

16-17. novembar, Novi Sad, Srbija



16. Međunarodna naučna konferencija

integration
Novelty
Design
interdisciplinarity
Sustainability

Zbornik radova

Urednici: M. Trivunić, I. Džolev, M. Šešlija

16. Međunarodna naučna konferencija - integration, Novelty, Design, interdisciplinarity, Sustainability - Zbornik radova



DEPARTMAN ZA
GRAĐEVINARSTVO I
GEODEZIJU

iNDiS2023

16

iNDiS 2023

MEĐUNARDNA NAUČNA KONFERENCIJA
“Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability”

ZBORNIK RADOVA
Novi Sad, Srbija, 16-17. Novembar 2023.

| | |
|--|--|
| Urednici: | Milan Trivunić Igor Džolev Miloš Šešlija |
| Tehnička organizacija skupa: | Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad |
| Tehnički urednik zbornika radova: | Miloš Šešlija |
| Grafički dizajn: | Sara Koprivica |
| Štampa: | Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad |

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- katalogizacija u publikaciji
Biblioteke Mатице српске, Нови Сад

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

МЕЂУНАРОДНА научна конференција „Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability" (16 ; 2023 ; Нови Сад)

Zbornik radova [Elektronski izvor] / 16. međunarodna naučna konferencija „Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability" iNDiS 2023, Novi Sad, Srbija, 16-17. novembar 2023. ; [urednici Milan Trivunić, Igor Džolev, Miloš Šešlija]. - Novi Sad : Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, 2023

Način pristupa (URL): <https://indis.gradjevinans.net/>. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Opis zasnovan na stanju na dan 28.12.2023. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz svaki rad.

ISBN 978-86-6022-616-9

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

COBISS.SR-ID 134259977

PROGRAMSKI ODBOR

Milan Trivunić, predsedavajući
Srđan Kolaković
Igor Peško
Andrija Rašeta
Miloš Šešlija
Vladimir Mučenski
Ivan Lukić
Marko Marković
Dragana Konstantinović
Igor Džolev
Slobodan Kolaković
Senka Bajić

ORGANIZACIONI ODBOR

Igor Džolev, predsedavajući
Anka Starčev-Ćurčin
Vesna Bulatović
Vladimir Vukobratović
Milan Marinković
Jovana Topalić
Suzana Draganić
Goran Jeftenić
Đorđe Jovanović
Mehmed Batilović
Višnja Žugić
Tiana Milović
Slaviša Dumnić

NAUČNI ODBOR

Zoran Matijević, Kanada
Igor Džolev, Srbija
Miljana Zeković, Srbija
Anka Starčev-Ćurčin, Srbija
Darko Nakov, S. Makedonija
Damir Varevac, Hrvatska
Dušan Kovačević, Srbija
Paulo B. Lourenço, Portugal
Damir Markulak, Hrvatska
Sergio Ruggieri, Italija
Vladimir Vukobratović, Srbija
Slaviša Trajković, Srbija
Tahir Hanif, UK
Mitar Đogo, Srbija
Ksenija Janković, Srbija
Duško Lučić, Crna Gora
Milan Trivunić, Srbija
Asterios Liolios, Grčka
Vesna Bulatović, Srbija
Robert Pečenko, Slovenija
Zoran Brujić, Srbija
Mirjana Laban, Srbija
Michael C. Forde, UK
Dragan D. Milašinović, Srbija
Marko Mihić, Srbija

Gyorgy L. Balazs, Mađarska
Miha Tomažević, Slovenija
Biljana Šćepanović, Crna Gora
Marija Nefovska-Danilović, Srbija
Meri Cvetkovska, S. Makedonija
Ana Trombeva-Gavriloska, S. Makedonija
Tomaž Hozjan, Slovenija
Milos Knezevic, Crna Gora
Jelena Dobrić, Srbija
Koichi Kusunoki, Japan
Srđan Kolaković, Srbija
Nenad Fric, Srbija
Zoran Sušić, Srbija
Danijel Kukaras, Srbija
Mladena Luković, Holandija
Aleksandar Pavić, UK
Ana Baričević, Hrvatska
Sofija Kekez, Poljska
Ivan Ignjatović, Srbija
Luisa Giuliani, Danska
Chiara Bedon, Italija
Zlatko Marković, Srbija
Marijana Serdar, Hrvatska
Emina Hadžić, BiH
Bojana Grujić, BiH

iNDiS 2023

Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, organizuje šesnaestu međunarodnu naučnu konferenciju „iNDiS 2023” - integration, novelty, design, interdisciplinarity, sustainability. Od ove godine kreće izmenjeni format održavanja, te će se konferencija u budućnosti održavati na dve godine.

Prvi skup, održan 1976. godine, bio je na temu „Industrijska izgradnja stanova” zbog njene aktuelnosti u tom periodu. Kasnije su održavane konferencije sa nešto širom tematikom „Industrijalizacija građevinarstva”, da bi se ubrzo na skupu pojavili radovi iz svih oblasti graditeljstva, od urbanističkog planiranja i projektovanja objekata različitih namena, do održavanja i većih intervencija na izgrađenom graditeljskom fondu. To je uslovalo i proširivanje oblasti koje obuhvata ovaj skup, na kome, pored građevinskih inženjera, učestvuju urbanisti, arhitekte, inženjeri drugih struka, koji rade u graditeljstvu, sociolozi, ekonomisti i drugi.

Ova konferencija, kao i nekoliko prethodnih, obuhvata probleme planiranja, projektovanja, građenja i obnove graditeljstva, geodezije, geoinformatike i upravljanja rizicima od katastrofalnih događaja, što je naišlo na adekvatan odziv istraživača i inženjera različitih profila, iz naše zemlje i inostranstva.

Članovi međunarodnog naučnog komiteta aktivno su učestvovali u pripremi konferencije, i kao recenzenti i kao autori. Očekuje se da će prezentacije radova i diskusije na konferenciji omogućiti definisanje glavnih pravaca razvoja graditeljstva, u skladu sa savremenim trendovima, budući da je promovisano mnoštvo ideja i rezultata, eksperimentalnih i teorijskih istraživanja u oblastima graditeljstva.

Za ovu konferenciju, Zbornik radova se sastoji od dve knjige, i to Knjige 1. radovi na engleskom i Knjige 2. radovi na srpskom jeziku, što omogućuje bolju i plodniju komunikaciju i razmenu iskustava sa kolegama iz inostranstva.

Dodatno, od značaja je i mogućnost sklapanja novih i jačanja postojećih profesionalnih i kolegijalnih veza. Ove godine na konferenciji učestvuju autori iz 13 zemalja, a Zbornik Knjiga 1. sadrži 94 rada na engleskom, a Knjiga 2. sadrži 23 rada na srpskom jeziku, što je ukupno 117 radova.

Urednici svim autorima radova upućuju iskrenu zahvalnost na trudu, uloženom u pisanje radova i doprinosu ovom događaju.

Urednici Zbornika

SPONZORI KONFERENCIJE

PLATINASTI SPONZORI

- ❖ PROJECT BIRO UTIBER DOO NOVI SAD
- ❖ GAT DOO NOVI SAD

ZLATNI SPONZORI

- ❖ AXIS GRAĐEVINSKI BIRO DOO SREMSKA KAMENICA
- ❖ BECHTEL ENKA UK LIMITED OGRANAK BEOGRAD
- ❖ STRUCTURA CONCEPT

SREBRNI SPONZORI

- ❖ INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE
- ❖ ČELIK DOO BAČKI JARAK
- ❖ "JADRAN" D.O.O.
- ❖ ENERGOTEHNIKA JUŽNA BAČKA DOO NOVI SAD
- ❖ DELTA REAL ESTATE D.O.O. BEOGRAD
- ❖ AG INSTITUT DOO NOVI SAD

BRONZANI SPONZORI

- ❖ INSTITUT IMS AD BEOGRAD
- ❖ PRO-ING DOO NOVI SAD
- ❖ GRAĐEVINSKI INSTITUT CPL DOO VETERNIK
- ❖ TEAMCAD DOO BEOGRAD
- ❖ DEL ING DOO BEOGRAD
- ❖ DT MAPPING KRALJEVO
- ❖ ASIP PREVENT DOO NOVI SAD
- ❖ MHM-PROJEKT DOO NOVI SAD
- ❖ CAD SOLUTIONS DOO
- ❖ MAPEI SRB D.O.O. BEOGRAD
- ❖ GP BEST IZGRADNJA DOO NOVI SAD
- ❖ IGOR AJDUKOVIĆ PR IZGRADNJA STAMBENIH I NESTAMBENIH ZGRADA AJDUKOVIĆ GRADNJA SREMSKA KAMENICA
- ❖ DOO PUT-INVEST NOVI SAD
- ❖ ELITA-COP DOO BEOGRAD-ZEMUN

PRIJATELJI KONFERENCIJE

- ❖ GP GRADITELJ NS DOO
- ❖ KARIN KOMERC MD DOO VETERNIK
- ❖ GMP GRAMONT-NS DOO NOVI SAD
- ❖ MODERA DOO NOVI SAD
- ❖ ADOMNE DOO PROJEKTOVANJE I INJŽENJERING NOVI SAD
- ❖ A.D. "ROMANIJAPUTEVI" SOKOLAC
- ❖ HIDROZAVOD DTD AD NOVI SAD

- ❖ MBBM ING DOO ZA PROJEKTOVANJE, INŽENJERING, NADZOR I USLUGE
- ❖ VOJVODINAPUT-BAČKAPUT DOO NOVI SAD
- ❖ SAINT-GOBAIN GRAĐEVINSKI PROIZVODI DOO BEOGRAD
- ❖ AD VOJVODINAPROJEKT NOVI SAD
- ❖ BALDINISTUDIO INTERNATIONAL DOO NOVI SAD

SADRŽAJ**NAUČNI RADOVI**

| | |
|---|-----|
| Radojko Obradović REVIZIJA PROJEKATA KOJI SU OD ZNAČAJA ZA REPUBLIKU POSTUPCI I PREDLOZI SA UNAPREĐENJE | 11 |
| Petar Praštalo, Ljiljana Brajović i Dušan Prodanović MONITORING VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA KORIŠĆENJEM JEFTINIH SENZORA | 17 |
| Faris Trešnjo i Salko Kulukčija ANALIZA NOSIVOSTI SERPENTINASTOG ZIDA PRI DJELOVANJU SEIZMIČKOG OPTEREĆENJA PRIMJENOM „EXTREME LOADING FOR STRUCTURES“ SOFTVERA | 30 |
| Snežana Bajić i Marina Nikolić Topalović ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMENE RECIKLIRANOG ILI VEĆ KORIŠĆENOG ČELIKA U IZGRADNJI NOVOG OBJEKTA | 37 |
| Marijan Skazlić, Slobodan Lavrnić i Stipe Acalin SANACIJA MORSKE SKAKAONE U ZADRU | 47 |
| Petar Subotić, Duško Lučić i Mladen Muhadinović BOČNO-TORZIONO IZVIJANJE U DRUGOJ GENERACIJI STANDARDA EN 1933-1-1 | 58 |
| Ivana Drobnjak NUMERIČKA INTEGRACIJA DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA KRETANJA ZA LINEARNE SISTEME SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE KORIŠĆENJEM SOPSTVENOG MATLAB KODA | 66 |
| Dejan Marinković, Predrag Petronijević i Marija Ivanović KONTROLA PRODUKTIVNOSTI NA GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA ZASNOVANA NA KLJUČNIM RESURSIMA | 83 |
| Nevena Simić, Nenad Ivanišević i Diana Vrenešević PROCENA TROŠKOVA IZGRADNJE AUTO-PUTEVA: IDENTIFIKACIJA I ANALIZA PERCEPCIJA INVESTITORA O TROŠKOVNO UTICAJNIM PARAMETRIMA | 93 |
| Goran Milutinović i Rade Hajdin PROBNO OPTEREĆENJE MOSTOVA – DA LI JE POTREBNO? | 104 |
| Miloš Šešlija, Nebojša Radović i Marjan Matić PRIMENA SEDIMENTA U PUTARSTVU | 110 |
| Borko Miladinović, Slobodan Živaljević i Zvonko Tomanović KINEMATIČKO OPTEREĆENJE ŠIPOVA U SLUČAJU POJAVE LIKVEFAKCIJE U TEMELJNOM TLU TOKOM ZEMLJOTRESA | 116 |
| Zoran Stojadinović, Marija Ivanović i Jovan Stevanović POLU-AUTOMATSKA PRED-PROJEKTNJA PROCENA DINAMIKE, TROŠKOVA I RIZIKA ZA STAMBENE OBJEKTE | 133 |
| Ljubomir Vlaisavljević i Milica Radović MOSTOVI NA TRASI AUTOPUTA KUZMIN – SREMSKA RAČA | 144 |
| Marija Ivanović, Đorđe Nedeljković i Zoran Stojadinović FAKTORI KOJI DOPRINOSU KAŠNJENJU PROJEKTA IZ PERSPEKTIVE IZVOĐAČA RADOVA: STUDIJA SLUČAJA – GRAĐEVINSKI PROJEKTI PUTNE INFRASTRUKTURE U SRBIJI | 161 |

| | |
|--|-----|
| Miloš Žarković, Jasmina Četković i Miloš Knežević MODEL VJEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA NA PRIMJERU TRŽIŠTA NEKRETNINA U EU ZEMLJAMA | 173 |
| Jasmina Četković, Miloš Žarković i Nikola Knežević SOCIO-EKONOMSKA ANALIZA PROJEKTA IZGRADNJE OBILAZNICE: STUDIJA SLUČAJA | 187 |
| Miloš Ivaniš ULOGA I ZNAČAJ COST-BENEFIT ANALIZE U INVESTICIONOM MENADŽMENTU | 198 |
| Borko Miladinović, Zvonko Tomanović i Slobodan Živaljević SMJERNICE ZA PROCJENU OSJETLJIVOSTI TLA NA POJAVU LIKVEFAKCIJE TOKOM ZEMLJOTRESA | 209 |
| Bojana Mijatov, Miljana Vasić i Duška Prodanović ODNOS ARHITEKTURE I EMOCIJA NASTALIH PRILIKOM VANREDNIH STANJA IZAZVANIH SOCIJALNIM I PRIRODNIM NEPOGODAMA | 225 |
| Duška Prodanović, Bojana Mijatov i Miljana Vasić KONCEPT MIMETIZISA U SAVREMENOM ARHITEKTONSKOM DISKURSU | 241 |
| Miloš Debeljković, Lela Alempijević i Svetislav Vasić PROJEKTOVANJE, REKONSTRUKCIJA I IZGRADNJA ZGRADE SCHNEIDER ELECTRIC U OKVIRU KOMPLEKSA NOVKABEL NOVI SAD – HALA „UŽARA“ | 250 |
| Nedžad Mekić PRIMJENA ZAPREMINSKE METODE ZA ODREĐIVANJE UKUPNE GODIŠNJE ZAPREMINE EROZIONOG NANOSA KOJI SE PRODUKUJE U BUJIČNOM SLIVU NA PRIMJERU POTOKA KLADE | 263 |

SPONZORI

NAUČNI RADOVI

REVIZIJA PROJEKATA KOJI SU OD ZNAČAJA ZA REPUBLIKU POSTUPCI I PREDLOZI SA UNAPREĐENJE

Radojko Obradović¹

Rezime:

Prema Zakonu o planiranju i izgradnji (član 133.), definisani su projekti za koje građevinsku dozvolu izdaje nadležno ministarstvo, odnosno autonomna pokrajina. Reč je o najznačajnijim projektima, koji su po pravilu i najkopleksniji i velike investicione vrednosti (brane, auto putevi, mostovi, tuneli, železničke pruge, visoki objekti...), pa je potrebno posebnu pažnju obratiti kako na proces projektovanja, tako i na postupak revizije. Za potrebe revizije ove grupe projekta formira se Reviziona komisija. U postupku revizije suočavamo se sa brojnim problemima koje je moguće grupisati u nekoliko grupa, a prema karakteru. Cilj ovog rada je da doprinese definisanju problema i unapređenju procesa revizije, odnosno kao krajnji cilj podizanju kvaliteta projekata.

Ključne reči: Projekti, Republika, Autonomna pokrajina, revizija

REVIEW OF PROJECTS SIGNIFICANT TO THE REPUBLIC PROCEDURES AND SUGGESTIONS FOR IMPROVEMENT

Summary:

The Law of Planning and Construction (Article 133) defines projects for which the building permit is issued by the competent ministry or autonomous province. These projects are of the highest significance and are, as a rule, highly complex and of great investment value (dams, highways, bridges, tunnels, railways, tall buildings...). As such, it is necessary to pay close attention to the design process and review procedure. For these projects, a Review committee is formed. In the review process, we are faced with numerous issues which can be categorised by their nature. The overarching goal of this paper is to contribute to defining the problems and improving the review process, or, more broadly, raising the quality of projects.

Keywords: Projects, Republic, Autonomous province, review

1. Vanredni profesor, Arhitektonski fakultet u Beogradu, Republika Srbija, robradovic@hotmail.com

1. UVOD

U procesu projektovanja i izgradnje inženjere pre svega interesuje tehnička regulativa i po pravilu su zainteresovani za najefikasnija tehnička rešenja i metodologije i dinamiku izvođenja radova. I to je pravilan i ispravan pristup.

Ali čitav proces planiranja i obezbeđivanja saglasnosti i dozvola najčešće "krije" brojne prepreke i većina problema sa kojima se suočavamo tokom realizacije projekta upravo su rezultat ove grupe pitanja, a neuporedivo manje i ređe projektantskih i izvođačkih propusta (kojih ima u ne malom broju).

Oblast planiranja i izgradnje uređena je Zakonom o planiranju i izgradnji i brojnim podzakonskim aktima, odnosno tehničkim standardima. Ovaj rad fokusiran je na realizaciju projekata koji su od posebnog značaja za republiku i koji kao takvi imaju poseban tretman. Ovi projekti su po pravilu i najkompleksniji i najveće investicione vrednosti.

Član 133. Zakona definiše za koje projekte građevinsku dozvolu izdaje nadležno ministarstvo, odnosno samim tim i koji projekti prolaze posebnu proceduru.

U nastavku je citiran Član 133. u celosti, da bi se stekao utisak o kompleksnosti i raznolikosti projekata iz ove kategorije:

"Građevinsku dozvolu za izgradnju objekata izdaje ministarstvo nadležno za poslove građevinarstva (u daljem tekstu: Ministarstvo), ako ovim zakonom nije drugačije određeno.

Ministarstvo izdaje građevinsku dozvolu za izgradnju objekata i to:

1) visoke brane i rezervoari punjeni vodom, jalovinom ili pepelom za koje je propisan tehnički nadzor;

2) nuklearni objekti i drugi objekti koji se koriste za proizvodnju nuklearnog goriva, radioizotopa, zračenje, skladištenje radioaktivnih sirovina i otpadnih materijala za naučne i istraživačke svrhe;

3) objekti za preradu nafte i gasa koji se grade van eksploatacionih polja po prethodno pribavljenoj saglasnosti ministarstva nadležnog za poslove eksploatacije mineralnih sirovina, proizvodnju biogoriva i biotečnosti u objektima kapaciteta preko 100 t. godišnje, naftovode i produktovode, gasovode sa nominalnim radnim natpritiskom preko 16 bara, bunkere stacionarne i bunkerske plutajuće stanice za snabdevanje brodova i tehničkih plovila tečnim gorivom kapaciteta većeg od 500 m², naftu, tečni naftni gas i skladišta naftnih derivata kapaciteta preko 500 t koja se grade van eksploatacionih polja definisanih zakonom kojim se uređuju rudarsko-geološka istraživanja i magistralnih toplovoda;

4) objekti osnovne i prerađivačke hemijske industrije, crne i obojene metalurgije, objekti za preradu kože i krzna, objekti za preradu gume, pogoni za proizvodnju celuloze i papira i objekti za preradu obojenih proizvoda. metalne mineralne sirovine koje se grade van eksploatacionih polja definisanih zakonom kojim se uređuje rudarsko-geološka istraživanja, osim objekata za primarnu preradu ukrasnog i drugog kamena;

4a) biljka seveso i kompleks seveso;

5) stadioni za 20.000 i više gledalaca, objekti za sportske i druge manifestacije koji primaju više od 5.000 gledalaca, objekti konstruktivnog raspona preko 50 m, objekti visine preko 50 m, silosi kapaciteta preko 20.000 m³, ustanove za izvršenje krivičnih sankcija, objekti za službene potrebe diplomatsko-konzularnih predstavništava stranih država, odnosno kancelarija međunarodnih organizacija u Republici Srbiji, ako je to propisano bilateralnim sporazumom, objekti od značaja za bezbednost Republike Srbije (državna granica, policijski objekti i dr.) kao i višeporodični stambeni kompleksi kada je investitor Republika Srbija;

6) termoelektrana snage 10 MV i više, termoelektrana snage 10 MV i više i drugi objekti za proizvodnju električne energije snage 10 MV i više, kao i dalekovodi i trafo stanice. sa naponom od 110 kV i više;

7) međuregionalni i regionalni objekti vodosnabdevanja i kanalizacije, postrojenja za pripremu vode za piće kapaciteta preko 200 l/s i postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda kapaciteta preko 200 l/s;

8) regulacioni radovi na zaštiti gradskih i seoskih područja većih od 300 ha od velikih voda;

9) objekti u granicama nepokretnih kulturnih dobara od izuzetnog značaja i kulturnih dobara upisanih na Listu svetske kulturne i prirodne baštine, objekti u zaštićenoj sredini kulturnih dobara od izuzetnog značaja sa određenim granicama katastarskih parcela i objekti u zaštićenoj sredini. kulturnih dobara upisanih na Listu svetske kulturne i prirodne baštine, kao i objekata u zaštićenim područjima u skladu sa aktom o zaštiti kulturnih dobara (osim pretvaranja zajedničkih prostorija u stan, odnosno poslovnog prostora u zaštićenom prostoru). okruženje kulturnih dobara od izuzetnog značaja i kulturnih dobara upisanih na Listu svetske kulturne baštine), u skladu sa zakonom;

9a) objekti u granicama zaštićenog prirodnog područja prve i druge kategorije proglašeni aktom Vlade, u smislu odredaba zakona kojim se uređuje zaštita prirode (osim porodičnih stambenih, poljoprivrednih i privrednih objekata). , sa pripadajućom infrastrukturom, koji se grade u selima);

10) postrojenja za tretman neopasnog otpada, spaljivanjem ili fizičko-hemijskim postupcima, kapaciteta većeg od 70 t dnevno;

11) objekti za tretman opasnog otpada spaljivanjem, termičkim i/ili fizičkim, fizičko-hemijskim, hemijskim postupcima, kao i skladišta opasnog otpada i/ili deponije za odlaganje opasnog otpada;

12) aerodromi namenjeni za javni vazdušni saobraćaj;

13) putnička pristaništa, pristaništa, pristaništa marina i pristaništa na vodama prvog reda;

14) državne puteve prvog i drugog reda, putne objekte i saobraćajne veze sa ovim putevima i graničnim prelazima;

15) javna železnička infrastruktura sa priključcima i metroom;

16) elektronski komunikacioni objekti, odnosno mreže, sistemi ili sredstva od međunarodnog i magistralnog značaja i koja se grade na teritoriji dve ili više jedinica lokalne samouprave;

17) hidrograđevinski objekti na plovnim putevima;

18) plovne kanale i brodske prevodnice koji nisu deo hidroenergetskog sistema;

19) regionalne deponije, odnosno deponije za odlaganje neopasnog otpada za područje na kome živi preko 200.000 stanovnika;

20) objekti za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora energije snage 10 MV i više;

21) objekti namenjeni proizvodnji naoružanja i vojne opreme u smislu zakona kojim se uređuje oblast proizvodnje naoružanja i vojne opreme, kao i objekti za proizvodnju i skladištenje eksplozivnih materija;

22) zdravstvene ustanove sa smeštajnim kapacitetom od preko 500 ležajeva;

23) objekti koji se grade na teritoriji dve ili više jedinica lokalne samouprave;

24) objekti za skladištenje državnih robnih rezervi;

25) naučnoistraživački kampusi.“

2. PROBLEMI TOKOM POSTUPKA REVIZIJE

Posebnost postupka revizije projekata od značaja za republiku, definiše i postojanje posebne komisije koju obrazuje ministar nadležan za poslove građevinarstva (Član 131. Zakona o planiranju i izgradnji: Generalni projekat i idejni projekat, prethodna studija

opravdanosti i studija opravdanosti za objekte iz člana 133. ovog zakona podležu reviziji (stručnoj kontroli) od strane komisije koju obrazuje ministar nadležan za poslove građevinarstva (u daljem tekstu: revizijska komisija).).

U skladu sa zakonom, za projekte koji ispunjavaju dodatne uslove revizija može da se sprovodi i na nivou prokrajine i taj postupak se sprovodi pred komisijom koja se formira na nivou pokrajine.

Posebnim pravilnikom bliže je uređen postupak revizije i uslovi koji moraju da budu ispunjeni da bi se moglo biti u sastavu revizione komisije. Pored uslova definisanih pravilnikom vremenom je uspostavljena praksa da članovi komisije, moraju da budu stručnjaci sa velikim iskustvom u svojim oblastima da bi mogli da uspešno obave posao revizije i da blagovremeno ukažu na sve potencijalne probleme koji mogu da nastupe tokom realizacije ovako važnih projekata,

Na osnovu višegodišnjih iskustava, republička revizionna komisija godišnje obavi reviziju oko 100 projekata. Najveći broj projekat finansira se iz javnih sredstava, a određeni broj su i projekti koje investiraju privatni investitori.

Projekte iz ove kategorije moraju da rade posebno licencirana privredna društva. Događa se da pojedina tehnička rešenja nisu dovoljno dobra i u tim slučajevima projekti se vraćaju na doradu, tako da takvi slučajevi ne zahtevaju posebnu analizu.

Dosadašnja praksa u radu revizione komisije ukazuje da se ključni problemi sa kojima se susrećemo tokom postupka revizije, a mogu se smatrati problemima koja je moguće sistemski rešavati, mogu podeliti u nekoliko grupa:

- Problemi sa planskom dokumentacijom;

- Problemi sa projektnim zadatkom;

- Dugotrajni procesi izrade dokumentacije i promene propisa tokom tog perioda;

- Neekonomična projektantska rešenja;

- Nejasni propisi koji dopuštaju različita tumačenja.

2.1. PROBLEMI SA PLANSKOM DOKUMENTACIJOM

Preduslov za projektovanje je postojanje planskih rešenja. U zavisnosti od vrste projekta osnov se mora nalaziti u prostornim i/ili urbanističkim planovima, koji se donose po posebnim procedurama. Da bi na osnovu planova mogli da se izdaju odgovarajući lokacijski uslovi i kasnije građevinska dozvola, planovi moraju da sadrže detaljne informacije o objektu koji je predmet projekta.

I upravo je u toj činjeni ključ rešenja, odnosno problema. Koji obim planova je dovoljan i potreban uslov? Za projekte visokogradnje rešenje je relativno jednostavno. Problemi nastaju kod izgradnje velikih infrastrukturnih projekata (pre svega auto puteva i železničkih pruga). Razlozi su brojni.

Istražni radovi su u svakoj narednoj fazi projektovanja detaljniji i događa se da početne pretpostavke nisu zadovoljenje, te je potrebno korigovati određena tehnička rešenja.

Proračuni za potrebe idejnog rešenja ili idejnog projekta nisu dovoljno precizni pa je potrebno korigovati rešenja.

Prilikom izvođenja stanje na terenu ne odgovara projektovanom stanju i neophodne su promene.

Procedure izmena planova traju mesecima i sve izmene utiču na produženje rokova za projektovanje, a ako se potreba za izmenom planova pojavi tokom izvođenja radova, onda se prolongiraju rokovi za izvođenje sto ima pored ostalog i ozbiljne finansijske posledice.

Rešenje je u pažljivijem planiranju velikih projekata i paralelnom radu na projektovanju i izradi planova kako bi se svi bitni elementi obuhvatili planskim rešenima. Bilo je pokušaja da planovi sadrže samo minimalne informacije o projektu ili da se pokuša sa širim obuhvatima planova, ali su se obe ideje pokazale kao nedovoljno dobre. Problemi nastali ovakvim pristupom su u daljoj realizaciji projekta predstavljali daleko veću smetnju nego sto su bile koristi od ovakvog pristupa.

Veliki infrastrukturni projekti podrazumevaju faznost u realizaciji i od izuzetne je važnosti da se u svakoj od faza donose odgovarajuća rešenja, odnosno zaključci, čime se garantuje da će i krajnji rezultat biti optimalan.

2.2. PROBLEMI SA PROJEKTNIM ZADATKOM

Projektni zadatak je ključni dokumenta za komunikaciju investitora i projektanta. Trebalo bi da bude dovoljno precizan i detaljan i trebalo bi da odražava želju investitora.

Problemi nastaju ako investitor nije dovoljno stručan, pa projektni zadatak ili ne sadrži dovoljno podataka ili ne odražava ono što investitor stvarno želi i za čime ima potrebu. Ima i situacija da projektanti samo pišu projektni zadatak koji investitor formalno potpisuje.

Posledice su najčešće da tokom postupka revizije investitor zaključuje da projekat nije ono što je on želeo ili ne sadrži sve ono što je potrebno da bi se ispunila svrha projekta. Na jednom značajnom projektu investitor je zaključio da mu daleko više odgovara betonska od čelične konstrukcije... Posledice izmena na kraju procesa projektovanja su moguće, ali zahtevaju dodatno vreme i dodatna sredstva. A ako nema vremena ili sredstava onda se ostaje pri urađenom projektu, sa kojim niko nije zadovoljan.

Rešenje problema mora biti u afirmaciji značaja i važnosti projektnog zadatka. Mora se insistirati da velika javna preduzeća koja su inače i najveći investitori oforme i ojačaju grupe koje pripremaju i prate realizaciju projekata. Ako za to nemaju potrebe ili mogućnosti moraju se angažovati timovi stručnjaka koji će na odgovarajući način pripremiti predloge projektnih zadataka.

2.3. DUGOTRAJNI PROCESI IZRADE DOKUMENTACIJE I PROMENE PROPISA TOKOM TOG PERIODA

U javnom sektoru obavezujuća je primena Zakona o javnim nabavkama i dešava se da izbor projekatata traje dugo. Nakon toga sve faze projektovanja, od idejnog rešenja, preko dobijanja lokacijskih uslova, na dalje zahtevaju dodatno vreme koje se ne retko meri mesecima i godinama. Događa se da se tokom tog procesa menjaju zakoni, podzakonska akta i tehnički propisi.

Usvajanje Pravilnika za građevinske konstrukcije donelo je brojne pozitivne promene u procesu projektovanja. Prelazne odredbe definisale su status projekata koji su u proceduri. Ali se i dalje pojavljuju projekti čija je izrada započela pre krajnjih rokova predviđenih pravilnikom. A u više slučajeva fazne izgradnje pojedine faze su izvedene pre stupanja na snagu pravilnika.

Rešenje se mora tražiti u definisanju dovoljno dugih prelaznih rokova i jasno definisanih objektivnih uslova za primenu propisa, odnosno jasno navedenih slučajeva u kojima važe izuzeća.

2.4. NEEKONOMIČNA TEHNIČKA REŠENJA

Zakon o budžetskom sistemu obavezuje da se prilikom realizacije investicija iz javnih sredstava poštuju principi efikasnosti, ekonomičnosti i efektivnosti. Kako svi propisi definišu minimalne uslove za projektovanje, postoje slučajevi da pojedina tehnička rešenja prevazilaze minimalne potrebne uslove (bez jasnih obrazloženja) i da su daleko skuplja od optimalnih.

U slučaju da je reč o privatnim investicijama, Investitor može da se izjasni da je to njegova želja i da takav projekat dobije potrebnu saglasnost.

Za slučaj finansiranja iz javnih sredstava načela zakona o budžetskom sistemu su obavezujuća i potrebno je da se projekti prilagode i da se primene optimalna rešenja. Bilo je više slučajeva da projekti nisu dobili potrebnu saglasnost iz razloga neopravdano visoke cene.

Rešenje je praćenje realizacije projekata i aktivno učešće Investitora tokom procesa projektovanja, a ne uključivanje na kraju, tako da je proces kontrolisan i praćen. Na taj način obezbediće se i optimalnost krajnjeg rezultata.

2.5. NEJASNI PROPISI KOJI DOPUŠTAJU RAZLIČITA TUMAČENJA

U Srbiji su u primeni brojni tehnički propisi. Dovoljno je pogledati raznovrsnost projekata koji su predmet revizije i lako se da zaključiti koliki je broj propisa koji su u primeni. Neki su i veoma stari. Događa se da pojedine odredbe mogu da se različito tumače ili su norme iz raličitih propisa u koliziji.

Na brojnim projektima imali smo ovakve slučajeve. Rešenja datih situacija zahtevala su ogromno vreme i energiju.

Ovakve situacije se događaju, ali rešenje mora biti u uspostavljanju mehanizama za brzo reagovanje i efikasno usvajanje izmena i dopuna propisa i otklanjanje svih nejasnoca, To podrazumeva efikasnu saradnju svih institucija zaduženih za donošenje propisa, fakulteta, strukovnih organizacija i Inženjerske komore.

3. ZAKLJUČAK

Proces realizacije projekata podrazumeva faznost. Za uspešno planiranje i realizaciju projekata vazno je aktivno učešće svih aktera tokom čitavog procesa. I važno je da se tokom procesa u svakoj fazi realizuju svi ciljevi predviđeni za tu fazu.

Saradnja strukovnih udruženja, fakulteta, komora i državnih instucija je ključna za otklanjanje problema i unapređenje struke.

LITERATURA

- [1] Zakon o planiranju i izgradnji („Službeni glasnik Republike Srbije“, br. 72/2009, 81/2009 i ispr. Odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 – odluka US 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 – dr. Zakon, 9/2020, 52/2021, 62/2023);
- [2] Zakon o budžetskom sistemu („Službeni glasnik RS“, br. 54/2009, 73/2010, 101/2010, 101/2011, 93/2012, 62/2013, 63/2013 - ispravka, 108/2013, 142/2014, 68/2015 - dr. zakon, 103/2015, 9/2016, 113/2017, 95/2018, 31/2019, 72/2019, 149/2020, 118/2021, 118/-2021 - dr. zakon i 138/2022) – nezvanično prečišćen tekst redakcije Službenog glasnika.

MONITORING VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA KORIŠĆENJEM JEFTINIH SENZORA

Petar Praštalo¹, Ljiljana Brajović², Dušan Prodanović³

Rezime:

Vlažnost zemljišta je jedan od važnijih parametara u modeliranju i analizi podzemnih voda, poljoprivredi, ekologiji i sl. Monitoring vlažnosti omogućava upravljanje vodno-vazдушnim režimom zemljišta čime se obezbjeđuju bolji uslovi za razvoj biljaka i povećanje prinosa. Određivanje vlažnosti zemljišta laboratorijskim metodama zahtijeva značajna materijalna sredstva kao i određeno vrijeme. Razvojem tehnologije danas su dostupni relativno jeftini senzori koji omogućavaju na vrlo efikasan način monitoring vlažnosti na terenu. U ovom radu istražena je mogućnost korišćenja jeftinih senzora za mjerenje vlažnosti na uzorku humusa u laboratorijskim uslovima. Urađena je kalibracija senzora za analizirani uzorak zemljišta korišćenog u eksperimentu na kojem je sprovedeno mjerenje vlažnosti, a rezultati sprovedenog istraživanja provjereni su pomoću Hydrus 1D modela.

Ključne riječi: Vlažnost zemljišta, mjerenja, senzori, kalibracija, Hydrus 1D.

SOIL MOISTURE MONITORING USING OF LOW-COST SENSORS

Summary:

Soil moisture is one of the most important parameters in groundwater modeling and analysis, agriculture, ecology, etc. Moisture monitoring enable managing the water-air regime of the land, which provides better conditions for plant development and increase yields. Determining of soil moisture by laboratory method requires significant material resources as well a certain period of time. Nowadays, relatively low-cost sensors are available that enable very efficient moisture monitoring in situ. In this paper, the possibility of using low-cost sensors to measure on a hummus sample in laboratory conditions was investigated. The calibration of the sensor was done for the analysis soil sample used in the experiment where moisture was measured, and the results of the research were checked using the Hydrus 1D model.

Key words: soil moisture, measurements, sensors, calibration, Hydrus 1D

¹ Student DAS, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, petar.prastalo@aggf.unibl.org

² Vanr. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, brajovic@grf.bg.ac.rs

³ Red. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, dprodanovic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Poljoprivreda se suočava sa nekoliko izazova da iskoristi raspoložive resurse na ekološki održivi način [1]. Jedan od najznačajnijih je razvoj održivog upravljanja vodama. Moderne tehnologije sa mogućnostima prikupljanja podataka u realnom vremenu igraju važnu ulogu u praćenju vlage u zemljištu [1]. Precizne i brze procjene sadržaja vlage u zemljištu u svrhu planiranja navodnjavanja su od suštinskog značaja. One se mogu ostvariti kroz kontinuirano praćenje sadržaja vlage u zoni korijena biljaka, što se može postići putem automatskih senzora vlage u zemljištu [2]. Komercijalni senzori vlage u zemljištu još uvijek su skupi za upotrebu od strane poljoprivrednika, posebno u zemljama koje su u razvoju [1]. Korišćenje jeftinijih kapacitivnih senzora vlage baziranih na Arduino platformi mogu da se postignu prihvatljivi rezultati. Ohrabruje činjenica da se tačnost senzora vlage poboljšava, dok im cijena opada, što svakako za posljedicu ima sve češće korišćenje ovih senzora u monitoringu vlage [3]. Infiltracija vode i vlažnost zemljišta, izaziva veliko interesovanje kod različitih istraživača, a posebno u oblasti poljoprivrede. Kao važna komponenta hidrološkog ciklusa, infiltracija ima ključnu ulogu u ublaženju rizika od poplava, kontroli kontaminacije podzemnih voda i snabdijevanju vodom [4]. Infiltracija zemljišta takođe može uticati na površinsko oticanje uslijed padavina, što za posljedicu može dovesti do erozije zemljišta. U oblasti poljoprivrede ona utiče na rast i razvoj biljaka kao i prinos poljoprivrednih kultura. Istraživanje infiltracije i vlage može da doprinese zaštiti i obnovi zemljišta za održivi razvoj životne sredine [4].

U ovom radu analizirana je mogućnost korišćenja jeftinih kapacitivnih senzora vlage na jednom laboratorijskom eksperimentu u slučaju vertikalne infiltracije. Simulirani su prirodni uslovi kišenja, gdje je kao zemljište korišćen uzorak humusa, koji je najčešći tip zemljišta korišćen za potrebe poljoprivrede [5]. Monitoring vlage vršen je pomoću tri kapacitivna senzora, koji su postavljeni na različitim mjernim mjestima po visini uzorka i to: 7, 12 i 17 cm, što odgovara dubini korijena biljaka.

Prije izrade eksperimenta urađena je kalibracija kapacitivnih senzora na osnovu postupka opisanog u dijelu 2.2., a sve u cilju dobijanja kalibracionih krivih koje odgovaraju uzorku humusa, kako bi na adekvatan način reprezentovale vlažnost u zavisnosti od vrijednosti izlaznog signala.

Pored sprovedenog laboratorijskog eksperimenta urađeno je i numeričko modeliranje vertikalne infiltracije i promjene vlažnosti zemljišta koji odgovaraju uslovima kao i na eksperimentu u cilju provjere dobijenih eksperimentalnih rezultata. Modeliranje je urađeno u programu Hydrus 1D, koji je namijenjen kretanju vode i rastvora u zasićenim sredinama, i koji ima široku primjenu u praksi [6]. Parametri zemljišta korišćeni u modelu, koji odgovaraju humusu u cilju provjere dobijenih eksperimentalnih rezultata preuzeti su iz literature, a kao mjera slaganja mjerenih i modeliranih podataka korišćena je srednja relativna greška [7]. Poređenje mjerenih i modeliranih rezultata imao je za cilj da se provjeri da li korišćeni kapacitivni senzori vlage mogu vjerodostojno da registruju dinamiku promjene vlage u slučaju vertikalne infiltracije što bi odgovaralo prirodnim uslovima.

2. MATERIJAL I METODE

Vlažnost zemljišta je važan parametar u rastu i razvoju poljoprivrednih kultura i zavisi uglavnom od fizičkih svojstva zemljišta i vremenskih uslova [8]. Gravimetrijska metoda je najtačnija za mjerenje sadržaja vode u zemljištu, iako je destruktivna, naporna, i ne pruža podatke o vlažnosti u realnom vremenu [8]. Sve češće se koriste indirektno metode, čija mjerenja variraju u zavisnosti od vlage u zemljištu, a takođe imaju i

različite karakteristike u pogledu cijene, tačnosti, rezolucije vremena odziva i parametara mjerenja povezanih sa sadržajem vode u zemljištu [8].

Sadržaj vode ili vlažnost zemljišta w , se definiše kao odnos između mase vode m_w i mase suvog uzorka m_d , obično se izražava u procentima, a može se prikazati kao [3]:

$$w = \frac{m_w}{m_d} = \frac{(m_s - m_d)}{m_d} \times (100)\% \quad (1)$$

gdje korišćene oznake imaju sledeća značenja: w – vlažnost zemljišta, m_s – masa vlažnog uzorka, m_w – masa vode, m_d – masa suvog uzorka.

Često se sadržaj vlage definiše na osnovu zapreminskog sadržaja vlage, definisan na sledeći način [3]:

$$\theta = \left(\frac{m_s - m_d}{m_d} \right) \cdot \frac{\rho_{d,s}}{\rho_w} \times (100)\% \quad (2)$$

gdje je: m_s – masa vlažnog uzorka, m_d – masa suvog uzorka, $\rho_{d,s}$ – gustina suvog uzorka, ρ_w – gustina vode.

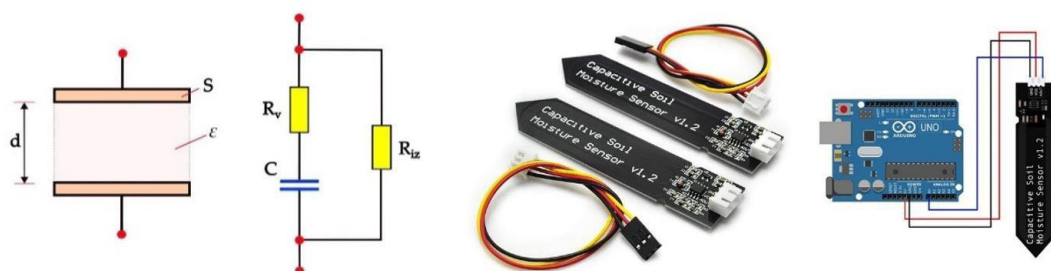
2.1. ARDUINO PLATFORMA I KORIŠĆENI SENZORI

Arduino je elektronska platforma otvorenog koda, koja se bazira na jednostavnom korišćenju hardvera i programa (softvera). U ovom istraživanju korišćena je Arduino Uno pločica, koja može čitati dolazeće podatke, s bilo kog senzora. Osim čitanja ima i mogućnost slanja izlaznih izmjerenih i preračunatih podataka, kako bi vidjeli rezultate na ekranu i sačuvali za naknadnu obradu [9]. Upravljanje pločicom je moguće putem grupe instrukcija, koje se šalju mikrokontroleru, koji se nalazi na pločici. Pisanje koda se obavlja pomoću Arduino Ide programa, koji je baziran na C++. Osnovne prednosti Arduina su: niska cijena, rad na više platformi, jednostavno programsko okruženje, otvorenost koda i prošireni program [9].

Kapacitivni senzori su relativno jeftini na tržištu (cijena im je oko 5€) i imaju mogućnost povezivanja sa Arduino Uno platformom. Dvije metalne ploče između kojih se nalazi dielektrik (izolacioni materijal), grade pločasti kondenzator, čija kapacitivnost može da se odredi na sledeći način [10]:

$$C = \frac{\epsilon_o \cdot \epsilon_r \cdot S}{d} \quad (3)$$

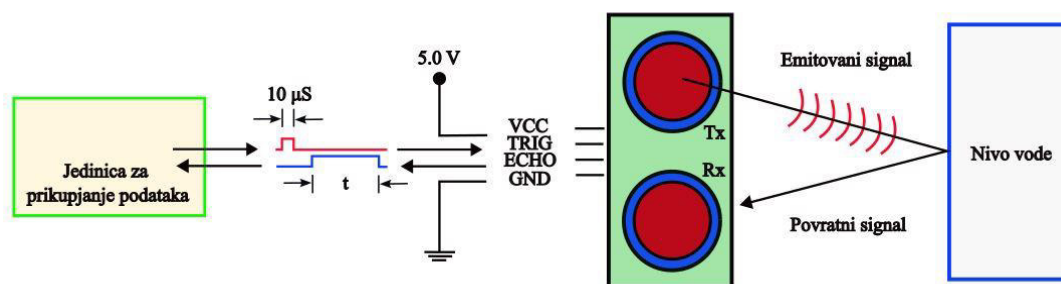
gdje su: C – kapacitivnost, ϵ_o – dielektrična konstanta vakuma, ϵ_r – relativna dielektrična konstanta materijala, S – površina ploče, d – rastojanje između ploča. U eksperimentu je korišćen Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, proizvođača DFRobot, koji ima strukturu planarnih kondenzatora i čija je kapacitivnost linearno srazmjerna relativnoj dielektričnoj konstanti materijala u kome se nalazi [11]. Izgled, struktura kapacitivnog senzora i njegovo ekvivalentno električno kolo prikazani su na Slici 1, zajedno sa povezivanjem na Arduino Uno pločicu [3].



Slika 1. Prikaz i električna šema kapacitivnog senzora (lijevo) i povezivanje na Arduino Uno pločicu (desno) [3]

Vlaga u zemljištu mijenja ϵ_r , relativnu dielektričnu konstantu zemljišta. Senzor mjeri tu promjenu kapacitivnosti i korišćenjem kalibracione krive određuje se sadržaj vlage u zemljištu. Neke od osnovnih karakteristika senzora koje daje proizvođač su: analogni izlaz, otpornost na koroziju i imaju opseg rada od 3.3 do 5.0 V [10].

Pored senzora za mjerenje vlažnosti korišćen je i ultrazvučni senzor za mjerenje nivoa vode u rezervoaru prilikom kišenja, tokom trajanja eksperimenta. Radi se o ultrazvučnom senzoru HC – SR04, koji je namijenjen za mjerenje udaljenosti. Osnovni princip rada ovog senzora je u mjerenju proteklog vremena između trenutnog slanja zvučnog impulsa i prijema povratnog zvučnog impulsa koji se reflektovao od površine čiji se nivo mjeri (eho). Na Slici 2 je šematski prikazan principa rada ultrazvučnog senzora HC – SR04 [12].



Slika 2. Šema principa rada ultrazvučnog senzora HC – SR04 [12]

Korišćenjem brzine prostiranja zvuka u vazduhu moguće je doći do udaljenosti između senzora i nivoa vode na osnovu jednačine [12]:

$$d(t, c) = \frac{t \cdot c}{2} \text{ (m)} \quad (4)$$

korišćene su sledeće oznake: d – udaljenost od senzora do nivoa vode (m), t – vrijeme putovanja signala od senzora do nivoa vode i nazad (s), c – brzina prostiranja zvuka u vazduhu (m/s). Posebnu pažnju treba obratiti na brzinu prostiranja zvuka, koja u velikoj mjeri zavisi od temperature vazduha, vlažnosti vazduha i pritiska, što može da utiče na rezultat mjerenja kada se mjerenja rade duže. Ukoliko zanemarimo vlažnost i pritisak vazduha brzina zvuka se može odrediti na osnovu temperature vazduha [12]:

$$c = 331.45 \sqrt{\frac{\tau + 273.15}{273.15}} \text{ (m/s)} \quad (5)$$

gdje je τ – temperatura vazduha ($^{\circ}\text{C}$). Mogući mjerni opseg rada ultrazvučnog senzora je od 2 do 400 cm, i izlazni ugao pod kojim se šalje signal je 15° . U ovom radu korišćeni mjerni opseg je od 30 do 45 cm.

2.2. KALIBRACIJA KAPACITIVNIH SENZORA

Kalibracija je uobičajen postupak pomoću kojeg se formira funkcionalna zavisnost između izlaznog signala i vlažnosti zemljišta. Ova zavisnost nam služi da na osnovu poznatog signala odredimo vlažnost zemljišta. Prilikom određivanja ove zavisnosti formira se funkcionalna zavisnost koja je obično linearna, ili polinom određenog stepena, u zavisnosti od raspoloživih podataka i vrste zemljišta.

Korišćeni uzorak zemljišta u ovom eksperimentu je humus, koji je obično zastupljen na poljoprivrednim površinama, i u ukupnoj mješavini sadrži zrna prečnika do 0.02 mm, tako da je procenat sadržaja čestica od 0.01 – 0.02 mm iznosi 20%, dok je sadržaj čestica manjih od 0.01 mm iznosi 80%. Pošto se radi eksperiment sa „jeftinim“

senzorima koje su osjetljive na vrstu zemljišta (posebno sadržaja glinovitih čestica), potrebno je kalibraciju raditi sa istim zemljištem u kojem će se sprovoditi i mjerenja.

Kalibracija senzora podrazumijevala je sledeće [13]:

- sušenje uzorka na temperaturi od 105 °C sve do konstantne mase, odnosno dok sva voda ispari iz uzorka i uzorak bude potpuno suh,
- nakon sušenja uzorka potrebno je isti ohladiti na sobnoj temperaturi od 20 °C,
- sledeći korak je sipanje uzorka u graduisanu posudu i mjerenje njegove mase u suvom stanju. Oduzimanjem mase posude dobijamo masu suvog uzorka,
- nakon toga u uzorak dodajemo poznatu količinu (masu) vode i mjerimo zajedno masu uzorka, graduisane posude i masu vode koju smo dodali uzorku, pri čemu je potrebno izvršiti homogenizaciju uzorka zajedno sa vodom,
- u ovako pripremljen uzorak ugrađujemo kapacitivni senzor i očitavamo izlazni signal na računaru,
- dalje nastavimo sa dodavanjem nove količine vode i ponovo uradimo homogenizaciju uzorka i ugrađujemo kapacitivni senzor i ponovno očitavamo izlazni signal i to ponavljamo za nekoliko vlažnosti.

Opseg vlažnosti u sprovedenoj kalibraciji je rasponu od 0 – 60%, odnosno dobijeno je u prosjeku oko 8 mjernih tačaka u cilju formiranja funkcionalne zavisnosti.

2.3. MODELIRANJE KRETANJA VODE U NEZASIĆENOJ SREDINI

2.3.1. Matematički model vertikalne infiltracije

Vertikalna infiltracija kroz nezasićenu poroznu sredinu se objašnjava bilansnom jednačinom u integralnoj formi koja opisuje promjenu zapreminske vlažnosti θ [-] unutar kontrolne zapremine u vremenu t , nastalu uslijed razlike fluksa q [m/s] na njenom ulazu i izlazu [14]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} \quad (6)$$

Ukoliko se izraz zamjeni u izraz za Darcy-jev zakon u nezasićenoj sredini, dobija se osnova jednačina prostornog strujanja u nezasićenoj sredini u diferencijalnom obliku [14]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\theta) \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} \right) \quad (7)$$

Pri čemu je H – ukupan potencijal (pijezometarska kota), a $K(\theta)$ – koeficijent filtracije u nezasićenoj sredini. S obzirom da se infiltracija može posmatrati kao linijski problem u vertikalnom pravcu, prva dva člana na desnoj strani jednačine mogu da se zanemare. Uvođenjem u izraz kapilarnog potencijala φ (kapilarni potencijal se definiše kao visina pritiska u nezasićenoj sredini $\varphi = p_v / \rho g$, gdje je p_v – pritisak, ρ – gustina vode i g – gravitaciono ubrzanje), jednačina se svodi na poznatu Richards-ovu jednačinu [14]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \quad (8)$$

Jednačina (8) je parcijalna diferencijalna jednačina drugog reda pri čemu su nepoznate kapilarni potencijal, koeficijent filtracije i vlažnost zemljišta. Jednačina se rješava numerički pri čemu je potrebno analitički (ili tabelarno) definisati zavisnost kapilarnog potencijala i koeficijenta filtracije od sadržaja vlage. Na osnovu brojnih mjerenja za različite tipove zemljišta više autora je pokušalo da uopšti dobijene rezultate i da predloži parametarske funkcije, kojima je moguće aproksimovati dobijene zavisnosti [15]. U ovom radu korišćeni su parametri Vangenuhtena, pri čemu se sadržaj vlage prvo svodi na efektivnu vrijednost zasićenosti [16]:

$$S_{eff} = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_z - \theta_r} \quad (9)$$

gdje je: θ – vlažnost zemljišta, θ_r – rezidualni sadržaj vlage, θ_z – sadržaj vlage pri zasićenju. Funkcionalna zavisnost za kapilarni potencijal je tada [16]:

$$\frac{p_v}{\rho g} = \varphi = \frac{1}{\alpha} (S_{eff}^{-1/m} - 1)^{1/n} \quad (10)$$

gdje su parametri zemljišta α i N , dok je parametar m definisan kao $m = 1 - 1/n$. Koeficijent filtracije u nezasićenoj sredini može da se izrazi kao [16]:

$$K(\theta) = K \cdot \kappa_r(\theta) \quad (11)$$

gdje je $\kappa_r(\theta)$ – relativni koeficijent filtracije, koji može da ima vrijednost između 0 (pri rezidualnom sadržaju vlage) i 1 (pri potpunom zasićenim uslovima). Relativni koeficijent filtracije definiše se preko sledećeg izraza [16]:

$$\kappa_r(\theta) = \sqrt{S_{eff} \cdot [1 - (1 - S_{eff}^{1/m})^m]^2} \quad (12)$$

Navedene funkcionalne zavisnosti su kontinualne u čitavom opsegu kapilarnog potencijala, što ih čini izuzetno pogodnim za primjenu prilikom numeričkog modeliranja u nezasićenoj sredini [16].

2.3.2. Numerički model

Numeričko rješavanje Richards-ove jednačine infiltracije u vertikalnom pravcu podrazumijeva da se jedan od tri standardna oblika koristi u zavisnosti od problema koji se rješava. Prvi oblik jednačine je takvog oblika u kojem je ukupan potencijal baza jednačina (13), dok je drugi oblik takav da je u njemu vlažnost zemljišta baza, jednačina (14), a treći oblik je mješoviti oblik u kojem je ukupan potencijal i vlažnost zemljišta baza, jednačina (15) [15]:

$$C(h) \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial H}{\partial z} \right] + \frac{\partial K}{\partial z} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] + \frac{\partial K}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

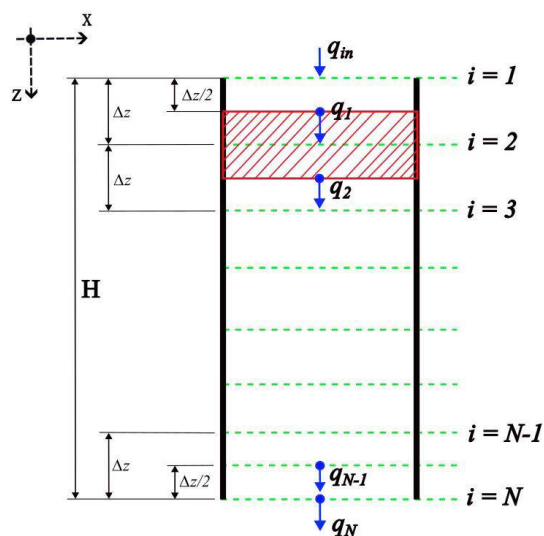
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial H}{\partial z} \right] + \frac{\partial K}{\partial z} = 0 \quad (15)$$

gdje je: H – ukupan potencijal (pijezometarska kota) [m], θ – vlažnost zemljišta [-], $C(h) = d\theta/d\varphi$ – specifični kapacitet zemljišne vlage [1/m], K – koeficijent filtracije [m/s], $D(\theta)$ – kapilarna difuzija [m²/s] i z – vertikalna koordinata (smjer pozitivna prema dole) [m].

Richards-ova jednačina je nelinearna parcijalna diferencijalna jednačina koja nema analitičko rješenje, već se do istog dolazi numerički. Za rješavanje se obično koristi metoda konačnih razlika u implicitnom ili eksplicitnom obliku. Metodom konačnih razlika, dolazi se do sledećeg numeričkog modela [17], [18]:

$$C_i^j \frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{\Delta t} = \frac{q_{i-1}^j - q_i^j}{\Delta z} = \frac{K_{i+1/2}^j \left(\frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta z} - 1 \right) - K_{i-1/2}^j \left(\frac{h_{i+1}^j - h_{i-1}^j}{\Delta z} - 1 \right)}{\Delta z} \quad (16)$$

Pri čemu indeks j označava tekući, $j-1$ prethodni vremenski korak. Jednačina važi za svaki vremenski korak j i prostorni presjek i . Na sledećoj slici se prikazuje računski šema za proračun po metodi konačnih razlika.



Slika 3. Računska šema za proračun vertikalne infiltracije po metodi konačnih razlika [16]

2.3.3. Program Hydrus 1D

Na osnovu prethodno opisanog matematičkog i numeričkog modela vertikalne infiltracije, model vertikalne infiltracije urađen je u programskom paketu Hydrus 1D, koji je namijenjen za analizu kretanja vode i rastvora u nezasićenim, djelimično zasićenim ili potpuno zasićenim sredinama. Protok se može odvijati u vertikalnom, horizontalnom ili generalno nagnutom pravcu [6].

Za numeričko rješavanje kretanja vode kroz poroznu sredinu i rješavanje jednačina transporta koristi linearnu šemu konačnih razlika, uz unos ulaznih podataka i definisanje graničnih uslova. Pored ulaznih podataka, program ima integrisan izbor hidrauličkog modela, odnosno izbor zavisnosti kapilarnog potencijala i koeficijenta filtracije od sadržaja vlage, od kojih su neki Van Genuchten – Mualem, Brooks – Gorey, Kosugi (log-normal) [19]. U ovom radu, parametri modela preuzeti su iz literature za uzorak humusa koji je korišćen u ovom eksperimentu i prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Parametri humusa korišćeni u Hydrus 1D programu [6]

| Parametar | Vrijednost |
|--------------------------------------|------------|
| Dubina sloja - d (cm) | 17.0 |
| Rezidualna vlažnost - θ_r (-) | 0.22 |
| Vlažnost zasićenja - θ_z (-) | 0.49 |
| α (-) | 0.124 |
| n (-) | 2.28 |
| $K(\theta)$ (cm/min) | 0.52 |

U modelu su korišćeni sledeći granični uslovi: atmosferski pritisak na površini uzorka zemljišta, odnosno sa gornje strane uzorka (*Atmospheric BC with surface layer*), dok je sa donje strane definisan granični uslov u vidu slobodnog dreniranja (*Free drainage*).

2.3.4. Provjera slaganja rezultata

Kao mjera slaganja modeliranih rezultata u odnosu na mjerene podatke određena je srednja relativna greška, definisana pomoću sledeće jednačine [15]:

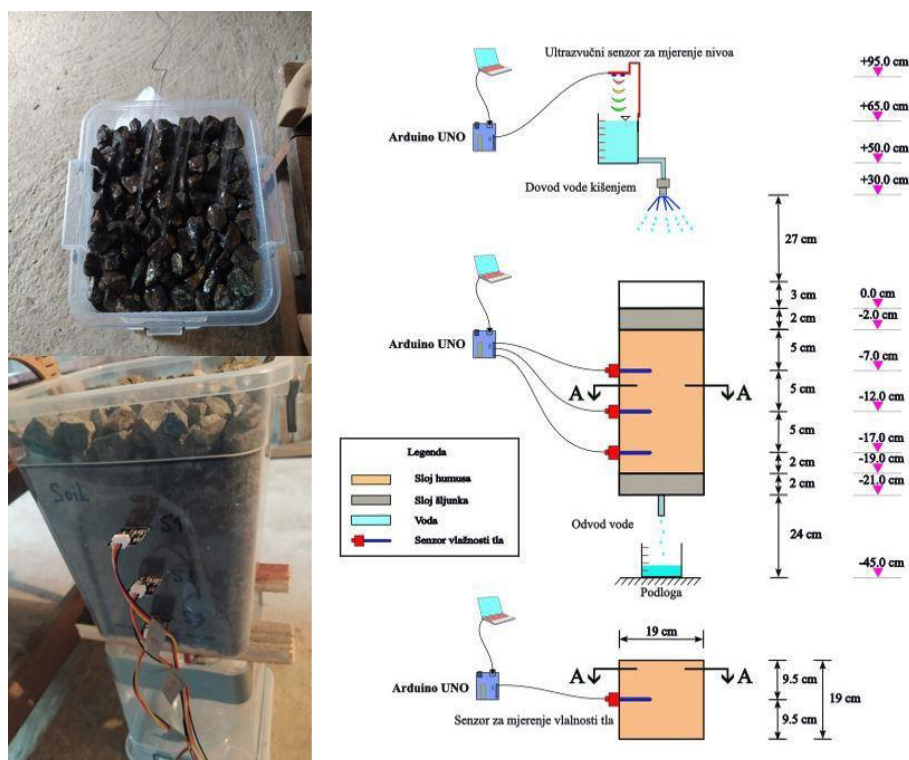
$$\varepsilon = \frac{|\theta_{model} - \theta_{mjereno}|}{\theta_{mjereno}} (x100) (\%) \quad (17)$$

gdje su: ε - srednja relativna greška, θ_{model} – vlažnost dobijena na osnovu modela u programu Hydrus 1D, $\theta_{mjereno}$ – vlažnost dobijena mjerenjem pomoću kapacitivnih senzora tokom izvođenja eksperimenta.

