izolacije (q = 2) [kN]	Sa izolacijom (q = 1) [kN]	Promena
ΣF_x	23 179	11 093	−52,1 %
ΣF_y	23 509	11 098	−52,8 %
ΣF_z	7 369	4 978	−32,5 %

3.2.5. Pomeranja

Međuspratna pomeranja iz spektralne analize smanjena su sa 53,1 i 33,6 mm na 8,1 i 5,6 mm, čime je zadovoljen i kriterijum za krte nekonstruktivne elemente. Pomeranje na nivou izolacije iz spektralne analize iznosi 309,3 mm, što uz $\gamma_x = 1{,}2$ zahteva kapacitet izolatora i seizmičku dilataciju od najmanje 371 mm. Nelinearna analiza daje najveća rezultantna pomeranja izolatora od 179, 214 i 153 mm (tabela 2), tj. do 31 % manja od spektralne procene, jer linearna analiza bez dodatnog prigušenja ne obuhvata disipaciju energije trenjem.

3.2.6. Spratna ubrzanja

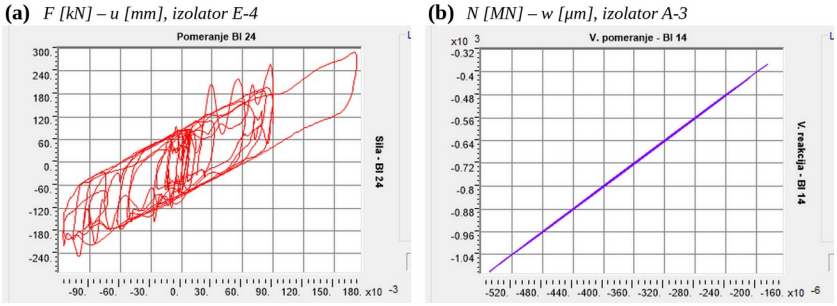
Najveća apsolutna ubrzanja na nivou izolacije, koja odgovaraju ulaznim zapisima, iznose 5,31, 5,22 i 5,62 m/s², a na krovnoj ploči 1,62, 1,72 i 1,47 m/s², tj. 3,0 do 3,8 puta manje (slika 6b, tabela 2).

Tab. 2 Rezultati nelinearne dinamičke analize po zapisima

Veličina	THA-1	THA-2	THA-3
Najveće rezultantno pomeranje izolatora [mm]	179	214	153
Najveća sila u izolatoru E-4 [kN]	290,0	334,6	306,7
Aksijalna sila u izolatoru A-3 [kN]	372–1099	315–1053	394–1124
Ubrzanje na nivou izolacije [m/s²]	5,31	5,22	5,62
Ubrzanje krova [m/s²]	1,62	1,72	1,47

3.2.7. Histerezisno ponašanje izolatora

Histerezisna petlja izolatora ispod unutrašnjeg stuba (slika 7a) odgovara idealizovanom modelu sa slike 2b: nagib petlje određen je povratnom krutošću W/R, a površina zaokruženog dijagrama predstavlja energiju disipiranu trenjem u nivou izolatora. Najveće horizontalne sile u ovom izolatoru iznose 290–335 kN. Ugaoni izolator, zbog najmanje gravitacione sile najosetljiviji na odizanje, u svim zapisima u svakom trenutku ostaje pritisnut, čime je potvrđen i nalaz spektralne analize, prema kojoj najmanja vertikalna reakcija iznosi 460 kN.



Slika. 7 Histerezisna petlja izolatora ispod unutrašnjeg stuba (a) i provera odizanja ugaonog izolatora (b), zapis THA-1

4. ZAKLJUČAK

Rezultati pokazuju da bazna izolacija za analiziranu bolnicu predstavlja kvalitativno bolje rešenje od konvencionalnog projektovanja. Fiksno oslonjena konstrukcija nepravilne osnove ne može se, u usvojenim dimenzijama, projektovati metodom programiranog ponašanja, dok izolacija tipa FPS produžava osnovni period 3,8 puta, smanjuje horizontalne sile u osnovi za više od polovine i ograničava međuspratna pomeranja na najviše 8,1 mm. Nelinearna dinamička analiza vlaknastog modela potvrdila je da nadkonstrukcija dimenzionisana na elastični spektar odgovora ostaje u elastičnom području, bez prekoračenja granice IO i bez odizanja izolatora, te je konstrukcija i verifikovana.

Budući rad na istraživanju bio bi usmeren je ka tehno-ekonomskoj analizi pri čemu bi se poredili troškovi izgradnje objekta i očekivani troškovi izgradnje i sanacije konvencionalno projektovane i bazno izolovane konstrukcije.

ZAHVALNOST

Istraživanje je sprovedeno u okviru projekta „Unapređenje nastavnih i naučnoistraživačkih kapaciteta primenom savremenih tehnologija u oblastima građevinarstva, geodezije i upravljanja rizikom od katastrofa i zaštite od požara”, realizovanog na Departmanu za građevinarstvo i geodeziju, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija.

LITERATURA

[1] Nagarajaiah S., Sun X. (2000). Response of base-isolated USC hospital building in Northridge earthquake. Journal of Structural Engineering, Volume 126, Issue 10, pp. 1177–1186. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2000)126:10(1177)

[2] EN 1998-1 (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN, Brussels, Belgium.

[3] EN 15129 (2009). Anti-seismic devices, CEN, Brussels, Belgium.

[4] Radimpex (2026). Tower 8 – Program za statičku i dinamičku analizu konstrukcija, Radimpex, Beograd, Srbija.

[5] Computers and Structures, Inc. (2022). CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge, CSI, Walnut Creek, California, USA.

[6] Seismosoft (2026). SeismoArtif – User Manual, Seismosoft Ltd., Pavia, Italy. https://seismosoft.com

[7] Zayas V.A., Low S.S., Mahin S.A. (1990). A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. Earthquake Spectra, Volume 6, Issue 2, pp. 317–333. https://doi.org/10.1193/1.1585573

[8] Constantinou M., Mokha A., Reinhorn A. (1990). Teflon bearings in base isolation II: Modeling. Journal of Structural Engineering, Volume 116, Issue 2, pp. 455–474. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:2(455)

[9] FEMA 356 (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.

[10] Fajfar P. (2000). A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. Earthquake Spectra, Volume 16, Issue 3, pp. 573–592. https://doi.org/10.1193/1.1586128

[11] Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of Structural Engineering, Volume 114, Issue 8, pp. 1804–1826. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)

[12] Newmark N.M. (1959). A method of computation for structural dynamics. Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Volume 85, Issue 3, pp. 67–94.

[13] EN 1991-1-1 (2002). Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings, CEN, Brussels, Belgium.

[14] EN 1992-1-1 (2004). Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, Brussels, Belgium.

[15] Wilson E.L., Yuan M.W., Dickens J.M. (1982). Dynamic analysis by direct superposition of Ritz vectors. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Volume 10, Issue 6, pp. 813–821. https://doi.org/10.1002/eqe.4290100606

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-021

SANACIJA AB TRIBINA STADIONA U KONJICU

Đani Rahimić[1]

Rezime:

U radu je prikazan način sanacije armirano-betonskih montažnih tribina gradskog stadiona u Konjicu. Oštećenja na tribinama nastala su uslijed djelovanja procjednih voda i kondenzacije u prostorima ispod tribina, a sama sanacija je bila otežana činjenicom da su na tribinama već bili izvedeni novi slojevi hidroizolacije.

Tek nakon izvođenja hidroizolacije sa gornje strane, pristupilo se drugoj fazi radova koja je obuhvaćala adaptaciju prostorija ispod tribina, pri čemu su primjećena ozbiljna oštećenja donje površine armirano-betonske konstrukcije.

Cijeneći činjenicu da su već uložena značajna sredstva u izradu hidroizolacije kompletnih tribina bilo je potrebno iznaći način saniranja donje površine tribina bez oštećenja hidroizolacije na gornjoj površini.

Ključne reči: armirano-betonske tribine, sanacija, posebni uslovi

REHABILITATION OF RC GRANDSTANDS OF THE STADIUM IN KONJIC

Summary:

The paper presents the method of rehabilitating the reinforced concrete stands of the city stadium in Konjic. Damage to the stands was caused by seepage and condensation in the spaces under the stands, and the repair itself was made more difficult by the fact that new layers of waterproofing had already been installed on the stands.

Only after waterproofing on the upper side, the second phase of the works was started, which included the adaptation of the rooms under the stands, where serious damage to the lower surface of the reinforced concrete structure was noticed.

Appreciating the fact that significant funds have already been invested in the waterproofing of the complete stands, it was necessary to find a way to repair the lower surface of the stands without damaging the waterproofing on the upper surface.

Keywords: reinforced concrete grandstands, rehabilitation, special conditions

[1] Van.Prof.dr., Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić, Mostar, Bosna i Hercegovina, djani.rahimic@unmo.ba, 0009-0004-0393-6610

1. UVOD

Kao što je navedeno u rezimeu u radu je prikazan specifičan način sanacije armirano-betonskih montažnih tribina gradskog stadiona u Konjicu. Naime, sama sanacija tribina odvijala se u više faza, gdje je u prvoj fazi izvedena hidroizolacija na gornjoj površini tribina. Paralelno sa ovim radovima otpočeli su i radovi na adaptaciji prostorija ispod tribina, gdje zbog postojanja stropa od gips kartonskih ploča nisu odmah primjećena oštećenja armirano-betonske konstrukcije.
Tek nakon uklanjanja ove stropne konstrukcije uočena su ozbiljna oštećenja koja su zahtjevala ozbiljnu konstruktivnu sanaciju (Slika 1).



Slika. 1 Oštećenja armirano-betonske konstrukcije tribina

Kao što je vidljivo sa slike 1, tribine su izvedene od montažnih nosača „L“ oblika koji su oslonjeni na glavne stepenaste nosače, što predstavlja klasičan način izvedbe tribina.

Nakon uočenih oštećenja Investitor se obratio sa zahtjevom za izradom projekta sanacije, ali pod izričitim uslovom da gornja površina tribina, zbog već izvedene hidroizolacije, ne smije biti ugrožena sanacionim mjerama, tj. dozvoljene su samo intervencije na donjoj površini tribina.
Ovaj uslov predstavljao je veliko ograničenje za izbor sanacionih mjera, ali je osim toga veliku ulogu igrao i sam stepen oštećenja koji je bilo potrebno utvrditi prije odabira konačnog rješenja sanacije.

2. STEPEN OŠTEĆENJA

Kao što je i očekivano kod armirano-betonskih konstrukcija uslijed djelovanja vode u kombinaciji sa nedovoljnom debljinom zaštitnog sloja betona dolazi do korozije armature, te u konačnici i do potpunog propadanja zaštitnog sloja.
Poseban problem je i sama tehnologija montažne gradnje koja u pravilu ima relativno male debljine elemenata pa sam tim i nedovoljnu debljinu zaštitnog sloja betona, što je posebno izraženo kod starijih montažnih konstrukcija.

Ovo je posebno bilo izraženo na primjeru ovih tribina gdje montažni elementi vjerovatno nisu ni proizvedeni u kontrolisanim fabričkim uslovima, nego na samom gradilištu pa je slabiji kvalitet i njega betona dodatno uticalo na razvoj oštećenja.



Slika. 2 Oštećenja glavnog nosača tribina

Pored oštećenja na glavnim nosačima, prikazanim na slici 2, posebno su zabrinjavala i oštećenja sekundarnih nosača (Slika 3), gdje je uslijed korozije i tankih profila na više mjesta došlo do potpunog kidanja armaturnih šipki.



Slika. 3 Oštećenja sekundarnih nosača tribina

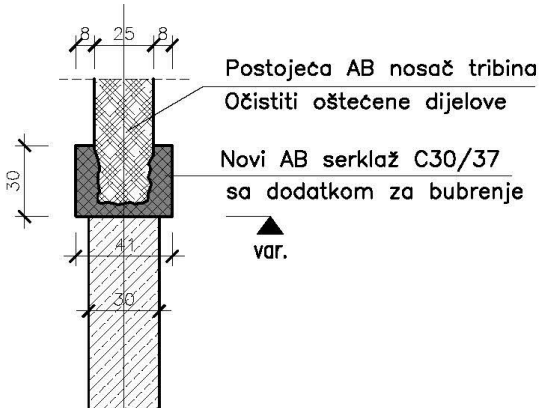
Potpuni prekid armaturnih šipki primjećen je uglavnom na smičućoj armaturi tj. uzengijama koje su izvedene od glatke armature prečnika 6mm.
Ova činjenica je posebno uticala na odabir konačnog rješenja sanacije.

3. MJERE SANACIJE

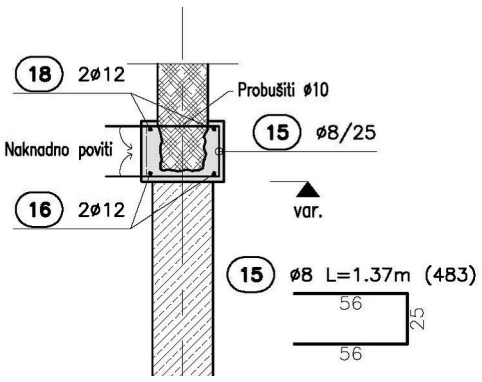
Osim uočenih oštećenja, za konačan odabir mjera konstruktivne sanacije bilo je potrebno analizirati i arhitektonski projekat koji je osim hidroizolacije na tribinama predviđao i adaptaciju prostorija ispod tribina.
Bitan dio arhitektonskog projekta bila je zaštita hidroizolacije koja je predviđena u vidu AB obloge debljine 10cm koja će služiti za ankerisanje sjedišta na tribinama.
Obzirom na ove radove moglo se zaključiti da će doći do povećanja stalnog opterećenja na tribinama jer dodatna AB obloga nije uzeta u obzir prilikom prvobitne izgradnje tribina, što je utvrđeno uvidom u originalni projekat tribina.

S tim u vezi, a kako bi se izbjeglo povećanje opterećenja na temeljne stope, kao mjera sanacije glavnih nosača odabrano je podziđivanje glavnih okvira (Slika 4), što je bilo moguće izvesti obzirom da je izradom raskopa utvrđeno da ispod okvira postoji temeljna greda (traka) dimenzija 50x50cm za koju se moglo utvrditi da ima dovoljnu nosivost da preuzme i prenese opterećenje sa tribina na tlo. Procjena nosivosti temeljnih greda (traka) izvršena je na osnovu vrste temeljnog tla koje je utvrđeno prilikom izrade raskopa te na osnovu širine temeljne grede i projektovanog opterećenja.

Ovakvo rješenje je bilo kompatibilno sa arhitektonskim projektom obzirom da je tamo svakako bila predviđena izrada zidanih pregrada ispod tribina, koje su sada tretirane kao nosivi zidovi. Naravno, da bi nova „ispuna“ okvira preuzela dodatno vertikalno opterećenje neophodno je bilo izvršiti sprezanje sa AB okvirom iznad (Slika 5).



Slika. 4 Detalj podziđivanja postojećeg AB okvira



Slika. 5 Detalj armiranja serklaža na spoju sa AB okvirom

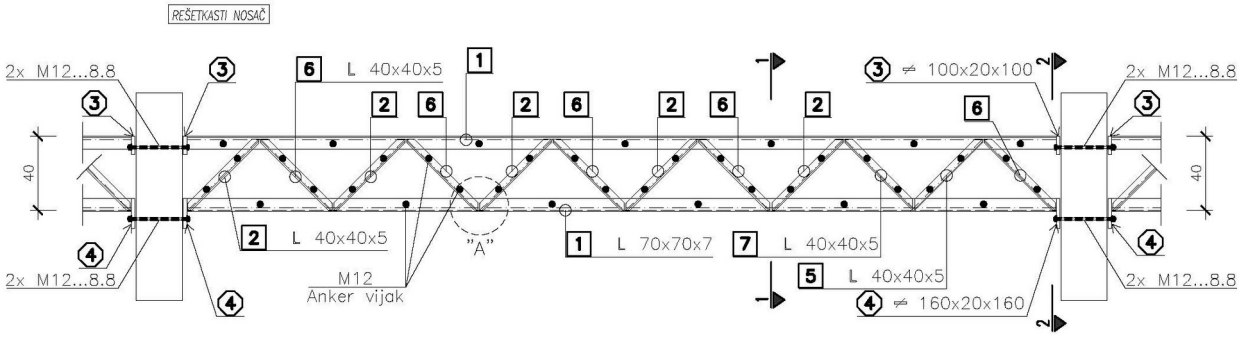
Za sanaciju sekundarnih nosača tribina odabrano je rješenje sa ugradnjom čeličnog rešetkastog nosača sa donje strane i njegovo ankerisanje za AB ploču tribina te nakadno nanošenje torkret betona (Slika 6). Ovakvo rješenje odabrano je kako ne bi došlo do oštećenja ugrađene hidroizolacije sa gornje strane tribina, uz istovremeno ojačanje sekundarnih nosača za preuzimanje dodatnog stalnog opterećenja kao i vlastite težine postojećih nosača. Nanošenje torkret betona preko čeličnih nosača odabrano je radi zaštite od požara i boljeg sprezanja sa postojećim AB nosačima. Za odabir rješenje korištene su uglavnom iskustvene metode, obzirom na specifičnost same konstrukcije i postojećeg stanja.

Da bi odabrano rješenje bilo pravilno aktivirano, vrlo je bitan redoslijed izvođenja radova koji je trebao biti sljedeći:

- Čišćenje oštećenog betona vodom i zrakom pod pritiskom
- Podziđivanje AB okvira
- Izrada horizontalnog serklaža na spoju zida i rigle okvira
- Ugradnja armaturne mreže na horizontalne dijelove tribina
- Ugradnja rešetkastih čeličnih nosača na vertikalne dijelove tribina
- Podupiranje i podizanje tribina hidrauličnim presama
- Ankerisanje čeličnih nosača za postojeći beton sa M12 anker vijcima
- Otpuštanje podupora
- Nanošenje torkret betona po cijeloj površini u debljini min. 3-5cm
- Ugradnja AB zaštite hidroizolacije na tribinama

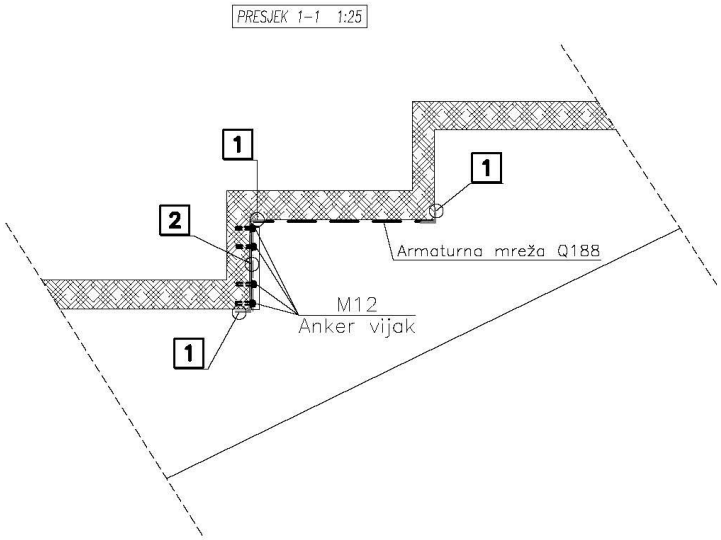
Opcija sa ojačanjem karbonskim trakama nije odabrana zbog slabijeg kvaliteta betona, veće cijene koštanja i potrebe za preuzimanjem dodatnog stalnog opterećenja, gdje je čelični nosač povoljniji sa aspekta zamora materijala i jednostavnosti ugradnje.

Rešetkasti nosač je projektovan od čeličnih „L“ profila koji su omogućavali bolje priljubljivanje i ankerisanje uz AB sekundarne nosače tribina, čime se u konačnici ostvaruje prenos opterećenja sa tribine na nosač.

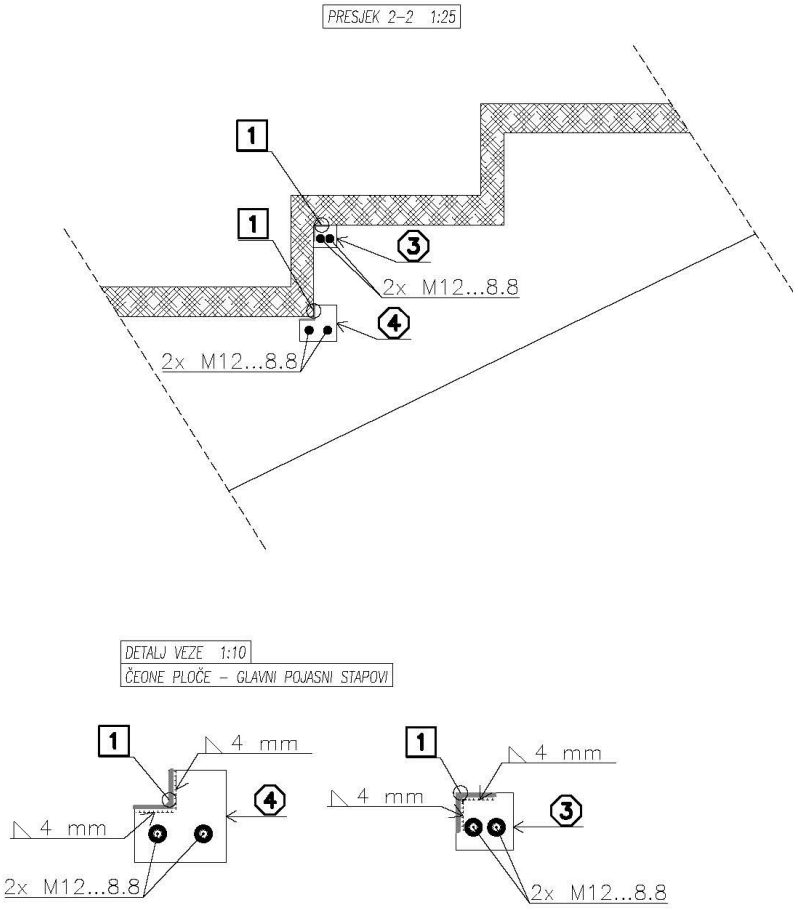


Slika. 6 Prikaz rešetkastog nosača

Kao što je navedeno nosač je priljubljen uz vertikalni dio stepenastog „L“ nosača tribina tako da nije uticao na smanjenje visine prostora ispod tribina (Slika 7 i 8).



Slika. 7 Prikaz rešetkastog nosača u poprečnom presjeku



Slika. 8 Prikaz oslanjanja rešetkastog nosača

Prenos opterećenja sa tribine na nosač osiguran je ugradnjom anker vijaka i samim oblikom rešetke, gdje se tribina praktično „oslanja“ na donji „L“ profil rešetke.

4. ZAKLJUČAK

Adaptacija i sanacija postojećih objekata i konstrukcija često predstavlja veće izazove nego izgradnja potpuno novih. Također, pravovremeno uključivanje svih učesnika, a posebno konstruktivnih inžinjera je od krucijalne važnosti za pravilnu implementaciju radova.
Na primjeru tribina stadiona u Konjicu konstruktivni inžinjeri nisu bili uključeni u projekat od samog početka jer su se planirali samo građevinsko – zanatski radovi na adaptaciji prostorija, ali na kraju se ispostavilo da su konstruktivna ojačanja više nego neophodna za produženje vijeka trajanja objekta i njegovu sigurnu upotrebu.

Na kraju se može zaključiti da bi za sve objekte na kojima se provode bilo kakvi radovi sanacije trebalo biti obavezno uključivanje konstruktivnog inžinjera koji bi bio obavezan izvršiti pregled i dati svoje mišljenje o neophodnosti eventualnih konstruktivnih ojačanja objekta.

5. KORIŠTENA LITERATURA

[1] Glavni projekat rekonstrukcije tribina i podtribinskog prostora gradskog stadiona u Konjicu Grateh d.o.o. Mostar, 2023. godine

[2] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, Sl.list SFRJ 1987. godine

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-028

PROCENA STANJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE VODOTORNJA

Vladimir Vukobratović[1], *Goran Radeka*[2]

Rezime:

U radu je predstavljena procena stanja čelične konstrukcije vodotornja koji se nalazi u okviru fabričkog kompleksa na severu Vojvodine, zasnovana na geodetskom snimanju, vizuelnom pregledu i kontrolnom statičkom proračunu. Nakon prikaza informacija o konstrukciji vodotornja preuzetih iz raspoložive dokumentacije, izneta su najvažnija zapažanja nastala tokom vizuelnog pregleda. Kontrolni statički proračun sproveden je radi utvrđivanja odgovora konstrukcije na dejstva vetra i seizmike u skladu sa svim relevantnim zahtevima evrokodova. Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima proračuna iz originalnog projekta konstrukcije, i dati su odgovarajući komentari.

Ključne reči: vodotoranj, čelična konstrukcija, dejstvo vetra, seizmičko dejstvo

CONDITION ASSESSMENT OF THE STEEL WATER TOWER STRUCTURE

Summary:

In the paper, a condition assessment of the steel structure of a water tower located within an industrial complex in northern Vojvodina is presented, based on geodetic surveying, visual inspection, and static verification analysis. After presenting information on the water tower structure obtained from available documentation, the most important observations from the visual inspection are reported. The static verification analysis was performed to determine the structural response to wind and seismic actions in accordance with all relevant Eurocode requirements. The obtained results were compared with the results of the original design calculations, and appropriate comments were provided.

Keywords: water tower, steel structure, wind action, seismic action

[1] Profesor, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, vladavuk@uns.ac.rs, ORCID 0000-0002-2896-4501
[2] Pomoćnik direktora, PRO-ING, Novi Sad, Srbija, goran.radeka@pro-ing.rs

1. UVOD

U radu je predstavljena procena stanja čelične konstrukcije vodotornja koji se nalazi u okviru fabričkog kompleksa na severu Vojvodine, zasnovana na geodetskom snimanju, vizuelnom pregledu i kontrolnom statičkom proračunu. Vodotoranj je izgrađen i pušten u rad 1981. godine. Geodetsko snimanje sprovedeno je u martu 2023. godine, a vizuelni pregled konstrukcije obavljen je mesec dana kasnije. Konstrukcija vodotornja je čelična, izrađena od čelika Č0361, visine 50 m, i prikazana je na Slici 1.



Slika. 1 Izgled vodotornja na dan 28.04.2023. godine

Stub vodotornja sastoji se od tri segmenta. Najniži segment je zarubljena konusna ljuska sa prečnicima donje i gornje baze od 3000 mm i 2000 mm, respektivno. Srednji segment je cilindričnog oblika, prečnika 2000 mm, dok je najviši formiran od spiralno zavarene cevi prečnika 1016 mm. Sva tri segmenta imaju debljinu zida od 12 mm.
Najniži segment ima otvor za ulaz, a za temelj je povezan ankerima M42. Na stubu u zoni rezervoara ugrađen je prsten za povezivanje sa ljuskom rezervoara, a u gornjem delu stuba postoji otvor za pristup rezervoarskom prostoru putem merdevina. Vertikalna komunikacija u najvišem segmentu stuba omogućena je merdevinama, a u srednjem i najnižem segmentu omogućena je penjalicama sa leđobranom.
Rezervoar poliedarskog oblika, prečnika 8 m, ima maksimalni kapacitet od 200 m^3 i izrađen je od limova debljine 5–8 mm. Ukrućen je sa dvadeset četiri meridijanska i jednim cirkularnim ukrućenjem.
Armiranobetonski (AB) temelj je prstenast, oslonjen na kvadratnu ploču dimenzija 10 m × 10 m i debljine 50 cm. Prsten je u oba pravca ukrućen trapeznim zidovima debljine 40 cm i visine 2 m. Marka betona AB temeljne konstrukcije je MB 250.
Klimatski uslovi su umereno kontinentalni, sa četiri godišnja doba, veoma toplim letima i vrlo hladnim zimama. Prema raspoloživim podacima, ekstremne temperature na lokaciji iznose –25 ºC i +40 ºC. Za lokalne klimatske uslove preovlađuju severozapadni i jugoistočni vetrovi, a osnovna brzina vetra na lokaciji iznosi 19 m/s. Kada su u pitanju

snežne padavine, raspoloživi podaci ukazuju na maksimalnu debljinu snežnog pokrivača od 30 cm.

Prema karti seizmičke regionalizacije Srbije, fabrički kompleks se nalazi na lokaciji koja pripada zoni VII–VIII stepena seizmičnosti prema MCS skali, za povratni period od 475 godina, sa maksimalnim ubrzanjem tla na osnovnoj steni od 0,10 g [1].

Rad je strukturiran na sledeći način: u Poglavlju 2 date su informacije o konstrukciji objekta preuzete iz raspoložive dokumentacije; u Poglavlju 3 izneta su zapažanja nastala tokom vizuelnog pregleda; u Poglavlju 4 prikazan je kontrolni statički proračun, dok su u Poglavlju 5 navedeni zaključci.

2. PREGLED RASPOLOŽIVE DOKUMENTACIJE

Radi utvrđivanja defekata i stepena oštećenja elemenata noseće konstrukcije vodotornja, najpre je izvršen pregled raspoložive dokumentacije, i to: glavnog projekta konstrukcije [2], izveštaja o izvršenom glavnom pregledu [3], knjige eksploatacije i održavanja [4] i izveštaja o geodetskoj kontroli vertikalnosti [5].

U okviru [3] je, između ostalog, konstatovano:

- temelj i ankeri ne poseduju nikakva oštećenja,
- stub nema deformacija nastalih u eksploataciji, a lokalne deformacije su uočene samo u konusnom delu i potiču od izrade u radionici,
- maksimalno vertikalno odstupanje iznosi 15,83 mm na visini od 40,5 m, što je dvadeset puta manje od odstupanja koje je projektom pretpostavljeno za slučaj ekstremnog dejstva vetra pri punom vodotornju,
- varovi u stubu su bez promena, ali su u velikoj meri zahvaćeni korozijom,
- stub je sa spoljašnje i unutrašnje strane zahvaćen korozijom u vidu malih mehurića koji izbijaju ispod premaza,
- samo u delu stuba u rezervoaru su uočena gnezda mehurića i odvajanje premaza od konstrukcije, dok su na ostalim mestima mehurići pojedinačno raspoređeni, ali na malom razmaku i po čitavoj površini,
- ljuštenje premaza je izraženo u manjoj meri i predstavlja površinsku koroziju bez kratera,
- u rezervoaru nisu uočene deformacije, izuzev deformacija nastalih pri montaži, ali postoje netačnosti u spajanju segmenata u vidu nesaosnosti, koje bi u slučaju veće korozije mogle dovesti u pitanje sigurnost rezervoara,
- spojevi segmenata rezervoara značajno su korodirali i predstavljaju kritičnu tačku čitave konstrukcije vodotornja,
- rezervoar je izrazito zaprljan, sa naslagama koje na pojedinim mestima dostižu debljinu do 1 cm, što prevazilazi uobičajene norme,
- termička zaštita rezervoara je besprekorna.

Uvidom u [4] se, između ostalog, došlo do saznanja da je tokom 1988. godine došlo do curenja vode na jugoistočnoj strani vodotornja, nakon čega je uočena rupa od 20 mm koja je sanirana. Iste godine započeti su radovi na rekonstrukciji i čišćenju, pri čemu je eksploatacija bila zaustavljena. Nakon rekonstrukcije vodotoranj je pušten u rad u protočnom režimu. Sanacija termoizolacije gornjeg reda segmenata rezervoara izvršena je 1995. godine, nakon oštećenja nastalih usled velike oluje. Tada je uočeno i olabavljenje vijaka na oštećenim segmentima. Oko godinu dana kasnije izvršen je pregled vodotornja, ocena oštećenosti antikorozivne zaštite i kontrola vertikalnosti. Konstatovano je da je potrebna obnova antikorozivne zaštite stuba, kao i kontrola stanja antikorozivne zaštite i izolacije rezervoara sa spoljašnje strane. Izmereno je maksimalno odstupanje od vertikale od 15,14 mm na visini od 40,5 m. Remont, koji je obuhvatao pražnjenje i čišćenje rezervoara, sanaciju oslabljenih mesta na kojima je došlo do

curenja, zamenu kompletne termoizolacije, te farbanje stuba spolja i delimično iznutra, sproveden je 1999. godine.
Konačno, uvidom u [5] konstatovano je da je, pored vertikalnog odstupanja navedenog u pasusu iznad, izmereno i odstupanje od 38,18 mm na visini od 43 m, koje u [4] nije navedeno. Zaključeno je da podaci o nevertikalnosti zadovoljavaju samo početne procene stabilnosti, te da mogu poslužiti kao kontrolni pokazatelj na osnovu koga se mogu predvideti dalje mere, kao i da je potrebno vršiti osmatranja više puta godišnje.

3. VIZUELNI PREGLED

3.1. TEMELJ I ANKERI

Deo temeljne konstrukcije i ankera koji je vidljiv je u dobrom stanju, što je prikazano na Slici 2.



Slika. 2 Gornja površina AB temelja i dno stuba sa ankerima i limovima korišćenim pri montaži

Imajući u vidu da je u nekoliko navrata utvrđena narušenost vertikalnosti konstrukcije, postavlja se pitanje da li je u temeljnom tlu došlo do nepredviđenih deformacija. To vizuelnim pregledom nije moglo biti utvrđeno, ali se napominje da ta mogućnost nije isključena.

3.2. STUB

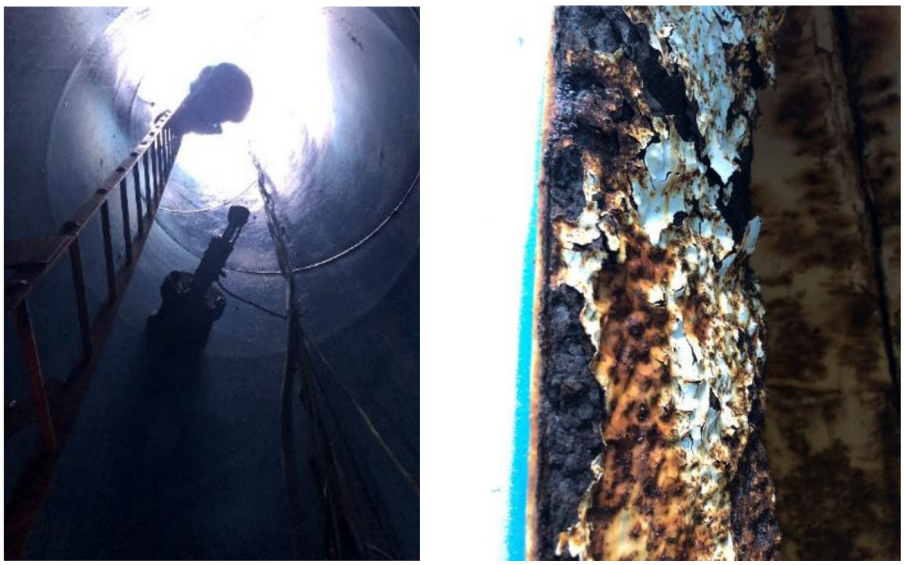
Opšte stanje konstrukcije stuba je solidno, uz prisustvo lokalnih problema razmatranih u nastavku.
Merenjem debljine lima u najnižem segmentu stuba utvrđeno je da ista iznosi 12 mm, što je u skladu sa projektovanim stanjem.
Zaštitni premaz stuba sa spoljašnje strane je adekvatan samo u njegovom najnižem delu, gde je očigledno novijeg datuma (Slike 1 i 2). Na preostalom delu premaz je dotrajao ili ne postoji, te je prisutna korozija. U unutrašnjosti stuba, u najnižem i srednjem delu, stanje zaštitnog premaza je generalno dobro.
Ulazna vrata vodotornja su ostala bez zaštitnog premaza sa unutrašnje strane, te se javila korozija (Slika 2). Ulazna i odmorišna platforma se nalaze u nešto lošijem stanju (Slika

3), dok su penjalice i leđobran u dva niža segmenta stuba u solidnom stanju, pri čemu je prilikom penjanja primećeno ljuštenje boje i pojava korozije.
Unutrašnji zaštitni premaz najvišeg segmenta stuba je u dobrom stanju, što je prikazano na Slici 4 levo, na kojoj se vidi da su i merdevine koje vode do rezervoara i vrha vodotornja u dobrom stanju.



Slika. 3 Ulazna platforma (levo) i odmorišna platforma sa prikazom izgleda penjalica i leđobrana (desno)

U najvišem segmentu stuba, lim oko otvora ka rezervoaru je u prilično lošem stanju i potpuno je zahvaćen korozijom, koja je dovela do ozbiljnog stepena degradacije, što je prikazano na Slici 4 desno.



Slika. 4 Stanje zaštitnog premaza najvišeg segmenta stuba sa unutrašnje strane i merdevine koje vode do rezervoara i vrha vodotornja (levo) i stanje lima oko otvora ka rezervoaru (desno)

U skorije vreme trebalo bi pristupiti sanaciji i revitalizaciji konstrukcije stuba, pre svega u smislu izvođenja antikorozivne zaštite, a u budućnosti je neophodno njegovo redovno

održavanje i monitoring, kao i geodetsko osmatranje narušene vertikalnosti, koja je i do sada bila predmet analiza i razmatranja.

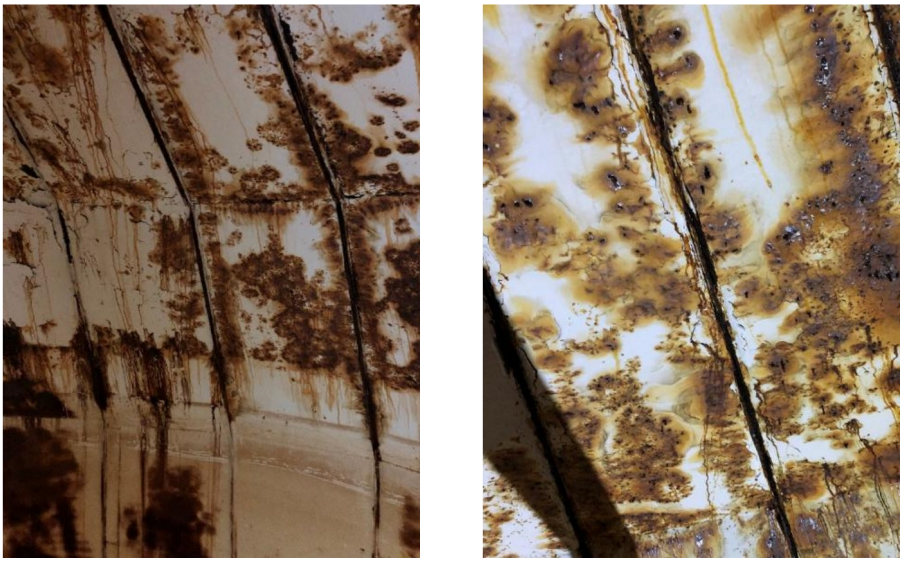
3.3. REZERVOAR

Za potrebe pregleda vodotornja, rezervoar je bio potpuno ispražnjen kako bi se moglo pristupiti svim njegovim delovima, što je prilikom pregleda i učinjeno. Opšte stanje konstrukcije rezervoara je loše i razmatrano je u nastavku.
Donji deo rezervoara, koji je uglavnom potopljen, je čist, uz prisustvo tanjih naslaga nečistoća (Slika 5).



Slika. 5 Stanje donjeg dela konstrukcije rezervoara i izgled stuba u rezervoarskom prostoru

Ultrazvučnim merenjem debljine limova donjeg dela utvrđeno je da ona iznosi oko 8 mm, što načelno odgovara projektovanom stanju. Postavlja se pitanje stvarnog stanja konstrukcije jer nije isključena mogućnost da su segmenti pod vodom korodirali slično kao i segmenti u delu rezervoara iznad vode, koji je analiziran u nastavku. Dodatno, na Slici 5 levo vidi se da zaštitni premaz najvišeg segmenta stuba sa strane rezervoara (spoljašnje strane) ne postoji, kao i da je stub zahvaćen značajnim stepenom korozije.
Gornji deo konstrukcije rezervoara je u lošem stanju. Prisutan je visok stepen korozije i značajna degradacija, kako na spojevima, tako i na pojedinim segmentima (Slika 6).



Slika. 6 Stanje gornjeg dela konstrukcije rezervoara

Rezervoarske merdevine su u tolikoj meri korodirale da je tokom pregleda došlo do otpadanja jedne od prečki (Slika 7).



Slika. 7 Stanje otpale prečke rezervoarskih merdevina

Stanje konstrukcije rezervoara je takvo da su njena nosivost, stabilnost, upotrebljivost i trajnost značajno narušene, te je potrebno sprovesti hitnu sanaciju ili delimičnu odnosno potpunu zamenu.

4. KONTROLNI STATIČKI PRORAČUN

Kontrolni statički proračun sproveden je radi utvrđivanja odgovora konstrukcije na dejstva vetra i seizmike u skladu sa svim relevantnim zahtevima evrokodova. Prilikom kontrolnog statičkog proračuna korišćeni su rezultati iz izveštaja o novom geodetskom snimanju [6]. Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima proračuna iz originalnog projekta konstrukcije, koji je urađen primenom [7, 8].
Kako je novim geodetskim snimanjem [6] utvrđen otklon stuba od 10 cm na visini od 41 m, on je uzet u obzir u matematičkom modelu kao geometrijska imperfekcija. AB temeljna konstrukcija implementirana je prema projektovanom stanju, dok rezervoar nije modeliran, već je njegova težina aplicirana na stub kao stalno opterećenje.
Statičkim proračunom nije posebno obuhvaćena konstrukcija rezervoara, čije je stanje prikazano i komentarisano u Poglavlju 3.3, s obzirom na to da pouzdan proračun konstrukcije sa visokim stepenom korozije nije moguć. Proračun rezervoara biće moguć tek nakon njegove sanacije ili eventualne delimične ili potpune zamene.

4.1. DEJSTVO VETRA

Analiza i proračun na dejstvo vetra sprovedeni su na osnovu [9, 10]. Opterećenje od vetra aplicirano je u vidu koncentrisanih sila na unapred izabranim visinama, prema prikazu u Tabeli 1, u kojoj su korišćene oznake: z - visina, $c_r(z)$ - koeficijent hrapavosti, $v_m(z)$ - srednja brzina vetra, $l_v(z)$ - intenzitet turbulencije, $q_p(z)$ - udarni pritisak, $c_s c_d$ - koeficijent konstrukcije, c_f - koeficijent sile, A_{ref} - referentna površina, i F - koncentrisana sila. Odvajanje vrtloga i ovalne oscilacije nisu razmatrani.

Rezultanta sila iz Tabele 1 uporediva je sa rezultantom određenom u okviru originalnog projekta konstrukcije [2], te su i rezultati analize generalno uporedivi, što je prikazano u Tabeli 2.

Pomeranje vrha usled dejstva vetra koje je određeno analizom veće je od pomeranja datog u projektu [2]. Ipak, smatra se da je ono u prihvatljivim granicama budući da je manje od $H/150$, što je ovde usvojeno kao orijentacioni kriterijum budući da u literaturi ne postoje jasne preporuke po tom pitanju.

Tab. 1 Određivanje koncentrisanih sila usled dejstva vetra

z [m]	$c_r(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$I_v(z)$	$q_p(z)$ [kN/m^2]	$c_s c_d$	c_f	A_{ref} [m^2]	F [kN]
12	1,04	19,79	0,18	0,546	1,1	0,6	30	10,8
20	1,14	21,63	0,17	0,621	1,1	0,6	16	6,6
30	1,22	23,09	0,16	0,684	1,1	0,6	20	9,0
42	1,28	24,31	0,15	0,738	1,1	0,6	24	11,7
50	1,31	24,94	0,14	0,767	1,0	1,1	50	42,2

Tab. 2 Rezultati sprovedene analize odgovora konstrukcije vodotornja na dejstvo vetra

Razmatrani odgovor	Analiza	Iz projekta [2]
Pomeranje vrha [cm]	31,4	22,5
Iskorišćenost napona u stubu (srednji segment) [%]	44	58
Iskorišćenost stabilnosti stuba (srednji segment) [%]	45	94
Ekstremni napon u temeljnom tlu [kPa]	94	80

Analizom određena iskorišćenost napona u stubu slična je onoj koja je data u projektu konstrukcije [2]. Kada je reč o stabilnosti, iskorišćenost dobijena analizom znatno je manja od projektovane, što je posledica razlika u proračunskim postupcima.

Naponi u tlu nalaze se u granicama dopuštenih vrednosti, odnosno manji su od 150 kPa. Na kontaktu temelja i tla ne dolazi do pojave zatezanja, što znači da nema odizanja tokom dejstva vetra, te se konstatuje da globalna stabilnost konstrukcije nije ugrožena.

4.2. SEIZMIČKO DEJSTVO

Na osnovu saznanja o predmetnoj lokaciji, za seizmički ulaz prema Evrokodu 8, delu 1 [11, 12], usvojeno je: a_{gR} = 0,10 g, kategorija tla D, kategorija značaja II (γ_I = 1), tip spektra 1, prigušenje 2 %, faktor ponašanja q = 1 (elastičan odgovor konstrukcije). Seizmičko dejstvo razmatrano je u dva glavna horizontalna pravca. Uticaji nastali usled razmatranih komponenti kombinovani su prema SRSS pravilu.

U matematičkom modelu, za proračun mase, pored sopstvene težine konstrukcije i nasutog tla na temeljnoj konstrukciji, razmatrana je i količina vode u rezervoaru u dva iznosa: 150 m^3 i 200 m^3. Manji iznos odgovara realnom režimu eksploatacije, dok veći odgovara maksimalnom kapacitetu vodotornja, koji je korišćen i prilikom projektovanja konstrukcije [2].

Za dva razmatrana slučaja količine vode u rezervoaru, dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 3. Rezultati iz projekta [2] odnose se na punjenje od 200 m^3 i ovde su dati radi poređenja. Skreće se pažnja da je konstrukcija projektovana prema propisima koji se znatno razlikuju od Evrokoda 8, primenjenog u ovoj analizi. Stoga, cilj prikazanog poređenja je isključivo sticanje utiska o formalnom ispunjenju zahteva po pitanju nosivosti i stabilnosti, nekada i sada. Ipak, iz rezultata se može zaključiti da su oni

generalno bliski, što s jedne strane potvrđuje ispravnost primenjenih postupaka analize i proračuna, a s druge strane potvrđuje performanse konstrukcije u odnosu na projektne zahteve.

Kada su u pitanju periodi vibracija prvog tona, rezultati su očekivani i u skladu sa onima datim u projektu konstrukcije [2]. Pomeranja za dve varijante punjenja rezervoara, određena prema zahtevima Evrokoda 8, gotovo su identična za oba povratna perioda, što proizilazi iz seizmičkih zahteva standarda. Dobijene vrednosti pomeranja nalaze se u granicama prihvatljivim za čelične vodotornjeve. Skreće se pak pažnja da iz projektne dokumentacije nije jasno kom povratnom periodu odgovara pomeranje navedeno u projektu [2], ali je ono očigledno uporedivo sa pomeranjem koje prema Evrokodu 8 odgovara povratnom periodu od 475 godina, vezanom za granično stanje nosivosti.

Tab. 3 Rezultati sprovedene analize odgovora konstrukcije vodotornja na seizmičko dejstvo

Razmatrani odgovor	**Analiza za punjenje 150 m^3**	**Analiza za punjenje 200 m^3**	**Iz projekta [2]**
Period vibracija prvog tona [s]	4,71	5,36	5,69
Pomeranje vrha za povratni period od 475 godina [cm]	24,1	24,4	20,2
Pomeranje vrha za povratni period od 95 godina [cm]	12,1	12,2	/
Iskorišćenost napona u stubu (srednji segment) [%]	44	48	53
Iskorišćenost stabilnosti stuba (srednji segment) [%]	45	49	82
Ekstremni napon u temeljnom tlu [kPa]	109	114	115

Iskorišćenosti napona i stabilnosti za dve varijante punjenja rezervoara su slične i ispod graničnih vrednosti, što ukazuje na to da otklon stuba trenutno ne predstavlja problem. Kada je reč o stabilnosti, iz Tabele 3 se vidi da je iskorišćenost iz [2] znatno veća od one dobijene analizom, što je, kao i u slučaju dejstva vetra, posledica značajnih razlika u primenjenim proračunskim postupcima.

Naprezanja u tlu su i u ovom slučaju u dopuštenim granicama (manja su od 150 kPa). Kao i u slučaju dejstva vetra, ne dolazi do zatezanja na kontaktu temelja i tla, te se može konstatovati da globalna stabilnost konstrukcije nije ugrožena.

Na osnovu dobijenih rezultata statičkog proračuna za dejstva vetra i seizmike može se zaključiti da su, posmatrano isključivo sa aspekta nosivosti i stabilnosti stuba, rezultati u određenoj meri povoljni. Međutim, sprovedena analiza ni u kom slučaju ne umanjuje potrebu za sanacijom i revitalizacijom konstrukcije, kao i za redovnim održavanjem, monitoringom i kontrolom vertikalnosti, koja je primetno narušena tokom prethodnih decenija.

5. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena procena stanja čelične konstrukcije vodotornja na osnovu pregleda raspoložive dokumentacije, geodetskog snimanja, vizuelnog pregleda i kontrolnog statičkog proračuna prema važećim evrokodovima.

Rezultati geodetskih merenja potvrdili su postojanje odstupanja od vertikalnosti, zbog čega je neophodno nastaviti periodično praćenje konstrukcije. Vizuelnim pregledom utvrđeno je da su temelj i ankerski sklop u dobrom stanju, dok su na stubu prisutni degradacija antikorozivne zaštite i lokalna koroziona oštećenja.
Najveći stepen degradacije registrovan je na konstrukciji rezervoara, gde su korozija i oštećenja pojedinih elemenata značajno narušili nosivost, upotrebljivost i trajnost konstrukcije.
Kontrolni statički proračun pokazao je da stub i temeljna konstrukcija zadovoljavaju zahteve nosivosti i stabilnosti za dejstva vetra i seizmike, pri čemu su dobijeni rezultati uporedivi sa rezultatima iz originalnog projekta. Međutim, povoljni rezultati proračuna ne umanjuju potrebu za sanacijom konstrukcije.
Može se zaključiti da je, uprkos zadovoljavajućem stanju stuba i temelja sa aspekta nosivosti i stabilnosti, zbog izraženih korozionih oštećenja, naročito na rezervoaru, neophodno sprovesti sanaciju i revitalizaciju konstrukcije, uz redovno održavanje, monitoring i geodetsko osmatranje u cilju obezbeđenja sigurne dalje eksploatacije vodotornja.

LITERATURA

[1] Republički seizmološki zavod, http://www.seismo.gov.rs/indexeng.htm, prist. 06.07.2023.
[2] Glavni projekat vodotornja VTS-200 m^3/43 ml, 1980.
[3] Izveštaj o izvršenom glavnom pregledu vodotornja, 1988.
[4] Knjiga eksploatacije i održavanja vodotornja, 1988–1999.
[5] Kontrola vertikalnosti vodotornja, 1996.
[6] Geodetski izveštaj o kontroli praćenja vertikalnosti vodotornja, 2023.
[7] Privremeni tehnički propisi za opterećenje zgrada, 1948.
[8] Privremeni tehnički propisi za građenje u seizmičkim područjima, 1964.
[9] SRPS EN 1991-1-4: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-4: Opšta dejstva - Dejstva vetra, 2012.
[10] SRPS EN 1991-1-4/NA: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-4: Opšta dejstva - Dejstva vetra - Nacionalni prilog, 2017.
[11] SRPS EN 1998-1: Evrokod 8 - Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, 2015.
[12] SRPS EN 1998-1/NA: Evrokod 8 - Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade - Nacionalni prilog, 2018.

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-038

ANALIZA HIDRAULIČKOG UDARA U POTISNIM KANALIZACIONIM CEVOVODIMA PRIMENOM SOFTVERSKOG PAKETA AFT IMPULSE

Boban Županjac[1], Danilo Stipić[2], Ljubomir Budinski[3]

Rezime:

U radu je analizirana pojava hidrauličkog udara u dva potisna kanalizaciona cevovoda pri naglom prekidu rada pumpe. Proračunski modeli formirani su u softveru AFT Impulse, a simulacije prelaznog režima sprovedene su za slučaj iznenadnog prestanka rada pumpe kao merodavnog pogonskog poremećaja. Rezultati su analizirani preko anvelopa minimalnih i maksimalnih pijezometarskih kota duž trase cevovoda. Posebna pažnja posvećena je pojavi potpritisaka, pri čemu je kao kriterijum prihvatljivosti usvojeno da minimalna pijezometarska kota ne padne više od 4 m ispod ose cevovoda. U početnim varijantama, bez zaštitnih elemenata, u oba sistema su uočene zone sa nedozvoljenim potpritiscima. Kao mera zaštite razmatrana je primena vazdušnih ventila, čiji su položaji određivani na osnovu rezultata simulacija prelaznog režima. Usvojena rešenja sa četiri vazdušna ventila po sistemu omogućila su prihvatljivo ponašanje cevovoda tokom analiziranog prelaznog režima.

Ključne reči: hidraulički udar, neustaljeno tečenje, potisni cevovod, kanalizacija, AFT Impulse, vazdušni ventil

WATER HAMMER ANALYSIS IN PRESSURIZED SEWAGE PIPELINES USING THE AFT IMPULSE SOFTWARE PACKAGE

Summary:

The paper analyzes water hammer in two pressurized sewage pipelines following a sudden pump shutdown. Computational models were developed in AFT Impulse, and transient simulations were performed for an abrupt pump trip as the governing operational disturbance. The results were evaluated using envelopes of minimum and maximum piezometric elevations along the pipeline route. Special attention was given to sub-atmospheric pressures, with the adopted criterion that the minimum piezometric elevation should not fall more than 4 m below the pipeline axis. Without protection, both systems exhibited zones with unacceptable sub-atmospheric pressures. Therefore, air valves were considered as a protection measure, with their positions defined based on transient simulation results. The adopted solution with four air valves in each system ensured acceptable pipeline behavior during the analyzed transient regime.

Keywords: water hammer, transient flow, pressurized pipeline, sewerage, AFT Impulse, air valve

[1] Student doktorskih studija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, i projektant u firmi Verdinvest d.o.o., Sremski Karlovci, Republika Srbija, zupanjacboban34@gmail.com
[2] Docent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Republika Srbija, danilostipic@uns.ac.rs
[3] Redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Republika Srbija, ljubab@uns.ac.rs

1. UVOD

Hidraulički udar predstavlja jednu od najznačajnijih pojava neustaljenog tečenja u cevovodima pod pritiskom. Nastaje usled nagle promene brzine fluida u cevovodu, koja može biti posledica naglog zatvaranja zatvarača, pokretanja ili prekida rada pumpe, promene režima rada sistema ili iznenadnog pogonskog poremećaja. Takva promena izaziva prostiranje pritisnih talasa kroz cevovod, pri čemu se mogu javiti znatne oscilacije pritiska. U zavisnosti od intenziteta poremećaja i karakteristika sistema, posledice mogu biti oštećenja cevovoda, armature i opreme, kao i pojava kavitacije.
Prelazni režimi tečenja posebno su izraženi kod potisnih cevovoda sa pumpnim stanicama. Među njima se nagli prekid rada pumpe izdvaja kao jedan od najvažnijih slučajeva za analizu, budući da dovodi do nagle promene protoka i brzine fluida, što može izazvati pojavu značajnih potpritisaka, naročito na delovima trase sa nepovoljnim visinskim položajem ili promenama nagiba. Zbog toga je analiza hidrauličkog udara važan deo provere sigurnosti i funkcionalnosti potisnih kanalizacionih sistema.
U ovom radu analiziran je hidraulički udar u dva potisna kanalizaciona cevovoda pri naglom prekidu rada pumpe. Modeliranje je izvršeno primenom softvera AFT Impulse, koji omogućava simulaciju prelaznih režima u cevovodnim sistemima. Cilj rada je da se na osnovu rezultata numeričke simulacije identifikuju kritične zone u kojima dolazi do pojave nedozvoljenih potpritisaka, kao i da se ispita mogućnost zaštite sistema primenom vazdušnih ventila. Kao kriterijum prihvatljivosti usvojeno je da minimalna pijezometarska kota tokom prelaznog režima ne padne više od 4 m ispod ose cevovoda.

2. PRORAČUNSKI MODEL HIDRAULIČKOG UDARA

2.1. OSNOVNA JEDNAČINA HIDRAULIČKOG UDARA

Kada se u cevima pod pritiskom protok naglo zaustavi, pokrene ili doživi naglu promenu pravca, dolazi do fenomena koji se naziva hidraulički udar, koji je karakterističan po prostiranju talasa pritiska. Veličina promene pritiska zavisi od promene brzine fluida, gustine fluida i brzine prostiranja poremećaja. U pojednostavljenom obliku, ova zavisnost se može predstaviti jednačinom Žukovskog (Joukowsky equation):

$$\Delta P = -\rho a \Delta V \tag{1}$$

odnosno, izraženo preko promene pijezometarske kote:

$$\Delta H = \frac{-a \Delta V}{g} \tag{2}$$

Ovde su:

- ΔP – promena pritiska,
- ρ – gustina fluida,
- a – brzina prostiranja talasa,
- ΔV – promena brzine fluida,
- ΔH – promena pijezometarske kote,
- g – gravitaciono ubrzanje.

Iz prikazanog izraza vidi se da intenzitet promene pritiska zavisi od promene brzine fluida i brzine prostiranje talasa. Zbog toga nagli prekid rada pumpe, koji izaziva brzu promenu protoka i brzine tečenja, može dovesti do izraženih oscilacija pritiska u cevovodu.

Za složenije cevovodne sisteme, u kojima postoje promene nagiba, različite deonice, armature, pumpe i zaštitni elementi, pojednostavljena jednačina ne može u potpunosti opisati ponašanje sistema tokom prelaznog režima. Zbog toga se za analizu hidrauličkog udara koriste numerički modeli zasnovani na jednačinama održanja mase i količine kretanja za neustaljeno tečenje u cevima. Ovakav pristup omogućava praćenje promene pritiska i protoka duž cevovoda tokom vremena.

2.2. NUMERIČKO MODELIRANJE U SOFTVERU AFT IMPULSE

Proračun hidrauličkog udara u ovom radu izvršen je primenom softverskog paketa AFT Impulse. Softver je namenjen analizi prelaznih režima u cevovodnim sistemima i omogućava modeliranje pumpi, zatvarača, nepovratnih ventila, vazdušnih ventila i drugih zaštitnih elemenata. U proračunu se prvo rešava ustaljeno stanje sistema, koje predstavlja početno stanje pre nastanka poremećaja. Dobijeni rezultati zatim se koriste kao početni uslovi za simulaciju poremećaja izazvanog naglim prekidom rada pumpe.
Numerički proračun hidrauličkog udara u AFT Impulse-u zasniva se na metodi karakteristika. Ova metoda omogućava rešavanje jednačina neustaljenog tečenja transformacijom osnovnih parcijalnih diferencijalnih jednačina u jednačine duž karakterističnih pravaca. Na taj način moguće je pratiti prostiranje pritisnih talasa kroz cevovod i odrediti promene pijezometarske kote, pritiska, protoka i brzine u različitim tačkama sistema tokom vremena.
U ovom radu formirani su proračunski modeli dva potisna cevovoda. Za svaki sistem je prvo određeno ustaljeno stanje, a zatim je simuliran prelazni režim izazvan naglim prekidom rada pumpe. Rezultati simulacije korišćeni su za određivanje anvelopa minimalnih i maksimalnih pijezometarskih kota duž cevovoda. Na osnovu tih anvelopa uočene su kritične deonice sistema.
Kao merodavni poremećaj u oba analizirana sistema usvojen je nagli prekid rada pumpe. Ovaj scenario predstavlja jedan od najnepovoljnijih slučajeva za potisne cevovode, jer se nakon prestanka rada pumpe protok brzo smanjuje, a promena brzine fluida izaziva prostiranje pritisnih talasa kroz cevovod.

2.3. KRITERIJUM PRIHVATLJIVOSTI REZULTATA I PRIMENA VAZDUŠNIH VENTILA

Kao kriterijum prihvatljivosti usvojeno je da minimalna pijezometarska kota tokom prelaznog režima ne padne više od 4 m ispod ose cevovoda. Ovaj kriterijum je korišćen za procenu da li su potpritisci u cevovodu prihvatljivi, odnosno da li je potrebno predvideti dodatne zaštitne elemente.
Zaštita analiziranih sistema razmatrana je primenom vazdušnih ventila. Vazdušni ventili omogućavaju kontrolisani ulazak vazduha u cevovod pri pojavi negativnih pritisaka, čime se smanjuje mogućnost nastanka nepovoljnih hidrauličkih stanja. Položaji vazdušnih ventila nisu određeni samo na osnovu geometrije sistema; određivani su postupno, na osnovu rezultata simulacija. Prvo je analiziran nezaštićen sistem, zatim su izdvojene kritične zone, a nakon toga su ventili dodavani na mestima na kojima je njihov uticaj na smanjenje potpritisaka bio najizraženiji. Takav pristup omogućava pouzdaniju procenu ponašanja sistema pri naglom prekidu rada pumpe i racionalniji izbor zaštitnih elemenata.

3. OPIS ANALIZIRANIH SISTEMA

U radu su analizirana dva potisna cevovoda namenjena odvođenju otpadnih voda. Oba sistema rade u sprezi sa pumpnim stanicama, a kao merodavan prelazni režim razmatran

je nagli prekid rada pumpe. Cevovodi su od polietilena, sa konstantnim prečnikom duž trase, dok se međusobno razlikuju po ukupnoj dužini, prečniku, broju deonica i podužnom profilu.

3.1. POTISNI CEVOVOD 1

Prvi analizirani sistem predstavlja potisni kanalizacioni cevovod ukupne dužine 1561 m. Cevovod je podeljen na 7 deonica sa različitim nagibima, dok je prečnik konstantan duž cele trase i iznosi 140 mm. Cevovod je izrađen od polietilena, a na određenim delovima trase dodatno je zaštićen predizolovanim cevima od duktilnog liva. U pumpnoj stanici se nalaze dve potopljene pumpe tipa Flygt NP 3102 SH 3 Adaptive 258 koje rade u režimu 1+1, kao i odgovarajuća cevovodna armatura i fazonski komadi.
Podužni profil sistema pokazuje promene nagiba duž trase, što je od značaja za pojavu potpritisaka pri naglom prekidu rada pumpe. Stoga je posebna pažnja u analizi posvećena zonama u kojima minimalna pijezometarska kota tokom prelaznog režima pada ispod usvojenog kriterijuma prihvatljivosti.

3.2. POTISNI CEVOVOD 2

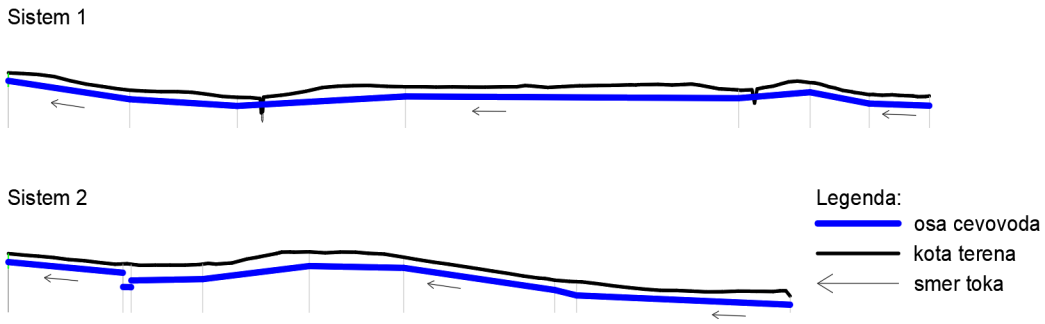
Drugi analizirani sistem takođe predstavlja potisn cevovod za transport otpadnih voda. Ukupna dužina cevovoda iznosi 1325 m, a trasa je podeljena na 8 deonica sa različitim nagibima. Cevovod je izrađen od polietilena, sa konstantnim prečnikom od 200 mm. Na pojedinim delovima trase cevovod je zaštićen čeličnim zaštitnim cevima. U pumpnoj stanici se nalaze dve potopljene pumpe tipa Flygt NP 3127 SH 3 Adaptive 247, koje takođe rade u režimu 1+1.
U odnosu na prvi sistem, drugi sistem ima veći prečnik, manju ukupnu dužinu i složeniji podužni profil, uključujući veći broj deonica sa promenama nagiba. Zbog toga je i kod ovog sistema bilo potrebno sprovesti analizu neustaljenog tečenja kako bi se utvrdilo na kojim delovima trase dolazi do pojave nedozvoljenih potpritisaka.

3.3. UPOREDNI PRIKAZ OSNOVNIH KARAKTERISTIKA SISTEMA

Osnovne karakteristike analiziranih sistema prikazane su u tabeli 1.

Tab. 1 Osnovne karakteristike analiziranih potisnih kanalizacionih sistema

	Sistem 1	Sistem 2
Ukupna dužina	1561 m	1325 m
Materijal	HDPE PN10	HDPE PN10
Nominalni prečnik	140 mm	200 mm
Broj deonica	7	8
Tip pumpe	Flygt NP 3102 SH 3 Adaptive 258	Flygt NP 3127 SH 3 Adaptive 247
Razmatrana zaštita	Vazdušni ventili	Vazdušni ventili



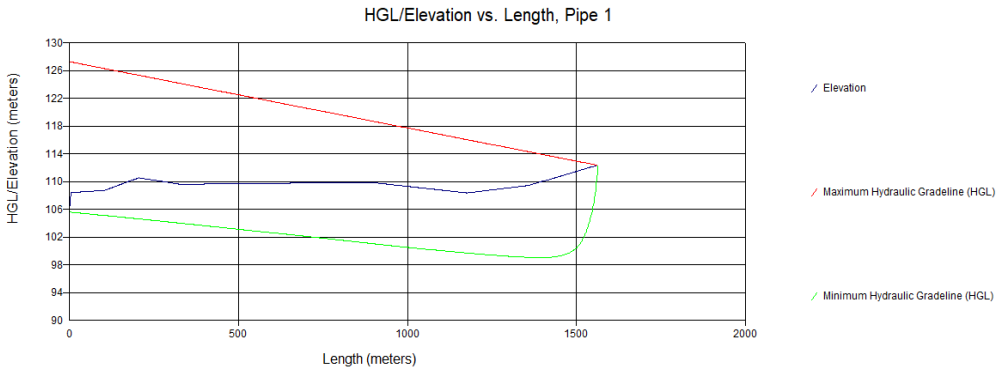
Slika. 1 Šematski prikaz podužnih profila analiziranih potisnih cevovoda

4. REZULTATI SIMULACIJE I ANALIZA ZAŠTITE

Nakon formiranja proračunskih modela izvršene su simulacije prelaznih režima naglog prekida rada pumpe za oba analizirana potisna cevovodna sistema. Rezultati su analizirani preko anvelopa minimalnih i maksimalnih pijezometarskih kota duž trase cevovoda. Posebna pažnja posvećena je minimalnim pijezometarskim kotama, jer one ukazuju na zone u kojima može doći do pojave nedozvoljenih potpritisaka. Dobijeni rezultati poređeni su sa usvojenim kriterijumom prihvatljivosti, prema kome minimalna pijezometarska kota ne sme pasti više od 4 m ispod ose cevovoda.
Analiza je sprovedena u dve faze. U prvoj fazi razmatran je rad sistema bez dodatnih zaštitnih elemenata, kako bi se identifikovale kritične zone duž trase. U drugoj fazi u model su postepeno uvedeni vazdušni ventili, a za svaku varijantu izvršena je nova simulacija. Konačna dispozicija zaštite usvojena je nakon što su minimalne pijezometarske kote ostale u granicama definisanog kriterijuma.

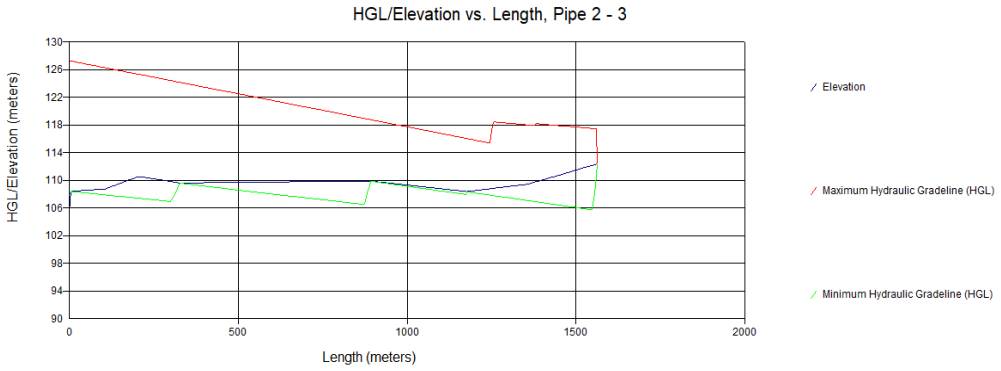
4.1. REZULTATI SIMULACIJE ZA POTISNI CEVOVOD 1

Za sistem 1 najpre je analiziran slučaj naglog prekida rada pumpe bez primene dodatnih zaštitnih elemenata. Na ovaj način dobijen je osnovni odziv sistema u nepovoljnom prelaznom režimu. Rezultati simulacije prikazani su preko anvelopa minimalnih i maksimalnih pijezometarskih kota duž trase cevovoda.
Na slici 2 prikazani su rezultati simulacije sistema 1 bez zaštite. Uočava se da nakon prekida rada pumpe dolazi do značajnog pada minimalne pijezometarske kote na trasi; javljaju se potpritisci koji prelaze usvojeni kriterijum prihvatljivosti, zbog čega se sistem bez zaštite ne može smatrati hidraulički prihvatljivim za analizirani prelazni režim.



Slika. 2 Anvelope pijezometarskih kota za sistem 1 bez zaštite

Kao mera zaštite razmatrana je primena vazdušnih ventila. Njihovi položaji određivani su postupno, kroz više proračunskih varijanti, pri čemu je nakon svake izmene izvršena nova simulacija neustaljenog tečenja. U konačnoj varijanti zaštite usvojeno je postavljanje vazdušnih ventila na mestima na kojima se postiže najpovoljnije smanjenje potpritisaka tokom prelaznog režima. Prvi vazdušni ventil postavljen je u blizini pumpne stanice, dok su ostali ventili postavljeni na hidraulički nepovoljnim delovima trase, odnosno u zonama u kojima su rezultati simulacije pokazali izražen pad pijezometarske kote.
Na slici 3 prikazani su rezultati simulacije sistema 1 sa usvojenom zaštitom. U poređenju sa nezaštićenim sistemom, vidi se da primena vazdušnih ventila dovodi do značajnog poboljšanja hidrauličkog odziva sistema. U neposrednoj zoni izliva može se uočiti lokalni pad minimalne pijezometarske kote, ali se ova pojava ne smatra merodavnom za izbor dodatnih zaštitnih elemenata, jer je na kraju cevovoda omogućeno ovazdušenje sistema. Osim u neposrednoj zoni izliva, minimalne pijezometarske kote ostaju u granicama usvojenog kriterijuma, čime se smanjuje rizik od pojave nedozvoljenih potpritisaka i nepovoljnih posledica hidrauličkog udara.

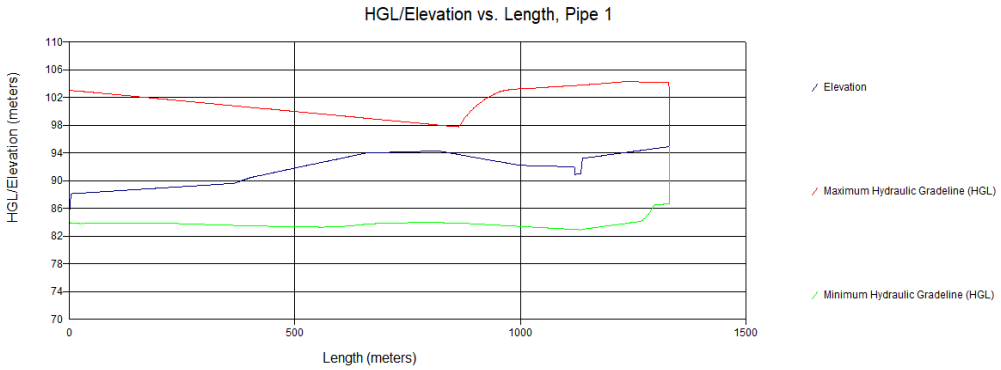


Slika. 3 Anvelope pijezometarskih kota za sistem 1 sa usvojenom zaštitom

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da je za sistem 1 neophodna primena zaštitnih elemenata pri analiziranom scenariju naglog prekida rada pumpe. Usvojena dispozicija sa četiri vazdušna ventila omogućava prihvatljivo ponašanje sistema tokom prelaznog režima i zadovoljava definisani kriterijum minimalne pijezometarske kote.

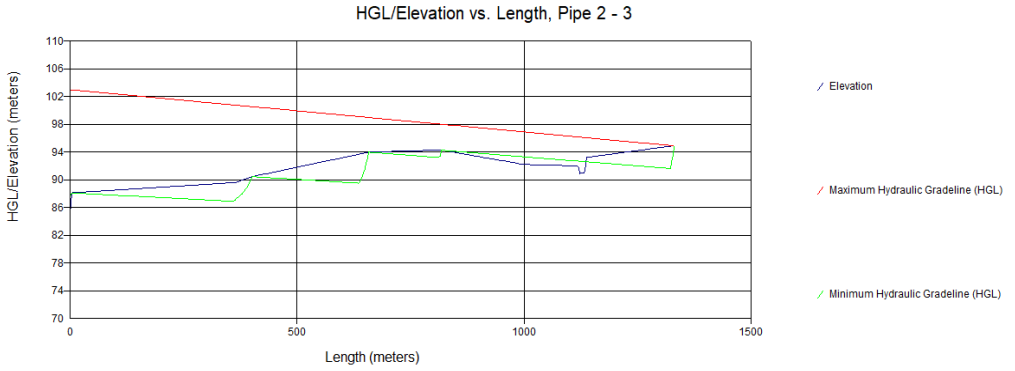
4.2. REZULTATI SIMULACIJE ZA POTISNI CEVOVOD 2

Analiza sistema 2 sprovedena je na isti način kao i kod sistema 1. Najpre je razmatran slučaj naglog prekida rada pumpe bez primene zaštitnih elemenata, kako bi se utvrdile zone pojave nedozvoljenih potpritisaka. Rezultati simulacije prikazani su preko anvelopa minimalnih i maksimalnih pijezometarskih kota duž trase cevovoda.
Na slici 4 prikazani su rezultati za sistem 2 bez zaštite. Kao i kod prethodnog sistema, uočava se da nakon prekida rada pumpe dolazi do pada minimalne pijezometarske kote ispod usvojenog kriterijuma prihvatljivosti. Ovakav rezultat ukazuje da sistem bez zaštite nije prihvatljiv za analizirani prelazni režim.



Slika. 4 Anvelope pijezometarskih kota za sistem 2 bez zaštite

U model su zatim uvedeni vazdušni ventili. Njihov raspored određen je postupno, kroz više proračunskih varijanti, pri čemu je za svaku varijantu proveravano da li minimalna pijezometarska kota ostaje u granicama definisanog kriterijuma. U konačnoj varijanti zaštite za sistem 2 usvojena su četiri vazdušna ventila.
Na slici 5 prikazani su rezultati simulacije sistema 2 sa usvojenom zaštitom. U poređenju sa nezaštićenim sistemom, vidi se da primena vazdušnih ventila dovodi do povoljnijeg hidrauličkog odziva sistema. Minimalne pijezometarske kote ostaju u dozvoljenim granicama, čime se smanjuje mogućnost pojave nedozvoljenih potpritisaka tokom naglog prekida rada pumpe.



Slika. 5 Anvelope pijezometarskih kota za sistem 2 sa usvojenom zaštitom

5. ZAKLJUČAK

Analizirana je pojava hidrauličkog udara u dva potisna cevovoda pri naglom prekidu rada pumpe. Proračun je sproveden primenom softvera AFT Impulse, pri čemu su rezultati analizirani preko anvelopa minimalnih i maksimalnih pijezometarskih kota duž trase cevovoda.
Rezultati simulacija pokazali su da se u oba sistema, u slučaju bez zaštitnih elemenata, javljaju nedozvoljeni potpritisci na pojedinim delovima trase. Ovakvo ponašanje potvrđuje da nagli prekid rada pumpe predstavlja merodavan i nepovoljan prelazni režim za analizirane potisne cevovode otpadne vode.
Kao mera zaštite primenjeni su vazdušni ventili. Njihov broj i položaj određen je na osnovu rezultata simulacija prelaznih režima, a ne samo na osnovu geometrije trase. Za oba sistema usvojena je dispozicija sa četiri vazdušna ventila, pri čemu su minimalne pijezometarske kote ostale u granicama definisanog kriterijuma prihvatljivosti.
Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da numeričko modeliranje hidrauličkog udara predstavlja značajan alat za proveru sigurnosti potisnih cevovoda

otpadne vode. Ovakav pristup omogućava identifikaciju kritičnih zona, proveru efikasnosti zaštitnih elemenata i racionalniji izbor mera zaštite još u fazi projektovanja.

LITERATURA

[1] Ivetić M. V. (1996). *Računska hidraulika – Tečenje u cevima*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija.

[2] Ghidaoui M. S., Zhao M., McInnis D. A., Axworthy D. H. (2005). A review of water hammer theory and practice. *Applied Mechanics Reviews*, Volume 58, Issue 1, pp. 49–76. https://doi.org/10.1115/1.1828050

[3] Larsen T. (2006). *Water Hammer in Pumped Sewer Mains*. Department of Civil Engineering, Aalborg University, EVA Committee, Danish Water Pollution Committee, Danish Society of Engineers, Denmark.

[4] Lyu J., Zhang J., Wang T. (2022). Study on water hammer protection of the siphon breaking structure in the water supply system. *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, Volume 71, Issue 3, pp. 478–489. https://doi.org/10.2166/aqua.2022.162

[5] Walters T., Marroquin A., Smith F. (2019). Understanding waterhammer in pumping systems and surge suppression options. *Proceedings of the 48th Turbomachinery & 35th International Pump Users Symposia*, Houston, Texas, USA, 10–12 September.

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-046

SAVREMENI PRISTUPI AUTOMATIZACIJI U BIM TEHNOLOGIJI: PREGLED LITERATURE

Ivona Krulanović[1],Željka Beljkaš[2]

Rezime:

Building Information Modeling (BIM) predstavlja ključnu tehnologiju digitalne transformacije građevinske industrije, omogućavajući integrisano upravljanje informacijama tokom cijelog životnog ciklusa objekta. U radu su analizirani savremeni pristupi automatizaciji BIM procesa, uključujući projektovanje, detekciju kolizija, obračun količina, procjenu troškova, planiranje izvođenja i upravljanje objektima. Posebna pažnja posvećena je primjeni vještačke inteligencije (Artificial Intelligence – AI), uključujući metode mašinskog učenja (Machine Learning – ML) i dubokog učenja (Deep Learning – DL), kao i integraciji računarskog vida (Computer Vision – CV), Interneta stvari (Internet of Things – IoT) i digitalnih blizanaca (Digital Twin – DT) u BIM okruženju. Rezultati pregleda literature ukazuju da automatizacija povećava produktivnost, smanjuje greške i poboljšava donošenje odluka tokom realizacije i eksploatacije objekata. Uprkos izazovima vezanim za kvalitet podataka, interoperabilnost i primjenu AI metoda, BIM automatizacija predstavlja značajan pravac budućeg razvoja građevinske industrije.

Ključne riječi: BIM, automatizacija, digitalizacija građevinarstva, vještačka inteligencija

MODERN APPROACHES TO AUTOMATION IN BIM TECHNOLOGY: LITERATURE REVIEW

Summary:

Building Information Modeling (BIM) represents a key technology in the digital transformation of the construction industry, enabling integrated information management throughout the entire building lifecycle. This paper analyzes contemporary approaches to BIM process automation, including design, clash detection, quantity takeoff, cost estimation, construction planning, and facility management. Particular attention is given to the application of Artificial Intelligence (AI), including Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) methods, as well as the integration of Computer Vision (CV), Internet of Things (IoT), and Digital Twins (DT) into the BIM environment. The results of the literature review indicate that automation increases productivity, reduces errors, and improves decision-making during the construction and operation of buildings. Despite challenges related to data quality, interoperability, and the application of AI methods, BIM automation represents a significant direction for the future development of the construction industry.

Keywords: BIM, automation, construction digitalization, artificial intelligence

[1] MSc, Agencija za projektovanje i planiranje, Nikšić, Crna Gora, ivona.krulanovic.15@gmail.com , ORCID 0009-0006-5727-7651
[2] Docent, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crne Gora, zeljkab@ucg.ac.me, ORCID 0000-0002-1648-9512

1. UVOD

Građevinska industrija prolazi kroz intenzivnu digitalnu transformaciju usmjerenu ka povećanju produktivnosti, smanjenju troškova i unapređenju kvaliteta projektovanja, izgradnje i upravljanja objektima. U tom kontekstu, BIM predstavlja jednu od najznačajnijih tehnologija savremenog građevinarstva, omogućavajući integrisano upravljanje informacijama tokom cijelog životnog ciklusa objekta. Razvoj BIM tehnologije otvorio je mogućnosti za primjenu različitih oblika automatizacije u građevinskim procesima. Automatizacija obuhvata aktivnosti kao što su generativno projektovanje, automatizovano generisanje BIM modela, detekcija kolizija, obračun količina i troškova, planiranje izvođenja radova i upravljanje objektima. Primjena ovih metoda doprinosi smanjenju rutinskih zadataka, povećanju tačnosti podataka i efikasnijem donošenju odluka tokom realizacije projekata. Poseban značaj imaju savremene digitalne tehnologije, uključujući AI, ML i DL metode, CV, IoT sisteme i DT, koje dodatno unapređuju mogućnosti BIM-a kroz automatizovanu analizu podataka, optimizaciju rješenja i podršku upravljanju procesima.

Cilj ovog rada je analiza savremenih pristupa automatizaciji u BIM tehnologiji kroz pregled relevantne naučne literature, sa posebnim osvrtom na tehnologije koje omogućavaju automatizaciju BIM procesa i njihovu primjenu u generisanju BIM modela, detekciji kolizija, obračunu količina i troškova, planiranju i upravljanju projektima, kao i upravljanju objektima tokom njihovog životnog ciklusa.