2.4. OPIS EKSPERIMENTA

Za eksperiment je korišćen sloj humusa debljina 17.0 cm, koji se nalazi između dva sloja šljunka debljine 2.0 cm, koji omogućavaju slobodno dreniranje. Iznad samog uzorka na visini 30.0 cm nalazi se mlaznik koji “raspršuje“ vodu u vidu raširenog mlaza. Mlaznik je spojen sa rezervoarom u kojem se nalazi voda čija zapremina iznosi 1.50 litara, a čiji nivo se registruje pomoću ultrazvučnog senzora HC - SR04, koji je postavljen na visini od 30.0 cm u odnosu na početni nivo vode u posudi. U uzorku humusa po visini su postavljena tri kapacitivna senzora na međusobnom rastojanju od 5.0 cm. U početnoj fazi eksperimenta sloj humusa ima prirodnu vlažnost koja se registruje pomoću sva tri senzora. U veoma kratkom vremenskom trenutku dolazi do kišenja i do infiltracije vode kroz sloj humusa, a promjena vlažnosti humusa registruje se pomoću senzora.

Pomoću kapacitivnih senzora moguće je registrovati kretanje vlažnog fronta kroz sloj humusa, odnosno promjenu vlažnosti tokom infiltracije. Na nizvodnom dijelu uzorka omogućeno je slobodno dreniranje vode kroz kratki nastavak cijevi, gdje se infiltrirana voda skuplja i mjeri njena zapremina pomoću graduisane posude. Sva tri kapacitivna senzora za mjerenje vlažnosti zemljišta povezana su na jednu Arduino Uno pločicu, dok je na drugu povezan ultrazvučni senzor za mjerenje nivoa HC - SR04. Radi bolje preglednosti na sledećoj slici se prikazuje šema i izgled eksperimenta.



Slika 4. Izgled eksperimenta (lijevo) i šematski prikaz eksperimenta (desno)

3. PRIKAZ REZULTATA

3.1. REZULTATI KALIBRACIJE SENZORA ZA VLAGU

Na osnovu opisanog postupka kalibracije senzora došlo se do odgovarajućih kalibracionih krivih u funkciji izlaznog signala i vlažnosti zemljišta. Dobijene su tri kalibracione krive za svaki od korišćenih kapacitivnih senzora, tako da je dobijena linearna zavisnost vlažnosti u odnosu na izlazni signal. Oznake korišćenih senzora definisane su u odnosu na mjerni položaj senzora u uzorku tokom trajanja eksperimenta i to: senzor 1 na visini 7.0 cm, senzor 2 na visini 12.0 cm, i senzor 3 na visini 17.0 cm. U nastavku se prikazuju dobijene jednačine kalibracionih krivih:

Senzor 1 (7.0 cm):

$$\theta = 85.793 - 0.181 \cdot V \quad (18)$$

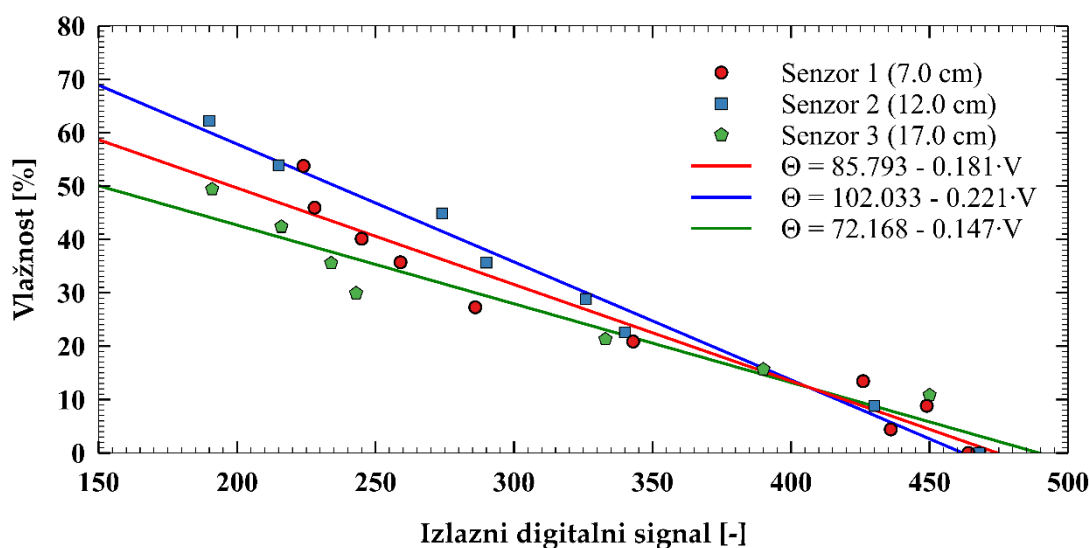
Senzor 2 (12.0 cm):

$$\theta = 102.033 - 0.221 \cdot V \quad (19)$$

Senzor 3 (17.0 cm):

$$\theta = 72.168 - 0.147 \cdot V \quad (20)$$

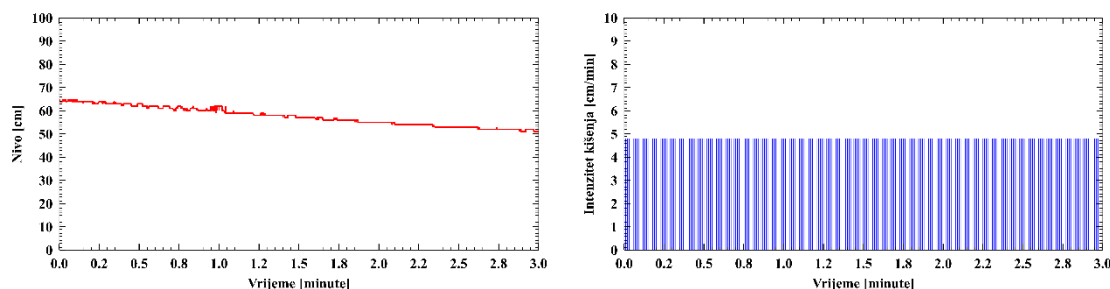
U prikazanim jednačinama oznake imaju sledeće značenje: θ – je zapreminski sadržaj vlage izražen u procentima, V – je izlazni signal koji se registruje pomoću senzora. Za ovako formirane kalibracione krive dobijen je visok koeficijent determinacije (veći od 0.90). Na sledećoj slici se prikazuje izgled kalibracionih krivih za korišćene senzore.



Slika 5. Izgled kalibracionih krivih za korišćene kapacitivne senzore

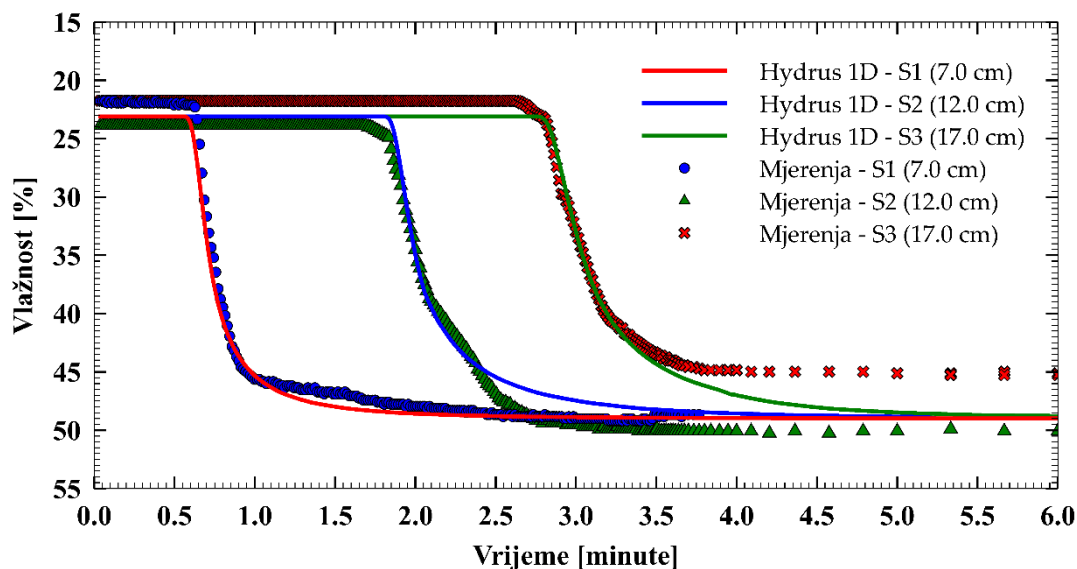
3.2. REZULTATI MJERENJA I SIMULACIJE

Nakon kalibracije kapacitivnih senzora i definisanih kalibracionih krivi, izveden je eksperiment u kojem je mjenen nivo i određen intenzitet kišenja, dok je promjena vlažnosti i kretanje vlažnog fronta registrovano pomoću kapacitivnih senzora vlažnosti. Vremensko trajanje kao i intenzitet kišenja zavisi od količine zapremine vode unutar rezervoara, tako da je u ovom eksperimentu kišenje trajalo ukupno 3.0 minuta, dok je intenzitet kišenja konstantan tokom trajanja eksperimenta i iznosi 4.80 cm/min. Promjena nivoa tokom trajanja eksperimenta registrovana je pomoću ultrazvučnog senzora, kao što je prikazano na Slici 4. Na osnovu te promjene određen je intenzitet kišenja, a promjena nivoa i intenziteta kišenja prikazani su na Slici 6.



Slika 6. Promjena nivoa u rezervoaru (lijevo) i intenzitet kišenja (desno)

Sprovedeni eksperiment je imao za cilj mjerenje vlažnosti na uzorku humusa korišćenjem jeftinih kapacitivnih senzora vlažnosti. Tokom izvođenja eksperimenta kao rezultat dobijen je izlazni signal koji se pomoću formiranih kalibracionih krivih konvertovan u vlažnost zemljišta. Rezultati sprovedenog eksperimenta, odnosno mjerenja poređena su sa rezultatima dobijenih pomoću modela u programu Hydrus 1D, a rezultati su prikazani na Slici 7.



Slika 7. Poređenje mjernih i modeliranih rezultata

Pored vizuelnog prikaza slaganja rezultata mjerenja vlažnosti i modeliranih podataka u programu Hydrus 1D, kao ocjena slaganja prikazuju se rezultati srednje relativne greške modeliranih rezultata i mjerenja tokom trajanja eksperimenta, a vrijednosti su date u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati srednje relativne greške

| Položaj senzora | ε (%) |
|-----------------|-------------------|
| S1 - 7.0 cm | 2.0994 |
| S2 - 12.0 cm | 3.2676 |
| S3 - 17.0 cm | 9.7945 |

Prikazani rezultati se odnose na srednju vrijednost relativne greške u domenu mjerenih vrijednosti dobijeni na osnovu jednačine (17), a odnose se na vremenski period onoliko koliko i traje eksperiment.

Na osnovu prethodno prikazanog, zanimljivo je da se prikaže i količina vode koja je se infiltrirala kroz uzorak, a mjerena je pomoću graduisane posude koja je postavljena nizvodno ispod uzorka, a ta količina iznosi 165 ml, što je oko 11.0% od ukupne količine vode koja se kišenjem dovela do uzorka. Prestala količina vode ostala je u uzorku humusa, tako da dalje nije bilo infiltracije vode kroz uzorak.

4. DISKUSIJA REZULTATA

U ovom radu sprovedeno je istraživanje mogućnosti primjene jeftinih kapacitivnih senzora vlage za mjerenje vlažnosti zemljišta, a za različite potrebe privrede. Korišćena su tri senzora, a kao uzorak zemljišta, humus. Urađena je kalibracija kapacitivnih senzora u cilju dobijanja kalibracionih krivih, pri čemu je vlažnost dobijena u funkciji izlaznog signala na senzoru, i ta zavisnost je linearna. Sprovedenom kalibracijom dobijene su tri kalibracione krive, po jedna za svaki od korišćenih senzora, pri čemu je dobijen visok koeficijent determinacije (veći od 0.90), a raspoloživi opseg mjernih vrijednosti vlage je u rasponu od 0.0 – 60.0%.

Urađen je laboratorijski eksperiment vertikalne infiltracije sa mjerenjem vlažnosti na uzorku humusa u tri različita nivoa. Sprovedeni eksperiment imao je za cilj simulirati prirodne uslove vertikalne infiltracije uslijed kišenja, gdje je intenzitet kišenja iznosio 4.80 cm/min, pri čemu je omogućeno slobodno dreniranje infiltrirane vode kroz kratki nastavak cijevi, a sva infiltrirana voda sakupljala se u graduisanu posudu. Pored formiranog eksperimenta urađen je i model vertikalne infiltracije u programu Hydrus 1D, u cilju poređenja numerički dobijenih rezultata sa mjerenjima. Oblik promjene vlažnosti tokom vertikalne infiltracije na osnovu sprovedenog eksperimenta odgovara obliku koji se dobija numerički, odnosno u modelu Hydrus 1D. Kao što je vidljivo na Slici 7, modelirani rezultati se prilično dobro slažu sa mjerenim vrijednostima promjene vlažnosti. Na visini od 7.0 cm, gdje je položaj senzora S1 vidljivo je da model dobro prati mjerene vrijednosti promjene vlažnosti u čitavom opsegu vrijednosti. Za položaj senzora S2 na visini od 12.0 cm, dolazi do odstupanja modeliranih vrijednosti u odnosu na mjerene i to za vlažnost veću od 45.0%. U slučaju senzora S3 na visini 17.0 cm, vidljivo je veće odstupanje modela u odnosu na mjerene vrijednosti, pri čemu je vidljivo da je mjerenjem dobijena vlažnost od ukupno 45.0% što odgovara vlažnosti zasićenja, a modelom je dobijena vrijednost kao i za druga dva položaja senzora S1 i S2 i iznosi 49.0%. Poređenjem rezultata mjerenja i modeliranih rezultata srednja relativna greška za položaje senzora S1 i S2 (na visini 7.0 cm i 12 cm) iznosi manje od 5.0%, dok je za položaj senzora S3 (na visini 17.0 cm) srednja relativna greška cca 10%, što je više nego što se smatra dozvoljenom greškom mjerenja od 5.0%.

Na kraju sprovedenog eksperimenta pomoću graduisane posude mjerena je količina vode koja se dobije infiltracijom i iznosi oko 11.0%, što je oko 165 ml vode, dok je 89% vode zadržano u samom uzorku.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad opisuje mogućnosti korišćenja jeftinih senzora vlage, kalibraciju i njihovo testiranje na laboratorijskom eksperimentu vertikalne infiltracije. U eksperimentu je korišćen uzorak humusa, pri čemu je kalibracija senzora vlage urađena za uzorak humusa na osnovu opisanog postupka. Nakon kalibracije senzora sproveden je laboratorijski eksperiment, kao i numerički model urađen u programu Hydrus 1D. Na osnovu urađenog može da se zaključi sledeće:

- kalibracijom senzora dobijene su linearne zavisnosti vlažnosti zemljišta u funkciji izlaznog signala, pri čemu je dobijen visok koeficijent determinacije,
- korišćenjem jeftinih kapacitivnih senzora moguće je mjeriti vlažnost zemljišta na različitim visinama uzorka, što odgovara visini korijenskog sistema,

- kapacitivni senzori vlage korišćeni u eksperimentu mogli su da uhvate dinamičku promjenu vlage u zemljištu na dubini 7.0, 12.0 i 17.0 cm, odnosno za slučaj vertikalne infiltracije,
- dobijeni rezultati numeričkog modela dobro prate mjerene vrijednosti promjene vlažnosti na sprovedenom eksperimentu,
- korišćena Arduino platforma u kombinaciji sa kapacitivnim sensorima vlažnosti i ultrazvučnim senzorom za mjerenje nivoa HC-SR04 imaju relativno nisku cijenu i daju prihvatljive rezultate, pri čemu postoji mogućnost da se koriste za praktične probleme.

Preporuka za buduće istraživanje je da se korišćeni jeftini kapacitivni senzori vlage testiraju na konkretnim problemima monitoringa vlage na većim površinama, različitim vrstama zemljišta i dubinama i uz duže vremensko trajanje. Posebno je interesantna provjera njihove stabilnosti i izdržljivosti za rad u realnim terenskim uslovima, pri većem opsegu promjena spoljnih temperatura.

LITERATURA

- [1] Kulmany I. M., Bede-Fazekas A., Beslin A., Giczi Z., Milics G., (2022), "Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture" *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Volume 3, pp 330-340. <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0014>,
- [2] Okasha A. M., Ibrahim H. G., Elmetwalli A. H., Khedher H. M., Yaseen Z. M., Elsayed S. (2021), "Designing Low-Cost Capacitive-Based Soil Moisture Sensor and Smart Monitoring Unit Operated by Solar Cells for Greenhouse Irrigation Management" *Jurnal of Water*, Volume 21, pp 1-20. <https://doi.org/10.3390/s21165387>,
- [3] Hrisko J. (2020), "Capacitive Soil Moisture Sensor Theory, Calibration, and Testing" *Maker Portal LLC*, New York, [https://doi: 10.13140/RG.2.2.36214.83522](https://doi:10.13140/RG.2.2.36214.83522),
- [4] Chen S., Mao X., Wang C., (2019) "A Modified Green-Ampt Model and Parameter Determination for Water Infiltration in Fine-textured Soil with Coarse Interlayer", *Jurnal of Water*, Volume 11, pp 1-17. <https://doi:10.3390/w11040787>,
- [5] Abu N. S., Bukhari W. M., Firduas M. A., Surki N. M. (2022), "Smart Indoor Plantation System Using Soil Moisture Sensor and Light Dependent Resistor Sensor" *International Jurnal of Robotic and Control Systems*, Volume 2, no 4, pp. 721–738. <http://pubs2.ascee.org/index.php/ijrcs>,
- [6] Šimunek J., Šejna A. M., Saito H., Sakai M., Van-Genuchten M. T. (2013), "The HYDRUS-1D software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, version 4.17" *HYDRUS Softw. Ser. 3D*, vol. 4.17, https://www.pc-progress.com/Downloads/Pgm_Hydrus1D/HYDRUS1D-4.17.pdf
- [7] Rassam D., Šimunek J., Mallants D., Van-Genuchten M. T., (2018). "The HYDRUS-1D software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media" *Tutorial*, version 1.00, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, California,
- [8] Silva T. J. A., Bonfim-Silva E. M., Pacheco A. B., Duarte T. F., Sousa H. F., Jose J. V. (2017), "Evaluation of Various Soil Moisture Sensors in Four Different Soil Types", *Jurnal of Applies Engineering in Agriculture*, Volume 34, pp 963-971, <https://doi:10.13083/reveng.v30i1.14017>.
- [9] *Arduino For Beginners*, www.Arduino.com Volume 4, no. 2, pp. 457–463, 2018, <https://www.arduino.com>
- [10] Souza G., De Faria B. T., Gomes-Alves R., Lima R., Aquino P. T., Soininen J. P., (2020), "Calibration equation and field test of a capacitive soil moisture sensor" *Conference IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry*, pp. 180–184, <https://doi:10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277634>,

- [11] Placidi P., Gasperini L., Grassi A., Cecconi M., Scorzoni A., (2020), "Characterization of low-cost capacitive soil moisture sensors for IoT networks" *Jurnal of Sensors*, Volume 20, no. 12, pp. 1–14, <https://doi: 10.3390/s20123585>,
- [12] Gobatti L., Martins J. R. S., Pereira M. C. S., Leite B. C. C. (2022), "Real-time sensing and low-cost experimental setup for water quantity investigation in Nature-based Solutions" *Jurnal of Blue-Green Systems*, Volume 4, no. 2, pp. 75–88, 2022, <https://doi: 10.2166/bgs.2022.007>,
- [13] Praštalo P. Brajović Lj. Prodanović D. (2022), "Using of low cost moisture sensors in laboratory experiments", *International Conference on Contemporary Theory and Practice in Construction XV*, pp. 530–539, <https://doi: 10.7251/STP2215530P>,
- [14] Govedarica O., Stanić F., Ranđelović A., (2021) "Fizički zasnovano modeliranje infiltracije kod prirodom inspirisanih rešenja" 19. Savetovanje SDHI i SDH, pp 395-410, Beograd Srbija,
- [15] Shahraizni H. T., Ataie-Ashiani B., (2012), "Mathematical Forms and Numerical Schemes for the Solution of Unsaturated Flow Equations" *Jurnal of Irrigation and Drainage Engineering*, Volume 138, pp. 63–72, [https://doi: 10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000377](https://doi: 10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000377),
- [16] Ross P. J. (2003), "Modeling Soil Water and Solute Transport - Fast, Simplified Numerical Solutions" *Agronomy Jurnal*, Volume 95, pp. 1352–1361, <https://doi:10.2134/agronj2003.1352>.
- [17] Celia M. A., Bouloutas E. T., Zarba R. L. (1990), "A General Mass-Conservative Numerical Solution for the Unsaturated Flow Equation", *Water Resources Research*, Volume 26, no. 7, pp 1483-1496, <https://doi.org/10.1029/WR026i007p01483>,
- [18] Zarba R. L., (1988), "A numerical investigation of unsaturated flow", M. S. thesis, Dep. of Civ. Eng, Mass. Inst. of Technology, Cambridge,
- [19] Zlotnik V. A., Wang T., Nieber J. L., Šimunek J. (2007), "Verification of numerical solutions of the Richards equation using a traveling wave solution" *Water Resources Reasarch*, Volume 30, no. 9, pp. 1973–1980, <https://doi: 10.1016/j.advwatres.2007.03.008>.

ANALIZA NOSIVOSTI SERPENTINASTOG ZIDA PRI DJELOVANJU SEIZMIČKOG OPTEREĆENJA PRIMJENOM „EXTREME LOADING FOR STRUCTURES“ SOFTVERA

Faris Trešnja¹, Salko Kulukčija²

Rezime:

U ovom radu prikazana je nosivost serpentinastog („krivudavog“) zida na dejstvo zemljotresa koji se desio u pokrajini Hatay (Turska) 2023 godine. Također, varirajući debljinu serpentinastog zida, izvršena je usporedba rezultata sa ravnim zidom iste dužine horizontalne projekcije. Prilikom numeričkog modeliranja koristio se softver Extreme Loading for Structures (ELS) koji je zasnovan na metodi primijenjenih elemenata (AEM), izvedenici metode konačnih elemenata (FEM) i metode diskretnih elemenata (DEM). ELS je omogućio proučavanje ponašanje zida kroz fazu kontinuuma i diskretnu fazu opterećenja što je od velikog značaja prilikom nastajanja pukotina, odvajanja blokova i na kraju sloma konstrukcije.

Ključne reči: zide, serpentinasti zid, metoda primijenjenih elemenata, seizmičko djelovanje, ELS softver

ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF A SERPENTINE WALL UNDER THE SEISMIC LOAD USING "EXTREME LOADING FOR STRUCTURES" SOFTWARE

Summary:

This paper shows the bearing capacity of a crinkle crankle wall under the earthquake load that occurred in the province of Hatay (Turkey) in 2023. Also, by varying the thickness of the serpentine wall, the results were compared with a straight wall of the same length of the horizontal projection. Extreme Loading for Structures (ELS) software was used for numerical modeling, which is based on the applied element method (AEM), a derivative of the finite element method (FEM) and the discrete element method (DEM). ELS enabled the study of the behavior of the wall through the continuum phase and the discrete phase of loading, which is of great importance during the formation of cracks, the separation of blocks and finally the collapse of the structure.

Key words: masonry, serpentine wall, applied element method, seismic load, Extreme Loading for Structures software

¹ Viši asistent, Interprojekt Mostar, Mostar, Bosna i Hercegovina, faris@interprojekt.ba

² Vanr. prof., Interprojekt Mostar, Mostar, Bosna i Hercegovina, kul@interprojekt.ba

1. UVOD

Serpentinasti (sinusoidni, krivudavi ili valoviti) zid je neobičan tip strukturalnog ili vrtnog zida izgrađen u obliku „zmije“ sa naizmjeničnim krivinama. Izvorno je korišten u starom Egiptu, ali se danas najčešće može vidjeti u Engleskoj (slika 1). Naizmjenični konveksni i konkavni oblik zida pruža dodatnu stabilnost i povećava otpornost na horizontalna dejstva, što dovodi do veće nosivosti od ravnog zida iste debljine. Prema tome, serpentinasti zidovi imaju manju debljinu od ravnog zida, što dovodi do korištenja manje cigle i maltera od tradicionalnog ravnog zida, a pri tome povećavajući i stabilnost zida.



Slika. 1 Serpentinasti zid u Bramfieldu (Engleska) [1]

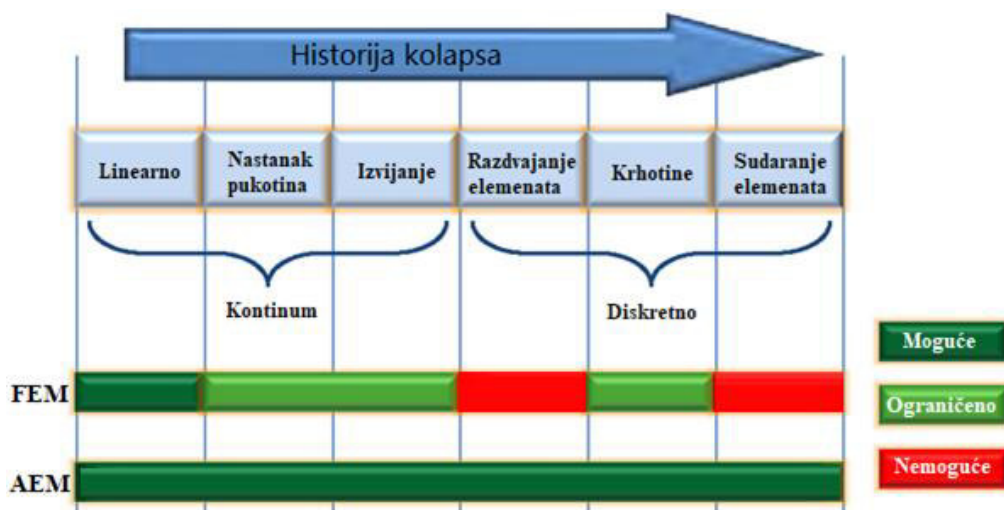
2. METODA PRIMIJENJENIH ELEMENATA

Kompjuterska simulacija je važan ključ u određivanju performansi konstrukcija u uslovima ekstremnog opterećenja. Međutim, nije moguće predvidjeti ponašanje urušavanja konstrukcija koristeći metodu konačnih elemenata. Pregledajući dosadašnju literaturu, primjećuje se da se metode koje se koriste za strukturu analizu uglavnom temelje na pravilima mehanike kontinuuma, poput metode konačnih elemenata, koja se ne može eksplicitno primijeniti na diskretne elemente. Stoga se metode zasnovane na mehanici kontinuuma ne mogu proširiti na simulaciju analize kolapsa. S druge strane, metode analize zasnovane na pravilima diskretnih elemenata ne mogu se koristiti za predviđanje ponašanja elemenata kontinuuma. U stvari, strukture tokom situacije kolapsa prolaze kroz dvije faze: fazu kontinuuma nakon koje slijedi diskretna faza.

Analiza i simulacija treba da prate obje faze ponašanja kako bi pomogle u odgovoru na sljedeća pitanja:

- Hoće li se konstrukcija srušiti tokom ekstremnog opterećenja?
- Da li će kolaps biti djelimičan ili potpun?
- Koji je način urušavanja konstrukcije?
- U slučaju delimičnog urušavanja, da li će biti moguće popraviti konstrukciju?
- Koliko bi vremena trebalo da se struktura potpuno sruši?
- Kako urušeni dijelovi koji padaju utječu na susjedne strukture?

Ovo su samo neka od pitanja na koja se ne može odgovoriti bez preciznog predviđanja konstrukcijskih performansi kada su podvrgnute ekstremnom opterećenju. Razvijena je nova metoda koja je sposobna predvidjeti s visokim stepenom tačnosti kontinuum i diskretno ponašanje konstrukcija. Kroz dvije decenije kontinuiranog razvoja, metoda primijenjenih elemenata (AEM) pokazala se kao metoda koja može pratiti ponašanje urušavanja konstrukcije kroz sve faze primjene opterećenja: fazu elastičnosti, nastanak i širenje pukotina, odvajanje elemenata, sudar (kontakt) elemenata i sudar sa tlom i susjednim konstrukcijama. Mogući domen analize AEM-a u poređenju sa FEM-om prikazan je na Slici 2.

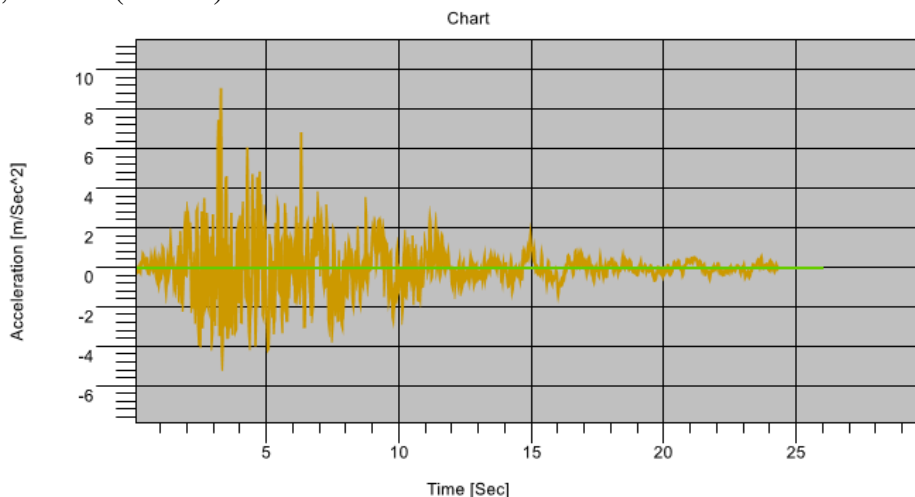


Slika. 2 Usporedba FEM i AEM analize [2]

Međunarodne publikacije iz oblasti građevinarstva potvrđuju da AEM može sa razumnom tačnošću pokriti područja primjene. Tačnost metode je upoređena sa više od 50 eksperimentalnih i teorijskih rezultata [3-7].

3. ANALIZA U „EXTREME LOADING FOR STRUCTURES“ SOFTVERU

U ovom istraživanju za analizu odabran je zapis razornog zemljotresa magnitude 7,4 stepena Rihterove skale, koji je početkom 6. februara 2023. pogodio južnu regiju Turske i sjeverne pogranične oblasti Sirije. Odabran je zapis od 26 sekundi s vršnim ubrzanjem tla od $8,40 \text{ m/s}^2$ (Slika 3).



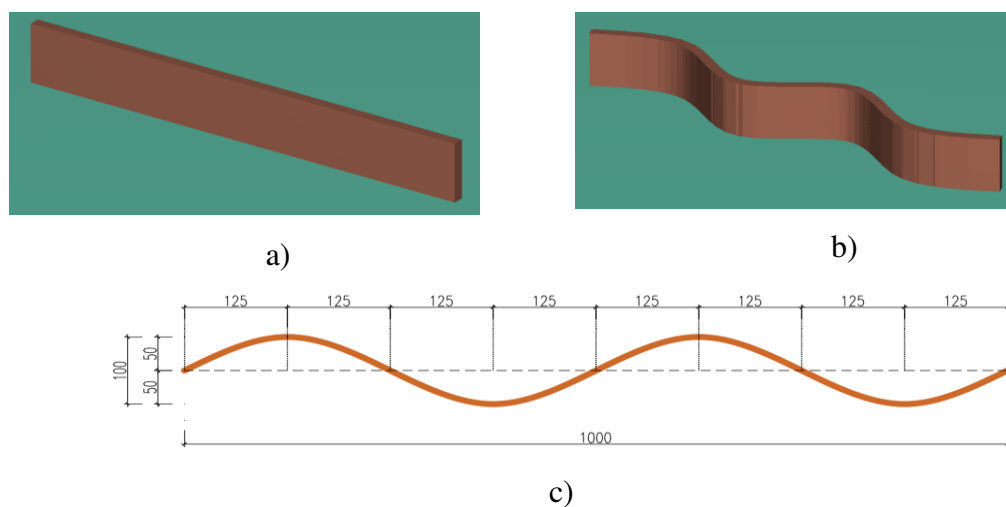
Slika. 3 Zapis zemljotresa u Hatayu [8]

Tab. 1 Fizičko-mehaničke karakteristike cigle i maltera

| Karakteristika | Cigla | Malter |
|---|------------------------|------------------------|
| Modul elastičnosti | 4900 MPa | 2620 MPa |
| Modul smicanja | 7839 MPa | 1048 MPa |
| Deformacija razdvajanja | 0,1 | 0,1 |
| Koeficijent trenja | 0,8 | 0,8 |
| Specifična težina | 1800 kg/m ³ | 2500 kg/m ³ |
| Vanjski koeficijent prigušenja | 0 | 0 |
| Normalni faktor krutosti kontakta | 0,0001 | 0,0001 |
| Faktor krutosti kontakta na smicanje | 0,00001 | 0,00001 |
| Faktor krutosti pri rasterećenju kontaktne opruge | 2 | 2 |
| Linearni temperaturni koeficijent ekspanzije | 0,0000145 | 0,0000145 |
| Čvrstoća na zatezanje | 0,98 MPa | 0,10 MPa |
| Čvrstoća na pritisak | 9,80 MPa | 4,40 MPa |
| Minimalni faktor normalne krutosti | 0,01 | 0,01 |
| Minimalni faktor smičuće krutosti | 0,01 | 0,01 |
| Čvrstoća na smicanje (kohezija) | 2,45 MPa | 3,67 MPa |
| Faktor rezidualne čvrstoće na smicanje | 0 | 0 |
| Poasonov koeficijent | 0 | 0 |

3.1. PRVI SLUČAJ

Prvo je izvršena usporedba nosivosti ravnog zida dužine 10 m, visine 1,60 m i debljine 0,24 m sa serpentinastim zidom iste dužine horizontalne projekcije, kao i iste visine i debljine kao ravnog zida (Slika 4). Ukupna dužina serpentinastog zida u ovom slučaju iznosi cca. 11 m. Usporedbe radi, za ovaj slučaj zapremina ravnog zida iznosi 3,84 m³, dok zapremina serpentinastog zida iznosi 4,22 m³. Vitkost zida nije uzimana u obzir zbog teorijskih razmatranja dobijenih rezultata.

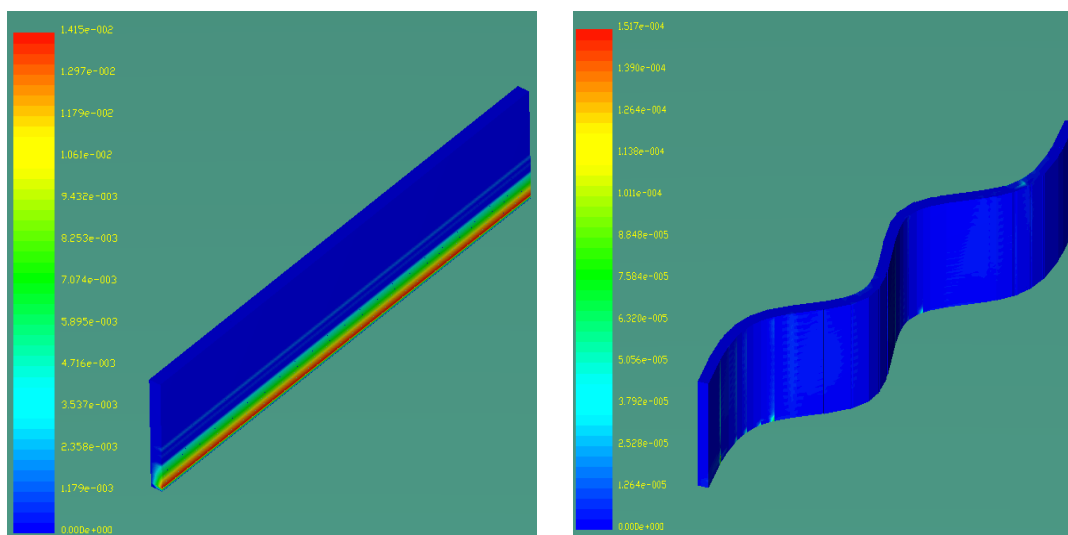


Slika. 4 a) Ravan zid [8]; b) Serpentinasti zid [8]; c) horizontalna projekcija serpentinastog zida

Iz softvera Extreme Loading for Structures izvučene su vrijednosti maksimalnih i minimalnih napona, maksimalnih i minimalnih dilatacija, kao i maksimalnih i minimalnih pomjeranja koji su se javili nakon završetka zemljotresa (Tabela 2.)

Tab. 2 Vrijednosti napona, dilatacija i pomjeranja za ravan i serpentinasti zid (slučaj 1)

| 1. slučaj | Ravan zid (d=24 cm) | Serpentinasti zid (d=24 cm) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------------|
| maksimalni napon [MPa] | 0,139 | 0,154 |
| minimalni napon [MPa] | -0,147 | -0,162 |
| maksimalna dilatacija | 0,120 | 0,129 |
| minimalna dilatacija | -0,154 | -0,168 |
| maksimalno pomjeranje [m] | 0,332 | 0,010 |
| minimalno pomjeranje [m] | -0,102 | -0,015 |



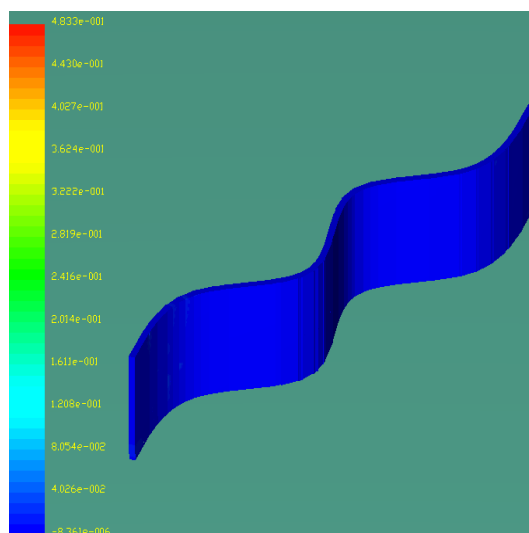
Slika. 5 Prikaz glavnih dilatacija u zidu u 3,3 s zemljotresa (slučaj 1)

3.2. DRUGI SLUČAJ

U drugom slučaju izvršena je usporedba nosivosti ravnog zida dužine 10 m, visine 1,6 m i debljine 0,24 m sa serpentinastim zidom iste dužine horizontalne projekcije, kao i iste visine, ali u pola manje debljine, tj. d=0,12 m. Usporedbe radi, za ovaj slučaj zapremina ravnog zida iznosi 3,84 m³, dok zapremina serpentinastog zida iznosi 2,11 m³. Vitkost zida nije uzimana u obzir zbog teorijskih razmatranja dobijenih rezultata.

Tab. 3 Vrijednosti napona, dilatacija i pomjeranja za ravan i serpentinasti zid (slučaj 2)

| 2. slučaj | Ravan zid (d=24 cm) | Serpentinasti zid (d=12 cm) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------------|
| maksimalni napon [MPa] | 0,139 | 0,177 |
| minimalni napon [MPa] | -0,147 | -0,194 |
| maksimalna dilatacija | 0,120 | 0,140 |
| minimalna dilatacija | -0,154 | -0,184 |
| maksimalno pomjeranje [m] | 0,332 | 0,108 |
| minimalno pomjeranje [m] | -0,102 | -0,113 |



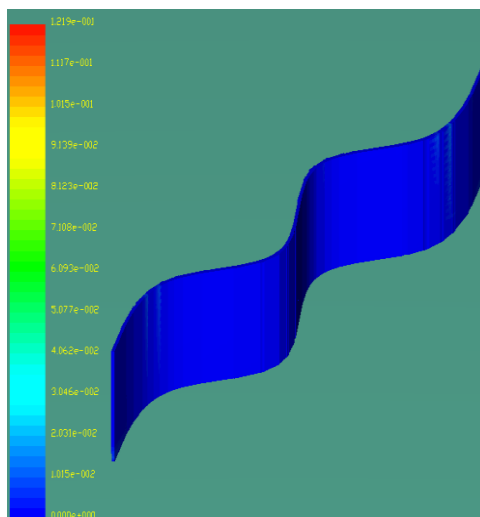
Slika. 6 Prikaz glavnih dilatacija u zidu u 3,3 s zemljotresa (slučaj 2)

3.3. TREĆI SLUČAJ

U trećem slučaju izvršena je usporedba nosivosti ravnog zida dužine 10 m, visine 1,6 m i debljine 0,24 m sa serpentinastim zidom iste dužine horizontalne projekcije, kao i iste visine, ali debljine $d=0,06$ m. Usporedbe radi, za ovaj slučaj zapremina ravnog zida iznosi $3,84 \text{ m}^3$, dok zapremina serpentinastog zida iznosi $1,41 \text{ m}^3$. Vitkost zida nije uzimana u obzir zbog teorijskih razmatranja dobijenih rezultata.

Tab. 4 Vrijednosti napona, dilatacija i pomjeranja za ravan i serpentinasti zid (slučaj 3)

| 3. slučaj | Ravan zid ($d=24$ cm) | Serpentinasti zid ($d=6$ cm) |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| maksimalni napon [MPa] | 0,139 | 0,210 |
| minimalni napon [MPa] | -0,147 | -0,227 |
| maksimalna dilatacija | 0,120 | 0,149 |
| minimalna dilatacija | -0,154 | -0,191 |
| maksimalno pomjeranje [m] | 0,332 | 0,323 |
| minimalno pomjeranje [m] | -0,102 | -0,115 |



Slika. 7 Prikaz glavnih dilatacija u zidu u 3,3 s zemljotresa (slučaj 2)

4. ZAKLJUČAK

Kao što se može vidjeti prema dobivenim vrijednostima napona, dilatacija i pomjeranja, mnogo veću nosivost i stabilnost ima zid serpentinastog oblika od ravnog zida.

Za slučaj 1 gdje su ravan zid i serpentinasti zid iste debljine ($d=24$ cm), maksimalno pomjeranje ravnog zida je čak 22 puta veće od maksimalnog pomjeranja serpentinastog zida. U prvom slučaju potrošnja materijala za izradu serpentinastog zida veća je za oko 10% od ravnog zida.

Za slučaj 2 gdje je debljina serpentinastog zida $d=12$ cm, maksimalno pomjeranje ravnog zida je za oko 2,94 puta veće od maksimalnog pomjeranja serpentinastog zida. U drugom slučaju potrošnja materijala za izradu serpentinastog zida je manja za oko 45% u odnosu na ravni zid.

Analizirajući treći slučaj, može se zaključiti da se približno iste vrijednosti pomjeranja dobiju kada se koristi tri puta manja debljina serpentinastog zida poredeći je sa debljinom ravnog zida, odnosno kada je ukupna zapremina serpentinastog zida manja za čak 63%, što rezultira i upotrebu manje količine materijala, kao i ukupnu cijenu izvedbe zida.

LITERATURA

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Crinkle_crinkle_wall#/media/File:Crinkle-Crinkle_Wall_in_Bramfield_-_geograph.org.uk_-_108876.jpg. Pristupljeno: 20.9.2023.
- [2] Priručnik. Extreme Loading for Structures. Verzija 9. 2022
- [3] Salem H., Gregori, Helmy H., Fassieh H., Tagel-Din H. (2017). Seismic Assessment of the Damaged Margherita Palace In Proceedings of the 16th World Congress on Earthquake Engineering (16WCEE) Santiago Chile 9–13 January.
- [4] Reuland Y., Jaoude A., Lestuzzi P., Smith I. (2017). Usefulness of ambient-vibration measurements for seismic assessment of existing structures In Proceedings of the Fourth International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures (SMAR), Zurich Switzerland, 13–15, pp. 162.
- [5] Belec G. (2016). Seismic Assessment of Unreinforced Masonry Buildings in Canada Master's Thesis, University of Ottawa, Ottawa, Canada. <https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/34301>
- [6] Helmy H., Salem H., Tagel-Din H. (2010). Numerical Simulation of Charlotte Coliseum Demolition Using the Applied Element Method In Proceedings of the 6th International Engineering and Construction Conference (IECC'6) Cairo. pp. 528–537.
- [7] Trešnjo F., Humo M., Casarin F., Ademović N. (2023). Experimental Investigations and Seismic Assessment of a Historical Stone Minaret in Mostar. Buildings. <https://doi.org/10.3390/buildings13020536>
- [8] Extreme Loading® for Structures Software (ELS Software) 2021 <https://www.appliedscienceinteurope.com/extreme-loading-for-structures/>

ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMENE RECIKLIRANOG ILI VEĆ KORIŠĆENOG ČELIKA U IZGRADNJI NOVOG OBJEKTA

Dr Snežana Bajić¹, Dr Marina Nikolić Topalović²

Rezime:

Tradicionalan način proizvodnje građevinskih proizvoda koji nakon perioda upotrebe u objektima postaju otpad, treba transformisati tako da proizvodi upotrebljeni u građevinarstvu služe kao sirovina za druge potrebe. Da bi se održala cirkularnost, sačuvali resursi i minimizirali uticaji na životnu sredinu, resurse treba zadržati u upotrebi kroz ponovnu upotrebu, povraćaj ili recikliranje. Osnovna svrha ovog rada je da uspostaviti model proračuna potrošnje energije i emisije CO₂ tokom izgradnje, rušenja ili ponovne izgradnje čelične konstrukcije, a u skladu sa trenutnom situacijom u Srbiji. Analiziran je proces izgradnje jedne benzinske stanice sa novim ili već upotrebljenim čelikom. Sprovedena je delimična analiza životnog ciklusa pomoću softvera GaBi version 9.0.0.42, sa bazom podataka proizvođača softvera i uz pomoć Industrial building embodied carbon National University of Singapore sa podacima dobijenih iz softvera GaBi za proizvodnju čelika.

Ključne reči: čelična konstrukcija, montaža, ponovo korišćenje, emisija CO₂

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING RECYCLED OR RE- USED STEEL IN THE NEW BUILDING CONSTRUCTION

Summary:

The traditional way of construction products production, which become waste after a period of use in buildings, should be transformed so that the products already used in building construction serve as raw materials for other needs. In order to maintain circularity, save resources and minimize environmental impacts, resources should be kept in use through re-use, recovery or recycling. The main purpose of this work is to establish an energy consumption and CO₂ emissions calculating model during the steel structure construction, demolition or reconstruction, in accordance with the current situation in Serbia. It has been analyzed the process of building a gas station with new or already used steel. A partial life cycle analysis was carried out using software GaBi version 9.0.0.42, with the database of the software manufacturer and with the help of the Industrial building embodied carbon National University of Singapore with data obtained from GaBi software for steel production.

Key words: steel construction, erection, re-use, CO₂ emission

¹ Prof.str. stud., ATUSS, Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova 2, Beograd, Srbija, mitrozs73@gmail.com

² Prof.str. stud., ATUSS, Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova 2, Beograd, Srbija, marinatopnik@gmail.com

1. GRAĐEVINSKI OTPAD U SRBIJI

Širom Srbije niču nova gradilišta, neka se formiraju na neizgrađenom zemljištu, a neka na mestima sa već postojećim objektima koje treba rušiti: porodične kuće, napuštene fabrike ili zgrade. Ovo drugo zahteva rušenje prethodnih konstrukcija, a građevinski otpad nesortiran završava na opštinskim deponijama i smetlištima zajedno sa drugim otpadom. Pri tome, ne postoji selekcija ovog otpada na štetni-opasan otpad i onaj drugi, koji ne pravi posledice po zdravlje ljudi i ne ugrožava životnu sredinu.

Građevinski sektor koristi oko 50% prirodnih materijala, ali i stvori 30% otpada. Nasuprot evropskoj direktivi iz 2008. godine, koja ukazuje da do 2024. godine građevinarstvo treba da bude uređeno na način da najmanje 70% građevinskog otpada bude reciklirano ili ponovo upotrebjeno, u našoj zemlji reciklira se samo 3% građevinskog otpada, a prema podacima Republičkog zavoda za statistiku. Nasuprot situaciji u Srbiji, gde u 2023. godini gotovo da nema reciklaže u građevinarstvu, procenjuje se da je u Britaniji već početkom veka polovina otpada nastalog nakon adaptacije i rušenja bila reciklirana, sa uobičajenom procedurom u toku projektovanja - implementacije materijala koji se mogu ponovo koristiti ili reciklirati, nulta "zero waste" strategija. Takođe, većina projekatata i izvođača radova je obučena za recikliranje ili ponovo korišćenje ovakvih materijala, uvedeni su tzv. pasoši materijala, ali i postoje baze podataka sa postojećih objekata koji su predviđeni za rušenje.

Da bi se građevinski materijali efikasno koristili u konstrukcijama, kao i da bi se količina otpada minimizirala postoje principi kojih se treba pridržavati prilikom faze projektovanja [1]:

- Projekat treba da sadrži konstruktivne elemente/materijale koji će se izvesti upotrebom već korišćenih elemenata/materijala. Ovo je neophodno ako se želi da se minimizira količina materijala koji će kasnije biti otpad. Ponovna upotreba dobro funkcioniše na projektima niskogradnje koji stvaraju velike količine otpada, na primer zemljani radovi, trotoari i konstrukcije. Neće moći u potpunosti da se eliminiše implementacija novih materijala, ali mogu se koristiti materijali sa visokim sadržajem recikliranog materijala.
- Projektovanje polumontažnih ili montažnih elemenata-prefabrikacija elemenata. Ovaj tip izgradnje može značajno smanjiti otpad, jer pojedini elementi nakon malih sanacija mogu ponovo da se ugrade u konstrukcijama.
- Projektovanje sa optimizacijom materijala. Mogu se primeniti inovativni načini za smanjenje ukupne upotrebe materijala, kao što su:
 - lagani agregat u betonu - posebno kada je izveden od sekundarnog materijala kao što je ekspanzirani pepeo,
 - upotreba inovativnih lakih materijala - kao što su kompoziti ojačani vlaknima,
 - smanjenjem težine konstrukcija - smanjuje se opterećenje, pa će elementi konstrukcije i temelji biti tanji i zahtevati manje cementa i armature...
- Projektovanje sa predviđanjem manje buduće količine građevinskog otpada, na pr. kroz specifikaciju materijala i radnih procedura kako bi se omogućila upotreba recikliranih materijala. Ovakvo projektovanje bi trebalo da podstiče uključivanje obaveznih stavki u ugovorima za smanjenje otpada u celom procesu stvaranja novih objekata.
- Projektovanje koje omogućava da se konstrukcija može održavati, renovirati ili produžiti njen vek prema potrebi. Ne bi trebalo projektom uključiti nikakve materijale ili komponente koji bi otežali ili onemogućili buduće proširenje ili recikliranje. Trebalo bi da se izbegava upotreba opasnih materijala koji mogu da izazovu probleme za buduću reciklažu.

Istraživački centar Evropske komisije (*European Commission's Joint Research Centre (JRC)*) 2012. godine uvodi višekriterijumsku metodologiju koja se zove Otisak proizvoda na životnoj sredini (*Product Environmental Footprint (PEF)*)[2], a koja

označava energetska efikasnost materijala koji se mogu ponovo koristiti, reciklirati ili pretvoriti u energiju, a 2018. uvodi i metodologiju proračuna [3].

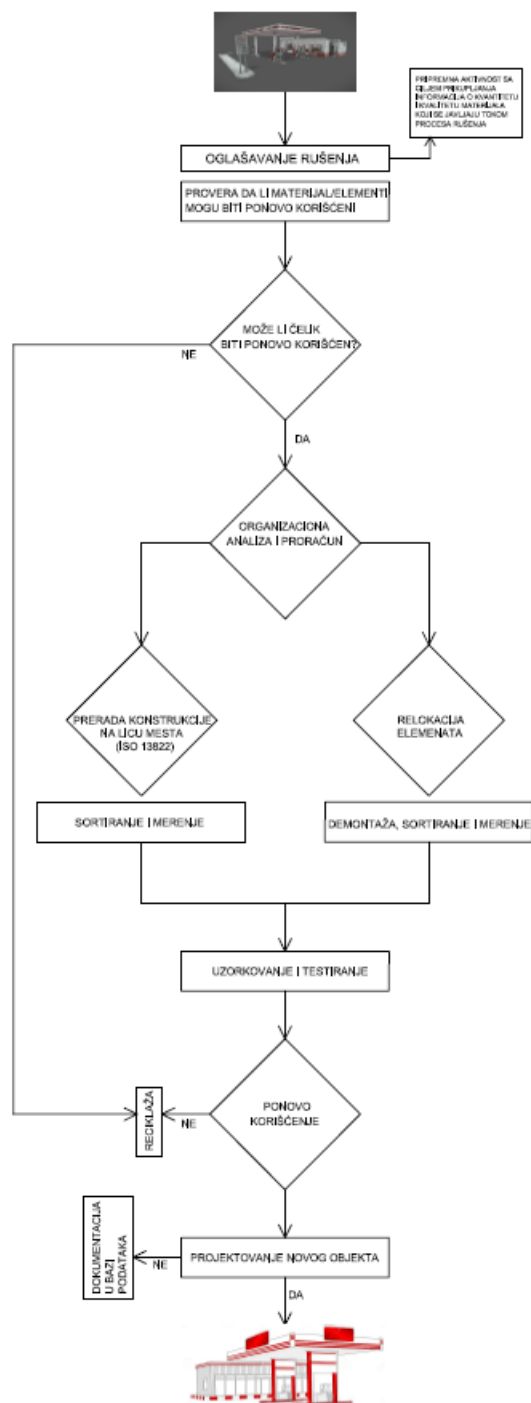
1.1. ČELIK U KONSTRUKCIJAMA

Za ponovo korišćenje čelika iz postojećih konstrukcija, SCI (steel construction industry) publikacija P427[4] definiše protokol za testiranje i proveru karakteristika postojećih ugrađenih čeličnih elemenata. U protokolu se izuzimaju čelični elementi koji su ugrađeni u mostove i druge objekte koji su pretrpeli velika opterećenja tokom perioda svog životnog ciklusa, kao i svi elementi ugrađeni pre 1970-tih, jer se računa da je vek trajanja konstrukcije objekata oko 50 godina. Naravno, izuzimaju se elementi koji su tokom svog egzistiranja bili podvrgnuti požaru ili koroziji. Daju se preporuke za povećanje pojedinih faktora sigurnosti, na pr. $\gamma_{M1,mod}=1.15 \gamma_{M1}$ i sl. Preporuke ovog protokola zahtevaju 100% ispitivanja materijala bez razaranja.

Pomenuti životni ciklus konstrukcije je definisan standardom ISO 14040 [5]. Uvodi se novi pojam "Projektovanje za demontažu" (Design for Demolition-DfD) sa fokusom za ponovo korišćenje elemenata čelične konstrukcije [6]. Životni ciklus čelične konstrukcije "od kolenke pa do groba" prema CEN TC/350 se sastoji iz nekoliko faza:

- Faza izgradnje
 - Priprema izgradnje
 - Snabdevanje sirovinama
 - Transport
 - Proizvodnja
 - Transport
 - Proces izgradnje-ugradnja instalacija
- Korišćenje objekta
 - Korišćenje
 - Održavanje
 - Popravka
 - Zamena delova
 - Renoviranje
- Faza kraja života
 - Dekonstrukcija, rušenje
 - Transport
 - Prerada otpada
 - Odlaganje
- Ponovna upotreba, oporavak i reciklaža
 - Ponovna upotreba na licu mesta bez rastavljanja
 - Ponovna upotreba na istoj lokaciji u istoj konfiguraciji
 - Ponovna upotreba na istoj lokaciji u različitoj konfiguraciji
 - Ponovna upotreba na drugom mestu u istoj konfiguraciji
 - Ponovna upotreba na različitim lokacijama u različitim konfiguracijama.

Na sledećem dijagramu (slika 1) dat je prikaz celokupnog procesa eventualne ponovljene upotrebe čeličnih elemenata konstrukcije.



Slika. 1 Ponovo korišćenje čeličnih elemenata

Da bi se čelični elementi ponovo koristili, treba da budu neoštećeni, bez trajnih deformacija, da nisu korodirali, da nisu bili podvrgnuti zamoru materijala ili požaru. Posebno treba proveriti šavove u svim zavarenim spojevima koji treba da ostanu na korišćenje u narednoj konstrukciji. Neophodno je sprovesti kontrolu kvaliteta, po mogućstvu nedestruktivnim testovima, statističku ili potpunu. Kontrola kvaliteta treba da bude potkrepljena dokumentacijom (EN1090). Nakon toga treba sprovesti novo CE markiranje potencijalnih čeličnih elemenata za korišćenje. Osnova za CE oznaku je da proizvođač izjavljuje da njegovi proizvodi ispunjavaju uslove navedene standardom sa karakteristikama performansi koje su definisane kao bitne za primenu proizvoda u oblasti građevinarstva. U daljoj primeni, neće biti razlike u procedurama, standardima, proračunima ili tolerancijama bilo za novi ili obnovljeni čelik.

Ono što treba dodati prethodnoj proceduri su i planska dokumenta koja prate procese rušenja postojećih objekata, kao i novonastali građevinski otpad. Takođe, treba rešiti pitanja transporta i skladištenja čelika koji se sprema za ponovnu upotrebu. Taj čelik treba proveriti i o tome mora postojati pisani izveštaj. Takođe, ponekad je na postojećim elementima potrebno odraditi minorne prepravke u vidu sečenja pojedinih delova, čišćenja ili ispravljanja. Treba sastaviti i bazu podataka o profilima, koja će sadržati mere, tip čelika, stanje elementa, ali i procenjenju starost. U bazu treba ubaciti i svre druge vrednosti od značaja za opis postojećih elemenata.

Zaključno, količina elemenata čelične konstrukcije koja se može ponovo upotrebiti iz zgrada na kraju njihovog životnog ciklusa zavisi od toga kako su elementi prvobitno projektovani i izgrađeni. Tokom projektovanja konstrukcija koje se predviđaju za rastavljanje i potencijalnu ponovnu upotrebu, trebalo bi usvojiti sledeće principe [7]:

- Obučiti sve članove projektantskog tima o načinu projektovanja sa ovim tipom čeličnih elemenata, kao i o načinu razmene informacija sa učesnicima drugih, sličnih projekata.
- Zgradu treba graditi u slojevima koji se po potrebi mogu lako zameniti tokom čitavog veka trajanja zgrade. Komponente sa najkraćim vekom trajanja treba da biti u najlakše dostupnim slojevima.
- Složenost zgrade treba da se smanji što je više moguće. Projektovati što jednostavnije konstruktivne rešetke sa jasnim linijama oslonaca, što će dovesti do upotrebe komponenti pravilne veličine koje će maksimizirati njihovu potencijalnu ponovnu upotrebu uz minimalne varijacije. Količina različitih materijala i njihove različite specifikacije takođe treba da budu svedene na minimum kako bi se olakšala ponovna upotreba.
- Bezbednost na radu i prostor za mašine treba uzeti u obzir tokom izgradnje i demontaže. Projekat takođe treba da uzme u obzir buduću logistiku dekonstrukcije.
- Koristiti montažne komponente ili module koji se instaliraju na licu mesta i lako rastavljaju za ponovnu upotrebu na drugim lokacijama ili čak na istoj lokaciji.
- Detalji povezivanja treba da budu relativno jednostavni i dostupni. Ovo se takođe odnosi na veze sa temeljima i drugim komponentama.
- Zavarivanje treba izbegavati osim ako se zavarene komponente mogu ponovo koristiti u celini, npr. okviri portalnih kranova i sl.
- Zavrtnjeve i druga sredstva za vezu, lepkove i zaptivače treba odabrati tako da se ne oštete sekundarne komponente, kao što su obloge i prozori, prilikom njihovog uklanjanja kao potencijalno višekratnih komponenata.
- Projektom predvideti materijale za višekratnu upotrebu i izbegavati složene kompozitne materijale, gips, armirani beton i sl. koji se teško odvajaju i recikliraju. Opasne materije treba izbegavati. Takođe, efekat premaza i protivpožarne zaštite za čelične konstrukcije treba uzeti u obzir u aplikaciji za ponovnu upotrebu.
- Treba pripremiti dnevnik zgrade/bazu podataka u obliku informacija o zgradi.
- Uraditi model (*BIM-building information modeling*) koji uključuje informacije o projektu originalne zgrade, specifikacijama za materijale i detalje izgradnje bilo kog rada na rekonstrukciji, kao i informacije relevantne za demontažu.
- Treba pripremiti nove projekte kako bi se čelični elementi što pre upotrebili i time smanjili troškovi. To što postoje čelični elementi spremni za ponovnu upotrebu ili ne znači da će ih neko brzo ili uopšte iskoristiti.

Takođe, treba na tenderima dati prioritet izvođačima radova koji su spremniji da prihvate ciljeve projekta sa ponovnom upotrebom materijala od tradicionalnog izvođača

radova. Ako se u posao uvodi konvencionalni glavni izvođač, zahtev za upotrebu recikliranih materijala mora biti jasno naveden i definisan [8].