2. TEHNOLOGIJE KOJE OMOGUĆAVAJU AUTOMATIZACIJU BIM PROCESA

2.1. VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA, MAŠINSKO I DUBOKO UČENJE

AI obuhvata različite računarske pristupe koji omogućavaju obradu i analizu velikih količina podataka, kao i razvoj sistema sposobnih za rješavanje složenih problema. Integracija AI metoda sa BIM-om omogućava unapređenje upravljanja složenim i neizvjesnim procesima karakterističnim za građevinske projekte i predstavlja jedan od pravaca dalje automatizacije i digitalizacije građevinske industrije [1].
ML predstavlja oblast AI u kojoj se modeli razvijaju na osnovu podataka, dok DL predstavlja vrstu ML-a zasnovanu na višeslojnim neuronskim mrežama. U BIM okruženju ove metode primjenjuju se za obradu različitih vrsta podataka i automatizaciju zadataka kao što su prepoznavanje i klasifikacija građevinskih elemenata, obrada oblaka tačaka, predviđanje performansi objekata i formiranje BIM modela [2], [3], [4], [5].
U okviru ML-a primjenjuju se različite tehnike i arhitekture neuronskih mreža, u zavisnosti od vrste podataka i zadatka koji se rješava. Konvolucione neuronske mreže (Convolutional Neural Networks – CNN) naročito se primjenjuju pri obradi vizuelnih i prostornih podataka, uključujući slike, video zapise i oblake tačaka, dok se rekurentne neuronske mreže (Recurrent Neural Networks – RNN) primjenjuju pri obradi sekvencijalnih podataka i vremenskih serija [2]. U BIM okruženju ove metode mogu se koristiti za detekciju i segmentaciju elemenata, kontrolu kvaliteta i prediktivne analize [2].

Poseban značaj imaju i pristupi zasnovani na grafovima, kojima se mogu predstaviti veze između pojedinačnih elemenata objekta. Kombinovanjem DL-a sa grafovskim strukturama moguće je, pored identifikacije pojedinačnih građevinskih elemenata, analizirati njihove prostorne, geometrijske i topološke odnose, što je značajno za automatizovano formiranje *as-built* BIM modela [4].

2.2. RAČUNARSKI VID

CV predstavlja oblast AI usmjerenu na automatsku analizu i interpretaciju vizuelnih podataka, kao što su fotografije i video zapisi. U BIM okruženju CV omogućava izdvajanje informacija iz podataka prikupljenih iz stvarnog okruženja i njihovo povezivanje sa geometrijskim i semantičkim informacijama sadržanim u BIM modelu [6], [7].

Integracija CV-a i BIM-a omogućava različite oblike automatizacije, uključujući prepoznavanje i lokalizaciju objekata, praćenje stvarnog stanja i aktivnosti na gradilištu, kao i automatizovanu kontrolu pojedinih aspekata sigurnosti. Zhou i sar. [6] koriste video podatke i metode CV-a za detekciju i prostorno pozicioniranje objekata u BIM okruženju DT-a, dok Kulinan i sar. [7] integrišu CV i BIM radi praćenja položaja radnika i identifikacije sigurnosnih rizika na gradilištu.

CV se može koristiti i tokom eksploatacije objekta. Povezivanjem vizuelnih podataka sa dinamičkim BIM modelom i DT-om moguće je pratiti stanje i korišćenje prostora i, na osnovu prikupljenih podataka, automatizovati rad pojedinih tehničkih sistema. Tan i sar. [8], na primjer, integrišu CV, dinamički BIM i DT u sistem za inteligentno upravljanje unutrašnjim osvjetljenjem i unapređenje energetske efikasnosti.

Ovakva primjena pokazuje da CV u BIM okruženju prvenstveno predstavlja sredstvo za automatsko izdvajanje informacija iz vizuelnih podataka, dok BIM obezbjeđuje informacije o položaju, svojstvima i međusobnim odnosima elemenata, potrebne za njihovu interpretaciju i korišćenje u procesima praćenja, analize i upravljanja objektom [6], [7], [8].

2.3. OBRADA PRIRODNOG JEZIKA

Obrada prirodnog jezika (Natural Language Processing – NLP) predstavlja oblast AI koja omogućava računarskim sistemima analizu i interpretaciju ljudskog jezika. U BIM okruženju NLP metode omogućavaju jednostavniji pristup informacijama sadržanim u modelu, posebno korisnicima koji nemaju napredno znanje o strukturi BIM podataka i specijalizovanim softverskim alatima [9].

Jedna od značajnih primjena NLP-a odnosi se na automatizovano pretraživanje i izdvajanje informacija iz BIM modela. Kombinovanjem NLP metoda sa klasifikacionim algoritmima i strukturiranim modelima za opis pojmova i njihovih međusobnih veza (ontologijama) moguće je interpretirati korisničke upite, utvrditi vrstu tražene informacije i povezati korišćene termine sa odgovarajućim podacima u BIM modelu. Nabavi i sar. [9] razvili su pristup koji kombinuje NLP, Support Vector Machine (SVM) algoritam i IfcOWL ontologiju, uz povezivanje sa BIM modelom preko Autodesk Navisworks API-ja. Sistem uključuje i mogućnost glasovne interakcije, čime se dodatno pojednostavljuje pristup informacijama iz modela.

NLP metode imaju značajnu ulogu i u povezivanju podataka koji koriste različite nazive i klasifikacije za iste ili srodne elemente. Xie i sar. [10] primjenjuju NLP za povezivanje stvarnih elemenata i opreme sa odgovarajućim podacima u BIM modelu, čime se olakšava integracija BIM podataka sa informacijama koje se koriste tokom upravljanja objektom.

Razvoj interfejsa zasnovanih na prirodnom jeziku proširuje mogućnosti interakcije i sa 4D BIM modelima. Takvi sistemi omogućavaju korisniku da postavlja pitanja

prirodnim jezikom, dok se upit automatski povezuje sa relevantnim podacima modela i vremenskog plana. Jaff i sar. [11] razvili su okvir za interakciju prirodnim jezikom sa 4D BIM modelom, sa ciljem jednostavnijeg pristupa informacijama i smanjenja administrativnog opterećenja projektnih timova.
NLP se može koristiti i u ranijim fazama projektovanja za automatsku analizu projektnih zahtjeva i izdvajanje podataka potrebnih za dalji proces projektovanja.
Okonta i sar. [12] predlažu NLP pristup kojim se iz tekstualnih opisa i drugih nestrukturiranih izvora automatski izdvajaju relevantni projektni podaci i prevode u parametre koji se mogu koristiti u CAD okruženju. Ovakav pristup pokazuje potencijal NLP metoda za smanjenje potrebe za ručnim unosom podataka i dalju automatizaciju procesa projektovanja.

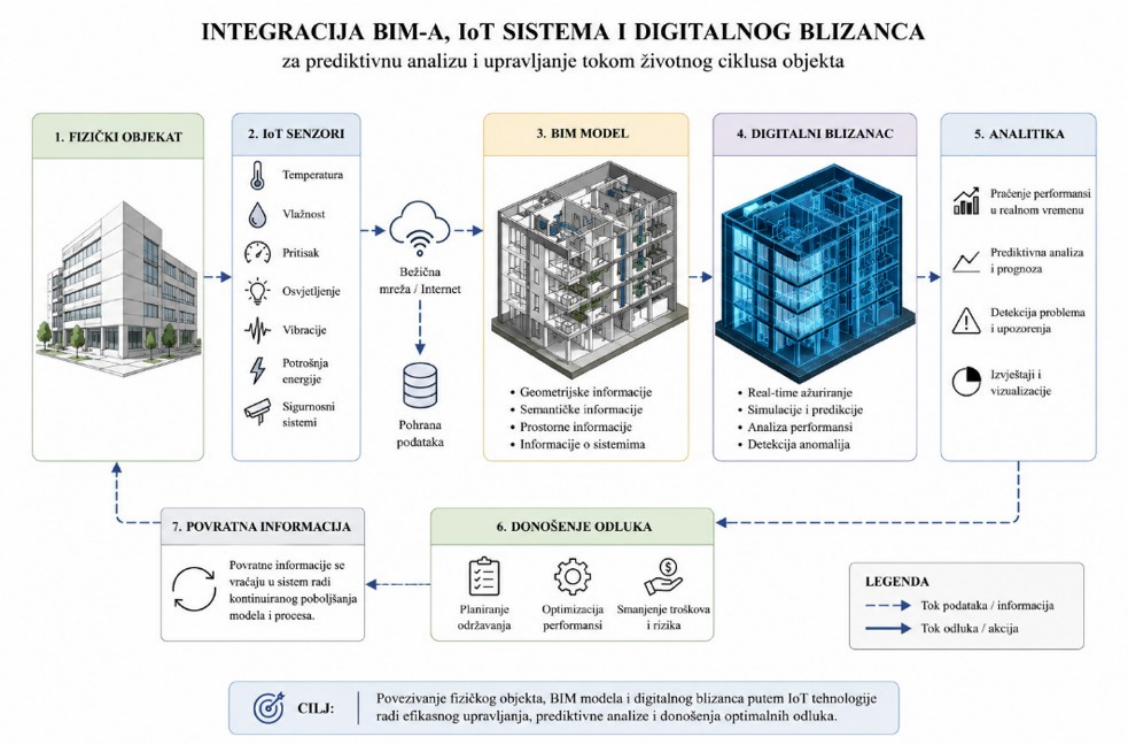
2.4. GENERATIVNI I OPTIMIZACIONI PRISTUPI U PROJEKTOVANJU

Generativni pristupi omogućavaju automatizovano formiranje većeg broja projektnih rješenja na osnovu unaprijed definisanih zahtjeva, ograničenja i kriterijuma [13]. U savremenim BIM procesima mogu se razlikovati generativno projektovanje (Generative Design) i pristupi zasnovani na generativnoj AI (Generative Artificial Intelligence – GenAI), koji koriste različite metode, ali imaju zajednički cilj razmatranja većeg broja projektnih rješenja i podrške njihovom vrednovanju i optimizaciji [13], [14].
Generativno projektovanje predstavlja računarski pristup u kojem se projektne varijante automatski formiraju i vrednuju prema unaprijed definisanim parametrima i kriterijumima. U projektovanju konstrukcija parametri mogu obuhvatati geometriju, materijale, opterećenja, prostorna ograničenja i troškove, dok se generisana rješenja mogu ocjenjivati prema performansama konstrukcije, utrošku materijala i ekonomskim kriterijumima. Povezivanjem parametarskih alata, kao što su Dynamo i Grasshopper, sa analizom i optimizacionim algoritmima moguće je formirati automatizovani proces generisanja, analize i izbora projektnih varijanti [13].
Optimizacioni algoritmi imaju važnu ulogu u ovakvom procesu jer omogućavaju analizu većeg broja projektnih varijanti i izbor onih koje najbolje zadovoljavaju postavljene ciljeve. U okviru generativnog projektovanja mogu se koristiti evolucioni i drugi optimizacioni algoritmi, pri čemu se svaka generisana varijanta vrednuje prema definisanim kriterijumima prije izbora odgovarajućeg rješenja [13].
GenAI predstavlja drugačiji, ali povezan pristup. GenAI modeli mogu generisati nove projektne sadržaje i varijante na osnovu podataka i zadatih uslova, dok njihovo povezivanje sa BIM okruženjem omogućava provjeru i dalju obradu generisanih rješenja. U literaturi se razmatra primjena različitih generativnih modela, uključujući generativne suparničke mreže (Generative Adversarial Networks – GAN), difuzione modele i velike jezičke modele (Large Language Models – LLM), u procesima generisanja i optimizacije projektnih rješenja [14].
Povezivanje generativnih i optimizacionih pristupa sa BIM-om omogućava razvoj automatizovanih radnih tokova u kojima se projektne varijante generišu, analiziraju i vrednuju prije njihovog uključivanja u dalji proces projektovanja. Na taj način projektant zadržava ulogu u definisanju zahtjeva i kriterijuma, kao i izboru konačnog rješenja, dok računarski sistemi omogućavaju efikasniju analizu većeg broja projektnih alternativa [13], [14].

2.5. INTERNET STVARI I DIGITALNI BLIZANCI

IoT omogućava povezivanje fizičkih uređaja i senzora radi kontinuiranog prikupljanja i razmjene podataka o stanju objekta i njegovih sistema. U građevinarstvu se na ovaj način mogu prikupljati podaci o različitim parametrima, kao što su temperatura, vlažnost, kvalitet vazduha, osvjetljenje i drugi pokazatelji stanja i korišćenja objekta.

Povezivanje takvih podataka sa BIM modelom omogućava da se informacije o stvarnom stanju objekta integrišu sa njegovom digitalnom reprezentacijom [15].
DT predstavlja koncept povezivanja digitalne reprezentacije sa fizičkim objektom i podacima o njegovom stvarnom stanju. U građevinskom okruženju BIM može predstavljati informacionu osnovu DT-a, dok se njegovim povezivanjem sa podacima iz fizičkog okruženja omogućava dinamičko praćenje i analiza ponašanja objekta. Wang i sar. [15] ukazuju na značaj sveobuhvatnog praćenja fizičkog sistema za razvoj DT-a i razmatraju BIM kao osnovu za digitalno predstavljanje objekta.
Integracija BIM-a i DT-a omogućava primjenu naprednih analitičkih metoda za praćenje, predviđanje i podršku odlučivanju. Khoshkonesh i sar. [16], [17] razvijaju integrisani 4D/5D pristup u kojem se BIM povezuje sa podacima o napretku izvođenja i probabilističkim metodama radi predviđanja troškova i dinamike projekta. Takav pristup omogućava kontinuirano ažuriranje procjena na osnovu podataka o stvarnom napretku i analizu mogućih scenarija razvoja projekta.
DT se može povezati i sa DL metodama radi analize različitih podataka tokom životnog ciklusa objekta. Hou [18] integriše geometrijske podatke i podatke o svojstvima elemenata BIM modela sa DL metodama u okruženju DT-a radi dinamičke procjene rizika i podrške odlučivanju. Na taj način DT predstavlja okruženje u kojem se BIM podaci, informacije o stvarnom stanju i analitičke metode mogu povezati radi praćenja i predviđanja ponašanja objekta [18].
Primjena ovih pristupa nije ograničena samo na fazu izvođenja. Povezivanje BIM podataka sa DL metodama može se koristiti i za analizu energetskih performansi i optimizaciju postojećih objekata. Ge i sar. [19] koriste BIM podatke zajedno sa Transformer i grafovskim neuronskim mrežama za predviđanje energetske efikasnosti, dok generativne modele koriste za formiranje različitih varijanti energetske sanacije. Time se pokazuje mogućnost povezivanja BIM-a sa naprednim AI metodama radi podrške odlučivanju tokom eksploatacije i unapređenja performansi objekta.



Slika. 1 Integracija BIM-a, IoT sistema i digitalnog blizanca za prediktivnu analizu i upravljanje tokom životnog ciklusa objekta.

3. PRIMJENA AUTOMATIZACIJE U BIM TEHNOLOGIJI

3.1. AUTOMATIZACIJA PROJEKTOVANJA I GENERISANJE BIM MODELA

Automatizovano generisanje BIM modela predstavlja jednu od značajnih oblasti primjene savremenih digitalnih tehnologija u građevinarstvu. Primjenom AI, ML i DL metoda moguće je djelimično automatizovati izdvajanje informacija iz postojeće projektne dokumentacije i podataka o izvedenom stanju, njihovu klasifikaciju i formiranje odgovarajućih BIM elemenata [3], [20], [21].

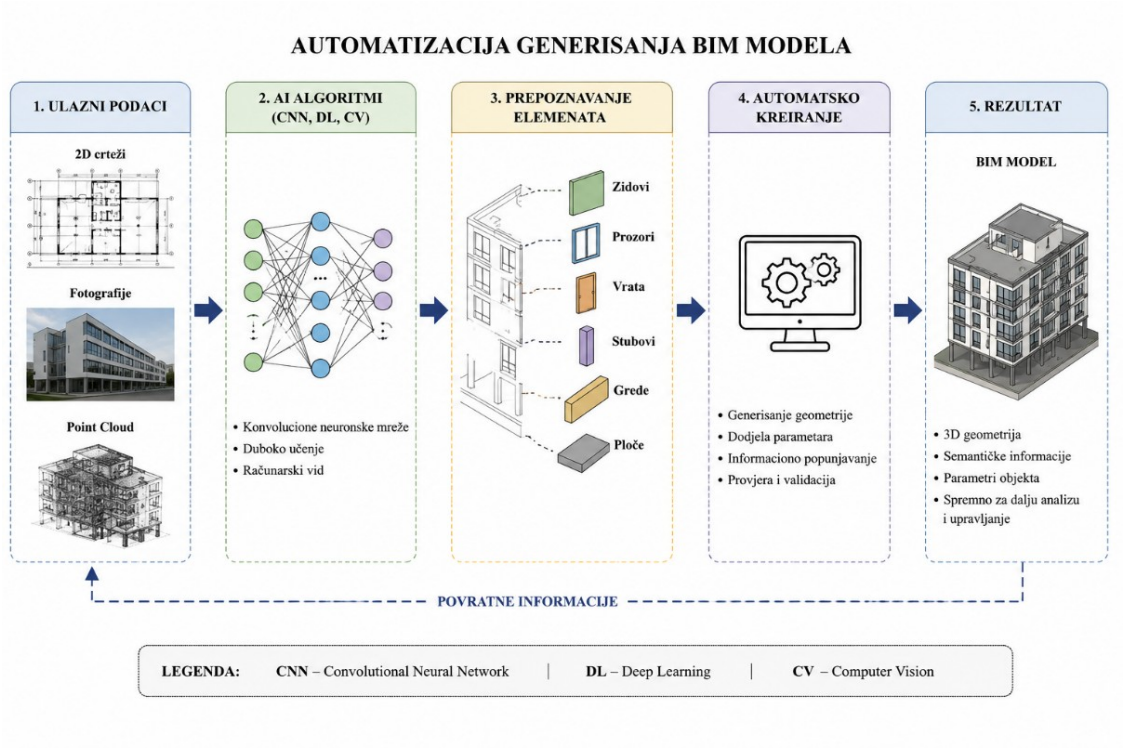
U zavisnosti od vrste ulaznih podataka, mogu se razlikovati pristupi zasnovani na postojećim 2D crtežima, Scan-to-BIM pristupi zasnovani na podacima dobijenim 3D skeniranjem i Image-to-BIM pristupi kod kojih se BIM model generiše na osnovu fotografija. Iako im je zajednički cilj smanjenje ručnog rada pri formiranju BIM modela, razlikuju se prema izvoru podataka i metodama njihove obrade [3], [20], [21].

Urbieta i sar. [20] razvili su pristup za automatsko generisanje BIM modela na osnovu arhitektonskih i konstrukcijskih planova. Metod koristi ML za identifikaciju elemenata na 2D planovima, nakon čega se izdvojene informacije objedinjuju radi generisanja BIM modela u IFC formatu. Ovakav pristup omogućava korišćenje postojeće projektne dokumentacije kao izvora podataka za automatizovano formiranje digitalnog modela objekta [20].

Park i sar. [3] razvili su pristup automatizaciji Scan-to-BIM procesa zasnovan na DL-u. Sistem iz oblaka tačaka izdvaja različite unutrašnje elemente i dopunjava nepotpune informacije o elementima koji su djelimično zaklonjeni tokom skeniranja. Nakon prepoznavanja i razvrstavanja elemenata u oblaku tačaka (semantičke segmentacije) i određivanja njihovih prostornih odnosa, parametarski algoritam povezuje identifikovane elemente sa odgovarajućim objektima iz BIM biblioteke i automatski generiše BIM model. Rezultati studije slučaja pokazali su da je predloženi pristup poboljšao tačnost određivanja položaja i dimenzija pojedinih elemenata do 53,33% [3].

Noviji Image-to-BIM pristupi nastoje da BIM modele generišu neposredno iz fotografija, čime se smanjuje zavisnost od specijalizovane opreme za lasersko skeniranje. Mehraban i sar. [21] razvili su automatizovani pristup koji kombinuje Neural Radiance Fields (NeRF) za 3D rekonstrukciju sa modelima za detekciju i segmentaciju objekata. Na taj način iz RGB fotografija formiraju se 3D podaci koji, pored geometrije, sadrže i informacije o prepoznatim elementima objekta, a zatim se koriste za generisanje BIM modela [21].

Ova tri pristupa pokazuju da automatizacija generisanja BIM modela može koristiti različite izvore podataka — postojeće tehničke crteže, oblake tačaka ili fotografije — dok izbor odgovarajućih metoda zavisi od dostupnih podataka, zahtijevanog nivoa detalja i namjene budućeg BIM modela.



Slika. 2 Konceptualni prikaz procesa automatizovanog generisanja BIM modela korišćenjem metoda vještačke inteligencije.

3.2. DETEKCIJA KOLIZIJA I KOORDINACIJA PROJEKTNIH SISTEMA

Detekcija kolizija (Clash Detection) predstavlja jednu od značajnih funkcionalnosti BIM-a u procesu koordinacije različitih projektnih disciplina. Omogućava automatsko prepoznavanje prostornih konflikata između elemenata arhitektonskog i konstruktivnog sistema, kao i sistema mašinskih, elektro i vodovodnih instalacija (Mechanical, Electrical and Plumbing – MEP). Iako savremeni BIM alati omogućavaju visok stepen automatizacije same detekcije, analiza dobijenih rezultata, određivanje relevantnosti kolizija i izbor načina njihovog rješavanja i dalje u značajnoj mjeri zahtijevaju učešće stručnjaka [22], [23].

Jedan od problema automatizovane detekcije jeste veliki broj identifikovanih konflikata koji nijesu podjednako značajni za realizaciju projekta. Pojedine detektovane kolizije mogu biti nerelevantne ili imati mali uticaj na izvodljivost, zbog čega njihova ručna provjera povećava vrijeme potrebno za koordinaciju modela. Primjenom ML metoda moguće je analizirati karakteristike prethodno klasifikovanih kolizija i na osnovu njih predvidjeti relevantnost novih konflikata [22].

Hu i Castro-Lacouture [22] primijenili su metode nadgledanog ML-a za automatsko razlikovanje relevantnih i nerelevantnih kolizija. Analizirano je šest algoritama, uključujući stablo odlučivanja, Random Forest, logističku regresiju, Naive Bayes i Bayesian Network modele, pri čemu su rezultati pokazali mogućnost unapređenja procesa upravljanja kolizijama učenjem na osnovu prethodno klasifikovanih podataka [22].

Pored klasifikacije relevantnosti, ML metode mogu se primijeniti i u fazi rješavanja identifikovanih konflikata. Harode i sar. [23] razvili su ML model za predviđanje mogućeg načina rješavanja kolizije na osnovu podataka iz prethodno riješenih

slučajeva. Na taj način automatizacija se proširuje sa samog otkrivanja konflikta na podršku odlučivanju o njegovom rješavanju.
Savremeni pristupi tako postepeno proširuju tradicionalnu geometrijsku detekciju kolizija ka inteligentnijem upravljanju konfliktima. AI metode mogu podržati filtriranje rezultata, procjenu njihove relevantnosti i izbor mogućih načina rješavanja, dok konačna odluka i dalje zavisi od projektnih zahtjeva i stručne procjene učesnika u procesu koordinacije [22], [23].

3.3. AUTOMATSKI OBRAČUN KOLIČINA I PROCJENA TROŠKOVA

Primjena BIM-a omogućava automatizovano izdvajanje količina materijala i građevinskih elemenata neposredno iz informacionog modela objekta, čime se smanjuje potreba za ručnim mjerenjem sa 2D crteža tehničke dokumentacije. U okviru 5D BIM pristupa količine se povezuju sa predmjerom i predračunom, što omogućava formiranje i ažuriranje procjene troškova u skladu sa promjenama modela. Istraživanja pokazuju da automatizovani obračun količina zasnovan na BIM-u (BIM-based Quantity Take-Off – QTO) može unaprijediti produktivnost, tačnost i potpunost obračuna, pri čemu kvalitet i struktura BIM modela predstavljaju jedan od ključnih preduslova za pouzdanu automatizaciju [24].
Savremeni pristupi dodatno integrišu BIM sa AI metodama radi automatizacije složenijih faza procjene troškova. AI metode mogu se koristiti za klasifikaciju elemenata modela, povezivanje BIM podataka sa odgovarajućim troškovnim stavkama i analizu istorijskih podataka radi unapređenja procjene troškova. Sistematski pregledi literature ukazuju da se integracija BIM-a i AI metoda primjenjuje kroz niz koraka, od automatskog prepoznavanja i klasifikacije BIM elemenata i obračuna količina do procjene ukupnih troškova materijala, rada i opreme [25].
Khoshkonesh i sar. [17] razvili su integrisani 4D/5D DT za procjenu troškova i probabilističku kontrolu dinamike izvođenja. U njihovom pristupu NLP zasnovan na Transformer modelima koristi se za povezivanje podataka iz ugovorne dokumentacije sa standardizovanim stavkama predmjera i predračuna, dok se BIM i podaci prikupljeni sa gradilišta koriste za praćenje realizacije i ažuriranje projektnih procjena. Lokalizacija troškova u studiji slučaja izvršena je korišćenjem RSMeans City Cost Index-a i podataka o zaradama, a autori navode i smanjenje vremena potrebnog za procjenu troškova za 43% [17].
Povezivanje BIM podataka sa AI metodama omogućava da se automatizacija proširi sa samog izdvajanja količina na klasifikaciju elemenata, povezivanje sa troškovnim bazama, analizu istorijskih podataka i prediktivnu procjenu troškova. Međutim, pouzdanost ovih pristupa u velikoj mjeri zavisi od kvaliteta BIM podataka, njihove interoperabilnosti i dostupnosti kvalitetnih skupova podataka za razvoj i provjeru modela [24], [25].

3.4. PLANIRANJE I UPRAVLJANJE PROJEKTIMA

Povezivanje BIM modela sa vremenskim planom izvođenja radova predstavlja osnovu 4D BIM pristupa, u kojem se elementi 3D modela povezuju sa odgovarajućim aktivnostima i njihovim trajanjem. Na taj način omogućava se vizuelizacija redosljeda izvođenja radova, praćenje planiranog napretka i efikasnija koordinacija učesnika u projektu. Savremeni pristupi proširuju ove mogućnosti integracijom AI metoda, probabilističkog planiranja i podataka o stvarnom napretku projekta [16].
Khoshkonesh i sar. [16] razvili su integrisani 4D/5D DT za prediktivnu kontrolu procesa građenja. Predloženi okvir povezuje BIM sa NLP-om za povezivanje podataka sa predmjerom i predračunom radova, CV-om za praćenje napretka radova, probabilističkim ažuriranjem vremenskog plana i dubokim učenjem sa potkrepljenjem

(Deep Reinforcement Learning – DRL) za optimizaciju rasporeda i korišćenja resursa. DT se ažurira podacima o realizaciji, čime se omogućava poređenje planiranog i stvarnog stanja i formiranje novih prognoza tokom izvođenja [16].

Poseban značaj ovakvog pristupa predstavlja uključivanje neizvjesnosti u planiranje. Umjesto oslanjanja isključivo na determinističke vrijednosti trajanja aktivnosti, probabilističke metode omogućavaju procjenu mogućih scenarija razvoja projekta i kontinuirano ažuriranje prognoze u skladu sa raspoloživim podacima. U analiziranoj studiji integrisani sistem omogućio je „what-if“ analize, prediktivno praćenje rokova i povezivanje troškovnih i vremenskih informacija kroz 5D strukturu podataka [16].

Drugi pravac automatizacije odnosi se na pojednostavljivanje interakcije korisnika sa vremenskim podacima sadržanim u 4D BIM modelu. Jaff i sar. [11] razvili su alat Voice-Integrated Scheduling Assistant for 4D BIM (VISA4D) koji povezuje prepoznavanje govora i NLP sa BIM-om. Sistem omogućava korisniku da prirodnim jezikom pristupa informacijama o vremenskom planu i podržava procese njegovog ažuriranja i održavanja, čime se smanjuje potreba za ručnom interakcijom sa složenim projektnim podacima [11].

Integracija BIM-a sa AI metodama tako proširuje mogućnosti 4D modelovanja sa vizuelizacije planiranog redosljeda aktivnosti na prediktivno praćenje napretka, ažuriranje vremenskog plana, analizu mogućih scenarija i jednostavniju interakciju korisnika sa projektnim informacijama. Ipak, stepen automatizacije zavisi od dostupnosti i kvaliteta podataka o stvarnom napretku, kao i od mogućnosti njihovog pouzdanog povezivanja sa BIM modelom i vremenskim planom.

3.5. AUTOMATIZOVANO PRAĆENJE I UPRAVLJANJE OBJEKTIMA

Automatizacija BIM procesa može se primjenjivati i tokom izvođenja i eksploatacije objekta, kada se BIM model povezuje sa podacima o stvarnom stanju objekta i njegovog okruženja. Primjenom CV-a, senzorskih podataka, DT-a i AI metoda moguće je automatizovati praćenje napretka radova, kontrolu sigurnosti, analizu uslova korišćenja objekta i procjenu njegovih performansi [6], [7], [8], [15], [18], [19].

U fazi izvođenja, CV omogućava povezivanje podataka prikupljenih na gradilištu sa informacijama sadržanim u BIM modelu. Zhou i sar. [6] razvili su pristup u kojem se video podaci povezuju sa BIM modelom u okviru DT-a, pri čemu se detektovani objekti prostorno pozicioniraju u odnosu na model. Na taj način vizuelni podaci sa gradilišta mogu se koristiti kao izvor informacija o stvarnom stanju i aktivnostima na objektu.

Automatizacija se može primijeniti i u oblasti sigurnosti na gradilištu. Kulinan i sar. [7] integrišu BIM i CV radi praćenja položaja i aktivnosti radnika i identifikovanja potencijalno opasnih situacija. BIM model obezbjeđuje informacije o položaju, svojstvima i međusobnim odnosima elemenata gradilišta, dok se podaci dobijeni primjenom CV-a koriste za praćenje stvarnog stanja. Ovakvo povezivanje omogućava automatizovaniju procjenu sigurnosnih rizika tokom izvođenja radova [7].

Tokom eksploatacije objekta, povezivanje BIM-a sa podacima prikupljenim iz fizičkog okruženja omogućava razvoj sistema koji mogu reagovati na promjene uslova korišćenja. Tan i sar. [8] razvili su pristup zasnovan na DT-u, CV-u i dinamičkom BIM modelu za unapređenje energetske efikasnosti unutrašnjeg osvjetljenja. Sistem koristi podatke o prisustvu korisnika i uslovima osvjetljenja radi prilagođavanja rada sistema rasvjete [8].

Primjena AI metoda tokom eksploatacije može se proširiti i na analizu performansi i podršku odlučivanju. Wang i sar. [15] povezuju BIM podatke, DT i DL metode radi procjene zadovoljstva korisnika uslovima unutrašnje sredine, dok Ge i sar. [19] koriste BIM i DL metode za analizu energetskih performansi i optimizaciju mjera sanacije

postojećih objekata. Hou [18] primjenjuje BIM podatke i DL u okruženju DT-a radi dinamičke procjene rizika i podrške odlučivanju tokom životnog ciklusa objekta.
Ovi pristupi pokazuju da uloga BIM-a ne mora biti ograničena na formiranje statičkog digitalnog modela. Povezivanjem BIM-a sa podacima iz stvarnog okruženja i odgovarajućim analitičkim metodama moguće je razvijati sisteme za kontinuirano praćenje, analizu i podršku upravljanju tokom izvođenja i eksploatacije objekta. Istovremeno, efikasnost ovakvih sistema zavisi od kvaliteta i dostupnosti podataka, interoperabilnosti različitih platformi i pouzdanosti primijenjenih analitičkih metoda.

U nastavku se daje pregled primjene automatizacije u BIM procesima.

Tab. 1 Primjena automatizacije u BIM procesima

Oblast primjene	Tehnologije	Glavne prednosti	Ograničenja i izazovi
Generisanje BIM modela	ML, DL, CV, Scan-to-BIM, Image-to-BIM	Brže formiranje BIM modela i smanjenje ručnog rada	Zavisnost od kvaliteta ulaznih podataka; potreba za provjerom tačnosti generisanog modela
Detekcija kolizija	BIM, ML	Automatsko otkrivanje konflikata i efikasnije određivanje njihove relevantnosti	Veliki broj nerelevantnih kolizija; potreba za kvalitetnim podacima za obuku ML modela
Obračun količina i procjena troškova	5D BIM, AI/ML	Automatizovano izdvajanje količina i povezivanje sa troškovnim podacima	Zavisnost od kvaliteta i strukture BIM modela, interoperabilnosti i ažurnosti predmjera i predračuna radova
Planiranje i upravljanje projektima	4D/5D BIM, DT, AI, NLP	Praćenje napretka, prediktivno planiranje i efikasniji pristup projektnim informacijama	Zavisnost od dostupnosti i kvaliteta podataka o stvarnom napretku i njihove integracije sa BIM modelom
Praćenje i upravljanje objektima	CV, IoT, AI, DT	Automatizovano praćenje stanja, analiza performansi i podrška upravljanju	Interoperabilnost sistema, kvalitet podataka i pouzdanost analitičkih modela

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je pregled i analiza savremenih pristupa automatizaciji u BIM tehnologiji, sa posebnim osvrtom na pristupe i metode koji omogućavaju automatizaciju BIM procesa i njihovu primjenu u različitim fazama životnog ciklusa objekta. Analizirane su mogućnosti primjene AI, uključujući ML i DL metode, kao i CV-a i NLP-a, generativnih pristupa, IoT sistema i DT-a. Pregled literature pokazuje da ovi

pristupi proširuju mogućnosti BIM-a i omogućavaju automatizaciju pojedinih procesa projektovanja, izvođenja i upravljanja objektima.

Na osnovu analiziranih istraživanja može se uočiti da automatizacija obuhvata različite oblasti primjene, od generisanja BIM modela i koordinacije projektnih sistema do obračuna količina i troškova, planiranja izvođenja i praćenja objekata. Poseban napredak ostvaren je u automatizovanom generisanju BIM modela primjenom Scan-to-BIM i Image-to-BIM pristupa, dok primjena AI metoda omogućava napredniju analizu kolizija, projektnih i troškovnih podataka, kao i podataka o realizaciji projekta. Povezivanje BIM-a sa IoT sistemima i DT-om dodatno omogućava korišćenje podataka o stvarnom stanju objekta za praćenje, analizu i podršku odlučivanju tokom izvođenja i eksploatacije.

Istovremeno, pregled literature ukazuje da stepen automatizacije i pouzdanost ovih pristupa u velikoj mjeri zavise od kvaliteta i dostupnosti podataka, njihove interoperabilnosti i mogućnosti povezivanja različitih softverskih i informacionih sistema. Dodatne izazove predstavljaju potreba za provjerom rezultata automatizovanih procesa, kvalitet podataka za razvoj AI modela i nedovoljna standardizacija njihove integracije sa BIM okruženjem.

Može se zaključiti da savremeni pristupi automatizaciji imaju značajan potencijal za smanjenje ručnog i repetitivnog rada, efikasniju obradu projektnih informacija i unapređenje podrške odlučivanju. Dalji razvoj može se očekivati kroz pouzdaniju integraciju BIM-a sa AI metodama i podacima iz stvarnog okruženja, uz istovremeno unapređenje interoperabilnosti, standardizacije i pouzdanosti automatizovanih sistema.

LITERATURA

[1] Y. Pan and L. Zhang, “Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions,” *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 30, pp. 1081–1110, 2023, doi: 10.1007/s11831-022-09830-8.

[2] A. S. Borkowski, Ł. Kochański, and K. Rukat, “Evolution of Convolutional and Recurrent Artificial Neural Networks in the Context of BIM: Deep Insight and New Tool, Bimetria,” *Infrastructures*, vol. 11, no. 1, Art. no. 6, 2026, doi: 10.3390/infrastructures11010006.

[3] J. Park, J. Kim, D. Lee, K. Jeong, J. Lee, H. Kim, and T. Hong, “Deep Learning–Based Automation of Scan-to-BIM with Modeling Objects from Occluded Point Clouds,” *Journal of Management in Engineering*, vol. 38, no. 4, p. 04022025, 2022, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001055.

[4] K. Li, V. J. L. Gan, and M. Li, “Automating 3D As-Built BIM with Deep Learning and Knowledge-Driven Graphs,” in *Computing in Civil Engineering 2025: Computational and Intelligent Technologies*, pp. 649–658, 2026, doi: 10.1061/9780784486436.069.

[5] L. Wang and M. Lan, “Integrating BIM and Machine Learning for Lifecycle Optimization of Sustainable Public Buildings,” in *Proceedings of the 2025 International Symposium on Machine Learning and Social Computing (MLSC ’25)*, ACM, New York, NY, USA, 2025, pp. 337–343, doi: 10.1145/3778450.3778472.

[6] X. Zhou, K. Sun, J. Wang, J. Zhao, C. Feng, Y. Yang, and W. Zhou, “Computer Vision Enabled Building Digital Twin Using Building Information Model,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 3, pp. 2684–2692, Mar. 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3190366.

[7] A. S. Kulinan, M. Park, P. P. W. Aung, G. Cha, and S. Park, “Advancing construction site workforce safety monitoring through BIM and computer vision integration,” *Automation in Construction*, vol. 158, p. 105227, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105227.

[8] Y. Tan, P. Chen, W. Shou, and A.-M. Sadick, “Digital Twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting based on computer vision and dynamic BIM,” *Energy and Buildings*, vol. 270, Art. no. 112271, 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112271.

[9] A. Nabavi, I. Ramaji, N. Sadeghi, and A. Anderson, “Leveraging Natural Language Processing for Automated Information Inquiry from Building Information Models,” *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 28, pp. 266–285, 2023, doi: 10.36680/j.itcon.2023.013.

[10] Q. Xie, X. Zhou, J. Wang, X. Gao, X. Chen, and C. Liu, “Matching Real-World Facilities to Building Information Modeling Data Using Natural Language Processing,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 119465–119475, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2937219.

[11] L. Jaff, S. Garg, and G. Guven, “A Novel Framework for Natural Language Interaction with 4D BIM,” *Buildings*, vol. 15, no. 11, p. 1840, 2025, doi: 10.3390/buildings15111840.

[12] E. D. Okonta, F. O. Okeke, E. E. Mgbemena, R. C. Nnaemeka-Okeke, S. Guo, F. C. Awe, and C. Eke, “An Intelligent Natural Language Processing (NLP) Workflow for Automated Smart Building Design,” *Buildings*, vol. 15, no. 14, Art. no. 2413, 2025, doi: 10.3390/buildings15142413.

[13] Mohan D, Megha Yadav, and Nandini Reddy, “Automated Structural Design Generation Using Generative Design Tools,” *Int. J. Sci. Res. Eng. Dev. (IJSRED)*, vol. 8, no. 3, pp. 3575–3581, May–Jun. 2025, doi: 10.5281/zenodo.15739460.

[14] A. N. Zakharov, “Application of Generative AI for Optimizing Design Solutions in Construction,” *Aktual’nye Issledovaniya*, no. 32 (267), pt. 1, pp. 13–20, Aug. 2025, doi: 10.5281/zenodo.16786277.

[15] W. Wang, H. Guo, X. Li, S. Tang, J. Xia, and Z. Lv, “Deep Learning for Assessment of Environmental Satisfaction Using BIM Big Data in Energy Efficient Building Digital Twins,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 50, p. 101897, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2021.101897.

[16] A. Khoshkonesh, M. Mohammadagha, and N. Ebrahimi, “Simulation-Based Validation of an Integrated 4D/5D Digital-Twin Framework for Predictive Construction Control,” *arXiv preprint* arXiv:2511.03684, Nov. 2025, doi: 10.48550/arXiv.2511.03684.

[17] A. Khoshkonesh, M. Mohammadagha, and N. Ebrahimi, “Integrated 4D/5D Digital-Twin Framework for Cost Estimation and Probabilistic Schedule Control: A Texas Mid-Rise Case Study,” *arXiv preprint* arXiv:2511.15711, Nov. 2025, doi: 10.48550/arXiv.2511.15711.

[18] Z. Hou, “Risk Assessment and Decision Support Model for the Entire Lifecycle of Buildings,” in *Civil Engineering and Smart Structure Technology: Proceedings of the 2nd International Symposium (CESST 2025)*, ser. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 2026, doi: 10.3233/ATDE251649.

[19] X. Ge, S. A. Syed Zakaria, C. Wang, and M. Zhu, “Precise energy modeling and green retrofitting optimization of existing buildings based on BIM and deep learning approaches,” *PLoS ONE*, vol. 20, no. 12, Art. no. e0337469, 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0337469.

[20] M. Urbieta, M. Urbieta, T. Laborde, G. Villarreal, and G. Rossi, “Generating BIM model from structural and architectural plans using Artificial Intelligence,” *Journal of Building Engineering*, vol. 78, Art. no. 107672, 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.107672.

[21] M. H. Mehraban, S. Mirzabeigi, M. Wang, R. Liu, and S. M. E. Sepasgozar, “Automated Image-to-BIM Using Neural Radiance Fields and Vision-Language Semantic Modeling,” *Buildings*, vol. 15, no. 24, Art. no. 4549, 2025, doi: 10.3390/buildings15244549.

[22] Y. Hu and D. Castro-Lacouture, “Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 33, no. 2, Art. no. 04018060, 2019, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000810.

[23] A. Harode, W. Thabet, and X. Gao, “Developing a Machine-Learning Model to Predict Clash Resolution Options,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 38, no. 2, 2024, doi: 10.1061/JCCEE5.CPENG-5548.

[24] S. Alathamneh, W. Collins, and S. Azhar, “BIM-based quantity takeoff: Current state and future opportunities,” *Automation in Construction*, vol. 165, Art. no. 105549, 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105549.

[25] P. Jafary, D. Shojaei, A. Rajabifard, and T. Ngo, “Artificial intelligence (AI) and machine learning in building information modeling (BIM)-based construction cost estimation: a systematic review,” *Geo-spatial Information Science*, 2026, doi: 10.1080/10095020.2026.2651578.

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-059

STANJE POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U BOSNI I HERCEGOVINI

Semir Oglečevac[1], Stjepan Stanić[2], Dario Marušić[3], Jovana Topalić[4]

Rezime:

Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Bosni i Hercegovini imaju značajnu ulogu u zaštiti vodnih resursa i očuvanju životne sredine, ali njihov razvoj i efikasnost još uvijek nisu na zadovoljavajućem nivou. Rad daje pregled postojećih postrojenja i pokazatelja tretmana otpadnih voda te analizira izazove u oblasti upravljanja i održavanja. Poseban fokus stavljen je na regulatorni okvir Bosne i Hercegovine i njegovu usklađenost sa zakonodavstvom Evropske unije, naročito u kontekstu procesa evropskih integracija. Razmatraju se ključni zakonski propisi, institucionalni izazovi i neophodne mjere za unapređenje sistema prečišćavanja otpadnih voda. Zaključuje se da su potrebna veća ulaganja u infrastrukturu, jačanje institucionalnih kapaciteta i dosljedna primjena propisa kako bi se dostigli EU standardi i osigurala održiva zaštita životne sredine.

Ključne riječi: otpadne vode, postrojenja za prečišćavanje, regulatorni okvir, zaštita životne sredine

STATE OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS (WWTPS) IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Summary:

Wastewater treatment plants in Bosnia and Herzegovina play a significant role in protecting water resources and preserving the environment; however, their development and operational efficiency remain unsatisfactory. This paper reviews existing wastewater treatment plants and treatment indicators and analyzes the challenges of their management and maintenance. It places particular emphasis on Bosnia and Herzegovina's regulatory framework and its alignment with European Union legislation, especially in the context of the country's European integration process. The paper examines key legal provisions, institutional challenges, and measures needed to improve the wastewater treatment system. It concludes that greater investment in infrastructure, stronger institutional capacity, and consistent regulatory enforcement are essential to meet EU standards and ensure sustainable environmental protection.

Keywords: wastewater, wastewater treatment plants, regulatory framework, environmental protection

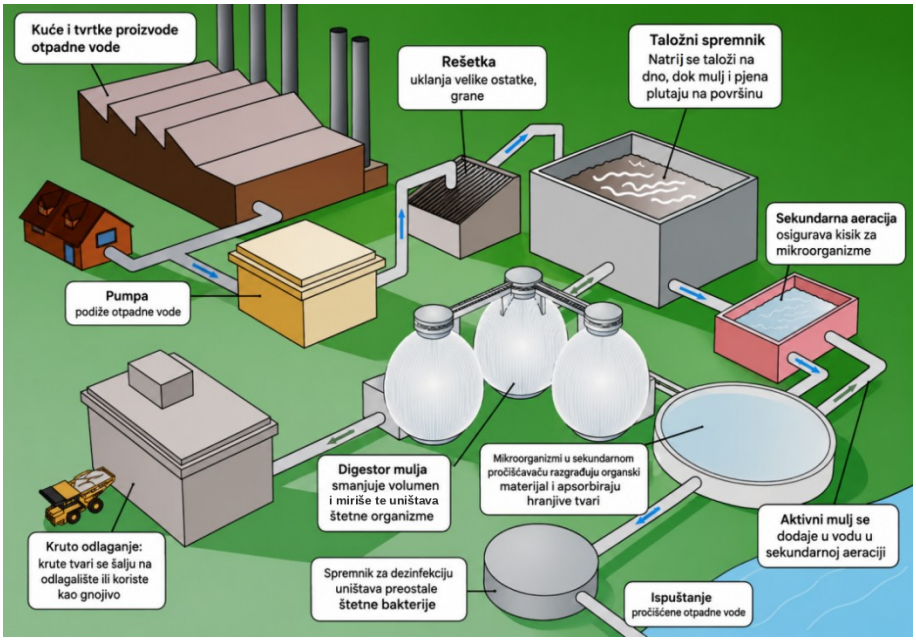
[1] Pred. VŠ, Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije“ Kiseljak, BiH, semir.oglecevac@ceps.edu.ba , ORCID 0009-0006-7970-3674
[2] Pred. VŠ, Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije“ Kiseljak, BiH, stjepan.stanic@ceps.edu.ba , ORCID 0009-0003-3522-9040
[3] Pred.VŠ, Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije“ Kiseljak, BiH, dario.marusic@ceps.edu.ba, ORCID 0009-0001-5205-070X
[4] Naučni saradnik, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Republika Srbija, jovanatopalic90@uns.ac.rs, ORCID 0000-0001-7854-3257

1. UVOD

Uslijed razvoja industrije, urbanizacije i povećanja broja stanovnika dolazi do stvaranja sve većih količina otpadnih voda koje, ukoliko se ne tretiraju na odgovarajući način, mogu ozbiljno ugroziti kvalitet površinskih i podzemnih voda, kao i zdravlje stanovništva. Zbog toga postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (u daljem tekstu: PPOV) imaju ključnu ulogu u zaštiti životne sredine i održivom upravljanju vodnim resursima. Otpadne vode predstavljaju mješavinu raznih vodom nošenih zagađenja. To je upotrebljena voda iz naselja i industrije, tačnije otpadnim vodama nazivaju se vode koje su promijenile svoj prvobitni sastav unošenjem štetnih materija čija prisutnost uzrokuje promjenu fizičkih, hemijskih, bioloških karakteristika. U ovu kategoriju nisu uključene atmosferske niti protočne vode, poput onih koje služe za rad hidroelektrana. [1]

Osnovni zadatak postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda jeste uklanjanje suspendovanih materija, organskih zagađujućih materija, hranjivih materija (azota i fosfora), mikroorganizama i drugih štetnih supstanci prije ispuštanja prečišćene vode u prirodne vodotoke ili njenog ponovnog korištenja. Cilj svakog postrojenja za prečišćavanje, bez obzira na veličinu, je isti, da zaštiti vode (površinske i podzemne) i životnu sredinu, te javno zdravlje prečišćavajući vodu prije nego što ponovno uđe u prirodni ciklus. [2] Princip rada postrojenja zasniva se na kombinaciji fizičkih, hemijskih i bioloških procesa. U prvoj fazi (mehanički tretman) uklanjaju se krupni otpad, pijesak i suspendovane čestice pomoću rešetki, pjeskolova i taložnika. Nakon toga slijedi biološki tretman, u kojem mikroorganizmi razgrađuju organske materije iz otpadne vode. Po potrebi se primjenjuje i tercijarni tretman kojim se dodatno uklanjaju azot, fosfor, preostale suspendovane materije i patogeni mikroorganizmi, najčešće filtracijom i dezinfekcijom. Na kraju procesa prečišćena voda se ispušta u prijemnik ili se može koristiti za određene tehničke namjene, u skladu sa važećim propisima.

Efikasnost rada postrojenja zavisi od pravilnog projektovanja, redovnog održavanja, stručnog upravljanja i primjene odgovarajućih zakonskih standarda. Upravo zbog toga razvoj i modernizacija sistema za prečišćavanje otpadnih voda predstavljaju jedan od važnih uslova za zaštitu životne sredine i usklađivanje Bosne i Hercegovine sa standardima Evropske unije.



Slika 1. Proces prečišćavanja otpadnih voda (prilagođeno prema [3])

2. STANJE U BOSNI I HERCEGOVINI

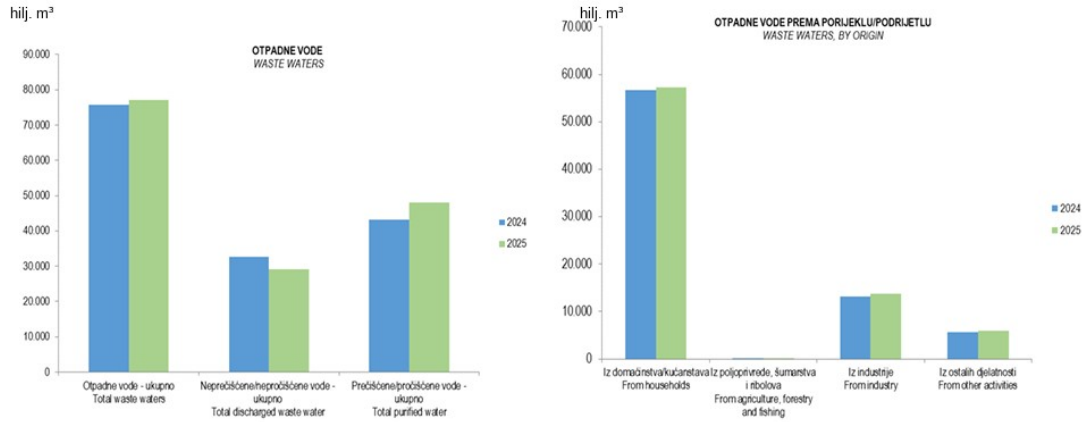
Prečišćavanje komunalnih otpadnih voda u Bosni i Hercegovini predstavlja jedan od važnijih izazova u oblasti zaštite životne sredine, posebno zbog nedovoljno razvijene infrastrukture za prikupljanje i tretman otpadnih voda. Prema izvještaju [4] trenutno su u pogonu 20 postrojenja, dok su 4 u fazi izgradnje. Detaljan pregled stanja PPOV-a u BiH je prikazan u tabeli 1. [4] Prema [4], projektovani kapacitet Sarajeva iznosi 600.000 ES, a Mostara 100.000 ES, dok se kapacitet ostalih postrojenja kreće od 140 do 55.000 ES (medijana 6.000 ES).

Tabela 1. Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u BiH

	PPOV	Status
1	Sarajevo	U radu
2	Mostar	U radu
3	Bihać	U radu
4	Bijeljina	U radu
5	Trebinje	U radu
6	Gradačac	U radu
7	Živinice	U radu
8	Teslić	U radu
9	Čitluk i Međugorje	U radu
10	Srebrenik	U radu
11	Odžak	U radu
12	Žepče	U radu
13	Ljubuški	U radu
14	Konjic	U radu
15	Trnovo	U radu
16	Bileća	U radu
17	Grude	U radu
18	Kiseljak (Tuzla)	U radu
19	Nova Topola (Gradiška)	U radu
20	Mlakave i Vidorija	U radu
21	Prozor Rama	Faza izgradnje

	PPOV	Status
22	Široki Brijeg	Faza izgradnje
23	Tomislavgrad	Faza izgradnje
24	Bosanski Petrovac	Faza izgradnje

U Bosni i Hercegovini sistemi za tretman komunalnih otpadnih voda još uvijek nisu dovoljno razvijeni. Izgradnja i unapređenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda jedan je od ključnih zahtjeva za usklađivanje sektora voda u Bosni i Hercegovini sa evropskim standardima. Pri planiranju postrojenja posebna pažnja se mora posvetiti projektovanju kapaciteta izraženog kroz ekvivalent stanovnika (ES), kao i primjeni mehaničkog, biološkog i hemijskog tretmana otpadnih voda.[5]
Prema [6] u 2025. godini ukupna količina otpadnih voda (iz domaćinstava, poljoprivrede, šumarstva i ribolova, industrije i ostalih djelatnosti) u Federaciji Bosne i Hercegovine bila je 77.060.000 m³, što je za 1,6% više nego u prethodnoj godini, a količina prečišćenih otpadnih voda iznosila je 47.975.000 m³, što je za 11,1% više u odnosu na prethodnu godinu. Struktura otpadnih voda prema porijeklu prikazana je na Slici 2. Kanalizaciona mreža u 2025. godini iznosila je 3.603 km, što je za 2,4% više nego u 2024. godini, a broj kanalizacionih priključaka u 2025. godini iznosio je 273.557, što je za 2,3% više nego u 2024. godini.



Slika 2. Izvještaj o otpadnim vodama Federalnog zavoda za statistiku [6] (hilj. m³)

Situacija u Republici Srpskoj je malo drugačija prema izvještaju iz 2024. [7]. Sistemom javne kanalizacije u 2024. godini ispušteno je ukupno 29.185.000 m³ otpadnih voda, što je za 0,8% više u odnosu na 2023. godinu. Od ukupne količine, 23.811.000 m³ ili 81,6% činile su otpadne vode iz domaćinstava. Najmanje otpadnih voda potiče iz sektora poljoprivrede, šumarstva i ribarstva, 56.000 m³, što čini 0,2% od ukupne količine ispuštenih voda. U 2024. godini u vodotoke je ispušteno 0,5% više neprečišćenih otpadnih voda nego prethodne godine, odnosno 24.044.000 m³, što čini 82,4% od ukupne količine ispuštenih otpadnih voda. U 2024. godini bilo je 3.715.000 m³ prečišćenih otpadnih voda što je smanjenje od 8,2% u odnosu na 2023. godinu. Dodatnih 1.426.000 m³ (4,9%) neprečišćenih voda ispušteno je u podzemne vode, pa ukupna količina neprečišćenih voda iznosi 25.470.000 m³ (87,3%). Od ukupno prečišćenih otpadnih voda, 3.518.000 m³ ili 94,7% tretirano je sekundarnim postupkom, dok je preostala količina (197.000 m³ ili 5,3%) prečišćena tercijarnim tretmanom.

Dužina kanalizacione mreže u 2024. godini iznosi 2.044 km, a evidentirano je 143.361 kanalizacionih priključaka.
Razlika u pokrivenosti tretmanom između entiteta (62% naspram 13%) je najveći nalaz koji proizlazi iz podataka i pokazuje da BiH nema jedinstven pristup rješavanju ovog problema. Bez značajnih investicija u izgradnju i modernizaciju postrojenja, posebno u Republici Srpskoj, gdje je i kanalizaciona mreža skoro upola manja nego u FBiH (2.044 km naspram 3.603 km), usklađivanje sa evropskim standardima ostaje dalek cilj. Prioritet treba biti povećanje kapaciteta za sekundarni i tercijarni tretman, uz paralelno širenje kanalizacione infrastrukture, jer rast broja priključaka bez odgovarajućeg kapaciteta za tretman samo povećava količinu otpadnih voda koja završava netretirana u vodotocima.

2.1 POZITIVNI UTICAJ RADA POSTROJENJA

Rad postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda ostvaruje brojne pozitivne efekte na životnu sredinu, vodne resurse i zdravlje stanovništva.

Pozitivni uticaji rada postrojenja su sljedeći:[8]
U pogledu uklanjanja fizičkih i hemijskih zagađivača, postrojenja obezbjeđuju:

- uklanjanje značajnih količina pijeska (sitnijeg i krupnijeg),
- uklanjanje značajnih količina mulja,
- uklanjanje sitnih suspendovanih čestica,
- uklanjanje masti i ulja,
- uklanjanje toksičnih materija koje se vežu za suspendovane čestice.

U pogledu kvaliteta prijemnika i vodnih resursa, tretman doprinosi:

- regulisanju pH vrijednosti u rijekama, što je preduslov za normalno odvijanje bioloških procesa u vodi,
- smanjenju fekalnih koliformi, čime se smanjuje mikrobiološko zagađenje i rizik od zaraze,
- smanjenju nivoa toksičnih hemikalija, čime se ograničava dugoročna akumulacija štetnih materija u vodenom ekosistemu,
- očuvanju flore i faune, jer se zadržava kvalitet vode neophodan za opstanak vodenih organizama i biodiverzitet priobalja.

U pogledu zdravlja stanovništva, efekti se ogledaju kroz:

- smanjenu šansu za oboljevanje uslijed navodnjavanja usjeva ili direktnog kontakta sa vodom, jer se smanjuje prisustvo patogena i toksičnih materija u vodi koja dolazi u kontakt sa ljudima,
- pozitivan uticaj na javno zdravlje u širem smislu, s obzirom na to da čist vodotok smanjuje pritisak na zdravstveni sistem i rizik od epidemija vezanih za vodu.

Svi navedeni efekti pokazuju da rad postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda nije samo tehničko pitanje usklađivanja sa propisima, već direktno utiče na kvalitet vodnih resursa i zdravlje stanovništva. To dodatno potvrđuje potrebu za ubrzanjem izgradnje i modernizacije ovih sistema u Bosni i Hercegovini.

2.2 IZAZOVI U IMPLEMENTACIJI PROJEKATA OVOG TIPA

Zahtjevi domaćih propisa i Evropske unije iziskuju brz razvoj infrastrukture za prikupljanje i prečišćavanje otpadnih voda što podrazumijeva značajna ulaganja u kratkom vremenskom periodu koja se u većini slučajeva ne mogu finansirati iz budžeta Jedinica lokalne samouprave (JLS) ili Javnih komunalnih preduzeća (JKP).

Najveći izazovi za implementaciju postrojenja ovog tipa su sljedeći:[4]

- nedovoljni kapaciteti za apsorpciju postojećih fondova i njihovu implementaciju,

- trajanje projekata duže od očekivanog – finansijske posljedice u vidu dodatnog povećanja troškova,
- nedovoljno poznavanje primjene međunarodnih ugovornih procedura,
- nepoznavanje projektnog menadžmenta u JLS i JKP,
- nedovoljna finansijska sredstva za rad i održavanje zbog neusvajanja ekonomskih cijena usluga prečišćavanja otpadnih voda,
- nepostojanje strategije odlaganja i/ili ponovne upotrebe mulja na nivou BiH i entiteta,
- nedostatak kvalificiranih kadrova, ponuda za obuku (edukaciju) kadrova i modela za njihovu stimulaciju za rad na PPOV.

Održavanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u praksi se najčešće provodi reaktivnim pristupom, umjesto planskim i preventivnim održavanjem. Glavni razlozi za takav način rada su ograničena finansijska sredstva i visoki troškovi nabavke rezervnih dijelova. Dodatni problem predstavljaju dugi rokovi isporuke potrebnih komponenti, zbog čega se kvarovi ne mogu otkloniti u kratkom vremenskom periodu. Posebno su učestali kvarovi na opremi za mehanički tretman. Bez preventivnog održavanja dodatno se povećava učestalost kvarova i to uzrokuje duže zastoje u radu postrojenja, a sve to dovodi i do povećanja troškova.

S tehničke strane neočekivan problem koji se može javiti je velika količina otpada koji dolazi na postrojenje a koji nije svojstven za kanalizacionu mrežu (uginula stoka, plastična ambalaža, krupni komadi krutog otpada) koji pri velikim dotocima naprave određene probleme u radu grubih i finih rešetki i tada je potrebna pomoć uposlenika na postrojenju. Problem je još uvijek neriješeno odlaganje i korištenje finalnog, dehidriranog mulja.

3. REGULATORNI OKVIR

Regulativa u oblasti prečišćavanja otpadnih voda u Bosni i Hercegovini je složena zbog ustavnog uređenja države, pri čemu su nadležnosti za upravljanje vodama uglavnom prenesene na entitetski nivo. Na državnom nivou ne postoji poseban zakon o komunalnim otpadnim vodama, već se pitanja zaštite voda i usklađivanja sa evropskim zahtjevima uglavnom koordiniraju kroz obaveze Bosne i Hercegovine prema međunarodnim sporazumima i procesu evropskih integracija.
U Federaciji Bosne i Hercegovine, osnovni pravni okvir čini Zakon o vodama [9], kojim se uređuje zaštita voda, korištenje voda i upravljanje vodnim resursima. Na osnovu ovog zakona donesena je Uredba o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije, kojom se propisuju granične vrijednosti emisija zagađujućih materija i uslovi koje moraju ispunjavati sistemi za tretman otpadnih voda [10].
U Republici Srpskoj, oblast voda uređena je prvenstveno kroz Zakon o vodama Republike Srpske [11], kojim se definišu uslovi korištenja i zaštite voda, izdavanje vodnih dozvola, kao i obaveze pravnih subjekata koji ispuštaju otpadne vode. Zahtjevi za kvalitet ispuštenih voda određuju se kroz podzakonske akte i tehničke standarde.
Na nivou Brčko distrikta BiH, oblast upravljanja vodama uređena je posebnim propisima Distrikta, uz primjenu principa zaštite voda i kontrole ispuštanja otpadnih voda.

3.1 OSVRT NA EVROPSKU UNIJU

U oblasti otpadnih voda, Bosna i Hercegovina (BiH) je još uvijek u ranoj fazi usklađivanja s obavezama koje proizlaze iz pristupanja EU. Evropska komisija ocjenjuje da je zemlja u oblasti životne sredine i klime između rane faze i određenog nivoa pripreme, uz izostanak napretka u izvještajnom periodu [12]. Glavni problem nije samo donošenje propisa, nego i stvarna izgradnja infrastrukture, finansiranje i sposobnost institucija da provode pravila. Ključne obaveze BiH odnose se prvenstveno na usklađivanje s pravilima EU iz oblasti voda, posebno s Okvirnom direktivom o vodama 2000/60/EZ [13] i pravilima o prečišćavanju komunalnih otpadnih voda [14], [15]. Ta pravila traže da se otpadne vode iz naselja prikupljaju kanalizacionim sistemima i odgovarajuće prečišćavaju prije ispuštanja u životnu sredinu. BiH mora dodatno uskladiti entitetske i lokalne propise s pravnom stečevinom EU. Upravljanje vodama je složeno jer su nadležnosti podijeljene između različitih nivoa vlasti (država, entiteti, kantoni i lokalne zajednice). Cilj EU je da do 2050. postigne nultu stopu zagađenja [16].

Prema evaluaciji zakonodavstva EU iz 2019. koju je provela Komisija, stopa prikupljanja i prečišćavanja otpadnih voda u EU iznosi gotovo 100%, a više od 90% prečišćava se u skladu s visokim standardima predviđenima pravilima EU. EU je usvojila nova pravila prema kojima je potrebno postići energetsku neutralnost PPOV, što znači da ta postrojenja do 2045. godine će morati proizvoditi energiju koju troše kako bi se povećao doprinos klimatskim ciljevima i cirkularnoj ekonomiji. Prednost će se dati upotrebi kružnog modela, npr. fosfor iz mulja može se ponovo koristiti za proizvodnju đubriva [15], [17]. Prema novim pravilima države članice morat će do 2039. iz otpadnih voda ukloniti azot i fosfor dodatnim prečišćavanjem [15].

4. **DISKUSIJA**

Poređenje prikazanih podataka sa stanjem u Evropskoj uniji pokazuje razmjer zaostajanja. Dok u EU stopa prikupljanja i prečišćavanja otpadnih voda iznosi gotovo 100%, u Federaciji BiH je u 2025. godini prečišćeno oko 62% ukupno ispuštenih otpadnih voda, dok je u Republici Srpskoj u 2024. godini taj udio iznosio svega oko 13% (podaci se odnose na različite godine i ne moraju imati isti obuhvat, pa je poređenje okvirno). Podaci su za različite godine jer su to najnoviji podaci dostupni na stranicama zavoda za statistiku. Razlika između entiteta pokazuje da BiH nema jedinstven pristup rješavanju problema, a pad prečišćene količine u RS-u od 8,2% u odnosu na prethodnu godinu ukazuje da trend u jednom dijelu zemlje ide u pogrešnom smjeru, umjesto ka usklađivanju sa EU standardima. Rast kanalizacione mreže od 2,4% godišnje, zabilježen u Federaciji BiH tokom 2025. godine, pri ovakvoj polaznoj osnovi nije dovoljan da se jaz prema EU zatvori u kraćem vremenskom periodu, pogotovo jer je kanalizaciona mreža u Republici Srpskoj (2.044 km) skoro upola manja nego u FBiH (3.603 km). Kapacitet postrojenja je izrazito neravnomjerno raspoređen (poglavlje 2): Sarajevo i Mostar čine veći dio ukupnog kapaciteta, a medijana ostalih postrojenja je 6.000 ES, pa je težište problema podjednako u izgradnji nedostajućih kapaciteta i u održivom radu postojećih.

Analiza izazova iz poglavlja 2.2 ukazuje da tehnička rješenja nisu usko grlo. Ključni problemi su institucionalni i finansijski: cijene usluga prečišćavanja ne pokrivaju troškove rada i održavanja, održavanje je pretežno reaktivno, kadar je deficitaran, a strategija upravljanja muljem ne postoji ni na jednom nivou vlasti. To znači da bi i potpuno izgrađena infrastruktura bez ovih pretpostavki vremenom gubila funkcionalnost, što potvrđuju postojeća postrojenja kojima je već potrebna sanacija.

Poseban problem predstavlja podjela nadležnosti između države, entiteta, kantona i jedinica lokalne samouprave. Ona usporava provođenje propisa EU, otežava planiranje

investicija na nivou sliva i razlaže odgovornost za ispunjavanje obaveza iz procesa pristupanja na aktere koji pojedinačno nemaju ni sredstva ni kapacitete da ih ispune.
Usvajanje Direktive (EU) 2024/3019 [15] dodatno podiže ljestvicu. Bosna i Hercegovina još uvijek nije dostigla zahtjeve Direktive 91/271/EEZ [14], a pravna stečevina koju će morati preuzeti u pristupnim pregovorima već sadrži strože ciljeve: proširenje obaveza na aglomeracije od 1.000 ES, dodatno uklanjanje nutrijenata do 2039. godine i energetsku neutralnost postrojenja do 2045. godine. Iz toga slijedi praktična preporuka da se nova postrojenja u BiH projektuju prema zahtjevima nove direktive, kako se izgrađena infrastruktura ne bi morala naknadno rekonstruisati.
Ograničenje ovog rada je oslanjanje na dostupne podatke iz literature zbog čega se pojedini pokazatelji ne mogu direktno porediti. Stoga se buduća istraživanja treba usmjeriti na terensku procjenu funkcionalnosti postojećih postrojenja i na kvantifikaciju investicionog jaza prema zahtjevima Direktive (EU) 2024/3019 [15].

5. ZAKLJUČAK

Bosna i Hercegovina je posljednjih godina ostvarila mjerljiv napredak u razvoju infrastrukture za prikupljanje i prečišćavanje otpadnih voda, što potvrđuju izgradnja novih postrojenja, širenje kanalizacione mreže i rast količine prečišćenih voda u Federaciji BiH, dok je u Republici Srpskoj količina prečišćenih voda opala za 8,2%. Ipak, pokrivenost tretmanom i dalje značajno zaostaje za standardima Evropske unije i nejednaka je između entiteta: u Federaciji BiH je u 2025. godini prečišćeno oko 62% ukupno ispuštenih otpadnih voda, dok je u Republici Srpskoj u 2024. godini taj udio iznosio svega oko 13% (podaci su za različite godine, pa je poređenje okvirno). Analiza pokazuje da glavno ograničenje nisu tehnička rješenja, već institucionalne i finansijske slabosti: cijene usluga koje ne pokrivaju troškove, reaktivno održavanje, nedostatak kadra, nepostojanje strategije upravljanja muljem i podijeljene nadležnosti između nivoa vlasti.
Iz toga slijede prioritetne mjere: (1) donošenje strategije upravljanja muljem na nivou BiH i entiteta; (2) uvođenje ekonomskih cijena usluga prečišćavanja radi održivog finansiranja rada i održavanja PPOV; (3) uspostavljanje programa obuke i zadržavanja operativnog kadra; (4) prelazak sa reaktivnog na plansko i preventivno održavanje; (5) projektovanje novih i usklađivanje postojećih postrojenja prema zahtjevima Direktive (EU) 2024/3019 [15], uključujući ciljeve energetske neutralnosti i dodatnog uklanjanja nutrijenata, umjesto prema minimumu Direktive 91/271/EEZ [14]; (6) prioritetno ulaganje u izgradnju kapaciteta za tretman u Republici Srpskoj, gdje je zaostajanje najveće.

LITERATURA

[1] Tomas, A. (2016). Otpadne vode: karakteristike, zaštita, zakonska regulativa. Završni rad. https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:864613 (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[2] Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education.

[3] CK12 Foundation (2012). Steps in a typical wastewater treatment process. High School Engineering, p. 75. Licensed under CC BY-SA 3.0; slika je prilagođena.

[4] Aquasan mreža u BiH (2025). Prečišćavanje otpadnih voda u Bosni i Hercegovini: Izvještaj o trenutnom stanju. https://aquasanbih.ba/files/media/pdf/68ad82709414a6.43894418_Izvje%C5%A1taj%20o%20trenutnom%20stanju_Pre%C4%8Di%C5%A1%C4%87avanje%20otpadnih%20voda%20u%20BIH.PDF (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[5] Knežević, N., Pešević, D., Milunović, I. (2018). Analysis of technical and technological parameters of waste water treatment plant for up to 15 000 equivalents. Archives for Technical Sciences. 2. 75-84. 10.7251/afts.2018.1019.085K. https://www.researchgate.net/publication/328895688_ANALYSIS_OF_TECHNICAL_AND_TECHNOLOGICAL_PARAMETERS_OF_WASTE_WATER_TREATMENT_PLANT_FOR_UP_TO_15_000_EQUIVALENTS (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[6] Federalni zavod za statistiku (2026). Prečišćavanje i ispuštanje otpadnih voda u 2025. https://fzs.ba/wp-content/uploads/2026/07/20.2.1.pdf (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[7] Republički zavod za statistiku Republike Srpske (2024). Statistika životne sredine, javna kanalizacija. https://www.rzs.rs.ba/static/uploads/saopstenja/zastita_zivotne_sredine/javna_kanalizacija/2024/JavnaKanalizacija_2024.pdf (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[8] Dizdarević, A. (2017). Način rada na postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda u Butilama. https://www.voda.ba/uimages/Aljosa%20Dizdarevic%20ZR.pdf (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[9] Zakon o vodama Federacije BiH (2006). „Službene novine FBiH“, br. 70/06.

[10] Vlada Federacije Bosne i Hercegovine (2023). Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije https://fbihvlada.gov.ba/bs/1-uredba-o-izmjenama-i-dopunama-uredbe-o-uslovima-ispustanja-otpadnih-voda-u-okolis-i-sisteme-javne-kanalizacije (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[11] Zakon o vodama Republike Srpske (2006). „Službeni glasnik Republike Srpske“, br. 50/06.

[12] European Commission (2025). Bosnia and Herzegovina 2025 Report. Commission Staff Working Document SWD(2025) 751 final, Brussels, 4.11.2025. https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/2025/documents/bosnia-and-herzegovina-report-2025.pdf (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[13] European Parliament and Council (2000). Directive 2000/60/EC of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L 327, 22.12.2000, pp. 1-73. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[14] Council of the European Communities (1991). Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. Official Journal of the European Communities, L 135, 30.5.1991, pp. 40-52. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[15] European Parliament and Council. (2024). Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2024 concerning urban wastewater treatment (recast). Official Journal of the European Union, OJ L 2024/3019, 12.12.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/3019/oj (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[16] European Commission (2021). Pathway to a Healthy Planet for All. EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil'. COM(2021) 400 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0400 (pristupljeno 20. 10. 2026.)

[17] Vijeće Evropske unije. Prečišćavanje otpadnih voda. https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/wastewater-treatment/ (pristupljeno 20. 10. 2026.)

ARHITEKTURA

iNDiS 2026

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-069

ODNOS FORME I FUNKCIJE PETROVARADINSKE TVRĐAVE

Autor: Milana Šećerov Hrnjez[1]

Rezime: Odnos forme i funkcije Petrovaradinske tvrđave

Rad istražuje odnos forme i funkcije u arhitekturi kroz istorijsko-institucionalni okvir, reinterpretirajući klasičnu maksimu kao dinamičan, društveno uslovljen proces. Na primeru Petrovaradinske tvrđave analizira se kako su modeli upravljanja i institucionalni diskontinuiteti oblikovali putanju zavisnosti (path dependency), doprinoseći očuvanju forme, ali i funkcionalnoj neintegrisanosti u savremenom urbanom tkivu. Metodološki pristup obuhvata analizu prostorne evolucije, institucionalnih aranžmana. Cilj istraživanja je formulisanje modela integralnog prostornog razvoja koji prevazilazi zaštitu kulturnog nasleđa i redefiniše Petrovaradinsku tvrđavu kao funkcionalni resurs za jačanje urbanog identiteta, društvene kohezije i participativnog razvoja zajednice. Otuda je cilj istražiti kako Petrovaradinska tvrđava, kao složen istorijsko-kulturni i prostorni sistem, može da se reinterpretira, revitalizuje i reafirmiše kroz savremene razvojne modele u odnosu svoje forme i funkcije.

Ključne reči: Petrovaradinska tvrđava; integralni prostorni razvoj;institucionalni aspekti; putanja zavisnosti; urbani režim.

RELATIONSHIP OF FORM AND FUNCTION OF THE PETROVARADIN FORTRESS

Summary: The relationship between form and function: the narratives of the Petrovaradin Fortress

This paper explores the relationship between form and function in architecture through a historical-institutional framework, reinterpreting the classical maxim as a dynamic, socially conditioned process. Using the Petrovaradin Fortress as a case study, it examines how governance models and institutional discontinuities have shaped path dependency, contributing to the preservation of the fortress's physical form while simultaneously hindering its functional integration into the contemporary urban fabric. The methodological approach includes an analysis of spatial evolution and institutional arrangements.

The aim of the research is to formulate a model of integrated spatial development that transcends the conventional protection of cultural heritage and redefines the Petrovaradin Fortress as a functional resource for strengthening urban identity, social cohesion, and participatory community development. Accordingly, the study seeks to investigate how the Petrovaradin Fortress, as a complex historical, cultural, and spatial system, can be reinterpreted, revitalised, and reaffirmed through contemporary development models that reconsider the relationship between its form and function.

Keywords: Petrovaradin Fortress; integral spatial development; institutional aspects; dependency path; urban regime.

[1] Doktorand arhitekture, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, Mentor: Prof. dr Reba Darko, d.i.a., milanahrnjez @gmail.com, ORCID 0009-0007-8053-246X,

1. UVOD

Arhitektura i urbanizam, postavljaju odnos forme i funkcije na centralno mesto. Još od čuvene maksime Luisa Salivana da „forma prati funkciju" (Sullivan, 1896), pitanje međuzavisnosti prostornog izraza i njegove namene oblikuje teorijske i praktične rasprave o arhitekturi i gradu. Forma, shvaćena kao materijalni i simbolički izraz prostora, i funkcija, kao njegova svrha i društvena uloga, nikada nisu u potpunosti razdvojeni entiteti. Njihov odnos menja se kroz vreme i uvek zavisi od šireg istorijskog i urbanog konteksta.

Arhitektura u svojoj suštini oličava funkciju, ali je i kontinuirano tumači, proširuje i transformiše njene potencijale. Otuda je arhitektura integralna i podrazumeva objedinjavanje prostornih, društvenih, kulturnih i simboličkih dimenzija u jedinstvenu i neraskidivu celinu, kao sistem koji povezuje čoveka, prostor i zajednicu u koherentnu strukturu značenja i upotrebe.

Petrovaradinska tvrđava u Novom Sadu pruža izuzetno relevantan primer za analizu načina na koji se forma i funkcija prepliću u složenom procesu prostorne i društvene evolucije. Njena arhitektura i istorija svedoče o tome da su urbanistički prostori živi organizmi u kojima se reflektuju promene kolektivnog identiteta i kulturnih praksi (Giedion, 1941; Jacobs, 1961).

Analizirajući teorijske koncepte o odnosu forme i funkcije, istorijska transformacija Petrovaradinske tvrđave, ističe širi značaj i razumevanje urbanog identiteta i društvenog života.



Slika. 1 Naslovna, ilustracija autora- pogled na Novi Sad sa Petrovaradina, grafika

2. TEORIJSKO-PROSTORNI OKVIR: ODNOS FORME I FUNKCIJE U URBANOM KONTEKSTU

2.1. POLITIČKA EKONOMIJA PROSTORA: ARTIKULISANA PROSTORNOST I FAKTOR SUSEDSTVA

Započinje analizom nivoa susedstva kao artikulisane prostornosti, rekonstruišući razmere, u kojima je lokalno mesto postojanja proaktivne zajednice, ali i čvor u složenoj geografiji zajedničkog života, pri čemu moramo imati osećaj neophodnosti inkorporiranja lokalnog, u integralni i vitalni deo šire urbane dinamike.
Upravo u toj dinamici, Tvrđava deluje kao primarni prostorni i socio-ekonomski generator koji direktno oblikuje svoje neposredno susedstvo. Istorijski posmatrano, njene funkcionalne transformacije — od vojne fortifikacije do kulturno-turističkog kompleksa — diktirale su razvoj neposrednog okruženja (Podgrađa), ali i širih celina grada na suprotnoj obali Dunava. Dok je na širem gradskom nivou Tvrđava postala ključni identitetski i razvojni simbol, u neposrednom susedstvu dolazi do prostornog i funkcionalnog jaza: gornji plato preuzima kulturne i turističke sadržaje, dok neposredno stanovanje ostaje potisnuto na periferiju razvojnih prioriteta. Istovremeno, lokalni procesi koji se odvijaju u neposrednom susedstvu ne utiču isključivo na Podgrađe, već oblikuju i šire urbane odnose grada. Kroz razvoj komunikacionih pravaca, javnih prostora i funkcionalnih veza između Petrovaradina i Novog Sada, nivo susedstva postaje važan činilac razvoja ukupne urbane matrice.Time se pokazuju konkretni načini na koje je Tvrđava u zavisnosti od svoje prenamene integrisala ili fragmentisala okolne gradske prostore.
Tvrđava, obuhvata ulogu specifičnih oblika i istorije proizvodnih sistema u određenom društvenom prostoru, konkretne institucionalne forme prilagođene načinima razvoja lokaliteta, društvene snage i kolektivne ili pojedinačne aktivnosti koji utiču na razvoj područja i sistema upravljanja. Uzimajući u obzir putanju zavisnosti, ekonomiju, logiku kapitala, klasni karakter i društvene, političke, kulturne i bio-fizičke posledice istorijskog i urbanog razvoja. Savremeni gradovi postaju sve kompleksnije arene u kojima se prepliću globalni tokovi kapitala, lokalne socio-ekonomske tenzije i sve izraženija fragmentacija prostora. Zbog toga susedstva gube kohezivnu funkciju, a delovi urbanih celina bivaju isključeni iz procesa razvoja.

2.2. ISTORIJSKI INSTITUCIONALIZAM I TEORIJA PUTANJE ZAVISNOSTI (PATH DEPENDENCY)

Zašto Petrovaradinska tvrđava, uprkos istorijskim promenama režima, transformaciji ekonomskih sistema i savremenih urbanih pritisaka, i dalje ostaje „neosvojiva"?
Koji su istorijski nivoi upravljanja, modeli, diskontinuiteti, kao i prostorna fragmentacija doprineli očuvanju njene formalne celine, ali istovremeno proizveli stanje funkcionalne zaključanosti i tranzicione neintegrisanosti u savremenu urbanu dinamiku?
Razumevajući istorijsku institucionalnu dinamiku i političku ekonomiju prostornog razvoja dolazi se do načina uspostavljanja i menjanja obrazaca društvene regulacije, institucionalnih aranžmana i prostorne skale kao objedinjujuće dimenzije.
Potrebno je ispitati pozadinu institucije koja se izučava, jer njena analiza treba da objasni koje i kakve sklonosti nastaju, vodeći ka korisnim poukama o tome kako je institucionalno uređenje uticalo na izbor i sklonosti donošenja odluka, a samim tim će pružiti i uvid u posledice, jer učvršćivanjem interesa onih snaga koje su posvećene instituciji i sama institucija postaje jača (Rothstein 1992; Baker, 2011).

Gradovi nisu izolovani sistemi, a deluju u višeslojnom institucionalnom okruženju - lokalnom, regionalnom, nacionalnom i globalnom. Upravo ta višeslojnost stvara kompleksnu dinamiku u kojoj lokalno treba da funkcioniše unutar šireg okvira, a koncept socijalne inovacije nam može pomoći - jer se fokusira na ulogu lokalnih zajednica kroz model integralnog razvoja područja, koji kombinuje fizičke, ekonomske, institucionalne i kulturne aspekte razvoja na lokalnom nivou, kroz ukupni teritorijalni razvoj.
Takva implementacija može pokrenuti lokalnu ekonomiju, obnoviti društveni kapital, unaprediti kvalitet života i stvoriti mehanizme participacije.
Koji su, stoga, neophodni strukturalni koraci kako bi se prevazišla fragmentacija nadležnosti, uspostavio stabilan model upravljanja, redefinisao režim zaštite i obezbedila dugoročna strategija integralnog razvoja?
Na koji način je moguće analitički sagledati i interpretirati putanju zavisnosti (path dependency) - odnosno istorijski uslovljene obrasce odlučivanja, institucionalne diskontinuitete i akumulirane prostorne i upravljačke modele - kako bi se zaista razumeo kontinuitet problema i uspostavio održiv, koherentan i razvojno odgovoran okvir budućeg funkcionisanja Petrovaradinske tvrđave?
Petrovaradinska tvrđava je danas suočena sa ozbiljnim izazovima, a odgovori na pitanja na koji način prošlost i sadašnjost mogu doprineti jačanju identiteta grada i kvaliteta života zajednice ljudi - predstavljaju polje interdisciplinarnog istraživanja i strateškog delovanja koje zahteva integraciju urbanističkog planiranja, sistema zaštite kulturnog nasleđa, institucionalnog upravljanja i integralnog modela razvoja.
To je prostor u kome se preispituju modeli interpretacije nasleđa, redefiniše odnos između očuvanja i savremene upotrebe i uspostavlja okvir za dugoročnu i održivu transformaciju.