Kraj životnog veka građevinskih proizvoda igra važnu ulogu, s obzirom na novi koncept cirkularne ekonomije, jer zgrade imaju dug životni vek i zahtevaju značajnu količinu materijala i resursa. Ovaj koncept je jako sličan pomenutom konceptu projektovanja za demontažu. Naime, Zahtevi Uredbe EU 2020/852 od 18. juna 2020. godine o uspostavljanju okvira za omogućavanje održivih ulaganja predviđaju jednu od aktivnosti koje pomažu tranziciji na cirkularnu ekonomiju kao „projekat za dugovečnost, prenamenu ili demontažu” (čl. 13, 1e) ^[9]. Takođe, godine 2020. pojavio se standard za dobrovoljnu upotrebu (ISO 20887:2020): Održivost u zgradama i građevinski radovi — Projektovanje za demontažu i prilagodljivost — Principi, zahtevi i uputstva [10].

Koncept cirkularne ekonomije[11] sugerise da treba da se usvoji takav način projektovanja da svi materijali na kraju jednog životnog ciklusa postaju resurs za sledeći. Da bi se to postiglo i proizvođači i potrošači treba da promene svoj pristup kako bi se održao životni standard bez štetnog uticaja na životnu sredinu. Da bi se održala cirkularnost, sačuvali resursi i minimizirali uticaji na životnu sredinu, ove resurse treba zadržati u upotrebi kroz ponovnu upotrebu, povraćaj ili recikliranje. Mana ovog koncepta je da objekti postaju skup uniformnih elemenata, pa je kreativnost projektanata svedena na minimum. Iz tog razloga, treba proveriti energetska i ekonomska uticaja ponovo korišćenih ili recikliranih elemenata na nekom objektu.

Tokom prošlih decenija ustanovljeni su mnogi načini procene uticaja materijala na životnu sredinu, razvijeni unutar određenih programa sertifikovanja ili kao zasebna istraživanja. Pomoću takvih procena moguće je uvideti koliki je ukupni uticaj materijala na okolinu, što se naziva ugrađena energija (embodied energy), te kako određeni materijal utiče na prirodu kroz faze, od samog iskopa pa do odlaganja, preko takozvane procene životnog ciklusa (life-cycle assessment) - ona daje mogućnost da se za svaki materijal mogu odrediti problematične faze. Iako se količina ispuštenog CO₂ određenog materijala često podudara sa ugrađenom energijom materijala, to nije uvek slučaj, tako da je razvijena i metoda procene ukupnih emisija CO₂ u životnom ciklusu materijala pod nazivom ugrađeni ugljenik (embodied carbon) [12].

U Srbiji se upotreba čeličnih konstrukcija za izgradnju objekata i dalje najviše odnosi na jednospratne objekte tipa industrijskih hala, uz povremeni iskorak ka premošćavanju većih raspona u velikim tržnicama i trgovačkim centrima. Evropske preporuke za ponovno korišćenje čeličnih elemenata u jednospratnim objektima donose se 2020. godine. Jednospratne zgrade su posebno pogodne za rekuperaciju i ponovnu upotrebu elemenata čeličnih konstrukcija jer:

- imaju repetitivni konstruktivni sistem koji je u skladu sa dobro definisanim konstruktivnim oblicima,
- lako se sklapaju i rastavljaju,
- elementi konstrukcije su obično vizuelno izloženi i dostupni su na relativno bezbednoj radnoj visini,
- obično su to objekti sa malom popunjenošću enterijera,
- ove konstrukcije obično nemaju protivpožarnu zaštitu,
- imaju dobar potencijal za standardizaciju u svojoj geometriji i upotrebi primarnih komponenata,
- svaku komponentu je lako dokumentovati.

Osnovna svrha ovog rada je da uspostaviti model proračuna potrošnje energije i emisije ugljenika tokom izgradnje, rušenja ili ponovne izgradnje čelične konstrukcije, a u skladu sa trenutnom situacijom u Srbiji.

2. IZGRADNJA BENZINSKE STANICE

Životni vek čeličnih konstrukcija podrazumeva nekoliko faza:

- prefabrijacija
- izgradnja
- upotreba i održavanje
- rušenje.

U toku rušenja energija koja se troši uglavnom je energija iz dva izvora [13]:

- energija mašina za rušenje
- energija mašina za transport.

Na obe ove energije treba dodati i energiju koju oslobađa ljudski rad.

U toku rušenja emituje se sledeća energija:

$$Q_I = \sum W_i \cdot T_i \cdot \alpha_i \cdot A \cdot B \quad (1)$$

gde su :

Q_I - emisija CO₂ tokom faze rušenja, t;

W_i -snaga za rušenje i-tog dela, kW (dizalica i alati za rušenje);

T_i - vreme potrebno za rušenje i-tog dela, h;

α_i - faktor emisije ugljenika za potrošnju energije pri rušenju i-tog dela, kg CO₂/kW·h (0,725 kg CO₂/kW·h [14];

A- koeficijent oporavka (A=0,8)

B-koeficijent koji se odnosi na energiju iz rada radnika (B=1,1).

U fazi transporta:

$$T_d = \sum \frac{Q_{ti}}{(G_i - G_{i0})} \times \frac{(P_i - P_{i0}) D_i}{100} \quad (2)$$

gde su:

T_d - ukupno gorivo (*diesel*) potrošeno za transport svog građevinskog materijala, L;

Q_{ti} - količina za transport i-tog materijala, t;

G_i - ukupna nosivost transportnog sredstva pri nošenju i-tog materijala, t;

G_{i0} - ukupna rezerva mase u transportnom sredstvu pri nošenju i-tog građevinskog materijala, t;

P_i - potrošnja goriva transportnog sredstva i-tog građevinskog materijala, L/100km;

D_i - rastojanje od mesta proizvodnje čeličnog elementa do gradilišta, km.

Odnos između potrošnje energije u toku transporta i emisije ugljenika je [15]:

$$Q_2 = \frac{3.18 T_d}{1000} \quad (3)$$

Pretpostavlja se da se stvori 3,18 kg CO₂ se stvori po kg dizela [16].

U radu je razmatran proces rušenja jedne benzinske stanice na široj teritoriji grada Beograda i eventualno prebacivanje čelične konstrukcije na drugu lokaciju udaljenu 20 km. Ukupna težina čelične konstrukcije stanice je 16836,34 kg. Težina fasade od sandwich panela sa podkonstrukcijom je 2612,40+1601,57 = 4213,97 kg. Količina protivpožarnog premaza je 218,88 m², a količina zavrtnjeva je 991,84 kg. Ovaj rad će analizirati sanaciju i ponovnu upotrebu čeličnog materijala sa konstrukcije zgrade i nadstrešnice, a drugi materijali neće biti analizirani.

Varijanta 1 obuhvata rušenje postojeće benzinske stanice i transport na novu lokaciju sa dodavanjem nedostajućih elemenata koji se koriste iz reciklaže, ako je to moguće.

Naravno, demontirani materijal će se prvo dovesti u radionicu Izvođača radova radi ispravljanja, sečenja, čišćenja, bojenja..., a zatim će se transportovati do nove lokacije. Varijanta 2 predstavlja izgradnju nove benzinske stanice sa svim elementima koji se kupuju na stovarištima materijala.

U prvoj varijanti je emisija ugljenika podeljena na pet delova:

$$Q=Q_{1}+ Q_{2r} + Q_{2a}+Q_{3a}+Q_{5} \quad (4)$$

gde su

Q- Ukupna potrošnja ugljenika prema prvoj varijanti, t;

Q₁- emisija CO₂ u fazi rušenja građevine, t;

Q_{2r}- emisija CO₂ nastala tokom transporta demontiranih komponenata, t;

Q_{2a}- emisija CO₂ nastala tokom proizvodnje dodatnih komponenata, t (2,71 t/t za proizvodnju novog čelika ili 0,44 t/t za reciklažu) [17],

Q_{3a}- emisija CO₂ nastala tokom transporta dodatnih komponenata, t,

Q₅- emisija CO₂ nastala tokom montaže komponenata, t,

U varijanti dva se prepoznaju sledeći delovi u emisiji ugljenika:

$$Q'=Q_{2p}+Q_{3p}+Q_{4p}+Q_{5p} \quad (5)$$

gde su

Q'- ukupna emisija ugljenika u varijanti 2, t;

Q_{2p}- emisija CO₂ nastala tokom proizvodnje komponenata, t;

Q_{3p}- emisija CO₂ nastala tokom transporta komponenata od železare do stovarišta, zatim do radionice Izvođača radova, pa do gradilišta, t.

Q_{4p}- emisija CO₂ nastala tokom oblikovanja komponenata u radionici, t,

Q_{5p}- emisija CO₂ nastala tokom montaže komponenata, t.

Proizvodnja čeličnih elemenata:

$$Q_3 = \sum q_i \cdot c_i \cdot C \quad (6)$$

gde su:

Q₃- emisija CO₂ tokom proizvodnje, t;

q_i- proizvodnja i-tog elementa, t;

c_i- vrednost emisije CO₂ tokom proizvodnje čelika, t/t (2,71 t/t)

C- koeficijent koji se odnosi na proizvodnju čeličnih elemenata koji ostaju kao otpad nakon formiranja elemenata u radionici.

$$Q_{4p} = \sum W_i \cdot T_i \cdot \beta_i \quad (7)$$

Q_{4p}- emisija CO₂ tokom faze izrade novih elemenata u radionici, t;

W_i-snaga za izradu i-tog dela, kW (radnici i alati za obradu);

T_i - vreme potrebno za izradu i-tog dela, h;

β_i - faktor emisije ugljenika za potrošnju energije pri izradi i-tog dela, kgCO₂/kW·h (0,6kgCO₂/kW·h).

$$Q_{5p} = \sum W_i \cdot T_i \cdot \gamma_i \quad (8)$$

gde su

Q_{5p}- emisija CO₂ tokom faze montaže, t;

W_i-snaga za montažu i-tog dela, kW;

T_i - vreme potrebno za montažu i-tog dela, h;

γ_i - faktor emisije ugljenika za potrošnju energije pri montaži i-tog dela, kgCO₂/kW·h (0,54 kgCO₂/kW·h).

Transport sa jednog na drugo gradilište i transport novih komponenata bi se vršio uvek istim kamionom sa dodatnom rukom dizalice (Mercedes-Benz Actros 2532 MP3 / 446 dkm / 6x2 / Steer & Lift axle / HMF 3000 K2 Crane Remote Control) nosivosti 15 t i dužinom ruke do 40m, i prosečnom vrednosti emisije 0,02 kg CO₂/tkm. Montaža i

demontaža se vrše uz pomoć dizalice LIEBHERR 125K. Transport od železare do stovarišta je 92km sa vremenom od 1,5 h, od stovarišta do radionice 24 km sa vremenom od 0,7h, a zatim do gradilišta još 12 km sa vremenom od 0,6h. Potrošnja goriva za ovo transportno sredstvo je 37l/100 km.

Vreme potrebno za rušenje postojeće konstrukcije je 5 radnika x 37h = 185h. Vreme montaže je 367h. Vreme potrebno za preradu komponenata je 28h. Vreme potrebno za izradu novih komponenata je 2080h.

Sprovedena je delimična analiza životnog ciklusa pomoću softvera GaBi version 9.0.0.42 (Sphera Solutions GmbH, Leinfelden-Echterdingen, Germany), sa bazom podataka od proizvođača softvera (Tabela 1, slika 3). Program je alat za sprovođenje procene životnog ciklusa proizvoda i procesa u životnoj sredini. Omogućava da se prate materijalni i energetske tokovi i emisije u životnu sredinu. Zahvaljujući svojoj modularnoj i parametrizovanoj arhitekturi, omogućava modelovanje složenih procesa i razne varijante proizvodnje [18]. Deo procesa koji se tiče rušenja odnosno same montaže sproveden je uz pomoć Industrial building embodied carbon National University of Singapore [19] sa podacima dobijenih iz softvera GaBi za proizvodnju čelika, kao što je prikazano na slici 2.

Tabela 1 podaci za program GaBi

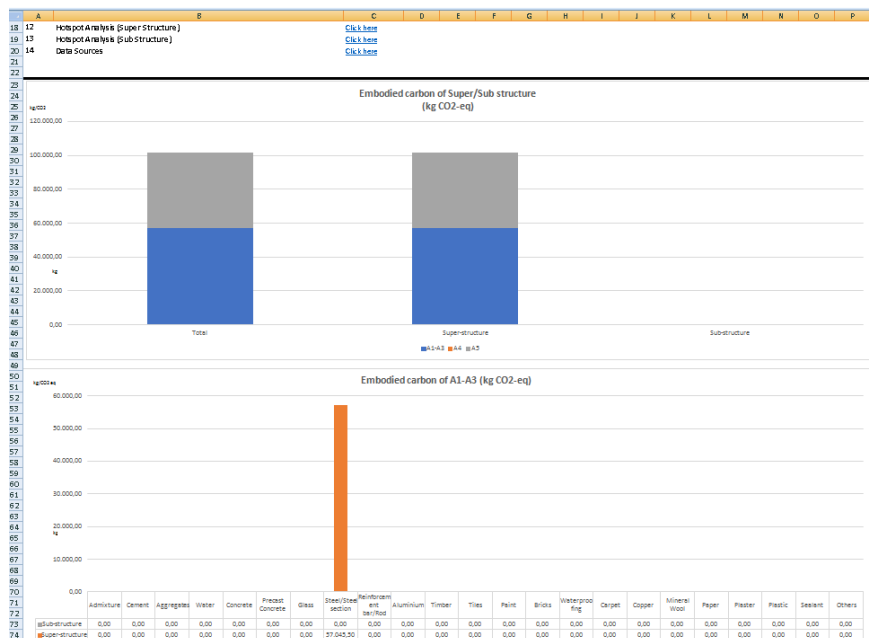
| Process | Flow | Data Source | |
|--|---|--|--|
| Construction ^a /Demolition ^a | Electricity consumption | Professional screwdriver, straight, high-speed FW-55XD-7 ATMO (1.1 kW; 85 mth ^{b,c}) | |
| | Fuel consumption | Tower crane LIEBHERR 125K (7 L/h; 240 mth Wheeled tractor John Deere 6215R (30 L/h; 62 mth Mobile rough terrain crane REX 25t (16 L/h; 37 mth Crawler crane 140t—P&H 5150-R (35 L/h; 70 mth | |
| Transport | Fuel consumption | GaBi: Truck, Euro 6, 26—28t—Sphera | |
| Melting of steel scrap | | GaBi: EAF Steel billet—Sphera | |
| Manufacture of semi-finished products for section production | | GaBi: BF Steel billet—Sphera | |
| Manufacturing of sections on a rolling line | | GaBi: Steel sections—AISI | |
| Washing of elements with pressurized water | Water use | GaBi: Process water from surface water—Sphera | |
| | Wastewater | GaBi: Municipal wastewater—Sphera | |
| | Electricity consumption | Pressure washer 20 MPa Karcher HDS 13/20 4SX (10 L/h; 32 mth | |
| | Fuel consumption | Cargo Delivery Van Peugeot Boxer Furgon PRO L4H2 435 (15 L/h; 2 mth | |
| Refurbishment of elements | Sand drying | Electricity consumption | Free-fall concrete mixer 250 dm ³ BWE-250k (1.5 kW; 106 mth Agregat TEH 300 TROTEC (70 kW; 106 mth |
| | | Fuel consumption | Diesel air compressor ATMOS PDP 35 Perkins 5.0 m ³ (6 L/h; 520 mth Wheeled tractor John Deere 6215R (30 L/h; 42 mth ^b) |
| | Spray painting of elements with two-component anticorrosion paint | Electricity consumption | Air compressor 20 m ³ /min, high-pressure, XATS 377 CD 186 kW (186 kW, 70 mth |
| | Fuel consumption | Cargo Delivery Van Peugeot Boxer Furgon PRO L4H2 435 (15 L/h; 2 mth | |

| A | B | C | D |
|---|-----------------------------|---|--------------------------|
| 10 Sub-building Type | | Postal Code (Site) | |
| 11 Submitted By | | Structural Consultant | Snezana Bajic |
| 12 Submitted Date | | Architect | Marina Nikolic Topalovic |
| 13 Project GFA (m ²) | 210,00 | Project Owner | |
| 14 Project SGFA (m ²) | | Sub structure (m ²) | |
| 15 Project CFA (m ²) | | Reference Value (kg CO ₂ /m ²) | |
| 16 Grid Emission Factor (GEF) | 0,41 kgCO ₂ /kWh | Concrete Usage Index | |
| 17 Year of GEF | 2020 | | |
| 19 Embodied carbon results for Green Mark 2021 Whole Life Carbon Section Scoring | | | |
| Sum of embodied carbon of Concrete, Steel and Glass | | | |
| 20 (A1-A4, super structure) per GFA | 271,6452381 | kgCO ₂ eq/m ² | |
| Sum of embodied carbon of Concrete, Steel and Glass | | | |
| 21 (A1-A4, super structure) per GFA compared to reference | | | |
| 22 value | | Insufficient Data % | |
| 25 Embodied carbon main results | | | |
| Sum of embodied carbon of Concrete, Steel and Glass | | | |
| 26 Total embodied carbon (A1-A5, Total) | 101,699,70 | kgCO ₂ eq | |
| 27 Total embodied carbon (A1-A4, Total) | 57,045,50 | kgCO ₂ eq | |
| 28 Total embodied (A1-A4, Super structure) | 57,045,50 | kgCO ₂ eq | |
| 29 Total embodied (A1-A4, Sub-structure) | 0,00 | kgCO ₂ eq | |
| 30 Total embodied construction phase (A5) | 44,654,20 | kgCO ₂ eq | |
| 31 Total embodied (A1-A5, Super structure) | 101,699,70 | kgCO ₂ eq | |
| 32 Total embodied (A1-A5, Sub-structure) | 0,00 | kgCO ₂ eq | |
| Sum of embodied carbon of Concrete, Steel and Glass | | | |
| 33 (A1-A5, Total) | 101,699,70 | kgCO ₂ eq | |
| Sum of embodied carbon of Concrete, Steel and Glass | | | |
| 34 (A1-A4, Total) | 57,045,50 | kgCO ₂ eq | |
| Sum of embodied carbon of Concrete, Steel and Glass | | | |

Slika. 2 Oslobođena količina CO₂ za proces moontaže

Na osnovu prethodno sprovedenog proračuna, izračunate su sledeće vrednosti:

- U prvoj varijanti emisija ugljenika je 49,8 t CO₂ (rušenje bez saniranja, saniranje sa transportom i montaža).
- U drugoj varijanti emisija ugljenika je 101,7 CO₂ (izrada elemenata sa transportom i montaža).



Slika. 2 Oslobođena količina CO₂

3. ZAKLJUČAK

U Srbiji su retki pokušaji da se postojeći čelik sa jednog objekta iskoristi za izgradnju nosive konstrukcije drugog objekta. Ne postoje ni baze podataka o raspoloživom čeličnom materijalu koje bi projektantima bile na raspolaganju za buduće objekte. Kontrolisana reciklaža građevinskog čelika je takođe neostvarena na ovim prostorima, već se sav materijal nastao nakon rušenja svrstava u građevinski otpad.

Ovaj rad je prikaz analize potrošnje CO₂ kada se za izgradnju objekta koristi već upotrebljen čelik, odnosno kada se pristupa izgradnji sa novim čeličnim elementima. Oslobođena količina CO₂ se u drugoj varijanti duplira, a time i štetnost po zdravlje i život ljudi. Čitava procedura zahteva opsežniju pripremu koja pre svega podrazumeva pažljiviju demontažu postojećih elemenata, njihovo sortiranje i preradu, ali je krajnji rezultat neuporedivo veći sa aspekta zaštite životne sredine. Planiranje energetske efikasnosti zgrada u svakom smislu sa niskim otiskom na okolinu je ključni faktor ka tranziciji ka održivom društvu.

LITERATURA

- [1] https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS_Design_guide_final-version.pdf, poslednji put provereno 01.03.2023. godine
- [2] European Commission (2012), Product environmental footprint guide: consolidated version
- [3] European Commission (2018), Product environmental footprint category rules guidance, Version 6.3
- [4] https://steel-sci.com/assets/downloads/steel-reuse-event-8th-october-2019/SCI_P427.pdf, poslednji put pristupljeno 23.07.2023,
- [5] ISO 14040:2006 (2006) Environmental management - Life cycle assessment -Principles and framework. Geneve : International Organisation for Standardisation (ISO)

- [6] Kanters, J. (2018) Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art. Buildings vol.8, 150, doi.org/10.3390/buildings8110150
- [7] Arup, CIOB. (2013), Sir Ian Dixon Scholarship Designing for the Deconstruction Process. Final Report, The implications of reuse and recycling for the design of steel buildings. Can J Civ Eng 33, 489-496.
- [8] Gorgolewski M., Straka V., Edmonds J., Sergio-Dzoutzidis C. (2008) Designing buildings using reclaimed steel components, Journal of Green Building 3(3):97-107, DOI: 10.3992/jgb.3.3.97
- [9] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32020R0852> (Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the Establishment of a Framework to Facilitate Sustainable Investment, and Amending Regulation), poslednji put pristupljeno 21 marta 2023.
- [10] ISO 20887:2000; (2020) Sustainability in Buildings and Civil Engineering Works-Design for Disassembly and Adaptability-Principles, Requirements and Guidance. ISO: Geneva, Switzerland,
- [11] McDonough, W., Braungart, M., (2002) Cradle to cradle—remaking the way we make things, North Point Press: USA.
- [12] Dokšanović T., Farkaš M., Njegovanović N. (2012) Tržišna prihvatljivost građevinskog materijala s malim udjelom ugljika, Dio I: Materijali i mogućnosti smanjenja utjecaja na okoliš, Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek 3(5):1-20, DOI: 10.13167/2012.5.1
- [13] Qiao C., Hu P., Pan Q., Geng J., (2019) Research on CO2 Emission Reduction of a Steel Structure Prefabricated Building Considering Resource Recovery, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 237 022036
- [14] EIB (2023) Project Carbon Footprint Methodologies Methodologies for the assessment of project greenhouse gas emissions and emission variations Version 11.3 January 2023, European Investment Bank
- [15] Chen, S., Cui, DG., Zhang, HJ. (2016) Calculation method and case study of building carbon emissions. Journal of Beijing University of Technology, 42(04):594–600
- [16] <https://sphaera.com/wp-content/uploads/2022/02/Documentation-for-Duty-Vehicle-Processes-in-GaBi-2022.pdf>, april 2023.
- [17] Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0, prof. Geoff Hammond & Craig Jones, Sustainable Energy Research Team (SERT) Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK
- [18] <https://sphaera.com/product-sustainability-data>, poslednji put pristupljeno 19.03.2023.
- [19] <https://www.sgbc.sg/resources/eccalculator>, poslednji put pristupljeno 10.04.2023.

SANACIJA MORSKE SKAKAONE U ZADRU

Marijan Skazlić¹, Slobodan Lavrnić², Stipe Acalin³

Rezime:

Sve veći broj betonskih konstrukcija ubrzano gubi trajnost i biva oštećen u uvjetima eksploatacije u agresivnom okolišu. Jedan od tipičnih primjera agresivnog okoliša je morska okolina. Objekt morske skakaone u Zadru je izgrađen 1957. godine te je jedinstvena konstrukcija tog tipa u Republici Hrvatskoj. Nakon 65 godina korištenja skakaona je oštećena zbog uznapredovale korozije armature uslijed djelovanja klorida iz mora te je postala opasna za korištenje. U ovom radu je dano projektno rješenje sanacije skakaone te su prikazani primijenjeni tehnološki postupci sanacije. Provedbom sanacijskih radova sanirana su sva oštećenja na skakaoni, bez promjene izgleda ili veličine konstrukcije, te je na taj način objektu produljen životni vijek. Za istaknuti je da je sanacija ove konstrukcije bila izuzetno kompleksna zbog značajnih oštećenja uslijed korozije armature, nepristupačnosti za rad u morskoj okolini te potrebe za koordinacijom različitih vrsta sanacijskih radova.

Ključne reči: beton, kloridi, korozija armature, sanacija, skakaona

REHABILITATION OF SEA JUMPING STRUCTURE IN ZADAR

Summary:

An increasing number of concrete structures are rapidly losing durability and are damaged in conditions of exploitation in an aggressive environment. One typical example of an aggressive environment is the marine environment. The sea jumping facility in Zadar was built in 1957 and is a unique construction of this type in the Republic of Croatia. After 65 years of use, sea jumping structure was damaged due to advanced corrosion of the reinforcement because of the influence of chlorides from the sea and became dangerous to use. This paper presents a design solution for the rehabilitation of the sea jumping structure and applied technological procedures. With the implementation of rehabilitation works, all damage to the ski jump structure was repaired, without changing the appearance or size of the structure, and thus the life time was extended. It should be pointed out that the rehabilitation of this structure was extremely complex due to significant damage due to corrosion of reinforcement, inaccessibility for work in the marine environment and the need for coordination of various types of rehabilitation works.

Key words: concrete, chlorides, reinforcement corrosion, repair, sea jumping structure

¹ Redovni profesor, Građevinski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, marijan.skazlic@grad.unizg.hr

² Inženjer, Geoexpert-I.G.M. d.o.o., Zagreb, Hrvatska, slobodan.lavrnice@geoexpert-igm.hr

³ Inženjer, Geoexpert-I.G.M. d.o.o., Zagreb, Hrvatska, stipe.acalin@geoexpert-igm.hr

1. UVOD

Morska skakaona (slika 1) nalazi se neposredno uz vanjski bazen na kupalištu Kolovare u Zadru. Skakaona je sagrađena 1957. godine te predstavlja jedinu morską skakaonu ovog tipa u Republici Hrvatskoj. Morska skakaona se nalazi u agresivnoj maritimnoj okolini te je znatno oštećena od procesa uznapredovale korozije armature uslijed djelovanja klorida iz mora.

Objekt skakaone je armiranobetonska konstrukcija koja se sastoji od temelja, 2 stupa i 3 ploče podesta na visinama od 3 m, 5 m i 10 m iznad nivoa mora. Tlocrtne dimenzije betonskog temelja su 440×450 cm, a visina od vrha temelja do morskog dna je cca 450 cm. Završna podna obloga temelja su kamene ploče debljine 6 cm. Stupovi su promjenjivih dimenzija poprečnog presjeka, i to 40×80 cm u donjem dijelu do ploče podesta na visini od 3 m, a 30×80 cm u nastavku do vrha. Armirano-betonske ploče podesta su na različitim visinama, različitog tlocrta i debljina. Ploča 1. podesta je na visini od cca 3 m iznad mora, te je tlocrtnih dimenzija 450×540 cm, s otvorom dimenzije 105×80 cm koji služi za pozicioniranje ljestvi za penjanje. Ploča je poduprta konzolama promjenjive visine koje su povezane sa stupovima. Debljina ploče je promjenjiva, i to 30 cm na osloncima uz stupove i 20 cm na rubovima. Ploča 2. podesta je na visini od cca 5 m iznad mora te je tlocrtno pravokutnih dimenzija od 560×220 cm, s otvorom 80×75 cm za ljestve. Promjenjive je debljine, i to 25 cm uz stupove i 15 cm na rubovima. Ploča 3. podesta je na visini od cca 10 m iznad morske razine. Pravokutnih je tlocrtnih dimenzija 595×220 cm, s otvorom od 110×75 cm za ljestve. Promjenjive je debljine koja iznosi 25 cm uz stupove i 15 cm na rubovima. Ova ploča je također poduprta konzolama promjenjive visine koje su povezane sa stupovima. Na dijelovima svake ploče podesta je izvedena cinčana ograda. Podesti su vertikalno povezani cinčanim penjalicama na kojima je montiran leđobran na dijelu iznad visine od 5 m iznad mora.

Pristup skakaonici je preko lučnog armirano-betonskog mosta raspona 840 cm, širine 100 cm na krajevima i 50 cm na sredini. Most je promjenjive debljine, na krajevima 50 cm, a na sredini 30 cm.

U radu je prikazan postupak sanacije skakaone koji se sastojao od istražnih radova i ocjene stanja konstrukcije, projektiranja i izvođenja sanacije.



Slika 1. Pogled na oštećenu morską skakaonu i pristupni most

2. ISTRAŽNI RADOVI I OCJENA STANJA KONSTRUKCIJE

Za potrebe ocjene stanja konstrukcije morske skakone provedeni su slijedeći istražni radovi [1, 2]:

- Detaljni vizualni pregled s ciljem utvrđivanja oštećenja na konstrukciji;
- Bušenje valjaka promjera \varnothing 100 mm dijamantnom bušilicom prema normi HRN EN 12504-1: 2019, te ispitivanje tlačne čvrstoće betona prema normi HRN EN 12390-3: 2019 (slika 2),
- Utvrđivanje dubine karbonatizacije betone prema HRN EN 14630: 2007 pomoću otopine fenolftaleina na valjcima izvađenima iz konstrukcije,
- Ispitivanje vlačne čvrstoće prionjivosti pull-off metodom prema normi HRN EN 1542: 2001,
- Određivanje stupnja korozije mjerenjem polučelijastog potencijala prema ASTM C876-15 (slika 2),
- Uzimanje uzoraka betonskog praha na dubinama 0-2, 2-4, i 4-6 cm iz karakterističnih konstruktivnih elemenata i određivanje sadržaja klorida u betonu pomoću RCT metode.



Slika 2. Mjerenje stupnja korozije armature (lijevo) i vađenje uzoraka betona iz konstrukcije (desno)

Srednja vrijednost rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima betona izbušenim iz konstrukcije za stupove iznosi $32,1 \text{ N/mm}^2$, a na pločama podesta je $36,5 \text{ N/mm}^2$. Ovi rezultati su pokazali da postojeći beton ima zadovoljavajuće vrijednosti tlačne čvrstoće s obzirom na starost, vrstu konstrukcije i stupanj oštećenosti.

Rezultati ispitivanja sadržaja klorida u betonu (tablica 1) pokazali su da je na ispitnim mjestima znatno veći sadržaj klorida od dopuštenog (0,05 % na masu betona). Dobiveni rezultati ispitivanja su pokazali da je sadržaj klorida na dubini 0-2 cm od 6 do 22 puta veći od kritičnog sadržaja klorida, a na dubini od 6 cm sadržaj klorida je od 2 do 20 puta veći od dopuštenog. Treba naglasiti da se ovom ispitnom metodom ne može odrediti sadržaj klorida u betonu veći od 1,12 % na masu betona.

Tab. 1. Rezultati ispitivanja sadržaja klorida u betonu morske skakaone

| Dubina (mm) | Sadržaj klorida (% na masu betona) u konstruktivnim elementima - visina iznad mora | | | | | |
|-------------|--|-----------|---------|-----------|-----------|------------|
| | Stup-1 m | Ploča-3 m | Stup-5m | Ploča-5 m | Stup-10 m | Ploča-10 m |
| mm | > 1,12 | > 1,12 | 0,29 | 0,73 | 0,46 | 0,64 |
| 20-40 mm | > 1,12 | > 1,12 | 0,42 | 0,57 | 1,06 | 0,19 |
| 40-60 mm | > 1,12 | > 1,12 | 0,24 | 0,42 | 0,23 | 0,10 |

Ispitivanje dubine karbonatizacije pokazalo je da betonski elementi nisu oštećeni od karbonatizacije.

Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće prionjivosti pull-off metodom su u rasponu od 0,2 N/mm² do 2,7 N/mm². S obzirom da je za sanaciju betona postupkom reprofilacije potrebna vlačna čvrstoća prionjivosti veća od 1,5 N/mm², zaključeno je da sve ploče podesta ne posjeduju dostatan kvalitet za sanaciju reprofilacijom, te je bolje rješenje rušenje i ponovno betoniranje novih ploča podesta.

U okviru utvrđivanja stanja konstrukcije i ispitivanja stanja armature u pogledu korozije provedena su ispitivanja polućelijastog potencijala te su izmjerene vrijednosti polućelijastog potencijala na pločama podesta u rasponu od -500 mV do -700 mV, a što je znatno manje od -350 mV. Ovi rezultati pokazuju da je u pločama podesta pristuan proces aktivne korozije armature.

Provedbom specijalističkog vizualnog pregleda betonskih elemenata skakaone uočena su tipična oštećenja uslijed uznapredovale korozije armature u morskome okolišu (slika 3). Uočena su oštećenja u obliku pojave smeđih mrlja na površini betona, raspucavanja i odlamanja dijelova betona te gubitak prionjivosti između betona i armature. S obzirom na intenzitet oštećenja armiranobetonskih elemenata može se reći da je ugrožena konstrukcijska cjelovitost, nosivost i sigurnost u korištenju objekta, te je odlučeno da se pristupi hitnoj sanaciji skakaone.



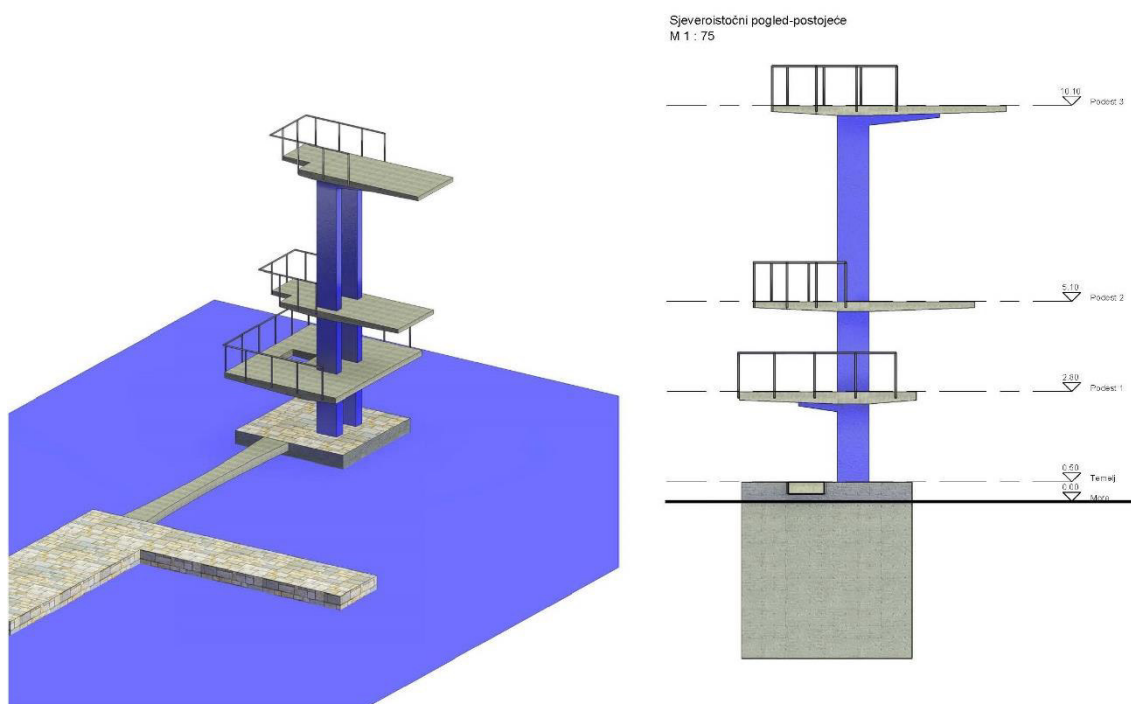
Slika 3. Oštećenja skakaone koja su posljedica uznapredovalog procesa korozije armature

3. PROJEKTNO RJEŠENJE SANACIJE

Na temelju stanja konstrukcije utvrđenog specijalističkim vizualnim pregledom i provedenim istražnim radovima pristupljeno je projektiranju sanacije skakaone. [3] Na slici 4 prikazan je trodimenzionalni model skakaone i pristupnog mosta, koji je korišten pri projektiranju.

Projektom definirani radovi sanacije počinju sa demontažom cinčanih ograda i penjalica, njihovim odlaganjem na deponiju te ponovnom montažom nakon završetka sanacije.

S obzirom na veliki stupanj oštećenja ploča podesta, izrazit veliki udio sadržaja klorida na svim izmjerenim dubinama te nedostatnu vrijednost vlačne čvrstoće prionjivosti pull-off metodom projektnim rješenjem je definirano uklanjanje sve tri armiranobetonske ploče podesta. Uklanjanje se obavlja razbijanjem pneumatskim udarnim alatima. Prilikom uklanjanja ploča podesta treba ostaviti djelomično postojeću armaturu ploča sidrenu u stupove, kako bi se iskoristila za povezivanje s novoproračunatom armaturom ploča. Za potrebe povezivanja nove armature ploča s postojećim stupovima, buše se ankeri dubine 20 cm u postojećim stupovima, te se ispunjavaju epoksidnom smolom. Nakon uklanjanja postojećih ploča podesta vrši se postavljanje oplata sa podupiračima, armiranje i ponovno betoniranje novih armiranobetonskih ploča iste dimenzije betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37, razreda izloženosti XC4, XF4, XS3.



Slika 4. Trodimenzionalni model skakaone i pristupnog mosta (lijevo) i sjeveroistočni pogled na skakaonu (desno)

Armirano-betonski stupovi se saniraju postupkom reprofilacije. Hidrodemoliranjem pod pritiskom od 2500 bara se provodi uklanjanje oštećenog betona do dubine zdravog betona gdje je i sadržaj klorida manji od kritičnog (0,05 % na masu betona). Nakon provedenog hidrodemoliranja sve betonske površine peru se vodom pod pritiskom od 800 bara te se pristupa injektiranju uočenih pukotina. Postojeća armatura se čisti te se vrši zamjena postojeće armature sa novom ukoliko se utvrdi da je postojeća armatura oštećena od djelovanja korozije armature. Nakon postavljanja dodatne armature u stupu vrši se betoniranje stupova u oplati u više segmenata. Na stupovima se umjesto uklonjenog betona izvodi obloga u debljini od cca 8,0 cm, betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37, razreda izloženosti XC4, XF4, XS3.

Reprofilacija pristupnog mosta provodi se hidrodemoliranjem te strojnom ugradnjom polimer cementnog sanacijskog morta na pripremljene i očišćene betonske površine.

Sanacija temelja obuhvaća obnovu gornje površine i bočnih stranica. Uklanja se oštećeni beton na gornjoj površini temelja i svim bočnim stranicama u visini od cca 200 cm. Uklanjanje betona se obavlja u debljini prosječno 10 cm, pneumatskim čekićima i djelomično ručno, uz poravnavanje površina. Umjesto uklonjenog betona izvodi se obloga bočnih stranica temelja u debljini 10 cm u jednostranoj oplati, betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37, razreda izloženosti XC4, XF4, XS3. Za povezivanje novog

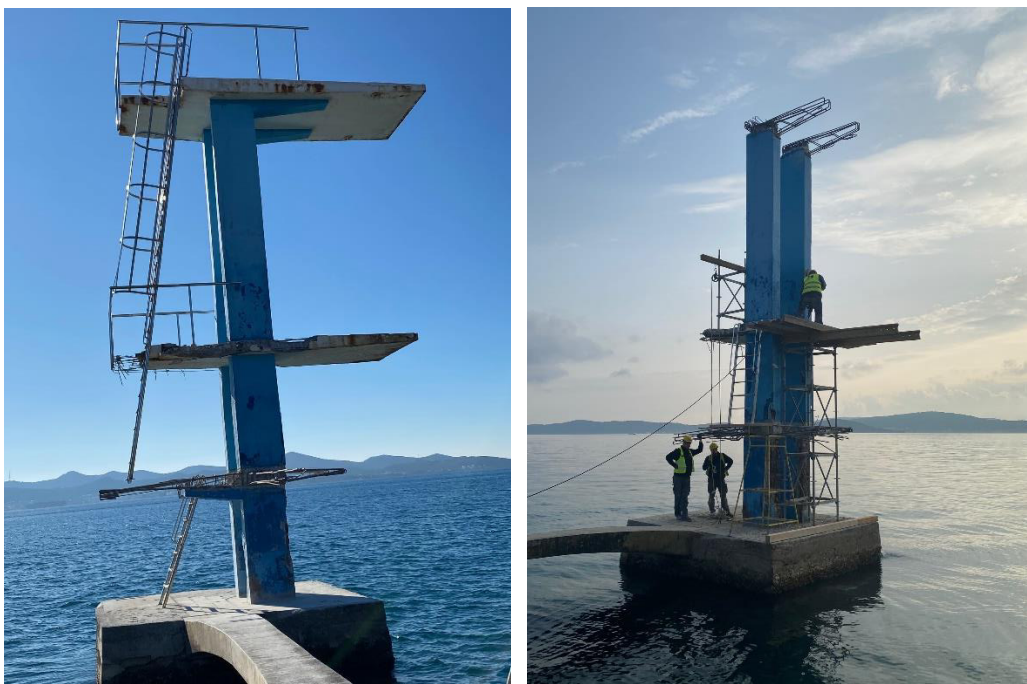
betona obloge s postojećim betonom temelja, ugrađuje se sidrena armatura promjera 12 mm, u prethodno izbušene rupe promjera 16 mm u postojećem betonu, dubine 20 cm, ispunjene epoksidnom smolom. Predviđena je ugradnja 4 komada ankera po m² površine temelja. Nakon uklanjanja opločnika i pripreme pranjem temelja, izvodi se betoniranje gornjeg betonskog sloja temelja u debljini 10 cm, betonom C 16/20. Završna obloga gornje površine temelja izvodi se oblaganjem predgotovljenim kamenim opločnicima debljine 6 cm, položenim na betonski sloj. Sljubnice se zapunjavaju cementnim mortom 1:2 do 1:3.

Sve površine novih ploča podesta, stupova i pristupnog mosta se premazuju sustavom zaštitnog premaza koji se sastoji od temeljnog epoksidnog i završnog poliuretanskog sloja.

4. PRIMJENJENE METODE SANACIJE

Sanacijski radovi na skakaoni i pristupnom mostu izvedeni su u periodu od početka veljače do kraja lipnja. Sanacija je započela demontažom postojećih cinčanih ograda i penjalica, koji su u zadovoljavajućem stanju, te njihovim odlaganjem na gradilišnu deponiju do trenutka ponovne montaže nakon završetka svih sanacijski radova.

Radovi na sanaciji konstrukcije započeli su uklanjanjem postojećih ploča podesta ručnim pneumatskim udarnim alatima (slika 5). U ovoj fazi radova bilo je potrebno paziti da uklonjeni dijelovi betona od ploča podesta ne upadnu u more, već da se sakupe i odvezu na gradilišnu deponiju.



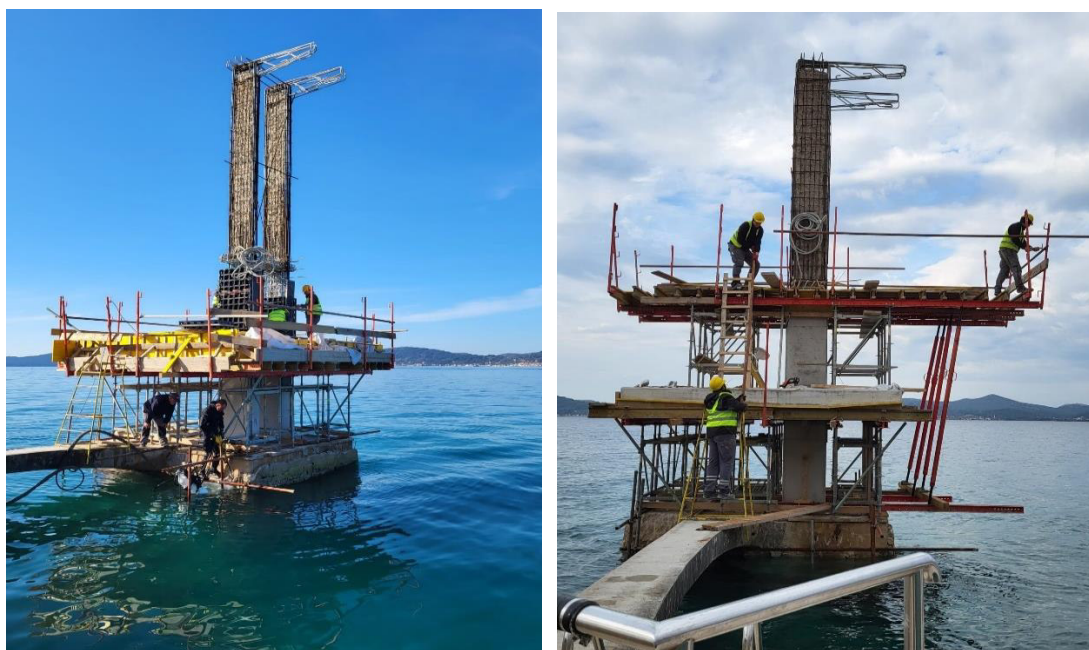
Slika 5. Uklanjanje ploča podesta pneumatskim udarnim alatima

Nakon uklanjanja ploča podesta, konstrukcija skakaone je ograđena zaštitnom tkaninom te je započelo hidrodemoliranje stupišta pod pritiskom od 2500 bara. Zaštitna tkanina je postavljena kako ne bi hidrodemolirani beton upadao u more te kako vjetar ne bi u postojeću konstrukciju donosio kloride iz mora. Hidrodemoliranje je provedeno u fazama do zdravog betona te se nakon završetka pojedine faze ispitivao sadržaj klorida u betonu. Iako je projektom bilo predviđeno hidrodemoliranje sa svake strane stupa u debljini od cca 8 cm, situacija na gradilištu zahtijevala je da se stup sa svake strane hidrodemolira za cca 15 cm, jer je tek na toj dubini ispitani sadržaj klorida bio manji od kritičnog. Na slici 6 su prikazane karakteristične slike iz ove faze izvođenja radova.



Slika 6. Hidrodemoliranje stupišta obloženog zaštitnom tkaninom (lijevo) i izgled konstrukcije skakaone nakon završetka rušenja ploča podesta i hidrodemoliranja stupova (desno)

Potom se pristupilo injektiranju uočenih pukotina u stupištu te pregledom oštećene armature stupišta, njenom zamjenom i dopunom sa novom armaturom. Paralelno sa armiranjem stupišta i njihovom pripremom za betoniranje, vršeno je i uklanjanje oštećenog betona temelja. Ovi radovi na temeljima bili su posebno zahtjevni jer su iziskivali rad ronilaca (slika 7).



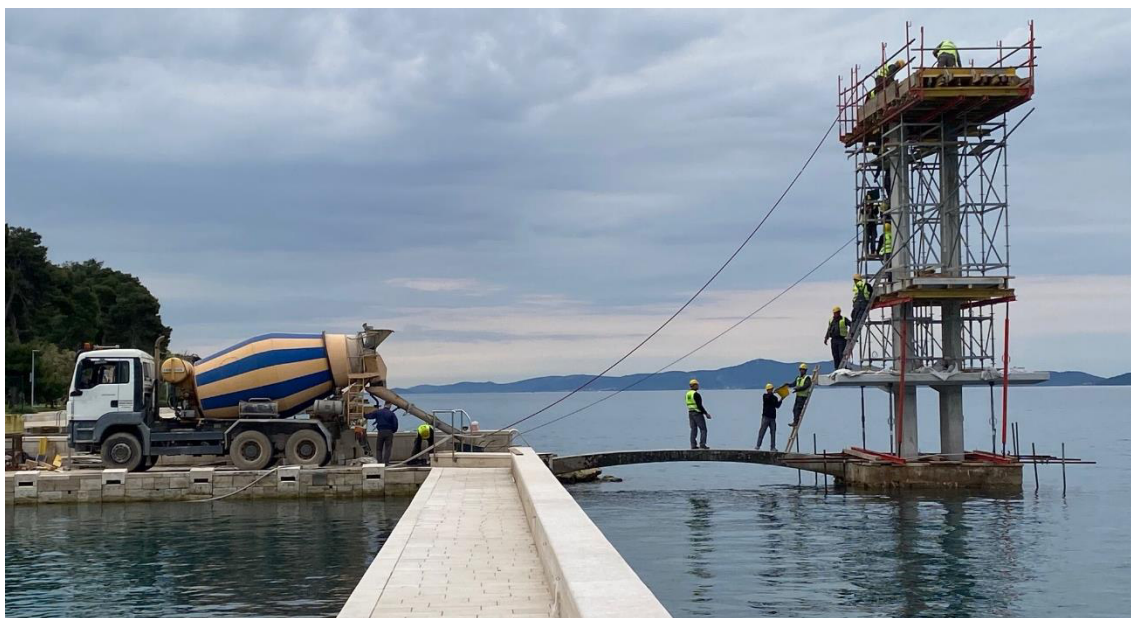
Slika 7. Radovi na armiranju stupišta i ploča podesta te uklanjanje oštećenog betona oko temelja

Betoniranje stupova provedeno je u 4 faze, i to: do prve ploče podesta, između prve i druge ploče podesta te u 2 faze između druge i treće ploče podesta (slika 8). Temelji su betonirani u 2 faze (bočne stranice i gornji dio temelja), a svaka ploča podesta je betonirana u zasebnim fazama (slika 9).



Slika 8. Armiranje ploče podesta na visini od cca 5 m iznad mora (lijevo) i betoniranje temelja skakaone u moru (desno)

Ukupno je na objektu skakaone provedeno betoniranje u devet različitih faza. Reprofilacija betonom postojećih stupova i temelja te betoniranje novih ploča podesta nije bio nimalo jednostavan zadatak zbog nedostatnog mjesta za postavljanje podupirača i oplata za betoniranje te uslijed otežanog pristupa skakaoni za miksera za beton. Zbog otežanog pristupa nije bilo moguće uvijek ugrađivati beton pumpom, pa je to provedeno ručnom ugradnjom betona.



Slika 9. Završno betoniranje ploče podesta na visini od cca 10 m iznad mora

Prilikom betoniranja posebno se pazilo na zaštitu postavljene armature i ugrađenog betona od unosa soli i klorida putem vjetrova iz mora. Isto tako, svi izbetonirani dijelovi skakone su na propisan način njegovani kako se ne bi pojavile pukotine ili druga oštećenja u uvjetima agresivnog morskog okoliša. Nakon završenih radova na izvođenju podesta na njih su montirane postojeće cinčane ograde i penjalice koje su bile demontirane i odložene.

Nakon završetka betoniranja stupova i ploča podesta, uklonjeni su svi podupirači i oplate te se pristupilo i sanaciji pristupnog mosta. Pristupni most je saniran zadnji jer je cijelo vrijeme provedbe sanacije bio jedina poveznica sa skakaonom te je služio za unutarnji, gradilišni transport materijala, ljudi i opreme.

Završni radovi na skakoni uključivali su pranje svih betonskim površina vodom pod pritiskom od 800 bara te nanošenje zaštitnog premaza koji se sastoji od epoksida i poliuretana. Na gazišnim ploham ploča podesta, sa kojih se skače u more, nanešen je protuklizni sloj koji treba osigurati sigurnost skakača u korištenju te nemogućnost pada sa skakaone uslijed klizanja.

Na slici 10. prikazan je završni izgled sanirane skakaone. Sanacija je provedena u roku manjem od pet mjeseci, a što se smatra dosta brzim periodom uzevši u obzir zahtjevnost sanacije i nužnost koordinacije različitih sanacijskih radova na malom prostoru. Glavni problem koji se pojavljivao tijekom sanacije skakaone jest nedostupnost sa kopna i sa mora za izvedbu pojedinih faza sanacijskih radova. Isto tako, zahtjevnim dijelom sanacije pokazali su se svi radovi u podmorju koji su obavljani uz pomoć iskusnih ronilaca, često i u vrlo valovitom moru.



Slika 10. Pogled na skakaonu i pristupni most nakon završetka svih sanacijskih radova

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana sanacija morske skakaone i pristupnog mosta u Zadru nakon više od 65 godina korištenja. Skakaona je oštećena uslijed višegodišnjeg agresivnog djelovanja klorida iz mora. Karakteristična oštećenja od uznapredovale korozije armature su bila u obliku pojave smeđih mrlja na površini betona, gubljenja prionjivosti betona i armature te odlamanja betona. Sva uočena oštećenja su utjecala na smanjenu nosivost i uporabljivost skakaone, a što je dovelo i do nesigurnosti u korištenju te nužnosti provedbe hitne sanacije konstrukcije.

Sanacijskim radovima su prethodili opsežni istražni radovi na konstrukciji sa ciljem utvrđivanja stanja i stupnja oštećenja te izrada izvedbenog projekta sanacije.

Svi sanacijski radovi provedeni su na način da se nije promijenio izgled i dimenzije konstrukcije te je objektu produljen životni vijek. Glavni problemi pri izvedbi sanacije bili su slaba pristupačnost skakaone, kako sa kopna tako i s mora, nužnost izvedbe

podmorskih, sanacijskih radova i koordinacija različitih vrsta sanacijskih radova u skučenom prostoru te kompleksnost sanacije zbog velikih oštećenja uslijed uznapredovale korozije armature.

Skakaona je danas u funkciji te se veliki broj kupača i skakača opet s njom koristi. Treba naglasiti da je provedbom sanacije skakaone i pristupnog mosta poboljšana njena nosivost i uporabljivost te je na taj način sam objekt doveden u stanje sigurno za korištenje od strane svih korisnika skakaone.

LITERATURA

- [1] Geoexpert-I.G.M. d.o.o. (2020). Elaborat o istražnim radovima, broj: IR-17.12.19-02-06, Zagreb, Hrvatska
- [2] ZADAR SUB d.o.o. (2019). Izvještaj o podvodnom pregledu armirano-betonskog temelja, broj: 1006/2019, Zadar, Hrvatska
- [3] Geoexpert-I.G.M. d.o.o. (2021). Projekt sanacije skakaonice na otvorenom kupalištu Kolovare, izvedbeni građevinski projekt, projektant Slobodan Lavrnić, broj: PS-07.05.21-03, Zagreb, Hrvatska

BOČNO – TORZIONO IZVIJANJE U DRUGOJ GENERACIJI STANDARDA EN 1993-1-1

Petar Subotić¹, Duško Lučić², Mladen Muhadinović³

Rezime:

Osnovna pravila za projektovanje čeličnih konstrukcija definisana su u standardu EN 1993-1-1. Od stupanja na snagu engleske verzije ovog standarda prošlo je već skoro 20 godina. S obzirom na nova naučna saznanja i rezultate istraživačkih projekata evropska komisija je pokrenula projekat izrade druge generacije Eurokodova koji su planirani sekvencijalno da stupe na snagu počevši od 2026. godine. Nacrt nove verzije standarda EN 1993-1-1 već je objavljen i dostupan inženjerima na uvid. U ovom radu dat je pregled novina i izmjena koju sa sobom donasi pomenuti nacrt kad je riječ o pojavi bočno – torzionog izvijanja. U radu su prezentovane nove metode proračuna zajedno sa njihovom teorijskom zasnovanošću. Ovaj rad u mjeri koliko je to moguće treba da upozna i pripremi inženjere sa neminovnom budućnošću koja dolazi.

Ključne reči: Eurokodovi, bočno – torziono izvijanje, druga generacija standarda EN 1993-1-1

LATERAL – TORSIONAL BUCKLING IN THE SECOND GENERATION OF EN 1993-1-1

Summary:

The basic rules for the design of steel structures are defined in EN 1993-1-1. Almost 20 years have passed since the English version of this standard has appeared. In view of the new scientific knowledge and the results of research projects, the European Commission started the project to develop the second generation of Eurocodes, which are planned to enter into force sequentially starting in 2026. The draft of the new version of the EN 1993-1-1 has already been published and it is available for engineers to comment. In this paper, an overview of the novelties and changes brought by the aforementioned draft is given when it comes to the phenomenon of lateral – torsional buckling. In this paper the new calculation methods together with their theoretical basis are presented. This paper, to the extent possible, should acquaint and prepare engineers with the inevitable future that is to come.

Key words: Eurocodes, lateral – torsional buckling, second generation of EN 1993-1-1

¹ Saradnik u nastavi, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, petarsub@ucg.ac.me

² Redovni. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, dlucic@ucg.ac.me

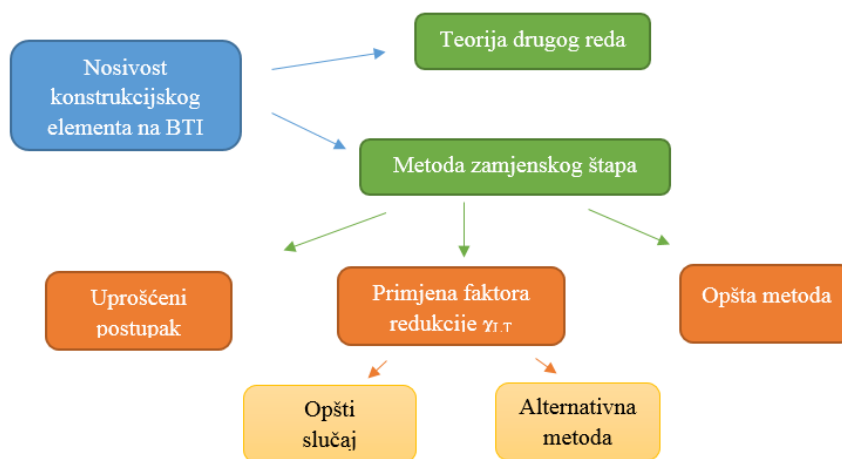
³ Saradnik u nastavi Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, mladen.m@ucg.ac.me

1. UVOD

Evropski propisi za projektovanje čeličnih konstrukcija tzv. Eurokod 3 stupanjem na snagu donio je značajnu revoluciju na polju projektovanja čeličnih konstrukcija. Kako je od tada prošlo više od 10 godina trenutno je uveliko u procesu revizija i izrada druge generacije Eurokoda 3 koji bi sekvencijalno trebao da stupi na snagu od 2026. godine. Sa stečnim novim saznanjima ali i uočenim nedostacima postojećih pravila realno je za očekivati izmjene u pojedinim oblastima. Jedna od takvih oblasti je i pojava bočno – torzionog izvijanje nosača. U nacrtu nove verzije standrada EN 1993-1-1, tzv. prEN 1993-1-1 (1) dosadašnja pravila za proračun nosivosti konstrukcijskih elemenata na bočno – torziono izvijanje u velikoj mjeri su izmjenjena. Ovaj pregledni rad ima za cilj da upozna širu stručnu javnost sa novinama koje donosi druga generacija standrada EN 1993-1-1 kad je riječ o pojavi bočno – torzionog izvijanja. U cilju bolje pripreme inženjera projekatana na neminovnu budućnost, u ovom radu biće prezentovane nove predložene metode proračuna kad je riječ o bočno – torzionom izvijanju. Predloženim metodama biće analizirana teorijska zasnovanost te će biti izvršena komparacija sa postojećim metoda.

2. BOČNO TORZIONO IZVIJANJE PREMA SADAŠNJOJ VERZIJI EN 1993-1-1

Prije usvajanja standarda EN 1993-1-1 (2) problem bočno – torzionog izvijanja tretirao je standard JUS U.C7. 101. Prema ovom standardu nosivost konstrukcijskih elemenata na bočno – torziono izvijanje određuje se prema jasno definisanom postupku za sve tipove konstrukcijskih elemenata. U standardu EN 1993-1-1 u izvjesnoj mjeri to nije slučaj. Naime, za određivanje nosivosti elemenata na bočno – torziono izvijanje postoji više različitih metoda. Ove različite metode proračuna prema pomenutom standardu slikovito su prikazane na sljedećem dijagramu.



Slika. 1 Nosivost konstrukcijskih elemenata na BTI prema EN 1993-1-1

Dakle, dvije osnovne metode/postupka proračuna nosivosti elemenata na bočno – torziono izvijanje prema EN 1993-1-1 su metoda zamjenskog štapa i primjena teorije drugog reda. Provjera nosivosti elementa na bočno – torziono izvijanje korišćenjem teorije drugog reda podrazumijeva sprovođenje GMINA analize. Nosač se modelira sa imperfekcijama a presječne sile određuju se primjenom teorije drugog reda. Nosivost nosača smatra se iscrpljenom kada napon u najopterećenijem vlaknu dostigne granicu tečenja. Na ovaj način, jasna granica između provjera nosivosti i stabilnosti, koja je bila prisutna u dosadašnjoj inženjerskoj praksi projektovanja čeličnih konstrukcija, se gubi. Ovako sprovedena provjera podrazumijeva i provjeru nosivosti i provjeru stabilnosti.

Detaljne smjernice za sprovođenje ove vrste analize u EN 1993-1-1 nijesu date. Prema tački 5.3.4 (3) dozvolja se da se imperfekcije (materijalne i geometrijske) zamijene ekvivalentnom geometrijskom imperfekcijom amplitude $k \cdot e_0$. Član e_0 predstavlja amplitudu ekvivalentne imperfekcije zakrivljenja za fleksiono izvijanje oko slabije ose presjeka. Član k predstavlja faktor redukcije i njegovu vrijednost svaka zemlja koja primjenjuje Eurokodove može definisati u pripadajućem nacionalnom aneksu.

Metoda zamjenskog štapa je odavno prisutna u projektovanju čeličnih konstrukcija. Određeni element konstrukcije izdvaja se iz iste sa odgovarajućim graničnim uslovima. Za ovakav zamjenski element zasebno se sprovode provjere nosivosti i stabilnosti.

Provjera zamjenskog štapa na bočno – torziono izvijanje prema EN 1993-1-1 može da se sprovede na tri načina:

- primjenom faktora redukcije χ_{LT} ,
- korišćenjem uprošćenog postupka,
- korišćenjem opšte metode.