2.3. MORFOLOŠKA SLOŽENOST I MODELI INTEGRALNOG RAZVOJA TVRĐAVE

Kompleksnu prostornu celinu područja kao prostornog, kulturnog i istorijskog jedinstva čine Donja tvrđava, Gornja tvrđava, Hornverk, sistem šančeva i minskih polja, kao i vodeni šančevi poznati kao Vodeni grad ali uz pristupe i prilaze sa obe strane Novog Sada i Petrovaradina. Svaki od elemenata posebne je istorijske, arhitektonske i urbanističke funkcije, zajedno formira jedinstveni fortifikacioni sistem izuzetne složenosti i velikog značaja.
Cilj je otuda istražiti kako Petrovaradinska tvrđava, kao složen istorijsko-kulturni i prostorni sistem, može da se reinterpretira, revitalizuje i reafirmiše kroz savremene razvojne modele koji integrišu kulturno nasleđe, obrazovanje i društvenu inkluziju. Tvrđava, kao jedan od najznačajnijih urbanih repera Novog Sada, predstavlja potencijalni model za promišljanje odnosa između očuvanja i razvoja, između prošlosti i savremenih potreba zajednice.
U tom smislu, istraživanje ispituje mogućnosti da Petrovaradinska tvrđava evoluira iz pozicije kulturno-turističkog prostora u aktivni društveno-razvojni centar.
Ključno je sagledati tvrđavu i kao zaštićeni spomenik kulture, dinamičan i urban organizam. U tom smislu, ona može postati primer integralnog prostornog razvoja (Moulaert, 2010), gde se kulturni kapital koristi kao osnova za jačanje lokalne zajednice i društvene kohezije.
Savremeni urbanisti poput Gela (2011) i Lefebra (1991) ističu važnost vraćanja prostora ljudima u gradu po meri čoveka. U tom okviru, Petrovaradinska tvrđava može se posmatrati kao „živi kvart" u kojem je istorija resurs za savremeni život. Sagledavanje i razumevanje njenih vrednosti i potencijala uspostavlja rešenja i zadatke

institucionalnosti i omogućava sistematsko planiranje, održavanje i aktiviranje prostora, prvenstveno na nacionalnom nivou, a potom kroz programe kulture, obrazovanja i zajedničkog delovanja – lokalno, ali i u međunarodnom kontekstu. Kao višeslojni istorijski lokalitet, Petrovaradinska tvrđava predstavlja deo zajedničkog evropskog kulturnog nasleđa, oblikovanog delovanjem različitih civilizacija, država i naroda – od rimskog i srednjovekovnog perioda, preko Osmanskog carstva i Habsburške monarhije, do savremene Srbije. Upravo ta istorijska osobenost daje joj i dodatni potencijal da bude prostor međunarodne kulturne saradnje, razmene znanja i promocije zajedničkih evropskih vrednosti.

Metodološki, istorijska analiza prostorne evolucije kroz teorijsku interpretaciju odnosa između forme, funkcije i identiteta, predlaže model integralnog razvoja prostora čiji je cilj pored očuvanja materijalne baštine, i uspostavljanje budućeg održivog modela korišćenja – koji može da otkrije sve elementarne predstojeće korake.

Petrovaradinska tvrđava može postati ključni instrument integralnog prostornog razvoja Novog Sada i Petrovaradina, između njegovog istorijskog identiteta i savremenih razvojnih praksi i potreba.

2.4. POTENCIJALI SAVREMENOG UKLAPANJA U URBANO TKIVO GRADA

Od monumentalnog vojno-strateškog utvrđenja Habzburške monarhije, pa do današnjeg statusa kulturnog i turističkog centra, ona svedoči o dinamičkom procesu u kojem se arhitektonska forma stalno prilagođava novonastalim društvenim potrebama. Svaka od faza ostavila je trag u arhitekturi, prostornom rasporedu i društvenim praksama, oblikujući jedinstvenu dinamiku prostora.

Tvrđava je dualni artefakt prošlosti i prostor u kojem se prepliću istorije i savremenost, forma i funkcija, materijalnost i značenje, arhitektonska celina i simbol stalne promene i prilagođavanja.

Kroz istoriju svedoči kako su zidine zatvorene strukture, u isto vreme i poput živog organizma koji se menja zajedno sa ljudima. Nekada prostor vojne discipline i kontrole, danas otvorena ka gradu i svetu, kao mesto okupljanja, kulture i kreativnog izražavanja. Takva transformacija govori o tome da grad živi kroz svoje prostore, njihova funkcija nastavlja da oblikuje svakodnevni život ljudi. Kada se prostor prilagođava ljudima, on prestaje da bude samo materijalni lokalitet. Postaje deo kolektivnog identiteta, mesto sećanja, ali i mesto novih iskustava.

Petrovaradinska tvrđava, često posmatrana kao svedočanstvo prošlih epoha, danas prevazilazi svoju istorijsku ulogu formirajući dinamičan segment urbanog tkiva koji (može da) oblikuje savremeni život zajednice. Kada se kulturno-istorijsko nasleđe spoji sa savremenim programima: umetničkim, edukativnim, inkluzivnim, prostor dobija novu funkciju, a grad novu energiju.

Istovremeno proces transformacije ne znači brisanje prošlosti, već njeno osavremenjavanje i ponovno otkrivanje kroz nove oblike upotrebe. U tom procesu, Petrovaradinska tvrđava postaje mesto susreta tradicije i inovacije, čime se gradi snažniji identitet grada i otvara prostor za aktivno učešće građana u oblikovanju sopstvenog kulturnog i društvenog okruženja.

3. ODNOS FORME I FUNKCIJE KROZ PRIZMU ARHITEKTONSKE TEORIJE

3.1. PRINCIP „FORMA PRATI FUNKCIJU“ I PROSTORNA SLOŽENOST TVRĐAVE

Luis Saliven, začetnik maksime „forma prati funkciju“, naglašava da arhitektura mora da proizlazi iz svoje namene. Obuhvatajući kompleksnu prostornu celinu koju čine Donja tvrđava, Gornja tvrđava, Hornverk, sistem šančeva i minskih polja, kao i vodeni šančevi poznati kao Vodeni grad, nove funkcije treba otkrivati. Svaki od elemenata poseduje posebne istorijske, arhitektonske i urbanističke funkcije koji zajedno formiraju jedinstveni fortifikacioni sistem izuzetne prostorne složenosti i značaja.

- DONJA TVRĐAVA - Nekada vezana za komunikaciju i trgovinu uz reku, predstavljala je prostor gde su se nalazile radionice, skladišta i stanovi zanatlija.
- GORNJA TVRĐAVA - kao vojno i komandno središte, sa bastionima i podzemnim galerijama činila je osnovu odbrambene mreže.
- HORNVERK - spoljašnje utvrđenje, predstavljao je stratešku tačku zaštite prilaza sa kopna, dok su šančevi i minska polja bili deo složenog sistema zaštite i nadzora nad priobaljem.
- VODENI GRAD - Mreža vodenih šančeva i mostova povezivala je Tvrđavu sa rekom i predstavljala ključnu kariku između odbrambene funkcije i kontrole nad Dunavom.



Slika. 2 Mapa prostornih celina Petrovaradinske tvrđave, autor

Promenom funkcije od vojne mašine ka kulturno turističkom prostoru, sama forma dobijala je nova značenja postajući ambijent za umetničke, društvene i ekonomske aktivnosti. Od geometrijske organizacije bastiona i bedema do prostorne hijerarhije između Donje i Gornje tvrđave. Svaka arhitektonska odluka bila je vođena potrebom da se ostvari savršen odnos između zaštite, komunikacije i kontrole prostora, isključivo potrebom vojne odbrane.

Tvrđava se razvijala kao organizam čiji su delovi međusobno povezani i zavisni, što odražava Sulivanovu ideju o arhitekturi kao živom sistemu. Njena struktura otkriva kako forma prevazilazi puku tehničku funkciju i može da postane simbol grada, simbol

odnosa. Upravo u toj složenoj mreži fizičkih, društvenih i simboličkih značenja Petrovaradinska tvrđava prevazilazi okvire fortifikacije i postaje svedočanstvo o arhitekturi koja sledeći svoju funkciju, stvara novi smisao.
Le Korbizje je kroz svoj koncept funkcionalnog urbanizma i viziju Ville Radieuse zagovarao racionalno planiranje u skladu sa potrebama društva. Ako je Petrovaradinska tvrđava nekada bila „mašina za odbranu“, danas se može posmatrati i kao „mehanizam kulture, turizma“ ali i mesto susreta. Ovaj prelazak sa rigidne funkcionalnosti ka višeslojnoj, fleksibilnoj upotrebi odražava transformaciju urbanih prostora koja je ključna za njihov opstanak.

3.2. ORGANSKA ARHITEKTURA I TEHNOLOŠKO-DRUŠTVENI KONTEKST

Koncept organske arhitekture Frenka Lojda Rajta ukazuje na vezu između arhitekture, prirode i čoveka. Petrovaradinska tvrđava, Gibraltar na Dunavu, primer je takve integracije. Podignuta u skladu sa istaknutom pozicijom na obali Dunava i reljefom Fruške gore, pokazuje kako arhitektura sledi prirodni pejzaž. Njena savremena revitalizacija može se razumeti kao nastavak organskog procesa u kojem priroda, istorija i kultura ulaze u novi odnos. Zigfrid Gidion u svom delu „Prostor, Vreme i Arhitektura“ naglašava da arhitektura uvek odražava tehnološke i društvene potrebe jedne epohe.



Slika. 3 Situacija, autor, grafika

4. REVITALIZACIJA PROSTORA I SAVREMENI KORISNIK: OD LJUDSKE RAZMERE DO INTEGRALNOG IDENTITETA

Petrovaradinska tvrđava je bila rezultat vojne tehnologije XVIII veka, ali i danas, kada funkcioniše kao kulturni centar ili prostor za muzički festival, ona pokazuje sposobnost prostora da premosti epohe i transformiše se u skladu sa novim funkcionalnim zahtevima.

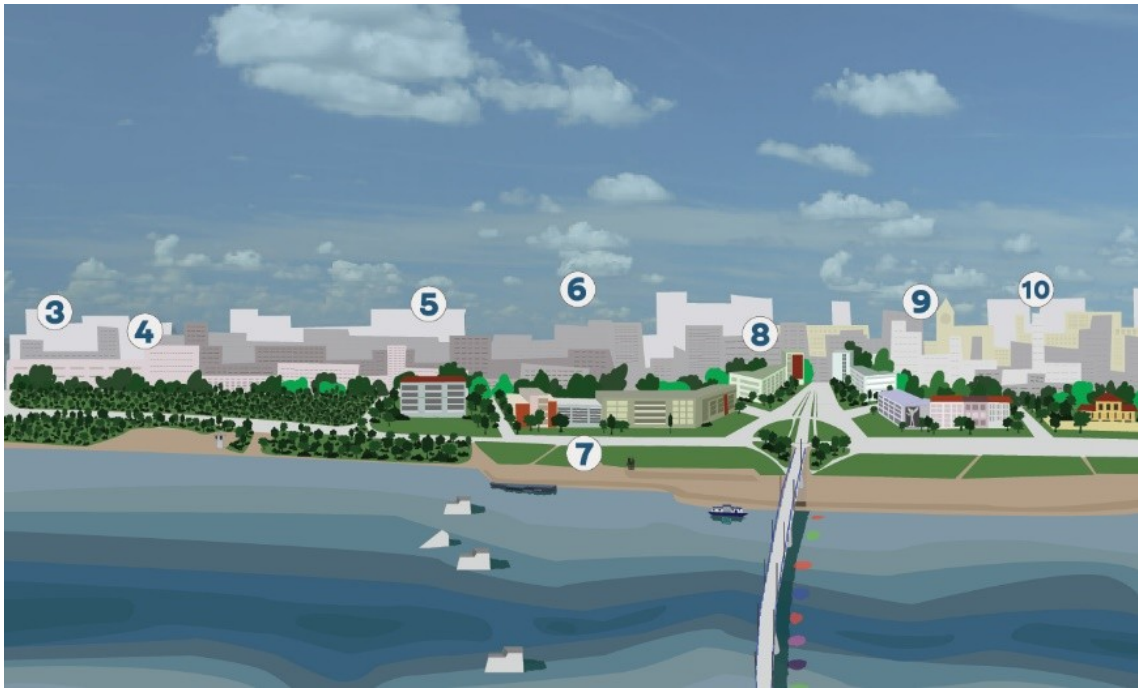
4.1. KONCEPT LJUDSKE SKALE I VITALNOST ZAJEDNICE

Jan Gelov pristup produbljuje diskurs fokusom na ljudsku skalu. Konceptom „Grada po meri čoveka“, određuje kvalitet urbanog života podsećajući nas da prostori, naročito

poput Gornjeg i Donjeg grada, opstaju samo ako su uključeni u svakodnevne tokove zajednice: jer ako Petrovaradinska tvrđava ostane zatvoreni muzej – gubi značaj; a ako se otvori ljudima, postaje vitalni deo urbanog tkiva.
Kroz zaštitu, komfor i uživanje Petrovaradinska tvrđava, kao istorijsko jezgro Novog Sada, poseduje potencijal da postane uzoran primer „prostora po meri čoveka“ ukoliko se njen razvoj prilagodi jačanju svakodnevnog života zajednice.
Zaštita prostora, u tom smislu, odnosi se pored očuvanja kulturnog nasleđa, i na stvaranje bezbednog, pristupačnog i prijatnog okruženja za sve korisnike. Komfor podrazumeva fizičku dostupnost, mogućnost boravka i kretanja, dok ljudska skala postaje ključ za oblikovanje prostora koji poziva na zadržavanje i interakciju. Najviši nivo kvaliteta, prema Gelu, ogledao bi se u uživanju u estetskom i socijalnom doživljaju prostora i oživljavanju vitalnog dela grada upravo kroz aspekt mesta okupljanja, susreta i zajedničkih aktivnosti, prevazilazeći sadašnju kulturu i funkciju spomenika. Pažljivo planiranje spaja očuvanje i savremenu upotrebu u skladu s ljudskom merom otvorenog, pristupačnog i društveno živog prostora.

4.2. PROSTORNI OBRASCI I PRENAMENA FUNKCIJA

Kristofer Aleksander kroz svoj koncept Pattern Language, ističe da arhitektura treba da sledi obrasce koji omogućavaju ljudima da prostor koriste prirodno i intuitivno. Ova mreža „obrazaca“ može se tumačiti na način da je izvorno bila vojna, a danas prenamenjena u kulturno-društvenu funkciju. Posedujući univerzalne vrednosti: hijerarhiju puteva i trgova, sekvence prolaza i terasa, odnose zatvorenog i otvorenog, ritam pogleda i zaklona, obrasci – koji su nekada služili odbrani i kontroli – danas mogu da se reinterpretiraju kroz turizam, obrazovanje, umetnost i kulturu.



Slika. 4 Pogled na Novi Sad sa Petrovaradinske tvrđave, autor, grafika

4.3. ČITLJIVOST, PERCEPCIJA I MENTALNE MAPE TVRĐAVE

Kevin Linč u knjizi „Slika jednog grada’’ naglašava važnost čitljivosti i percepcije urbanih formi. Petrovaradinska tvrđava, sa svojim monumentalnim proporcijama i dominantnom lokacijom iznad Dunava, predstavlja jedan od najsnažnijih orijentira Novog Sada. Njena prepoznatljivost i vizuelna moć omogućavaju da funkcionalna

transformacija ne ugrozi identitet, već da ga dodatno osnaži. Upravo u tome i leži potencijal Petrovaradinske tvrđave: mentalna prisutnost čini je integralnim delom realne kolektivne slike grada.

U skladu sa Linčovim principima, uspešna revitalizacija podrazumevala bi očuvanje njene prostorne čitljivosti, jasnu hijerarhiju puteva i čvorova, fizičkih i vizuelnih granica, većih celina, važnih mesta okupljanja i snažnih referentnih tačaka koje bi omogućile građanima da je prepoznaju kao „svoj prostor“. On treba da bude jasno razumljiv u kome se lako stvara mentalna mapa kretanja, orijentacije i osećaja sigurnosti.

Kevin Linč naglašava da grad mora imati takvu jasnu strukturu kako bi njegovi stanovnici razvili emocionalnu vezu s prostorom u kojem čitljivost doprinosi stvaranju identiteta, osećaja pripadnosti ali i lakšeg snalaženja. Dominantan pejzažni simbol je otuda i prostorni element unutar kojeg se gradi ukupni identitet Novog Sada.

4.4. SOCIJALNA DINAMIKA I TVRĐAVA KAO „ŽIVI PROSTOR“

Džejn Džejkobs dodaje dimenziju socijalne dinamike gradskim prostorima, ističući da vitalnost grada proističe iz interakcije ljudi u svakodnevnom životu i neposrednosti.

Petrovaradinska tvrđava kroz festivale, umetničke radionice, galerije i turističke sadržaje danas funkcioniše upravo na takav način. Kao „živi kvart“ – iako istorijski – učestvuje u stvaranju savremenih urbanih iskustava. „Grad života“ svedoči o prelasku iz zatvorene fortifikacije u otvoreni urbani sistem.

Tokom festivala „Egzit“, „Uličnih svirača“, umetničkih kolonija, galerijskih postavki i radionica, prostor oživljava kroz raznolikost upotreba i ritmova, stvarajući gustu mrežu socijalnih interakcija koja nas podseća da grad diše kroz ljude. Većom kombinacijom aktivnosti, generacija i funkcija u budućnosti stvorio bi se veći potencijal za društvenu koheziju i upotrebu.

Jedinstvena morfologija bastiona, prolaza i vidikovaca prirodno poseduje tu prostornu fleksibilnost, reinterpretirajući savremene oblike društvene vitalnosti spontanim redom (spontaneous order), u kojem se urbani život samoreguliše kroz interakciju građana, a ne kroz strogi planerski nadzor.

Teorijski okvir od Sulivana do Džejkobs pokazuje nam da Petrovaradinska tvrđava svoju formu i funkcije neprekidno prepliće i međusobno uslovljava, menjajući značenja kroz vreme i prilagođavajući se potrebama ljudi.

Izdvajanjem kriterijuma povezanosti forme i funkcije istakla bi se prostorno-strateška dimenzija, gde položaj Petrovaradinske tvrđave na visini iznad Dunava ostaje ključan kriterijum dominacije, omogućavajući njeno višestruko korišćenje.

Društveno-istorijska dimenzija, u kojoj svaka epoha prenosi svoje potrebe i značenja, menja funkciju, ali ne i osnovnu formu. Kulturno-simbolička dimenzija, predstavljajući današnje funkcije (turizam, kulturu, umetnost), oslanja se na simbolički kapital forme, koji je prepoznat kao znak identiteta grada. Upravo u sposobnosti i snazi transformacije leži razlog njenog opstanka i urbanog identiteta.

Daljim sagledavanjem i razrešenjem institucionalne funkcije otvara se pitanje njenog statusa upravljanja, zaštite, obnove i uloge institucija u očuvanju i upravljanju Petrovaradinskom tvrđavom.



Slika. 5 Pogled na Petrovaradinsku tvrđavu iz Novog Sada , autor, grafika

5. ESTETSKA FUNKCIJA ARHITEKTURE KROZ PROGRAM I AKTIVNOST

Razvoj estetstke funkcije u savremenoj arhitekturi više se ne može posmatrati isključivo kroz prizmu forme i spoljašnjosti jer nije imanentna formi, već se konstituiše kroz upotrebu i iskustvo. Estetski doživljaj sve se više definiše kao aktivan proces koji nastaje kroz direktno aktiviranje programa i kretanja unutar samog prostora.
Arhitektura time prestaje da bude isključivo „vizuelni ambijent“ i postaje polje iskustva u kojem programska ideja može da postane i ključni generator. Otuda se estetička funkcija u arhitekturi razvija iz: logike aktivnosti koje se u samom prostoru odvijaju. Program ne inicira samo raspored, već i oblik, materijalnost, ritam, prostornu hijerarhiju. Veza između programske ideje i oblikovne logike neposredna je: forma je direktan odgovor na potrebu kretanja, istraživanja i osećaja. Estetska vrednost prostora prepoznaje se kroz upotrebljivost, prilagodljivost i doživljaj, graditeljsko nasleđe, ali i formalni izraz sam po sebi.
U savremenom kontekstu, lepota graditeljskog nasleđa se dodatno naglašava njegovom sposobnošću da opstane i transformiše se, čineći kontrast modernom okruženju. Njegova estetska moć leži u kontinuitetu koji pruža, služeći kao vizuelni i duhovni most između prošlosti i budućnosti, postajući sredstvo povezivanja prostora, korisnika ali i kolektivnog pamćenja, iskustva, zajedništva.
Estetska vrednost dostiže svoj vrhunac onda kada arhitektura odgovara na biološke i kognitivne potrebe čoveka. Na taj način, arhitektura 21. veka pomera fokus sa izloženog objekta na korisnika kao aktivnog učesnika koji svojom aktivnošću proizvodi značenje i lepotu prostora.

5.1. PETROVARADINSKA TVRĐAVA KAO PROSTOR DOGAĐAJA, ISKUSTVA I ZNAČENJA

Kao makro-struktura savremenog gradskog i kulturnog pejzaža i složen istorijski sistem, njen današnji i savremeni kontekst zahteva primarnu reinterpretaciju funkcije kroz edukaciju, kulturu, aktivno korišćenje prostora, odgovornost, inspiraciju i kvalitativni doprinos značenja/interpretacije/produkcije koji aktivira i prevodi njen prostorni i istorijski potencijal.
Razvoj estetičke funkcije ogleda se i u integraciji programskih aktivnosti sa simboličkim značenjima. Pozivajući se na pristup Bernara Čumija, arhitektura se pored forme sastoji i od događaja; istorijski prostori poput Petrovaradinske tvrđave aktivni su tek onda kada se koriste i fizički savladavaju.
U okviru fenomenologije prostora, u delima Morisa Merloua Pontija, percepcija prostora definište se kao telesno iskustvo, a ne kao posmatranje. Prostor prema ovom shvatanju postoji tek kroz odnos tela i okruženja. Oslanjajući se na arhitekturu kao polje informacija, simbolička vrednost tvrđave se revitalizuje novom, edukativnom i interaktivnom funkcijom, rezultirajući reafirmacijom integriteta nasleđa i paralelno razvijajući estetsku ideju sintezom forme, funkcije i značenja. Uspostavljena hijerarhija odnosa zasnovana je na postepenoj i uzročno-posledičnoj vezi: programska ideja usmerava način upotrebe, upotreba generiše iskustvo, i na kraju iskustvo konstituiše značenje prostora.
Ova značenja su preddiskurzivna, ali dugoročno utiču na način na kako čovek razume prostor, sebe i druge – iskustvo formirajući: značenje prostora, značenje aktivnosti i značenje sopstvene sposobnosti.

5.2. ULOGA GRADITELJSKOG NASLEĐA U ESTETSKOJ EDUKACIJI

Petrovaradinska tvrđava se posmatra kao kompleksan kulturni pejzaž koji poseduje visok potencijal za razvijanje prostorne svesti, orijentacije, razumevanja odnosa između čoveka i prostora, čoveka sa samim sobom kao i za uspostavljanje emocionalne veze sa nasleđem, na nivou čitavog grada. Potencijal Petrovaradinske tvrđave kao edukativnog prostora ogleda se u nekoliko aspekata: slojevitost prostora (nivoi, pravci, fortifikaciona logika); odnos kretanja i percepcije; prostorne sekvence i granice.

5.3. ANALOGIJA IZMEĐU PROGRAMSKE I ESTETIČKE LOGIKE U ARHITEKTURI

Uvođenje analize povezanosti između programskih i estetičkih ideja u arhitekturi predstavlja ključni korak u razmevanju načina na koji se prostor oblikuje i kao fizička struktura, ali i kao odgovor na konkretne potrebe i aktivnosti koje se u njemu odvijaju. Ovakav pristup polazi od pretpostavke da estetika nije autonomna kategorija, već proizilazi iz logike korišćenja prostora, njegovih funkcija, vrednosti i društvenog konteksta. Razmatranje odnosa ova dva parametra omogućava dublje sagledavanje procesa transformacije arhitektonskih celina, gde se oblik ne posmatra kao unapred zadat, već kao rezultat interakcije između namene, kretanja korisnika i načina upotrebe prostora. U kontekstu Petrovaradinske tvrđave, ovakva analiza dodatno dobija na značaju jer se kroz istorijske nivoe jasno uočava na koji način promena funkcije generiše nove estetičke izraze, potvrđujući da je oblikovna logika neraskidivo povezana sa programskom idejom i njenom evolucijom kroz vreme.
Analiza povezanosti između programskih i estetičkih ideja u arhitekturi Petrovaradinske tvrđave otvara pitanje odnosa između funkcije i forme kao dve međusobno uslovljene kategorije. Prostorne aktivnosti tvrđave, deluju kao ključni inicijator estetičkih transformacija iz razloga što način korišćenja prostora direktno utiče na njegov doživljaj, percepciju i oblikovanje. Logika kretanja, okupljanja i zadržavanja ljudi redefiniše postojeće strukture, uvodeći nove vizuelne i ambijentalne vrednosti koje proizilaze iz savremenih potreba ne samo ljudi kao korisnika već i samog prostora.

Estetska vrednost na taj način postaje rezultat postavljenih funkcionalnih zahteva, ali i njihov kreativni odgovor, uspostavljajući dinamičan odnos između nasleđenog okvira i savremenih intervencija koje ga reinterpretiraju i prilagođavaju novim društvenim kontekstima.

5.4. VAŽNOST ESTETIKE KAO KRITERIJUMA EVALUACIJE

Estetika predstavlja vidljivu i iskustvenu manifestaciju dubljih prostornih i programskih odnosa, tj. način na koji se funkcija, stuktura i značenje prostora prenose svojim korisnicima. Ona ne podrazumeva samo lepotu ili vizuelni utisak, već funkcioniše kao indikator kvaliteta odnosa između prostora i njegove utilitarnosti. Kroz estetski izraz moguće je prepoznati logiku organizacije, hijerarhiju funkcija, način kretanja i boravka, ali i stepen usklađenosti prostora sa potrebama zajednice.
Estetika služi kao esencijalno sredstvo interpretacije – omogućavajući da se programske celine/sistemi sagledaju kroz konkretne prostorne i oblikovne karakteristike. Posebno u slučaju Petrovaradinske tvrđave, gde su se funkcije kroz istoriju radikalno menjale, estetske transformacije jasno oslikavaju te promene. Evolucija tvrđave se ogleda i u pristupačnosti njene tipologije: od zatvorenog, strogo kontrolisanog vojnog sistema do otvorenog, javnog prostora. S druge strane, deo kompleksa i danas ostaje nedostupan javnosti, zadržavajući svoju izvornu vojnu funkciju ili poseban režim korišćenja,ukazujući na postojanje značajnog, još uvek

neaktiviranog prostornog potencijala. Na taj način estetika postaje relevantan kriterijum jer povezuje ono što je nevidljivo (program, društvene potrebe, način upotrebe) sa onim što je vidljivo i doživljeno u prostoru.
Osim estetike, postoji još nekoliko komplementarnih kriterijuma koji omogućavaju razumevanje i valorizaciju prostora u celosti: funkcionalni, prostorno-organizacioni, društveni, istorijsko-kulturni, ambijentalni kriterijum, uz adaptabilnost i održivost.

- Funkcionalni: Procenjuje istorijske promene namene Tvrđave i njen kapacitet za prihvatanje savremenih sadržaja uz očuvanje kulturnih vrednosti.
- Prostorno-organizacioni: Analizira odnose objekata, otvorenih prostora i komunikacija, otkrivajući prostornu logiku kompleksa.
- Društveni: Sagledava ulogu Tvrđave u podsticanju društvene interakcije, kulturne participacije i povezivanju zajednice sa nasleđem.
- Istorijsko-kulturni: Vrednuje autentičnost, istorijski kontinuitet i značaj Tvrđave kao istorijsko-kulturnog spomenika.
- Ambijentalni: Ocenjuje doživljaj prostora, odnos graditeljske strukture prema prirodnom okruženju i njen uticaj na identitet gradskog pejzaža.
- Adaptabilnost: Ispituje mogućnost prilagođavanja istorijskog prostora novim potrebama bez narušavanja njegovog integriteta.
- Održivost: Analizira dugoročno očuvanje i korišćenje Tvrđave kroz usklađivanje zaštite nasleđa sa društveno-ekonomskim razvojem.

Osnovno pitanje koje postavlja arhitektonska estetika jeste kako razumeti i rukovati odnosom između arhitekture i životne sredine kao i kako rukovati odnosom između arhitekture i ljudi.
Ispitujući odnos između arhitekture i životne sredine iz perspektive usmerene na čoveka, naglašavajući da su same arhitektonske aktivnosti takođe estetske aktivnosti. Ideja usmerena na ljude u zapadnoj klasičnoj estetici imala je dubok uticaj na istoriju moderne arhitekture. Arhitektura pored stvaranja fizičkog prostora, jeste odraz i kulturne, istorijske i društvene pozadine. Ona nosi jedinstvene priče i vrednosti, a takođe utiče na način života i spoznaju ljudi.
U arhitektonskom stvaralaštvu, prilagođavanje društvenim potrebama i integracija sa kulturom manifestuju se kroz kontinuirano razvijanje novih ideja, metoda i prostornih rešenja. Transformacija arhitektonskog prostora odvija se kroz uvođenje novih formi i funkcionalnih modela, čiji je krajnji cilj postizanje upotrebne i društvene vrednosti prostora.
Kao mesto u kome čovek prepoznaje sopstveni identitet i način zajedničkog života arhitektura doprinosi stvaranju osećaja pripadnosti i kolektivnog iskustva koje povezuje pojedinca sa zajednicom i kulturom. Upravo arhitektura pored svoje estetske jeste i sredstvo kroz koje ljudi razvijaju emocionalni odnos prema prostoru, istoriji i sopstvenom mestu u savremenom društvu.

5.5. PROSTORNI IDENTITET KAO SINTEZA PROGRAMA I UPOTREBE

Sveobuhvatna analiza korelacije između teorijskih postavki, konceptualnog projektovanja i arhitektonske materijalizacije ukazuje na to da estetička funkcija arhitekture svoj puni potencijal ostvaruje onda kada neposredno proizilazi iz programskih zahteva i logike upotrebe prostora. Arhitektonsko delo postaje polje autentičnog iskustva tek kada programska ideja aktivno determiniše prostorni identitet.
Povezanost programskih i oblikovnih ideja potvrđuje da estetika služi kao relevantan indikator kvaliteta arhitektonskog prostora. Ona korisniku prenosi logiku organizacije i hijerarhiju funkcija, čineći ambijent čitljivim i svrsishodnim.

U slučaju Petrovaradinske tvrđave, tranzicija iz rigidnog, kontrolisanog vojnog sistema u otvoren i inkluzivan javni prostor reflektuje se kroz promenu estetskog narativa koji sada favorizuje pristupačnost i socijalnu interakciju.

Zar nije lepota osećaj punoće svakodnevnice integrisana u sam život? Arhitektura sreće Alana de Botona poručuje nam da je to način na koji vizuelno i simbolički osnažujemo sebe, učeći da budemo bolji ljudi i da sve ono što opisujemo kao lepo zapravo su verzije ljudi koje volimo.

6. ZAKLJUČAK

Istraživanje je pokazalo da se odnos forme i funkcije Petrovaradinske tvrđave ne može razumeti isključivo kroz njenu istorijsku ili arhitektonsku vrednost, već kao rezultat dugotrajnog procesa institucionalnih, društvenih i prostornih transformacija. Tokom svoje istorije Tvrđava jeste menjala funkcije, ali je uspela zadržati svoj prostorni identitet, potvrđujući da njena forma poseduje visok stepen adaptabilnosti i potencijal za savremenu reinterpretaciju. Upravo zato njena budućnost i ne treba da se zasniva samo na zaštiti kulturnog dobra, već na modelu integralnog prostornog razvoja koji povezuje očuvanje nasleđa sa aktivnim korišćenjem prostora.

Valorizacija Petrovaradinske tvrđave zahteva sagledavanje više međusobno povezanih kriterijuma. Funkcionalni kriterijum ukazuje na potrebu daljeg razvoja kulturnih, obrazovnih, naučnih i javnih sadržaja koji će omogućiti kontinuirano korišćenje prostora uz očuvanje njegovih istorijskih vrednosti. Prostorno-organizacioni kriterijum potvrđuje neophodnost povezivanja danas fragmentisanih prostornih celina i aktiviranja nedostupnih delova kompleksa kako bi Tvrđava funkcionisala kao jedinstven prostorni sistem. Društveni kriterijum naglašava potrebu jačanja participacije lokalne zajednice i stvaranja prostora svakodnevnog života, a ne isključivo turističke destinacije. Istorijsko-kulturni kriterijum potvrđuje da zaštita autentičnosti ne isključuje savremenu upotrebu, već predstavlja osnov za njenu održivu reinterpretaciju. Ambijentalni kriterijum ukazuje na značaj očuvanja jedinstvenog odnosa Petrovaradinske tvrđave, Dunava, Podgrađa i Novog Sada kao prepoznatljivog gradskog pejzaža, dok kriterijumi adaptabilnosti i održivosti potvrđuju da dugoročno očuvanje kompleksa zavisi upravo od njegove sposobnosti da prihvati nove funkcije bez narušavanja prostornog i kulturnog integriteta.

Kao jedan od najvažnijih rezultata istraživanja izdvaja se potreba za uspostavljanjem novog modela upravljanja Petrovaradinskom tvrđavom. Takav model trebalo bi da bude jedinstven, transparentan i participativan, zasnovan na saradnji institucija zaštite, Grada Novog Sada, stručne javnosti, kulturnih organizacija i lokalne zajednice.

Revitalizacija Tvrđave treba da bude usmerena na stvaranje dostupnog, inkluzivnog i vitalnog javnog prostora u kojem su istorijsko nasleđe, prirodno okruženje i savremeni život objedinjeni u jedinstvenu prostornu celinu.

Rezultati istraživanja potvrđuju da se estetska vrednost Petrovaradinske tvrđave ne iscrpljuje u njenoj arhitektonskoj formi, već nastaje kroz odnos prostora, programa i korisnika. Budući razvoj kompleksa trebalo bi zato usmeriti ka modelu „živog prostora“, u kojem kulturno nasleđe postaje aktivan sadržitelj obrazovanja, kulture, društvene interakcije i urbanog razvoja. Takvim pristupom Petrovaradinska tvrđava može prerasti iz dominantno turističkog lokaliteta u integralni javni prostor, važan za svakodnevni život građana i održivi razvoj grada očuvanjem i jačanjem identiteta Novog Sada.

LITERATURA

[1] Alexander, C., (2002). The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe (Vols. 1–4). Berkeley: Center for Environmental Structure.

[2] Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M., (1977). A pattern language: Towns, buildings, construction. New York: Oxford University Press.

[3] Baker, R. R. B., (2011). Novi institucionalizam i međunarodni odnosi - korak napred. Međunarodni problemi, 63(3), 343–358.

[4] Bandarin, F., & van Oers, R., (2012). The historic urban landscape: Managing heritage in an urban century. Wiley-Blackwell.

[5] Booth, P., (2011). Culture, planning and path dependence: Some reflections on the problems of comparison. Town Planning Review, 82(1), 13–28.

[6] Choay, F., (2001). The invention of the historic monument. Cambridge University Press.

[7] Ebbinghaus, B., (2005). Can path dependence explain institutional change? Max Planck Institute for the Study of Societies, Cologne.

[8] Gehl, J., (2010). Cities for people. Washington, DC: Island Press.

[9] Gehl, J., (2012). The human scale. Washington, DC: Island Press.

[10] Gehl, J., & Svarre, B., (2013). How to study public life. Washington, DC: Island Press.

[11] Giedion, S., (1941). Space, time and architecture: The growth of a new tradition. Cambridge, MA: Harvard University Press.

[12] Jacobs, J., (1961). The death and life of great American cities. New York: Random House.

[13] Le Corbusier, (1935). La Ville Radieuse. Paris: Editions de l'Architecture d'Aujourd'hui.

[14] Lefebvre, H., (1992). The production of space (D. Nicholson-Smith, Trans.). Oxford: Basil Blackwell.

[15] Lynch, K., (1960). The image of the city. Cambridge, MA: MIT Press.

[16] MacCallum, D., Moulaert, F., Hillier, J., & Vicari Haddock, S., (2009). Social innovation and territorial development. Ashgate e-Book.

[17] Mahoney, J., (2000). Path dependence in historical sociology. Theory and Society, 29, 508–548.

[18] Mason, R., (2002). Assessing values in conservation planning: Methodological issues and choices. In M. de la Torre (Ed.), Assessing the values of cultural heritage (pp. 5–30). Getty Conservation Institute.

[19] Moulaert, F., (2010). Promoting social innovation: The catalysing role of research. European Journalism.

[20] Norberg-Schulz, C., (1980). Genius loci: Towards a phenomenology of architecture. New York: Rizzoli.

[21] Ostrom, E., (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press.

[22] Popović, V., (1996). Petrovaradinska tvrđava-program revitalizacije, JP „Urbanizam", NS

[23] Smith, L., (2006). Uses of heritage. Routledge.

[24] Sullivan, L., (1896). The tall office building artistically considered. Chicago: Inland Architect.

[25] Thelen, K., (2003). How institutions evolve: Insights from comparative historical analysis. In Mahoney & Reuschemeyer (Eds.), Comparative Historical Analysis in the Social Sciences (Chapter 6).

[26] Wright, F. L., (1939). The natural house. New York: Horizon Press.

[27] Veljko Milković, (2003). Petrovaradin I Srem, Misterija prošlosti, Novi Sad.

[28] Veljko Milković, (2005). Podzemlje i nadzelje, -Festung Peterwarden - Mappe, Novi Sad.

[29] Veljko Milković, (2007). Petrovaradinska Tvrđava, kozmički lavirint otkrića, Novi Sad

[30] Tschumi, B., (1994). Event-Cities: Praxis. Cambridge, MA: MIT Press.

[31] Merleau-Ponty, M., (1962). Phenomenology of Perception. London: Routledge & Kegan Paul.

[32] De Botton, A., (2006). The Architecture of Happiness. London: Hamish Hamilton.

GEODEZIJA

iNDiS 2026

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-086

ODREĐIVANJE LANČANICE GEODETSKIM TERESTRIČKIM METODAMA MERENJA

Goran Marinković[1], *Strahinja Marinković*[2], *Žarko Nestorović*[3]

Rezime:

Lančanica je kriva linija koja matematički opisuje oblik koji zauzima homogen, nerastegljivi lanac koji slobodno visi obešen o dve krajnje fiksne tačke. Ova kriva se u matematici opisuje funkcijom kosinus hipoerbolički i, u strogo matematičkom smislu, nikako se ne može zameniti kvadratnom funkcijom odnosno parabolom. Navedeni pristup podrazumeva da na obešeni lanac ne deluju nikakve druge sile sem ubrazanja sile teže i da se podrazumeva da je lanc homogen i nerastegljiv. U praksi međutim, postoji nekolio bitnih neizbežnih uticaja koji dovode do značajnih odstupanja u odnosu na navedene pretpostavke. Pre svega se ova odstupanja odnose na homogenost i nerastegljivost lanca odnosno, što je u praksi mnogo češći slučaj, užeta. Drugi problem nastaje što se oblik obešenog lanca može odrediti isključivo merenjem koje je opterećeno neizbežnim greškama. U ovom radu razmatra se određivanje oblika visokonaponskog užeta određenog primenom terestričkih geodetskih metoda.

Ključne reči: lančanica, geodetska merenja, refrakcija, statistička analiza, kosinus hiperbolički, kvadratna regresija

CATENARY DETERMINATION BY TERESTRIAL GEODETIC METHODS

Summary:

A catenary is a curved line that mathematically describes the shape assumed by a homogeneous, inextensible chain freely suspended between two fixed endpoints. In strictly mathematical sense, this curve is described by the hyperbolic cosine function and cannot, under the stated assumptions, be replaced by a quadratic function. This approach assumes that the suspended chain is subjected to no forces other than gravitational acceleration and that the chain is homogeneous and inextensible. In practice, however, there are several important and unavoidable factors that result in significant deviations from these assumptions. First and foremost, these deviations concern the homogeneity and inextensibility of the chain or, more commonly in practice, the cable. Another problem arises from the fact that the shape of a suspended chain or cable can only be determined through measurements, which are inevitably affected by measurement errors. This paper considers the determination of the shape of a high-voltage cable using terrestrial geodetic methods.