Pomenute metode, u opštem slučaju, ne daju iste rezultate, te nije svejedno koja će se metoda koristiti prilikom proračuna. Pravilni izbor o prikladnosti određene metode za konkretan problem moguće je jedino napraviti poznavanjem njene teorijske zasnovanosti. U daljem dijelu rada kao, najčešće primjenjivana metoda u praksi, biće analizirana metoda primjene faktora redukcije χ_{LT} odnosno opšti slučaj i alternativna metoda.

2.1. PRIMJENA FAKTORA REDUKCIJE χ_{LT}

Faktorom redukcije χ_{LT} vrši se redukcija nosivosti elementa kako bi se uzela u obzir pojava bočno – torzionog izvijanja. Odgovarajuća provjera stabilnosti elementa sprovodi se korišćenjem sljedećeg izraza.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (1)$$

pri čemu je

M_{Ed} → proračunski moment savijanja,

$M_{b,Rd}$ → proračunska nosivost na bočno – torziono izvijanje.

Proračunska nosivost na bočno – torziono izvijanje određuje se korišćenjem izraza 2.

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2)$$

U zavisnosti od klase poprečnog presjeka otporni moment W_y može da predstavlja plastični otporni moment (klasa 1 i 2), elastični otporni moment (klasa 3) ili efektivni otporni moment (klasa 4).

Za određivanje faktora redukcije χ_{LT} u standardu su date dvije metode tzv. opšti slučaj i alternativna metoda.

U opštem slučaju faktor redukcije χ_{LT} određuje se korišćenjem sljedećih izraza.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (3)$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \quad (4)$$

pri čemu je

α_{LT} → faktor imperfekcije,

$\bar{\lambda}_{LT}$ → relativna vitkost na bočno – torziono izvijanje.

Faktor imperfekcije α_{LT} zavisi od krive bočno – torzionog izvijanja za poprečni presjek. Vrijednosti ovog faktora prikazane su u sljedećoj tabeli.

Tab. 1 Vrijednost faktora imperfekcije α_{LT} prema EN 1993-1-1

| Kriva izvijanja | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Faktor imperfekcije α_{LT} | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Kriva bočno – torzionog izvijanja poprečnog presjeka definiše se u zavisnosti od načina njegove izrade i geometrije, kako je dato u sljedećoj tabeli.

Tab. 2 Krive za bočno – torziona izvijanje u opštem slučaju prema EN 1993-1-1

| Poprečni presjek | Ograničenja | Kriva izvijanja |
|--------------------------|--------------|-----------------|
| Valjani I-presjeci | $h/b \leq 2$ | <i>a</i> |
| | $h/b > 2$ | <i>b</i> |
| Zavareni I-presjeci | $h/b \leq 2$ | <i>c</i> |
| | $h/b > 2$ | <i>d</i> |
| Ostali poprečni presjeci | - | <i>d</i> |

Alternativna metoda može da se koristi samo za valjane i ekvivalentne zavarene I presjeka. Prema ovoj metodi faktor redukcije χ_{LT} određuje se na sličan način kao i u opštem slučaju.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ ali } \begin{matrix} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{matrix} \quad (5)$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \quad (6)$$

Vrijednosti faktora imperfekcije α_{LT} jednake su onima iz opšteg slučaja ali je promijenjena tabela za krive izvijanja.

Tab. 3 Krive za bočno – torziona izvijanje u alternativnoj metodi prema EN 1993-1-1

| Poprečni presjek | Ograničenja | Kriva izvijanja |
|---------------------|--------------|-----------------|
| Valjani I-presjeci | $h/b \leq 2$ | <i>b</i> |
| | $h/b > 2$ | <i>c</i> |
| Zavareni I-presjeci | $h/b \leq 2$ | <i>c</i> |
| | $h/b > 2$ | <i>d</i> |

Parametri β i $\bar{\lambda}_{LT,0}$ mogu se definisati u nacionalnom aneksu. Preporučene vrijednosti su $\beta = 0,75$ a $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$.

Uticaj oblika dijagrama momenata savijanja duž nosača uzima se korišćenjem faktora *f* koji se primjenjuje na faktor redukcije χ_{LT} .




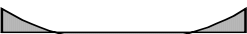



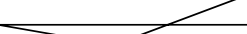
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad (7)$$

Pri čemu je

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c)(1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2) \text{ ali } f < 1,0 \quad (8)$$

Faktor korekcije k_c zavisi od oblika dijagrama momenata savijanja i određuje se na osnovu sljedeće tabele.

Tab. 4 Vrijednosti faktora korekcije k_c prema EN 1993-1-1

| Raspodjela momenata | k_c |
|--|-----------------------------|
|  $\psi = 1$ | 1,0 |
|  $-1 \leq \psi \leq 1$ | $\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$ |
|  | 0,94 |
|  | 0,90 |
|  | 0,91 |
|  | 0,86 |
|  | 0,77 |
|  | 0,82 |

3. BOČNO TORZIONO IZVIJANJE PREMA NACRTU NOVE VERZIJE EN 1993-1-1

Prema nacrtu nove verzije standrada EN 1993-1-1 postupak provjere nosivosti elemenata na bočno – torziono izvijanje značajno je izmijenjen.

Kao dvije osnovne metode za proračun nosivosti elemenata na bočno – torziono izvijanje zadržane su metoda zamjenskog štapa i primjena teorije drugog reda. Međutim, u prEN 1993-1-1 dat je veći broj smjernica za proračun primjenom teorije drugog reda a postojeće metode proračuna faktora redukcije χ_{LT} (opšti slučaj i alteranativna metoda) potpuno su odbačene.

Za određivanje faktora redukcije χ_{LT} definisana je nova metoda odnosno izraz. Ova nova metoda biće prikazana u nastavku rada.

Prema predloženoj novoj metodi faktor redukcije χ_{LT} treba odrediti prema sljedećem izrazu.

$$\chi_{LT} = \frac{f_m}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - f_m \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (9)$$

Pri čemu je

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left(1 + f_m \left(\left(\frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right) \quad (10)$$

gdje je:

$f_m \rightarrow$ faktor kojim se uzima u obzir oblik dijagrama momenata savijanja između tačaka bočnih pridržanja.

Vrijednosti faktora imperfekcije α_{LT} su promijenjene u odnosu na trenutnu verziju standrada EN 1993-1-1 i treba ih odrediti na osnovu sljedeće tabele.

Tab. 5 Faktor imperfekcije α_{LT} prema prEN 1993-1-1

| Poprečni presjek | | Granice | | α_{LT} |
|---------------------|--|------------------|------------------|--|
| Valjani I-presjeci | | $h/b > 1,2$ | $t_f \leq 40$ mm | $0,12 \sqrt{\frac{W_{ely}}{W_{elz}}}$ ali: $\alpha_{LT} \leq 0,34$ |
| | | | $t_f > 40$ mm | $0,16 \sqrt{\frac{W_{ely}}{W_{elz}}}$ ali: $\alpha_{LT} \leq 0,49$ |
| | | $h/b \leq 1,2$ | - | $0,16 \sqrt{\frac{W_{ely}}{W_{elz}}}$ ali: $\alpha_{LT} \leq 0,49$ |
| Zavareni I-presjeci | | $t_f \leq 40$ mm | | $0,21 \sqrt{\frac{W_{ely}}{W_{elz}}}$ ali: $\alpha_{LT} \leq 0,64$ |
| | | $t_f > 40$ mm | | $0,25 \sqrt{\frac{W_{ely}}{W_{elz}}}$ ali: $\alpha_{LT} \leq 0,76$ |

Faktor f_m zavisi od oblika dijagrama momenata savijanja. Njegove vrijednosti prikazane su u tabeli 6.

Tab. 6 Faktor f_m prema prEN 1993-1-1

| Slučaj opterećenja | Faktor f_m | Faktor k_c |
|--------------------|--|---|
| M = konstantno | 1,00 | 1,00 |
| M $\psi \cdot M$ | $1,25 - 0,1 \psi - 0,15 \psi^2$ | $\frac{1}{1,33 - 0,33 \psi}$ |
| | 1,05 | 0,94 |
| | Za $0 \leq \frac{M_0}{M_h} < 2,0$: $1,0 + 1,35 \frac{M_0}{M_h} - 0,33 \left(\frac{M_0}{M_h}\right)^3$ Za $\frac{M_0}{M_h} \geq 2$: 1,05 | $\frac{M_0}{M_h} < 1,0$: 1,00 $\frac{M_0}{M_h} \geq 1,0$: 0,90 |
| | Za $0 \leq \frac{M_0}{M_h} < 1,47$: $1,25 + 0,5 \left(\frac{M_0}{M_h}\right)^2 - 0,275 \left(\frac{M_0}{M_h}\right)^4$ Za $\frac{M_0}{M_h} \geq 1,47$: 1,05 | $\frac{M_0}{M_h} < 0,5$: 0,75 $\frac{M_0}{M_h} \geq 0,5$: 0,91 |
| | 1,10 | 0,86 |

Možemo primjetiti da su proračunska pravila za određivanje faktora redukcije χ_{LT} u prEN 1993-1-1 u značajnoj mjeri različita od onih prisutnih u sadašnjoj verziji standarda. Ove izmjene bazirane su na doktorskoj disertaciji Taras – a (3).

Porijeklo istih biće prikazano u nastavku rada.

Parametar η^* koji zapravo predstavlja faktor kalibracije kojim se uzima u obzir uticaj imperfekcija, u slučaju bočno – torzionog izvijanja, u sadašnjoj verziji EN 1993-1-1

definisani je na isti način kao i za fleksiono izvijanje, tj u izraz za η^* zanemaren je član $\frac{\bar{\lambda}_{LT}^2}{\bar{\lambda}_z^2}$.

Kako bi se prevazišao uočeni nedostatak Taras je predložio novi izraz za parametar η^* koji je konzistentan sa analitičkim dijelom.

$$\eta^* = \frac{\bar{\lambda}_{LT}^2}{\bar{\lambda}_z^2} \left(\alpha_{LT}(\bar{\lambda}_z - 0,2) \right) \quad (11)$$

Korišćenjem ovako definisanog parametra η^* na pravi način oslikava se pojava bočno – torzionog izvijanja.

Kalibracija faktora α_{LT} izvršena je tako da se poprečni presjeci klasifikuju prema istom kriterijumu kao i kod fleksionog izvijanja ($h/b \leq 1,2$). Na ovaj način proračunska pravila za fleksiono izvijanje i bočno – torziona izvijanje su konzistentna.

Kako bi se ostvarilo bolje poklapanje rezultata sa rezultatima GMNIA analiza za određivanje faktora α_{LT} uveden je novi faktor $\sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$.

Na ovaj način značajno je smanjena disperzija rezultata, te je ostvaren velik stepen poklapanja se rezultatima GMNIA analiza. Predložene vrijednosti za faktor α_{LT} u (3) su upravo one definisane u tabeli 5 tj. predlog Taras-a usvojen je u prEN 1993-1-1.

Kako bi u potpunosti prikazali porijeklo izraza 9 odnosno 10 potrebno je još razmotriti i uticaj oblika dijagrama momenata savijanja.

Kako bi se uzeo u obzir oblik dijagrama momenata savijanja Taras je predložio novi pristup. Ovaj pristup usvojen je u prEN 1993-1-1, pa će ukratko biti prikazan u nastavku. Prilikom provjere nosivosti nosača na bočno – torziona izvijanje kao referentni moment savijanja za provjeru uzima se maksimalna vrijednost duž nosača. U slučaju linearno promjenljivog dijagrama momenata savijanja, maksimalna vrijednost momenta savijanja i položaj kritičnog presjeka s obzirom na bočno – torziona izvijanje, ne nalaze se u istom presjeku duž nosača.

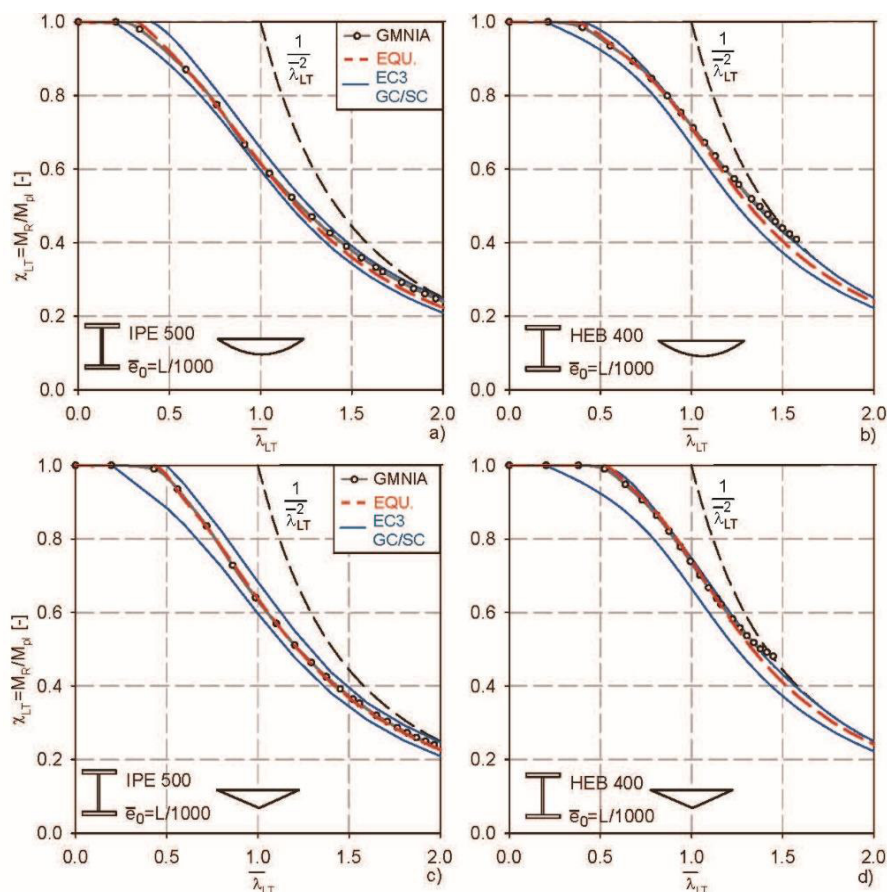
Može se pretpostaviti da će do loma elementa doći kada vrijednost momenta savijanja u kritičnom presjeku dostigne vrijednost M_{pl} . Shodno ovoj pretpostavci promjenljiv oblik dijagrama momenata savijanja uzima se u obzir uvođenjem faktora ojačanja f_m . Ovaj faktor pokazuje za koliko je potrebno povećati maksimalnu vrijednost momenta savijanja duž nosača kako bi vrijednost istog u kritičnom presjeku iznosila M_{pl} . Dakle, u Ayrton – Perry – jevoj formulaciji član M_{pl} potrebno je zamijeniti sa $f_m M_{pl}$.

Faktorom f_m pored uzimanja u obzir nepoklapanja maksimalne vrijednosti momenta savijanja duž nosača i kritičnog presjeka uzima se u obzir i različita dužina plastičnih zona. Naime, u zavisnosti od oblika dijagrama momenata savijanja prilikom bočno – torzionog izvijanja dužina plastičnih zona u nosaču neće biti ista.

Same vrijednosti faktora f_m , prikazane u tabeli 6, određene su na bazi rezultata GMNIA analiza.

4. KOMPARACIJA METODA I ZAKLJUČCI

Poređenje opšteg slučaja (oznaka GC – *general case*), alternativne metode (oznaka SC – *special case*) sa novom metodom predloženom u prEN 1993-1-1 za pojedine praktične slučajeve prikazano je na sljedećoj slici.



Slika. 2 Poređenje postojećih metoda proračuna nosivosti elemenata na bočno – torziono izvijanje sa metodom predloženom u prEN 1993-1-1, preuzeto iz (3)

Dakle, na osnovu svega prikazanog može se zaključiti da su u nacrtu nove verzije standarda EN 1993-1-1 značajno unaprijeđena pravila vezana za određivanje nosivosti elemenata na bočno – torziono izvijanje. Ova poboljšanja ogledaju se u sljedećem:

- manji broj proračunskih metoda u odnosu na postojeću verziju standarda,
- predložena nova metoda je konzistentna i teorijski bolje zasnovana,
- kriva izvijanja koja u suštini predstavlja intenzitet zaostalih napona određuje se na osnovu istog kriterijuma kao i za fleksiono izvijanje,
- veći stepen poklapanja sa rezultatima GMNIA analiza a samim tim i bolja iskorišćenost presjeka.

Pored navedenih prednosti predložena nova metoda ima još jednu vrlo važnu prednost u odnosu na sadašnje metode proračuna. Prema (3) sadašnje metode proračuna ne pokazuju isti indeks pouzdanosti za različite vitkosti $\bar{\lambda}_{LT}$. U predloženoj novoj metodi statističko vrednovanje sprovedeno je u skladu sa aneksom D iz EN 1990, te je u cijelom opsegu relativne vitkosti $\bar{\lambda}_{LT}$ osiguran isti indeks pouzdanosti.

LITERATURA

- [1] prEN 1993-1-1:2015 – Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN/TC 250, 2017
- [2] EN 1993-1-1:2005: Eurocode 3 – Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, 2005.
- [3] Taras A.: Contribution to the development of consistent stability design rules for steel members, doktorska disertacija, TU Graz, London, 2010

NUMERIČKA INTEGRACIJA DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA KRETANJA ZA LINEARNE SISTEME SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE KORIŠĆENJEM SOPSTVENOG MATLAB KODA

Ivana Drobnjak¹

Rezime:

Dinamika konstrukcija i priroda dinamičkih dejstava predstavlja aktuelnu i značajnu oblast teorije konstrukcija i uvijek inspirativnu temu za istraživače. Odgovor razmatranog sistema se definiše na osnovu diferencijalnih jednačina kretanja koje se rešavaju metodama dinamike diskretnih sistema. U ovom radu prikazana je teorijska osnova, praktična primjena i rešavanje pomenutih jednačina za linearne sisteme sa jednim stepenom slobode kretanja, za ram sa realnom i usvojenom beskonačno velikom vrijednošću krutosti grede, a usled dejstva zemljotresa. Postupak rešavanja automatizovan je korišćenjem Matlab koda, za koji je dokazana tačnost i stabilnost rešenja. Izvršena je analiza dobijenih perioda oscilovanja i horizontalnih pomjeranja, na osnovu rezultata u Matlabu, za dva razmatrana sistema. Rad može služiti kao osnova za dalje nadograđivanje napisanog koda, u različitim pravcima. Cilj je bio da se teorijski objasne i riješe navedene jednačine kretanja korišćenjem numeričke integracije i Matlaba.

Ključne reči: dinamika konstrukcija, numerička integracija, jednačine kretanja, sistemi sa jednim stepenom slobode kretanja, Matlab

NUMERICAL INTEGRATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF MOTION FOR LINEAR SINGLE DEGREE OF FREEDOM SYSTEMS USING MATLAB CODE

Summary:

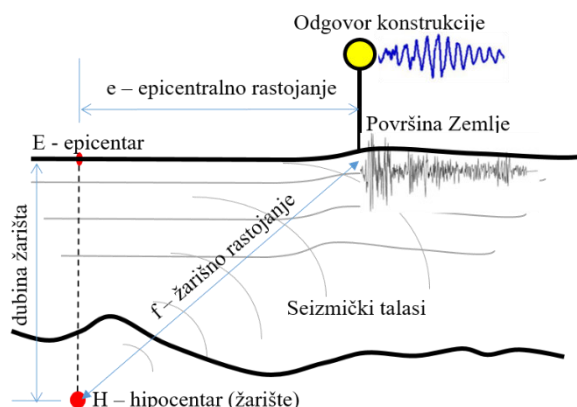
Structural dynamics and the nature of dynamic loads are significant research topics in the theory of structures and an inspiring area for researchers. The response of the specific system is defined on the basis of differential equations of motion, which are solved by methods of discrete system dynamics. This paper presents the theoretical basis, practical application, and solution of the mentioned equations for linear single degree of freedom (SDOF) systems for two types of frames subjected to seismic load: frame with actual beam stiffness and frame with infinitely rigid beam (shear frame). The solution procedure is automated using Matlab code. The accuracy, stability, and convergence of the solution have been proven. Periods of oscillation and horizontal displacements were analyzed and compared according to the code mentioned. This paper can be used as a basis for future upgrades of Matlab codes in different ways. The goal was to theoretically explain and solve the mentioned equations of motion using numerical integration and Matlab.

¹ MSc, Univerzitet Crne Gore – Građevinski fakultet, Podgorica, Crna Gora,
ivanadrobnjak25@gmail.com

Keywords: structural dynamics, numerical integration, equations of motion, single degree of freedom systems, Matlab

1. UVOD

Analiza konstrukcija koje su izložene dejstvu dinamičkih opterećenja nije jednostavna zbog karakteristika istih - promjena intenziteta, smjera ili mjesta djelovanja u toku vremena. Jedan od primjera jeste i seizmičko dejstvo na razmatrani sistem, Slika 1. Odgovarajuće inercijalne sile su značajne, ukoliko se vremenska promjena opterećenja odvija dovoljno brzo. Odnosno, postavljaju se diferencijalne jednačine kretanja umjesto statičkih uslova ravnoteže koje se rešavaju primjenom uobičajenih metoda dinamike diskretnih sistema.



Slika 1. Primjer dinamičkog opterećenja – dejstvo zemljotresa

Ključna karika u dinamičkoj analizi konstrukcija jeste odabir odgovarajućeg računskog, matematičkog modela, od čijeg izbora zavise tačnost, ekonomičnost i praktičnost proračuna. Najčešće je potrebno odrediti numeričko rešenje jednačina kojima je opisan posmatrani problem. Inženjerske konstrukcije su u stvarnosti sistemi sa kontinualno raspoređenom masom. Navedeni kontinualni raspored masa moguće je zamijeniti skupom koncentrisanih masa, na osnovu čega se formira dinamički model sa diskretno raspoređenim masama. Diskretni modeli podrazumijevaju podjelu (diskretizaciju) konstrukcije na konačan broj elemenata u kojima se definišu karakteristike konstrukcije. Ovaj tip modela posjeduje zadovoljavajuću tačnost pri praktičnim analizama i primjenjuje se u većini komercijalnih softvera za analizu konstrukcija, [1]. Cilj je da se realno, fizičko opterećenje aproksimira poznatom matematičkom funkcijom, a rešenja nalaze primjenom odgovarajućih matematičkih metoda. Broj stepeni slobode jednog sistema u dinamici konstrukcija predstavlja broj parametara koji određuju položaj svih masa. Broj stepeni slobode je jednak broju mogućih, nezavisnih pomjeranja i obrtanja koncentrisanih masa sistema koji je potreban i dovoljan da opiše oblik proizvoljno deformisanog sistema. Razlikuju se sistemi sa jednim i više stepeni slobode kretanja. Za slučaj prinudnih prigušenih oscilacija sistema sa jednim stepenom slobode kretanja (SDOF – Single Degree of Freedom), Slike 2-3, diferencijalna jednačina kretanja glasi:

$$f_I(t) + f_D(t) + f_s(t) = p(t) \quad (1)$$

Odnosno,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2)$$

gdje su

$f_I(t)$ – inercijalna sila; $f_I(t) = m\ddot{u}$

$f_D(t)$ – sila prigušenja; $f_D(t) = c\dot{u}$

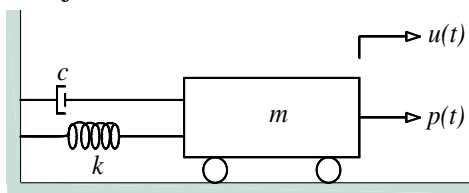
$f_s(t)$ – unutrašnja sila; $f_s(t) = ku$

$p(t)$ – dinamička spoljna sila definisana preko niza diskretnih vrijednosti u vremenskom intervalu $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$, Slika 4.

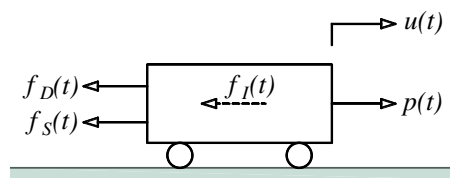
u – horizontalno pomjeranje mase; k – krutost sistema

\dot{u} – brzina sistema; c – prigušenje sistema

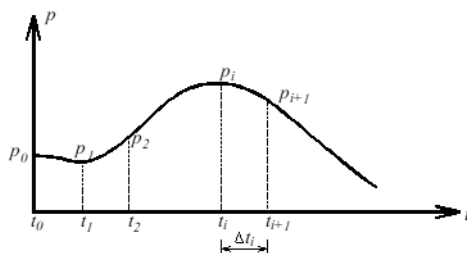
\ddot{u} – ubrzanje sistema; m – masa sistema



Slika 2. Prinudne prigušene oscilacije sistema sa jednim stepenom slobode



Slika 3. Sile koje djeluju na razmatrani SDOF sistem



Slika 4. Diskretne vrijednosti dinamičke sile

U ovom radu, prigušenje je definisano preko Rayleigh – evog prigušenja i izraza:

$$c = \alpha * m + \beta * k \quad (3)$$

α, β – proporcionalni koeficijenti prigušenja

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_{max}\omega_{min}}{\omega_{max} + \omega_{min}} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{2\xi}{\omega_{max} + \omega_{min}}$$

ξ – koeficijent relativnog prigušenja

ω_{min} – prva kružna frekvencija koja doprinosi odgovoru sistema

ω_{max} - poslednja kružna frekvencija koja doprinosi odgovoru sistema

Jednačina (2) je jednačina kretanja sistema sa jednim stepenom slobode usljed spoljne dinamičke sile i predstavlja nehomogenu (postoji član koji nije vezan sa nepoznatom), linearnu (nepoznata je sa prvim stepenom) jednačinu drugog reda (u navedenoj jednačini figuriše drugi izvod nepoznate) sa konstantnim koeficijentima (veličine m, c, k , vezane za nepoznatu u i njene izvode), [2].

U slučaju dejstva zemljotresa, sa $u_g(t)$ definisano je pomjeranje tla, sa $u^t(t)$ ukupno pomjeranje mase m i sa $u(t)$ relativno pomjeranje mase u odnosu na osnovu. U svakom trenutku vremena, važi relacije:

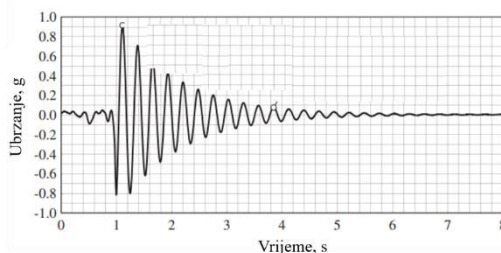
$$u^t(t) = u(t) + u_g(t) \quad (5)$$

$$\ddot{u}^t(t) = \ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t) \quad (6)$$

Zamjenom (6) u jednačinu (2), dobija se diferencijalna jednačina kretanja SDOF sistema u slučaju djelovanja zemljotresa na razmatranu konstrukciju:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \quad (7)$$

Zemljotresna pobuda se definiše preko vremenske istorije ubrzanja tla $\ddot{u}_g(t)$, Slika 5.



Slika 5. Vremenska istorija ubrzanja tla

2. REŠAVANJE JEDNAČINA KRETANJA SISTEMA SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE

Da bi se usješno odredilo rešenje jednačine kretanja sistema sa jednim stepenom slobode (2), odnosno (7) potrebno je poznavati početne uslove: početno pomjeranje $u(0)$ i početnu brzinu $\dot{u}(0)$. Kako sistem miruje prije početka dinamičke pobude, zemljotresa, početni uslovi su jednaki nuli. Neke od metoda rešavanja su, [3]:

- klasično rešavanje - rešavanje diferencijalne jednačine slobodnih vibracija i za pobude koje se mogu analitički opisati kao što su npr. harmonijske oscilacije, impulsno opterećenje.
- Duhamel-ov integral – zasniva se na predstavljanju primjenjene, poremećajne sile $p(t)$ kao niza beskonačno kratkih impulsa, i odgovor sistema u trenutku t se dobija sabiranjem odgovora sistema do razmatranog trenutka.
- rešavanje u frekventnom domenu – u slučaju kada $p(t)$ jednostavna funkcija, odnosno primjena Fourier-ove transformacije je bila ograničena na takve funkcije sve do trenutka kada su postali dostupni računari velike brzine.
- numeričke metode – rešenje se definiše u odgovarajućem vremenskom intervalu.

2.1. NUMERIČKE METODE. IMPLICITNA INTEGRACIJA I NEWMARK-OVA β METODA

Korišćenjem numeričkih metoda moguće je uzeti u obzir i nelinearno ponašanje sistema tokom određenih dejstava. Različite navedene metode se koriste i za definisanje odgovora linearnih sistema za dinamička opterećenja koja su data u numeričkom obliku, odnosno, kada je analitički oblik previše komplikovan i nije ga moguće definisati. Neke od numeričkih metoda za rešavanje jednačine (2), odnosno (7) su modalna analiza, direktna integracija korak po korak („step by step” integracija). U ovom radu primijenjena je metoda "korak po korak".

Prema ovoj metodi, odgovor sistema se računa u kratkim vremenskim intervalima Δt . Naziv "direktna" podrazumijeva da nije potrebna nikakva transformacija jednačine kretanja i njenih članova. Uslov dinamičke ravnoteže ne mora biti ispunjen u svakom trenutku vremena t , već na početku i kraju intervala Δt . Unutar navedenog intervala pretpostavlja se jednostavna varijacija, promjena pomjeranja u , brzine \dot{u} i ubrzanja \ddot{u} sistema, dok su krutost i prigušenje sistema konstantni. Razlikuju se dvije grupe: eksplicitne i implicitne metode. Odnosno, sistem diferencijalnih jednačina se prevodi u područje algebre, u sistem običnih algebarskih jednačina.

Implicitna integracija jeste bezuslovno stabilan metod bez obzira na na veličinu koraka Δt . Radi definisanja odgovora sistema u trenutku $t + \Delta t$ reava se jednačina kretanja u trenutku $t + \Delta t$. Neke od implicitnih metoda su Houbolt-ova, Newmark-ova β metoda, Wilson-ova i α metoda. U ovom radu korišćena je Newmark-ova β implicitna metoda.

1959. godine Newmark je razvio familiju metoda koje se baziraju na sljedećim jednačinama, [3]:

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u} + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (8)$$

$$u_{i+1} = u_i + \Delta t \dot{u}_i + (0.5 - \beta)\Delta t^2\ddot{u}_i + [\beta\Delta t^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (9)$$

β, γ – parametri na osnovu kojih se definiše promjena ubrzanja u toku vremenskog koraka

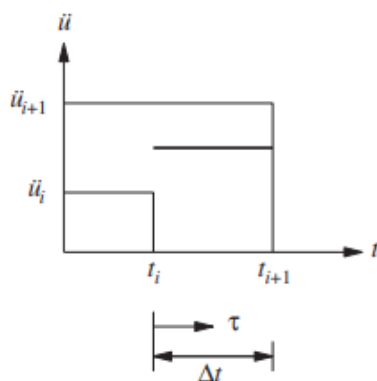
$\gamma = \frac{1}{2}; \beta = \frac{1}{4}$ - Metoda prosječnog ubrzanja (konstantna vrijednosti ubrzanja tokom intervala Δt)

$\gamma = \frac{1}{2}; \beta = \frac{1}{6}$ - Metoda linearnog ubrzanja (linearna promjena ubrzanja tokom intervala Δt)

Kada se navedene jednačine iskombinuju sa jednačinom ravnoteže na kraju vremenskog koraka ($m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + f_s(u_{i+1}) = p(t_{i+1})$), dobija se osnova za definisanje veličina $u_{i+1}, \dot{u}_{i+1}, \ddot{u}_{i+1}$ u trenutku $i + 1$ na osnovu poznatih karakteristika $u_i, \dot{u}_i, \ddot{u}_i$ u trenutku i . Potrebno je koristiti iteracije jer se nepoznata \ddot{u}_{i+1} pojavljuje na desnoj strani jednačina (8) i (9).

Za linearne sisteme postoji mogućnost modifikovanja originalne Newmark-ove metode tako da se rešenja dobijaju bez potrebe korišćenja iteracija.

U radu je korišćena metoda konstantnog prosječnog ubrzanja, Slika 6.



Slika 6. Metoda prosječnog ubrzanja, [6]

Kada se prepostavi da ubrzanje za vrijeme jednog vremenskog intervala ima konstantnu (osrednjenu) vrijednost, relacija za ubrzanje glasi:

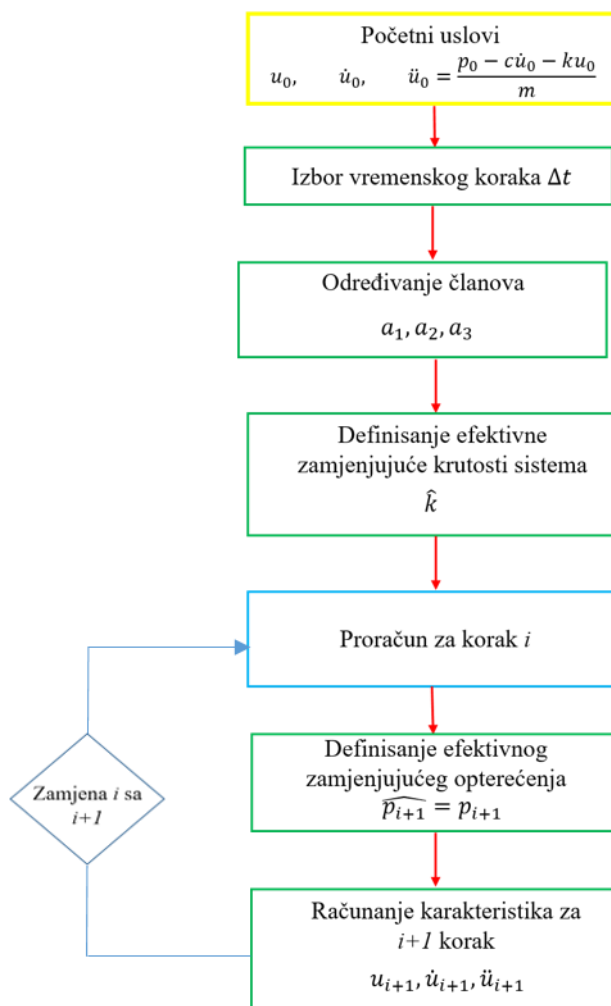
$$\ddot{u}(t) = \frac{1}{2}(\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) \quad (10)$$

Ova metoda se zasniva na jednačinama (11):

$$\begin{aligned} \dot{u}(t) &= \dot{u}_i + \frac{t}{\Delta t}(\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) \\ \dot{u}_{i+1} &= \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) \\ u(t) &= u_i + \dot{u}_i t + \frac{t^2}{4}(\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) \\ u_{i+1} &= u_i + \dot{u}_i \Delta t + \frac{\Delta t^2}{4}(\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) \end{aligned} \quad (11)$$

2.1.1. Algoritam proračuna za sistem sa jednim stepenom slobode – linearni sistemi

U nastavku je prikazan algoritam proračuna pomoću Newmark-ove metode za linearne sisteme, [3], Slika 7.



Slika 7. Algoritam proračuna

1. Početni uslovi:

$$u_0, \quad \dot{u}_0, \quad \ddot{u}_0 = \frac{p_0 - c\dot{u}_0 - ku_0}{m}$$

• Izbor vremenskog koraka Δt

• Određivanje članova: $a_1 = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} m + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} c$; $a_2 = \frac{1}{\beta\Delta t} m + \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1\right) c$

$$a_3 = \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right) m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1\right) c$$

• Definisanje efektivne zamjenjujuće krutosti sistema: $\hat{k} = k + a_1$

2. Proračun za korak i , $i=0,1,2,\dots$:

• Definisanje efektivnog zamjenjujućeg opterećenja:

$$\hat{p}_{i+1} = p_{i+1} + a_1 u_i + a_2 \dot{u}_i + a_3 \ddot{u}_i$$

• Računanje pomjeranja za $i+1$ korak:

$$u_{i+1} = \frac{\hat{p}_{i+1}}{\hat{k}}$$

$$\dot{u}_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t} (u_{i+1} - u_i) + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right) \dot{u}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right) \ddot{u}_i$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} (u_{i+1} - u_i) - \frac{1}{\beta\Delta t} \dot{u}_i - \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right) \ddot{u}_i$$

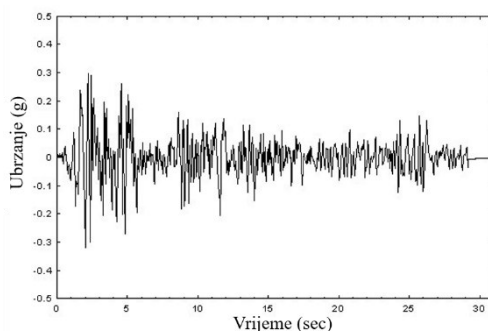
3. Zamjena i sa $i+1$ i primjena koraka pod tačkom 2.

3. NUMERIČKI PRIMJERI

Linearna direktna integracija jednačina kretanja je urađena za dva slučaja jednospratnog rama koji je aksijalno nedeformabilan. Usvojeno je da je:

- greda realne krutosti (EI_b)
- greda beskonačno kruta ($EI_b \rightarrow \infty$)

Analizirani sistem je izložen dejstvu dinamičke pobude – dejstvu zemljotresa koji je definisan na osnovu akceleroograma za zemljotres ElCentro², Slika 8.



Slika 8. Akceleroogram za ElCentro zemljotres

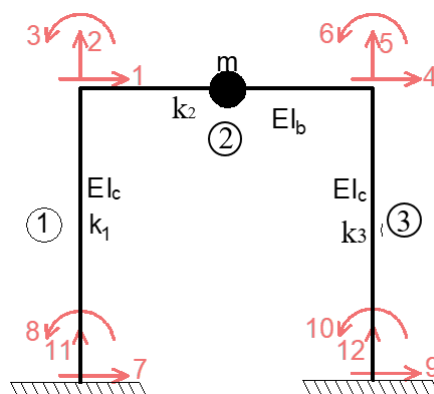
Prije dejstva zemljotresa, sistem se nalazio u stanju mirovanja. Rešavanjem jednačina kretanja dobija se odgovor sistema u toku vremena u vidu pomjeranja, brzine, ubrzanja sistema. Korišćen je Newmark-ov β postupak prosječnog ubrzanja direktne integracije. Razmatran je sistem prigušenih oscilacija, odnosno u obzir se uzima prigušenje koje je definisano na osnovu Rayleigh-ovi koeficijenata prigušenja.

Postupak rešavanja jednačina kretanja automatizovan je korišćenjem softvera Matlab, [4-5]. Ovaj postupak predstavlja osnovu za naredna istraživanja, na primjer, u smislu analize sistema sa više stepeni slobode i različitih pristupa rešavanju jednačina kretanja.

3.1. MATLAB KOD ZA REŠAVANJE JEDNAČINA KRETANJA DIREKTNOM INTEGRACIJOM

3.1.1. Sistem sa realnom krutošću grede (EI_b)

Razmatrani sistem je prikazan na narednoj slici.



Slika 9. SDOF sistem sa realnom krutošću

Podaci:

$$E = 3.3 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$$

Dimenzije poprečnih presjeka:

² 18.maj.1940.godine, $a_{max} = 0.313g$

$$a * b = 0.4m \times 0.4m$$

$$l = 5m$$

$$m = \frac{60kN}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 6.116 \frac{kNs^2}{m}$$

Matrica krutosti sistema $K^* = \begin{bmatrix} K_{nn}^* & K_{np}^* \\ K_{pn}^* & K_{pp}^* \end{bmatrix}$ dobijena je postupkom kodnih brojeva.

Odnosno, elementi matrica krutosti pojedinih štapova se postavljaju na odgovarajuće mjesto, uzimajući u obzir da se isti kodni brojevi sabiraju.

Matrica krutosti sistema, tačnije dio sa nepoznatim, glasi:

$$K = K_{nn}^* = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 0.1352 & 0.1690 & 0.1690 \\ 0.1690 & 1.1264 & 0.2816 \\ 0.1690 & 0.2816 & 1.1264 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 6 \end{matrix} * 10^5 \frac{kN}{m}$$

Matrica masa sistema koja se definiše na osnovu interpolacionih funkcija koje aproksimiraju polje pomjeranja u elementu, naziva se konzistentna matrica masa elementa. Prema svojoj strukturi, navedena matrica je istog reda kao matrica krutosti.

Radi jednostavnosti, često se ukupna inercijalna sila definiše u vidu koncentrisanih sila u čvorovima navedenog konačnog elementa. U tom slučaju, matrica masa se naziva matrica koncentrisanih masa i ona je dijagonalna. Navedena matrica masa se lakše formira od prvobitne, konzistentne matrice masa. Ako na dijagonali matrice masa postoje članovi koji su jednaki nuli, matrica je singularna. Odnosno, javlja se potreba za definisanjem kondenzovane matrice krutosti K_c da bi se, prije svega, mogle dobiti kružne frekvencije sistema rešavajući frekventnu jednačinu ($|K - \omega^2 M| = 0$).

Izraz za kondenzovanu matricu krutosti glasi, Slika 10:

$$K_c = K_{nn}^* - K_{np}^* K_{pp}^{*-1} K_{pn}^* \quad (12)$$

$$K = 10^5 \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 0.1352 & 0.1690 & 0.1690 \\ 0.1690 & 1.1264 & 0.2816 \\ 0.1690 & 0.2816 & 1.1264 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 6 \end{matrix}$$

Slika 10. Članovi izraza za kondenzovanu matricu krutosti

Kondenzovana matrica krutosti je definisana u skladu sa prethodnom relacijom.

$$K_c = 0.1352 * 10^5 - 10^5 [0.1690 \ 0.1690] * 10^5 \begin{bmatrix} 1.1264 & 0.2816 \\ 0.2816 & 1.1264 \end{bmatrix}^{-1} * 10^5 \begin{bmatrix} 0.1690 \\ 0.1690 \end{bmatrix}$$

$$K_c = 9.4618 * 10^3 \frac{kN}{m}$$

Rešavajući frekventnu jednačinu dobija se kružna frekvencija w_1 , a zatim i period oscilovanja T .

$$w_1 = 39.33 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{2\pi}{w_1} = 0.1597\text{s}$$

Slijedi definisanje Rayleigh-evih koeficijenata za prigušenje.

$$\alpha = 2 * 0.05 * \frac{39.33 * 39.33}{39.33 + 39.3} = 1.966, w_1 = w_2$$

$$\beta = \frac{2 * 0.05}{39.33 + 39.3} = 0.0013$$

$$\xi = 0.05$$

$$c = \alpha K + \beta M = 24.0562$$

Newmark-ova metoda je primjenjena u skladu sa relacijama iz 2.1.1 dijela ovog rada.

$$\gamma = 0.50$$

$$\beta^{\text{Newmark}} = 0.25$$

Početni uslovi:

$$u_0 = 0, \dot{u}_0 = 0, \ddot{u}_0 = 0$$

- Izbor vremenskog koraka $\Delta t = 0.02\text{s}$
- Određivanje članova:

$$a_1 = \frac{1}{0.25 (0.02)^2} * 6.116 + \frac{0.50}{0.25(0.02)} 24.0562 = 6.3568 * 10^4$$

$$a_2 = \frac{1}{0.25 * 0.02} * 6.116 + \left(\frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) * 24.0562 = 1.2473 * 10^3$$

$$a_3 = \left(\frac{1}{2 * 0.25} - 1 \right) * 6.116 + 0.02 \left(\frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) * 24.0562 = 6.1162$$

- Definisane efektivne zamjenjujuće krutosti sistema:

$$\hat{k} = k + a_1 = 9.4618 * 10^3 + 6.3568 * 10^4 = 7.3029 * 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Proračun za korak $i, i=0$
- Definisane efektivnog zamjenjujućeg opterećenja:

$$\hat{p}_1 = p_1 + a_1 u_i + a_2 \dot{u}_i + a_3 \ddot{u}_i = -0.2184\text{kN}$$

$$p_1 = -m * \ddot{u}_g(0.02) = -0.2184\text{kN}$$

- Računanje promjene pomjeranja:

$$u_{i+1} = \frac{-0.2184\text{kN}}{7.3029 * 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = -2.99 * 10^{-6}\text{m}$$

$$\dot{u}_1 = \frac{0.50}{0.25 * 0.02} (-2.99 * 10^{-6} - 0) + \left(1 - \frac{0.50}{0.25} \right) * 0 + 0.02 * \left(1 - \frac{0.50}{2 * 0.25} \right) * 0 = -2.99 * 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned}\ddot{u}_1 &= \frac{1}{0.25(0.02)^2}(-2.99 * 10^{-6} - 0) - \frac{1}{0.25 * 0.02} * 0 - \left(\frac{1}{2 * 0.25} - 1\right) * 0 \\ &= -0.0299 \frac{m}{s^2}\end{aligned}$$

- Zamjena i sa $i + 1$ i primjena prethodno navedenih koraka, radi dobijanja odgovora sistema u trenutku i .

U Matlabu je napisan kod radi rešavanja jednačine kretanja za analizirani sistem, a usljed dejstva zemljotresa kao dinamičke pobude.

Napisani kod se sastoji od definisanja sledećih koraka i prikazan je u nastavku:

- Ulazni podaci
- Matrica krutosti sistema
- Kružna frekvencija i period oscilovanja
- Spoljašnje dinamičko opterećenje
- Newmark-ova metoda prosječnog ubrzanja
- Računanje pomjeranja, brzina i ubrzanja sistema
- Dijagrami pomjeranja, brzina i ubrzanja sistema

Dio koda vezan za definisanje navedene dinamičke pobude je prikazan u nastavku:

```
% Definisanje dinamicke pobude
delt = 0.02; %u sekundama, vremenski korak
load ElCentro.txt % učitavanje akcelerograma
nt = 31.18 % sec - trajanje vremenskog zapisa
n = floor(nt/delt) % broj koraka
ubrzelCentro = ElCentro(1:1:end,:)
size(ElCentro)
for x = 1:n
    augg(x) = ubrzelCentro(x,2)*9.81
end
sz = size(ubrzelCentro)
KK = zeros(sz(1,1)*2,2)
% Za matricu K
KK(1:2,1:2)= K
% Newmark-ova beta metoda; Metoda prosjecnog ubrzanja
gama = 0.5 % Gama za projeknu metodu ubrzanja
betaN = 0.25 % Beta za prosjecnu metodu ubrzanja
a1 = (1/(betaN*delt^2))*M+(gama/(betaN*delt))*C
a2 = (1/(betaN*delt))*M+((gama/betaN)-1)*C
a3 = ((1/(2*betaN)-1))*M+delt*((gama/(2*betaN))-1)*C
Knadd= K+a1
uu = zeros(n,1)
```

```

vuu = zeros(n,1)
auu = zeros(n,1)
deluu = zeros(n,1)

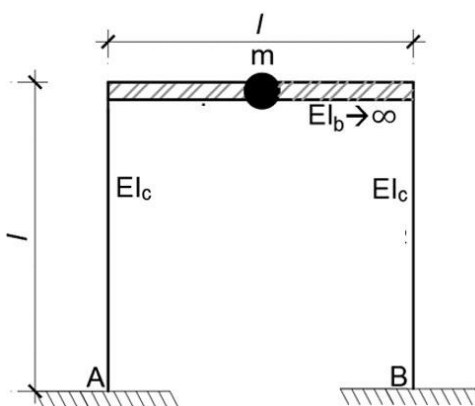
for x =1:n
    u{x}= uu(x,1)
    vu{x}= vuu(x,1)
    au{x}= auu(x,1)
    delu{x}= deluu(x,1)
end

for x=1
    u{x} = 0 %pocetni uslovi
    vu{x} = 0 %pocetni uslovi
    au{x} = 0 %pocetni uslovi
end

```

3.1.2. Sistem sa beskonačnom krutošću grede ($EI_b \rightarrow \infty$)

U nastavku je prikazan analizirani sistem.



Slika 11. SDOF sistem – smičući ram

Podaci:

$$E = 3.3 * 10^7 \text{ kN/m}^2$$

Dimenzije poprečnih presjeka: $a * b = 0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$

$$l = 5\text{m}$$

$$m = \frac{60\text{kN}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6.116 \frac{\text{kNs}^2}{\text{m}}$$

Kada se usvoji da je greda beskonačno kruta, krutost je definisana korišćenjem relacije:

$$k = \sum_{\text{stubovi}} 12 \frac{EI_b}{l^3} = 2 * 12 \frac{EI}{l^3} = 24 \frac{EI}{l^3} \quad (13)$$

$$k = 24 \frac{EI}{l^3} = 13516.80 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Rešavajući frekventnu jednačinu dobija se kružna frekvencija w_1 , a zatim i period oscilovanja T .

$$w_1 = 47.01 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{2\pi}{w_1} = 0.1337\text{s}$$

Slijedi definisanje Rayleigh-evih koeficijenata za prigušenje.

$$\alpha = 2 * 0.05 * \frac{47.01 * 47.01}{47.01 + 47.01} = 2.3505, w_1 = w_2$$

$$\beta = \frac{2 * 0.05}{47.01 + 47.01} = 0.0011$$

$$\xi = 0.05$$

$$c = \alpha K + \beta M = 27.7527$$

Newmark-ova metoda je primjenjena u skladu sa relacijama 2.1.1 ovog rada.

$$\gamma = 0.50$$

$$\beta^{\text{Newmark}} = 0.25$$

- Početni uslovi:

$$u_0 = 0, \dot{u}_0 = 0, \ddot{u}_0 = 0$$

- Izbor vremenskog koraka $\Delta t = 0.02\text{s}$
- Određivanje članova:

$$a_1 = \frac{1}{0.25(0.02)^2} * 6.116 + \frac{0.50}{0.25(0.02)} 27.7527 = 6.4037 * 10^4$$

$$a_2 = \frac{1}{0.25 * 0.02} * 6.116 + \left(\frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) * 27.7527 = 1.2520 * 10^3$$

$$a_3 = \left(\frac{1}{2 * 0.25} - 1 \right) * 6.116 + 0.02 \left(\frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) * 27.7527 = 6.1162$$

- Definisanje efektivne zamjenjujuće krutosti sistema:

$$\hat{k} = k + a_1 = 13516.80 * 10^3 + 6.4037 * 10^4 = 7.554 * 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Proračun za korak $i, i=0$
- Definisanje efektivnog zamjenjujućeg opterećenja:

$$\hat{p}_1 = p_1 + a_1 u_i + a_2 \dot{u}_i + a_3 \ddot{u}_i = -0.2184\text{kN}$$

$$p_1 = -m * \ddot{u}_g(0.02) = -0.2184\text{kN}$$

- Računanje promjene pomjeranja:

$$u_{i+1} = \frac{-0.2184\text{kN}}{7.554 * 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = -2.816 * 10^{-6}\text{m}$$

$$\dot{u}_1 = \frac{0.50}{0.25 * 0.02} (-2.99 * 10^{-6} - 0) + \left(1 - \frac{0.50}{0.25} \right) * 0 + 0.02 * \left(1 - \frac{0.50}{2 * 0.25} \right) * 0 = -2.816 * 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\ddot{u}_1 = \frac{1}{0.25(0.02)^2} (-2.99 * 10^{-6} - 0) - \frac{1}{0.25 * 0.02} * 0 - \left(\frac{1}{2 * 0.25} - 1 \right) * 0$$

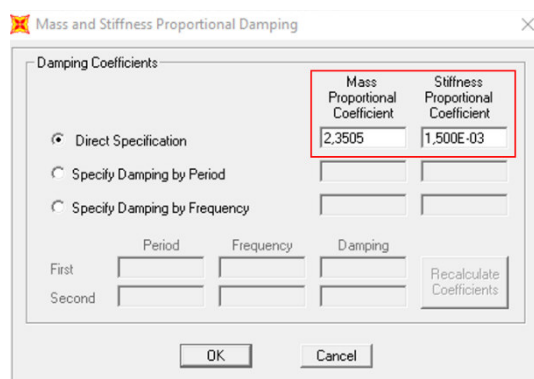
$$= -0.0282 \frac{m}{s^2}$$

- Zamjena i sa $i + 1$ i primjena prethodno navedenih koraka, radi dobijanja odgovora sistema u trenutku i .

3.2. VALIDACIJA REZULTATA

Radi određivanja tačnosti rešenja i buduće upotrebe i nadogradnje Matlab koda, za prethodno navedene sisteme, urađena su i dva modela u softverskom paketu SAP 2000, [6]. U modelima nije uzeta u obzir aksijalna deformacija kroz povećanje vrijednosti koeficijenta kojim se definiše aksijalna krutost grede i stubova. Osim toga, za model sa usvojenom beskonačno krutom gredom, modifikovani su parametri koji definišu savojnu krutost grede (usvojen je veliki broj) kojim se najjednostavnije modelira beskonačno kruta greda.

U ovom programskom paketu dinamička pobuda je uzeta u obzir definisanjem odgovarajućeg slučaja opterećenja: linearna direktna integracija vremenske istorije ubrzanja tla, a prigušenje na osnovu izračunatih Rayleigh-evih koeficijenata, Slika 12.



Slika 12. Definisiranje prigušenja u softveru SAP 2000

U nastavku su prikazani i upoređeni rezultati za period oscilovanja sistema, za oba slučaja, dobijeni primjenom sopstvenog Matlab koda i softvera SAP 2000.

Tab. 1 Poređenje perioda oscilovanja za dva analizirana sistema dobijenih u Matlabu sa istim iz softvera SAP 2000

| | Sistem sa realnom krutošću grede, EI_b | Sistem sa usvojenom beskonačnom krutošću grede, $EI_b \rightarrow \infty$ |
|----------------|---|--|
| | Period oscilovanja, T (s) | |
| Matlab | 0.1597 | 0.1337 |
| SAP 2000 | 0.1597 | 0.13368 |
| Razlika (%) | 0 | 0.015 |

Dobijena horizontalna pomjeranja su prikazana tabelarno sa vremenskim korakom od 0.02 sekunde, za oba slučaja. Radi jednostavnosti, tabelarno su prikazani rezultati za prvu sekundu vremenskog zapisa.

Tab. 2 Poređenje pomjeranja

| | Sistem sa realnom krutošću grede | | | Sistem sa usvojenom beskonačno velikom krutošću grede | | |
|-------------|----------------------------------|-----------------|------------------|---|-----------------|------------------|
| | <i>Matlab</i> | <i>SAP 2000</i> | | <i>Matlab</i> | <i>SAP 2000</i> | |
| Vrijeme (s) | <i>u (mm)</i> | <i>u (mm)</i> | <i>razlika %</i> | <i>u (mm)</i> | <i>u (mm)</i> | <i>razlika %</i> |
| 0 | 0 | 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.000 |
| 0.02 | -0.00299 | -0.002989 | 0.019 | -0.00282 | -0.002819 | 0.039 |
| 0.04 | -0.011 | -0.010991 | 0.079 | -0.00986 | -0.009852 | 0.073 |
| 0.06 | -0.021 | -0.020995 | 0.026 | -0.0172 | -0.017196 | 0.085 |
| 0.08 | -0.0334 | -0.033388 | 0.036 | -0.0252 | -0.025191 | 0.061 |
| 0.1 | -0.0527 | -0.052683 | 0.032 | -0.0385 | -0.038488 | 0.025 |
| 0.12 | -0.073 | -0.072983 | 0.023 | -0.052 | -0.051988 | 0.014 |
| 0.14 | -0.0766 | -0.076598 | 0.002 | -0.0493 | -0.049299 | 0.008 |
| 0.16 | -0.0494 | -0.049369 | 0.062 | -0.021 | -0.020987 | 0.225 |
| 0.18 | -0.00151 | -0.001428 | 5.415 | 0.0168 | 0.017710 | 0.574 |
| 0.2 | 0.0319 | 0.032013 | 0.353 | 0.0287 | 0.028801 | 0.373 |
| 0.22 | 0.0181 | 0.018196 | 0.530 | -0.00703 | -0.006993 | 0.295 |
| 0.24 | -0.0395 | -0.039492 | 0.021 | -0.0686 | -0.068586 | 0.193 |
| 0.26 | -0.0968 | -0.096673 | 0.131 | -0.10023 | -0.100099 | 0.235 |
| 0.28 | -0.111 | -0.110818 | 0.164 | -0.07 | -0.069885 | 0.185 |
| 0.3 | -0.0764 | -0.076284 | 0.152 | -0.00215 | -0.002147 | 5.429 |
| 0.32 | -0.0116 | -0.011549 | 0.436 | 0.0553 | 0.055541 | 0.619 |
| 0.34 | 0.0491 | 0.049330 | 0.469 | 0.0645 | 0.064803 | 0.546 |
| 0.36 | 0.0657 | 0.065999 | 0.455 | 0.0143 | 0.014365 | 0.483 |
| 0.38 | 0.0188 | 0.018993 | 1.026 | -0.069 | -0.068292 | 0.462 |
| 0.4 | -0.0772 | -0.077134 | 0.085 | -0.13793 | -0.137813 | 0.390 |
| 0.42 | -0.1628 | -0.162476 | 0.199 | -0.13943 | -0.139153 | 0.239 |
| 0.44 | -0.1471 | -0.146698 | 0.273 | -0.033 | -0.032910 | 0.367 |
| 0.46 | -0.00578 | -0.005596 | 3.183 | 0.136025 | 0.140355 | 0.533 |
| 0.48 | 0.16183 | 0.162061 | 0.143 | 0.228375 | 0.228702 | 0.383 |
| 0.5 | 0.2315 | 0.232007 | 0.219 | 0.151817 | 0.152149 | 0.275 |
| 0.52 | 0.1509 | 0.151440 | 0.358 | -0.0491 | -0.048924 | 1.059 |
| 0.54 | -0.0569 | -0.056784 | 0.203 | -0.25202 | -0.251508 | 0.486 |
| 0.56 | -0.3128 | -0.312359 | 0.141 | -0.35021 | -0.349716 | 0.347 |
| 0.58 | -0.49692 | -0.496001 | 0.185 | -0.29782 | -0.297269 | 0.074 |
| 0.6 | -0.49183 | -0.490994 | 0.170 | -0.11748 | -0.117280 | 0.867 |
| 0.62 | -0.27656 | -0.276400 | 0.058 | 0.0896 | 0.089652 | 1.9117 |
| 0.64 | 0.0363 | 0.037093 | 2.185 | 0.189146 | 0.193279 | 0.711 |
| 0.66 | 0.279275 | 0.280750 | 0.528 | 0.120771 | 0.121409 | 0.058 |
| 0.68 | 0.343253 | 0.344605 | 0.394 | -0.0439 | -0.043727 | 3.018 |
| 0.7 | 0.2411 | 0.241599 | 0.207 | -0.15076 | -0.150448 | 1.234 |
| 0.72 | 0.082 | 0.082664 | 0.810 | -0.0869 | -0.086196 | 1.228 |
| 0.74 | -0.0129 | -0.011348 | 12.032 | 0.123454 | 0.138308 | 0.448 |
| 0.76 | 0.0341 | 0.035695 | 4.676 | 0.353548 | 0.370080 | 0.551 |
| 0.78 | 0.219263 | 0.220000 | 0.336 | 0.469766 | 0.471344 | 0.418 |
| 0.8 | 0.427611 | 0.428120 | 0.119 | 0.390185 | 0.390649 | 0.150 |
| 0.82 | 0.519157 | 0.520611 | 0.280 | 0.1561 | 0.156537 | 0.896 |
| 0.84 | 0.440817 | 0.442333 | 0.344 | -0.0704 | -0.070158 | 3.714 |
| 0.86 | 0.239619 | 0.240237 | 0.258 | -0.13644 | -0.136088 | 1.501 |

| | | | | | | |
|------|----------|-----------|---------|----------|-----------|-------|
| 0.88 | 0.0232 | 0.023981 | 3.366 | -0.0124 | -0.011983 | 0.358 |
| 0.9 | -0.0879 | -0.086112 | 2.034 | 0.208265 | 0.212501 | 0.991 |
| 0.92 | -0.0108 | -0.008984 | 16.8153 | 0.394744 | 0.461121 | 0.695 |
| 0.94 | 0.246461 | 0.247200 | 0.3000 | 0.46135 | 0.462734 | 0.336 |
| 0.96 | 0.58301 | 0.583720 | 0.1217 | 0.412314 | 0.412816 | 0.166 |
| 0.98 | 0.841672 | 0.843545 | 0.2225 | 0.311517 | 0.312210 | 0.797 |
| 1 | 0.872094 | 0.874088 | 0.2287 | 0.212883 | 0.213370 | 1.229 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Za slučaj sistema sa realnom krutosti grede, geometrijska sredina razlike horizontalnih pomjeranja dobijenih u Matlab-u i softveru SAP 2000 iznosi 0.834%, a za slučaj usvojene beskonačne krutosti grede iznosi 1.121%. Odnosno, dokazuje se tačnost, stabilnost i konvergencija dobijenih rešenja korišćenjem sopstvenog Matlab koda, za oba sistema.

3.3. POREĐENJE I ANALIZA REZULTATA

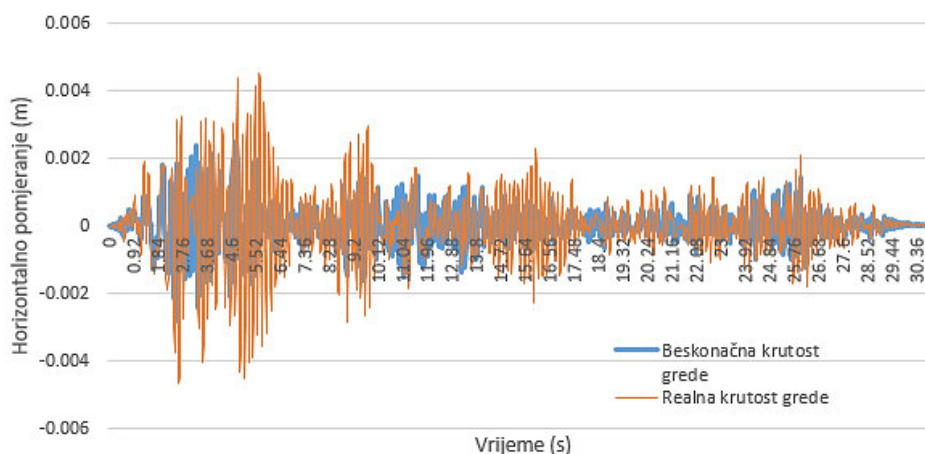
Na osnovu napisanih kodova u Matlabu, za koje je prethodno dokazana tačnost, konvergencija i stabilnost rešenja, za oba analizirana sistema (realna i beskonačno kruta greda) prikazani su i upoređeni periodi oscilovanja i horizontalna pomjeranja.

U Tabeli 3. upoređeni su periodi oscilovanja.

Tab. 3 Poređenje perioda oscilovanja sistema sa realnom i beskonačno velikom vrijednošću krutosti grede

| | Sistem sa realnom krutošću grede, EI_b | Sistem sa usvojenom beskonačnom krutošću grede, $EI_b \rightarrow \infty$ |
|-------------|--|---|
| | Period oscilovanja, T (s) | |
| Matlab | 0.1597 | 0.1337 |
| Razlika (%) | 16.28 | |

Na osnovu prikazanih rezultata, vrijednost perioda oscilovanja je veća za 16.28% za sistem sa usvojenom realnom krutošću grede. Upoređene su i tabelarno i grafički prikazane vrijednosti horizontalnih pomjeranja razmatranih sistema, Slika 13.



Slika 13. Poređenje dobijenih horizontalnih pomjeranja rezultata dobijenih u Matlabu za dva razmatrana sistema

Tab. 3 Poređenje horizontalnih pomjeranja za dva razmatrana sistema, Matlab

| | <i>Realna krutost grede</i> | <i>Beskonačna krutost grede - smičući ram</i> | <i>razlika %</i> |
|--------------------|-----------------------------|---|------------------|
| <i>vrijeme (s)</i> | <i>u (mm)</i> | <i>u (mm)</i> | |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 |
| 0.02 | -0.0030 | -0.0028 | 6.20 |
| 0.04 | -0.0110 | -0.0099 | 10.61 |
| 0.06 | -0.0210 | -0.0172 | 18.09 |
| 0.08 | -0.0334 | -0.0252 | 24.60 |
| 0.1 | -0.0527 | -0.0385 | 26.84 |
| 0.12 | -0.0730 | -0.0520 | 28.85 |
| 0.14 | -0.0766 | -0.0493 | 35.69 |
| 0.16 | -0.0494 | -0.0210 | 57.45 |
| 0.18 | -0.0015 | 0.0017 | 10.46 |
| 0.2 | 0.0319 | 0.0287 | 9.93 |
| 0.22 | 0.0181 | -0.0070 | 61.29 |
| 0.24 | -0.0395 | -0.0686 | 73.58 |
| 0.26 | -0.0968 | -0.1002 | 3.58 |
| 0.28 | -0.1111 | -0.0700 | 36.98 |
| 0.3 | -0.0764 | -0.0022 | 97.18 |
| 0.32 | -0.0116 | 0.0553 | 375.89 |
| 0.34 | 0.0491 | 0.0645 | 31.49 |
| 0.36 | 0.0657 | 0.0143 | 78.25 |
| 0.38 | 0.0188 | -0.0690 | 267.75 |
| 0.4 | -0.0772 | -0.1379 | 78.57 |
| 0.42 | -0.1628 | -0.1394 | 14.37 |
| 0.44 | -0.1471 | -0.0330 | 77.57 |
| 0.46 | -0.0058 | 0.0136 | 135.46 |
| 0.48 | 0.1618 | 0.2284 | 41.12 |
| 0.5 | 0.2315 | 0.1518 | 34.42 |
| 0.52 | 0.1509 | -0.0491 | 67.48 |
| 0.54 | -0.0569 | -0.2520 | 343.13 |
| 0.56 | -0.3128 | -0.3502 | 11.95 |
| 0.58 | -0.4969 | -0.2978 | 40.07 |
| 0.6 | -0.4918 | -0.1175 | 76.11 |
| 0.62 | -0.2766 | 0.0896 | 67.60 |
| 0.64 | 0.0363 | 0.1891 | 421.31 |
| 0.66 | 0.2793 | 0.1208 | 56.76 |
| 0.68 | 0.3433 | -0.0439 | 87.20 |
| 0.7 | 0.2411 | -0.1508 | 37.47 |
| 0.72 | 0.0820 | -0.0869 | 5.97 |
| 0.74 | -0.0129 | 0.1235 | 856.83 |
| 0.76 | 0.0341 | 0.0354 | 16.93 |
| 0.78 | 0.2193 | 0.4698 | 114.25 |
| 0.8 | 0.4276 | 0.3902 | 8.75 |
| 0.82 | 0.5192 | 0.1561 | 69.93 |
| 0.84 | 0.4408 | -0.0704 | 84.03 |
| 0.86 | 0.2396 | -0.1364 | 43.06 |
| 0.88 | 0.0232 | -0.0124 | 46.48 |

| | | | |
|------|---------|--------|--------|
| 0.9 | -0.0879 | 0.2083 | 137.05 |
| 0.92 | -0.0108 | 0.0039 | 13.26 |
| 0.94 | 0.2465 | 0.4614 | 87.19 |
| 0.96 | 0.5830 | 0.4123 | 29.28 |
| 0.98 | 0.8417 | 0.3115 | 62.99 |
| 1 | 0.8721 | 0.2129 | 75.59 |

Na osnovu Slike 13 primjećuju se veće vrijednosti horizontalnog pomjeranja za sistem sa realnom krutošću grede, a razlike u pomjeranjima, prikazane u Tabeli 4, su značajne. Za sistem sa usvojenim realnim karakteristikama grede, sa manjom krutošću sistema, logično i jeste da se dobije fleksibilniji sistem i veće vrijednosti za period oscilovanja i horizontalna pomjeranja, u odnosu na sistem sa usvojenom velikom, beskonačnom krutošću grede, za tkz. smičući ram.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je teorijska osnova rešavanja diferencijalnih jednačina kretanja za linearne sisteme sa jednim stepenom slobode. Za automatizaciju postupka rešavanja navedenih jednačina kretanja, napisani su Matlab kodovi za koje je dokazana tačnost, konvergencija i stabilnost rešenja. Razmatrani su sistemi sa jednim stepenom slobode kretanja, za koje su upoređene vrijednosti perioda oscilovanja i horizontalnih pomjeranja usljed dejstva zemljotresa kao dinamičke pobude. Prilikom rešavanja diferencijalnih jednačina kretanja korišćen je Newmark-ov postupak implicitne integracije.

Cilj je bio da se postave osnove za dalju nadogradnju napisanih kodova, u više pravaca, na primjer, u pravcu razmatranja sistema sa više stepeni slobode, različitih tipova spoljašnjih dinamičkih opterećenja, uzimanja u obzir različitih vrsta nelinearnosti.

LITERATURA

- [1] Vukobratović V. (2011). Seizmička analiza konstrukcija – materijal za vježbe
- [2] Janković S. (2022). *Seizmički proračun armiranobetonskih zgrada u skladu sa eurokodovima s riješenim primjerima*. FRAME Project, Podgorica
- [3] Chopra A, (2012). *Dynamic of Structures – Theory and Application to Earthquake Engineering*. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, Boston
- [4] Dukkipati R. (2010) *MATLAB – An Introduction with Applications*. New Age International Limited, Publishers, New Delhi
- [5] Chandrasekaran S. (2019). *Advanced Structural Analysis with MATLAB*. Taylor & Francis Group, Boca Raton
- [6] SAP 2000 – Integrated Solution for Structural Analysis and Design, CSI Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc, 2016

KONTROLA PRODUKTIVNOSTI NA GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA ZASNOVANA NA KLJUČNIM RESURSIMA

Dejan Marinković¹, Predrag Petronijević², Marija Ivanović³

Rezime:

Produktivnost predstavlja jedan od ključnih indikatora građevinske proizvodnje, kao i faktor koji bitno utiče na visinu nepotrebnih troškova. Unapređenjem produktivnosti stvaraju se preduslovi za smanjenje proizvodne cene, ostvarivanje visokog profita i povećanje konkurentnosti firme. Zbog angažovanja velikog broja različitih resursa, kontrola produktivnosti na građevinskim projektima je otežana, često zakasnela i neefikasna. U radu je predložen pristup za identifikaciju ključnih resursa, koji mogu bitno uticati na visinu produktivnosti na projektima. Na taj način stvaraju se preduslovi za fokusiranu kontrolu, pre svega ključnih resursa, gde su greške najskuplje i gde treba delovati preventivno, ciljano i efikasno. Predloženi pristup podržava lean principe. U radu su analizirane najčešće korišćene metode za merenje produktivnosti i date su preporuke za njihovu primenu na ključnim resursima, sa ciljem unapređenja poslovanja.

Ključne reči: produktivnost, ključni resursi, kontrola, troškovi

PRODUCTIVITY CONTROL ON CONSTRUCTION PROJECTS BASED ON KEY RESOURCES

Summary:

Productivity is one of the key indicators of construction production, as well as a factor that significantly affects the level of unnecessary costs. Improving productivity creates prerequisites for reducing production costs, achieving high profits and increasing the competitiveness of companies. Due to the engagement of a large number of different resources, productivity control on construction projects is difficult, often delayed and inefficient. The paper proposes an approach for identifying key resources that can significantly affect the level of productivity on projects. Thus, the preconditions for focused control are created, primarily for key resources, where defects are the costliest and where preventive, directed and efficient action should be taken. The proposed approach is in accordance with Lean Principles. The paper analyses the most commonly used productivity measurement methods and recommendations gives for their application to key resources, with the aim of improving business operations.

Key words: productivity, key resources, control, cost

¹ Vanr. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, dejan@grf.bg.ac.rs

² Vanr. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, pecap@grf.bg.ac.rs

³ Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, mapetrovic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Produktivnost predstavlja jedno od bitnih merila koje ukazuje na sposobnost firme za ostvarenje visokog profita i uspešnost poslovanja. Visoka produktivnost utiče na smanjenje troškova, što doprinosi povećanju konkurentnosti firme na tržištu kroz smanjenje cena usluga ili uvećanje zarade firme. Međutim, rast produktivnosti u građevinarstvu nije pratio rast produktivnosti u ostalim industrijskim granama, gde su postignuti značajni rezultati. Razlozi za to su mnogobrojni, a dosta njih je vezano i za samu prirodu poslova u građevinarstvu. S obzirom na veliki značaj produktivnosti za kontrolu troškova i vremena, veliki broj autora se bavio identifikacijom uzroka odstupanja produktivnosti [1-3], sa ciljem da se na njih obrati posebna pažnja tokom realizacije projekta.

Međutim, za efikasnu kontrolu veoma je važno da se na vreme uoče odstupanja i preduzmu odgovarajuće korektivne mere. Zbog toga je važan izbor organizacionog nivoa na kojem se vrši merenje produktivnosti, kao i izbor relevantnih metoda za kontrolu produktivnosti. Merenje produktivnosti na nivou projekta daje dobre pokazatelje o trenutnom stanju na projektu, ali pri tom često ostaje prikriven neproduktivan rad pojedinih ekipa. Sa druge strane postoji veliki broj ekipa na projektu, pa bi česta kontrola na tim resursima zahtevala veliki broj obučanih lica, što iziskuje dodatne troškove i postavlja pitanje opravdanosti i efikasnosti takvog načina kontrole. Cilj rada je da se identifikuju ključni resursi koji najviše utiču na produktivnost i poslovni rezultat firme. Na taj način značajno se smanjuje obim posla na merenju produktivnosti i zadržava visok nivo tačnosti kontrole. U ovom radu su analizirani postojeći pristupi merenju produktivnosti i predložen pristup zasnovan na fokusiranoj kontroli produktivnosti i ključnim resursima. Istraživanje je ograničeno na stambeno-poslovne objekte i radnu snagu kao najvažniji tip resursa značajan za realizaciju ove vrste objekata.

2. POSTOJEĆI PRISTUPI MERENJU PRODUKTIVNOSTI

U literaturi se mogu sresti mnogobrojni pristupi merenju produktivnosti. Uobičajeni nivoi na kojima se razmatra produktivnost odnose se na nivo građevinske industrije, nivo firme, nivo projekta i nivo radne ekipe. Međutim, sve mere za produktivnost se ne mogu uspešno primeniti na svim organizacionim nivoima. U radu je analiziran jedan broj mera zasnovan na tradicionalom pristupu, kao i određene mere novijeg datuma.

Prema klasičnom pristupu, produktivnost se definiše kao odnos količine ostvarenog proizvoda i jednog reprezentujućeg faktora proizvodnje, gde se kao ulaz najčešće uzimaju utrošeni radni sati [4]. Umesto radnih sati može se upotrebiti broj radnika-dana (čovek-dan) [5] ili broj radnika [6].

U radu [7] se za nivo radnih ekipa navode sledeće mere za produktivnost: proizvod po satu, proizvod po troškovima i proizvod po čovek- danu. Takođe u [7] se navodi da se u praksi kao mera produktivnosti često koriste i recipročne vrednosti navedenih mera, kao na primer broj sati po proizvodu i sl. U [5] se navode neke od najčešće korišćenih mera u singapurskoj građevinskoj industriji, među kojima je i mera, broj kvadratnih metara izgrađene površine po čovek-danu ili po troškovima. Ove mere su prema [7] kompozitne mere i mogu se upotrebiti i na nivou projekata.

Primena klasičnog pristupa za merenje produktivnosti na nivou radnih ekipa, može dati dobre rezultate u slučajevima kada su ekipe angažovane na jednom proizvodu, odnosno jednoj poziciji rada. U praksi radne ekipe su u toku proizvodnog procesa, a često i na nivou radnog dana, angažovane na više različitih pozicija, pa je merenje produktivnosti klasičnim putem otežano. U radu [8] se predlaže uvođenje ekvivalentnog proizvoda preko odgovarajućih koeficijenata, čime bi se izbegli navedeni nedostaci. Međutim, zbog složenosti, primena ovog pristupa nije značajnije prisutna u praksi.

Mere za produktivnost na nivou projekta, koje se predlažu u radu [7], mogu se koristiti i na nivou radnih brigada, ali je primena otežana, pogotovu kada se kontrola vrši u kratkom vremenskim intervalima i na većem broju pozicija.

U ovom radu, fokus kontrole je na ključnim resursima, koji su po pravili istovremeno angažovani na više različitih pozicija rada. Zbog toga je neophodno odabrati mere za produktivnost, koje se mogu efikasno primeniti na ovim organizacionim nivoima. U tom smislu dobre rezultate daje mera pod nazivom Performance Index (PI), koja predstavlja odnos dodeljenih sati za određeni posao i stvarno potrošenih sati za taj posao [9]. Dodeljeni ili zarađeni sati se mogu odrediti na osnovu izvedenih količina i normativa kalkuliranih u ponudi, a potrošeni sati evidencijom na gradilištu. Navedena mera je bezdimenzionalna i omogućava poređenje sa drugim ekipama, koje izvode potpuno drugačije radove.

Job Productivity Measurement (JPM) je mera za produktivnost razvijena od strane američkog društva za testiranje i materijale (American Society of Testing and Materials-ASTM). Prema JPM produktivnost predstavlja odnos izlaza i ulaza proizvodnje. Ulaz proizvodnje se prikazuje kroz ostvarene sate, a izlaz kroz proizvod ili potreban rad za njegovu izradu [10]. Prema ovoj metodi predlaže se grupisanje zadataka po troškovnim centrima. Metodom je takođe predviđeno određivanje referentne tačke produktivnosti, koja se računa na početku projekta i predstavlja broj sati za izradu jednog procenta odgovarjućeg posla [10]. Može poslužiti za utvrđivanje razlike sa izmerenom produktivnošću tokom realizacije projekta. Prema ovoj meri predviđeno je da se u proračun produktivnosti uvrste i sati potrošeni na ispravke [10].

Za potrebe istraživanja u ovom radu izabrana je metoda PI, zbog svojih prednosti i mogućnosti da se efikasno primeni na ključne resurse.

3. IDENTIFIKACIJA KLJUČNIH RESURSA

Izdvajanjem ključnih resursa značajno se smanjuje posao na merenju produktivnosti i omogućava efikasna kontrola u kraćim vremenskim intervalima. U radu [11] se analiziraju i opisuju principi vezani za isplativost sistema kontrole. Na osnovu tih istraživanja u radu [12] se preporučuje, da se kontrola produktivnosti sprovodi pre svega na aktivnostima koje troše najviše sati na projektu.

U radu [13], za potrebe upravljanja projektima za odbranu od visokoh voda (nasipi) na bazi planova rada i statistički obrađenih podataka, razmatraju se troškovno značajne aktivnosti, vremenski značajne aktivnosti i kvalitativno značajne aktivnosti.

Sa aspekta kontrole realizacije projekata u [14] se ukazuje na potrebu izdvajanja ključnih resursa i predlaže podela ključnih resursa na:

- troškovno značajne resurse, bitne za kontrolu troškova,
- profitno značajne resurse, bitne za kontrolu profita,
- resurse značajne po obimu posla, bitne za kontrolu vremena i
- tehnološki značajne resurse bitne za kontrola kvaliteta na projektu.

U [14] se daje način identifikacije ovih ključnih resursa koji je zasnovan na izradi specifikacije resursa i primeni Pareto principa [15, 16]. Pri tome posebno se razmatra radna snaga, materijal i mehanizacija. Međutim, tu se ne razmatra produktivnost već pre svega troškovi i profit. Imajući u vidu da produktivnost veoma mnogo utiče na ove veličine, može se smatrati za jedan od bazičnih uzroka za odstupanje od planiranih troškova i profita. Stavljanjem produktivnosti pod kontrolu, značajno se smanjuju nepotrebni troškovi i povoljno utiče na profit. Firma ne može uticati na nabavne vrednosti resursa na tržištu, ali itekako može uticati na poboljšanje performansi radne snage. Zbog toga je neophodno konstatno raditi na unapređenju produktivnosti firme, gde se najveći i najbrži pomaci ostvaruju preko poboljšanja performansi ključnih resursa.

Sa aspekta merenja produktivnosti u radu se predlaže podela ključnih resursa na dve kategorije. U prvu kategoriju spadaju:

- resursi značajni po obimu angažovanja,
- troškovno značajni resursi,
- resursi značajni za kvalitet na projektu i
- resursi firme sa niskim performansama.

Za drugu kategoriju predlažu se resursi značajni sa aspekta podrške efikasnoj upotrebi ključnih resursa prve kategorije:

- resursi značajni za obezbeđenje preduslova i organizaciju posla,
- resursi koji prethode ključnim resursima.

U prvu kategoriju ključnih resursa izdvojeni su resursi koji direktno doprinose nivou ostvarene produktivnosti, a u drugu kategoriju izdvojeni su resursi podrške, čiji je cilj da obezbede preduslove i neometan rad ključnih resursa prve kategorije.

Resursi značajni po obimu angažovanja i troškovno značajni resursi određuju se primenom Pareto principa [15, 16] na statičke planova potreba za radnom snagom i planove troškova. Prema Pareto principu za značajne stavke izdvajaju se sve one koje su veće od srednje vrednosti. Smatra se da oko 20% stavki nosi oko 80% vrednosti svih stavki. Izdvajanjem ključnih resursa na ovaj način, značajno se smanjuje broj resursa na kojima treba sprovesti agilnu kontrolu produktivnosti.

Pri realizaciji projekata moraju se uzeti u obzir performanse resursa postignute na ranije izvedenim objektima. Ukoliko su određene ekipe radnika prethodno ostvarile nizak ili nedovoljno dobar nivo produktivnosti, a nemamo alternativu za angažovanje drugih resursa, onda se ovi resursi moraju izdvojiti kao ključni i meriti njihova produktivnost od samog početka. Cilj je da ovi resursi ne ostanu prikiveni i da se ne ponavlja ista greška sa ranijih projekata. U tom smislu korisno je sprovođenje postprojektnih analiza, formiranje baze podataka firme, kao i periodično sprovođenje SWOT analize [17]. U okviru SWOT analize razmatraju se unutrašnje snage i slabosti firme, kao i pretnje i šanse iz spoljnog okruženja.

Visok nivo kvaliteta radova zahteva veće angažovanje radne snage, ali sa sobom nosi i veći rizik od greški i popravki. Ponovni rad direktno utiče na pad produktivnosti. Zbog toga je neophodno prepoznati ove radove odmah na početku i preduzeti adekvatne mere. Uvođenje nove opreme i primena novih tehnologija, zahteva period obuke i uigravanja radnih ekipa, što u početku dovodi da niže produktivnosti. Cilj je da se ovi resursi izdvoje, da se iz dana u dan meri njihova produktivnost i da se za kratko vreme dostignu pune performanse proizvodnje. U praksi se dešava da na takvim radovima ima dosta ispravki, što može značajno sniziti produktivnost i povećati troškove, pogotovu ako radovi odmaknu i ne reaguje se na vreme.

Profitno značajni resursi [14] se često poklapaju sa troškovno značajnim resursima i resursima značajnim po vremenu angažovanja, osim u slučajevima kada su profitne stope pojedinih radova značajno više u odnosu na ostale. Međutim, ako se poredi profit po jedinici resursa i trošak po jedinici resursa, značajno je veći udeo troškova, pa samim tim i potreba da se prati produktivnost troškovno značajnih resursa. Iz tih razloga se u ovom radu ne insistira na obaveznom razmatranju ove vrste resursa, ali se ne isključuje analiza za pojedine specijalne radove kod kojih je izrazito visoka profitna stopa.

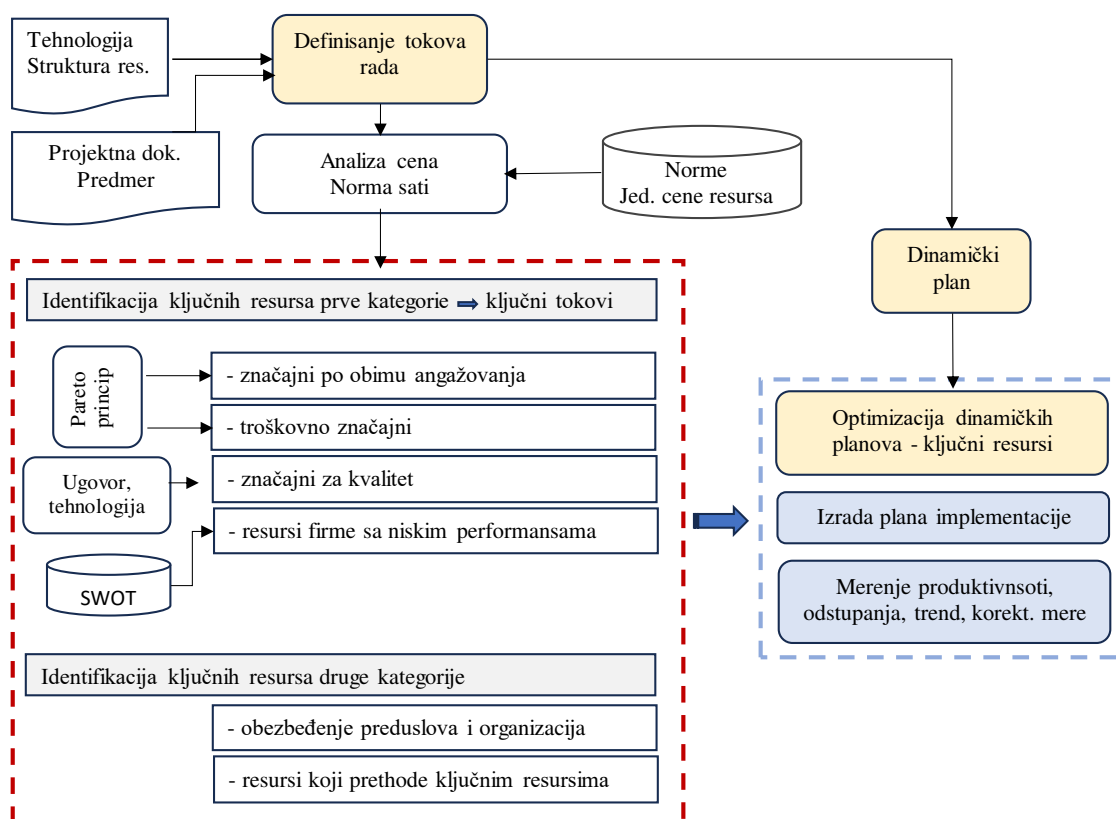
Cilj razmatranja resursa druge kategorije jeste da se izdvoje resursi, koji treba da obezbede podršku i stvore uslove za efikasan rad neposrednih radnika. Tu se pre svega misli na tehničko-tehnološku pripremu, projektne menadžere, contract menadžere, planere, šefove gradilišta, poslovođe, službu nabavke materijala i opreme i dr. Radi se o značajnom broju učesnika angažovanih na organizaciji i obezbeđenju preduslova i neophodna je njihova stalna komunikacija i sinhronizacija. U tom smislu veoma je važna organizaciona šema na projektu, tokovi informacija i komunikacija. Obaveze moraju biti jasne sa preciziranim rokovima i odgovornim licima. Naša praksa pokazuje da na ovom polju postoji dosta prostora za unapređenje i zbog toga se u ovom radu potencira na ovoj grupi resursa.

U svetu je sve više u primeni Last planner system [18, 19], kao sistem operativnog planiranja, zasnovan na direktnoj saradnji poslednjih planera (poslovođa) i glavnog planera. U okviru ovog sistema pored dvonedeljnih operativnih planova, predviđena je i izrada Lookahead planova, kao srednjoročnih operativnih planova za period od 4 do 6 nedelja, kojima su pored aktivnosti na realizaciji projekta, obuhvaćeni i preduslovi za njihovo izvođenje [20, 21]. Veća primena ovih planova bi doprinela efikasnijem radu ključnih resursa druge kategorije, a samim tim i uspešnijoj realizaciji projekata.

Resursi čiji radovi neposredno prethode radovima koje izvode ključni resursi, mogu u slučaju kašnjenja izazvati zastoje i diskontinuitet u radu ključnih resursa, a samim tim pad produktivnosti i značajne gubitke. Zbog toga ove resurse treba posebno pratiti, jer relativno mali radovi, indirektno mogu prouzrokovati velike štete. U radu je predloženo da se ovi resursi uvrste u drugu kategoriju ključnih resursa, odnosno u resurse podrške.

4. PREDLOŽENI PRISTUP ZA KONTROLU PRODUKTIVNOSTI

Sa aspekta merenja produktivnosti na građevinskim projektima, poseban značaj imaju ključni resursi, jer oni mogu najviše da utiču na poslovni rezultat. Predloženi pristup za merenje produktivnosti podrazumeva analizu dve kategorije ključnih resursa. U prvu kategoriju su izdvojeni resursi koji direktno utiču na visinu produktivnosti, a u drugu kategoriju izdvojeni su resursi podrške, čiji je cilj da obezbede preduslove i neometan rad ključnih resursa prve kategorije. Na sl. 1 prikazana je blok šema predloženog pristupa za merenje produktivnosti.



Slika. 1 Kontrola produktivnosti zasnovana na ključnim resursima

Za primenu predloženog pristupa neophodno je:

- definisati tokove rada kao posebne tehnološke celine, za čiju realizaciju su odgovorne posebne resurne jedinice (radne brigade),
- uraditi dinamički plan prema usvojenim tokovima rada,
- izvršiti identifikaciju ključnih resursa prve kategorije prema tokovima rada,

- izvršiti identifikaciju ključnih resursa druge kategorije,
- izvršiti optimizaciju dinamičkog plana u cilju obezbeđenja kontinuiteta i pune uposlenosti kapaciteta ključnih resursa,
- uraditi plan implementacije i
- primeniti projektni ciklus za kontrolu produktivnosti i merenje napretka radova.

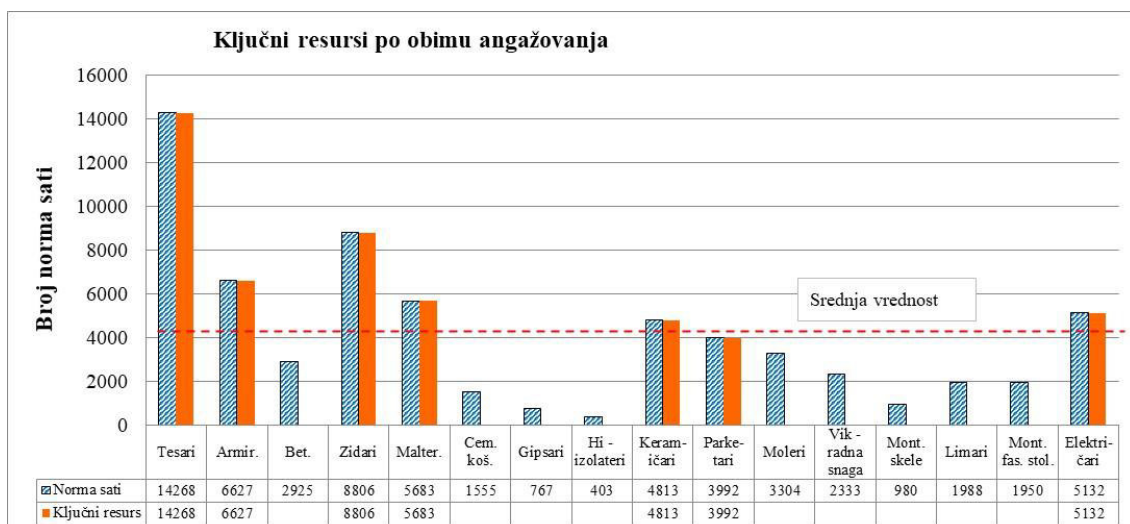
Izbor organizacionog nivoa na kojem se vrši merenje produktivnosti dosta utiče na efikasnost i uspešnost kontrole. Merenje na nivou pozicije rada i nivou aktivnosti ne daje dovoljno korisne podatke, a pri tom zahteva visok nivo angažovanja. U radu [22] zastupa se koncept merenja produktivnosti po tokovima rada, ali se ne razmatraju ključni resursi i njihov uticaj na produktivnost. Predloženi pristup zasniva se na ključnim resursima i ključnim tokovima rada. Za ključne tokove u radu se predlažu tokovi na kojima su angažovani ključni resursi. Pri optimizaciji planova prioritet se daje ključnim tokovima, na kojima je neophodno obezbediti maksimalnu uposlenost ključnih resursa i stalni kontinuitet rada. Ovakav pristup je u skladu sa lean principima proizvodnje [23].

U planu implementacije određuju se odgovorna lica za kontrolu produktivnosti i definišu tokovi informacija. Pored toga određuje se plan i učestalost merenja. Predviđeno je da se produktivnost ključnih resursa na početku njihovog angažovanja meri na dnevnom nivou, sve do postizanja punih performansi, a zatim na nedeljnom nivou. Isto se primenjuje i u slučaju naknadne pojave odstupanja. Za resurse koji nisu ključni, merenje se vrši na nedeljnom nivou ili ređe u zavisnosti od stanja njihove produktivnosti. U slučaju većih odstupanja i kod njih je neophodna dnevna kontrola.

S obzirom da su ključni resursi angažovani na realizaciji više različitih pozicija, neophodno je izabrati odgovarajuće metode za merenje produktivnosti, kao što je na primer Performance Index. Pored produktivnosti neophodno je stalno meriti i procenat izvršenja kako bi se reagovalo na vreme i sprečili zastoji na tokovima koji slede. Za kontrolu produktivnosti, u ovom radu predviđena je primena projektnog ciklusa koji obuhvata: izradu preseka stanja radova, analizu odstupanja, uzroka odstupanja i posledica, izbor i primenu optimalnih korektivnih mera. U radu se predlaže utvrđivanje i kvantifikacija trendova odstupanja, kako bi se na vreme sagledale moguće krajnje posledice i donele ispravne upravljačke odluke.

5. STUDIJA SLUČAJA

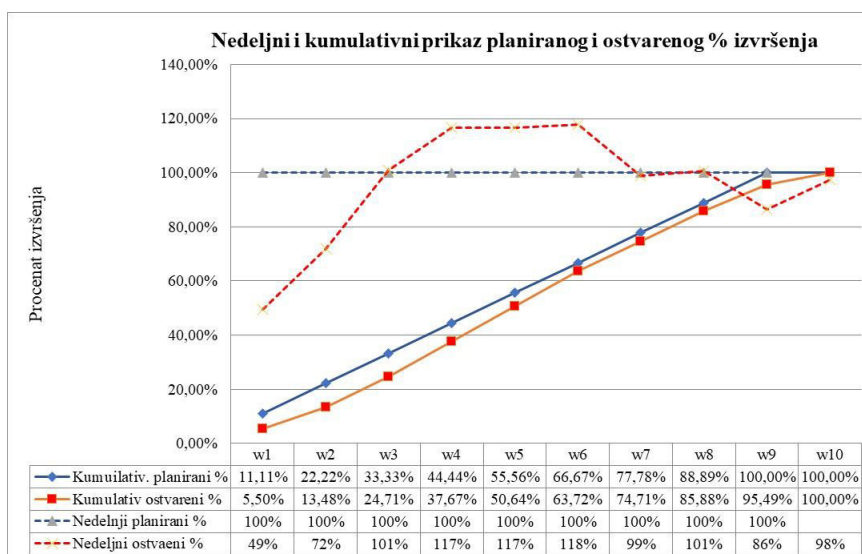
Studijom slučaja obuhvaćena je kontrola produktivnosti na stambeno-poslovnim objektu spratnosti Po+PR+4, bruto površine 7907 m². Konstrukcija objekta je armirano betonska projektovana u mešovitom skeletnom i panelnom konstruktivnom sistemu. Unutrašnja obrada i fasada objekta su srednjeg nivoa kvaliteta. Glavni izvođač je ugovorio radove na konstrukciji i delu zanatskih i instalaterskih radova. Bruto površina podzemnog dela objekta iznosi 1937 m², a nadzemnog 5970 m². S obzirom da se radi o dve različite tehnološke celine sa različitim sadržajem i nivoom završne obrade, potrebno je analizu ključnih resursa razdvojiti na podzemni i nadzemni deo objekta. Studijom je obuhvaćen nadzemni deo objekta. Primenom Pareto principa određeni su ključni resursi značajni po obimu angažovanja sl. 2. Ovoj grupi su dodati i parketari iako ne ispunjavaju formalni uslov po kojem broj norma sati treba da bude veći od srednje vrednosti posmatranih resursa, ali su te vrednosti veoma bliske. Na taj način dobija se da 7 od 16 razmatranih resursa, odnosno 43,75% resursa nosi ukupno 75,27% od ukupno potrebnih norma sati. Na ovaj način izdvojeni su ključni resursi koji presudno utiču na rok gradnje. Investitoru je bilo od velike važnosti da se objekat završi u roku, kao i da se poštuju dogovoreni međurokovi. Pored toga ugovorom su bili predviđeni i visoki parcijalni penali. Izvođač je predvideo anagažovanje ekipa čije su performanse na prethodnim objektima bile zadovoljavajuće, tako da po tom kriterijumu nije bilo potrebe za izdvajanjem posebnih ključnih resursa.



Slika. 2 Ključni resursi značajni po obimu angažovanja

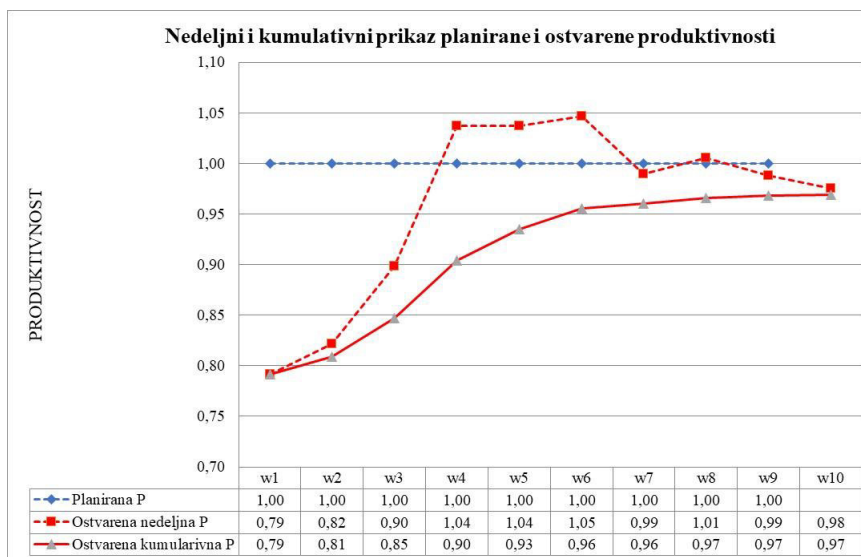
Objekat je standardnog kvaliteta završnih radova, tako da ni po ovom kriterijumu nije bilo potrebe za dodatnim izdvajanjem ključnih resursa. U okviru studije nisu posebno analizirani troškovno značajni resursi, ali s obzirom na značajnu razliku u broju norma sati između izdvojenih ključnih resursa i drugih resursa, može se smatrati da bi se dobili približno slični rezultati. Za merenje nivoa produktivnosti korišćena je mera PI, koja se može uspešno primeniti na svim organizacionim nivoima.

U okviru studije merenje produktivnosti započeto je od zidarskih radova. Praćene su ekipe angažovane na zidanju spoljnih i unutrašnjih zidova. U prve dve nedelje ekipama je prepušteno da se organizuju i rade na uobičajeni način, a nakon toga je primenjen pristup predložen u ovom radu. Na taj način bilo je moguće da se uoče i kvantifikuju razlike u pristupima. Nakon prve nedelje ustanovljeno je da radovi na nedeljnom nivou kasne 51%, sl. 3. U tom periodu izvođač je angažovao 10 radnika umesto planiranih 16. Druge nedelje izvođač je povećao broj radnika, ali je i dalje bilo prisutno kašnjenje od približno 30%. Zbog toga je treće nedelje dodatno povećan broj radnika na 18 i sprovedena analiza produktivnosti za prethodne nedelje.



Slika. 3 Nedeljni i kumulativni prikaz planiranog i ostvarenog procenta izvršenja

Osim niskog procenta izvršenja na zidarskim radovima, ustanovljena je i niska produktivnost, sl. 4. Sa primenom korektivnih mera započeto je tokom treće nedelje. U trećoj nedelji procenat izvršenja je bio zadovoljavajući zbog angažovanja većeg broja radnika nego po planu, ali je produktivnost od 90% i dalje bila manja od potrebne.



Slika. 4 Nedeljni i kumulativni prikaz planirane i ostvarene produktivnosti

Pozitivan efekat korektivnih mera ustanovljen je krajem treće nedelje (na osnovu dnevnih merenja), a pun efekat tokom četvrte nedelje, odnosno već druge nedelje od primene predloženog pristupa za merenje i kontrolu produktivnosti. Razlozi za nizak procenat izvršenja u prve dve nedelje ogledaju se u nedovoljnom broju radnika, ali i u smanjenoj produktivnosti. Uobičajena reakcija firmi je da se poveća broj radnika i da se sustignu kašnjenja, ali pri tome ostaje prikrivena niska produktivnost, a sa njom i nepotrebni dodatni troškovi. Analizom uzroka niske produktivnosti, ustanovljeno je da radnici u pojedinim ekipama nisu bili dovoljno obučeni za pozicije na ovom objektu. Usled toga došlo je do sporijeg rada i ispravki zbog neadekvatnog kvaliteta. Zbog toga su u toku rada održane pokazne obuke od strane glavnih majstora, što je dalo dobre rezultate. Takođe, na početku je izostala adekvatna podrška od službi firme. Kasnila je nabavka materijala i nije na adekvatan način bio rešen vertikalni transport na gradilištu. Ovi problemi su rešeni krajem treće nedelje. Osim toga sa investitorom je ustanovljena procedura za izmene na projektu, kako bi se na vreme najavile izmene, obezbedili novi projektni detalji, izbegli poremećaji u dinamici i smanjili nepotrebni troškovi.

Pri kraju toka rada uočen je blaži pad nedeljnog procenta izvršenja sl. 3 i nedeljne produktivnosti sl. 4, jer je izvođač smanjio broj radnika, prebacujući najbolje radnike na drugo gradilište.

Na sl. 4 se uočava da je zahvaljujući primenjim merama, ostvarena visoka kumulativna produktivost (mereno od početka do završetka radova) od 0,97, uz blago kašnjenje od nekoliko dana. Nivo produktivnosti može se smatrati zadovoljavajućim, imajući u vidu značajna početna odstupanja.

Na ostalim ključnim resursima takođe su postignuti dobri rezultati. Na resursima koji nisu ključni, vršena su povremena merenja produktivnosti. Na nekima od njih su uočena manja odstupanja, ali oni nisu puno uticali na ukupni poslovni rezultat. Ipak sprovedene su korektivne mere, kako bi se anulirao uticaj na ključne resurse, čiji radovi slede iza njih. Rezultati sprovedene studije pokazuju da primena predloženog pristupa može doprineti unapređenju produktivnosti na građevinskim projektima.

6. ZAKLJUČAK

U radu je predložen pristup za merenje i kontrolu produktivnosti zasnovan na ključnim resursima. Ovaj pristup omogućava fokusirano delovanje, uz značajno smanjenje obima posla na kontroli i uz dovoljno visok nivo tačnosti. Pravovremene informacije o

odstupanjima na ključnim resursima omogućavaju efikasno delovanje i eliminaciju nepotrebnih troškova upravo na mestima gde su greške najskuplje.

U radu se predložene dve kategorije ključnih resursa od kojih je prva usmerena na neposredno izvođenje radova i radnu snagu, a druga na obezbeđenje podrške i preduslova za efikasno delovanje ključnih resursa prve kategorije. U praksi su uticaji ove dve kategorije često pomešani i stvaraju zabunu u pogledu uočavanja stvarnih uzroka odstupanja i primene korektivnih mera. To ukazuje na potrebu predložene kategorizacije ključnih resursa i na primenu predloženog pristupa kontroli produktivnosti.

U radu su istražene mogućnosti za primenu metoda za merenje produktivnosti na različitim organizacionim nivoima i predložene adekvatne metode za nivo ključnih resursa. Dobre rezultate je pokazala metoda pod nazivom Performance Index.

Za uspešnu primenu predloženog pristupa, neophodna je izrada i optimizacija dinamičkog plana prema ključnim resursima, sa ciljem da se obezbedi njihov kontinuirani rad i puna uposlenost kapaciteta. Takođe, neophodno je donošenje plana implemenatcije sa analizom odgovornosti učesnika, tokovima informacija i planom merenja produktivnosti. U radu su prikazani rezultati studije, u okviru koje je vršena kontrola produktivnosti na realizaciji stambeno-poslovnog objekta. Studija pokazuje da sa merenjem produktivnosti treba početi odmah na početku angažovanja ključnih resursa i što pre prevazići početne probleme, karakteristične za građevinsku proizvodnju. Merenje produktivnosti na početku toka rada treba vršiti na dnevnom nivou, sve do postizanja potrebnih performansi ključnih resursa, a nakon toga na nedeljnom nivou.

Studija pokazuje da primena predloženog pristupa, doprinosi unapređenju produktivnosti, uz smanjeni nivo angažovanja na poslovima kontrole. Studija je ograničena na stambeno poslovne objekte i radnu snagu kao dominantani tip resursa za ovu vrstu objekata. Navedeni principi predloženog pristupa mogu se primeniti i na ostale tipove objekata i mehanizovane radove, ali su u tom smislu neophodna dalja istraživanja.

LITERATURA

- [1] Horner, M., Duff, R. (2001). *A contractors Guide to Improving Productivity in Construction*, CIRIA Publication C566
- [2] Dai, J., Goodrum, P., Maloney, W. (2007). Analysis of craft workers' and foremen's perceptions of the factors affecting construction labour productivity. *Construction Management and Economics*, 25, pp. 1137–1150. DOI: 10.1080/01446190701598681
- [3] Popović, Ž. (2010). *Odštetni zahtevi u građevinarstvu*. Građevinska knjiga. Beograd, Srbija
- [4] Halligan, D.W., Demsetz, L., Brown, J., Pace C. (1994). Action-response model and loss of productivity in construction. *Journal of construction engineering and management*, 120, 47–64. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(1994)120:1(47)
- [5] Shan, M., Li, Y.S., Hwang, B.G., Chua, J.E. (2021). Productivity Metrics and Its Implementations in Construction Projects: A Case Study of Singapore. *Sustainability*, 13(21), 12132. <https://doi.org/10.3390/su132112132>
- [6] Vogl, B., Abdel-Wahab, M. (2015). Measuring the construction industry's productivity performance: Critique of international productivity comparisons at industry level. *Journal of Construction Engineering & Management*, Vol. 141(4), p-1.1p. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000944
- [7] SCAL. (2017). *Construction Productivity in Singapore: Effective Measurement to Facilitate Improvement*, The Singapore Contractors Association Ltd., Singapore.
- [8] Medanić, B. (1997). *Management u građevinarstvu*. Građevinski fakultet u Osijeku, Hrvatska
- [9] Orczyk, J. (2004). *Progress Measurement and Earned Value (Chapter 14). Skills & Knowledge of Cost Engineering*, 5th Edition, AACE International, ed. S. Amos, USA, pp. 14.1-14.6.

- [10] Hayes, S., Liang, K., Sharma, S., Shema, A., Bader, M., Elbarkouky, M. (2020). A Framework for Improving Trade Contractors Productivity Tracking Methods. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol. 14, No. 1, 2020
- [11] Thomas, H. R., Kramer, D. F. (1998). *Manual of construction productivity measurement and performance evaluation*, Construction Industry Institute, University of Texas, Austin, TX
- [12] Hwang, B.G., Soh, C.K. (2013). Trade-Level Productivity Measurement: Critical Challenges and Solutions. *Journal of Construction Engineering & Management*, 04013013(1-11). DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000761
- [13] Marić, T., Radujković, M., Cerić, A. (2007). Upravljanje troškovima, vremenom i kvalitetom izgradnje u građevinskim projektima, *Građevinar*, 59 (6), pp. 485-493.
- [14] Marinković, D. (2008). Model za ocenu i kontrolu uspešnosti poslovanja malih i srednjih građevinskih preduzeća. Doctoral thesis (in Serbian), Faculty of Civil Engineering in Belgrade, Serbia.
- [15] Horner, R.M.W., Zakieh, R. (1996). Characteristic items – a new approach to estimating and controlling construction projects. *Construction Management and Economics*, Volume 14(5), pp. 241-252
- [16] Horner, M., Wang, N., (2007). CSI model for estimating road maintenance projects. *Construction Management and Economics*, Volume 25, pp. 1269-1281. DOI: 10.1080/01446190701670373
- [17] Đurović, D., Bulatović, M. (2016). Organizaciona struktura i grupa odabranih kriterijuma u modelu ocenjivanja uspešnosti građevinskih preduzeća, *Tehnika – Menadžment*, 66 (1), pp. 137-144. DOI: 10.5937/tehnika1601137D
- [18] Ballard, G. (2000). The Last Planner System of production control, Doctoral thesis (in English), University of Birmingham, Birmingham, UK.
- [19] World, O., Hamani, K. (2023). Lean Construction in the UAE: Implementation of Last Planner System, *Lean Construction Journal*, 2023, pp. 1-20
- [20] Ballard, G. (1997). Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control. *5th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Constr.*, Gold Coast, Australia, 1997, pp. 1-13.
- [21] Hamzeh, F., Ballard, G., Tommelein, I. (2012), Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow, *Lean Construction Journal*, jan 2012, pp. 15-34.
- [22] Marinković, D., Stojadinović, Z. (2015), Planiranje i kontrola produktivnosti na građevinskim projektima, *Izgradnja*, 69 (7-8), pp. 278-286.
- [23] Vilasini, N., Neitzert, T., Rotimi, J. (2011) Correlation between construction procurement methods and lean principles. *International Journal of Construction Management*, Vol. 11 No. 4, 65-78

PROCENA TROŠKOVA IZGRADNJE AUTO-PUTEVA: IDENTIFIKACIJA I ANALIZA PERCEPCIJA INVESTITORA O TROŠKOVNO UTICAJNIM PARAMETRIMA

Nevena Simić¹, Nenad Ivanišević², Diana Vranešević³

Rezime:

Procene troškova izgradnje auto-puteva u ranim fazama projekta se mogu okarakterisati kao prilično izazovne i rizične. Utvrđivanje troškovno uticajnih parametara na kojima se bazira procena troškova zahteva ulaganje određenog napora (vremena i novca), što procene troškova čini još izazovnijim. Kako bi se utvrdile percepcije investitora o troškovno uticajnim parametrima iz prethodno predložene liste, sprovedeno je empirijsko istraživanje (anketa) gde su ispitanici ocenjivali nivo uticaja parametara na troškove izgradnje auto-puteva i nivo napora koji je potrebno uložiti za određivanje vrednosti parametara. Rezultati ankete su ukazali da investitori velike napore ulažu u razvoj projektne dokumentacije, ali i na zabrinutost investitora u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine. Takođe, investitori ugovorne troškovno uticajne parametre, kao što je vrsta tenderskog postupka, smatraju veoma bitnim parametrima za procenu troškova izgradnje auto-puteva.

Ključne reči: procena troškova, projekti auto-puteva, troškovno uticajni parametri, anketa

HIGHWAY CONSTRUCTION COST ESTIMATION: IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF THE OWNERS' PERCEPTIONS ON COST DRIVERS

Summary:

Highway construction cost estimates in the early stages of the project can be characterized as quite challenging and risky. Determination of the cost drivers on which the cost estimates are based requires a certain effort (time and money), which makes cost estimates even more challenging. In order to determine the owners' perceptions on the cost drivers from the previously proposed list, an empirical research (questionnaire survey) was conducted where the respondents rated the degree of influence that each cost driver has on highway construction costs and the degree of effort that needs to be invested to establish a cost driver's value. The survey results indicated that owners invest great efforts in the development of project documentation, but also owners' concerns regarding environmental protection issues. Also, they consider contractual cost drivers, such as procurement method, to be very important cost drivers for the highway construction cost estimation.

Key words: cost estimation, highway projects, cost drivers, questionnaire survey

¹ Asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija, nsimic@grf.bg.ac.rs

² Profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija, nesa@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Razvoj i proširenje mreže auto-puteva spada u red ključnih faktora koji omogućavaju brži ekonomski napredak u nerazvijenim i zemljama u razvoju. Donošenje odluka o tome da li izgraditi novi auto-put ili ne se, u ranim fazama planiranja, prvenstveno bazira na inicijalnim procenama troškova. Veliki broj državnih institucija zaduženih za planiranje izgradnje saobraćajne infrastrukture se širom sveta susreće sa brojnim izazovima prilikom izrade procena troškova za nove projekte izgradnje auto-puteva. Najveći izazov su vrlo oskudne informacije o karakteristikama budućeg auto-puta i nedostupnost ili mali broj podataka sa prethodnih projekata, a na osnovu kojih bi se doneli zaključci o troškovima budućih projekata. Pored toga, utvrđivanje informacija o budućim projektima zahteva ulaganje određenog nivoa napora (vremena i novca), što procene troškova čini još izazovnijim.

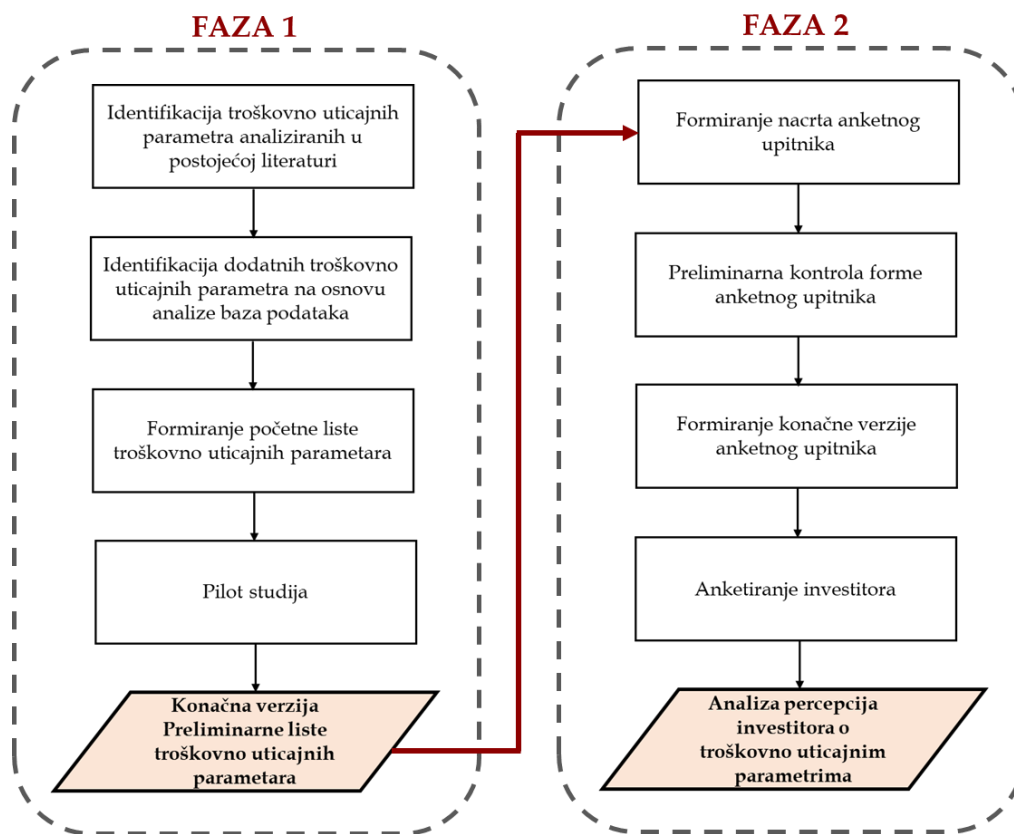
Jedinični troškovi izgradnje auto-puteva mogu značajno varirati među različitim državama i tokom vremena, ali i u istoj državi u istoj godini [1] zbog topografije i tipa terena, cena resursa, stope inflacije itd. Osim toga, društveno-ekonomsko stanje države u kojoj se projekat realizuje [2], kao i stanje građevinskog tržišta, mogu biti značajni troškovno uticajni parametri.

Utvrdjivanje vrednosti troškovno uticajnih parametara za određeni projekat zahteva izvestan napor, odnosno vreme i novac, koji je potrebno uložiti kako bi se odredila vrednost parametra. Među svim kategorijama, parametri koji se odnose na projektovanje zahtevaju najveći nivo napora za njihovo određivanje. Projektovanje predstavlja dugotrajan proces koji zahteva veliku količinu novca. Za određivanje procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, potreban je određeni nivo razrade projekta, odnosno napora [3]. Gardner i ostali su istraživali potreban nivo napora za konceptualnu procenu troškova i došli do zaključka da što se pre formira procena, to su potrebni srazmerno niži troškovi i vreme [3]. Sa napretkom faza projekta, preciznost troškovno uticajnih parametara koji se odnose na projekat se povećava, dok ostale kategorije parametara koje su uglavnom javno dostupne ostaju nepromenjene (npr. stopa inflacije). Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara predstavlja kritičnu fazu u procesu razvoja modela za procenu troškova od koje zavisi njena tačnost [4]. Hashemi i ostali su izvršili pregled trenutnog stanja literature u domenu procena troškova u građevinarstvu zasnovanih na tehnikama mašinskog učenja i zaključili su da ekspertsko znanje ima dragocen uticaj na izbor ključnih troškovno uticajnih parametara [5]. Kim je, primenom AHP metode, odredio ključne troškovno uticajne parametre i definisao njihove težine na osnovu ocena eksperata [6]. Adel i ostali su sprovedli individualne intervju sa 14 eksperata i pri tome ih zamolili da izaberu promenljive koje su tradicionalno dostupne u fazi formiranja koncepcije [7]. Jedna od najzastupljenijih metoda za izbor troškovno uticajnih parametara je anketni upitnik [3, 8-12]. Meharie i ostali su, između ostalog, koristili anketni upitnik za odabir ulaznih promenljivih za preliminarnu procenu troškova izgradnje auto-puteva i zaključili da su najznačajnije promenljive veličina projekta, broj mostova i stopa inflacije [10]. Elbeltagi i ostali su od ispitanika u anketnom upitniku tražili da ocene težine svakog parametra vrednostima od 0 do 100, na osnovu njihovog uticaja na troškove izgradnje auto-puteva u ranim fazama razvoja projekta [9]. Al-Zwainy je pomoću anketnog upitnika istraživao najznačajnije parametre koji utiču na troškove izgradnje puteva i mostova u Iraku tako što je ispitanicima prosleđena lista od 27 troškovnih parametara za koje su, na osnovu iskustva, rangirali uticaj na troškove na skali od pet vrednosti (od nevažnog do veoma važnog) [11].

Uprkos prepoznatim izazovima i rizicima vezanim za procene troškova izgradnje novih auto-puteva, postojeća istraživanja prilikom izbora ključnih troškovno uticajnih parametara na kojima će se bazirati procena troškova ne analiziraju potreban nivo napora za određivanje tih parametara. Cilj ovog rada jeste da se identifikuju percepcije

investitora, kao donosioca odluka, o nivou uticaja troškovno uticajnih parametara na troškove izgradnje auto-puteva i nivou napora potrebnom za utvrđivanje vrednosti parametara za određeni projekat.

2. METODOLOGIJA



Slika. 1 Metodologija istraživanja

Metodologija istraživanja (Slika 1) se sastoji iz dve faze. Prva faza podrazumeva definisanje početne liste troškovno uticajnih parametara koji su identifikovani analizom postojeće literature i analizom dostupnosti podataka o karakteristikama projekata i njihovog okruženja. Nakon toga je pilot studijom, koja je sprovedena intervjuisanjem tri eksperta, utvrđena konačna verzija Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara.

Druga faza metodologije se bavi utvrđivanjem percepcija investitora o troškovno uticajnim parametrima iz prethodno formirane konačne verzije Preliminarne liste. Prvo je formiran nacrt anketnog upitnika. Nakon preliminarne kontrole forme anketnog upitnika, formirana je konačna verzija anketnog upitnika. Na osnovu rezultata sprovedene ankete, identifikovane su i analizirane percepcije investitora o troškovno uticajnim parametrima.

3. DEFINISANJE PRELIMINARNE LISTE TROŠKOVNO UTICAJNIH PARAMETARA

3.1. FORMIRANJE POČETNE LISTE TROŠKOVNO UTICAJNIH PARAMETARA

Prvi korak ka definisanju Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara bila je detaljna analiza literature koja je pružila uvid u ranije analizirane troškovno uticajne parametre. Pregled literature doveo je do sveobuhvatne liste od 189 troškovno uticajnih parametara koji su analizirani u člancima na temu procene troškova putnih

infrastrukturnih projekata objavljenim između 1998. i 2021. godine. Nakon eliminisanja parametara koji se ponavljaju pod istim ili sličnim nazivima, formirana je tabela koja sadrži 18 troškovno uticajnih parametara analiziranih u 20 odabranih studija (Tabela 1).

Tab. 1 Parametri identifikovani pregledom literature

| Parametar | Izvor | Učestalost (%) |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|
| Dužina puta | [6-9,12,17-19] | 63,64 |
| Širina puta/ Broj traka | [6-9,12,17-19] | 63,64 |
| Broj mostova | [9,13, 20] | 13,64 |
| Broj denivelisanih raskrsnica | [16] | 4,55 |
| Dužina mostova | [21, 22] | 9,09 |
| Dužina tunela | [17] | 4,55 |
| Trajanje radova* | [6, 9, 12, 13, 19-24] | 72,73 |
| Tip terena | [6, 8, 13, 20, 23] | 36,36 |
| Projektovana brzina | [15] | 4,55 |
| Klimatski uslovi | [1, 23] | 13,64 |
| Bruto domaći proizvod (BDP) | [1, 23] | 9,09 |
| Nivo korupcije | [1] | 4,55 |
| Cena dizel goriva | [1] | 4,55 |
| Godina izgradnje | [7, 12, 20, 21] | 22,73 |
| Stopa inflacije | [1, 13] | 9,09 |
| Tip ugovora | [22, 25] | 9,09 |
| Indeksi cena resursa | [18] | 4,55 |
| Indeks potrošačkih cena | [13] | 4,55 |

*U pojedinim slučajevima, trajanje radova može podrazumevati očekivano trajanje radova ili očekivani napredak radova po dužini ili površini kolovoza.

Iz Tabele 1 se može uočiti da su najučestaliji troškovno uticajni parametri korišćeni u 20 odabranih studija trajanje radova, dužina puta i širina puta/broj traka. Za njima slede tip terena i godina izgradnje.

Takođe, iz tabele se može zaključiti da je samo manji broj studija analizirao karakteristike okruženja projekata (kao što su na primer indeksi cena i društveno-ekonomski pokazatelji stanja u državi). Iz tog razloga, jedan od ciljeva ovog istraživanja bio je da se u Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara uključi veći broj promenljivih koje opisuju karakteristike okruženja projekata i kroz anketni upitnik testira njihov značaj za procenu troškova u početnim fazama razvoja projekta na osnovu percepcija ključnih učesnika na projektu (investitora i izvođača).