Keywords: catenary, geodetic measurements, refraction, statistical analysis, cosine hyperbolic, quadratic regression

[1] Red. prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, goranmarinkovic@uns.ac.rs, ORCID 0000-0002-1923-1082
[2] Inženjer, SM GEOINŽENJERING, Beograd, Srbija, strahinjamarinkovic.12@gmail.com
[3] Inženjer, GEO STOP, Kladovo, Srbija, greostata23@gmail.com, ORCID 0000-0002-7928-7416

1. UVOD

Lančanica se definiše kao kriva koja opisuje liniju koju zauzima homogen, nerastegljiv lanca obešen o dve krajnje tačke. Ova kriva se u matematici opisuje funkcijom kosinus hiperbolički i naglašava se da nikako ne može biti zamenjena krivom koju opisuje kvadratna funkcija, odnosno parabolom. U strogo matematičkom smislu ova tvrdnja je istinita i ne može se opovrgnuti iz razloga što se ove dve krive (kosinus hiperbolički i parabola) uvek razlikuju. Međutim u praksi je realnost sasvim drugačija. Pre svega oblik koji zauzima neki objekat u prostoru može se utvrditi jedino merenjem i obradom rezultata merenja. Oba ova procesa, i merenje i rezultat merenja, opterećena su određenim greškama, a uzimajući u obzir bazičnu pretpostavku da istinita vrednost nikada nije poznata, neposredno sledi da se eventualne razlike u oblicima mogu odrediti metodama matematičke statistike i testiranjem hipoteza o jednakosti ili nejednakosti formi dobijenih merenjem i obradom podataka. Sa druge strane ni u realnosti nije moguće postići osnovne zahteve da bi se neki oblik materijalne stvarnosti (u ovom slučaju homogenost i nerastegljivost lanca odnosno užeta) može tretirati kao lančanica.
Kao kriva linija, lančanica se primenjuje u velikom broju slučajeva, dok je za njeno ponašanje razvijeno nekoliko različitih matematičkih modela [1]. Kada slobodno visi, lanac zauzima oblik lančanice, koja spada u najčešće krive u svakodnevnom okruženju, mada se u temeljnim kursevima fizike i matematike ova činjenica uglavnom zanemaruje [2]. Lančanica predstavlja oblik koji poprima homogen, nerastegljiv lanac obešen za krajnje tačke, pod uticajem isključivo sopstvene težine [3]. Ova tvrdnja bi mogla da zahteva određivanje sile teže sa određenom tačnošću. S obzirom na to da su parabola (kvadratna funkcija) i lančanica različite matematičke funkcije, lančanica se u matematičkom smislu ne može zameniti parabolom [4]. Prema drugoj definiciji, lančanica je kriva koju formira fleksibilan lanac ili kabl obešen o dve oslončane tačke pod dejstvom gravitacione sile [5]. Fleksibilnost lanca ili kabla dovodi u pitanje homogenost i rastegljivost lanca kao uslova za definiciju lančanice. Istaknuti naučnici iz prošlosti, kao što su Lajbnic (Leibniz), Hajgens (Haygens) i Johan Bernuli (Johann Bernoulli), bavili su se ovom krivom rešavajući izazov Jakoba Bernulija (starijeg Johanovog brata) da se odredi jednačina „krive lanca“ [5]. Galileo Galilej je 1638. godine pogrešno procenio da slobodno obešeni lanac ima oblik parabole [6], što je kasnije matematički opovrgnuto. Dok su ova ranija razmatranja bila mahom teorijske prirode i oslanjala se na matematičku analizu (uz izuzetak Galilejevih zapažanja), stvarni oblik obešenog lanca ili kabla u praksi se može utvrditi jedino merenjem. Primena lančanica naročito je široka kod železnica velikih brzina i transportnih sistema koji koriste električnu energiju za kretanje [7-9]. Analiza vibracija lančanice kod brzih pruga iziskuje postojanje specijalizovanih sistema monitoringa [10]. Elektroprenosni vodovi, sa tradicijom dužom od 125 godina, predstavljaju najveću građevinu koju je čovek stvorio na planeti [11]. Proučavanje razlika u karakteristikama između lančanice i parabole posredstvom matematičkih modela dobro je poznato u savremenoj stručnoj literaturi. Poznavanje razlika između ovih krivih od presudnog je značaja za projektovanje prenosnih mreža, s obzirom na to da se obe koriste za prikaz provodnika [12]. Geodetske službe unutar energetskih kompanija često imaju zadatak da precizno utvrde poziciju prenosnih kablova, pri čemu se definisanje krive vrši metodom najmanjih kvadrata [13]. Uzimajući u obzir dosadašnju literaturu i intuitivno zaključivanje, očigledno je da je utvrđivanje tačnog oblika prenosnih provodnika od izuzetnog značaja, što potvrđuju njihova zastupljenost u praksi i naučnim radovima. Od značajnih uticaja na oblik užadi koja se koriste u praksi (posebno kod visokonaponskih prenosnih sistema) treba naglasiti uticaj spoljne temperature. U osnovnoj definiciji

lančanice uticaj temperature se ne razmatra ali u praksi taj uticaj može biti značajan. Prema pojedinim autorima ugib lančanice, kao jedan od kritičnih parametara za funkcionisanje i održavanje visokonaponskih strujnih vodova, izložen je različitim uticajima kao što su strujno opterećenje, temperatura provodnika, brzina vetra, stres i naslage leda na provodniku [14]. Ovi uticaji se moraju uzeti u obzir tokom projektovanja novog visokonaponskog voda [15].
Stvarni oblik obešenog užeta utvrđen merenjem uvek sadrži određene merne greške koje se prenose kroz modele obrade podataka. Ova pojava propagacije grešaka merenja kroz model obrade u literaturi je definisana kao „zakon prenosa grešaka“ i pruža mogućnost sagledavanja uticaja pojedinačnih mernih nepravilnosti na traženi parametar [16].

Iz prethodne analize proizilazi da se u praksi javljaju dva osnovna uzroka problema prilikom definisanja stvarnog oblika krive koja opisuje položaj užeta. Prvi se odnosi na odstupanje realnih uslova od idealnih pretpostavki, dok je drugi povezan sa greškama nastalim tokom merenja i obrade rezultata. Osnovne pretpostavke o homogenosti materijala, slobodnom vešanju i nerastegljivosti užeta u stvarnim okolnostima gotovo je nemoguće u potpunosti ispuniti. Pored toga, spoljni faktori poput vetra, sunčevog zračenja, temperature i pojave leda deluju na provodnike, a njihove efekte na oblik krive nemoguće je sa sigurnošću predvideti, što dovodi do odstupanja od matematičkog modela.
Drugi izvor grešaka, koji umanjuje preciznost određivanja prostornog oblika užeta, potiče od neizbežnih mernih nesavršenosti zavisnih od mernih instrumenata i metoda obrade rezultata merenja. Kao potencijalni pristup za prevazilaženje ovog problema nameće se statističko testiranje hipoteza o poklapanju dve krive, uzimajući u obzir sve uticaje grešaka merenja i modela. U tom kontekstu mogu se primeniti formule za utvrđivanje statističke jednakosti krivih linija izvedenih iz merenih podataka, odnosno rezultata geodetskih merenja.
Cilj ovog rada jeste istraživanje odstupanja oblika kabla dobijenog terenskim merenjima u odnosu na primenu matematičkih modela – kosinusa hiperboličkog i kvadratne funkcije na jednom primeru iz prakse.

2. MATERIJALI I METODE

Materijal za istraživanje predstavljaju rezultati geodetskih merenja koja su izvršena radi određivanja lančanice jednog visokonaponskog strujnog voda (užeta) dužine 622.348 m. Broj tačaka za koje je određena visina iznosi 52 što znači da je prosečno rastojanje između tačaka oko12 m. Merenja su vršena u datim terenskim uslovima dok su koordinate određivane metodom preseceanja pravaca (pramen pravih sa stanice i pravac između krajnjih tačaka visokonaponskog užeta). Dužine vizure su pripadale rasponu (503.546 m, 819.382 m) sa prosečnom dužinom od 617.937 m. Merenja ka tačkama užeta su vršena preko velike vodene površine. Približns lokacija na kojoj se nalazi uže data je koordinatama N: 4947213 E: 621774 (izvor: Geosrbija).
Matematički modeli korišćeni u ovom radu su kosinus hiperbolični i kvadratna regresija. Matematički model lančanice dat funkcijom kosinus hiperbolički prikazan je u radu [5] dok je kvadratna regresija data u knjizi [17].
Matematički model lančanice dat funkcijom kosinus hiperbolički glasi:

$$z = \alpha \cosh\left(\frac{x}{\alpha}\right) \tag{1}$$

gde je:

- z – visina krive na horizontalnom rastojanju x od početne tačke vešanja (rasponu);
- α – koeficijent i
- x – horizontalno rastojanje od početne tačke (raspon).

Matematički model kvadratne funkcije ima oblik:

$$z = a x^2 + bx + c \tag{2}$$

gde je:

- z – visina krive na horizontalnom rastojanju D od početne tačke vešanja (rasponu);
- a, b, c – koeficijenti i
- x – horizontalno rastojanje od početne tačke (raspon).

Iako u opštem slučaju lančanica može biti proizvoljno orijentisana u trodimenzionalnom prostoru, u okviru ovog rada definisano je da se ona nalazi u ravni (X, Z) pravouglog 3D koordinatnog sistema. Nezavisno od njenog realnog položaja u bilo kom drugom trodimenzionalnom sistemu, koordinate u ravni (X, Z) uvek se mogu izračunati primenom transformacije. Takođe, moguće je primeniti i parametarske jednačine parabole, ali bi to samo zakomplikovalo model bez dodatnih pogodnosti u procesu obrade podataka.
Funkcija kosinus hiperbolički je transcendentna i određivanje koeficijenta α vrši se po sledećem postupku [5]:

$$\alpha_0 \approx \frac{h}{\sqrt{24}} \sqrt{\frac{h}{\sqrt{L^2 - v^2} - h}}$$

$$h = x_2 - x_1$$

$$v = z_2 - z_1$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \frac{f(\alpha_n)}{f'(\alpha_n)}, n = 0, 1, \ldots \tag{3}$$

gde je α_0 početna (približna) vrednost koeficijenta, a $f'(\alpha_n)$ izvod funkcije kosinus hiperbolički (2). Postupak (3) se ponavlja dok vrednost razlike ne ispuni uslov

$$\left|\alpha_{n+1} - \alpha_n\right| \leq \varepsilon$$

gde je $\varepsilon > 0$ unapred zadata vrednost.

Koeficijenti kvadratne funkcije (2) određuju se po metodi najmanjih kvadrata :

$$z_i = a x_i^2 + b x_i + c + \epsilon_i, \;\; i = 1 \sim n \tag{4}$$

gde ϵ_i predstavlja slučajnu grešku nastalu usled elementarnih grešaka merenja.

Smenom raspona i merenih visina u formuli (3) dobija se sistem od n jednačina čijim rešavanjem uz uslov:

$$[Pvv] = min$$

određujemo nepoznate koeficijente gde je $[.]$ oznaka za sumu. Matematički model za rešavanje preodređenog sistema jednačina (3) glasi:

$$a = N^{-1} n = \left(A^T A\right)^{-1} A^T z = Q\, A^T z \tag{5}$$

gde je:

- a – vektor nepoznatih (a, b, c)
- N – matrica normalnih jednačina
- Q – matrica kofaktora i
- z – vektor visina tačaka.

$$a = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n^2 & x_n & 1 \end{bmatrix}$$

$$z = \begin{bmatrix} z_1 \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} [x^4] & [x^3] & [x^2] \\ [x^3] & [x^2] & [x] \\ [x^2] & [x] & n \end{bmatrix}$$

$$n = \begin{bmatrix} [x^2 z] \\ [xz] \\ [z] \end{bmatrix}$$

Srednje greške sa kojima su koeficijenti određeni računaju se po formiuli:

$$m_0 = \sqrt{\frac{[vv]}{n-u}}$$

$$m_j = m_0 \ * \ \sqrt{q_{jj}}$$

gde je:

- m_0 – srednja greška jedinice težine
- $[vv]$ – suma kvadrata popravaka rezultata merenja
- n – broj tačaka na lančanici
- u – broj nepoznatih (u ovom slučaju u=3 što odgovara broju koeficijenata)
- m_j – srednja greška svakog koeficijenta pojedinačno $j = (a, b, c)$ i
- q_{jj} – vrednost članova na glavnoj dijagonali matrice kofaktora Q.

Suma pojedinačno označava:

$$\left[x^4\right]=\sum_{i=1}^{n} x_i^2 * x_i^2$$

$$\left[x^3\right]=\sum_{i=1}^{n} x_i^2 * x_i$$

$$\left[x^2\right]=\sum_{i=1}^{n} x_i * x_i$$

Ova analiza podrazumeva da su sve tačke određene sa istom tačnošću (da svaka jednačina ima jednaku težinu) odnosno da važi:

$$p_1=p_2=\ldots=p_n=1$$

Ovo u praksi nije uvek slučaj ali su potrebne posebne analize svakog slučaja pojedinačno što prevazilazi osnovnu ideju ovog rada.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati određivanja lančanice predstavljeni su koeficijentom α, za slučaj primene funkcije kosinus hiperblički (1) i ocenom koeficijenata $\left\{\hat{a},\hat{b},\hat{c}\right\}$ po modelu za kvadratnu regresiju (5). Analiza dobijenih rezultata izvršena je u tri faze: 1) u prvoj fazi je izvršeno određivanje koeficijenata kvadratne regresije i koeficijenta funkcije kosinus hiperbolički (2) u drugoj fazi je izvršeno testiranje na značajnost odstupanja visina dobijenih merenjem u odnosu na dobijene krive i odstranjeni su rezultati merenja koji značajno odstupaju i (3) u terćoj fazi izvršen je proračun novih koeficijenata i ti novi koeficijenti su prihvaćeni kao konačni bez daljeg eliminisanja tačaka čije visine značajno odstupaju u odnosu na modele.
Na osnovu dobijenih koeficijenata određuju se krive kosinus hiperbolički i kvadratna funkcija i vrši se njihovo poređenje sa dobijenim rezultatima merenja visina. Razlike visina tačaka dobijenih merenjem i po modelima prikazuju stepen saglasnosti rezultata merenja i modela. Razlike su određene i označene na sledeći način:

$$\delta_i^{ch}=z_i-\alpha\cosh\left(\frac{x_i}{\alpha}\right) \tag{6}$$

$$\delta_i^{QR}=z_i-\hat{a}\,x_i^2-\hat{b}\,x_i-\hat{c} \tag{7}$$

gde je:

- δ_i^{ch} - razlika vrednosti visine dobijene merenjem i po modelu za kosinus hiperbolički,
- δ_i^{QR} - razlika vrednosti visine dobijene merenjem i po modelu za kvadratnu regresiju i
- $\hat{a}^T=\left\{\hat{a},\hat{b},\hat{c}\right\}$ transponovani vektor ocenjenih vrednosti koeficijenata po metodi najmanjih kvadrata (5).

Prostorni oblik užeta sveden je na ravan (X, Z) transformacijom koordinata i dobijene su koordinate krajnjih tačaka u metrima $P_1\left(0.000;86{,}225\right)$ i $P_2\left(622.348;86.691\right)$. Dužina luka određena je kao suma rastojanja između dve susedne tačke i iznosi $L=623.798$ m. Funkcija kosinus hiperbolički određena na osnovu datih elemenat po formuli (3) rezultira koeficijentom $\alpha=2632.69052269007$pri čemu je

$$\left|\alpha_{n+1}-\alpha_n\right|\leq\varepsilon\Rightarrow\left|\alpha_3-\alpha_2\right|=3.6\ *\ 10^{-10}<\varepsilon=1\ *\ 10^{-9}$$

Na ovaj način dobijamo funkciju kosinus hiperbolički (u metrima)

$$z=\alpha cosh\left(\frac{x}{\alpha}\right)=2632.69052269007\ *\ \cosh\left(\frac{x}{2632.69052269007}\right)$$

Tačka minimuma funkcije kosinus hiperbolički dobija se kada je $x=0.000$ i iznosi $z_{min}\approx 2632.691$ m. Za određivanje visina funkcije kosinus hipeboličkі sa milimetarskom tačnošću dovoljno je zaokružiti koeficijent α na tri decimale ali će se u ovom radu za izračunavanja koristiti njegova vrednost dobijena iterativnim postupkom.

Za određivanje koordinate $x=x_{min}$ na kojoj se nalazi minimalna vrednost visine z_{min} koriste se sledeće formule:

$$x_2=\frac{h}{2}+\alpha\tanh^{-1}\left(\frac{v}{L}\right) \tag{8}$$

$$x_{min}=x_2-h \tag{9}$$

Primenom formula (8) i (9) za date podatke dobijaju se sledeće vrednosti minimuma funkcije kosinus hiperbolički (mere su u metrima):

$$x_2=\frac{622.348}{2}+2632.690522690078\tanh^{-1}\left(\frac{0.466}{623.798}\right)$$

$$x_2=313.141$$

$$x_{min}=313.141-622.348=-309.206$$

Na osnovu dobijenih rezultata zaključujemo da tačke funkcije kosinus hiperbolički u ravni (X, Z) imaju sledeće koordinate u metrima: $P_1(-309.206;2650.869)$, $P_2(313.142;2651.336)$ i $P_{min}(0.000;2632.691)$. Dobijeni rezultati u stvari predstavljaju translaciju položaja užeta po osi X dok je za translaciju po osi Z neophodno primeniti sledeću formulu:

$$dz=z^0_{mereno}-\alpha cosh\left(\frac{x_0}{\alpha}\right)=-2564.645$$

$$z_i=\alpha cosh\left(\frac{x_i}{\alpha}\right)+dz$$

gde je:

- dz – konstanta translacije po osi Z,
- z^0_{mereno} – vrednost dobijena merenjem u nekoj tački x_0 (u ovom slučaju usvojena je tačka $P_1(0.000;86.224)$ i
- z_i – visine tačaka u koordinatnom sistemu izmerenih vrednosti.

Na osnovu izvršenih preračunavanja konačne visine tačaka dobijenih po krivoj kosinus hiperbolički su $P_1(-309.206;86.225)$, $P_2(313.142;2651.336)$ i $P_{min}(0.000;68.046)$.

Iako bi metodološki bilo ispravnije koristiti srednju vrednost razlika *dz* računanjem se došlo do vrednosti od 4 mm pa se zadržala samo početna vrednost koja izjednačava krivu kosinus hiperbolički sa izmerenom vrednošću krajnjih tačaka.
Priraštaji funkcije kosinus hiperbolički računaju se po formuli:

$$\Delta z = \left|\sinh\left(\frac{x}{\alpha}\right)\right| \Delta x = \left|\sinh\left(\frac{x}{2632.69052269007}\right)\right| \Delta x$$

Priraštaji visina funkcije kosinus hiperbolički, uz pretpostavku da priraštaj koordinate X iznosi 0.1 m, pripadaju intervalu (0 mm; 12 mm) što ukazuje na njenu relativno malu osetljivost sa udaljavanjem od koordinatnog početka.
Određivanje koeficijenata kvadratne funkcije po metodi najmanjih kvadrata dalo je sledeće rezultate:

$$\hat{a}^T = \left(1.8595988 * 10^{-4}; 1.717362 * 10^{-5}; 68.066\right)$$

Srednje greške koeficijenata kvadratne regresije su redom:

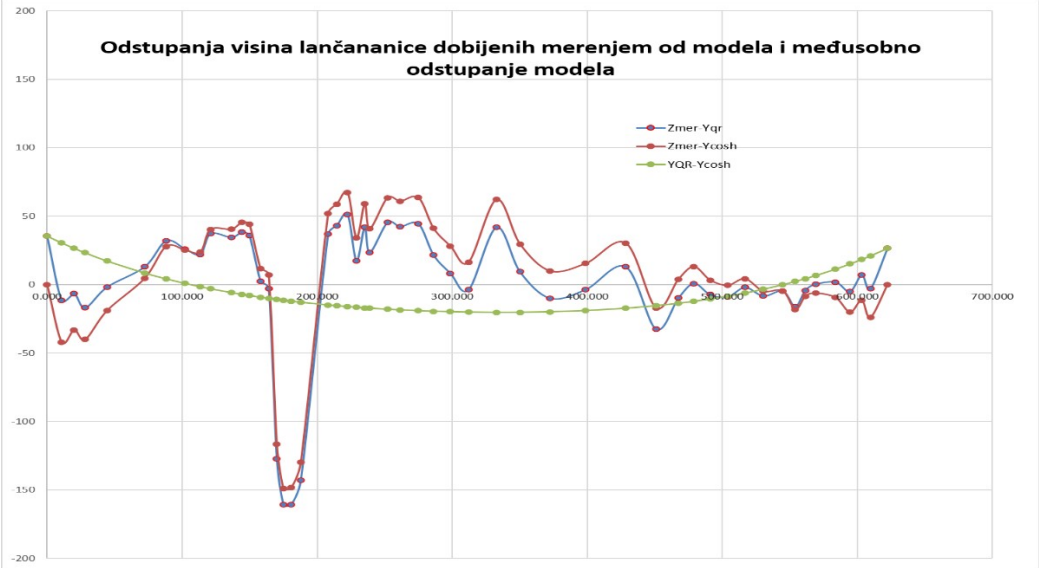
$$m_{a,b,c} = \left(2.273 * 10^{-7}; 3.669 * 10^{-5}; 1.052 * 10^{-2}\right)$$

Što znači da ukupna greška (ukupno odstupanje) visine određene kvadratnom regresijom u odnosu na dobijene vrednosti koeficijenata za verovatnoću od približno 68% može da se odredi po formuli:

$$\Delta_{z_i} = \pm\left(\left|m_a x_i^2\right| + \left|m_b x_i\right| + \left|m_c\right|\right)$$

Priraštaji visina za dobijene vrednosti srednjih grešaka kvadratne regresije pripadaju intervalu (10.5 mm; 43.6 mm). Što ukazuje na dvostruko veću osetljivost kvadratne regresije sa odstojanjem od koordinatnog početka u odnosu na osetljivost funkcije kosinus hiperbolički.

Na osnovu dobijenih koeficijenata za kvadratnu regresiju izračunate su vrednosti karakterističnih tačaka kvadratne funkcije $P_1(-309.206; 86.189)$, $P_2(313.142; 86.664)$ i $P_{min}(0.000; 68.065)$. na slici 1 prikazana su odstupanja merenih vrednosti od vrednosti dobijenih primenom modela kvadratne regresije i modela cosinus hiperbolički kao i odstupanja između modela. Tabela 1 prikazuje srednje vrednosti odstupanja modela, srednje greške odstupanja i srednju grešku srednje vrednosti.



Slika. 1 Odstupanja merenih vrednosti od modela i odstupanja između modela posle prve faze obrade podataka

Tab. 1 Prikaz srednjih odstupanja i srednjih grešaka

Veličina	Zmer-Y_{QR} [mm]	Zmer-cosh [mm]	Y_{QR}- cosh [mm]
$\overline{\delta}$	0.0	4.0	-4.0
m_{δ}	48	50	15
$m_{\overline{\delta}}$	6.6	6.9	2.1

Test jednakosti odstupanja:

$$t = \frac{\overline{\delta}_i - \overline{\delta}_j}{m_{\overline{\delta}_{ij}}} \lll 1.96$$

za svako i, j što znači da se usvaja hipoteza o jednakosti srednjih odstupanja za sva tri slučaja. Testiranje statističkih hipoteza pokazalo je da je koeficijent uz kvadrat dužine (a) značajan dok koeficijent uz vrednost dužine (b) u formuli (2) nije značajan u statistčkom smislu. Srednja vrednost razlike visina krive dobijene metodom kvadratne regresije i funkcije kosinus hiperbolički iznosi – 4 mm sa srednjom greškom razlike $m_{\overline{\delta}} = 2.1$ mm što znači da srednje odstupanje između dve krive (parabole i kosinus hiperbolički dobijenih po opisanim metodama) nije statistički značajno. Maksimalne vrednosti razlika između ovih dveju krivih u prvoj fazi iznose 35 mm što takođe nije ukazuje da ova odstupanja u statističkom smislu nisu značajna osim za dve tačke. Međutim statističko testiranje odstupanja merenih vrednosti visina u odnosu na krive kvadratne regresije i kosinus hiperbolički ukazalo je da četiri tačke značajno odstupaju pa su ove četiri tačke eliminisane i izvršeno je ponovno izračunavanje vrednosti koeficijenata kvadratne funkcije i kosinus hiperbolički. Posle eliminacje ovih tačaka dobijeni su sledeći rezulti za koefiijente kvadratne regresije (kosinus hiperbolički se nije promenio jer su visine krajnjih tačaka, horizontalno rastojanje i dužina lančanice ostali isti):

$$\hat{a}^T = \left(1.85940 * 10^{-4}; -2.229 * 10^{-5}; 68.086\right)$$

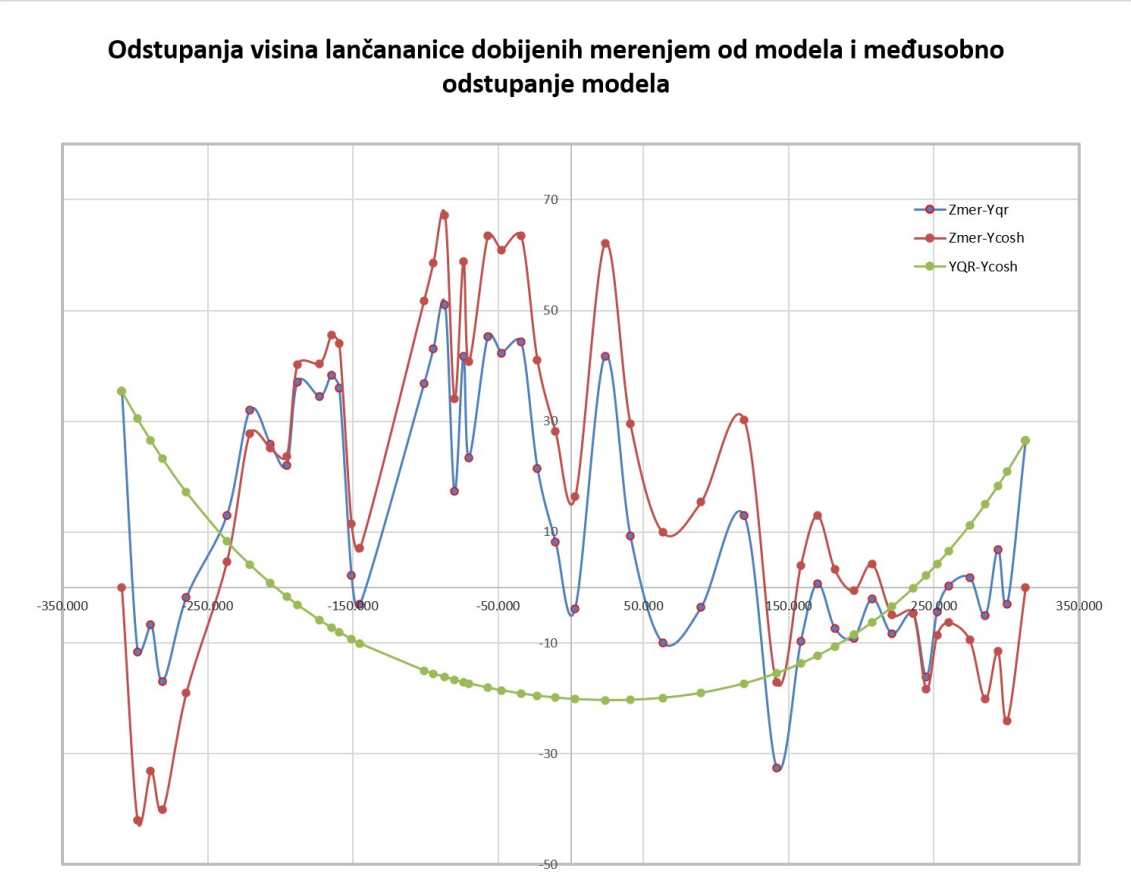
$m_{a,b,c} = \{8.81171 * 10^{-8}; 3.669 * 10^{-5}; 4.2 * 10^{-3}\}$ Odstupanja dobijena posle eliminacije značajnih odstupanja prikazana su u tabeli 2.

Tab. 2 Prikaz srednjih odstupanja i srednjih grešaka

Veličina	Zmer-Y_{QR} [mm]	Zmer-cosh [mm]	Y_{QR}- cosh [mm]
$\overline{\delta}$	12	16	-4.0
m_{δ}	21	30	16
$m_{\overline{\delta}}$	3.0	4.1	2.2

Na osnovu poređenja rezultata pre i posle eliminacije visina koje značajno odstupaju u odnosu na modele u prvoj fazi obrade podataka, uočava se značajno smanjenje vrednosti srednjih kvadratnih odstupanja merenih i modelskih vrednosti. Analiza rezultata treće faze obrade podataka pokazuje da mali broj tačaka ima značajno odstupanje u odnosu na modele kao i između modela. Iz tog razloga nije vršena dalja eliminacija visina koje imaju značajno odstupanje.

Rezultati treće faze obrade podataka ukazuju da, bez obzira na uočljivu sistematsku razliku između krive dobijene kvadratnom regresijom i krive dobijene primenom modela za kosinus hiperbolički, ne postoji razlog za odbacivanje hipoteze o globalnoj jednakosti ove dve krive. Ovde se mora naglasiti sledeće: ova konstatacija važi za konkretan slučaj koji uključuje realne uslove naterenu, metodu merenja i metodu obrade podataka. U nekom drugom slučaju rezultati bi mogli da budu drugačiji. Slika 2 prikazuje razlike između merenjem dobijenih visina i visina dobijenih primenom modela kao i između modela kvadratne regresije i kosinusa hiperboličkog.



Slika. ~~2~~ 2 Odstupanja merenih vrednosti od modela i odstupanja između modela posle treće faze obrade podataka

Otkrivena značajna odstupanja visina u dnosu na modelske vrednosti u prvoj fazi analize moguća su posledica uticaja vetra, grubih grešaka u rezultatima merenja ili deformacije užeta. Rezultati obrade podataka posle treće faze ukazuju da postoji odstupanje užeta od oba modela ali da ono nije značajno u statističkom smislu (ne postoje razlozi za prihvatanje alternativne hipoteze hipotezi o jednakosti izmerenih i modelskih vrednosti).

Ovo istraživanje uključilo je i razmatranje uticaja atmosferske refrakcije i zakrivljenosti zemlje. Uticaj zakrivljenosti zemlje i refrakcije odražavaju se na visinu tačaka užeta i određeni su po formuli:

$h_i=(1-k)\frac{d_i^2}{2 * R}$gde je k – koeficijent refrakcije, d_i- rastojanje od stanice do tačke na užetu i R – usvojeni poluprečnik zemlje. Popravljanje visina za vrednost h_i nije dovelo do značajnih promena koeficijenata kvadratne funkcije i funkcije kosinus hiperbolički osim njihovog translatornog pomeranja po osi Z za veličinu od 50 mm. Međutim dobijena odstupanja u odnosu na modelske vrednosti mogu ukazivati na nejednak uticaj atmosferske refrakcije po različitim pravcima. Ovu hipotezu bi bilo moguće formulisati precizno i izvršiti istraživanja na užadima sličnih karakteristika koja se prostiru iznad terena sa različitim karakteristikama atmosferske refrakcije. Dalja istraživanja mogu se vršiti u smeru ispitivanja različitih uticaja na tačnost određivanja oblika lančanice i ispitivanja njenog stanja pri različitim temperaturnim i drugim uslovima. Iako su neka merenja na sličnim užadima već ranije vršena i prikazana u stručnoj literaturi [18] i ovaj primer pokazuje da postoje razlike između lančanica sličnih karakteristika.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je slučaj određivanja oblika visokonapnskog užeta korišćenjem terestričkih geodetskih metoda. Za analizirani slučaj dokazuje se da, u statističkom smislu, nema razlike između primene modela kvadratne funkcije (kvadratne regresije) i funkcije kosinus hiperbolički. Može se smatrati da je postignuta relativno visoka tačnost određivanja visina tačaka kabla u prostoru obzirom da je korišćena indirektna metoda. Dalja istraživanja se mogu sprovoditi sa ciljem da se utvrdi uticaj spoljnih uslova, a posebno uticaja grešaka koordinata na dužinu lančanice i rastojanje između krajnjih tačaka užeta koji u ovom slučaju nije razmatran. Takođe se može razmatrati određivanje uticaja strujnog stanja provodnika (da li je se vrši prenos električne energije ili ne i struja u provodniku) i spoljne temperature na krivu koja opisuje oblik visokonaponskog užeta.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija (br. ugovora: 451-03-34/2026-03/200156) i Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu kroz projekat: Naučnoistraživački i umetničkoistraživački rad istraživača u nastavnim i saradničkim zvanjima Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu 2026“ (br. 01-3609/1).

LITERATURA

[1] Martínez–Jiménez, Leonardo, Jorge Mario Cruz–Duarte, and J. Juan Rosales–García. "Fractional solution of the catenary curve." Mathematical Methods in the Applied Sciences 44.10 (2021): 7969-7978.

[2] Behroozi, F. (2014). A fresh look at the catenary. European Journal of Physics, 35(5), 055007.

[3] Conti, Giuseppe, Raffaella Paoletti, and Alberto Trotta. "The catenary in history and applications (La catenaria nella storia e nelle applicazioni)." Science & Philosophy 5.2 (2017): 69-94.

[4] JAIN, LOVELY, and MAHIMA YADAV. "REAL LIFE APPLICATIONS OF CATENARY AND MATHEMATICAL MODELLING OF A ROPE CATENARY CURVE." vol 21 (2022): 3523-3536.

[5] Deakin, R. (2019). CATENARY CURVE. https://www.mygeodesy.id.au/documents/Catenary%20Curve.pdf (pristupljeno: 10.02.2025. god.)

[6] Bukowski, J. (2008). Christiaan Huygens and the problem of the hanging chain. The College Mathematics Journal, 39(1), 2-11.

[7] Bruni, S., Bucca, G., Carnevale, M., Collina, A., & Facchinetti, A. (2018). Pantograph–catenary interaction: recent achievements and future research challenges. International Journal of Rail Transportation, 6(2), 57-82.

[8] Poetsch, G., Evans, J. E., Meisinger, R., Kortüm, W., Baldauf, W., Veitl, A., & Wallaschek, J. (1997). Pantograph/catenary dynamics and control. Vehicle system dynamics, 28(2-3), 159-195.

[9] Zhang, W., Mei, G., Wu, X., & Shen, Z. (2002). Hybrid simulation of dynamics for the pantograph-catenary system. Vehicle System Dynamics, 38(6), 393-414.

[10] D. Efanov, G. Osadchy, D. Sedykh, D. Pristensky and D. Barch, "Monitoring system of vibration impacts on the structure of overhead catenary of high-speed railway lines," 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, Armenia, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2016.7807691.

[11] Papailiou, K. O. (2021). Overhead lines (pp. 611-758). Springer Singapore.

[12] A. Hatibovic, P. Kádár and G. Morva, "Comparison of the Length of the Catenary Curve and its Parabolic Approximation in the Span of an Overhead Line," 2020 IEEE 3rd International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE), Budapest, Hungary, 2020, pp. 000015-000020, doi: 10.1109/CANDO-EPE51100.2020.9337759.

[13] Sugden, S. J. (1994). Construction of transmission line catenary from survey data. Applied mathematical modelling, 18(5), 274-280.

[14] Rong, Bian, et al. "Calculation and analysis of transmission line sag based on theoretical mechanics." 2024 Asia-Pacific Conference on Software Engineering, Social Network Analysis and Intelligent Computing (SSAIC). IEEE, 2024.

[15] Bedialauneta, Miren T., et al. "Sag-tension evaluation of high-temperature gap-type conductor in operation." IET generation, transmission & distribution 16.1 (2022): 19-26.

[16] Perović, G.: Račun izravnanja, Knjiga I, Teorija grešaka merenja, Naučna knjiga, Beograd, 1989.

[17] Perović, G.: Metod najmanjih kvadrata, d.o.o. TON, Beograd, 2005

[18] Nikolić, P., Marinović, D., Rakić, B., Jovanović, G., & Nestorović, Ž. (2024). Determining the catenary of overhead power lines using geodetic measurement methods. Energija, Ekonomija, Ekologija, 26(4), 74-77.

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-098

DEFORMACIJE KARTOGRAFSKIH PROJEKCIJA I NJIHOV UTICAJ NA GEODETSKE PLANOVE NA PRIMERU CRNE GORE

Merima Orahovac[1], Pavel Benka[2], Nikola Santrač[3], Mehmed Batilović[4]

Rezime:

Kartografske projekcije su matematičke metode koje omogućavaju prikaz zakrivljene Zemljine površine u ravni, pri čemu dolazi do određenih deformacija dužina, površina i uglova. Cilj ovog rada je analiza deformacija u Gauss–Krügerovoj i Univerzalnoj transverzalnoj Merkatorovoj (UTM) projekciji i njihov uticaj na geodetske planove, sa posebnim osvrtom na teritoriju Crne Gore. U radu je analizirana promena deformacija u zavisnosti od udaljenosti od centralnog meridijana, pri čemu su izračunate vrednosti faktora razmere i deformacija dužina za sve opštine Crne Gore. Rezultati pokazuju da se deformacije menjaju u zavisnosti od udaljenosti od centralnog meridijana i položaja unutar projekcione zone. Na osnovu dobijenih rezultata izvršeno je poređenje projekcija, pri čemu su uočene razlike u raspodeli deformacija, što ima direktan uticaj na tačnost geodetskih planova.

Ključne reči: kartografske projekcije, deformacije, Gauss–Krüger, UTM

MAP PROJECTION DISTORTIONS AND THEIR IMPACT ON GEODETIC PLANS: THE CASE OF MONTENEGRO

Summary:

Map projections are mathematical methods that enable the representation of the Earth's curved surface on a plane, resulting in certain distortions of lengths, areas, and angles. The aim of this study is to analyze distortions of Gauss–Krüger and Universal Transverse Mercator (UTM) projections and their impact on geodetic plans, with a special focus on the area of Montenegro. The study examines the variation of distortions depending on the distance from the central meridian, including the calculation of scale factors and linear distortions for the municipalities of Montenegro. The results show that distortions vary depending on the distance from the central meridian and the position within the projection zone. Based on the results, a comparison between projections is performed, highlighting differences in distortion distribution, which directly affect the accuracy of geodetic plans.

Keywords: map projections, projection distortions, Gauss-Krüger projection, UTM

1 Student, Univerzitet Donja Gorica, Fakultet primjenjene nauke, Podgorica, Crna Gora, merima.orahovac@udg.edu.me

2 Redovni prof., Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, pavel.benka@polj.uns.ac.rs, ORCID https://orcid.org/0000-0001-6229-5180

3 Asistent, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, nikola.santrac@polj.uns.ac.rs, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7183-8511

4 Vanr. Prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, mehmed@uns.ac.rs, ORCID https://orcid.org/0000-0001-5605-1112

1. UVOD

Prilikom izrade karata i geodetskih planova potrebno je izvršiti preslikavanje tačaka sa Zemljine površine u ravan. Za tu svrhu koriste se kartografske projekcije, koje predstavljaju matematičke postupke pomoću kojih se zakrivljena Zemljina površina prikazuje na ravni. Pošto se Zemljina površina ne može preneti na ravan bez deformacija, svaka kartografska projekcija izaziva određene deformacije dužina, površina ili uglova [1-5].

U geodetskoj praksi kartografske projekcije imaju važnu ulogu, jer omogućavaju prikaz prostornih podataka na planovima i kartama. Njihova primena je značajna u katastru, inženjerskoj geodeziji, urbanističkom planiranju, kartografiji i geografskim informacionim sistemima [6-9].

Deformacije koje nastaju pri kartografskom preslikavanju ne mogu se u potpunosti ukloniti, ali se mogu izračunati, kontrolisati i svesti na prihvatljiv nivo. Zbog toga je pri izradi geodetskih planova važno pravilno izabrati projekciju i razumeti njene osnovne karakteristike. Poseban značaj imaju konformne projekcije, jer čuvaju uglove i oblik manjih područja, zbog čega su pogodne za geodetske radove [10-14].

U ovom radu analiziraju se deformacije u Gauss-Krügerovoj (GK) i Univerzalnoj transverzalnoj Merkatorovoj (UTM) projekciji, sa posebnim osvrtom na teritoriju Crne Gore. Crna Gora je pogodna za ovakvu analizu jer se u GK projekciji prostire kroz dve meridijanske zone (6. i 7.), dok se u UTM sistemu nalazi u jednoj zoni - 34N. Takav položaj omogućava sagledavanje promene deformacija u zavisnosti od udaljenosti od centralnog meridijana.

Cilj rada je da se kroz teorijski i analitički pristup ispita nastanak i promena deformacija u GK i UTM projekciji. Poseban cilj rada je da se utvrdi kako udaljenost od centralnog meridijana utiče na faktor razmere i deformaciju dužina.

U istraživačkom delu rada izračunavaju se vrednosti faktora razmere i deformacija dužina za karakteristične tačke na teritoriji Crne Gore. Na osnovu dobijenih rezultata vrši se poređenje GK i UTM projekcije. Takođe je prikazan i praktičan značaj projekcionih deformacija za izradu geodetskih planova. Time se ukazuje na potrebu pravilnog izbora projekcije, pravilne obrade prostornih podataka i kontrole koordinatnog sistema u geodetskoj praksi.

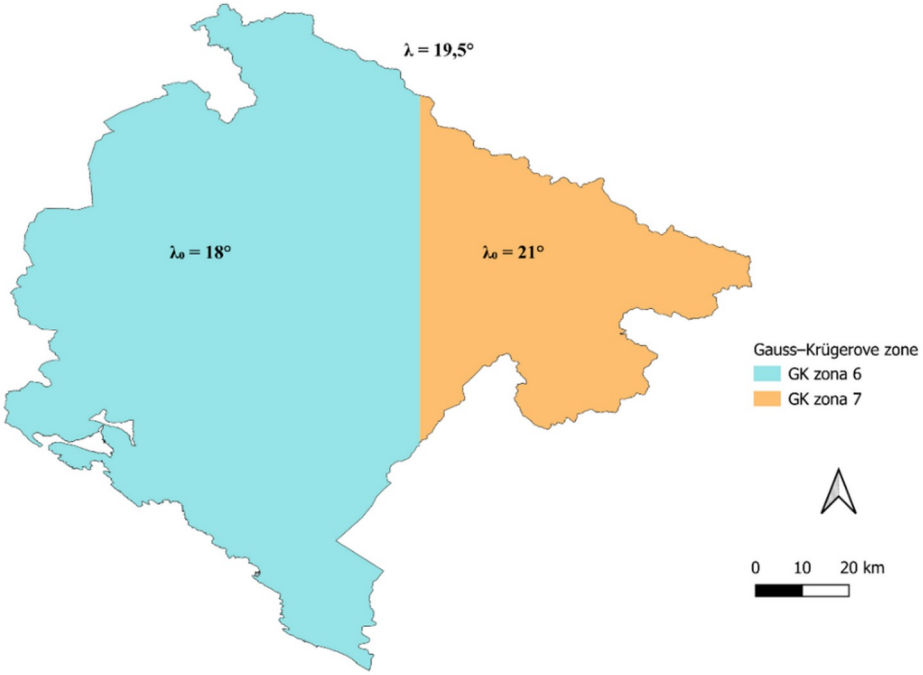
2. MATERIJALI I METODE

Za potrebe rada korišćen je teorijski pristup proračunu deformacija. Analizirane su promene faktora razmere i deformacija dužina u zavisnosti od udaljenosti posmatrane tačke od centralnog meridijana. Proračun je sproveden za karakteristične tačke na teritoriji Crne Gore, odnosno po jedna tačka u svakoj opštini, pri čemu su uzete u obzir projekcione zone koje obuhvataju ovo područje.