Pored toga, uočeno je da analizirane studije ne razmatraju u dovoljnoj meri karakteristike troškovno značajnih objekata prilikom procene troškova putnih infrastrukturnih projekata. Iz tog razloga, autori su izvršili pregled literature na temu procene troškova projekata izgradnje mostova i tunela. Najčešće analizirani troškovno uticajni parametri koji se odnose na mostove su: širina i dužina mosta, prosečna visina stubova mosta i prosečna dužina raspona [26-28]. Međutim, očekivano je da će ekstremni objekti u sklopu trase imati značajan uticaj na troškove izgradnje, pa je fokus ove studije na postojanju i karakteristikama takvih objekata. Shodno tome, troškovno uticajni parametri vezani za mostove koji su uključeni u analizu su: najveća dužina mosta na deonici, velika visina stubova ekstremnih mostova i veliki raspon ekstremnih mostova.

Pregled literature o procenama troškova izgradnje tunela pružio je uvid u ranije analizirane troškovno uticajne parametre vezane za tunele [29-31]. S obzirom na to da su predmet analize u ovom istraživanju projekti izgradnje auto-puteva, koji imaju standardizovane dimenzije poprečnog preseka tunela, promenljiva koja definiše prečnik tunela je isključena iz dalje analize, iako je identifikovana u prethodnim studijama. Promenljive koje definišu tehnologiju izgradnje tunela su kategorija tla i način iskopa. Može se zaključiti da metoda iskopa tunela sa sobom podrazumeva određene uslove u tlu jer za svaki tip geoloških uslova tla postoje manje ili više uobičajene metode iskopa [24]. Shodno tome, kako bi se izbegao problem multikolinearnosti, u analizu je uključena samo promenljiva koja definiše metodu iskopa tunela. Konačno, troškovno uticajni parametri vezani za tunele koji su uključeni u analizu su: broj tunelskih cevi, najveća dužina tunela na deonici i metoda iskopa tunela.

Kao rezultat pregleda literature, ali i analize dostupnosti podataka o karakteristikama projekata i njihovog okruženja, u listu su uključeni i parametri koji do sada nisu analizirani u prethodnim istraživanjima, na primer parametri koji definišu vrstu tenderskog postupka i postojanje klizne skale na projektu.

3.2. PILOT STUDIJA

Poslednji korak u okviru kreiranja Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara bila je pilot studija. Cilj pilot studije bio je da se predložena lista troškovno uticajnih parametara „prečisti“ eliminisanjem irelevantnih parametara i dodavanjem novih parametara koje su eksperti smatrali značajnim za procenu troškova izgradnje auto-puteva, a koji su izostavljeni iz predložene liste, i tako formira konačna verzija liste. Pilot studija je podrazumevala individualne intervju sa tri eksperta koji imaju više od 20 godina akademskog i stručnog iskustva u upravljanju projektima u građevinarstvu.

Jedna od najznačajnijih sugestija eksperata je bila da, uzimajući u obzir značaj ekoloških pitanja, lista troškovno uticajnih parametara treba da uključi promenljive koje se odnose na postojanje i nivo primene mera zaštite životne sredine na projektu. Stoga je dodatna, ekološka, kategorija parametara uključena u ažuriranu listu. U literaturi je, takođe, sugerisana potreba da se prilikom procene troškova izgradnje auto-puteva uzmu u obzir ekološka pitanja [25]. Takođe, kao rezultat pilot studije, uvedena je i promenljiva koja izražava postojanje ekstremnih objekata u sklopu trase auto-puta. Ove informacije su sa razumnom pouzdanošću dostupne u početnim fazama razvoja projekta, a eksperti su ih smatrali ključnim za procenu troškova budućeg projekta.

Krajnji rezultat pilot studije bila je finalna verzija Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara koja sadrži 34 troškovna parametra grupisanih u sedam kategorija (Tabela 2):

- Trasa auto-puta,
- Mostovi,
- Tuneli,
- Ugovorni parametri,
- Ekonomski parametri,
- Društveni parametri,
- Ekološki parametri.

Tab. 2 Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara

| Kategorija | Oznaka | Parametar |
|-----------------|--------|--|
| Trasa auto-puta | HA.1 | Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice |
| | HA.2 | Postojanje velikih značajnih objekata |
| | HA.3 | Broj denivelisanih raskrsnica (petlji) |
| | HA.4 | Dužina mostova na petljama |
| | HA.5 | Računska brzina |
| | HA.6 | Učešće otvorene trase u dužini deonice |
| | HA.7 | Učešće mostova u dužini deonice |
| | HA.8 | Učešće tunela u dužini deonice |
| Mostovi | B.1 | Najveća dužina mosta na deonici |
| | B.2 | Velika visina stubova ekstremnih mostova |
| | B.3 | Velika dužina raspona ekstremnih mostova |
| Tuneli | T.1 | Broj tunelskih cevi |
| | T.2 | Najveća dužina tunela na deonici |
| | T.3 | Metoda iskopa tunela |
| Ugovorni | C.1 | Planirano trajanje radova |
| | C.2 | Tip ugovora |
| | C.3 | Vrsta tenderskog postupka |
| | C.4 | Postojanje klizne skale |
| | C.5 | Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima |
| | C.6 | Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju |
| Ekonomski | EC.1 | Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena) |
| | EC.2 | Promena cena dizel goriva |
| | EC.3 | Prosečna bruto zarada u građevinarstvu |
| | EC.4 | Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu |
| | EC.5 | Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi |
| | EC.6 | Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini |
| | EC.7 | Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda |
| Društveni | S.1 | Nivo korupcije |
| | S.2 | Indeks efektivnosti Vlade (brzina Vlade u rešavanju problema) |
| | S.3 | Politička stabilnost |
| | S.4 | Stopa nezaposlenosti |
| Ekološki | EN.1 | Mere zaštite od saobraćajne buke |
| | EN.2 | Mere zaštite površinskih i podzemnih voda |
| | EN.3 | Mere zaštite flore i faune |

4. FORMIRANJE ANKETNOG UPITNIKA

Anketno istraživanje jeste efikasan pristup za prikupljanje informacija o mišljenjima, stavovima, percepcijama i karakteristikama uzorka populacije [26]. U ovom istraživanju, svrha ankete je bila da se prikupe informacije o percepcijama investitora o nivou uticaja troškovno uticajnih parametara na troškove izgradnje auto-puteva i nivou napora (vremena i novca) koji je potrebno uložiti kako bi se utvrdile vrednosti troškovno uticajnih parametara za određeni projekat. Ciljana populacija u ovom istraživanju bili su eksperti sa teritorija Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije i Crne Gore koji su (bili) uključeni u projekte izgradnje auto-puteva na strani investitora.

Upitnik je organizovan u tri dela. Cilj prvog dela je bio da se utvrdi profil ispitanika. Drugi i treći deo sadrže prethodno definisanu Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara i njihov cilj jeste da utvrde percipirani nivo uticaja parametara na troškove izgradnje auto-puteva i percipirani nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost troškovno uticajnog parametra odredila za konkretni projekat.

Pitanja u okviru drugog i trećeg dela upitnika su kreirana korišćenjem petostepene Likertove skale, pri čemu je od ispitanika zatraženo da izaberu najprikladniji odgovor (Slika 2). Kako bi se smanjila pristrasnost ispitanika, prema preporukama iz literature [27] „Ne znam“ je uključeno kao opcija odgovora.

| | | | | |
|--|-------------|----------------|---------------|---------------------|
| Molim Vas, za svaki parametar ocenite njegov uticaj na troškove izgradnje auto-puteva na skali od 1 do 5. | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Nema uticaja ili veoma mali uticaj | Mali uticaj | Srednji uticaj | Veliki uticaj | Veoma veliki uticaj |
| Molim Vas, na skali od 1 do 5 ocenite nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost troškovno uticajnog parametra odredila za konkretni projekat. | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Minimalni napor | Mali napor | Srednji napor | Veliki napor | Veoma veliki napor |

Slika. 2 Likertova skala primenjena u drugom i trećem delu upitnika [28]

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. PROFIL ISPITANIKA

Anketno istraživanje je sprovedeno u novembru 2022. godine. Ukupno 75 primeraka anketnog upitnika je distribuirano u štampanom obliku ili online putem elektronske pošte na adrese eksperata. Svi ispitanici su bili upoznati sa ciljevima i namenom ankete, kao i uputstvima za popunjavanje upitnika.

Od 75 distribuiranih upitnika, upitnik je kompletno popunilo 45 ispitanika, što je rezultiralo stopom odgovora od 60%. Kratak rezime profila ispitanika dat je u Tabeli 3.

Tab. 3 Rezime profila ispitanika

| Podatak | Stručno iskustvo (godine) | | | Ukupno |
|------------------------|---------------------------|-------|-------|--------|
| | <10 | 10-20 | >20 | |
| Ukupan broj | 8 | 16 | 21 | 45 |
| % po stručnom iskustvu | 17,78 | 35,56 | 46,67 | |

Uprkos relativno malom uzorku, kvalitet odgovora se može smatrati prilično pouzdanim uzimajući u obzir činjenicu da su ispitanici blisko povezani sa predmetom proučavanja i da imaju višegodišnje iskustvo. Većina ispitanika (82,23%) ima dugogodišnje profesionalno iskustvo (više od 10 godina), pri čemu njih 46,67% ima više od 20 godina iskustva u struci.

5.2. ANALIZA POUZDANOSTI UPITNIKA

Pouzdanost upitnika je ocenjena korišćenjem Kronbahovog koeficijenta α , koji predstavlja jedan od najčešće korišćenih testova pouzdanosti za upitnike koji sadrže pitanja dizajnirana sa Likertovom skalom. Kronbahov koeficijent α predstavlja meru unutrašnje konzistentnosti i računa se prema sledećoj formuli [29]:

$$C\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_b^2}{\sigma_t^2} \right] \quad (1)$$

gde je:

$C\alpha$ - Kronbahov koeficijent α ;

K – broj obeležja;

σ_b^2 – varijansa obeležja;

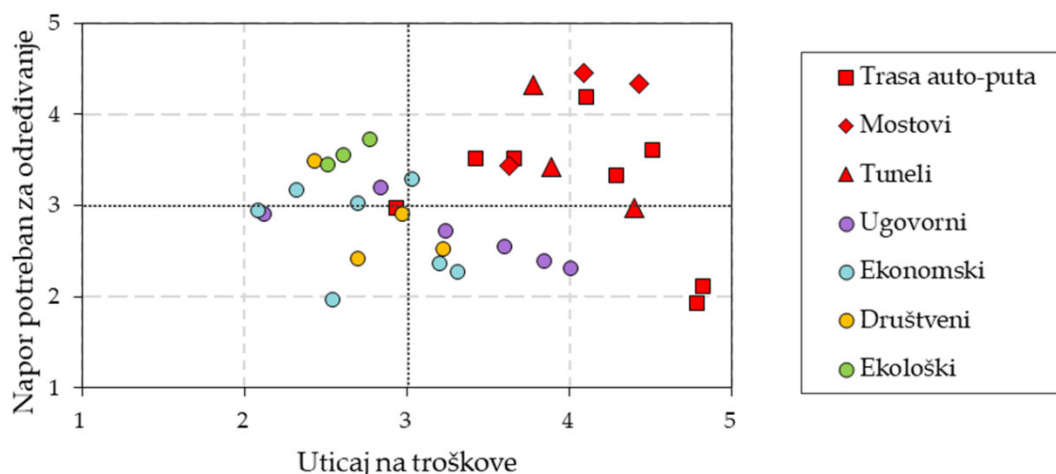
σ_t^2 – ukupna varijansa zbirnih ocena u upitniku.

Ako je vrednost Kronbahovog koeficijenta α jednaka ili veća od 0,7, smatra se da je indikator verodostojan [30]. U ovom istraživanju, ukupan Kronbahov koeficijent α iznosio je 0,957, dok su vrednosti za drugi i za treći deo upitnika iznosile 0,936 i 0,960 respektivno. S obzirom na to da su vrednosti Kronbahovog koeficijenta α veće od 0,7, anketno istraživanje se može smatrati doslednim i pouzdanim.

5.3. ANALIZA PERCEPCIJA ISPITANIKA

Prosečne percepcije ispitanika iz analiziranih odgovora upitnika su prikazane na Slici 3. Tačke podataka predstavljaju troškovno uticajne parametre iz Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara, gde x -osa odgovara prosečnom percipiranom nivou uticaja na troškove izgradnje auto-puteva, a y -osa odgovara prosečnom percipiranom nivou napora potrebnom za utvrđivanje vrednosti parametara.

Kategorije troškovno uticajnih parametara su prikazane različitim bojama tačaka podataka. S obzirom na to da su Trasa-auto puta, Mostovi i Tuneli kategorije troškovno uticajnih parametara koje su vezane za proces projektovanja, njima je dodeljena ista boja (crvena), ali su prikazane različitim oblicima tačaka. Ovakav način prikazivanja podataka pruža bolje vizuelno prepoznavanje rezultata.



Slika. 3 Percepcije ispitanika

Grafikon prikazan na Slici 3 pokazuje da troškovno uticajni parametri koji se odnose na proces projektovanja i projektna rešenja (tj. kategorije Trasa auto-puta, Mostovi i Tuneli) najvećim delom pripadaju gornjem desnom kvadrantu (veliki napor – veliki uticaj), dok druge kategorije troškovnih parametara nisu deo ovog kvadranta. Ovo se može tumačiti kao logičan rezultat imajući u vidu da priprema projekta zahteva utrošak značajne sume novca i da predstavlja dugotrajan proces (zahteva veliki napor), dok projektna rešenja imaju značajan uticaj na troškove izgradnje auto-puteva.

Može se primetiti da parametri koji zauzimaju donji desni kvadrant, koji je i najpoželjniji (mali napor – veliki uticaj), uključuju samo tri parametra vezana za projektovanje. Ovi parametri opisuju tip terena, postojanje velikih značajnih objekata u sklopu trase auto-puta i broj tunelskih cevi. Ove promenljive eksperti mogu relativno lako utvrditi u ranim fazama razvoja projekta sa razumnom pouzdanošću. Preostali troškovno uticajni parametri iz ovog kvadranta pripadaju kategorijama Ugovorni, Ekonomski i Društveni i to je očekivano zbog činjenice da su javno dostupni (zahtevaju mali napor) i da mogu biti u velikoj korelaciji sa troškovima izgradnje [2, 16].

Može se uočiti da svi troškovno uticajni parametri koji pripadaju kategoriji Ekološki zauzimaju gornji levi kvadrant (veliki napor – mali uticaj). Ovo ukazuje na zabrinutost investitora u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine, a samim tim i na veliki percipirani napor.

Sa Slike 3 se, takođe, uočava da su ispitanici ugovornim troškovno uticajnim parametrima pripisali veliki uticaj na troškove izgradnje auto-puteva. Investitori su vrstu tenderskog postupka i postojanje klizne skale na projektu ocenili kao veoma značajne parametre za procenu troškova izgradnje auto-puteva.

Konačno, može se primetiti da svi troškovno uticajni parametri imaju prosečan percipirani uticaj veći od 2 (nizak uticaj) što ukazuje na to da su parametri u okviru Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara ispravno identifikovani jer nijedan parametar nije okarakterisan kao parametar „bez uticaja ili sa veoma malim uticajem“.

6. ZAKLJUČAK

Jedan od najvećih izazova vezanih za procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta jeste potreban nivo napora (vremena i novca) koji je neophodno uložiti kako bi se utvrdile informacije o budućim projektima. Za razliku od prethodnih istraživanja koja su prilikom razmatranja troškovno uticajnih parametara na kojima se bazira procena troškova analizirala samo nivo uticaja parametara na troškove izgradnje auto-puteva, u ovom istraživanju su identifikovane i analizirane percepcije investitora i o nivou napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednosti parametara odredile za konkretan projekat.

Anketni upitnik, koji je sadržao 34 troškovna parametra svrstana u 7 kategorija, je korišćen za identifikaciju percepcija investitora o troškovno uticajnim parametrima. Dobijeni rezultati ankete ukazuju da su investitori parametre vezane za proces projektovanja percipirali kao parametre sa velikim uticajem na troškove koji zahtevaju veliki nivo napora (vremena i novca) za njihovo određivanje. Takođe, uočena je i zabrinutost investitora u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine, a samim tim i veliki percipirani napor investitora u vezi parametara iz kategorije Ekološki.

Buduća istraživanja odnosiće se na identifikaciju percepcija izvođača o troškovno uticajnim parametrima, ali i na razvoj modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva koji će se zasnivati na identifikovanim percepcijama.

LITERATURA

- [1] Cirilovic J., Vajdic N., Mladenovic G., M. Asce, Queiroz C. (2013) Developing Cost Estimation Models for Road Rehabilitation and Reconstruction: Case Study of Projects in Europe and Central Asia. *J. Constr. Eng. Manag.*, no. 2013.
- [2] Mahdavian A., Shojaei A., Salem M., Yuan J. S., Oloufa A. A. (2021) Data-Driven Predictive Modeling of Highway Construction Cost Items. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 147, no. 3, p. 04020180.
- [3] Gardner B.J., Gransberg D.D., Jeong H.D. (2016) Reducing Data-Collection Efforts for Conceptual Cost Estimating at a Highway Agency. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 142, no. 11.
- [4] Elmousalami H. H. (2020) Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 146, no. 1, p. 03119008.
- [5] Tayefeh Hashemi S., Ebadati O. M., Kaur H. (2020) Cost estimation and prediction in construction projects: a systematic review on machine learning techniques. *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 10, pp. 1–27.
- [6] Kim S. (2013) Hybrid forecasting system based on case-based reasoning and analytic hierarchy process for cost estimation. *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 19, no. 1, pp. 86–96.
- [7] Adel K., Elyamany A., Belal A. M., Kotb A. S. (2016) Developing Parametric Model for Conceptual Cost Estimate of Highway Developing Parametric Model for Conceptual Cost Estimate of Highway Projects. *Int. J. Eng. Sci. Comp.*, 6, 1728-1734.
- [8] Mahalakshmi G., Rajasekaran C. (2018) Early Cost Estimation of Highway Projects in India Using Artificial Neural Network. *Lect. Notes Civ. Eng.*, 25, 659-672.
- [9] Elbeltagi E., Hosny O., Abdel-Razek R., El-Fitory A. (2014) Conceptual Cost Estimate of Libyan Highway Projects Using Artificial Neural Network. *J. Eng. Res. Appl.* vol. 4, no. 8, pp. 56–66.
- [10] Meharie M. G., Gariy Z. C. A., Ngumbau R., Mutuku N., Mengesha W. J. (2019) An Effective Approach to Input Variable Selection for Preliminary Cost Estimation of Construction Projects. *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2019, pp. 5–9.
- [11] Al-Zwainy F. M. S. (2018) A state-of-the-art survey to estimate construction costs in highway and bridge projects: analytical diagnostic study. *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 795–821, 2018.
- [12] Karaca I. (2020) Improving the Accuracy of Early Cost Estimates on Transportation Infrastructure Projects. *Adv. Civ. Eng.*, vol. 36, no. 5, pp. 1–11.
- [13] Zhang Y., Minchin R. E., Agdas D. (2017) Forecasting Completed Cost of Highway Construction Projects Using LASSO Regularized Regression. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 143, no. 10, p. 04017071.
- [14] Tijić K., Car-Pušić D., Šperac M. (2020) Cost estimation in road construction using artificial neural network. *Neural Comput. Appl.*, vol. 0123456789, pp. 9343–9355.
- [15] Gardner B.J., Gransberg D.D., M. Asce, Rueda J.A. (2017) Stochastic Conceptual Cost Estimating of Highway Projects to Communicate Uncertainty Using Bootstrap Sampling. *J. Constr. Eng. Manag.*, pp. 1–9.
- [16] Al-zwainy F.M.S., Aidan I.A. (2017) Forecasting the Cost of Structure of Infrastructure Projects Utilizing Artificial Neural Network Model (Highway Projects as Case Study). *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 10, no. May.
- [17] Kim D.Y., Kim B., Han S.H. (2008) Two-staged early cost estimation for highway construction projects. *ISARC 2008 - Proc. from 25th Int. Symp. Autom. Robot. Constr.*, Vilnius, Lithuania, 26-29 June 2008
- [18] Wilmot C.G., Cheng G. (2003) Estimating Future Highway Construction Costs. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 129, no. 3, pp. 272–279.
- [19] Sodikov J. (2009) Road Cost Models for Prefeasibility Studies. *J. Infrastruct. Syst.*, no. December, pp. 278–289.

- [20] El-Sawalhi N. I. (2015) Support Vector Machine Cost Estimation Model for Road Projects. *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 9, no. 9.
- [21] Kovacevic M., Ivanišević N., Petronijević P., Despotović V. (2021) Construction cost estimation of reinforced and prestressed concrete bridges using machine learning. *Gradjevinar*, vol. 73, no. 1, pp. 1–13.
- [22] Kovačević M. *et al.* (2023) Decision-Support System for Estimating Resource Consumption in Bridge Construction Based on Machine Learning. *Axioms*, 12, 19.
- [23] Petroutsatou K., Georgopoulos E., Lambropoulos S., Pantouvakis J.P. (2012) Early Cost Estimating of Road Tunnel Construction Using Neural Networks. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 138, no. 6, pp. 679–687.
- [24] Rostami J., Sepehrmanesh M., Gharahbagh E. A., Mojtabai N. (2013) Planning level tunnel cost estimation based on statistical analysis of historical data. *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 33, pp. 22–33.
- [25] Luo W., Sandanayake M., Zhang G., Tan Y. (2021) Construction cost and carbon emission assessment of a highway construction - a case towards sustainable transportation. *Sustainability*, vol. 13, no. 14.
- [26] Creswell J.W. (2009) *Research Design - Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 3rd ed. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc.
- [27] Larsen J. K., Shen G.Q., Lindhard S.M., Brunoe T.D. (2016) Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun, and Quality Level in Public Construction Projects. *J. Manag. Eng.*, vol. 32, no. 1.
- [28] Simić N., Ivanišević N., Nedeljković Đ., Senić A., Stojadinović Z., Ivanović M. (2023) Early Highway Construction Cost Estimation: Selection of Key Cost Drivers. *Sustainability*, 15, 5584.
- [29] Alshihri S., Al-gahtani K., Almohsen A. (2022) Risk Factors That Lead to Time and Cost Overruns of Building Projects in Saudi Arabia. *Buildings*, vol. 12, no. 7.
- [30] Cronbach L.J., Shavelson R.J. (2004) My Current Thoughts on Coefficient Alpha and Successor Procedures. *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 64, no. 3, pp. 391–418.

PROBNO OPTEREĆENJE MOSTOVA – DA LI JE POTREBNO?

Goran V. Milutinović¹, Rade Hajdin²

Rezime:

Svaki novi putni most raspona preko 25m i železnički most raspona preko 15m u Srbiji pre dobijanja upotrebne dozvole, mora da bude ispitan probnim opterećenjem u skladu sa Pravilnikom za građevinske konstrukcije. Pomenuti standard koji je u upotrebi (i svi njemu prethodni) se u velikoj meri oslanja na švajcarske propise koji su se u toj zemlji primenjivali do 1980. godine. Međutim, u Švajcarskoj se od 1980. godine ne rade probna ispitivanja novih mostova, ukoliko nije bilo problema tokom izgradnje, dok se posvećuje veća pažnja kontinualnom osmatranju, tzv. monitoringu specifičnih mostovskih konstrukcija. Ovaj rad ima za cilj da povede debatu da li je isti pristup primenjiv i u Srbiji, imajući u vidu da bi bila velika korist od monitoringa postojećih mostova velikih raspona u relativnom lošem stanju, s obzirom da u svetu učestalo dolazi do kolapsa postojećih mostovskih konstrukcija velikih raspona, a što bi moglo da bude sprečeno odgovarajućim monitoringom problematičnih konstrukcija.

Ključne reči: probno ispitivanje mostova, monitoring mostova, kolaps mostova

LOAD TESTING OF NEW BRIDGE – IS IT NEEDED?

Summary:

Every new road bridge with span more than 25m and railway bridge with span more than 15m in Serbia has to be load tested before opening to public, in accordance with the standard Pravilnik za građevinske konstrukcije. This standard (and all preceding ones) are largely based on the Swiss standards used in that country until 1980. However, since 1980 in Switzerland load test for new bridges are not performed, if there were no problems experienced during construction. Instead, attention is given to structural health monitoring, i.e. continuous monitoring of nontypical existing bridges. This paper has intent to initiate a discussion if the same principle applicable also in Serbia, having in mind the large benefit of continuous bridge monitoring, given that existing bridges frequently collapse around the world, which could have been prevented by appropriate monitoring of these structures.

Key words: bridge load test, structural health monitoring, bridge collapse

¹ Student doktorskih studija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, i projektant mostova u firmi DB Inženjering, Beograd, Srbija gormilutin@gmail.com

² Red. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, i direktor firme Infrastructure Management Consultants (IMC) GmbH, Švajcarska, rade.hajdin@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Svaki novi putni most raspona preko 25m i železnički most raspona preko 15m u Srbiji pre dobijanja upotrebne dozvole, mora da bude ispitan probnim opterećenjem u skladu sa Pravilnikom za građevinske konstrukcije [1]. Pomenuti standard koji je u upotrebi (i svi njemu prethodni) se u velikoj meri oslanja na švajcarske propise koji su se u toj zemlji primenjivali do 1980. godine.

Međutim, u Švajcarskoj se od 1980. godine ne rade probna ispitivanja novih mostova, ukoliko nije bilo problema tokom izgradnje, dok se posvećuje veća pažnja kontinualnom osmatranju, tzv. monitoringu specifičnih mostovskih konstrukcija. Ovaj rad ima za cilj da povede debatu da li je isti pristup primenjiv i u Srbiji, imajući u vidu da bi bila velika korist od monitoringa postojećih mostova velikih raspona u relativnom lošem stanju, s obzirom da u svetu periodično dođe do kolapsa postojećih mostovskih konstrukcija velikih raspona, a što bi moglo da bude prevenirano odgovarajućim monitoringom problematičnih konstrukcija. Zanimljivo je napomenuti, da ni u Nemačkoj, nije obavezno probno ispitivanje uobicajenih mostovskih konstrukcija [2].

2. PROBNO ISPITIVANJE MOSTOVA U SRBIJI

Trenutna metodologija probnog ispitivanja novih mostova u Srbiji u velikoj meri je zasnovana na principima koji su se koristili u Švajcarskoj pre 1980. godine (pa se može za potrebe ovog rada nazvati stari Švajcarski pristup). Dakle, svi novi putni mostovi raspona preko 25m i železnički most raspona preko 15m u Srbiji pre dobijanja upotrebne dozvole, moraju da budu ispitan probnim opterećenjem u skladu sa Pravilnikom za građevinske konstrukcije. Probno opterećenje se nanosi kamionima koji imaju bruto težinu vozila oko 400kN. Često (mada to nije obavezna procedura) se pozicioniraju na mostu prvo tri kamiona (jedan pored drugog, koliko može da ih stane poprečno na razmatrani most), a nakon što se ne primeti ništa neobično u ponašanju mosta, onda se probno opterećenje duplira, tj pozicioniraju se 6 kamiona u dva reda. Takvo probno opterećenje punog intenziteta treba da proizvede uticaje od minimum 50% projektnog opterećenja. Sa novim Evrokod modelom saobraćajnog opterećenja [3], opterećenje od pomenutih 6 kamiona obično neznatno pređe neophodnih 50% projektnog opterećenja.

Dva glavna aspekta ponašanja mosta koji se razmatraju pri probnom opterećenju su:

1. ugib sredine raspona, i
2. da li ima zaostalih plastičnih deformacija nakon rasterećenja mosta.

Ugib se meri uglavnom ugibomerom, osim iznad vodenih prepreka, gde se meri geodetski, nivelirom.

Pri upoređivanju izmerenog pomeranja mosta prilikom probnog opterećenja i pomeranja sračunatog u MKE modelu mosta treba imati u vidu aspekte tačnog modeliranja konstrukcije kao što su na primer (ne)ispucalost betonskog preseka i adekvatna krutost ležišta, koji se ponekad zanemaruju. Takođe, generalno se kod novih mostova od prednapregnutog betona izmere pomeranja koja su manja od sračunatih.

Sleganja stubova pri probnom opterećenju su izuzetno mala. Sleganja usled stalnog opterećenja su se u tom trenutku već desila, jer se probna opterećenja vrše mesecima nakon završetka izgradnje mosta. A (kratkotrajno) probno opterećenje iznosi okvirno 10-20% ukupnog opterećenja u trenutku ispitivanja. Sa druge strane, sleganja oslonaca usled deformacija elastomernih ležišta su moguća i uzimaju se u obzir.

Na Slici 1, prikazano je probno opterećenje mostova na Moravskom Koridoru u Srbiji [4].



Slika 1. Probno opterećenja mostova na Moravskom Koridoru [4]

Pre donošenja novog Pravilnika o građevinskim konstrukcijama 2020. godine, svi novi putni mostovi raspona preko 15m i železnički most raspona preko 10m su morali da budu ispitani. Granica je sa novim Pravilnikom, pomerena na 25m, tj. 15m, što ima praktičan značaj s obzirom da se za manje raspona pri uobičajenom nivou probnog opterećenja dobiju maltene neizmerljivo mala pomeranja.

Takođe, prema novom Pravilniku za građevinske konstrukcije, neophodno je predvideti kontinualni monitoring za sve nove mostove raspona preko 180m. Ovo je trošak koji Projektant i Investitor moraju predvideti, kako jednokratni pri nabavljanju i instaliranju sistema za monitoring, tako i njegovo redovno održavanje i obrada podataka koje sistem za monitoring kontinualno generiše.

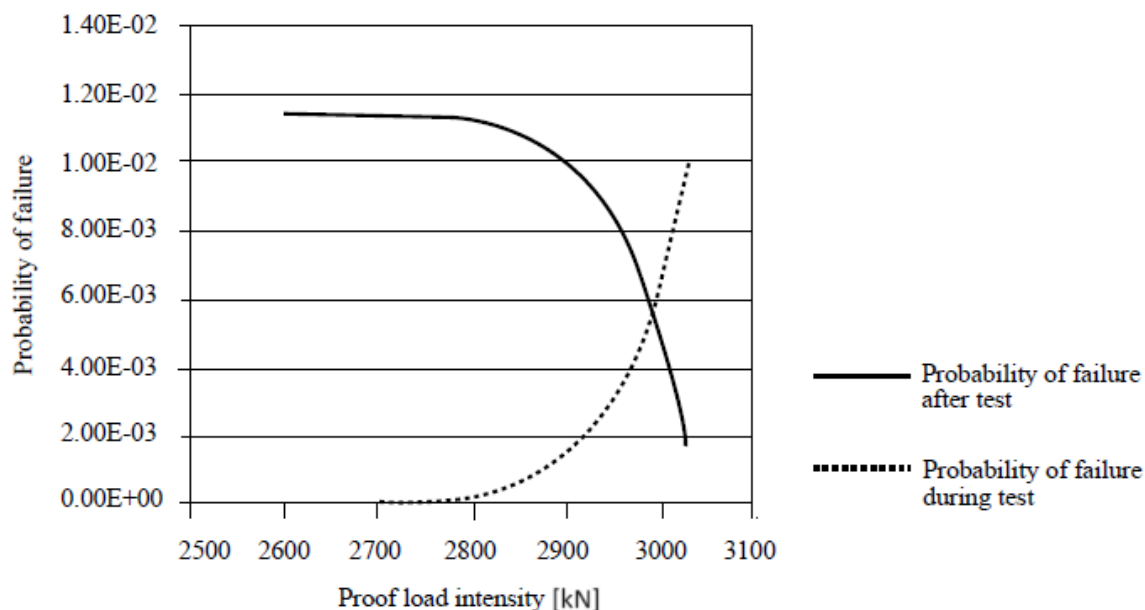
3. TRENUTNI ŠVAJCARSKI PRISTUP

Dakle, u Švajcarskoj se od 1980. godine ne vrše ispitivanja probnog opterećenja novih mostova kod kojih nije bilo problema tokom izgradnje. Treba imati u vidu da je u toj zemlji kvalitet tehničke kontrole i nadzora i u projektovanju i u izvođenju jako visok. Sa druge strane, vrši se kontinualno osmatranje, tzv. monitoring svih specifičnih postojećih mostova. Mostove koje treba osmatrati su prvenstveno oni koji imaju tzv. „fracture-critical” ili “non-redundant load path” elemente, to jest elemente čiji bi lom doveo do kolapsa cele konstrukcije, zbog nedostatka alternativnog toka sila. Ali je isto tako potrebno i osmatrati mostove sa specifičnim, neuobičajenim ili inovativnim načinom izgradnje i ugrađenim materijalima. Sa odgovarajućim monitoringom ovih konstrukcija, minimalizuje se mogućnost njihovog kolapsa.

Ukoliko se ovaj problem posmatra sa probabilističkog stanovišta, onda intenzitet probnog opterećenja treba biti toliki da je nosivost mosta nakon testa dovoljna u odnosu na traženu sigurnost i pouzdanost. Da bi se procenio potreban intenzitet probnog opterećenja, nosivost mosta, ažurirana nakon sprovedenog testa, može biti razmatrana za opseg različitog nivoa probnog opterećenja. Pretpostavljajući da će most biti izložen dejstvu probnog opterećenja (l), gustina raspodele ažurirane nosivosti R^u mosta nakon testa opterećenja može biti procenjen kao:

$$P(R^u \leq r) = \frac{P(R \leq r \cap R > l)}{P(R > l)} \quad (1)$$

Ova raspodela verovatnoće je takođe prikazana na Slici 2.



Slika 2. Verovatnoća kolapsa u funkciji veličine probnog opterećenja [5]

Na Slici 2 je takođe prikazana verovatnoća kolapsa za vreme probnog opterećenja (za jednostavan primer iz literature – štap opterećen na čisto zatezanje), što se u literaturi naziva test rizik. Vidi se da postoji bliska veza između benefita koji se dobija usled probnog opterećenja (tj. istovremenog smanjivanja verovatnoće kolapsa mosta nakon uspešnog probnog opterećenja) i rizika od kolapsa tokom samog probnog opterećenja.

Pojednostavljeno receno, ukoliko se most optereti sa malim probnim opterećenjem, neće se ništa novo zaključiti u odnosu na zahtevanu nosivost i pouzdanost mosta (pogotovo jer je taj mali procenat saobraćajnog opterećenja opet mali u odnosu na ukupno projektovano opterećenje). A ukoliko bi se nanelo relativno veliki nivo probnog opterećenja, koje bi svakako donelo novo saznanje o ponašanju i sigurnosti mosta, dolazi do rizika mogućeg oštećenja konstruktivnih elemenata.

Ovakav pristup (tj. da se ne vrše probna ispitivanja uobičajenih novih mostova, a da se vrši kontinualni monitoring kompleksnih konstrukcija) je u skladu sa svetskim trendovima i može se nazvati za potrebe ovog rada novi Švajcarski pristup. Ovaj pristup je izdržao test vremena s obzirom da se u Švajcarskoj primenjuje već više od 40 godina. Sa druge strane, mogućnost probabilističkog određivanja nosivosti postojećeg (ne novog) mosta probnim opterećenjem je obrađena u literaturi [5]. Proračun neophodan da bi se dobila ažurirana nosivost postojećeg mosta može biti urađen pomoću analize pouzdanosti sistema. Međutim, može se pojednostavljeno uraditi i FORM/SORM analiza vrlo efikasno razmatrajući sledeću funkciju graničnog stanja:

$$M = r - R^u \quad (2)$$

gde je R^u ažurirana nosivost dobijena pomoću izraza:

$$R^u = F_R^{-1}(\Phi(U)(1 - F_R(l))) \quad (3)$$

gde je U pomoćna standardizovana normalna raspodeđena promenljiva, i F_r je originalna raspodela nosivosti.

4. DISKUSIJA

Periodično u svetu, ali i kod nas, dođe do kolapsa postojećih mostova velikih raspona usled zamora materijala, korozije i drugih razloga, kao što su Morandi most u Đenovi u Italiji 2018. godine (Slika 3), most u Minesoti, SAD 2007. godine ili viseći pešački most u Ovčar Banji 2022. godine. Obično su to mostovi koji imaju tzv. „fracture-critical” ili

“non-redundant load path” elemente, to jest elemente čiji lom dovodi do kolapsa cele konstrukcije, zbog nedostatka alternativnog toka sila.



Slika 3. Srušeni Morandi most u Italiji, 60 godina nakon izgradnje

Adekvatnim kontinualnim osmatranjem (ili redovnim temeljnim pregledima) ovakvih konstrukcija moguće je izbeći kolaps konstrukcije, tj. pravovremeno uraditi sanaciju mosta. Monitoring ovakvih mostova je relativno skup, ali finansijska sredstva neophodna za njihovu realizaciju moguće je obezbediti ukidanjem probnog ispitivanja za uobičajene mostove tokom čije izgradnje nije bilo problema.

Može se zaključiti da praksa u Srbiji i ide u smeru ka tzv. novom Švajcarskom pristupu, sa nedavno uvedenim obaveznim monitoringom za sve nove mostove preko 180m i povećanjem granice kada je potrebno uraditi probno opterećenje za nove mostove sa 15m i 10m, na 25m i 15m za putne i železničke mostove. Međutim, mišljenje autora je da je potrebno napraviti novi dalji korak od tzv. starog ka tzv. novom Švajcarskom pristupu, na dva načina:

1. daljim povećanjem graničnog raspona kada je potrebno uraditi probno opterećenje novih mostova, na primer na 35m za putne mostove i na 20m za železničke;
2. smanjivanjem graničnog raspona kada je neophodan kontinualni monitoring mostova tokom eksploatacije, na primer za sve mostove veće od 100m raspona, ali i za sve mostove koje imaju tzv „fracture-critical” ili “non-redundant load path” elemente, to jest elemente čiji bi lom doveo do kolapsa cele konstrukcije, zbog nedostatka alternativnog toka sila.

Ukoliko bi se ove dve mere ispunile, finansijska sredstva obezbeđena za proveru sigurnosti i pouzdanosti mostova bi bila istog reda veličine kao i do sad, samo bi bila adekvatnije raspoređena, tj. u skladu sa analizom rizika kolapsa konstrukcija.

Jedino kada ima smisla raditi probno opterećenje novih konstrukcija je kada se rezultati probnog ispitivanja „ubace“ nazad u MKE model mosta, tj radi se tzv. „structural identification“, da bi se dobio MKE model velike pouzdanosti, što je potrebno na primer kod osetljivih konstrukcija, kakve su mostovi sa kablovima, i kod konstrukcija sa niskim nivoom duktilnosti (što svakako nisu uobičajene mostovske konstrukcije). Ovo je izuzetno korisno za razumevanje ponašanja kompleksnih konstrukcija, iako ovako dobijamo sliku o elastičnom ponašanju mosta, pod saobraćajnim teretom, a ono što je od primarnog interesa je i plastično ponašanje, tj ponašanje pri graničnim (ULS) stanjima.

Oblast kontinualnog osmatranja mosta, tzv „structural health monitoring“, je izuzetno široka, sa primenom naprednih tehnologija, kao sto su na primer između ostalih:

- DFOS (distributed fiber optic sensors) – ovi senzori se koriste dosta dugo (već 20 godina) i pokazali se dugotrajnim i otpornim; na primer, DFOS može da se ubaci duž kabla za prednaprezanje, i da blagovremeno detektuje koroziju čelika;
- Light emitting radar, koji može automatski da generiše geometriju mosta, pri pregledu mosta;
- Digital image correlation, koji može automatski da otkrije oštećenje mosta.

5. ZAKLJUČAK

Moguće je napraviti bolju raspodela ograničenih finansijskih resursa za izgradnju i održavanje infrastrukture, ukoliko bi se radio monitoring specifičnih postojećih mostova, a ukinulo probno opterećenje uobičajenih mostova nakon izgradnje.

Ovakav pristup je u skladu sa svetskim trendovima i zapravo predstavlja tzv. novi Švajcarski pristup, koji je izdržao test vremena s obzirom da se primenjuje u toj zemlji već više od 40 godina. Potrebna finansijska sredstva bi bila istog reda veličine kao i do sad, samo adekvatnije rasporedjena.

LITERATURA

- [1] “Pravilnik za građevinske konstrukcije,” 2020.
- [2] A. Bojovic, *Celicni mostovi*. Akademska Misao, 2021.
- [3] “SRPS EN 1991-2; Eurocode 1: Part 2: Traffic load on bridges.”
- [4] “https://www.youtube.com/watch?v=XHHP_IJ5_9w (accessed online 12.6.2023).”
- [5] M. H. Faber, *Risk and safety in engineering*. ETH Switzerland Lecture Notes.

PRIMENA SEDIMENTA U PUTARSTVU

Miloš Šešlija¹, Nebojša Radović², Marjan Matić³

Rezime:

Ovaj rad obuhvata dosadašnja istraživanja sedimenta za slojeve u putarstvu u svetu i kod nas. Mulj ili blato je sitnozrni sediment, zasićen vodom, na dnu vodenih basena – reka, mora, jezera ili okena. Predstavlja početni stadijum u formiranju mnogih sedimentnih stena. Sedimenti se mogu okarakterisati kao kombinacija rastresitih čestice koje se sastoje od gline, mulja i peska koji su procesi erozije i vremenskih uticaja zemljišta, stena i organskih materija i ljudskih aktivnosti. Za izgradnju puteva potrebni su materijali sa visokim mehaničkim karakteristikama. Zbog toga je potrebna upotreba veziva. Fizička i geotehnička karakterizacija sedimenata pruža osnovne informacije o prirodi sedimenata i kako će se ponašati kada se koriste. Reciklaža iskopanih materijala za potrebe izgradnje puteva zahteva proveru određenih geotehničkih kriterijuma koji su navedeni u lokalnim građevinskim pravilima.

Ključne reči: sedimenti, putevi, mehaničke karakteristike

USING SEDIMENTS IN CIVIL ENGINEERING

Summary:

This paper includes previous sediment investigations for layers in road transport in the world and our country. Silt or mud is fine-grained sediment, saturated with water, at the bottom of water basins - rivers, seas, lakes or oceans. It represents the initial stage in the formation of many sedimentary rocks. Sediments can be characterized as a combination of loose particles consisting of clay, silt, and sand, which are erosion and weathering processes of soil, rock, organic matter, and human activities. Road construction requires materials with high mechanical characteristics. Therefore, the use of binders is required. Physical and geotechnical characterization of sediments provides basic information about the nature of sediments and how they will behave when used. Recycling excavated materials for road construction requires verification of certain geotechnical criteria specified in local building codes.

Key words: sediments, roads, mechanical characteristics

¹ Doc., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija, sele@uns.ac.rs

² Prof., Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija, radovicn@uns.ac.rs

³ MHM projekt, Srbija, marjangmatic@gmail.com

1. UVOD

Procesom uklanjanja sedimenata sa dna brana nastaju velike količine iskopanih sedimenata koji se smatra otpadom. Osnovni sediment bio je mulj visoke plastičnosti (CH) zasnovan na Jedinstvenom sistemu klasifikacije tla (USCS). Eksperimenti u ovoj studiji sastojali su se od neograničene kompresije (UC), Kalifornijski indeks nosivosti (CBR) i elastičnog modula (M_r) ispitivano na stabilizovanom iskopanom sedimentu. Iskopani sedimenti tretirani portland cementom i letećim pepelom mogu se ponovo koristiti kao kolovozni materijal na osnovu standarda iz departmana odeljenje za autoputeve Tajlanda, kao i preporuke [1]. Stoga se za odgovarajuće sedimente može razmotriti ponovna upotreba u izgradnji puteva i kolovoza uz odgovarajući tretman i kondicioniranje. Sedimenti se mogu okarakterisati kao kombinacija rastresitih čestice koje se sastoje od gline, mulja i peska koji su procesi erozije i vremenskih uticaja zemljišta, stena i organskih materija i ljudskih aktivnosti [2]. Taloženje sedimenata u mnogim izvorima vode stvara probleme u transportu i otpremi zbog plićaka reka; skoro milijardu kubnih metara sedimenata se iskopa godišnje kako bi se održali plovni rečni kanali i dovoljno duboke luke u Tajlandu. Ovi iskopani sedimenti, koji se smatraju otpadni materijal, bacaju se u more ili na kopno. Velika količina nanosa se nakupila iza hidroelektrana. Sedimenti su iskopani radi održavanja kapaciteta akumulacije vode u rezervoaru. Međutim, velika količina uklonjenih iskopanih sedimenata je glavni problem jer je teško identifikovati odgovarajuća mesta za skladištenje i metode odlaganja.

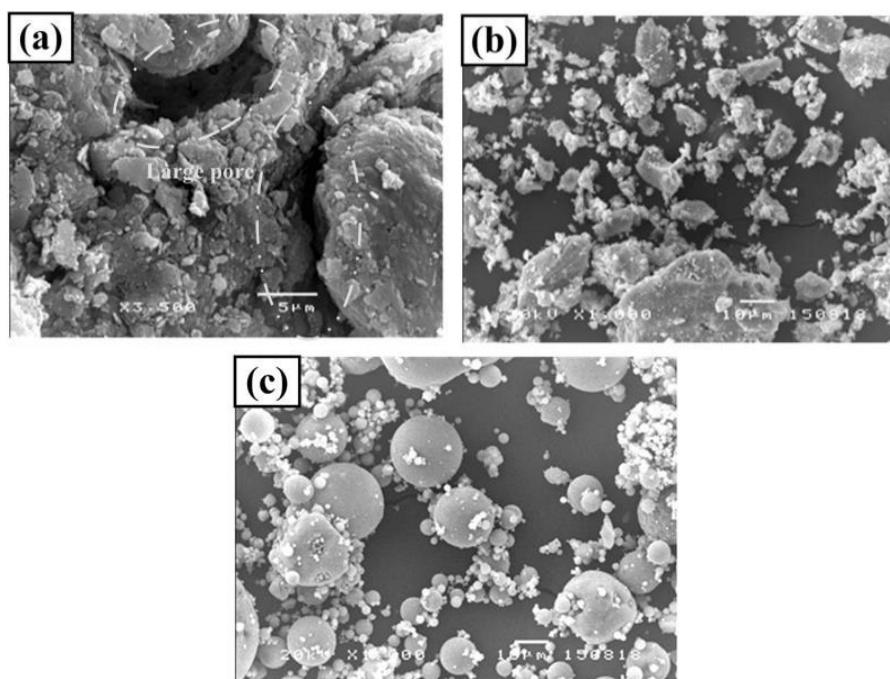
Da bi se rešili takvi problemi, razmatra se i veoma se podstiče ponovna upotreba iskopanih sedimenata kao kolovozni materijal, kao što su podloga, odabrani materijali za podlogu i osnovni slojevi. Međutim, većina iskopanih sedimenata je klasifikovana kao sitnozrni materijali poput muljeva i gline sa velikom prazninom odnosa i kompresibilnosti, slabe čvrstoće i niske nosivosti. Shodno tome, iskopani sedimenti koji nisu podvrgnuti stabilizaciji ne mogu se ponovo koristiti kao kolovozni materijal. Hemijska stabilizacija običnim Portlandom cementom je jedna od najtradicionalnijih tehnika za poboljšanje svojstava problematičnog tla u raznim primenama, što rezultira visokom neograničenom čvrstoćom na pritisak (q_u), velike nosivosti i niske kompresibilnosti. Obični portlandski cement takođe se može mešati sa otpadnim materijalom iz procesa sagorevanja uglja u elektranama, kao što je leteći pepeo, radi smanjenja troškova (zamenom običnog portland cementa) i ekoloških problema (jer visok nivo CO_2 se oslobađa tokom proizvodnje cementa) povezan sa upotrebom samo običnog portland cementa. Klasa C letećeg cementa pokazalo se efikasnim za stabilizaciju tla u građevinarskim radovima. Leteći pepeo je u stanju da poveća performanse procesa stabilizacije tla povećavanjem reaktivne površine za hidrataciju i pucolanske reakcije. Kao deo upotrebe u inženjerstvu puteva, iskopani sedimenti se smatraju „alternativnim materijalima“. Ovaj pojam definiše bilo koji materijal napravljen od otpada i namenjen samoj upotrebi ili mešanju sa drugim alternativnim ili ne-alternativnim mineralima.

U ovom radu je dat kratak prikaz literaturnih podataka rezultata, kao i prednosti i mane sedimenata za upotrebu kao putnog građevinskog materijala.

2. MATERIJALI I METODE

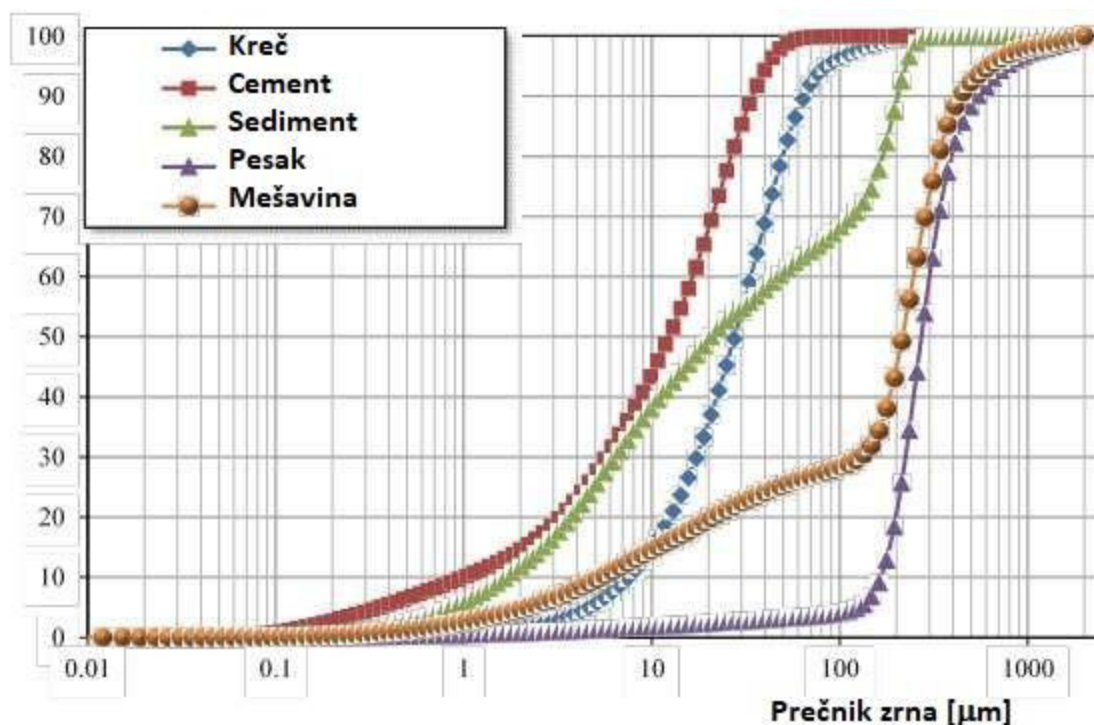
Fizička i geotehnička karakterizacija sedimenata pruža osnovne informacije o prirodi sedimenata i kako će se ponašati kada se koriste. Pored količine materijala za iskop, druge analize uključuju određivanje suve materije i sadržaja vode, raspodelu veličine zrna (% peska, mulja, gline), apsolutnu gustinu i sadržaj organskog materijala. Ove analize treba dopuniti drugim geotehničkim analitičkim karakteristikama kao što su

metilen plava vrednost i Aterbergove granice. Specifična težina iskopanih nanosa je 2,55, a prirodni sadržaj vlage u iskopanim sedimentima, koji je definisan kao odnos težine vode prema težini suvog nanosa i predstavljen kao procenat, iznosi 55%. Izvučeni sediment je klasifikovan kao neorganski mulj visoke plastičnosti (MH) prema Jedinstvenom sistemu klasifikacije tla. Maksimalna težina suve jedinice i optimalan sadržaj vlage dobijeni su modifikovanim testom zbijanja Proktor prema ASTM D1557 (2015) i utvrđeno je da su 16,6 kN m³, odnosno 18,5%. SEM slike na slici 1(a) pokazuju da iskopani sediment sadrži neravnomernu raspodelu frakcija mulja i gline sa velikim porama. Portland cement čestice imaju hrapave površine i oštre uglove i nejednakog su oblika, dok je većina čestica letećeg pepela sferična, kao što je prikazano na slici 1(b) i 1(c).



Slika. 1 SEM slike (a) iskopanog sedimenta, (b) običnog portland cementa, (c) letećeg pepela [3]

Optimizacija raspodele veličine čestica je posebno važan korak u konstituisanju zrnastog kostura putnog materijala. Kriva veličine zrna može se okarakterisati izračunavanjem jednolikosti (Cu) i zakrivljenosti. Korisna upotreba iskopanih sedimenta u koeficijentima "SEDIMATERIAUX" APPROACH 36. Koeficijent Cu nam govori da li je raspodela veličine zrna uska ($Cu < 2$) ili široka ($Cu > 2$). Iz dodatnog koeficijenta Cc (pored Cu) možemo utvrditi da li je veličina čestica dobro ($1 < Cc < 3$) ili slabo graduirana ($Cc < 1$ ili $Cc > 3$). Ovi koeficijenti se mogu izračunati pomoću karakterističnih vrednosti otvaranja sita koje omogućavaju prolazak x% težine zrna (D10, D30, D60) (Achour, 2013). Slika 2 predstavlja primere krivih raspodele veličine čestica za potencijalne sastojke putnog materijala (30% sitnog nanosa, 70% iskopani pesak, 6% hidrauličnog veziva i 1% kreča). Sa odgovarajućim koeficijentima Cc i Cu od 1,8 i 6, raspodela veličine čestica smeše ispunjava kriterijume uniformnosti i zakrivljenosti.



Slika. 2 Raspedela veličine čestica putnog materijala [4]

Hidraulično vezivo je važan sastojak u obradi materijala za upotrebu u inženjerstvu puteva. Njegova sposobnost aglomeracije agregata daje materijalu trajnu koheziju čija važnost zavisi od prirode tretiranog materijala, vrste veziva, uvedene količine, kompaktnosti postignute tokom primene, temperature medija i starosti smeše. Tehnika obrade sedimenta hidrauličnog veziva posebno je pogodna za razvoj materijala na putu. Kreč se obično koristi u tretmanima stabilizacije, ali se može koristiti i kao dodatak hidrauličkim vezivima. U tretmanu finih sedimenata, kreč smanjuje sadržaj vode u tretiranim proizvodima, ali takođe proizvodi krečni hidroksid za aktiviranje pucolana koji su eventualno dodati ili mogu biti prisutni u obradi materijala.

3. FIZIČKO-MEHANIČKA ISPITIVANJA SEDIMENTA

Upotreba sedimenata u slojevima puta mora ispunjavati minimalne zahteve za podršku. Da bi se to postiglo, vrši se mehanička karakterizacija sirovih sedimenata prema Tehničkom vodiču SETRA-LCPC (2000). Ovaj korak je presudan za sprovođenje studije formulacije putnog materijala.

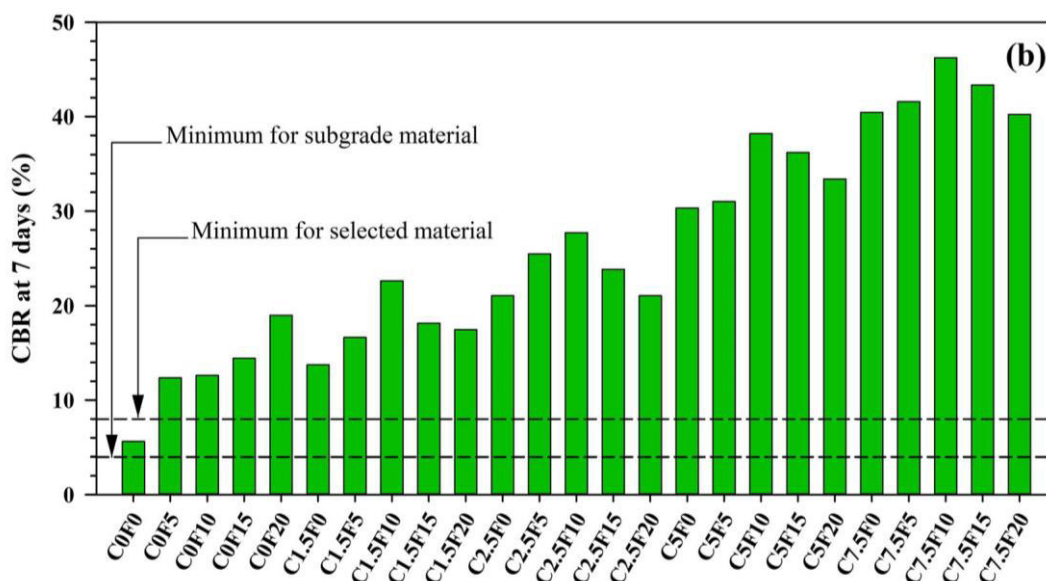
3.1. PROKTOROV OPIT

Konačna nasipna gustina zbijenog tla zavisi od prirode tla, sadržaja vlage i energije sabijanja. Zbijanje omogućava zatezanje teksture tla, smanjenje njegovih deformacija, poboljšanje njegove nosivosti i otpornosti. Za dato zemljište i za određeni način sabijanja postoji jedan sadržaj vode koji odgovara maksimalnoj gustini. Optimalna vlažnost je definisana standardnim Proktorovim opitom, odnosno standardom SRPS EN 13286-2:2012. Prilikom izrade uzoraka korišćena je energija zbijanja od 600 kN/m^3 i uzorci su pripremljeni u tri sloja sa upotrebom standardnog kalupa prečnika $\varnothing 102 \text{ mm}$ i visine $\varnothing 116 \text{ mm}$.

3.2. CBR OPIT

Kalifornijski indeks nosivosti (CBR- broj) je broj koji fizički predstavlja otpor utiskivanja standardnog klipa u odnosu na standardne vrednosti. Pri projektovanju

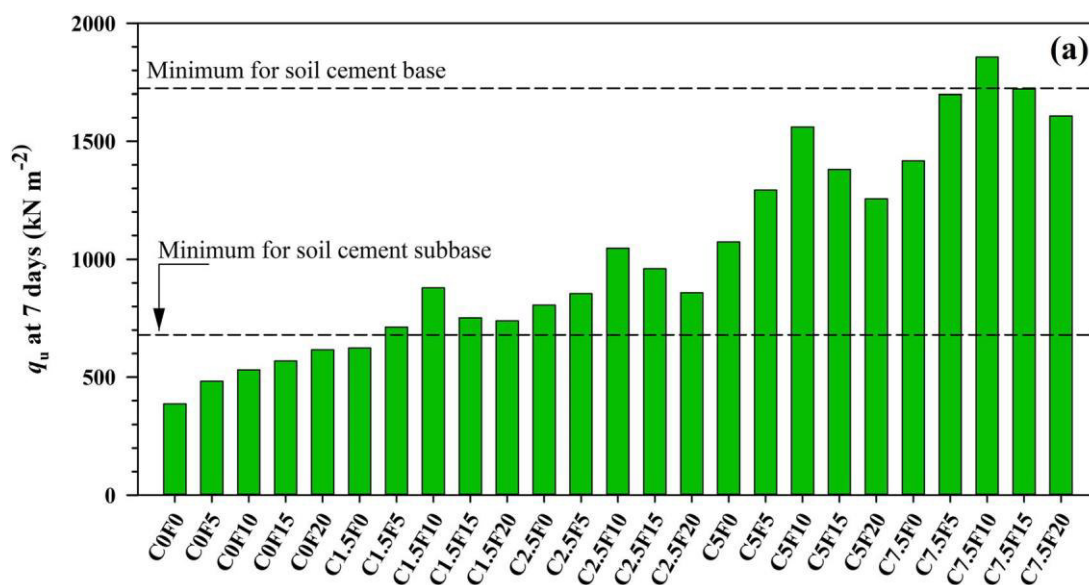
kolovoznih konstrukcija u putarstvu predstavlja jedan od osnovnih parametra kvaliteta materijala. Opit se radi primenom standarda SRPS EN 13286-47:2012.



Slika. 3 CBR opit nakon 7 dana [3]

3.3. JEDNOAKSIJALNA PRITISNA ČVRSTOĆA

Za opšte sagledavanje karakteristike stabilizovanog materijala kao građevinskog materijala i izračunavanje stabilnosti i nosivosti koristi se parametri dobijeni određivanjem čvrstoće pri jednoaksijalnom pritisku, kao i slobodnom bočnom širenju. Za ovaj opit su izrađena tela prečnika $\varnothing 100$ mm i visine $\varnothing 200$ mm, čime je ispunjen uslov odnosa visine i prečnika da iznosi 2:1. Standard koji je korišćen za ispitivanje je SRPS EN 13286-41:2012. Tela su pripremljena u standardnom kalupu za Proktorovo opitu i sabijano je u pet slojeva. Sva pripremljena tela se neguju i čuvaju u vlažnoj komori, a ispitivanja se rade nakon 7 i 28 dana.



Slika. 4 Jednoaksijalna pritiska čvrstoća nakon 7 dana [3]

4. ZAKLJUČAK

Pregledom literature može se konstatovati da se sedimenti mogu upotrebljavati za primenu u putevima, ali da se treba raditi sa dodatko veziva, kako bi se dobili što bolja fizičko-mehanička svojstva. Koju vrstu veziva upotrebiti i u kojoj količin zavisi od njegovog prvobitnog hemijskog sastava i sadržaja organskih materija.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je sprovedeno uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, #7753609, BEuSED.