2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja obuhvata teritoriju Crne Gore, i prostire se približno između 18° i 21° istočne geografske dužine i između 41° i 43° severne geografske širine. Zbog takvog geografskog položaja, teritorija Crne Gore obuhvata dve meridijanske zone GK projekcije (6. i 7. zonu), dok u UTM sistemu pripada zoni 34N [16, 17, 18].

Šesta zona ima centralni meridijan $\lambda_0 = 18°$, dok sedma zona ima centralni meridijan $\lambda_0 = 21°$. Kao granica između zona usvojena je geografska dužina 19°30′. Lokacije zapadno od ove granice pripadaju 6. zoni, dok lokacije istočno od granice pripadaju 7. zoni.



Slika 1 Podela teritorije Crne Gore na GK zone 6 i 7 sa granicom zona na meridijanu λ = 19,5°

U UTM projekciji cela teritorija Crne Gore posmatrana je u okviru zone 34N, sa centralnim meridijanom $\lambda_0 = 21°$ [15, 16]. Ovakav položaj omogućava poređenje deformacija u dva različita projekciona sistema. Za potrebe pojednostavljenog proračuna korišćena je srednja geografska širina teritorije Crne Gore $\varphi = 42{,}5°$. Zemlja je aproksimirana sferom konstantnog poluprečnika R = 6 377 000 m. Ovakav model omogućava teorijsku analizu promene deformacija u zavisnosti od udaljenosti od centralnog meridijana.

2.2. GAUSS-KRÜGEROVA (GK) PROJEKCIJA

GK projekcija predstavlja konformnu poprečnu cilindričnu projekciju zasnovanu na transverzalnoj Merkatorovoj projekciji. Kod ove projekcije preslikavanje Zemljine površine vrši se na cilindar čija je osa upravna na Zemljinu rotacionu osu. Projekcija je konformna, što znači da čuva uglove, dok se dužine i površine deformišu [1, 13, 14].
U državnom koordinatnom sistemu bivše Jugoslavije, a samim tim i Crne Gore, korišćena je modifikovana GK projekcija sa sekućim cilindrom i faktorom razmere na centralnom meridijanu $k_0 = 0{,}9999$. Projekcija je zasnovana na Beselovom elipsoidu, a Zemljina površina podeljena je na meridijanske zone širine 3°.
Kod ove projekcije deformacije dužina zavise od udaljenosti tačke od centralnog meridijana. Uvođenjem sekućeg cilindra postiže se ravnomernija raspodela deformacija i smanjuju se maksimalne deformacije unutar zone. Zbog užih zona, GK projekcija ostvaruje manje maksimalne deformacije dužina i pogodna je za lokalne geodetske i katastarske radove.
Na teritoriji Crne Gore u GK projekciji koriste se 6. i 7. zona, sa centralnim meridijanima 18° i 21°. Zbog toga je ova projekcija pogodna za analizu promene deformacija po različitim delovima države.

2.3. UNIVERZALNA TRANSVERZALNA MERKATOROVA (UTM) PROJEKCIJA

UTM projekcija predstavlja standardizovanu verziju transverzalne Merkatorove projekcije. Kao i GK projekcija, UTM projekcija je konformna, pa čuva uglove i oblike manjih područja, dok dolazi do deformacija dužina i površina.
Osnovna razlika između GK i UTM projekcije ogleda se u širini zona i vrednosti faktora razmere na centralnom meridijanu. UTM sistem deli Zemljinu površinu na 60 zona širine 6° geografske dužine [1, 13, 15]. Svaka zona ima sopstveni centralni meridijan i koordinatni sistem.
Za UTM projekciju faktor razmere na centralnom meridijanu iznosi $k_0 = 0{,}9996$. Ova vrednost omogućava ravnomerniju raspodelu deformacija u okviru zone širine 6°. Na centralnom meridijanu dolazi do blagog skraćenja dužina, dok se udaljavanjem od njega deformacije menjaju.
Savremeni državni referentni koordinatni sistem Crne Gore zasnovan je na ETRS89 sistemu i UTM projekciji zone 34N. Zbog toga UTM projekcija ima poseban značaj za savremene GIS analize, digitalnu kartografiju, GNSS merenja i razmenu prostornih podataka [16].

Tabela 1. Uporedne karakteristike GK i UTM projekcije [1, 13, 15, 16]

redni broj	Karakteristika	GK	UTM
1	Tip projekcije	konformna	konformna
2	Osnova	transverzalna Merkatorova projekcija	transverzalna Merkatorova projekcija
3	Širina zone	3°	6°
4	Faktor razmere	$k_0 = 0{,}9999$	$k_0 = 0{,}9996$
5	Referentni elipsoid	Bessel 1841	GRS80/WGS84
6	Primena	tradicionalni državni premer i katastar	zvanični državni koordinatni sistem Crne Gore
7	Pogodnost	lokalna područja	veće teritorije i GIS sistemi

2.4. METODOLOGIJA PRORAČUNA DEFORMACIJA

Metodologija proračuna deformacija zasnovana je na pojednostavljenom matematičkom modelu transverzalne Merkatorove projekcije [1, 4, 13, 15]. Za svaku posmatranu tačku određeni su geografska dužina, pripadnost projekcionoj zoni, udaljenost od centralnog meridijana, faktor razmere i deformacija dužine.
Prvo je određeno odstupanje geografske dužine posmatrane tačke od centralnog meridijana odgovarajuće zone:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \tag{1}$$

gde je λ geografska dužina posmatrane tačke, a λ_0 centralni meridijan odgovarajuće projekcione zone.
Nakon toga izračunata je poprečna udaljenost tačke od centralnog meridijana:

$$y \approx R \cos\varphi \cdot \Delta\lambda \tag{2}$$

gde je y poprečna udaljenost od centralnog meridijana, $\Delta\lambda$ razlika geografske dužine izražena u radijanima, φ geografska širina, a R srednji poluprečnik Zemlje.
Na osnovu dobijene vrednosti y izračunat je faktor razmere za obe projekcije.
Za GK projekciju korišćen je izraz:

$$kGK = 0{,}9999 + y^2/2R^2 \tag{3}$$

Za UTM projekciju korišćen je izraz:

$$kUTM = 0{,}9996 + y^2/2R^2 \tag{4}$$

Pored faktora razmere, izračunate su i deformacije dužina izražene u metrima po kilometru. Za referentnu dužinu od 1000 m korišćeni su sledeći izrazi.
Za GK projekciju:

$$dSGK = 1000 \cdot (y^2/2R^2 - 0{,}0001) \tag{5}$$

Za UTM projekciju:

$$dSUTM = 1000 \cdot (y^2/2R^2 - 0{,}0004) \tag{6}$$

Dobijene vrednosti omogućavaju poređenje deformacija u GK i UTM projekciji na teritoriji Crne Gore. Cilj proračuna nije određivanje potpuno rigoroznih geodetskih vrednosti, već analiza ponašanja deformacija i njihovog odnosa prema udaljenosti od centralnog meridijana.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu definisanog modela izvršen je proračun faktora razmere i deformacija dužina za opštine Crne Gore. Za svaku posmatranu tačku određeni su geografska dužina, odstupanje od centralnog meridijana, poprečna udaljenost, faktor razmere i deformacija dužina za GK i UTM projekciju.
U tabeli 2 prikazani su rezultati proračuna za sve opštine Crne Gore, čime je omogućeno poređenje deformacija u različitim delovima države i u različitim položajima u odnosu na centralne meridijane.

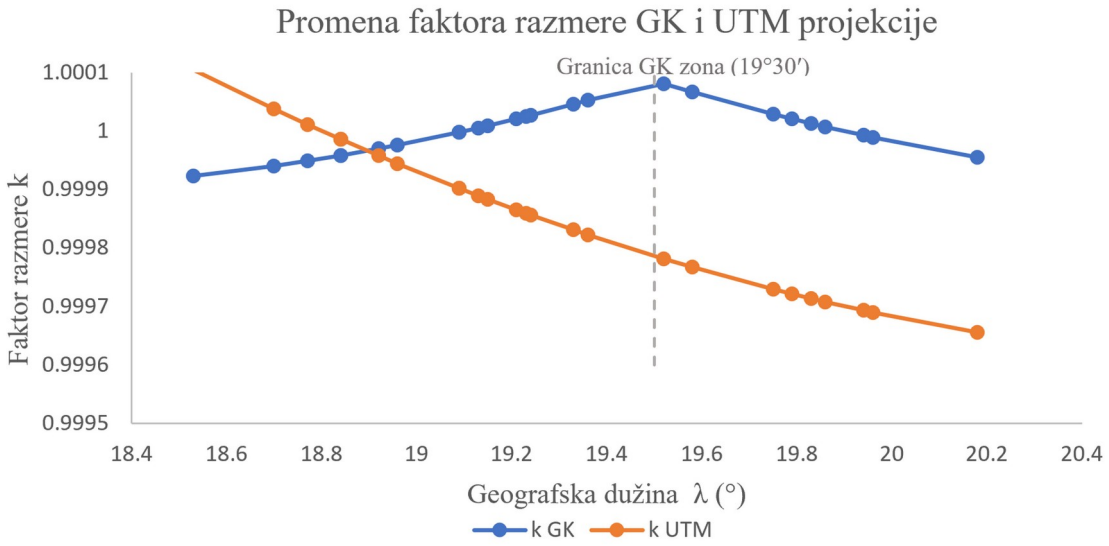
Tabela 2. Proračun deformacija za sve opštine u Crnoj Gori [17, 18]

redni broj	Tačka	Zona-GK	λ (°)	λ_0 (°) GK	Δλ (°)	Δλ (rad)	y (m) GK	k GK	dS GK m/km	Zona-UTM	λ_0 (°) UTM	y (m) UTM	k UTM	dS UTM m/km
1	Bar	6	19,09	18	1,09	0,019024	89443,99	0,999998	-0,0016	34N	21	-156732,13	0,999902	-0,0980
2	Budva	6	18,84	18	0,84	0,014661	68929,31	0,999958	-0,0416	34N	21	-177246,81	0,999986	-0,0137
3	Cetinje	6	18,92	18	0,92	0,016057	75494,01	0,999970	-0,0299	34N	21	-170682,11	0,999958	-0,0418
4	Danilovgrad	6	19,15	18	1,15	0,020071	94367,51	1,000009	0,0095	34N	21	-151808,61	0,999883	-0,1166
5	Herceg Novi	6	18,53	18	0,53	0,009250	43491,11	0,999923	-0,0767	34N	21	-202685,01	1,000105	0,1051
6	Kotor	6	18,77	18	0,77	0,013439	63185,20	0,999949	-0,0509	34N	21	-182990,92	1,000012	0,0117
7	Nikšić	6	18,96	18	0,96	0,016755	78776,36	0,999976	-0,0237	34N	21	-167399,76	0,999945	-0,0555
8	Pljevlja	6	19,36	18	1,36	0,023736	111599,84	1,000053	0,0531	34N	21	-134576,28	0,999823	-0,1773
9	Plužine	6	18,84	18	0,84	0,014661	68929,31	0,999958	-0,0416	34N	21	-177246,81	0,999986	-0,0137
10	Podgorica	6	19,24	18	1,24	0,021642	101752,80	1,000027	0,0273	34N	21	-144423,32	0,999856	-0,1435
11	Šavnik	6	19,09	18	1,09	0,019024	89443,99	0,999998	-0,0016	34N	21	-156732,13	0,999902	-0,0980
12	Tivat	6	18,70	18	0,7	0,012217	57441,09	0,999941	-0,0594	34N	21	-188735,03	1,000038	0,0380
13	Tuzi	6	19,33	18	1,33	0,023213	109138,08	1,000046	0,0465	34N	21	-137038,04	0,999831	-0,1691
14	Ulcinj	6	19,21	18	1,21	0,021118	99291,04	1,000021	0,0212	34N	21	-146885,09	0,999865	-0,1347
15	Zeta	6	19,23	18	1,23	0,021468	100932,21	1,000025	0,0253	34N	21	-145243,91	0,999859	-0,1406
16	Žabljak	6	19,13	18	1,13	0,019722	92726,34	1,000006	0,0057	34N	21	-153449,78	0,999890	-0,1105
17	Andrijevica	7	19,79	21	-1,21	-0,0211185	-99291,04	1,000021	0,0212	34N	21	-99291,04	0,999721	-0,2788
18	Berane	7	19,86	21	-1,14	-0,0198968	-93546,93	1,000008	0,0076	34N	21	-93546,93	0,999708	-0,2924
19	Bijelo Polje	7	19,75	21	-1,25	-0,0218166	-102573,38	1,000029	0,0294	34N	21	-102573,38	0,999729	-0,2706
20	Gusinje	7	19,83	21	-1,17	-0,0204204	-96008,69	1,000013	0,0133	34N	21	-96008,69	0,999713	-0,2867
21	Kolašin	7	19,52	21	-1,48	-0,0258309	-121446,89	1,000081	0,0813	34N	21	-121446,89	0,999781	-0,2187
22	Mojkovac	7	19,58	21	-1,42	-0,0247837	-116523,36	1,000067	0,0669	34N	21	-116523,36	0,999767	-0,2331
23	Petnjica	7	19,96	21	-1,04	-0,0181514	-85341,06	0,999990	-0,0105	34N	21	-85341,06	0,999690	-0,3105
24	Plav	7	19,94	21	-1,06	-0,0185005	-86982,23	0,999993	-0,0070	34N	21	-86982,23	0,999693	-0,3070
25	Rožaje	7	20,18	21	-0,82	-0,0143117	-67288,14	0,999956	-0,0443	34N	21	-67288,14	0,999656	-0,3443

Iz dobijenih rezultata može se uočiti da se udaljenost opština od centralnog meridijana razlikuje u zavisnosti od njihove pripadnosti projekcionoj zoni i geografskog položaja. Kod obe projekcije deformacije zavise od udaljenosti od centralnog meridijana, pri čemu su najmanje vrednosti registrovane u blizini linija preseka sekućeg cilindra i referentnog elipsoida.
Rezultati pokazuju da su deformacije u GK projekciji uglavnom manje nego u UTM projekciji. Razlog je uža širina zone i veći faktor razmere na centralnom meridijanu. Kod obe projekcije faktor razmere je veoma blizak jedinici, što potvrđuje da su deformacije na teritoriji Crne Gore relativno male.

3.1. ANALIZA FAKTORA RAZMERE

Faktor razmere kod obe projekcije veoma je blizak jedinici. Kod GK projekcije vrednosti faktora razmere kreću se u blizini vrednosti $k_0 = 0{,}9999$, dok se kod UTM projekcije kreću u blizini vrednosti $k_0 = 0{,}9996$. U oba slučaja promene faktora razmere zavise od udaljenosti posmatrane tačke od centralnog meridijana.
Na slici 2 prikazana je promena faktora razmere GK i UTM projekcije u zavisnosti od geografske dužine opština Crne Gore. UTM projekcija pokazuje kontinuirano smanjenje faktora razmere od zapadnog ka istočnom delu teritorije, dok se kod GK projekcije uočava promena trenda u blizini granice između 6. i 7. projekcione zone, odnosno na meridijanu $\lambda = 19°30'$. Ovakvo ponašanje posledica je korišćenja različitih centralnih meridijana za navedene zone.



Slika 2 Promena faktora razmere u GK i UTM projekciji u zavisnosti od geografske dužine opština Crne Gore

3.2. ANALIZA DEFORMACIJA DUŽINA

Na osnovu izračunatih vrednosti deformacija dužina može se uočiti da se kod GK projekcije deformacije kreću približno od -0,08 do +0,08 m/km, dok se kod UTM projekcije kreću približno od -0,34 do +0,11 m/km.
Dobijeni rezultati potvrđuju da GK projekcija, zbog užih zona i faktora razmere $k_0 = 0{,}9999$, ostvaruje manje maksimalne deformacije od UTM projekcije. Sa druge strane,

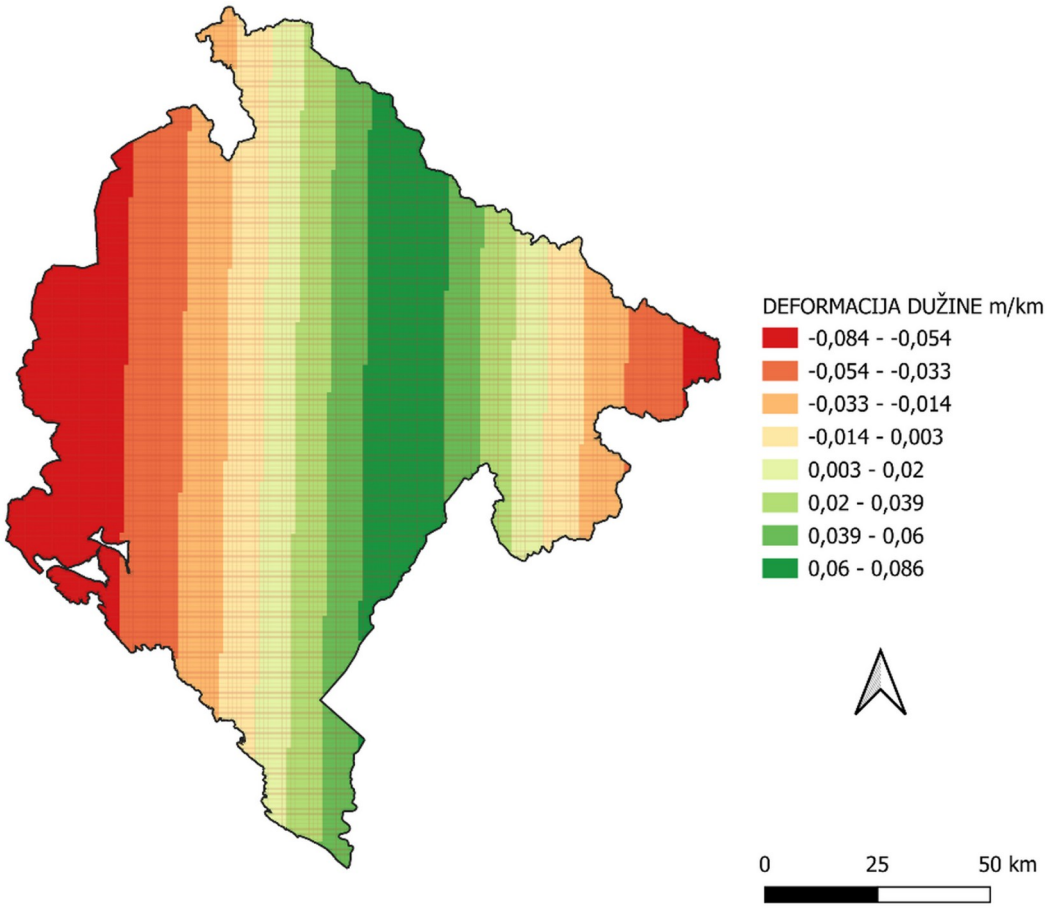
UTM projekcija omogućava prikaz cele teritorije Crne Gore u okviru jedne zone 34N, što ima značaj za savremene GIS sisteme i razmenu prostornih podataka.

3.3. KARTOGRAFSKI PRIKAZ DEFORMACIJA

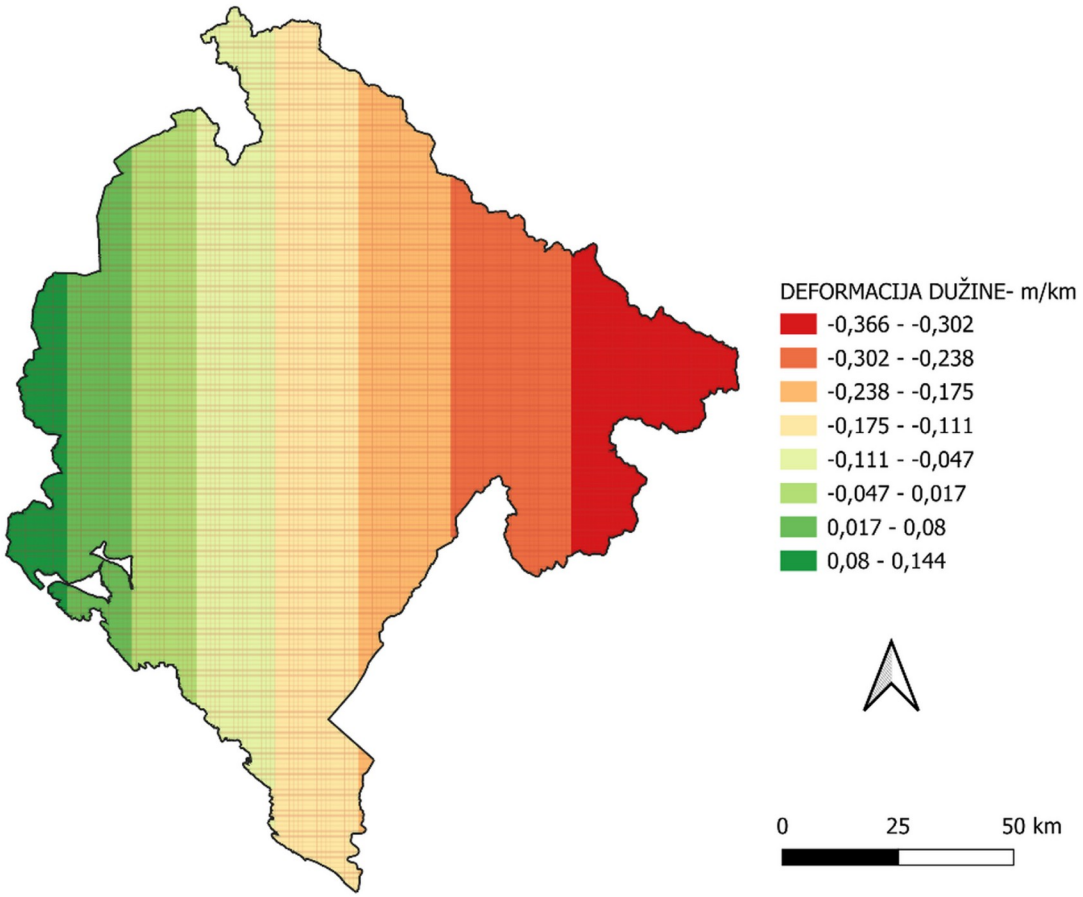
Kartografski prikaz deformacija dužina omogućava prostornu analizu njihovog rasporeda na teritoriji Crne Gore. Na slici 3 prikazana je raspodela deformacija u GK projekciji.

Kartografski prikaz deformacija dužina u GK projekciji pokazuje da deformacije nisu ravnomerno raspoređene na teritoriji Crne Gore. Najveće pozitivne vrednosti javljaju se u području granice između 6. i 7. projekcione zone, dok se najmanje deformacije nalaze u blizini linija preseka sekućeg cilindra i referentnog elipsoida. Ukupan raspon deformacija kreće se približno od -0,084 m/km do +0,086 m/km. Na slici 4 prikazana je raspodela deformacija dužina u UTM projekciji.

Na karti deformacija dužina u UTM projekciji uočava se promena vrednosti u pravcu zapad-istok. To je posledica položaja centralnog meridijana UTM zone 34N, koji se nalazi na 21° istočne geografske dužine. Najmanje deformacije javljaju se kod opština Kotor, Budva i Plužine, dok su najveće negativne deformacije registrovane u istočnom delu Crne Gore, posebno na području opštine Rožaje. Vrednosti deformacija kreću se približno od -0,34 m/km do +0,11 m/km.



Slika 3 Kontinualni prikaz deformacija dužina u GK projekciji na teritoriji Crne Gore.



Slika 4 Kontinualni prikaz deformacija dužina u UTM projekciji na teritoriji Crne Gore.

3.4. UPOREDNA ANALIZA GK I UTM PROJEKCIJE

Uporednom analizom deformacija dužina u GK i UTM projekciji utvrđeno je da obe projekcije daju relativno male deformacije na teritoriji Crne Gore, ali sa različitom prostornom raspodelom. Kod GK projekcije deformacije su ravnomernije raspoređene zbog podele teritorije na dve uže zone. Kod UTM projekcije uočava se izraženija promena deformacija u pravcu zapad-istok, jer se cela teritorija Crne Gore nalazi u jednoj zoni 34N.

Tabela 3 prikazuje osnovne razlike između analiziranih projekcija i raspon dobijenih deformacija dužina na teritoriji Crne Gore. Kod GK projekcije korišćene su 6. i 7. zona, sa centralnim meridijanima 18° i 21°, dok je kod UTM projekcije cela teritorija Crne Gore posmatrana u okviru zone 34N, sa centralnim meridijanom 21°.
Dobijeni rezultati potvrđuju da izbor projekcije utiče na veličinu i raspodelu deformacija, zbog čega je potrebno prilagoditi projekcioni sistem nameni geodetskog ili kartografskog proizvoda.

Tabela 3. Uporedna analiza deformacija dužina u GK i UTM projekciji

redni broj	Projekcija	Raspon deformacija (m/km)	Širina zone	Centralni meridijan
1	GK	od −0,08 do +0,08	3°	18° i 21°
2	UTM	od −0,35 do +0,11	6°	21°

4. ZAKLJUČAK

Kartografske projekcije predstavljaju osnovu geodetske i kartografske prakse, jer omogućavaju prikaz Zemljine površine u ravni. Pri takvom preslikavanju neizbežno nastaju deformacije, zbog čega je njihovo poznavanje važno za tačnost geodetskih planova i prostornih podataka.

U radu su analizirane GK i UTM projekcije, sa posebnim osvrtom na deformacije dužina na teritoriji Crne Gore. Teorijskom analizom prikazane su njihove osnovne karakteristike, dok je u istraživačkom delu izvršen proračun faktora razmere i deformacija dužina za opštine Crne Gore.

Dobijeni rezultati pokazuju da obe projekcije daju relativno male deformacije dužina, ali da se njihove vrednosti razlikuju u zavisnosti od položaja tačke unutar projekcione zone. Kod GK projekcije deformacije se kreću približno u granicama od -0,08 do +0,08 m/km. Kod UTM projekcije utvrđene su veće vrednosti deformacija, koje se kreću približno od -0,34 do +0,11 m/km. Analiza je pokazala da GK projekcija ostvaruje manje maksimalne deformacije zbog užih projekcionih zona i faktora razmere $k_0 = 0,9999$. Sa druge strane, UTM projekcija omogućava prikaz cele teritorije Crne Gore u okviru jedne zone 34N, što je značajno za savremene GIS sisteme, digitalne baze podataka i razmenu prostornih podataka. Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da je GK projekcija pogodna za lokalne geodetske i katastarske radove, dok je UTM projekcija pogodnija za savremene GIS aplikacije i obradu prostornih podataka na širem području. Izbor projekcije treba prilagoditi nameni rada, veličini područja i zahtevanoj tačnosti.

Iako su deformacije na teritoriji Crne Gore relativno male, njihov uticaj ne treba zanemariti kod preciznih geodetskih radova. Pravilnim izborom projekcije, poznavanjem faktora razmere i kontrolom koordinatnog sistema moguće je smanjiti uticaj deformacija i obezbediti pouzdanu izradu geodetskih planova.

ZAHVALNOST

Sredstva za istraživanje obezbedilo je Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija na osnovu ugovora br. 451-03-34/2026-03/200117 i 451-03-34/2026-03/200156, Pokrajinski sekretarijat za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost AP Vojvodine, Republika Srbija, na osnovu ugovora br. 003876050 2025 09418 003 000 000 001 04 003, kao i Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu kroz projekat „Naučno i umetničko istraživački rad istraživača u nastavnim i saradničkim zvanjima Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu 2026” br. 01-3609/1.

LITERATURA

[1] Snyder, J. P. Map Projections: A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1987. DOI: 10.3133/pp1395.

[2] Bugayevskiy, L. M., Snyder, J. P. Map Projections: A Reference Manual. London: Taylor & Francis, 1995. DOI: 10.1201/b16431.

[3] Maling, D. H. Coordinate Systems and Map Projections. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press, 1992.

[4] Grafarend, E. W., Krumm, F. W. Map Projections: Cartographic Information Systems. Berlin: Springer, 2006. DOI: 10.1007/978-3-540-36702-4.

[5] Lapaine, M. Matematička kartografija. Zagreb: Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2008.

[6] Frančula, N. Kartografske projekcije. Zagreb: Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2004.

[7] Kovačič, B. Geodezija za gradbene inženirje. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo, 2004.

[8] Canters, F. Small-Scale Map Projection Design. London: Taylor & Francis, 2002. DOI: 10.4324/9780203472095.

[9] Pearson, F. Map Projections: Theory and Applications. Boca Raton: CRC Press, 1990. DOI: 10.1201/9780203748121.

[10] Richardus, P., Adler, R. K. Map Projections for Geodesists, Cartographers and Geographers. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1972.

[11] Yang, Q., Snyder, J. P., Tobler, W. R. Map Projection Transformation: Principles and Applications. London: Taylor & Francis, 2000. DOI: 10.1201/9781003062738.

[12] Iliffe, J., Lott, R. Datums and Map Projections for Remote Sensing, GIS and Surveying. 2nd ed. Caithness: Whittles Publishing, 2008.

[13] Karney, C. F. F. Transverse Mercator with an Accuracy of a Few Nanometers. Journal of Geodesy, 2011, 85, 475-485. DOI: 10.1007/s00190-011-0445-3.

[14] Li, X., Li, H., Liu, G., Bian, S. Optimization of Complex Function Expansions for Gauss-Krüger Projections. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2022, 11(11), 566. DOI: 10.3390/ijgi11110566.

[15] International Association of Oil & Gas Producers. Geomatics Guidance Note Number 7, Part 2: Coordinate Conversions and Transformations Including Formulas. IOGP Publication 373-7-2, 2019.

[16] Uprava za nekretnine Crne Gore. Katastarski i geodetski podaci Crne Gore. Podgorica, 2024.

[17] Google Maps. Dostupno na: https://maps.google.com, pristupljeno 26.06.2026.

[18] OpenStreetMap. Dostupno na: https://www.openstreetmap.org, pristupljeno 26.06.2026.

UPRAVLJANJE RIZICIMA OD KATASTROFALNIH DOGAĐAJA I POŽARA

iNDiS 2026

https://doi.org/10.24867/INDIS-2026-SR-110

ОГРАНИЧЕЊА СТАТИЧКИХ МОДЕЛА ПРОЦЕНЕ ПОЖАРНОГ РИЗИКА И ПОТРЕБА ЗА ДИНАМИЧКИМ ПРИСТУПОМ УПРАВЉАЊУ РИЗИКОМ

Nada Stajšić-Golijanin [1], Mirjana Laban [2], Ljiljana Popović [3]

Rezime:

Rad analizira ograničenja postojećih inženjerskih i osiguravajućih metoda procene požarnog rizika, sa fokusom na njihovu pretežno statičku prirodu i nedovoljno uvažavanje dinamičkih faktora koji nastaju tokom eksploatacije objekata. Kroz kvalitativnu komparativnu analizu pristupa i ilustrativnu studiju slučaja požara u industrijskom objektu, operativna disciplina razmatra se kao relevantna dinamička varijabla koja može uticati na stvarni nivo rizika, a koju postojeći modeli ne obuhvataju u dovoljnoj meri. Rad predlaže konceptualni okvir dinamičkog upravljanja požarnim rizikom, zasnovan na inicijalnoj proceni, kontinuiranom praćenju indikatora, sistemu ranog upozorenja i periodičnoj reevaluaciji rizika i premije. Doprinos rada ogleda se u povezivanju inženjerskog i osiguravajućeg pristupa i razradi operativne discipline kao analitičke kategorije, dok empirijska validacija okvira ostaje zadatak budućih istraživanja.

Ključne reči: procena požarnog rizika, operativna disciplina, dinamičko upravljanje požarnim rizikom, praksa osiguranja

LIMITATIONS OF STATIC FIRE RISK ASSESSMENT MODELS AND THE NEED FOR A DYNAMIC APPROACH TO RISK MANAGEMENT

Summary:

This paper analyzes the limitations of existing engineering and insurance methods for fire risk assessment, focusing on their predominantly static nature and insufficient consideration of dynamic factors arising during building operation. Through a qualitative comparison of approaches and an illustrative case study of an industrial facility fire, operational discipline is examined as a relevant dynamic variable that may influence the actual risk level but is not adequately captured by current models. The paper proposes a conceptual framework for dynamic fire risk management based on initial assessment, continuous indicator monitoring, early warning, and periodic re-evaluation of risk and insurance premiums. Its contribution lies in linking engineering and insurance approaches and elaborating operational discipline as an analytical category, while empirical validation of the framework remains a task for future research.

Keywords: fire risk assessment, operational discipline, dynamic fire risk management, insurance practice

[1] Student DAS, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, stajsicnada@gmail.com, ORCID 0009-0007-2594-8657,
[2] Red. prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, mlaban@uns.ac.rs, ORCID 0000-0001-6557-3094
[3] Vanr. prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, ljiljana.popovic@uns.ac.rs, ORCID 0000-0002-9158-0148

1. UVOD

Požari predstavljaju jedan od najznačajnijih rizika za imovinu, industrijske procese i bezbednost ljudi, sa posledicama koje mogu obuhvatiti materijalne gubitke, prekid poslovanja i ljudske žrtve. Zbog toga je procena požarnog rizika ključni deo sistema zaštite od požara, ali i važan element upravljanja rizicima u osiguranju.

Inženjerske metode procene požarnog rizika [1] prvenstveno su usmerene na zaštitu života i zdravlja ljudi, identifikaciju opasnosti i definisanje odgovarajućih preventivnih i zaštitnih mera. U Republici Srbiji njihova primena uređena je regulatornim okvirom iz oblasti zaštite od požara [2][3], koji podrazumeva izradu procene ugroženosti i planova zaštite od požara [4] primenom numeričkih i inženjerskih modela, među kojima su i međunarodno prihvaćene metode kao što su Euroalarm i Gretener.

U oblasti osiguranja, koje predstavlja jedan od načina upravljanja rizikom [5], razvijeni su posebni modeli procene rizika koji se zasnivaju na statističkoj analizi šteta i tarifnim sistemima [6], sa ciljem procene verovatnoće nastanka štete i mogućih finansijskih posledica za osiguravača. Iako oba pristupa analiziraju isti fenomen – požarni rizik – njihovi ciljevi i metodološki pristupi se razlikuju. Inženjerske metode prvenstveno su usmerene na unapređenje bezbednosti ljudi i objekata i na regulatornu usklađenost, dok modeli osiguravača procenjuju finansijski aspekt rizika i njegovu prihvatljivost u okviru osiguravajućeg portfelja.

U toku eksploatacije objekata koji su predmet procene dolazi do promena požarnog rizika i on ispoljava dinamičku prirodu. Promene mogu biti uslovljene različitim faktorima, među kojima su ponašanje korisnika, tehnološki procesi, organizacione promene i sl.

Postojeća literatura ukazuje na to da se rizici u savremenim organizacionim i tehničko-tehnološkim sistemima ne mogu posmatrati kao statične kategorije, već da imaju izraženu dinamičku prirodu koja zahteva kontinuirano praćenje i upravljanje [7]. U tom kontekstu, požarni rizik se izdvaja kao posebno značajan, s obzirom na njegovu opštu prisutnost, raznovrsnost uzroka i potencijalno ozbiljne posledice. Ipak, u praksi procene požarnog rizika dominiraju modeli koji su zasnovani na preseku stanja u trenutku analize, dok je integracija dinamičkih faktora, posebno onih koji proizlaze iz promena u eksploataciji, organizaciji rada i ponašanju korisnika, još uvek nedovoljno istražena i metodološki razrađena.

Cilj ovog rada je da se kroz komparativnu analizu inženjerskih i osiguravajućih metoda procene požarnog rizika odgovori na istraživačko pitanje: „U kojoj meri postojeće inženjerske i osiguravajuće metode procene požarnog rizika obuhvataju dinamičke faktore rizika i koja su njihova ključna ograničenja u tom pogledu?“

Rad je strukturiran na sledeći način. U prvom delu prikazani su podaci osiguravača u Republici Srbiji koji ilustruju obim i finansijski značaj požarnih šteta, sa posebnim osvrtom na segment pravnih lica kao najrelevantniji prostor za unapređenje modela procene rizika. U drugom delu razmatraju se osnovne karakteristike inženjerskih metoda procene požarnog rizika, sa akcentom na njihovu metodološku postavku i statički karakter procene. Treći deo rada posvećen je prikazu i analizi pristupa proceni požarnog rizika u osiguravajućoj praksi, sa fokusom na način na koji se tehnički nalazi prevode u tarifne elemente. U četvrtom delu data je komparativna analiza inženjerskog i osiguravajućeg pristupa, kroz identifikovane kriterijume poređenja i sagledavanje njihove osetljivosti na dinamičke faktore rizika. U završnom delu rada, kroz analizu primera iz prakse, razmatraju se ograničenja postojećih modela u obuhvatanju operativnih i ponašajnih faktora, kao i implikacije uočenih ograničenja za prelazak sa jednokratne procene na kontinuirano upravljanje požarnim rizikom.

2. ŠTETE OD POŽARA, PODACI OSIGURAVAČA

Osiguravači u Republici Srbiji u svojoj ponudi obuhvataju širok spektar pokrića koja se odnose na požarne rizike, uz koje se uključuju i drugi prirodni i tehnički rizici, poput oluje, eksplozije, udara groma i poplave. Funkcionisanje sistema osiguranja zasniva se na udruživanju velikog broja sličnih izloženosti, čime se postiže stabilnija raspodela rizika. Dostupni podaci ukazuju na kontinuirani rast broja zaključenih osiguranja, što potvrđuje porast svesti o osiguranju kao ključnom instrumentu transfera rizika.

U segmentu fizičkih lica, primetan je srazmeran trend rasta broja prijavljenih šteta i ukupnih isplaćenih naknada, uz ujednačen obrazac učestalosti. Sa aspekta aktuarske procene, ovaj deo portfelja karakteriše dosledna disperzija rizika, što je posledica relativno visokog stepena ujednačenosti imovine koja se osigurava. Radi se pretežno o objektima za stanovanje, objektima poljoprivrednih gazdinstava i kućama za odmor, koji su slični u pogledu konstrukcionih karakteristika, sadržaja i namene. Ovakav stepen homogenosti omogućava primenu standardizovanih tarifnih modela i oslanjanje na statičku procenu rizika, jer su varijacije u načinu korišćenja objekta minimalne i retko dovode do drastičnih promena u profilu rizika. Nasuprot tome, imovina pravnih lica predstavlja izrazito heterogenu grupu, u rasponu od administrativnih i komercijalnih objekata do kompleksnih industrijskih postrojenja. Ovde rizik nije definisan samo fizičkim karakteristikama objekta, već je direktno uslovljen tehnološkim procesima, organizacijom rada i visokom koncentracijom vrednosti. Poseban izazov predstavlja rizik od prekida poslovanja (Business Interruption), čije ekonomske posledice često prevazilaze direktnu materijalnu štetu.

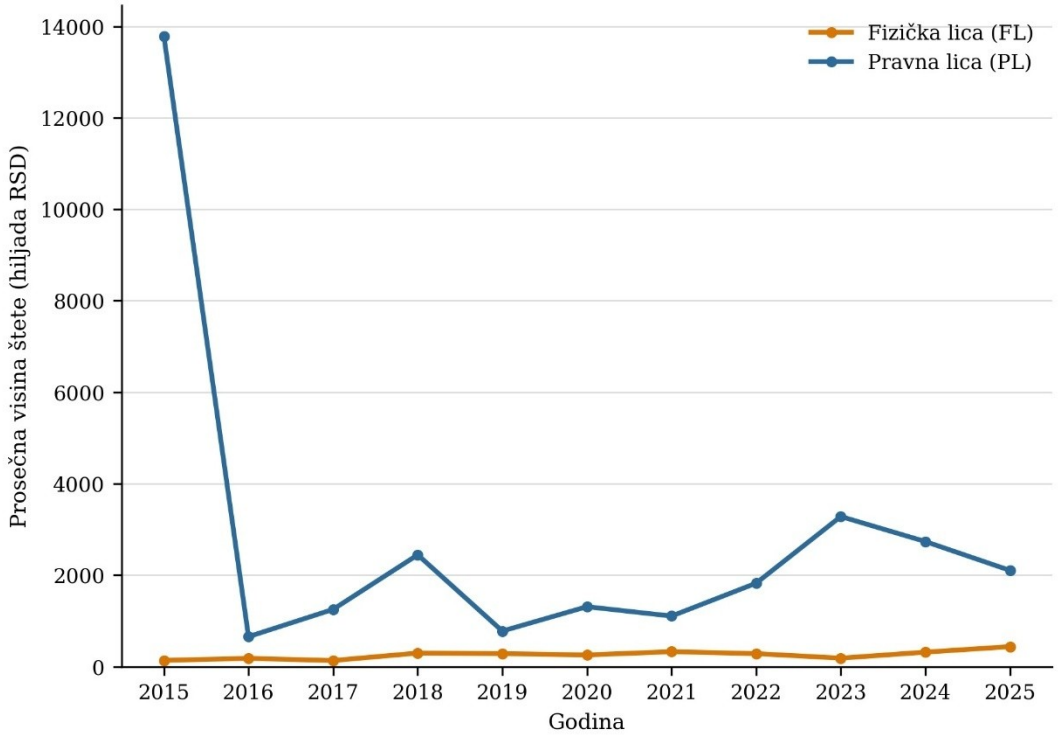
U nastavku su prikazani podaci osiguravača koji ilustruju ove razlike između segmenta fizičkih i pravnih lica i predstavljaju trendove u broju osiguranja, broju prijavljenih šteta i njihovom finansijskom obimu (Tabela 1).