LITERATURA

- [1] Austorads (2017). Guide to pavement technology part 2: Pavement structural design.
- [2] Dubois V., Zentar R., Abriak N.E., Gregorie P. (2011) Fine sediments as a granular source for civil engineering. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Volume 15, pp. 137-166. <https://doi.org/10.1080/19648189.2011.9693315>
- [3] Yoobanpot N., Jamsawang P., Simarat P., Jongpradist P., Likitlersuang, S. (2020). Sustainable reuse of dredged sediments as pavement materials by cement and fly ash stabilization. *Journal of Soils and Sediments*, Volume 20(10), pp. 3807–3823. doi:10.1007/s11368-020-02635-x
- [4] Methodological guide (2015). Beneficial use of dredged sediments in road engineering

KIMENATIČKO OPTEREĆENJE ŠIPOVA U SLUČAJU POJAVE LIKVEFAKCIJE U TEMELJNOM TLU TOKOM ZEMLJOTRESA

Borko Miladinović¹, Slobodan Živaljević², Zvonko Tomanović³

Rezime:

Tokom zemljotresa temelji na šipovima su izloženi istovremenom dejstvu dvije međusobno zavisne komponente bočnog seizmičkog opterećenja. To su inercijalna i kinematička komponenta. Kinematičko seizmičko opterećenje je posledica relativnog pomjeranja između okolnog tla i šipova tokom zemljotresa. Iskustva prethodnih zemljotresa su pokazala da u slučaju pojave likvefakcije u temeljnom tlu, ovo opterećenje može biti veoma intezivno i može dovesti do prekoračenja nosivosti šipova na savijanje. Dovoljno je da likvefikovani sloj tla bude pod malim nagibom, da se tokom zemljotresa ovaj sloj permanentno bočno pomjera (teče) i potiskuje šipove. Sprovedena je State-of-the-art analiza sa ciljem da se definišu metode analize koje su za sada inženjerima na raspolaganju kada je ovaj slučaj seizmičke interakcije tlo-šipovi-konstrukcija u pitanju. Preporučena je metoda koja je najprikladnija za praktičnu primjenu. Na jednostavnom primjeru demonstrirana je njena primjena.

Ključne reči: Zemljotres, likvefakcija, šipovi, kinematičko opterećenje

KINEMATIC LOAD OF PILES IN THE CASE OF LIQUEFACTION OCCURRENCE IN FOUNDATION SOIL DURING EARTHQUAKE

Summary:

During an earthquake, pile foundations are subjected to the simultaneous action of two mutually dependent components of lateral seismic load. These components are the inertial and kinematic components. The kinematic seismic load is a result of the relative displacement between the surrounding soil and the piles during an earthquake. Previous earthquake experiences have shown that in the case of liquefaction occurring in the foundation soil, this load can be very intense and can lead to exceeding the bending capacity of the piles. It is sufficient for the liquefied soil layer to be little inclined, and during the earthquake, this layer laterally moves (spreads) and pushes the piles. A state-of-the-art analysis has been conducted in order to define analysis methods that are currently available to engineers in this case of seismic soil-piles-structures interaction. The method which is most suitable for practical application has been suggested. Its application has been demonstrated on a simple example.

Key words: Earthquake, liquefaction, piles, kinematic load

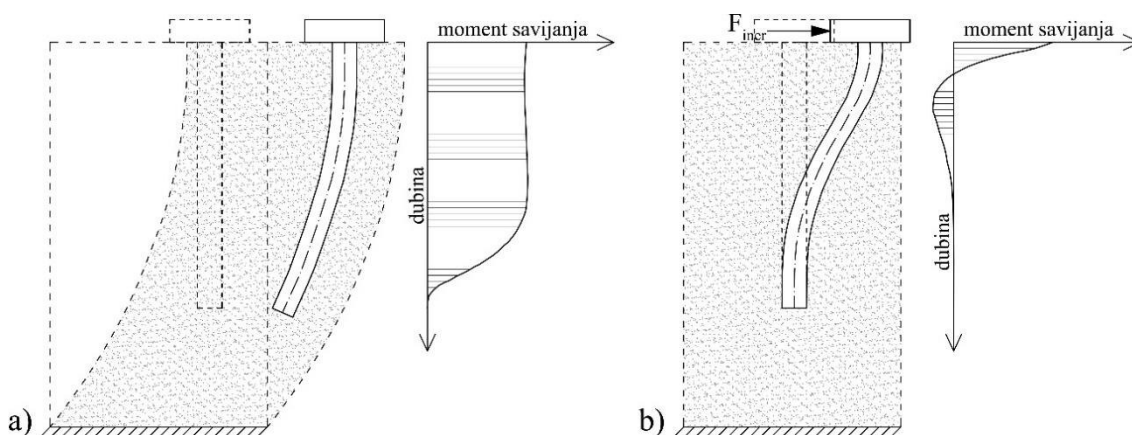
¹Stru. saradnik, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, borkom@ucg.ac.me

²Van. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, slobodanz@ucg.ac.me

³Redovni prof., Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, zvonko@t-com.me

1. UVOD

U stručnoj i naučnoj literaturi koja se bavi problemima interakcija tla i konstrukcije fundirane na šipovima tokom zemljotresa tj. problemima interakcije tlo-šipovi-konstrukcija tokom zemljotresa (u daljem tekstu seizmička SPS interakcija), kao i u seizmičkom standardu EC8-5 [1], bočne seizmičke sile koje djeluju na šipove dijele se na dvije komponente. To su kinematička i inercijalna komponenta. Kinematička komponenta odnosno kinematičke sile nastaju kao posljedica pomjeranja temeljnog tla tokom zemljotresa (slika 1a). Šipovi su prinuđeni da u većoj ili manjoj mjeri "prate" ovo pomjeranje, što zavisi prije svega od njihove relativne krutosti. Kada se kaže relativne, misli se u odnosu na temeljno tlo. Praktično je neizbježno da dođe do relativnog pomjeranja između temeljnog tla i šipova. Upravo su kinematičke seizmičke sile proporcionalne ovom relativnom pomjeranju. Pomjeranje odnosno oscilovanje šipova izazvano oscilovanjem temeljnog tla tokom zemljotresa se prenosi na gornju konstrukciju. Oscilovanje gornje konstrukcije izaziva pojavu dinamičkih inercijalnih sila koje na nju djeluju. Međutim, te se sile preko naglavnice prenose i na šipove, pa su šipovi izloženi "novim" inercijalnim uticajima odnosno inercijalnim silama od gornje konstrukcije (slika 1b).



Slika 1 Karakterističan oblik deformacione linije i dijagrama momenata savijanja šipa uklještenog u naglavnicu usljed dejstva a) kinematičkih seizmičkih sila b) inercijalnih seizmičkih sila [2]

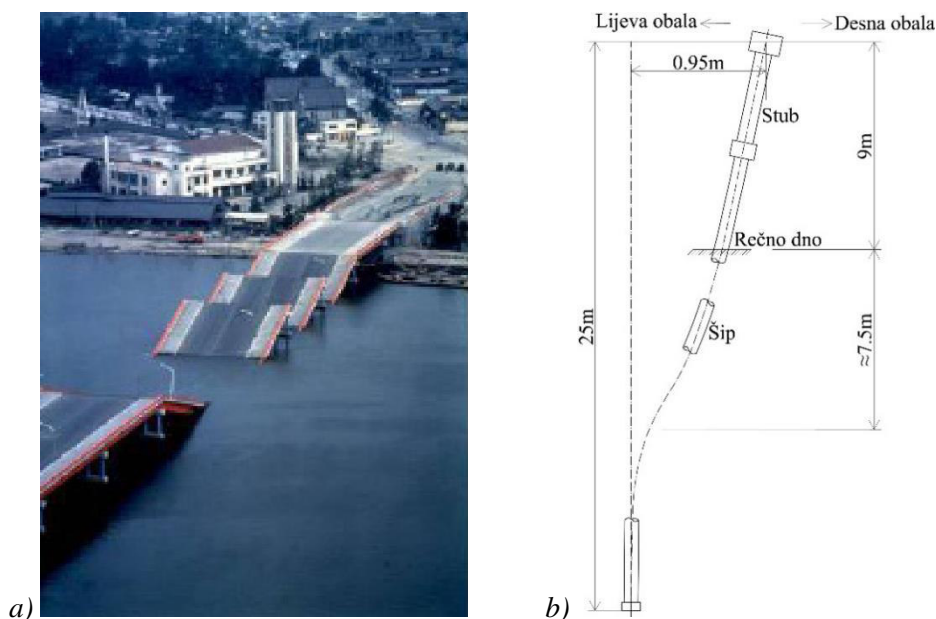
Nažalost, što se tiče kinematičkog i inercijalnog seizmičkog opterećenja šipova, stvari nisu ni malo jednostavne. Jedno opterećenje je direktna posljedica pomjeranja temeljnog tla a drugo opterećenje je direktna posljedica pomjeranja gornje konstrukcije pri dejstvu zemljotresa. Međutim, ova dva pomjeranja se dešavaju istovremeno i nisu međusobno nezavisna. Pomjeranje temeljnog tla oko i ispod šipova je posljedica seizmičke pobude i uslovljeno je velikim brojem faktora, među kojima su i krutost, broj, razmak i raspored šipova kao i pomjeranje šipova izazvano inercijalnim opterećenjem od gornje konstrukcije. Ovo inercijalno opterećenje nastaje zapravo kao posljedica oscilovanja temeljnog tla koje se preko šipova prenijelo na gornju konstrukciju. Sasvim je jasno da je određivanje stvarnih uticaja (presiječnih sila) u šipovima pri dejstvu zemljotresa praktično nemoguće bez analize seizmičke SPS interakcije.

Kinematičko seizmičko opterećenje šipova može biti veoma izraženo i intezivno u situacijama kada tokom zemljotresa dođe do pojave likvefakcije u temeljnom tlu tj. ako se neki od slojeva temeljnog tla kroz koji "prolaze" šipovi u toku zemljotresa likvefikuje. Ako je taj sloj tla pod nagibom, nakon likvefikovanja on se permanentno bočno pomjera odnosno "teče" (eng. lateral spreading, liquefaction-induced flow) i snažno bočno potiskuje šipove. Haigh et al. [3] su dokazali da je za bočno tečenje likvefikovanog sloja

tla dovoljan nagib tog sloja od svega 2°. Posebo nepovoljna geološka situacija je kada se iznad likvefikovanog sloja tla koji teče nalazi sloj tla koji nije likvefikovan.

1.1. ISKUSTVA PRETHODNIH ZEMLJOTRESA

Iskustva nekih prethodnih zemljotresa u svijetu upućuju na ozbiljnost posljedica pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa po temelje na šipovima odnosno po konstrukcije fundirane na šipovima. Najbolja potvrda toga je kolaps most Šova (eng. Showa Bridge) tokom zemljotresa u Nigati (eng. Niigata) 1964. godine (slika 2a). Tokom ovog zemljotresa došlo je do pojave likvefakcije u temeljnom tlu i permanentnog bočnog pomjeranja likvefikovanog sloja tla. Upravo je ovo pomjeranje bilo inicijator snažnog bočnog pritiska kojim je likvefikovani sloj tla djelovao na šipove srednjih stubova mosta [4-10]. Usljed ovog pritiska bočna pomjeranja srednjih stubova su bila tolika da je došlo do njihovog rušenja ili su bila tolika da ih rasponska konstrukcija jednostavno nije mogla "izdržati". Na primjer, bočno pomjeranje jednog od srednjih stubova je iznosilo oko 1.0m [4], a amplituda bočnog pomjeranja likvefikovanog sloja tla na mjestu ovog stuba je iznosila oko 2.0m [4, 5]. Takođe, kao posebno interesantnu činjenicu treba istaći da je prema riječima očevidaca do rušenja mosta došlo minut-dva nakon glavnog (najjačeg) udara zemljotresa [5, 6]. Ovo je izuzetno važna činjenica sa aspekta načina superponiranja inercijalne i kinematičke komponente seizmičkog opterećenja šipova.



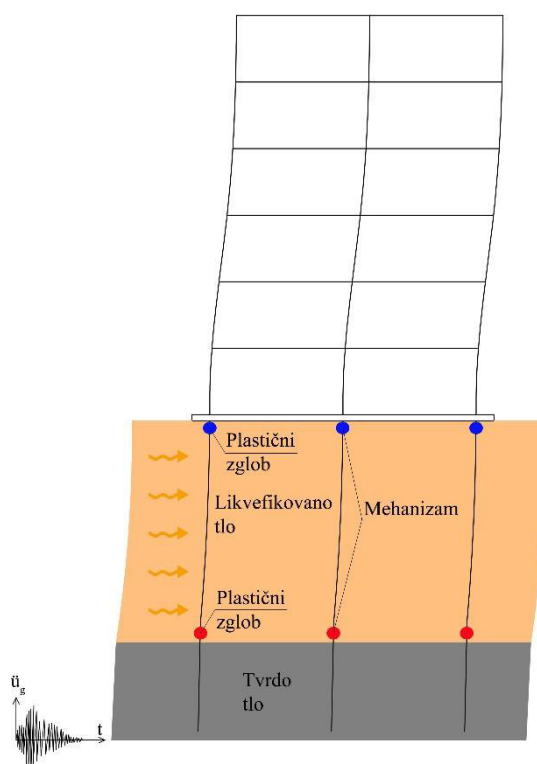
Slika 2 Kolaps mosta Šova tokom zemljotresa u Nigati 1964. godine a) izgled mosta nakon zemljotresa b) deformisani izgled jednog srednjeg stuba mosta nakon zemljotresa [3]

Osim mosta Šova, kao dramatična iskustva prethodnih zemljotresa kada je u pitanju seizmička SPS interakcija u situacijama sa pojavom likvefakcije u temeljnom tlu, mogu se spomenuti još: kolaps šipovima na kojima je bila fundirana NFCH (eng. Niigata Family Court House) višespratnica tokom zemljotresa u Nigati 1964. godine [9], kolaps mosta Milion dolara (eng. Million Dollar Bridge) tokom zemljotresa na Aljasci 1964. godine [7-10], kolaps više rezervoara za ulje i naftu kao i nadvožnjaka Nišinomia (eng. Nishinomiya) tokom zemljotresa u Koeu 1995. godine [8, 10].

1.2. MEHANIZMI LOMA ŠIPOVA

Na osnovu iskustva prethodnih zemljotresa, Gopal Madabhushi et al. [9] su definisali tri osnovna mehanizma loma šipova u slučaju pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa. Prvi, ujedno i najčešći mehanizam loma, predstavlja lom šipova usljed

prekoračenja njihove nosivosti na savijanje odnosno usljed formiranja nepovoljnog mehanizma (slika 3). O kakvom mehanizmu je riječ? Naime, iako seizmički standardi savjetuju (propisuju) suprotno, u praksi se ipak veoma teško može izbjeći pojava plastičnog zgloba na gornjem kraju šipa tj. na mjestu njegovog uklještenja u naglavnicu usljed dejstva prevashodno inercijalnog seizmičkog opterećenja. Uprkos sili pritiska u šipu, u praksi za ovu proračunsku situaciju najčešće nije teško obezbijediti potreban kapacitet rotacije tj. potreban nivo duktilnosti poprečnog presjeka šipa na njegovom gornjem kraju [11]. Međutim, ako usljed dejstva seizmičkog opterećenja negdje duž šipa dođe do formiranja još jednog plastičnog zgloba, dobija se mehanizam koji "traži" takav kapacitet rotacije poprečnog presjeka šipa koji je skoro nemoguće obezbijediti. Samim tim, dolazi do kolapsa šipa. Upravo bočni pritisak tla nastao usljed bočnog "tečenja" likvefikovanog sloja tla može biti inicijator pojave drugog plastičnog zgloba na šipu najčešće u zoni granice između likvefikovanog sloja i donjeg nelikvefikovanog sloja tla. Dakle, može inicirati formiranje nepovoljnog mehanizma.



Slika 3 Kolaps šipova usljed prekoračenja njihove nosivosti na savijanje koja je izazvana pojavom likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa

Drugi, znatno ređi mehanizam loma, podrazumijeva lom šipa usljed njegovog bočnog izvijanja i povećanja inteziteta uticaja drugog reda ($p-\Delta$ efekti). Do izvijanja aksijalno pritisnutog šipa dolazi iz razloga što šip tokom zemljotresa po dubini likvefikovanog sloja postaje bočno nepridržan (bez bočnog oslanjanja). Gopal Madabhushi et al. [9] tvrde da šipovi sa efektivnom vitkošću manjom od orijentaciono 50 nisu osjetljivi na bočno izvijanje. Efektivna vitkost predstavlja količnik efektivne dužine izvijanja šipa i minimalnog poluprečnika inercije poprečnog presjeka šipa. Efektivna dužina izvijanja šipa zavisi od debljine likvefikovanog sloja tla, njegovog visinskog položaja u temeljnom tlu i tipa veze šipa i naglavnice.

Treći, ujedno i najređi mehanizam loma, karakterističan je za kombinovane šipove koji prolaze kroz površinski sloj tla koji je sklon likvefakciji i svojom bazom su oslonjeni u donji tvrdi sloj zbijenog pijeska. Likvefikovanje površinskog sloja tla tokom zemljotresa znači potpuni gubitak nosivosti šipa trenjem po omotaču po dubini ovog sloja. Kako bi i dalje bio ispunjen uslov ravnoteže vertikalnih sila koje djeluju na šip, povećava se

reaktivni vertikalni napon u tlu ispod šipa. Coelho et al. [12] su dokazali da se porni nadpritisci u određenoj mjeri generišu i u donjem sloju zbijenog pijeksa tj. porni nadpritisci se iz gornjeg likvefikovanog sloja u određenoj mjeri "prenose" u donji nelikvefikovani sloj. Povećanja reaktivnog napona i pornih pritiska u tlu ispod baze šipa može prouzrokovati lom tla, te prekomjerno slijeganje šipa. Slijeganje šipa se odvija sve dok se ne uspostavi ravnoteža između vertikalnog opterećenja šipa sa jedne i mobilisane nosivosti baze i omotača šipa sa druge strane.

1.3. FAZE SEIZMIČKE SPS INTERAKCIJE ZA SLUČAJ POJAVE LIKVEFAKCIJE U TEMELJNOM TLU TOKOM ZEMLJOTRESA

U analizi seizmičke SPS interakcije za slučaj pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa, jedan važan faktor se mora uzeti u obzir. To je vrijeme. Da bi se generisao porni pritisak koji je približno jednak vertikalnom totalnom naponu tj. kako bi efektivni napon postao približno jednak nuli, neophodno je određeno trajanje seizmičke pobude. Dakle, može se govoriti o trenutku pojave likvefakcije u temeljnom tlu u toku trajanja zemljotresa. Veoma je teško precizno odrediti ovaj trenutak jer zavisi kako od karakteristika tla tako i od karakteristika seizmičke pobude. Iskustva prethodnih zemljotresa ukazuju na činjenicu da ovaj trenutak nastupa sa zakašnjenjem u odnosu na trenutak odnosno vrijeme glavnog udara zemljotresa [5, 6]. To je od izuzetnog značaja sa aspekta superponiranja uticaja u šipovima generisanih usljed dejstva inercijalnog i kinematičkog seizmičkog opterećenja.

Shodno prethodno navedenom, seizmička SPS interakcija za slučaj pojave likvefakcije u temeljnom tokom zemljotresa sa dijeli na dvije faze. Riječ je o fazi prije pojave likvefakcije (faza cikličnog pomjeranja tla – ciklična faza) i fazi nakon pojave likvefakcije (faza bočnog "tečenja" tla). U cikličnoj fazi dominantno je bočno inercijalno opterećenje šipova u odnosu na bočno kinematičko opterećenje koje nastaje usljed cikličnog pomjeranja tla oko šipova. U fazi bočnog "tečenja" tla, dominantno je kinematičko opterećenje izazvano pojavom likvefakcije u temeljnom tlu, dok je inercijalno opterećenje znatno slabije izraženo. Naravno, u obje faze interakcije šipovi su izloženi vertikalnom opterećenju od težine konstrukcije i vertikalne komponente seizmičke pobude.

2. METODE ANALIZE SEIZMIČKE SPS INTERAKCIJE - FAZA NAKON POJAVE LIKVEFAKCIJE U TLU

Seizmička SPS interakcija u fazi nakon pojave likvefakcije u temeljnom tlu izuzetno je komplikovana, pa simim tim i veoma zahtjevna za analizu. Nepoznanice su brojne, počev od generalno postupka analize ove interakcije, inteziteta inercijalnog opterećenja od gornje konstrukcije, amplitude bočnog pomjeranja likvefikovanog sloja tla, krutosti onih slojeva temeljnog tla koji nisu likvefikovani, te naponsko-deformacijskog stanja šipova nakon prethodno spomenute prve faze seizmičke SPS interakcije. Na sva ova pitanja seizmički standard EC8-5 [1] ne daje odgovor. Identična situacija je i sa američkim seizmičkim standardima (ASCE standardi). Koliko je autorima ovog rada poznato, detaljnija uputstva za analizu seizmičke SPS interakcije u slučaju temeljnog tla koje je sklono likvefakciji mogu se jedino pronaći u zakonskoj regulativi koja reguliše izgradnju drumskih i željezničkih mostova na Novom Zelandu i mostova na autoputevima u Japanu. O ovim standardima biće riječi nešto kasnije.

Metode analize seizmičke SPS interakcije u slučaju pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa svrstane su u dvije grupe, i to:

- Pojednostavljene pseudo-statičke metode,
- Dinamičke metode.

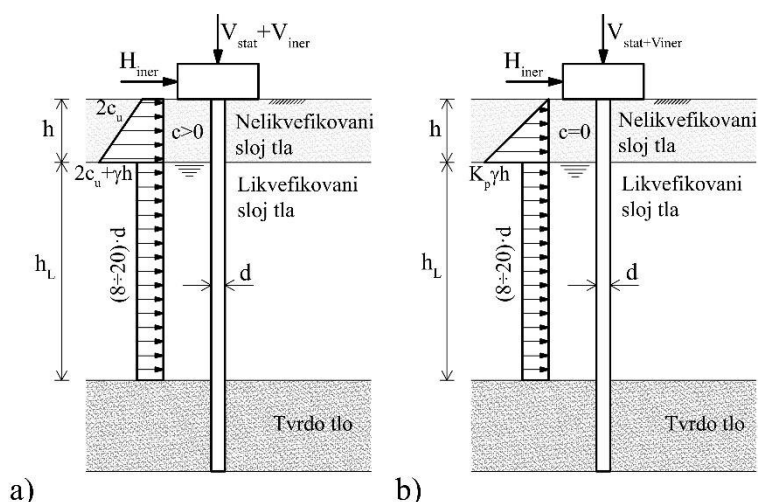
2.1. POJEDNOSTAVLJENE PSEUDO-STATIČKE METODE

Generalno, sve pojednostavljene pseudo-statičke metode zasnovane su na istom principu. Za šipove se koristi model grede na fleksibilnoj podlozi (Winklerov model), uz primjenu diskretnih opruga čije je mehaničko ponašanje definisano odgovarajućim " p - y " ili " p - δ " krivim [13-18]. Kod nekih "naprednijih" metoda umjesto diskretnih opruga koriste se Kelvin-Vojtovi (eng. Kelvin-Voigt) elementi [19-23]. Inercijalno opterećenje od gornje konstrukcije sa aplicira u vidu koncentrisane horizontalne sile na vrhu šipa. Inicijalna krutost sloja tla koji je sklon likvefakciji se ili potpuno zanemaruje ili drastično redukuje. Bočno kinematičko seizmičko opterećenje izazvano pojavom likvefakcije u temeljnom se aplicira u vidu raspodjeljenih horizontalnih sila ili horizontalnog pomjeranja po dužina šipa.

2.1.1. Metoda konstantnog bočnog pritiska

Dešavanja tokom razornog zemljotresa u Kobeu 1995. godine podstakla su mnoge istraživače širom svijeta da se posvete proučavanju seizmičkog odgovora temelja na šipovima u slučajevima sa pojavom likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa. U tu svrhu, širom svijeta sproveden je veći broj manje-više sličnih modelskih eksperimenata u centrifugi ili na vibracionoj platformi [24-33].

Gopal Madabhushi et al. [9] analizirajući rezultate dotadašnjih eksperimenata ovog tipa dolaze do zaključka da su u ovim eksperimentima dobijani pritisci likvefikovanog sloja tla na šipove u intervalu od 8kPa do 20kPa, što prije svega zavisi od krutosti šipova. Na osnovu tog zaključka, Gopal Madabhushi et al. [9] predlažu da se u praksi koristi bočni pritisak likvefikovanog sloja tla na šip konstantan po dužini šipa (dubini likvefikovanog sloja tla) u iznosu od 20kPa (slika 4). Ako se iznad likvefikovanog sloja tla nalazi sloj koji nije likvefikovan, sprovedeni eksperimenti su ukazali na činjenicu da se pritisak gornjeg nelikvefikovanog sloja tla na šipove razlikuje u slučaju koherentnog i nekoherentnog tla. Kod koherentnog tla ovaj pritisak zavisi od nedrenirane smičuće čvrstoće (nedrenirane kohezije) c_u i ima linearnu promjenu po dubini gornjeg sloja tla (slika 4a). Kod nekoherentnog tla je ovaj pritisak odgovara pasivnom pritisku (slika 4b).



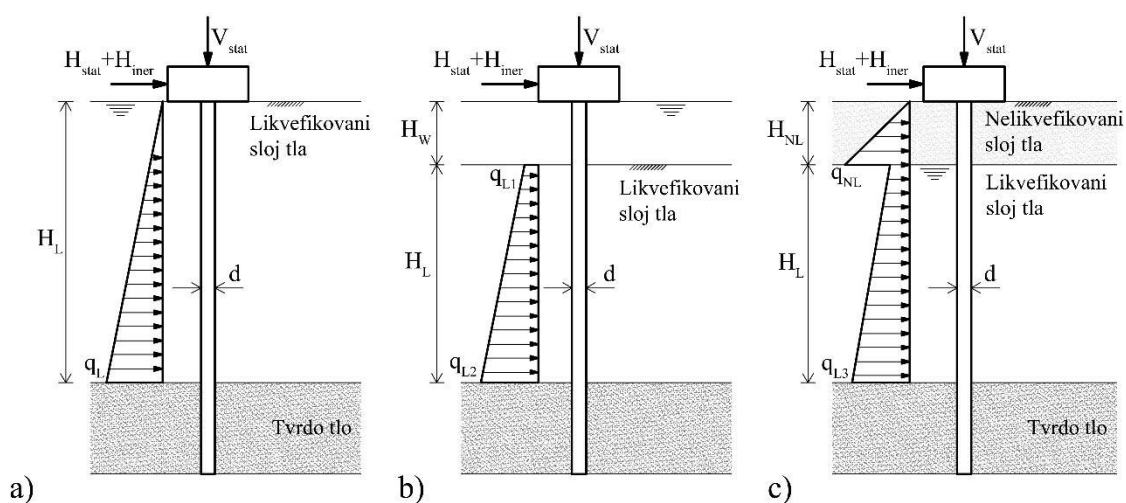
Slika 4 Pritisci tla na šip od donjeg likvefikovanog i gornjeg nelikvefikovanog
a) koherentnog sloja tla b) nekoherentnog sloja tla [9]

2.1.2. JRA metoda

Ova pseudo-statička metoda razvijena je od strane japanske asocijacije za puteve (eng. Japan Road Association) i primjenjuje se pri projektovanju stubova mostova na autoputevima. Mostovi na autoputevima u Japanu su obično velike i masivne

konstrukcije, a njihovi stubovi su najčešće fundirani na grupi šipova velikog prečnika. Šipovi su veoma kruti, pa su kao takvi uglavnom otporni na pomjeranja okolnog tla pri dejstvu zemljotresa. Na ovoj činjenici zapravo je zasnovana JRA metoda. Važno je napomenuti da je ova pseudo-statička metoda implementirana u zakonsku regulativu kojom Agencija za transport Novog Zelanda reguliše proces projektovanja mostova drumske i željezničke infrastrukture. Konkretno, riječ je o dokumentu ove agancije sa oznakom NZ Transport Agency research report No. 553 [34].

Shodno JRA metodi, bočni pritisak likvefikovanog sloja tla na šip na dubini z proporcionalan je inicijalnom vertikalnom totalnom naponu u tlu na dubini z . Samim tim, promjena ovog pritiska po dubini likvefikovanog sloja tla tj. po dužini šipa je linearna (slika 5). Sa aspekta inteziteta bočnog pritiska na šipove, veoma je značajan položaj likvefikovanog sloja tla u poprečnom profilu temeljnog tla. Ako se iznad likvefikovanog sloja tla nalazi sloj tla koji nije likvefikovan, bočni pritisak tog sloja tla na šip na dubini z proporcionalan je pasivnom pritisku zla na dubini z .



Slika 5 Bočni pritisci tla na šip za različite položaje likvefikovanog sloja tla [34]

Shodno JRA metodi, za proračunske situacije prikazane na gornjoj slici, vrijednosti bočnih pritisaka tla na šip su jednake:

$$q_L = 0.30 \cdot C_s \cdot \gamma_{z,L} \cdot H_L \quad (1a)$$

$$q_{L,1} = 0.30 \cdot C_s \cdot \gamma_w \cdot H_w \quad (1b)$$

$$q_{L,2} = 0.30 \cdot C_s \cdot (\gamma_w \cdot H_w + \gamma_{z,L} \cdot H_L) \quad (1c)$$

$$q_{NL} = C_s \cdot C_{NL} \cdot K_p \cdot \gamma_{NL} \cdot H_{NL} \quad (1d)$$

$$q_{L,3} = 0.30 \cdot C_s \cdot (\gamma_{NL} \cdot H_{NL} + \gamma_{z,L} \cdot H_L) \quad (1e)$$

gdje su:

C_s faktor korekcije koji zavisi od rastojanja lokacije šipova u odnosu na neku vodenu površinu S ($C_s=1.0$ za $S \leq 50m$; $C_s=0.50$ za $50m < S \leq 100m$; $C_s=0$ za $S > 100m$),

C_{NL} faktor korekcije za gornji nelikvefikovani sloj tla koji zavisi od indeksa potencijala likvefakcije P_L ($C_{NL}=0$ za $P_L \leq 5$; $C_{NL}=(0.2 \cdot P_L - 1)/3$ za $5 < P_L \leq 20$; $C_{NL}=1.0$ za $P_L > 20$),

$\gamma_{z,L}$ zapreminska težina likvefikovanog sloja tla u zasićenom stanju,

γ_w zapreminska težina vode,

γ_{NL} zapreminska težina gornjeg nelikvefikovanog sloja tla,

K_p koeficijent pasivnog pritiska tla.

Kod proračunskog modela koji preporučuje JRA metoda, šip je bočno oslonjen na niz diskretnih, linearno-elastičnih, idealno-plastičnih "p-y" opruga. Uticaj likvefakcije na krutost i granični pritisak ovih opruga uzet je u obzir preko koeficijenta degradacije D_E . Vrijednost ovog koeficijenta zavisi od dubine z , vrijednosti faktora sigurnosti na pojavu likvefakcije konkretnog sloja tla F_{SL} na dubini z i vrijednosti njegovog koeficijenta ciklične smičuće otpornosti CRR na dubini z (tabela 1). Generalno, ako je na dubini z faktor sigurnosti na pojavu likvefakcije veći od 1.0, koeficijent D_E iznosi 1.0.

Kada je praktična primjena JRA metode u pitanju važno je napomenuti da ova metoda zahtjeva primjenu tri-linearnog moment-krivina dijagrama za AB šipove. Oblik ovog dijagrama definisan je sa tri tačke. Prva tačka sa koordinatama M_c i ϕ_c predstavlja granicu elastičnosti tj. trenutak pojave prsline u betonu. Prsline nastaju onda kada napon zatezana u betonu prekorači čvrstoću betona na zatezanje. Druga tačka sa koordinatama M_y i ϕ_y predstavlja granicu plastičnosti tj. trenutak kada počinje da teče podužna zategnuta armatura šipa. Treća tačka sa koordinatama M_u i ϕ_u predstavlja trenutak loma betona šipa tj. trenutak kada dilatacije pritiska u betonu dostignu graničnu vrijednost. Moment-krivina dijagram šipa potrebno je definisati uzimajući u obzir: odgovarajući opseg inteziteta aksijalne sile pritiska u šipu, geometriju šipa, karakteristične čvrstoće materijala šipa i granične dilatacije materijala šipa. Za određivanje ovih dijagrama inženjerima su na raspolaganju pojedini komercijalni softveri (npr. Xtract).

Tab. 2 Vrijednosti koeficijenta degradacije D_E [34]

| Koeficijent F_{SL} | z (m) | Koeficijent CRR | |
|-------------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| | | $CRR \leq 0.30$ | $CRR > 0.30$ |
| $F_{SL} \leq 1/3$ | $0 \leq z \leq 10$ | 0 | 1/6 |
| $F_{SL} \leq 1/3$ | $10 < z \leq 20$ | 1/3 | 1/3 |
| $1/3 < F_{SL} \leq 2/3$ | $0 \leq z \leq 10$ | 1/3 | 2/3 |
| $1/3 < F_{SL} \leq 2/3$ | $10 < z \leq 20$ | 2/3 | 2/3 |
| $2/3 < F_{SL} \leq 1.0$ | $0 \leq z \leq 10$ | 2/3 | 1.0 |
| $2/3 < F_{SL} \leq 1.0$ | $10 < z \leq 20$ | 1.0 | 1.0 |

Na kraju treba napomenuti da se kod JRA metode inercijalno seizmičko opterećenje šipova od gornje konstrukcije u fazi nakon pojave likvefakcije zanemaruje. Dakle, u fazi nakon pojave likvefakcije, osim uticaja od težine gornje konstrukcije na šipove djeluje još samo kinematički pritisak izazvan pojavom likvefakcije u temeljnom tlu izračunat primjenom jednačina 1.

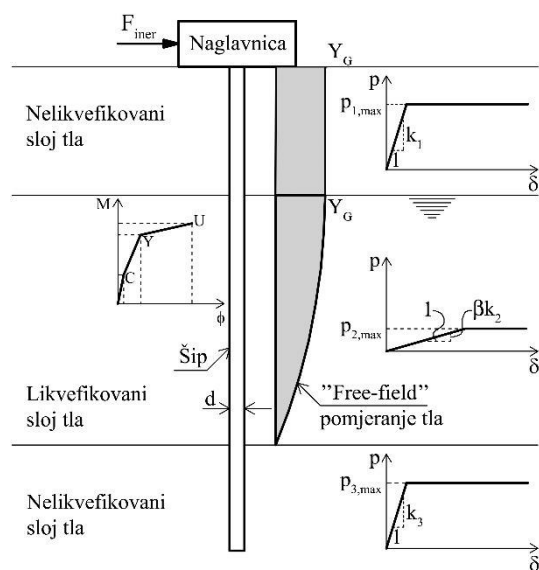
2.1.3. Metoda Cubrinovski et al. (2009)

Cubrinovski et al. [35] su formulisali pseudo-statičku metodu zasnovanu na principu bočnih pomjeranja i na opšte poznatom modelu grede na fleksibilnoj podlozi (Winklerov model). Riječ je o metodi koja se može lako primjeniti za bilo koji slučaj uslojenog temeljnog tla sa različitim položajem i različitom debljinom sloja tla koji je sklon likvefakciji, sa različitom debljinom i karakteristikama površinskog sloja tla koja nije sklon likvefakciji kao i donjeg čvrstog sloja tla u kome je oslonjena baza šipa. Ova metoda je takođe dio ranije spomenutog dokumenta Agencije za transport Novog Zelanda sa oznakom NZ Transport Agency research report No. 553 [34].

Cubrinovski et al. [35] su analizirali slučaj jednog vertikalnog AB šipa koji je na gornjem kraju uklješten u betonsku naglavnicu, a ugrađen je u troslojno temeljno tlo (slika 6). Tokom zemljotresa likvefikuje se i bočno "teče" samo srednji sloj tla. Iznad i ispod

srednjeg sloja tla sklonog likvefakciju mogu biti slojevi koherentnog ili nekoherentnog tla koji nisu skloni degradaciji smičuće krutosti usljed povećanja pornih pritisaka tokom zemljotresa.

Metoda Cubrinovski et al. (2009) se može smatrati jednim tipom opšte poznate "push-over" seizmičke metode, pošto se kinematičko opterećenje šipa izazvano bočnim pomjeranjem likvefikovanog sloja tla ne aplicira u vidu bočnih sila već u vidu bočnog pomjeranja. Ovo bočno pomjeranje likvefikovanog sloja tla, koje je izračunato kao "free-field" seizmičko pomjeranje primjenom odgovarajućih empirijskih rješenja, se ne aplicira direktno na šip već preko niza horizontalnih "p-δ" opruga, gdje je sa δ označeno relativno pomjeranje između okolnog tla i šipa. Efekti povećanja pornih pritisaka odnosno efekti pojave likvefakcije uzimaju se u obzir redukcijom krutosti opruga i ograničavanjem bočnih sila u likvefikovanom sloju tla. Dakle, ova metoda koristi poznato rješenje grede na fleksibilnoj podlozi koje je prošireno za nelinearno ponašanje temeljnog tla.



Slika 6 Metoda Cubrinovski et al. (2009) [35]

Po dubini slojeva tla koji nisu skloni likvefakciji (prvi i treći sloj) šip je bočno oslonjen na niz diskretnih, linearno-elastičnih, idealno-plastičnih "p-δ" opruga sa inicijalnom krutošću k odnosno graničnim pritiskom p_{max} koji imaju istu vrijednost prije i nakon pojave likvefakcije u temeljnom tlu. Cubrinovski et al. [35] predložu da se inicijalne krutosti opruga k_1 i k_2 izračunavaju koristeći korigovani broj udara N_{60} standardnog penetracionog testa (SPT) na sljedeći način.

$$k = 56 \cdot N_{60} \cdot (100 \cdot d)^{-\frac{3}{4}} \cdot s \cdot d \quad (2)$$

gdje je sa s označen usvojeni razmak između opruga. Granični pritisci "p-δ" opruga za slojeve temeljnog tla koji nisu skloni likvefakciji (pritisci $p_{1,max}$ i $p_{3,max}$) izračunavaju se na sljedeći način:

$$p_{max} = 9 \cdot c_u \cdot s \cdot d \quad \text{za koherentna tla} \quad (3a)$$

$$p_{max} = 4.50 \cdot p_p \cdot s \cdot d \quad \text{za nekoherentna tla} \quad (3b)$$

pri čemu p_p predstavlja pasivni pritisak tla na dubini z sračunat po metodi Rankina. Kao što je prikazano na slici 6, po dubini sloja temeljnog tla sklonog likvefakciji tokom zemljotresa AB šip je takođe bočno oslonjen na niz linearno-elastičnih, idealno-plastičnih "p-δ" opruga. Inicijalna krutost ovih opruga se dobija tako što se krutost izračunata primjenom jednačine (2) pomnoži sa faktorom redukcije β . Za fazu seizmičke SPS interakcije prije pojave likvefakcije vrijednost ovog faktora je od 0.02 do 0.10, s tim što

je njegova preporučena vrijednost 0.05. Za fazu nakon pojave likvefakcije vrijednost ovog faktora je od 0.001 do 0.02, s tim što je njegova preporučena vrijednost 0.01. Granični pritisak " p - δ " opruga po dubini sloja tla sklonog likvefakciji (pritisak $p_{2,max}$) može se odrediti na osnovu nedrenirane rezidualna smičuće čvrstoće S_u ovog sloja tla. Riječ je o smičućoj čvrstoći koja se najčešće određuje na osnovu rezultata SPT-a uz primjenu empirijskih relacija koje su predložili Idriss & Boulanger [36].

Naponsko-deformacijsko ponašanje AB šipa definisano je preko tri-linearnog moment-krivana dijagrama na identičan način kao kod JRA metode (slika 6).

Kritičan segment metode Cubrinovski et al. (2009) predstavlja određivanje amplitude bočnog "free-field" pomjeranja tj. "tečenja" likvefikovanog sloja tla tokom zemljotresa Y_G . Inženjerima je na raspolaganju više empirijskih rješenja [37-40]. Međutim, vrlo je komplikovano tačno izračunati ova pomjeranja zbog velikog broja uticajnih faktora. Praktično se za svako empirijsko rješenje mogu pronaći primjeri gdje to rješenje daje pomjeranje Y_G drastično različito od onoga koje je izmjereno odnosno konstatovano na terenu tokom prethodnih zemljotresa. Takođe, nije rijetka situacija da se rezultati pojedinih empirijskih rješenja drastično međusobno razlikuju. Imajući to u vidu Youd et al. [37], autori jednog od empirijskih rješenja, predlažu da se u proračunima zapravo uzme u obzir interval ovog pomjeranja od $0.5 \cdot Y_G$ do $2.0 \cdot Y_G$, pri čemu je Y_G pomjeranje sračunato shodno empirijskom rješenju koje su predložili.

Na kraju treba napomenuti da Cubrinovski et al. [35] nisu precizirali kako procijenti vrijednost inercijalnog seizmičkog opterećenja šipova od gornje konstrukcije za fazu seizmičke SPS interakcije nakon pojave likvefakcije.

2.1.4. PEER metoda

Ova pseudo-statička metoda zvanično je preporučena za primjenu pri projektovanju mostovskih stubova fundiranih na šipovima od strane pacifičkog centra za zemljotresno inženjerstvo (eng. Pacific Earthquake Engineering Research Centre). Riječ je dokumentu sa oznakom PEER Report 2011/04 [41]. Ova metoda je takođe dio ranije spomenutog dokumenta Agencije za transport Novog Zelanda sa oznakom NZ Transport Agency research report No. 553 [34]. PEER metoda je konceptualno slična prethodno opisanoj metodi Cubrinovski et al. (2009), uz neke manje ili više značajne razlike.

PEER metoda je suštinski razvijena za slučaj AB vertikalnog šipa koji je na gornjem kraju uklješten u betonsku naglavnicu, a ugrađen je u troslojno temeljno tlo. Tokom zemljotresa likvefikuje se i bočno "teče" samo srednji sloj temeljnog tla. Naponsko-deformacijsko ponašanje AB šipa definisano je nelinearnim moment-krivina dijagramom. Do ovog dijagrama se dolazi proračunom, najčešće uz pomoć nekog adekvatnog softvera, pri čemu se za betonski dio poprečnog presjeka šipa usvaja opšte poznat Manderov materijalni model, a za armaturu standardni radni dijagram sa deformacijskim ojačanjem.

Šip je bočno oslonjen na niz diskretnih, nelinearnih " p - y " opruga, pri čemu je sa y označeno horizontalno pomjeranje šipa usljed dejstva seizmičkog opterećenja. Nije jasno precizirano koje " p - y " opruge tj. krive se koriste ovom prilikom. Međutim, za srednji sloj tla koji je sklon likvefakciji tokom zemljotresa, oblik (krutosti i kapacitet) ovih krivih neophodno je korigovati upravo zbog uticaja likvefakcije. Korekcije " p - y " krivih se sprovodi primjenom faktora skaliranja odnosno tzv. p -multiplikatora m_p . Preporučuje se primjena srednjih vrijednosti p -multiplikatora koje je za čiste pijeskovne na osnovu rezultata SPT-a definisao Brandenburg [42] i provjera senzitivnosti seizmičkog odgovora temelja na šipovima pri povećanju odnosno redukciji vrijednosti p -multiplikatora. Odgovor temelja na šipovima može biti neosetljiv na promjenu vrijednosti p -multiplikatora kada se iznad likvefikovanog sloja tla nalazi nelikvefikovan sloj tla.

Kao što je to i uobičajeno, procjenjeno bočno "free-field" pomjeranje likvefikovanog sloja tla aplicira se na šip preko niza " p - y " opruga istovremeno sa inercijalnim opterećenjem od gornje konstrukcije, a koje se u vidu koncentrisane horizontalne sile

aplicira na vrh šipa tj. na naglavnicu. Intezitet inercijalne seizmičke sile se izračunava na sljedeći način:

$$F_{liq} = C_{cc} \cdot C_{liq} \cdot F_{max,nonliq} \quad (2)$$

gdje su:

| | |
|------------------|---|
| F_{liq} | maksimalna inercijalna sila od gornje konstrukcije za fazu seizmičke SPS interakcije nakon pojave likvefakcije u temeljnom tlu, |
| C_{cc} | dio maksimalne inercijalne sile od gornje konstrukcije u slučaju kada se likvefakcija javlja u kritičnom ciklusu opterećenja tj. u trenutku kada se u šipu generišu maksimalni moment savijanja i transverzalna sila, |
| C_{liq} | odnos maksimalne inercijalne sile od gornje konstrukcije za slučaj sa i slučaj bez pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa, |
| $F_{max,nonliq}$ | maksimalna inercijalna sila od gornje konstrukcije za slučaj linearno-elastične gornje konstrukcije i bez pojave likvefakcije u temeljnom tlu. |

Vrijednosti koeficijenata C_{cc} i C_{liq} zavise od frekventnog sastava seizmičke pobude, a koji je za potrebe ove metode opisan preko odnosa linearno-elastičnog spektralnog horizontalnog ubrzanja konstrukcije (prigušenje 5%) za $T=1.0s$ i $T=0$. Shodno predlogu koji su dali Boulanger et al. [43], za dugo-periodične zemljotrese sa odnosom spektralnih ubrzanja $S_{AT=1s}$ i $S_{AT=0}$ od 1.7 do 2.4 proizvod koeficijenata C_{cc} i C_{liq} iznosi 0.487. Za srednje-periodične zemljotrese sa odnosom spektralnih ubrzanja $S_{AT=1s}$ i $S_{AT=0}$ od 0.5 do 1.6 proizvod koeficijenata C_{cc} i C_{liq} iznosi 0.357. Za kratko-periodične zemljotrese sa odnosom spektralnih ubrzanja $S_{AT=1s}$ i $S_{AT=0}$ manjim od 0.5 proizvod koeficijenata C_{cc} i C_{liq} iznosi 0.292.

Zanimljivo je i korisno prethodno navedeno rješenje Boulanger et al. [43] primjeniti za linearno-elastične spektre odgovora horizontalnog ubrzanja Tipa 1 (prigušenje 5%) koje standard EC8-2 [44] preporučuje za primjenu pri projektovanju mostova u seizmički aktivnim područjima. Tom prilikom se dobija, da se za fazu nakon pojave likvefakcije na šipove treba osim kinematičkog aplicirati i inercijalno seizmičko opterećenje u iznosu 35.7%, 35.7%, 35.7%, 48.7% i 35.7% od maksimalnog inercijalnog opterećenja šipova za slučaj bez pojave likvefakcije u temeljnom tlu za linearno-elastične spektre odgovora horizontalnog ubrzanja A, B, C, D i E respektivno.

2.2. DINAMIČKE METODE

U posljednjih 30-tak godina širom svijeta sprovedeno je više numeričko-modelskih eksperimenata seizmičke SPS interakcije u slučaju pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa [29, 35, 42, 45-48]. Svi ovi eksperimenti su zapravo podrazumijevali sprovođenje komplikovanih nelinearnih dinamičkih analiza sistema tlo-šipovi-konstrukcija uz pomoć adekvatnih softvera. Ove analize se u praksi rijetko sprovode. Uglavnom su predmet naučno-istraživačkog rada.

Jedan od glavnih izazova kod dinamičkih analiza seizmičke SPS interakcije sa pojavom likvefakcije u tlu tokom zemljotresa je izbor materijalnog modela i pogotovo parametara tog modela za sloj temeljnog tla koji je sklon likvefakciji. Više materijalnih modela ovog tipa je inženjerima na raspolaganju. Mogu se spomenuti: Finn model [49], UBCSAND model [50], UBC3D-PLM [51] i SaniSand model [52].

3. RAČUNSKI PRIMJER

Računski primjer ukratko prezentovan u ovom radu zapravo predstavlja predlog kako inženjeri u praksi mogu provjeriti nosivost na savijanje šipova temeljne konstrukcije na dejstvo seizmičkog opterećenja u slučaju da postoji realna opasnost od pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa. Analiziran je jednostavan AB petospratni ram fundiran na tri šipa prečnika 0.60m i dužine 14m (slika 7). Usvojen je realan geološki

profil tla sa lokacije Marina za mega jahte Porto Montenegro, Tivat. Prva dva sloja tla su okarakterisani kao slojevi skloni likvefakciji tokom zemljotresa.

Samoj kontroli nosivosti šipova prethodio je standardni postupak proračuna i dimenzionisanja kompletne konstrukcije shodno odredbama Evrokodovih standarda. Tom prilikom je za, usvojenu vrijednost ubrzanja $a_{g,max}$ od $0.35 \cdot g$, faktora ponašanja $q=5.85$ i drugu klasu važnosti konstrukcije, te odabranog tipa temeljnog tla B i klase duktilnosti konstrukcije DCH, izračunato seizmičko opterećenje konstrukcije primjenom metode bočne sile. Formiran je linearno-elastičan numerički model konstrukcije u softveru Tower 6 (Radimpex). Za sve elemente konstrukcije korišćeni su gredni konačni elementi odgovarajućih materijalnih i geometrijskih karakteristika. Šipovi su bočno oslonjeni na niz diskretnih, linearno-elastičnih "p-y" opruga čija je krutost k određena shodno opšte poznatom rješenju Vesića. Krutost opruga po dubini prvog i drugog sloja tla je potpuno zanemarena ($k=0$), pošto je riječ o rastresitim slojevima čija se krutost postepeno smanjuje tokom trajanja zemljotresa usljed rasta pornih pritisaka. Na kraju, sprovedeno je dimenzionisanje svih elemenata konstrukcije. Tom prilikom je za šipove usvojena podužna armatura 8RØ22 i poprečna spiralna armatura RØ10/10cm.

Nakon linearno-elastične analize i dimenzionisanja analizirane konstrukcije, bilo je neophodno uz pomoć adekvatnog softvera formirati i nelinearni model konstrukcije. Za slučaj konstrukcije koju čine samo linijski elemenati (grede) to i nije suviše komplikovano. Korišćen je MKE softver SeismiStruct, kod koga se za modelovanje AB greda primjenjuju opšte poznati fiber konačni elementi. Da bi se definisalo naponsko-deformacijsko ponašanje ovih elemenata usvojeni su odgovarajući materijalni modeli za utegnut beton (jezgro presjeka), neutegnut betona (zaštitini sloj presjeka) i armaturu (slika 8). Za utegnut i neutegnut beton usvojeni su opšte poznati Manderovi nelinearni materijalni modeli. Za armaturu je usvojen klasičan, bi-linear, elasto-plastičan model sa deformacijskim ojačanjem. Način definisanja ovih materijalnim modela za sve elemente analizirane konstrukcije detaljno je opisan u [11]. Šipovi su po dubini trećeg, četvrtog i petog sloja bočno oslonjeni na niz diskretnih, linearno-elastičnih, idealno-plastičnih "p-y" opruga. Početne krutosti opruga određene su primjenom opšte poznatog rješenja Vesića. Granični pritisci opruga p_u izračunati su kao Rankinovi pasivni pritisci pomnoženi sa faktorom korekcije za bočni pritisak tla na šip prema rješenju koje su predložili Jeong et al. [17]. Vrijednost ovog faktora je 3.0 za šipove na međusobnom rastojanju većem od $7 \cdot d$.

3.1.1. Prva faza proračuna – faza prije pojave likvefakcije

U prvoj fazi proračuna sprovedena je statička, nelinearna "push-over" seizmička analiza konstrukcije u skladu EC8-1 [53]. Za modalnu raspodjelu sila po visini objekta (pokazala se u ovom primjeru kao mjerodavna) izračunato ciljno pomjeranje (eng. target displacement) vrha konstrukcije iznosi 0.27m.

Za zadato seizmičko opterećenje konstrukcije došlo je do formiranja plastičnih zglobova na više mjesta u gornjoj konstrukciji ali i na gornjem kraju (vrhu) svakog šipa. To nedvosmisleno pokazuju krive koje "prate" vrijednosti momenta savijanja i krivine poprečnog presjeka na vrhu šipova pojedinačno u toku apliciranja opterećenja (slika 9). Međutim, vrijednosti krivine ovih poprečnih presjeka u trenutku dostizanja ciljnog pomjeranja ϕ_{td} znatno su manje od vrijednosti njihove krivine u trenutku loma ϕ_u , a koje su za iste intezitete aksijalnih sila pritiska u šipovima izračunate uz pomoć softvera Xtract. Odnos ϕ_u/ϕ_{td} je najmanji kod šipa C i iznosi 2.45. Time je dokazano da ovi poprečni presjeci imaju dovoljan kapacitet rotacije, te konstatovana pojava plastičnih zglobova nije uopšte zabrinjavajuća.

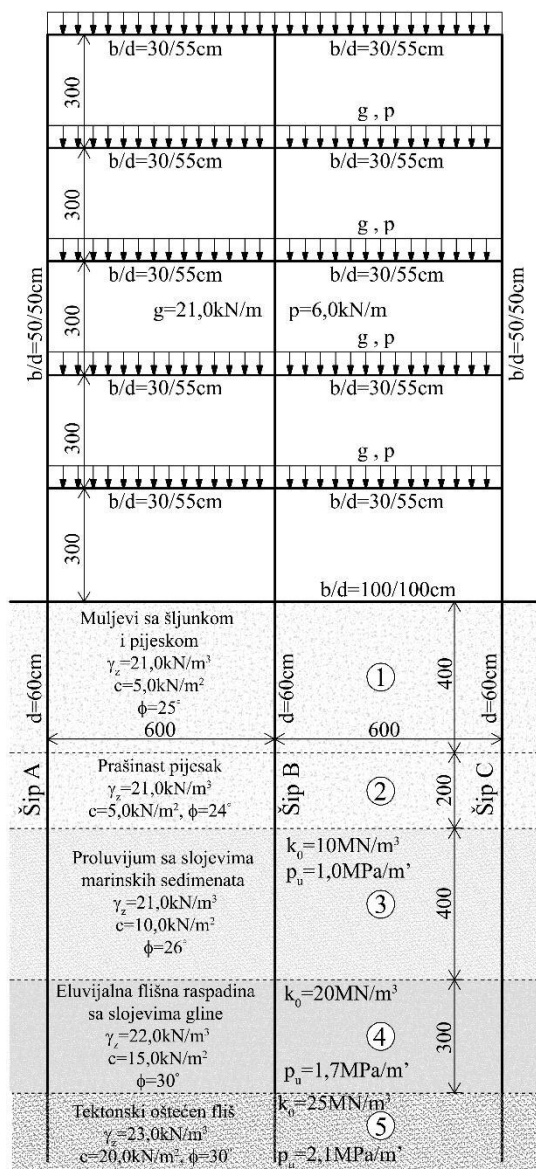
Koncentracija momenata savijanja u šipovima ostvaruje se i u zoni granice između drugog i trećeg sloja temeljnog tla (oko kote -6.00m). Međutim, ovi momenti su i suviše mali da izazovu formiranja plastičnog zgloba, što jasno pokazuju krive koje "prate"

vrijednosti momenta savijanja i krivine poprečnih presjeka šipova na koti -6.00m u toku apliciranja seizmičkog opterećenja (slika 10).

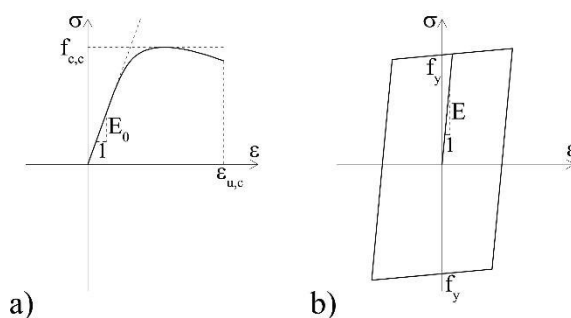
3.1.2. Druga faza proračuna – faza nakon pojave likvefakcije

Za fazu nakon pojave likvefakcije može iskoristiti isti proračunski model koji je korišćen za fazu prije pojave likvefakcije ali uz određene korekcije. Prvo, na mjestu kontakta šipova i naglavnice tj. na mjestu formiranja plastičnih zglobova u šipovima modeluju se klasični zglobovi. Dakle, pretpostavlja se da je nosivost na savijanje ovih presjeka potpuno iskorišćena u fazi prije pojave likvefakcije. Drugo, poprečne presjeke elemenata gornje konstrukcije u kojima je došlo do formiranja plastičnih zglobova treba "omekšati" tj. treba redukovati njihovu krutost na savijanje. Radi jednostavnosti, krutosti svih u prethodnoj fazi proračuna plastifikovanih poprečnih presjeka u elementima gornje konstrukcije redukovane su za 70%. Treće, ako postoje "p-y" opruge koje su se u prvoj fazi proračuna plastifikovale, sada ih treba ukloniti iz numeričkog modela. U ovom konkretnom primjeru to nije bio slučaj pošto su već uklonjene opruge do kote -6.00m. Shodno preporuci koju su dali Boulanger et al. [43], ciljno pomjeranje (seizmičko opterećenje) konstrukcije u ovoj fazi iznosi 35.7% od ciljnog pomjeranja iz prve faze proračuna. Uz to, na sve šipove je aplicirano horizontalno raspodjeljeno opterećenje od likvefikovanog sloja tla izračunato prema jednačini 1a (JRA metoda).

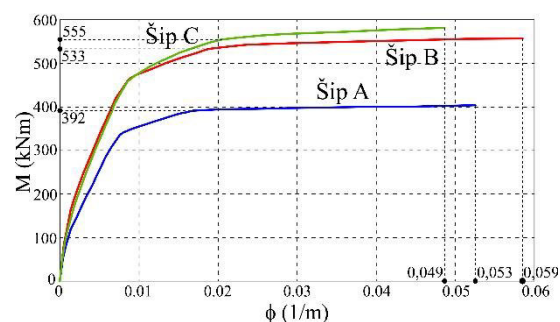
U fazi nakon pojave likvefakcije kod svih šipova u zoni oko granice između drugog i trećeg sloja temeljnog tla (oko kote -6.00m) dobijeni su momenti savijanja manji nego u fazi prije pojave likvefakcije. Samim tim, pojava likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa neće ugroziti nosivost šipova temeljne konstrukcije na savijanje.



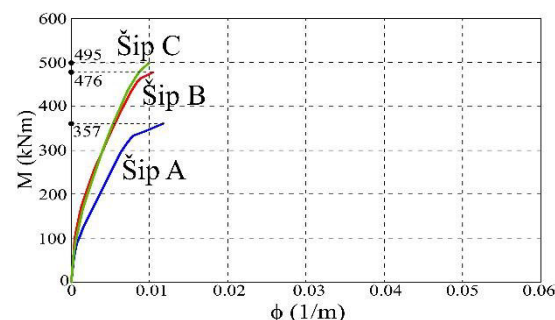
Slika 8 Analizirana AB konstrukcija sa karakteristikama temeljnog tla



Slika 8 Izabrani materijalni modeli za a) beton b) armaturu



Slika 9 M- ϕ dijagram poprečnog presjeka na vrhu šipa za I fazu proračuna



Slika 10 M- ϕ dijagram poprečnog presjeka šipa na koti -6.00m za I fazu proračuna

4. ZAKLJUČAK

Seizmička SPS interakcija je veoma komplikovana za analizu. Situacija se dodatno komplikuje u slučaju kada je neophodno uzeti u obzir i mogućnost pojave likvefakcije u temeljnom tlu tokom zemljotresa. Shodno tome, pseudo-statičke metode koje su od strane pojedinih svijetskih standarda predložene za analizu ovog slučaja seizmičke SPS interakcije u inženjerskoj praksi podrazumijevaju sprovođenje više ili manje komplikovanih nelinearnih analiza. Na osnovu tih metoda koje su detaljno opisane u ovom radu, predložen je vjerovatno najprostiji način za analizu seizmičke SPS interakcije u slučaju pojave likvefakcije u temeljnom tlu pogodan za primjenu u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

LITERATURA

[1] European Committee for Standardization (2004). Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*. Ref. No. EN 1998-5:2004: E.