Tab. 1 Podaci o broju ugovorenih osiguranja, premiji i štetama od požara u periodu od 2015. do 2025. g - iznosi su dati u hiljadama dinara

Godina	Osiguranje		Štete od požara			
	Broj osiguranja	Ukupna premija	Fizička lica		Pravna lica	
			Broj zahteva	Visina štete	Broj zahteva	Visina štete
2015	41.484	2.095.416	44	6.097	105	1.447.069
2016	56.109	1.958.020	43	7.804	119	78.143
2017	52.931	2.028.240	67	9.013	156	195.485
2018	57.451	2.525.324	62	18.470	123	300.848
2019	63.330	2.277.317	93	26.548	138	107.508
2020	68.179	2.409.539	110	28.281	107	140.355
2021	75.064	2.559.859	75	24.586	96	106.237
2022	82.369	3.050.014	111	31.711	136	248.324
2023	88.426	3.346.595	134	25.029	150	492.494
2024	100.175	3.898.563	148	47.076	108	295.481
2025	106.959	4.443.842	157	68.871	111	233.616

Analiza podataka osiguravača (Tabela 1 i Slika 1) jasno ukazuje na to da je znatno veći finansijski intenzitet šteta kod pravnih lica, što je direktna posledica visoke koncentracije

vrednosti i prirode industrijskih i komercijalnih procesa. Međutim, visoka volatilnost u ovom segmentu ne može se objasniti isključivo statičkim parametrima poput kvadrature ili tipa konstrukcije objekata i njihovog sadržaja. Ona je suštinski povezana sa teorijskom postavkom iznetom u uvodu rada: da se rizici u savremenim sistemima ne smeju posmatrati kao statične kategorije, već kao promenljivi procesi sa izraženom dinamičkom prirodom [7].
Upravo kod pravnih lica, gde su operativni procesi kompleksni, promene koje nastaju tokom eksploatacije objekta – kao što su varijacije u intenzitetu rada, izmene u tehnološkim postavkama ili fluktuacije u operativnoj disciplini – stalno redefinišu stvarni profil rizika. Finansijska nestabilnost šteta u ovom segmentu (Slika 1) ukazuje na značaj adekvatnog praćenja tih dinamičkih faktora.



Slika. 1 Poređenje prosečne visine štete kod fizičkih (FL) i pravnih lica (PL), 2015–2025. godine

Podaci o štetama dodatno potvrđuju potrebu za daljim istraživanjem u kojoj meri savremeni modeli procene požarnog rizika uspevaju da prepoznaju promene rizika u realnom vremenu. U nastavku rada analizira se na koji način postojeći modeli odgovaraju na ove izazove, sa posebnim osvrtom na segment pravnih lica.

3. POSTUPCI ZA PROCENU RIZIKA OD POŽARA

Procena opasnosti od požara predstavlja postupak utvrđivanja nivoa ugroženosti od požara ili tehnološke eksplozije, kao i određivanja odgovarajućih zaštitnih mera [8]. Prema Zakonu o zaštiti od požara Republike Srbije, procena ugroženosti od požara predstavlja sastavni deo glavnog projekta zaštite od požara, odnosno deo tehničke dokumentacije za izgradnju objekata. Njome se definišu zahtevi u pogledu mera zaštite od požara koji se odnose na konstrukciju objekta, primenjene materijale, instalacije, kao i

potreba za ugradnjom sistema za rano otkrivanje, dojavu i gašenje požara za određene kategorije objekata.
Regulatorni okvir u Republici Srbiji za procenu ugroženosti od požara i izradu planova zaštite od požara predviđa primenu srpskih normi i numeričkih metoda, kao i međunarodno prihvaćenih metoda procene požarnog rizika (TRVB 100, Euroalarm, Gretener, DOW indeks i dr.), u slučajevima kada se procena ne može sprovesti primenom samo nacionalnih normi.
Među metodama čija je primena predviđena regulatornim okvirom, Euroalarm metoda spada među najzastupljenije i najčešće primenjivane pristupe proceni požarnog rizika.

3.1. EUROALARMOV POSTUPAK

Primenom Euroalarmovog postupka, procenjuje se požarni rizik konstrukcije objekta i požarni rizik sadržaja objekta.

$$R_0 = \frac{[(P_0 \times C) + P_k] \times B \times L \times S}{W \times R_i} \quad (1)$$

- R_0 - požarni rizik za objekat
- P_0- koeficijent požarnog opterećenja sadržaja objekta
- C - koeficijent sagorljivosti sadržaja objekta
- P_k - koeficijent požarnog opterećenja od materijala ugrađenih u konstrukciju objekta
- B - koeficijent veličine i položaja požarnog sektora
- L - koeficijent vremena kašnjenja početka gašenja
- S - koeficijent širine požarnog sektora
- W - koeficijent otpornosti na požar konstrukcije objekta
- R_i - koeficijent smanjenja požarnog rizika

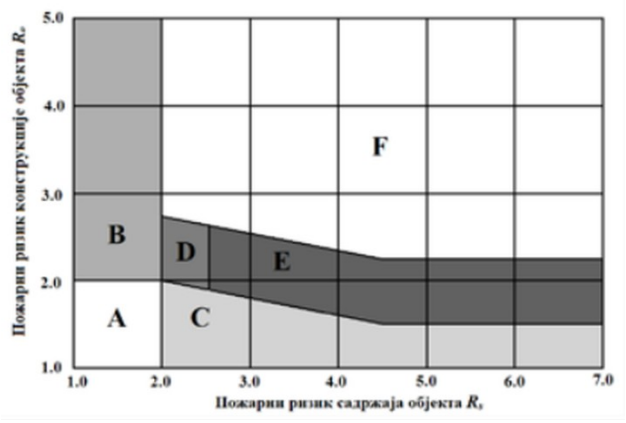
Kao što je vidljivo iz navedenog izraza, požarni rizik objekta zavisi od konstruktivnih karakteristika objekta odnosno otpornosti nosivih elemenata na dejstvo visokih temperatura, uslovljen je vrstom delatnosti koja se u njemu obavlja i sadržajem, kao i dostupnošću vatrogasnih jedinica i brzinom intervencije.

Požarni rizik sadržaja objekta :

$$R_S = H \times D \times F \quad (2)$$

- Rs - požarni rizik sadržaja objekta
- H - koeficijent opasnosti po ljude
- D - koeficijent rizika imovine
- F - koeficijent delovanja dima

Požarni rizik sadržaja objekta određen je procenom mogućih posledica požara po ljude, pokretnu imovinu koja se nalazi u objektu, kao i potencijalnim uticajem požara na okruženje.
Vrednost svakog pojedinačnog koeficijenta se određuje odgovarajućim procedurama. Za približne proračune požarnih rizika prema navedenoj metodi moguće je koristiti podatke iz literature, a koji su razvrstani prema tehnološkim procesima za koje se vrši procena požarnog rizika.
Izračunate vrednosti požarnog rizika konstrukcije objekta i požarnog rizika sadržaja objekta prikazuju se na odgovarajućem dijagramu, pri čemu njihov presek određuje oblast kojoj objekat pripada. Na osnovu položaja tačke preseka određuje se preporučeni obim i vrsta protivpožarnih sistema.



Slika. 2 Euroalarmov dijagram

Ako je presek u oblasti A onda nije neophodna ugradnja sistema za dojavu i gašenje požara; B- nije neophodna ugradnja sistema za dojavu, ali se preporučuje sistem za gašenje; C – nije nužna ugradnja sistema za gašenje, ali se preporučuje sistem za dojavu; D- neophodan sistem za gašenje, preporučuje se sistem za dojavu; E- preporučuje se ugradnja sistema za gašenje, a neophodna je ugradnja sistema za dojavu; F – neophodna ugradnja stabilnog sistema za gašenje i ugradnja stabilnog sistema za dojavu.
Cilj ove i uporedivih metoda za procenu rizika je pomoć odlučivanju o neophodnim protivpožarnim merama, bezbednost objekta i regulatorna usaglašenost. U literaturi se mogu naći i određene kritike ove metode [8], koje se odnose na moguću pristrasnost njenog koncepta, budući da je razvijena u okviru industrije proizvođača sistema za dojavu i gašenje požara. Prema tim kritikama, rezultati procene često ukazuju na potrebu za ugradnjom određenog tipa sistema za dojavu ili gašenje požara.

3.2. POSTUPAK PROCENE POŽARNOG RIZIKA U OSIGURANJU

Procena ugroženosti od požara, izrađena u okviru planske i tehničke dokumentacije zaštite od požara, predstavlja važnu stručnu osnovu za razumevanje uslova bezbednosti objekta. Iako se može koristiti kao ulazni dokument u osiguranju, procena rizika u osiguravajućoj praksi obuhvata širi spektar opasnosti, uključujući štete od prirodnih nepogoda, eksplozija, tehničkih kvarova i drugih događaja koji mogu ugroziti imovinu osiguranika i kontinuitet poslovanja.
Procena rizika u osiguranju može se teorijski posmatrati kao rezultat interakcije nekoliko ključnih komponenti: opasnosti (hazard), izloženosti (exposure), ranjivosti (vulnerability) i istorije štetnih događaja (loss history).
Opasnost (hazard) se definiše kao uslov koji stvara ili povećava verovatnoću i intenzitet potencijalnih šteta. Opasnost se odnosi na potencijal nastanka štetnog događaja, odnosno na izvore rizika koji mogu dovesti do požara, uslovljene tehničkim karakteristikama objekta, tehnološkim procesima i okruženjem. Izloženost se odnosi na vrednost i koncentraciju imovine koja može biti pogođena štetnim događajem. Ranjivost predstavlja stepen osetljivosti imovine na dejstvo požara, odnosno sposobnost sistema da se odupre njegovim posledicama, što zavisi od primenjenih zaštitnih mera i organizacije zaštite, dok istorija šteta omogućava kvantifikaciju učestalosti i intenziteta gubitaka na osnovu prethodnih iskustava. U praksi osiguranja, ove komponente se ne posmatraju izolovano, već se integrišu u tarifne modele koji omogućavaju procenu verovatnoće nastanka štete i očekivanog finansijskog gubitka, čime se tehničke karakteristike rizika prevode u ekonomsku kategoriju premije osiguranja, pri čemu se procena rizika najčešće zasniva na stanju rizika u trenutku sagledavanja.
U praktičnom postupku procene rizika, navedene teorijske komponente mogu se prepoznati kroz konkretne elemente koje osiguravači vrednuju. Opasnost (hazard)

reflektuje se kroz vrstu delatnosti, tehnoloških procesa i prisustva zapaljivih materijala, odnosno kroz klasifikaciju opasnosti delatnosti i zaliha. Izloženost (exposure) se ogleda u vrednosti i koncentraciji imovine koja se osigurava, uključujući objekte, opremu i zalihe, kao i u proceni maksimalne moguće štete. Ranjivost (vulnerability) se procenjuje kroz nivo implementiranih preventivnih i zaštitnih mera, uključujući građevinske karakteristike objekta i klasu zaštitnih mera. Istorija šteta (loss history) integriše se kroz statističke podatke o prethodnim štetama, koji utiču na korekciju tarifnih stopa i procenu prihvatljivosti rizika. Na taj način, teorijski okvir procene rizika dobija svoju operativnu formu kroz standardizovane postupke i alate koje osiguravači koriste u praksi.

Za potrebe procene rizika od požara i određivanja obima osiguravajućeg pokrića, osiguravači se oslanjaju na skup kvalitativnih pokazatelja koji obuhvataju stanje urbanističkog okruženja, karakteristike objekta (lokacija, konstrukcija, građevinski materijali, instalacije), pasivne i aktivne mere zaštite od požara i druge faktore koji utiču na verovatnoću nastanka i obim mogućih posledica [6]. Ovi elementi, iako proistekli iz tehničkih analiza, u osiguravajućem kontekstu postaju deo šire procene koja uključuje istorijske podatke o štetama, maksimalnu moguću štetu (MMŠ) i druge parametre značajne za upravljanje portfeljem.

U cilju prikupljanja kvalitativnih informacija u postupku procene rizika, osiguravači koriste upitnike ili izrađuju izveštaje i elaborate o pregledu rizika, a sve u zavisnosti od složenosti i vrednosti industrijskog kompleksa, kao i procesa koji se u njemu odvijaju. Elaborati se izrađuju u procesu preuzimanja složenijih industrijskih rizika i oni objedinjuju podatke o vrstama rizika, klasama zaštitnih mera, građevinskim kategorijama i MMŠ. Na osnovu ovih informacija određuje se deo rizika koji osiguravač može da zadrži i deo koji se prenosi na reosiguravače. Istovremeno se identifikuju mere zaštite koje još nisu sprovedene, sa ciljem smanjenja izloženosti riziku.

Tehničke podatke iz upitnika ili elaborata osiguravači „preslikavaju“ na tarifu premije, koja je dimenzionisana prema verovatnoći izbijanja požara i obimu mogućih posledica. Iako se ovi faktori u velikoj meri zasnivaju na tehničkim osobinama objekta, zaliha i opreme, procena rizika u osiguranju koristi drugačiji analitički pristup od inženjerskih metoda, budući da posmatra skup pokazatelja koji su ključni za formiranje premijske stope:

(1) klasu zaštitnih mera, koja se određuje prema načinu izgradnje objekata, vrsti materijala, sprovedenim preventivnim merama i raspoloživosti vatrogasnih jedinica;

(2) građevinsku kategoriju, koja se određuje prema materijalima spoljnih zidova, krova i noseće konstrukcije, uz primenu nepovoljnije kategorije kada su zastupljeni različiti materijali;

(3) klasu opasnosti delatnosti i klasu opasnosti zaliha, utvrđene prema osetljivosti proizvodnih procesa, sirovina i gotovih proizvoda;

(4) obim osiguravajućeg pokrića, uključujući osnovne i dopunske rizike;

(5) način osiguranja (puna vrednost, limit, prvi rizik, iscrpivi prvi rizik);

(6) trajanje osiguranja, najčešće u rasponu od 15 dana do jedne godine.

Navedeni parametri predstavljaju osnovu za pretvaranje tehničkih karakteristika objekta, procesa i karakteristika ugovornog odnosa u tarifne elemente osiguranja, čime se fizičke karakteristike rizika prevode u ekonomski izraz – premijsku stopu.

Rezultati analize rizika za objekte, opremu i zalihe u osnovnom proizvodnom riziku raspoređuju se u matricu dimenzija 7 × 5, formiranu prema klasama opasnosti i klasama zaštitnih mera. U preseku redova i kolona ove matrice nalazi se odgovarajuća premijska stopa, a njen simbolički prikaz dat je u Tabeli 2.

*Tab. 2 Premijske stope za osiguranje od požara i nekih drugih opasnosti unutar jedinstvenog rizika**

Klasa opasnosti delatnosti	Premijske stope u ‰ prema klasi zaštitnih mera				
	A	**B**	**V**	**G**	**D**
1	a1	b1	v1	g1	d1
2	a2	b2	v2	g2	d2
3	a3	b3	v3	g3	d3
4	a4	b4	v4	g4	d4
5	a5	b5	v5	g5	d5
6	a6	b6	v6	g6	d6
7	a7	b7	v7	g7	d7

**premijske stope su prikazane simbolično, predstavljaju poslovnu tajnu osiguravača*

Kod osiguranja objekata koji predstavljaju odvojene rizike, tj. ukoliko se radi o neproizvodnom objektu koji se može posmatrati kao nezavistan rizik, tj. njegova udaljenost od susednog, proizvodnog objekta je najmanje 20 metara, cena premije se opredeljuje na osnovu matrice čiji su redovi uslovljeni građevinskom kategorijom a kolone klasom zaštitnih mera i u čijim presecima su tarifne stope (Tabela 3).

Tab. 3 Premijske stope za osiguranje zgrada, opreme i i zaliha upravnih i pomoćnih zgrada od požara i nekih drugih opasnosti izvan jedinstvenog rizika

redni broj	Građevinska kategorija		Premijske stope u ‰ prema klasi zaštitnih mera				
Zgrada			A	B	V	G	D
1	MASIVNA	betonska zgrada s betonskim krovom, bez obzira na spratnost	a11	b11	v11	g11	d11
2		zgrada sa dva ili više spratova	a12	b12	v12	g12	d12
3		prizemna i jednospratna zgrada	a13	b13	v13	g13	d13
4	MEŠOVITA		a14	b14	v14	g14	d14
5	SLABA		a15	b15	v15	g15	d15
Oprema i zalihe u zgradama							
6	MASIVNA		a16	b16	v16	g16	d16
7	MEŠOVITA		a17	b17	v17	g17	d17
8	SLABA		a18	b18	v18	g18	d18

**premijske stope su prikazane simbolično, predstavljaju poslovnu tajnu osiguravača*

Specifičnost osiguravajućeg modela ogleda se u načinu na koji se tehnički nalazi prevode u tarifne elemente. Ovaj proces je netransparentan za osiguranika, jer tarifni modeli predstavljaju poslovnu tajnu svakog osiguravača, te su upitnik ili elaborat o proceni rizika samo interfejs tog modela. Cena rizika zasniva se na istorijskim obrascima učestalosti i težine šteta u portfelju osiguranja, čime se tehnički parametri dopunjuju statističkim i ekonomskim pokazateljima.

Dok inženjerska procena odgovara na pitanje kako povećati bezbednost objekta, osiguravačka procena odgovara na pitanje kolika je ekonomska cena rizika i pod kojim uslovima je on prihvatljiv za osiguranje.
Izbor metodologije procene rizika zavisi od ciljeva i zahteva zainteresovanih strana [9] [10][11]. U domaćem regulatornom kontekstu, prioritet je utvrđivanje ugroženosti objekta i definisanje obaveznih mera zaštite od požara [2][3][4]. Za potrebe osiguranja, fokus se pomera ka proceni potencijalnih posledica po osiguravača — prema praktičnom pitanju: *„Šta se dešava ako dođe do štetnog događaja i kolike su posledice?“*. U tom smislu ne sme se zaboraviti da modeli samo savetuju, a nikada ne donose odluke [9]. Njihovi rezultati predstavljaju analitičku podršku zasnovanu na unapred definisanim pretpostavkama, te ih ne treba tumačiti kao apsolutne ili jedine moguće procene stanja.

4. GRANICE INŽENJERSKIH I OSIGURAVAJUĆIH METODA PROCENE: ZNAČAJ OPERATIVNE DISCIPLINE

Analiza postojećih pristupa proceni požarnog rizika pokazuje da se i inženjerske metode i metode koje primenjuju osiguravači u najvećoj meri oslanjaju na ocenu stanja objekta u trenutku sprovođenja procene [1]. Rezultat takvog postupka jeste statička slika rizika, zasnovana na tehničkim i organizacionim karakteristikama objekta, raspoloživim merama zaštite i uslovima okruženja koji u tom trenutku deluju stabilno i kontrolisano.

Tab. 4 Komparativni prikaz osnovnih kriterijuma procene požarnog rizika

Kriterijum poređenja	Inženjerski pristup	Osiguravajući pristup
Osnovni cilj	Bezbednost ljudi i objekta, usklađenost sa propisima	Procena finansijske prihvatljivosti rizika i određivanje premije
Opasnost (hazard)	Procena požarnog opterećenja, zapaljivost materijala, tehnološki procesi	Klasa opasnosti delatnosti i zaliha, tip procesa
Izloženost (exposure)	Implicitno, kroz veličinu objekta i požarne sektore	Eksplicitno, kroz vrednost i koncentraciju imovine, MMŠ
Ranjivost (vulnerability)	Otpornost konstrukcije, sistemi zaštite, vreme intervencije	Klasa zaštitnih mera, građevinska kategorija
Uloga istorije šteta	Ograničena	Ključna za tarifiranje i procenu verovatnoće
Vremenska dimenzija	Statička (presek stanja u trenutku procene)	Pretežno statička, uz ograničeno oslanjanje na istorijske trendove
Osetljivost na operativne promene	Niska (ne obuhvata promene u svakodnevnom radu)	Ograničena (zahteva reviziju ugovora o osiguranju)
Rezultat procene	Preporuke za tehničke mere zaštite	Premijska stopa i uslovi osiguranja
Ključna ograničenja	Nedovoljno uvažavanje ljudskog faktora i operativne discipline	Nedovoljno uvažavanje dinamičkih promena tokom eksploatacije

Radi jasnijeg sagledavanja sličnosti i razlika između inženjerskog i osiguravajućeg pristupa, u Tabeli 4 dat je komparativni prikaz prema prethodno definisanim analitičkim

kriterijumima: zajedničkim komponentama rizika, cilju i rezultatu procene, vremenskoj dimenziji, osetljivosti na operativne promene i ključnim ograničenjima. Kriterijumi su primenjeni kvalitativno, radi konceptualnog poređenja, bez dodeljivanja težinskih faktora ili zbirne ocene.

Kao što se može uočiti, oba pristupa, uprkos razlikama u ciljevima i metodologiji, dele zajedničko ograničenje – oslanjanje na statičku procenu stanja rizika i nisku osetljivost na operativne promene koje se javljaju tokom vremena, naročito one povezane sa svakodnevnim aktivnostima i ponašanjem korisnika.

Upravo u tom raskoraku između formalno utvrđenog i stvarnog rizika javljaju se ograničenja klasičnih metoda procene. Iako fizičke karakteristike objekta ostaju važne, svakodnevne aktivnosti korisnika – rukovanje zapaljivim materijalima, upravljanje otpadom, organizacija rada i doslednost u sprovođenju mera zaštite – stvaraju dinamički sloj rizika koji statičke procene ne obuhvataju u dovoljnoj meri. Zbog toga se nameće potreba da se uz tehničku analizu u obzir uzmu i faktori koji proizlaze iz operativne discipline, jer upravo oni često određuju da li će se potencijalna opasnost zaista realizovati [12].

U kontekstu ovog rada, operativna disciplina definiše se kao skup međusobno povezanih faktora koji proizlaze iz svakodnevnog funkcionisanja organizacije. Ona obuhvata ponašajne aspekte rada zaposlenih (način na koji zaposleni postupaju u odnosu na propisane mere), organizacione elemente (postojanje i jasnoću procedura i raspodelu odgovornosti), kontrolne mehanizme (nadzor i doslednost u sprovođenju pravila), kao i dinamičke promene u procesima i uslovima rada koje nastaju tokom eksploatacije objekta. Kroz interakciju ovih komponenti formira se stvarni profil rizika, koji može značajno odstupati od onog koji je utvrđen u trenutku inicijalne procene.

4.1. STUDIJA SLUČAJA: POŽAR U DISTRIBUTIVNOM CENTRU

Iako jedan pojedinačan događaj ne može predstavljati opštu potvrdu ograničenja metodologije, on jasno ilustruje mehanizam kroz koji operativni faktori mogu promeniti stvarni nivo rizika. Primer koji ilustruje navedena ograničenja predstavlja požar u distributivnom centru za pakovanje voća i povrća koji se dogodio u Vojvodini u junu 2025. godine.

U trenutku procene rizika objekat je bio tehnički ispravan, a svi regulatorni zahtevi u oblasti zaštite od požara bili su zadovoljeni. Procena požarnog rizika sprovedena je primenom metode Euroalarm, pri čemu je dobijena vrednost požarnog rizika konstrukcije objekta R_0 = 1,9495, dok je dobijena vrednost požarnog rizika sadržaja objekta iznosila R_S = 1. Prema kriterijumima ove metodologije, ovakav rezultat ukazuje na to da su postojeće preventivne mere adekvatne i da objekat ne pokazuje karakteristike povišenog požarnog rizika. Sa stanovišta osiguravača, objekat je takođe bio razvrstan u kategoriju relativno povoljnog rizika. Elementi koji su uticali na tarifiranje premije obuhvatali su sledeće karakteristike:

Građevinska kategorija: Utvrđena kao mešovita, jer je noseća konstrukcija izrađena od čeličnih elemenata, dok su krovni pokrivači izvedeni korišćenjem PIR sendvič panela debljine 75 i 100 mm;

Klasa zaštitnih mera: Određena je s obzirom na vreme odziva vatrogasnih jedinica (do 25 minuta), kao i unutrašnju hidrantsku mrežu i ručne aparate usklađene sa propisima.

Kada se ove karakteristike preslikaju na matricu tarifiranja, objekat se pozicionira u zonu relativno niskog požarnog rizika, što rezultira premijskom stopom koja odražava umereni rizik i punu osigurljivost.

Međutim, i pored toga što su i inženjerska procena i osiguravajući model ukazivali na stabilan rizik, do požara je došlo usled odstupanja od normi ponašanja u svakodnevnom radu: zapaljivi otpad od ambalaže bio je privremeno odložen pored fasade, a zaposleni je u otpad bacio opušak cigarete. Tinjanjem materijala došlo je do požara koji se proširio na

fasadu objekta, a potom se preko krova preneo na ostale delove objekta. Posledice požara na objektu procenjene su na iznos od približno 19 miliona RSD, a na zalihama uskladištenim u objektu na približno 16 miliona RSD. Ovaj događaj jasno pokazuje da tehnički ispravan objekat i formalno zadovoljene preventivne mere ne garantuju nizak rizik tokom celog trajanja osiguranja, ukoliko operativna disciplina i nadzor nisu dosledno sprovođeni. Studija slučaja stoga ukazuje na to da procene zasnovane isključivo na fizičkim karakteristikama objekta mogu potceniti stvarni nivo požarnog rizika tokom eksploatacije.

Rezultati studije slučaja mogu se dodatno sagledati kroz prizmu komparativnog prikaza datog u Tabeli 4. Naime, oba pristupa su u trenutku procene adekvatno vrednovala tehničke karakteristike objekta, uključujući konstrukciju, primenjene zaštitne mere i organizacione uslove, čime su komponente hazarda i ranjivosti bile prepoznate u skladu sa postojećim metodološkim okvirima. Takođe, u osiguravajućem modelu eksplicitno je uzeta u obzir i izloženost kroz vrednost objekta i zaliha, što je omogućilo određivanje odgovarajuće premijske stope.

Posmatrano na ovaj način, studija slučaja ilustruje nalaze iz komparativne analize: inženjerski i osiguravajući pristup prepoznaju ključne strukturne komponente rizika, ali u ograničenoj meri obuhvataju promene koje nastaju tokom eksploatacije objekta. U posmatranom slučaju nije utvrđen neuspeh u primeni postojećih modela procene, već je uočeno njihovo metodološko ograničenje – zasnovanost na statičkom sagledavanju rizika. Požarni rizik, naprotiv, ima izrazitu dinamičku komponentu, jer se menja u skladu sa promenama u korišćenju prostora, rutinskim ponašanjem zaposlenih i održavanjem preventivnih mera. Zbog toga se nameće potreba za razvojem pristupa koji omogućavaju kontinuirano praćenje rizika [13][14], umesto oslanjanja na jednokratnu procenu koja predstavlja samo trenutni presek stanja, ali ne i prediktivnu sliku mogućih odstupanja u realnom radu objekta. Razumevanje i sistemsko praćenje operativne discipline predstavlja ključni element u razvoju modela procene rizika koji će, pored tehničkih parametara, uzeti u obzir i dinamičku prirodu opasnosti tokom čitavog životnog ciklusa objekta.

5. DINAMIČKA PRIRODA POŽARNOG RIZIKA U SAVREMENOM UPRAVLJANJU: ZAVRŠNA RAZMATRANJA I SMERNICE

Procena požarnog rizika predstavlja osnovni korak u procesu upravljanja tim rizikom. Rezultati procene požarnog rizika imaju ograničenu vrednost ukoliko nisu integrisani u sistem upravljanja rizicima organizacije [7], budući da se požarni rizik ne može posmatrati kao statična karakteristika objekta, već kao promenljiva osobina sistema koja zavisi od stanja fizičke strukture objekta i njegovog okruženja, tehnoloških procesa koji se u njemu odvijaju i ponašanja ljudi uključenih u te procese. Promene u organizaciji rada, tehnološkim postupcima, količini i vrsti zapaljivih materijala, kao i u tehničkom stanju instalacija i sistema zaštite od požara, mogu tokom vremena značajno uticati na verovatnoću nastanka požara i na moguće posledice takvog događaja. Zbog toga se u savremenim pristupima upravljanju rizikom sve više naglašava potreba da se rizik posmatra kao dinamička kategorija koja se menja zajedno sa promenama sistema u kojem nastaje [12][13].

Savremeni pristupi upravljanju rizikom, zasnovani na principima standarda ISO 31000, naglašavaju potrebu za kontinuiranim praćenjem i unapređenjem mera zaštite. Pomenuti standard upravljanje rizikom definiše kao kontinuirani proces identifikacije, analize, evaluacije i tretmana rizika, uz stalno praćenje i preispitivanje njihovog razvoja. Takav pristup implicira da procena rizika ne može biti jednokratna aktivnost, već mora biti integrisana u sistem upravljanja.

Primena različitih analitičkih i organizacionih instrumenata za praćenje stanja sistema predstavlja važan element savremenog upravljanja požarnim rizikom. U tom kontekstu, smernice CFPA-E za upravljanje zaštitom od požara [14] predstavljaju praktičan model implementacije sistema upravljanja požarnim rizikom u organizacijama, koji transformiše statičnu procenu u kontinuirani proces prilagođen promenama u realnom okruženju.

Iako postoje razlike u metodama procene požarnog rizika, uslovljene ciljem i svrhom te procene, metode praćenja bi trebalo da integrišu i obuhvate sve pokazatelje koji na bilo koji način utiču na stanje rizika, da registruju promene tih pokazatelja, ukažu na neprihvatljive i preporuče poželjne prakse, a sve u cilju da se umanji verovatnoća ostvarenja rizika i da se ublaže posledice njegovog ostvarenja.

U dinamičkom praćenju rizika mogu učestvovati različiti akteri: pravni subjekti koji upravljaju procesima i resursima, regulatorna tela koja formiraju normativne okvire i — u rastućoj meri — osiguravači, čija je uloga da prepoznaju faktore koji povećavaju ili umanjuju rizik i da kroz razvoj instrumenata praćenja podrže organizacije u smanjenju ukupne izloženosti. Osiguravači time prevazilaze ulogu procenjivača i postaju partneri u upravljanju rizikom, kroz izradu smernica, alata za praćenje i preporuka za unapređenje praksi koje utiču na verovatnoću i posledice požara. Umesto pasivnog posmatranja rizika, oni mogu aktivno razvijati instrumente za praćenje operativne discipline i identifikovanje odstupanja od bezbednosnih procedura, čime bi se kreirali modeli tarifiranja koji prepoznaju suštinsku razliku između tehnički ispravnog i operativno stabilnog objekta. Ovakav pristup podrazumeva i podsticanje organizacija da uspostave interne mehanizme praćenja kroz sistem popusta, bonusa ili uslovnih premijskih modela, uz aktivno korišćenje nalaza iz stvarnih štetnih događaja za kontinuirano unapređenje smernica. Kroz blisku saradnju sa osiguranicima na razvijanju kulture bezbednosti, osiguravači ne samo da umanjuju izloženost sopstvenog portfelja, već direktno doprinose podizanju opšteg nivoa bezbednosti u privrednim sistemima.

U tom kontekstu, dinamički pristup upravljanju požarnim rizikom predlaže se kao kontinuirani ciklični model koji obuhvata nekoliko međusobno povezanih koraka.

1. *Inicijalna procena i uspostavljanje baznog rizika*: Model započinje sprovođenjem sveobuhvatne inicijalne procene rizika, zasnovane na tehničkim i organizacionim karakteristikama objekta. Ovaj korak definiše bazni nivo rizika i identifikuje ključne izvore opasnosti.
2. *Uspostavljanje sistema kontinuiranog praćenja i sistema ranog upozorenja:* Na inicijalnu procenu nadovezuje se uspostavljanje sistema kontinuiranog praćenja, koji se zasniva na definisanju i praćenju indikatora operativne discipline i tehničkog stanja sistema (npr. učestalost odstupanja od procedura, prisustvo zapaljivog otpada, poštovanje zabrane pušenja, stanje zaštitnih sistema, upravljanje zapaljivim materijalima…). Identifikovana odstupanja od prihvatljivih praksi predstavljaju osnov za aktiviranje sistema ranog upozorenja, čija je svrha da ukažu na povećanje rizika pre nego što dođe do njegovog ostvarenja. Time se omogućava pravovremena intervencija i korekcija uočenih nepravilnosti.
3. *Periodična reevaluacija i rekalkulacija rizika/premije*: Završni korak ciklusa čini periodična reevaluacija rizika, koja se ne zasniva isključivo na novoj tehničkoj proceni, već primarno na podacima prikupljenim tokom kontinuiranog praćenja. Na osnovu ovih podataka redefiniše se nivo rizika, prilagođavaju se preventivne mere, ali se vrši i korekcija elemenata osiguravajućeg odnosa, uključujući premijsku stopu i uslove osiguranja, čime se završava ciklus i uspostavlja nova bazna linija rizika za naredni period procene.

Na ovaj način, procena požarnog rizika prerasta iz jednokratne aktivnosti u kontinuirani upravljački ciklus. Predloženi konceptualni okvir povezuje statičke i dinamičke faktore,

uključujući operativnu disciplinu kao relevantnu varijablu, i stvara osnovu za ranije prepoznavanje odstupanja u realnom radu objekta. Njegova primena zahteva prethodnu operacionalizaciju indikatora i empirijsku proveru.

Doprinos ovog rada ogleda se u sledećem:

- sprovedena je komparativna analiza inženjerskih i osiguravajućih metoda procene požarnog rizika sa aspekta njihove osetljivosti na dinamičke faktore;
- uveden je i razrađen pojam operativne discipline kao relevantne dinamičke varijable koja može uticati na realni nivo požarnog rizika tokom eksploatacije objekata;
- kroz analizu primera iz prakse ukazano je na raskorak između formalno procenjenog i stvarnog rizika;
- argumentovana je potreba za pomakom ka kontinuiranom upravljanju požarnim rizikom, umesto oslanjanja na jednokratnu procenu stanja;
- predložen je konceptualni okvir koji transformiše procenu rizika iz statičkog "preseka stanja" u kontinuirani upravljački ciklus, integrišući inicijalnu procenu, sisteme ranog upozorenja (alert sisteme) i dinamičku rekalkulaciju premije osiguranja;
- rad postavlja osnovu za prelazak sa reaktivnog na proaktivni model upravljanja požarnim rizikom, naglašavajući potencijal digitalnih tehnologija (IoT, video-analitika) u realnom vremenu.

S tim u vezi, buduća istraživanja u ovoj oblasti treba usmeriti ka razvoju dinamičkih modela koji bi integrisali tehničke i ponašajne pokazatelje, uz detaljnu analizu uticaja ljudskog faktora u različitim okruženjima.

LITERATURA

[1] Aranđelović I., Rajić R., Savanović M. (2017). Postupci za procenu rizika od požara. *Procesna tehnika*, Volume 29, No. 2, pp. 24-29. https://doi.org/10.24094/ptc.017.29.2.24

[2] Zakon o zaštiti od požara. "Službeni glasnik RS", br. 111/2009, 20/2015, 87/2018 i 87/2018 - dr. zakoni

[3] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu industrijskih objekata od požara. "Službeni glasnik RS", br. 1/2018 i 81/2023

[4] Pravilnik o načinu izrade i sadržaju plana zaštite od požara Autonomne pokrajine, jedinice lokalne samouprave i subjekata razvrstanih u prvu i drugu kategoriju. "Službeni glasnik RS", br. 73/2010

[5] Laban, M., Ćosić, Đ., Bondžić, J., Novaković, T. (2017). *Osnove upravljanja rizikom od katastrofalnih događaja i požara* (1. izdanje), Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, FTN Grafički centar GRID

[6] Vidaković M. (2002). *Požar i osiguranje u industriji – priručnik*, Fahrenheit, Beograd

[7] Tošović, M.R. (2025). Društveno-modelski aspekti upravljanja rizicima od katastrofa u poslovnim procesima. *Sociološki pregled*, Volume 59, Number 1, pp. 373-398. https://doi.org/10.5937/socpreg59-50993

[8] Blagojević, M. Đ. (2018). *Projektovanje sistema za dojavu požara* (1. izdanje), AGM knjiga, Beograd

[9] Simmons D. C., Dauwe R., Gowland R., Gyenes Z., King A. G., Riedstra D., Schneiderbauer S. (2017). Qualitative and quantitative approaches to risk assessment. *Science for Disaster Risk Management 2017: Knowing better and losing less*, pp. 42–55, Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2788/688605

[10] Dârmon R. (2020). Probabilistic methods to assess the fire risk of an industrial building. *Procedia Manufacturing*, Volume 46, pp. 543-548. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.078.

[11] Ren S. (2012). Assessment on logistics warehouse fire risk based on analytic hierarchy process. *Procedia Engineering*, Volume 45, pp. 59–63, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.121

[12] Barua U., Mojtahedi M., Han H., Ansary M. A. (2026). Proactive building fire risk management: a conceptual framework. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, Volume 17 , pp. 1–17. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-07-2024-0081

[13] Barua U., Han H., Mojtahedi M., Ansary M. A. (2024). Integration of proactive building fire risk management in the building construction sector: a conceptual framework to understand the existing condition. *Buildings*, Volume 14, number 11, p. 3372, https://doi.org/10.3390/buildings14113372

[14] CFPA-E (2025). *Fire protection management system – CFPA-E Guideline No. 1:2025 F*. Confederation of Fire Protection Associations Europe. https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_01_2025_F.pdf

REGISTAR AUTORA

Autori su navedeni abecednim redom prezimena, sa afilijacijom navedenom u radu, punim ORCID identifikatorom i prvom stranom svakog njihovog rada u ovom zborniku.

Autor	Afilijacija	ORCID iD	Strana
Mehmed Batilović	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0001-5605-1112	100
Željka Beljkaš	Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crne Gora	0000-0002-1648-9512	48
Pavel Benka	Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija	0000-0001-6229-5180	100
Ljubomir Budinski	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0001-7816-0889	40
Igor Džolev	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0002-7622-7936	15
Ivona Krulanović	Agencija za projektovanje i planiranje, Nikšić, Crna Gora	0009-0006-5727-7651	48
Mirjana Laban	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0001-6557-3094	112
Petar Lazičić	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0009-0008-2589-7746	15
Goran Marinković	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0002-1923-1082	88
Strahinja Marinković	SM GEOINŽENJERING, Beograd, Srbija	–	88
Dario Marušić	Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije“ Kiseljak, Bosnia and Herzegovina	0009-0001-5205-070X	61
Jelena Mirjanić	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0009-0006-6608-056X	15
Žarko Nestorović	GEO STOP, Kladovo, Srbija	0000-0002-7928-7416	88
Semir Oglečevac	Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije“ Kiseljak, Bosnia and Herzegovina	0009-0006-7970-3674	61
Merima Orahovac	Univerzitet Donja Gorica, Fakultet primjenjene nauke, Podgorica, Crna Gora	–	100
Ljiljana Popović	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0002-9158-0148	112
Goran Radeka	PRO-ING, Novi Sad, Srbija	–	30
Đani Rahimić	Građevinski fakultet, Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Bosna i Hercegovina	0009-0004-0393-6610	23
Andrija Rašeta	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0002-4535-1379	15
Nikola Santrač	Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija	0000-0001-7183-8511	100
Nada Stajšić-Golijanin	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0009-0007-2594-8657	112
Stjepan Stanić	Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije“ Kiseljak, Bosnia and Herzegovina	0009-0003-3522-9040	61
Danilo Stipić	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0001-6557-5997	40
Milana Šećerov Hrnjez	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0009-0007-8053-246X	71

Autor	Afilijacija	ORCID iD	Strana
Jovana Topalić	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0001-7854-3257	61
Vladimir Vukobratović	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0002-2896-4501	30
Vladimir Živaljević	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija	0000-0002-2808-2664	15
Boban Županjac	Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu; Verdinvest d.o.o., Sremski Karlovci, Srbija	–	40

iNDiS 2026

O KONFERENCIJI

iNDiS 2026 je 17. međunarodna naučna konferencija u pedesetogodišnjoj tradiciji iNDiS-a, održana u hotelu Fruške Terme, Vrdnik, Srbija, od 4. do 6. novembra 2026. godine. Okuplja stručnjake iz prakse, akademsku zajednicu i istraživače iz oblasti konstrukcija i građevinarstva, geodezije i geoinformatike, arhitekture i urbanizma, kao i upravljanja rizikom od katastrofa i zaštite od požara, sa naglaskom na primeni novih znanja u građevinskoj praksi.

ORGANIZATOR

Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka
Departman za građevinarstvo i geodeziju
Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad

indis.gradjevinans.net

ISBN 978-86-6022-830-9