- [2] Laora, D.R., Mylonakis, G., Mandolini, A. (2017). Size Limitations for Piles in Seismic Regions. *Earthquake Spectra*, Volume 22, pp. 729-756. <https://doi.org/10.1193/032116EQS045M>.
- [3] Haigh, S.K., Gopal Madabhushi, S.P., Soga, K., Taji, Y., Shamato, Y., (2000). Lateral Spreading During Centrifuge Model Earthquakes. *ISRM International Symposium*, Melbourne, Australia, November 19-24.
- [4] Fukuoka, M. (1966). Damage to civil engineering structures. *Soils and Foundations*, Volume VI, pp. 45-52. https://doi.org/10.3208/sandf1960.6.2_45.
- [5] Yoshida, N., Tazoh, T., Wakamatsu, K., Yasuda, S., Towhata, I., Nakazawa, H., KIKU, H. (2007). Causes of Showa Bridge Collapse in the 1964 Niigata Earthquake Based on Eyewitness Testimony. *Soils and Foundations*, Volume 47, pp. 1075-1087. <https://doi.org/10.3208/sandf.47.1075>.
- [6] Hamada, M., O'Rourke, T. D. (1992). *Case studies of liquefaction and lifeline performance during past earthquakes – Volume 1: Japanese case studies*. Technical Report NCEER-92-0001, National Centre for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, USA.
- [7] Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- [8] Bhattacharya, S. (2003). Pile Instability During Earthquake Liquefaction. Doctoral thesis, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- [9] Gopal Madabhushi, S.P., Knappett, J.A., Haigh, S.K. (2009). *Design of pile foundations in liquefiable soils*. Imperial College Press, 1st edition, ISBN 1848163622.
- [10] Elnashai, A.S., Mwafy, A.M. (2008). *Seismic response and design*. ICE Manual of Bridge Engineering, Institution of Civil Engineers, pp. 145-163. <https://doi.org/10.1680/mobe.34525.0145>
- [11] Miladinović, B. (2015). Nosivost vertikalnih šipova pod dejstvom horizontalnih sila u uslovima pojave likvefakcije u tlu. Magistarski rad, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, Crna Gora.
- [12] Coelho, P.A.L.F., Haigh, S.K., Madabhushi, S.P.G. (2003). Boundary effects in dynamic centrifuge modelling of liquefaction in sand deposits. *16th ASCE Engineering Mechanics Conference*, University of Washington, Seattle, USA, July 16-18.
- [13] Dezi, F., Carbonari, S., Leoni, G. (2010). Static equivalent method for the kinematic interaction analysis of single piles. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 30, pp. 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.02.009>
- [14] Matlock, H. (1970). Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay. *Second Annual Offshore Technology Conference*, Houston, Texas, April 21-23, pp. 577-595. <https://doi.org/10.4043/1204-MS>
- [15] Reese, R.C., Cox, W.R., Koop, F.D. (1975). Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay. *The Offshore Technology Conference*, Houston, Texas, , pp. 671–690.
- [16] O'Neill, W. M., Gazdigiolu S.M. (1984). Evaluation of p-y relationships in cohesive soils. *The ASCE symposium on analysis and design of pile foundations*, San Francisco, California, pp. 192–213.
- [17] Jeong, S., Kim, B., Won, J., Lee, J. (2003). Uncoupled analysis of stabilizing piles in weathered slopes. *Computers and Geotechnics*, Volume 30, pp. 671-682. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2003.07.002>
- [18] Cubrinovski, M., Ishihara, K., Poulos, G.H. (2009). Pseudo-static analysis of piles subjected to lateral spreading. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Volume 42, pp. 28-38. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.42.1.28-38>
- [19] Gazetas, G. (1984). Seismic response of end-bearing single piles. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 3, pp. 82-93. [https://doi.org/10.1016/0261-7277\(84\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0261-7277(84)90003-2)
- [20] Makris, N., Gazetas, G. (1992). Dynamic pile-soil-pile interaction – Part II: Lateral and seismic response. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volume 21, pp. 145-162. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290210204>

- [21] Mylonakis, G., Nikolaou, A., Gazetas, G. (1997). Soil-pile-bridge seismic interaction: kinematic and inertial effects – Part I: Soft soil. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volume 26, pp. 337-359. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199703\)26:3<337::AID-EQE646>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199703)26:3<337::AID-EQE646>3.0.CO;2-D)
- [22] Mylonakis, G. (2001). Simplified model for seismic pile bending at soil-layer interfaces. *Soils and Foundations*, Japanese Geotechnical Society, Volume 41, pp. 47-58. https://doi.org/10.3208/sandf.41.4_47
- [23] Nikolaou, A., Mylonakis, G., Gazetas, G., Tazoh, T. (2001). Kinematic pile bending during earthquakes: analysis and field measurements. *Géotechnique*, Volume 51, pp. 425-440. <https://doi.org/10.1680/geot.2001.51.5.425>
- [24] Liu, L., Dobry, R. (1995). Effect of liquefaction on lateral response of piles by centrifuge model tests. *NCEER Bulletin*, Volume 9, pp. 7-11.
- [25] Wilson, D.W. (1998). Soil-pile-superstructure interaction in liquefying sand and soft clay. Doctoral thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA.
- [26] Bhattacharya, S. (2003). Pile instability during earthquake liquefaction. Doctoral thesis, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- [27] Towhata, I., Šešov, V., Motamed, R., Gonzales, M. (2006). Model Test on Lateral Earth Pressure on Large Group Pile Exerted by Horizontal Displacement on Liquefied Sandy Ground. *8th U.S. National conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, CA, April 18-22, Paper No. 1227.
- [28] Cubrinovski, M., Kokusho, T., Ishihara, K. (2006). Interpretation from large-scale shake table tests on piles undergoing lateral spreading in liquefied soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 29, pp. 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2005.02.018>
- [29] Chau, K.T., Shen, C.Y., Guo, X. (2009). Nonlinear seismic soil-pile-structure interactions: Shaking table tests and FEM analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 29, pp. 300-310. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2008.02.004>
- [30] Motamed, R., Šešov, V., Towhata, I., Tuan Anh, N. (2010). Experimental Modeling of Large Pile Groups in Sloping Ground Subjected to Liquefaction-Induced Lateral Flow: 1-G Shaking Table Tests. *Soils and Foundations*, Volume 50, pp. 261-279. <https://doi.org/10.3208/sandf.50.261>
- [31] Gao, X., Ling, X.Z., Tang, L., Xu, P. (2011). Soil-pile-bridge structure interaction in liquefying ground using shake table testing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 31, pp. 1009-1017. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.03.007>
- [32] Motamed, R., Towhata, I., Honda, T., Tabata, K., Abe, A. (2013). Pile group response to liquefaction-induced lateral spreading: E-Defense large shake table tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 51, pp. 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.04.007>
- [33] Tang, L., Ling, X. (2014). Response of a RC pile group in liquefiable soil: a shake-table investigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 67, pp. 301-315. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.10.015>
- [34] Murashev, A., Kirkealdie, D., Keepa, C., Cubrinovski, M., Orense, R. (2014). *The development of design guidance for bridges in New Zealand for liquefaction and lateral spreading effects*. NZ Transport Agency research report 553.
- [35] Cubrinovski, M., Ishihara, K., Poulos, H. (2009). Pseudo-static analysis of piles subjected to lateral spreading. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Volume 42, pp. 28-38. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.42.1.28-38>
- [36] Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*. Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- [37] Bartlett, S. F., Youd, T. L., (1995). Empirical prediction of lateral spread displacement, *Journal of Geotechnical Engineering*, Volume 121, pp. 316–329. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:4\(316\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:4(316))

- [38] Rauch, A.F., Martin, J.R. (2000). EPOLLS Model for Predicting Average Displacements on Lateral Spreads. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 126, pp. 360–371. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2000\)126:4\(360\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2000)126:4(360))
- [39] Hamada, M., Wakamatsu, K., Shimamura, K. and Nire, T. (2001). A study on the evaluation of horizontal displacement of liquefied ground. *26th JSCE Earthquake Eng. Symposium*, pp. 649-652.
- [40] Youd, T.L., Hansen, M.C., Bartlett, F.S. (2002). Revised multilinear regression equations for prediction of lateral spread displacement. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 128, pp. 1007-1017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2002\)128:12\(1007\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:12(1007))
- [41] Ashford, S. A., Boulanger, R. W., Brandenburg, S. J. (2011). *Recommended Design Practice for Pile Foundations in Laterally Spreading Ground - PEER Report 2011-04*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.
- [42] Brandenburg, S.J. (2005). Behavior of pile foundations in liquefied and laterally spreading ground. Doctoral thesis, Department of Civil and Environmental Engineering., University of California, Davis, CA.
- [43] Boulanger, R.W., Chang, D., Brandenburg, S.J., Armstrong, R.J., Kutter, B.L. (2007). Seismic design of pile foundations for liquefaction effects. In: Ptilakis, K.D. (eds) *Earthquake Geotechnical Engineering. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, Volume 6. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 277-302. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5893-6_12
- [44] European Committee for Standardization (2004). Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Seismic Design of Bridges*. Ref. No. EN 1998-5:2003: E.
- [45] Bowen, J.H. (2007). Behaviour of piles in liquefiable deposits during strong earthquakes. Master thesis, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [46] Cheng, Z., Jeremic, B. (2009). Numerical modeling and simulation of pile in liquefiable soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 29, pp. 1405-1416. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.02.008>
- [47] Rahmani, A., Pak, A. (2012). Dynamic behavior of pile foundations under cyclic loading in liquefiable soils. *Computers and Geotechnics*, Volume 40, pp. 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.09.002>
- [48] López Jiménez, G.A., Dias, D., Jenck, O. (2019). Effect of the soil-pile-structure interaction in seismic analysis: case of liquefiable soils. *Acta Geotechnica*, Volume 14, pp. 1509-1525. <https://doi.org/10.1007/s11440-018-0746-2>
- [49] Martin, G.R., Finn, W.D.L., Seed, H.B. (1975). Fundamentals of liquefaction under cyclic loading. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Volume 101, pp. 423–438. <https://doi.org/10.1061/AJGEB6.0000164>
- [50] Puebla, H., Byrne, P.M., Phillips, R. (1997). Analysis of canlex liquefaction embankments prototype and centrifuge models. *Canadian Geotechnical Journal*, Volume 34, pp. 641–657. <https://doi.org/10.1139/t97-034>
- [51] Tsegaye, A.B. (2010). Plaxis liquefaction model - Report No. 1. *PLAXIS knowledge base*, Delft, The Netherlands.
- [52] Dafalias, Y.F., Manzari, M.T. (2004). Simple plasticity sand model accounting for fabric change effects. *Journal of Engineering Mechanics*, Volume 130, pp. 622–634. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2004\)130:6\(622\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:6(622))
- [53] European Committee for Standardization (2004). Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. Ref. No. EN 1998-1:2004: E.

POLU-AUTOMATSKA PRED-PROJEKTNJA PROCENA DINAMIKE, TROŠKOVA I RIZIKA ZA STAMBENE OBJEKTE

Zoran Stojadinović¹, Marija Ivanović², Jovan Stevanović³

Rezime:

Za obezbeđenje finansijskog uspeha projekta, ključno je da investitori izvrše pouzdane procene *pre* nego što se obavežu na projekat nabavkom građevinskog zemljišta. Ovaj rad prezentuje metodologiju i softversko rešenje za pred-projektnu polu-automatsku procenu dinamike, troškova i rizika za stambene objekte. Za automatsko planiranje, dizajniran je "Univerzalni ritmični ciklogram" na nivou glavnih tokova, koji je određen trajanjem prvog toka i zazorima. Umesto procene ukupnih troškova projekta, predloženi metod procenjuje *količine* za ključne aktivnosti omogućavajući korišćenje trenutnih tržišnih jediničnih cena u funkciji kvaliteta. Monte Carlo simulacije, primenjene na intervale prekoračenja na nivou aktivnosti, predviđaju vrednosti za ukupne troškove, prihode i trajanje projekta koje uključuju rizik. Ulazni podaci su: urbanistički parametri iz Informacije o lokaciji, broj podzemnih etaža, troškovi po aktivnostima, prodajne cene, parametri finansiranja, datum početka gradnje i granice intervala za rizike.

Ključne reči: upravljanje projektima, pred-projektna procena, dinamika, troškovi, rizik

SEMI-AUTOMATIC PRE-PROJECT ESTIMATION OF SCHEDULE, COST, AND RISK FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

Summary:

For ensuring the financial success of a project, it is critically important for investors to perform reliable estimates *before* committing to a project by acquiring a construction lot. This paper presents a methodology and a software solution for pre-project semi-automatic schedule, cost and risk estimation for residential buildings. For automated scheduling, a "Universal Rhythmical Line of Balance" was designed for main flows, determined by the durations of the first flow and buffers. Instead of estimating total project cost, the suggested method estimates main task *quantities*, enabling using quality-based current market unit prices. Monte Carlo simulations, applied on task-level overrun intervals, predict risk-including values for overall project cost, income and duration. Input parameters are urban planning parameters from the Location Information, number of underground stories, activity costs, selling prices, financing parameters, construction start date and risk intervals.

Key words: project management, pre-project estimation, schedule, cost, risk

¹ v.prof, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija, joka@grf.rs

² asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu Srbija, mpetrovicgrf@gmail.com

³ inženjer, Konis Software, Beograd, Srbija, jocastevanovic@gmail.com

1. UVOD

Građevinski projekti ne ispunjavaju ciljeve i opterećeni su problemima u realizaciji. Realizacija građevinskih projekata se često ne odvija po planu i prema ugovoru. Shodno problemima, upravljanje projektima treba da se podigne na viši nivo. Jedna od mogućnosti je uspostavljanje funkcionalnije veze između planiranja i realizacije razvijanjem objedinjujućih aplikacija koje omogućavaju ispitivanje scenarija i upravljanje promenama. Važnost upravljanja promenama je prepoznata u literaturi zajedno sa preprekama za širu primenu [1]. Uticaj promena u dinamici i troškovima na cashflow je od presudne važnosti za uspeh na projektima, pa je i modeliranje S krive u fokusu istraživanja [2], [3] i [4]. Nerazrešene promene često završe skupim i dugotrajnim odštetnim zahtevima [5].

Jedan od osnovnih problema u ovoj oblasti je razdvojenost planiranja, normiranja, ugovaranja i cashflow-a, jer se sprovode u odvojenim aplikacijama i programima. Tradicionalan pristup planiranju i kontroli ne omogućava kvalitetnu vezu između dinamike realizacije i dinamike plaćanja, kao ni efikasno upravljanje poremećajima u realizaciji. Ispitivanje promena u dinamici je izvodljivo u programima za planiranje (Project, Primavera), ali upravljanje novčanim tokovima ne funkcioniše dobro. U Project-u, cashflow je izveštaj koji ne može da se edituje i ne uključuje prilive. Project nudi tri načina povezivanja novca sa aktivnostima: na početku, završetku i uniformno raspodeljeno tokom trajanja. Ali cashflow se u praksi dešava sasvim drugačije – prilivi i odlivi se dešavaju pre, za vreme i nakon završetka aktivnosti. Jedan od načina da se prevaziđe problem je uvođenje posebnih aktivnosti samo za plaćanja, ali se na taj način broj aktivnosti povećava sa stotina na hiljade, a takvim planovima se teško upravlja. Postoji mogućnost izvoza podataka u Excel i nazad ali je to komplikovano i zahtevno. Izmenama je teško upravljati, jer se mora u svim aplikacijama intervenisati “u krug”, za šta se mora angažovati stručan tim.

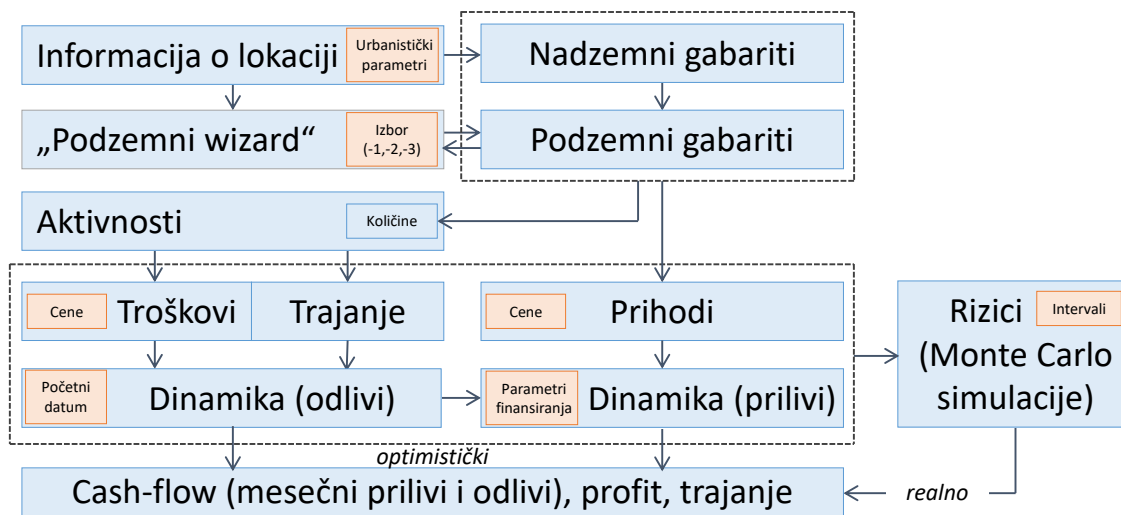
Ovakva situacija na građevinskim projektima motivisala je autore da kreiraju novu metodologiju i jedinstvenu aplikaciju za planiranje, kontrolu realizacije i upravljanje promenama. Cilj je da se procedure pojednostave, ali da one sadrže sve neophodne parametre upravljanja projektima: troškove, prihode, finansiranje, trajanja, dinamiku (realizacije, plaćanja i priliva), rizike i cash-flow. Pojednostavljenje procedura je u duhu savremenog pristupa upravljanju projektima - Lean koncepta, koji podrazumeva “minimiziranje utroška resursa u cilju generisanja maksimalne vrednosti” (Koskela u [6]). Predložena aplikacija se sastoji od modula za planiranje i modula za realizaciju projekta. U ovom radu predstaviće se modul za planiranje koji služi za polu-automatsku pred-projektnu procenu dinamike, troškova i rizika za stambeno-poslovne objekte.

2. MODUL ZA PLANIRANJE

Modul za planiranje ima cilj da se, na osnovu malog broja lako dostupnih podataka o parceli i objektu koji se gradi, formira kompletan investicioni plan u formi mesečnog cash-flow-a koji sadrži najbitnije parametre projekta iz ugla investiranja - mesečne odlive i prilive (čime su definisani ukupni troškovi, prihodi i profit projekta), trajanje projekta i monetarizaciju rizika.

Šematski prikaz modula za planiranje je predstavljen na slici 1. Korisnik unosi podatke iz Informacije o lokaciji, bira broj podzemnih etaža uz pomoć „podzemnog wizarđa“, unosi troškove za predefisane aktivnosti, unosi prodajne cene po etažama (za stanove, lokale i parking mesta), određuje početni datum izvođenja radova i definiše parametre finansiranja projekta. Aplikacija radi sve ostalo – računa podzemne i nadzemne gabarite objekta, računa količine za ključne aktivnosti, računa troškove, trajanja i prihode, formira dinamički plan i mesečni cash-flow određujući tako trajanje projekta i

ostvaren profit. Korisnik zatim sagledava rizike, tako što za troškove svih aktivnosti, trajanje kritičnih aktivnosti i prodajne cene po etažama definiše intervale (u procentima) u okviru kojih vrednosti mogu da variraju. Aplikacija sprovodi Monte Carlo simulacije i proračunava statistički pouzdane vrednosti za ključne parametre projekta: troškove, prihode, profit i trajanje.



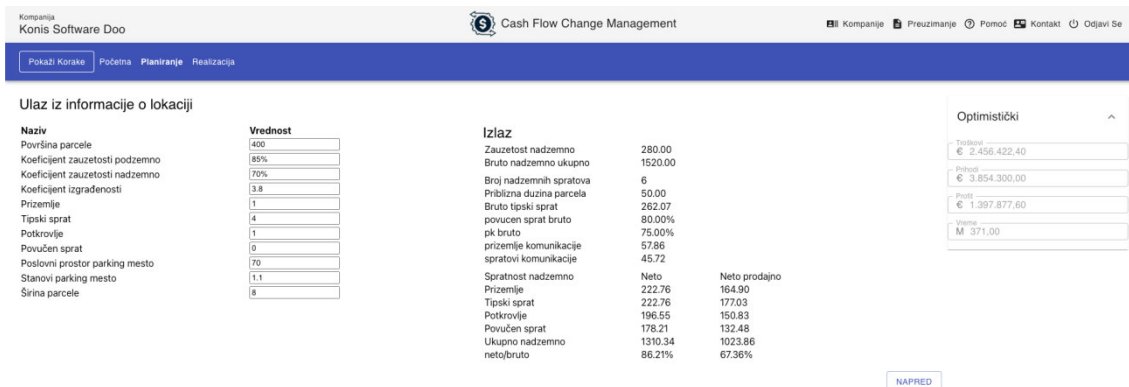
Slika. 1 Šematski prikaz modula za planiranje

Korisnik u svakom trenutku ima mogućnost vraćanja na prethodni korak (ekran) čime je omogućeno ispitivanje scenarija po svim opisanim parametrima, sve dok ne bude zadovoljan sa konačnim verzijom plana projekta. U narednim poglavljima objasniće se detaljnije metodološki koraci u formiranju plana i prikazati odgovarajući ekrani aplikacije.

Softverska aplikacija je razvijena korišćenjem kombinacije softverskih alata i komponenti otvorenog koda, na Java programskom jeziku, uz korišćenje Angular 14.0 razvojnog frameworka, Tomcat aplikativnog servera i MongoDB baze podataka. Softverska aplikacija je arhitekturno na prezentacionom korisničkom nivou razvijena kao web internet aplikacija, iza koje se nalazi logički transakcioni segment donjeg razvojnog sloja, uz komponentu za tabelarna prikazivanja i izveštavanje. Uz pomenute tehnološke alata, korišćene su i javne otvorene biblioteke, na bazi kojih je razvijena sasvim nova komponenta za tabelarni prikaz i tabelarno obračunavanje vrednosti. Sve komponente sistema su u javnom domenu korišćenja i ne zahtevaju dodatno licenciranje, kako u ovom trenutku razvoja, tako i u budućim životnim ciklusima aplikativnog rešenja. Rešenje je arhitekturno postavljeno tako da omogućava i postavljanje na lokalne računare / servere korisnika, tako i za instalaciju kod pružalaca cloud infrastrukturnih servisa, zavisno od preferenci i tehnoloških politika korisnika. Takođe, rešenje omogućava multi-tenancy korišćenje, što znači da jedna instalaciona instanca omogućava nezavisno i sigurno korišćenje od strane više korisnika / kompanija, bez kompromisa u bezbednosti podataka, privatnosti i u performansama.

2.1. ULAZNI PODACI I PRORAČUN GABARITA OBJEKTA

Ulazni podaci za proračun gabarita objekta su vezani za parcelu na kojoj se gradi objekat - njenu osnovnu geometriju i urbanističke parametre. Ovi podaci se nalaze u javno dostupnom dokumentu za svaku parcelu - Informaciji o lokaciji. Korisnik može lako i brzo doći do ovog dokumenta i uneti ulazne podatke, uz dodatni podatak o širini parcele. Ulazni ekran je prikazan na slici 2. Izlazni podaci se nalaze u desnom delu ekrana u vidu svih bitnih nadzemnih gabarita objekta. Bruto površine su egzaktna, dok se neto i neto-prodajne površine računaju preko empirijskih formula.



Slika. 2 Ulazni podaci i proračun gabarita objekta

Specifičnost proračuna gabarita predstavlja podzemni deo objekta, koji nije striktno propisan već je ostavljena mogućnost da investitor sam odredi broj podzemnih etaža a da pri tom obezbedi neophodan broj parking mesta. Izbor broja podzemnih etaža zapravo je kompromisno rešenje između troškova izgradnje (više podzemnih etaža - veći trošak) i lakše prodaje stanova (više podzemnih etaža - više parking mesta - manji stanovi - lakša prodaja). Osim toga na na troškove utiče i način komunikacije između etaža koja se može obaviti preko rampe ili auto-lifta, kao i način projektovanja parking mesta (sa ili bez „klackalica“). Zbog svega toga aplikacija nudi korisniku da izabere optimalnu varijantu nudeći mu parametre za realnih 12 kombinacija broja etaža (1, 2 ili 3) i komunikacije (rampa ili auto-lift, sa ili bez klackalica). Odgovarajući ekran je prikazan na slici 3.



Slika. 3 Izbor optimalne varijante podzemnog dela objekta

Aplikacija preko empirijskih formula, nastalih kao kombinacija geometrijskih zavisnosti i statističkih podataka sa realizovanih projekata, za svaku od 12 kombinacija računa: ukupan broj parking mesta, odgovarajuću prosečnu neto površinu stanova i dodatni trošak po neto prodajnom kvadratu u odnosu na najjeftiniju varijantu – jednu podzemnu etažu sa rampom i bez klackalica. Tako korisnik može da izabere svoju optimalnu kombinaciju u pogledu troška i prodaje. U ovom primeru, kombinacija auto-lifta i dve podzemne etaže daje stanove prosečne površine 51,2m² uz dodatni trošak od 305€/m² u odnosu na varijantu jedne podzemne etaže i rampe sa 9 stanova prosečne površine od 113,8m². Izbor zavisi od lokacije, odnosno u slučaju da se veliki stanovi mogu dobro prodati onda je bolja druga varijanta. Glavno pitanje za investitora je da li se manji stanovi mogu prodati za 300€ više po kvadratu i obrnuto? Bez aplikacije je vrlo teško sagledati ovu problematiku pre izrade projektne dokumentacije.

2.2. DEFINISANJE AKTIVNOSTI, TROŠKOVA I TRAJANJA

Pre izrade dinamičkog plana neophodno je sagledati statičke elemente planiranja: troškove i trajanja za unapred utvrđenu strukturu aktivnosti.

2.2.1. Aktivnosti

Uobičajen postupak na nivou detaljnog planiranja (više u sledećem poglavlju) podrazumeva WBS na nivou vrsta radova i LBS na nivou lokacija (spratova) rezultirajući u stotinama aktivnosti. Međutim, na samom početku projekta, podaci za određivanje trajanja i troškova na tom nivou detaljnosti nisu na raspolaganju. Iz ugla investitora takva detaljnost je nepotrebna čak i u fazi izvođenja radova. Praktično, investitoru je dovoljna podela na broj različitih ugovora koje potpisuje sa izvođačima i drugim učesnicima, a maksimalno do nivoa svih vrsta radova. Predložena struktura aktivnosti podrazumeva predefinisani mali broj aktivnosti koje su značajne za troškove (troškovno-značajne stavke), dinamiku (glavni tokovi ili su na kritičnom putu) ili kvalitet (gde nivo kvaliteta utiču na troškove i prodajnu cenu)

Aktivnosti su podeljene u tri grupe:

- Aktivnosti „mimo gradnje“ - aktivnosti sa početka projekta koje se odnose na nabavku parcele, projektovanje, upravljanje projektom i troškove pribavljanja dozvola po objedinjenoj proceduri.
- Aktivnosti „koje se ne vide“ – građevinski radovi koji su bitni sa aspekta troškova i dinamike ali nisu bitni korisnicima objekta (šipovi, iskopi, temelji, AB radovi, zidarski radovi)
- Aktivnosti „koje definišu kvalitet“ – građevinsko-zanatski radovi i opremanje koji su nivoom kvaliteta bitni kupcima a nivoom troškova investitorima (instalacije, keramika, parketi, vrata, prozori, liftovi, fasada, spoljno uređenje)

Navedene grupe aktivnosti čine predefinisanu strukturu od 27 aktivnosti sa dodatnom aktivnošću „ostali radovi“ za svaku grupu, koja kompenzuje manje bitne pozicije.

2.2.2. Troškovi

Definisanje troškova podrazumeva da korisnik unese troškove za svih 27 aktivnosti. Na slici 4 prikazan je ekran za unos troškova.

| Naziv | NDT | MP | ki | MPki | c | C | Trošak | Trajanje |
|--|---------|------|-------|------|-----------|---|------------|--------------|
| AKTIVNOSTI MIMO GRADNJE | | | | | | | | |
| Kupovina parcele | pausal | | | | 76000 | | 760,000.00 | |
| Upravljanje projektom | pausal | | | | 17800 | | 17,800.00 | |
| Projektovanje | bruto | 2200 | | | 25 | | 55,000.00 | |
| Gradsko građevinsko zemljište, takse | pausal | | | | 131034.48 | | 131,034.48 | |
| Ostali radovi - rezerva | pausal | | | | 100000 | | 100,000.00 | |
| | | | | | | | Suma: | 1,063,634.48 |
| AKTIVNOSTI KOJI SE 'NE VIDE' | | | | | | | | |
| Šipovi | kom | 58 | | | 800 | | 46,400.00 | 20 |
| Zalžića temeljne jame sa iskopom i HI | obim | 696 | | | 75 | | 52,200.00 | 44 |
| AB radovi - podzemno | bruto | 680 | | | 180 | | 122,400.00 | 22 |
| AB radovi - nadzemno | bruto | 1520 | | | 150 | | 228,000.00 | 16 |
| Zidarski radovi - spoljni zidovi | bruto | 1520 | 0.859 | 1306 | 80 | | 39,175.31 | 12 |
| Zidarski radovi - unutrašnji zidovi | bruto | 1520 | 0.704 | 1070 | 25 | | 26,748.06 | 5 |
| Zidarski radovi - malterisanje | bruto | 1520 | 2.946 | 4477 | 9 | | 40,294.53 | 16 |
| Zidarski radovi - košuljica | bruto | 1520 | 0.763 | 1160 | 8 | | 9,279.42 | 16 |
| Krov sa termikom i olucima | sprat | 178 | 1.08 | 192 | 75 | | 14,434.76 | 30 |
| Ostali radovi - rezerva | pausal | | | | 50000 | | 50,000.00 | |
| | | | | | | | Suma: | 628,932.08 |
| AKTIVNOSTI KOJI DEFINISU KVALITET | | | | | | | | |
| Završni radovi - podzemno | bruto | 680 | | | 80 | | 54,400.00 | 30 |
| VW - instalacije | bruto | 1520 | | | 30 | | 45,600.00 | 16 |
| Elektro - instalacije | bruto | 1520 | | | 60 | | 91,200.00 | 16 |
| Mašinske - instalacije | bruto | 1520 | | | 45 | | 68,400.00 | 16 |
| Mašinske - liftovi | f | 1 | | | 45000 | | 85,000.00 | 30 |
| Keramčarski radovi sa HI | bruto | 1520 | 0.551 | 837 | 45 | | 37,654.20 | 16 |
| Molersko farbarski radovi | bruto | 1520 | 2.624 | 3988 | 8 | | 31,906.10 | 16 |
| Stolarski radovi - vrata | bruto | 1520 | 0.057 | 86 | 180 | | 146,269.32 | 16 |
| Parketarski radovi | bruto | 1520 | 0.535 | 813 | 60 | | 5,188.59 | 16 |
| Bravarski radovi - stolarija | bruto | 1520 | 0.131 | 199 | 210 | | 41,763.43 | 16 |
| Bravarski radovi - ograde | bruto | 1520 | 0.055 | 84 | 90 | | 7,551.36 | 30 |
| Suva gradnja | bruto | 1520 | 0.236 | 358 | 25 | | 8,243.57 | 16 |
| Fasaderski radovi | obim | 1548 | 1.102 | 1705 | 25 | | 59,679.27 | 62 |
| Spoljno uređenje | A(1-ki) | 120 | | | 50 | | 6,000.00 | 15 |
| Ostali radovi - rezerva | pausal | | | | 75000 | | 75,000.00 | |
| | | | | | | | Suma: | 763,855.84 |
| | | | | | | | Ukupno: | 2,456,422.40 |

Slika. 4 Unos troškova projekta

Postoje tri različita tipa aktivnosti po pitanju načina definisanja troškova:

- Aktivnosti sa paušalnom cenom za aktivnosti „mimo gradnje“ (osim za projektovanje) i za „ostale radove“.
- Aktivnosti sa cenom po karakterističnom parametru izvedenom iz gabarita objekta. Na primer, po „kvadratu objekta“ (projektovanje, instalacije, AB radovi), obimu podzemnog dela objekta (zaštita temeljne jame) površini parcele bez objekta (spoljno uređenje).
- Aktivnosti sa cenom po jedinici mere. Ovde se uvodi značajna metodološka i funkcionalna novina jer je neophodno da aplikacija prvo generiše količine da bi korisnik zatim unosio cene po jedinici mere. Metodološki, ovo je omogućeno na osnovu obrade baze projektovanih objekata na kojoj je utvrđeno da se za stambeno-poslovne objekte količine mogu statistički dobro predvideti uvođenjem „koeficijentom količine“ kojim se množi „merodavni parametar“. Najčešće je merodavni parametar neto površina zgrade. Na primer, količina prozora se dobija množenjem nadzemne neto površine sa koeficijentom 0,131. Na slici 4 prikazane su kolone sa merodavnim parametrima (MP) i koeficijentima količina (ki). *Puno objašnjenje ovog postupka sa prikazom baze projekata i statističkih parametara kojima se validiraju koeficijenti količina prevazilazi obim ovog rada.* Ovaj način unosa troškova omogućava da se jediničnom cenom definiše nivo kvaliteta radova (na primer, jednična cena za PVC ili ALU prozore). Funkcionalno, ovo je veoma korisno jer omogućava ispitivanje scenarija u pogledu visine ulaganja u kvalitet, značajno unapređujući korisnost predloženog postupka planiranja. Viši nivo kvaliteta omogućava više prodajne cene ali ova zavisnost nije linearna i zavisi od lokalnih tržišnih uslova. Za navedene aktivnosti ovo ujedno predstavlja i prirodan način definisanja troškova (za prozore, teško je dati cenu „po kvadratu“ zgrade ali je lako dati „po kvadratu“ prozora).

2.2.3. Trajanja

U ovoj fazi razvoja aplikacije trajanja su predefinisana empirijskim formulama u skladu sa logikom dinamičkog plana koji će biti objašnjen u sledećem poglavlju. Trajanja su zapravo neophodna samo za mali broj aktivnosti, pre svega za glavni tok - izradu konstrukcije jednog tipskog sprata, zato što aplikacija koristi logiku ritmičnog ciklograma. Trajanja su predefinisana zato što bi neiskusni korisnik, unoseći neusklađena trajanja za aktivnosti, formirao neracionalnu ili nemoguću dinamiku.

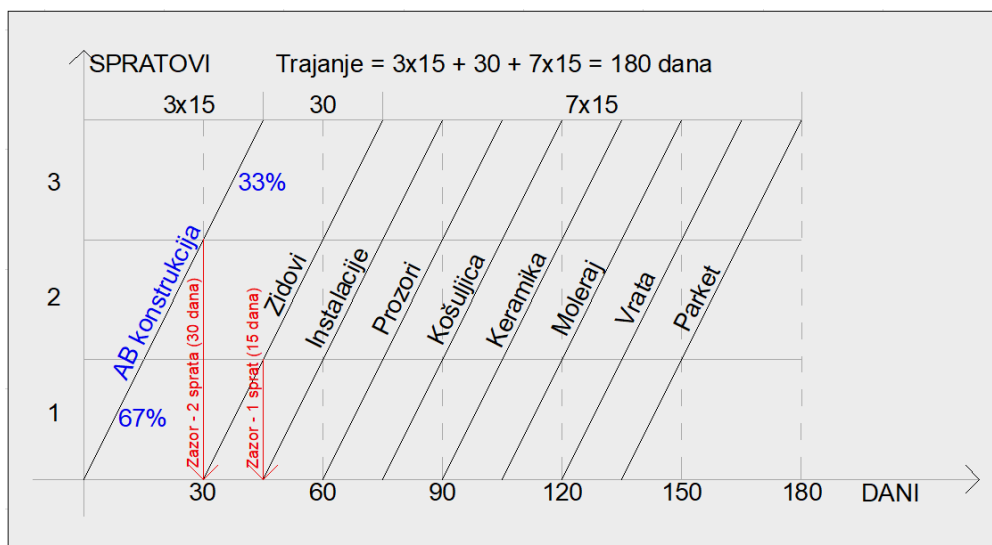
2.3. DINAMIČKI PLAN - UNIVERZALNI RITMIČNI CIKLOGRAM

Kao što je već navedeno, cilj predloženog pristupa je da se na osnovu malog broja lako dostupnih podataka automatski formira dinamički plan. Ovo je, sa naučne tačke gledišta, najsloženiji postupak u aplikaciji. Pre izrade automatskog dinamičkog plana neophodno je sagledati postojeće nivoe planiranja i potrebe investitora po tom pitanju. Na građevinskim projektima postoje tri nivoa planiranja:

- Master planiranje služi da se inicijalno sagleda projekat, sadrži desetak aktivnosti, bez posebne metodologije izrade, najčešće tabelarno.
- Nivo detaljnog planiranja podrazumeva sagledavanje svih vrsta radova po svim lokacijama (WBS i LBS), normiranje i dodelu resursa aktivnostima. Ovaj nivo planiranja rade izvođači prilikom pripreme ponude na tenderu u specijalizovanim softverima kao što su MS Project ili Primavera.
- U fazi realizacije izvođači detaljne planove razrađuju na nedeljni i dnevni nivo, koristeći posebne metodologije kao što su Last Planner [6] ili Work Cycle Scheduling [7].

Investitorovim potrebama ne odgovara nijedan od ovih nivoa. Master plan nije dovoljan a detaljni i operativni planovi su previše detaljni. Zato se predlaže uvođenje specifičnog nivoa planiranja koji podrazmeva: 1) strukturu aktivnosti na nivou vrste radova i 2) automatsku izradu dinamičkog plana. Predložena struktura aktivnosti je objašnjena u poglavlju 2.2.1. Što se tiče automatskog planiranja, ono se ne može uopšteno sprovesti za sve tipove građevinskih projekata. Nije moguće formirati opšti spisak aktivnosti, a još manje uspostaviti tehnološke veze i odrediti trajanja. Međutim, za određeni tip objekata, moguće je sagledati aktivnosti na glavnom WBS nivou. Za stambeno-poslovne objekte to su glavne vrste radova koje se ponavljaju istim redosledom na svakoj zgradi (od temelja do krova, od AB radova do krećenja). Hipoteza je da se, za stambeno-poslovne objekte, može automatski kreirati dinamički plan na nivou vrsta radova. Predložena metodologija, nazvana “Univerzalni ritmični ciklogram” (URC), bazira se na predefinisanoj strukturi aktivnosti (univerzalnost), identičnim trajanjima za glavne tokove (ritmičnost) i predefinisanim zazorima između početaka tokova (po logici direktnog kreiranja ciklograma).

Na Slici 5 prikazan je deo predloženog URC-a. Da bi se kreirao ritmični ciklogram potrebno je odrediti trajanje samo prvog toka na tipskom spratu i vremenske zazole za početak narednih tokova. U slučaju zgrada, prvi tok su AB radovi na konstrukciji. Uobičajeno je da nakon izrade dve etaže počnu zidarski radovi, dok je zazor između zanatsko-završnih radova trajanje izrade jedne etaže. Trajanje AB radova na tipskom spratu se određuje empirijskom formulom spram površine etaže. Podelom sprata na taktove postiže se paralelizacija radova i slično trajanje na spratovima manje i veće površine. Ukupno trajanje izgradnje određeno je brojem spratova, trajanjem AB radova na jednoj etaži i brojem tokova.



Slika. 5 Univerzalni ritmični ciklogram

Na primeru sa slike 5, ako na trospratnoj zgradi trajanje AB radova na jednoj etaži iznosi 15 dana, onda je za 9 tokova ukupno trajanje $3 \times 15 + 2 \times 15 + 7 \times 15 = 180$ dana. Ovo je dovoljno tačno za inicijalni plan koji se kreira na samom početku projekta, pre izrade bilo kakve projektne dokumentacije. Iz Informacije o lokaciji su dostupni gabariti objekta što je dovoljno za kreiranje URC-a. Detaljna dinamika ionako nije poznata pre tendera i ponuda izvođača.

Na slici 6 prikazan je dinamički plan koji je određen predefinisanim vezama baziranim na URC-u i predefinisanim trajanjima. Jedini ulazni podatak koji korisnik unosi je početni datum, na osnovu čega se preračunavaju datumi početaka i krajeva aktivnosti. Dinamički plan u aplikaciji se odnosi samo na fazu izvođenja radova zato što se trajanja aktivnosti koje prethode gradnji ne mogu predvideti u opštem smislu jer zavise od

bezbroj mogućih komplikacija koje se mogu javiti na konkretnoj parceli, kao i od preferencija investitora kada je u pitanju projektovanje - nažalost često potcenjenog značaja, troška i trajanja na sopstvenu štetu.

| Naziv | Trajanje | Početak | Kraj | Početak datumski | Kraj datumski |
|--|----------|---------|------|------------------|---------------|
| AKTIVNOSTI KOJI SE "NE VIDE" | | | | | |
| Šipovi | 20 | 1 | 20 | 01/04/2023 | 20/04/2023 |
| Zaštitna temeljne jame sa iskopom i HI | 44 | 21 | 64 | 21/04/2023 | 03/06/2023 |
| AB radovi - podzemno | 44 | 65 | 108 | 04/06/2023 | 17/07/2023 |
| AB radovi - nadzemno | 96 | 109 | 204 | 18/07/2023 | 21/10/2023 |
| Zidarski radovi - spoljni zidovi | 68 | 141 | 208 | 19/08/2023 | 25/10/2023 |
| Zidarski radovi - unutrašnji zidovi | 29 | 209 | 237 | 26/10/2023 | 23/11/2023 |
| Zidarski radovi - malterisanje | 96 | 173 | 268 | 20/09/2023 | 24/12/2023 |
| Zidarski radovi - košuljica | 96 | 189 | 284 | 06/10/2023 | 09/01/2024 |
| Krov sa termikom i olucima | 30 | 253 | 282 | 09/12/2023 | 07/01/2024 |
| AKTIVNOSTI KOJI DEFINISU KVALITET | | | | | |
| Završni radovi - podzemno | 30 | 317 | 346 | 11/02/2024 | 11/03/2024 |
| VIK - instalacije | 96 | 157 | 252 | 04/09/2023 | 08/12/2023 |
| Elektro - instalacije | 96 | 157 | 252 | 04/09/2023 | 08/12/2023 |
| Mašinske - instalacije | 96 | 157 | 252 | 04/09/2023 | 08/12/2023 |
| Mašinske - liftovi | 30 | 206 | 235 | 23/10/2023 | 21/11/2023 |
| Keramičarski radovi sa HI | 96 | 205 | 300 | 22/10/2023 | 25/01/2024 |
| Molersko farbarski radovi | 96 | 221 | 316 | 07/11/2023 | 10/02/2024 |
| Stolarski radovi - vrata | 96 | 237 | 332 | 23/11/2023 | 26/02/2024 |
| Parquetarski radovi | 96 | 253 | 348 | 09/12/2023 | 13/03/2024 |
| Bravarski radovi - stolarija | 96 | 269 | 364 | 25/12/2023 | 29/03/2024 |
| Bravarski radovi - ograde | 30 | 206 | 235 | 23/10/2023 | 21/11/2023 |
| Suva gradnja | 96 | 221 | 316 | 07/11/2023 | 10/02/2024 |
| Fasaderski radovi | 62 | 303 | 364 | 28/01/2024 | 29/03/2024 |
| Spoljno uređenje | 15 | 365 | 379 | 30/03/2024 | 13/04/2024 |

Slika. 6 Dinamički plan baziran na URC-u

2.4. PRIHODI I FINANSIRANJE PROJEKTA

U prethodnom koraku definisana je dinamika troškova. Da bi se proračunao profit, neophodno je sračunati prihode projekta i troškove finansiranja.

2.4.1. Prihodi od prodaje delova objekta

Prihodi, koji se generišu prodajom delova objekta, definišu se prodajnom cenom po spratovima. To je dovoljno detaljno pod pretpostavkom da stanovi na jednom spratu isto koštaju, što ne mora biti tačno ali je dovoljno tačno za ovaj nivo planiranja. Detaljnija podela bi zahtevala projektovanje stanova po spratovima. U aplikaciji korisnik unosi po spratovima prodajnu cenu po neto kvadratu stanova i lokala, kao i po parking mestu.

2.4.2. Troškovi finansiranja projekta

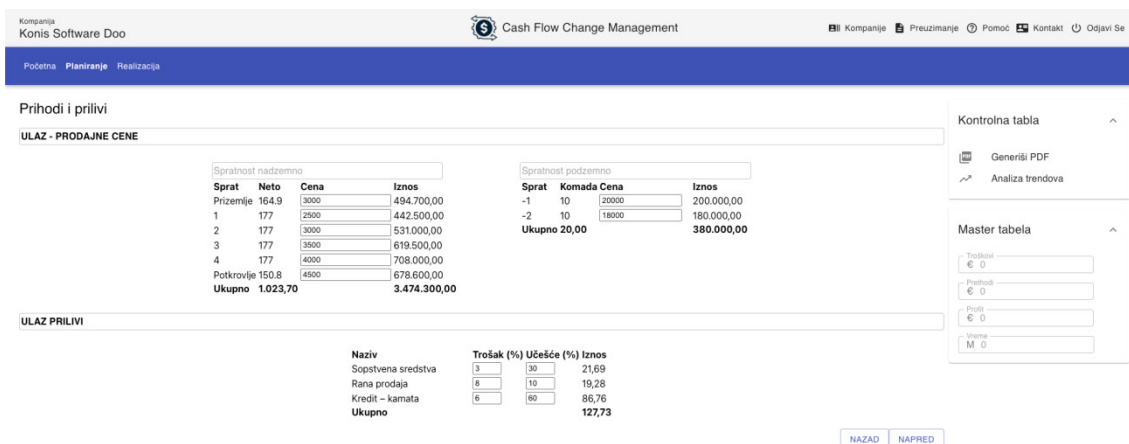
Finansiranje projekata izgradnje stambeno-poslovnih objekata se najčešće vrši na jedan od tri načina ili njihovom kombinacijom:

- Sopstvena sredstva
- Projektno finansiranje – kredit banke
- Rana prodaja delova objekta

Investitori biraju metod uglavnom prema osećaju ili kako jedino mogu, ali bi zapravo trebalo raditi po principu minimalnog troška kapitala. Zato se u aplikaciju unose upravo parametri koji definišu koštanje kapitala, u procentima:

- Sopstvena sredstva - oportuni troškovi
- Projektno finansiranje - kamata
- Rana prodaja delova objekta - popust za ranu prodaju

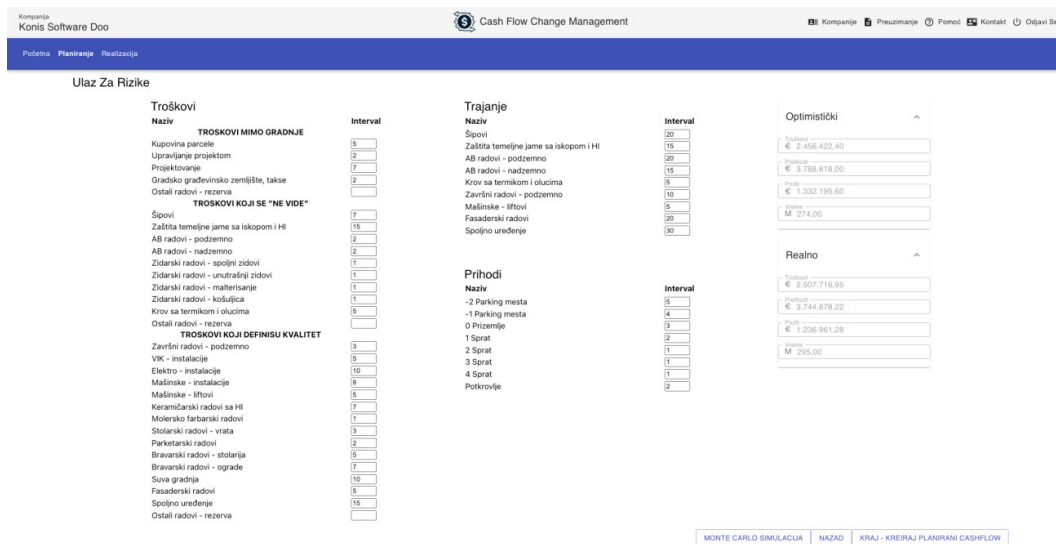
U aplikaciji je zatim korisniku pružena mogućnost da unese učešće svih izvora u ukupnom trošku finansiranja (za sračunate troškove u 2.2.2). Za unetu kombinaciju troška kapitala i učešća proračunava se trošak finansiranja. Ovaj korak bi mogao da se automatizuje tako što bi se redom trošili dostupni izvori finansiranja, od jeftinijih ka skupljim. Na slici 7 je ekran za unos prodajnih cena i parametara izvora finansiranja, na kojem se takođe nalazi proračun ukupnih prihoda projekta i troškova finansiranja.



Slika. 7 Unos prihoda i parametara finansiranja projekta

2.5. UTICAJ RIZIKA NA TROŠKOVE, PRIHODE I TRAJANJE PROJEKTA

Praksa pokazuje da građevinski projekti po pravilu prekoračuju budžete i rokove, pa su prethodno sračunati finansijski parametri projekta zapravo optimističke vrednosti. Neophodno je da investitori sagledaju realniju varijantu i da na osnovu nje donesu najvažniju odluku na projektu – da li graditi na određenoj parceli ili ne? Praktično, potrebno je da sagledati nivo poremećaja koji projekat može da izdrži. Današnji odnos troškova i prihoda ide na ruku investitorima ali to može da se promeni. Realna varijanta plana projekta se dobija sagledavanjem uticaja rizika na troškove, prihode i trajanja. Postavlja se pitanje kako kvantifikovati rizike na jednostavan način. Predloženi pristup koristi Monte Carlo simulacije koje se vrlo često primenjuju u upravljanju rizicima na građevinskim projektima [8]. Na slici 8 prikazan je ekran za ispitivanje uticaja rizika.



Slika. 5 Kvantifikacija rizika Monte Carlo simulacijama

Za troškove, prihode i trajanja definišu se granice intervala u okviru kojih se očekuje variranje vrednosti (veći troškovi, manji prihodi i duža trajanja). Korisnik u aplikaciju unosi odgovarajuće procenete. Aplikacija generiše slučajne brojeve i tako bira vrednost iz intervala hiljadu puta. Rezultujuće vrednosti za ukupne troškove, prihode i trajanja se računaju kao srednje vrednosti iz hiljadu iteracija. S obzirom da su realni intervali relativno mali (0-20%), veća preciznost od srednje vrednosti nije potrebna (npr. intervali poverenja). U glavnom delu ekrana se unose granice intervala. U desnom delu ekrana prikazane su optimističke i realne vrednosti troškova, prihoda, profita i trajanja na osnovu kojih investitor može pouzdano doneti odluku o investiranju u projekat.

2.6. IZLAZ IZ MODULA ZA PLANIRANJE – FINANSIJSKI KVANTIFIKOVAN GANTOGRAM

Da bi se ostvarila interaktivna veza između gabarita objekta, troškova, trajanja, dinamičkog plana, prihoda, finansiranja i cash-flow-a, i da bi mogli lako da se ispituju scenariji po svim navedenim kategorijama, osmišljena je posebna tabelarna forma za prikaz dinamičkog plana koja je nazvana „Finansijski kvantifikovan gantogram“ (FKG), prikazan na slici 9. Aktivnosti su definisane cenom i dinamikama realizacije i plaćanja. Dinamike su izražene u mesečnim procentima, što omogućava da se prikažu sve moguće kombinacije koje se javljaju u praksi po pitanju načina plaćanja (što inače nije moguće u Project-u). U primeru na slici 9, aktivnost se realizuje tokom 4 meseca a plaćanje se odvija putem avansa, jedne privremene situacije i konačnog obračuna.

| | Cena | Kontrola | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul |
|----------------------|----------|----------|---------|------|-------|-----|-----|-----|
| Dinamika realizacije | 150.000€ | 100% | | 15% | 35% | 30% | 20% | |
| Dinamika plaćanja | 150.000€ | 100% | 20% | | | 60% | | 20% |

Slika. 9 Finansijski kvantifikovan gantogram – koncept

Da bi se formirao cash-flow, prilivi su definisani u posebna tri reda, takođe preko ukupnih iznosa i mesečnih procenata. Aplikacija raspoređuje procenat realizacije pretvaranjem URC-a u FKG, preračunavanjem pripadajućih dana svakom mesecu i pretvaranjem u procenat. Dinamiku plaćanja i dinamiku priliva korisnik definiše direktno u FKG-u slobodno raspoređujući mesečne procenat. FKG je ujedno i izlazni rezultat iz modula za planiranje, koji korisnik kreira nakon ispitivanja svih scenarija kretanjem napred-nazad kroz sve opisane ekrane.

Na slici 10 prikazan je izgled FKG-a u aplikaciji, sa tri aktivnosti i tri izvora finansiranja. U dnu ekrana je kumulativni cash-flow koji predstavlja kontrolnu meru za finansijsku održivost projekta (pozitivne vrednosti za svaki mesec). U primeru na slici, korisnik bi morao da preuredi mesečne procenat za plaćanje i/ili prilive da bi eliminisao negativne vrednosti u osmom i devetom mesecu.

The screenshot displays a software interface for financial planning. It features a main table with columns for months from Jan-M1 to Oct-M10. The table is divided into sections: 'PLACANJA' (Payments) and 'PRILIVI' (Inflows). The 'PLACANJA' section includes rows for 'Konstrukcija' (Construction) and 'Zanatski' (Craftsmanship), each with sub-rows for 'Realizacija' (Realization) and 'Plaćanja' (Payments). The 'PRILIVI' section includes 'Stan 1' (Apartment 1), 'Kredit' (Loan), and 'Sopstvena sredstva' (Own funds). A 'CASH-FLOW KUMULATIV' row at the bottom shows cumulative values. On the right, there is a 'Kontrolna tabla' (Control panel) with options like 'Kopiraj Cash Flow', 'Kreiraj novi Cash Flow', and 'Lista Cash Flow-a'. Below that, 'Cash Flow Parametri' (Cash Flow Parameters) includes input fields for 'Prethodni troškovi', 'Troškovi prednje', 'Troškovi finansiranja', 'Troškovi ukupno', 'Prilivi', 'Prilivi', 'Prilivi (na sopstvena sredstva)', and 'Stop meseci sa rezervom - 10%'. At the bottom, there are buttons for 'ZAKLJUČAJ' and 'SNIMI CASH FLOW', and a status bar indicating 'POSLEDNJI PUT SNIMLJENO LESS THAN 6 SECONDS AGO'.

Slika. 10 Finansijski kvantifikovan gantogram u aplikaciji

FKG se koristi u fazi realizacije projekta prvo za unos stvarnih procenata prilikom potpisivanja ugovora a onda za mesečnu kontrolu i upravljanje promenama preraspodelom procenata preostale realizacije direktno u aplikaciji, što pojednostavljuje koordinaciju realizacije na mesečnim preseccima.

3. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen modul za planiranje, prvi deo inovativne metodologije i jedinstvene aplikacije za planiranje, kontrolu realizacije i upravljanje promenama na građevinskim projektima. Modul za planiranje služi za polu-automatsku pred-projektну procenu dinamike, troškova i rizika za stambeno-poslovne objekte.

Metodologija je bazirana na tri originalna naučna koncepta u oblasti planiranja: univerzalnom ritmičnom ciklogramu koji omogućava automatsku izradu dinamičkog plana, finansijski kvantifikovanom gantogramu koji omogućava istovremeni prikaz dinamika realizacije, plaćanja i finansiranja u jedinstvenoj interaktivnoj tabelarnoj formi, i proceduri za proračun količina karakterističnih vrsta radova bez projektne dokumentacije. Metodologija FKG se može primeniti na svim građevinskim projektima dok je URC osmišljen za stambeno-poslovne objekte. Predložena metodologija omogućava realistično planiranje na samom početku projekta sa ispitivanjem scenarija i sagledavanjem rizika u cilju donošenja informisane odluke o investiranju u projekat, a sve na osnovu malog broja lako dostupnih ulaznih podataka.

Modul se sastoji od sukcesivnih koraka/ekrana kroz koje korisnik redom definiše gabarite objekta (sa posebnim „podzemnim wizardom“ za izbor optimalnog broja podzemnih etaža), troškove, trajanja, izvore finansiranja, dinamički plan i uticaj rizika na finansijske parametre projekta i ukupno trajanje. Održivost finansiranja projekta se proverava na nivou kumulativnog cash-flow-a. Krećući se napred-nazad kroz ekrane i varirajući ulazne vrednosti korisnik ispituje scenarija. Ulazni podaci za kompletan postupak planiranja su: podaci iz Informacije o lokaciji, izbor broja podzemnih etaža, troškovi za aktivnosti, prodajne cene, parametri izvora finansiranja, početni datum dinamičkog plana i granice intervala rizika za Monte Carlo simulacije.

Predložena metodologija planiranja ne može i ne treba da zameni detaljno dinamičko planiranje koje izvođači rade prilikom izrade ponude, ali je dovoljno dobra za investitora, kako za planiranje tako i za kontrolu realizacije.

Iz ugla investitora, predložena aplikacija može da zameni sve ostale aplikacije, jer sadrži sve neophodne parametre upravljanja projektom – troškove, prihode, finansiranje, dinamiku realizacije, plaćanja i priliva, rizike i cash-flow.

LITERATURA

- [1] Hwang, B. & Low, L., 2012. "Construction project change management in Singapore: Status, importance and impact". *International Journal of Project Management*, 30(817-826).
- [2] Zayed, T. & Liu, Y., 2014. "Cash flow modeling for Construction projects". *Engineering Construction & Architectural Management*, 21(2), pp. 170-189.
- [3] Ostojić-Škomrlj, N. & Radujković, M., 2012. "S-curve modelling in early phases of construction projects". *Građevinar*, 64(8), pp. 647-654.
- [4] Konior, J. & Szóstak, M., 2020. "Methodology of Planning the Course of the Cumulative Cost Curve in Construction Projects". *Sustainability*, 12(2347).
- [5] Stojadinović, Z., 2018. "Claims on construction projects – quantification and prevention“. Andrevlje, *Contemporary Construction Practice 2018*, pp. 83-112.
- [6] Forbes, L. & Ahmed, S., 2020. *Lean Project Delivery and Integrated Practices in Modern Construction*. second ed. New York: Routledge.
- [7] Marinkovic, D., Stojadinovic, Z. & Ivanisevic, N., 2013. Work cycle based scheduling. *Građevinar*, 65(11), pp. 993-10002.

Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects, EU Comission, 2014

MOSTOVI NA TRASI AUTOPUTA KUZMIN – SREMSKA RAČA

Ljubomir Vlasisavljević¹, Milica Radović²

Rezime:

Predmet ovog rada su mostovi i nadvožnjaci na trasi novog autoputa koji povezuje postojeći autoput E-70 sa graničnim prelazom Sremska Rača. Autoput počinje denivelisanom raskrslom Kuzmin i završava se novim drumskim mostom preko reke Save. Deonica autoputa je dužine oko 18 km, i na njoj se nalaze: dva nadvožnjaka u petlji Kuzmin, jedan u petlji Bosut, dva nadvožnjaka u trupu lokalnih puteva koji se ukrštaju sa novoprojektovanim autoputem, sedam drumskih mostova, jedan železnički most kao i jedanaest pločastih propusta. Nadvožnjaci su prednapregnute mostovske konstrukcije dužine do 300 m, koje se sastoje od nekoliko dilatacionih celina. Mostovi u trupu autoputa su konstrukcije pojedinačnih raspona od 13 m - 41 m. Najduži most na trasi je preko reke Bosut, dužine 108 m. Pločasti propusti su multifunkcionalni objekti koji služe za prolaz meliracionih kanala i kao koridor za prolaz vodozemaca.

Ključne reči: Kuzmin, Sremska Rača, Mostovi, Nadvožnjaci, Autoput

BRIDGES ON THE HIGHWAY ROUTE KUZMIN - SREMSKA RAČA

Summary:

The subject of this paper are bridges and overpasses on the route of the new highway that connects the existing highway E-70 with the Sremska Rača border crossing. The highway begins at the Kuzmin intersection and ends with a new road bridge over the Sava River. The section of the highway is about 18 km long, and on it there are: two overpasses in the Kuzmin loop, one in the Bosut loop, two overpasses in the body of local roads that intersect with the newly designed highway, seven road bridges, one railway bridge as well as eleven plate culverts. Overpasses are prestressed bridge structures up to 300 m long, consisting of several expansion units. Bridges in the body of the highway are structures of individual spans of 13 m - 41 m. The longest bridge on the route is over the Bosut River, 108 m long. Plate culverts are multifunctional objects that serve for the passage of meliration channels and as a corridor for the passage of amphibians.

Ključne reči: Kuzmin, Sremska Rača, Bridges, Overpasses, Highway

¹ Dipl. građ. inž. vodeći projektant Saobraćajni institut CIP, Beograd, Srbija,
ljubomir.vlasisavljevic@sicip.co.rs

² Dipl. građ. inž. vodeći projektant Saobraćajni institut CIP, Beograd, Srbija,
milica.radovic@sicip.co.rs

1. UVOD

Deonica Autoputa od Kuzmina do Sremske Rače, dužine oko 18km, projektovana je kao deo budućeg autoputnog pravca prema Bijeljini. Rad je sastavljen na osnovu PZI Autoputa Kuzmin – Sremska Rača od km 0+000.00 do km 16+587.85. Osnova za izradu krajnje faze Projekta su bili Idejni Projekat i Projekat za građevinsku dozvolu, prihvaćeni od strane nadležnih Komisija i Institucija. Trasa novog autoputa prolazi kroz vojvođansku ravnicu. Levi i desni kolovoz su spojeni tako da širina razdelnog pojasa na celoj trasi iznosi 4m. Standardna širina leve i desne kolovozne trake je po 11.5m. Specifičnost trase je da se ukršta sa velikim brojem meliracionih kanala, međunarodnom rekom Bosut, kanalima koji su označeni kao ekološki koridori kao i da sadrži dve denivelisane raskrsnice. Trasa u svojoj neposrednoj blizini ima i Bosutske šume koje su stanište zaštićene vrste divljih mačaka i u procesu su dobijanja statusa Prirodnog rezervata. Navedeni uslovi su doveli do toga da na trasi ima:

- jedanaest pločastih multifunkcionalnih propusta i deset cevastih propusta,
- dva mosta u zoni ekoloških koridora , dva mosta preko meliracionih kanala, most preko reke Bosut i dva mosta za prolaz lokalnih puteva
- tri nadvožnjaka u denivelisanim raskrsnicama i dva nadvožnjaka u trupu lokalnih puteva
- jedan železnički most na mestu ukrštaja devijacije puta za Sremsku Raču i pruge Šid - Bijeljina.

Tab. 1 Prikaz objekata na trasi

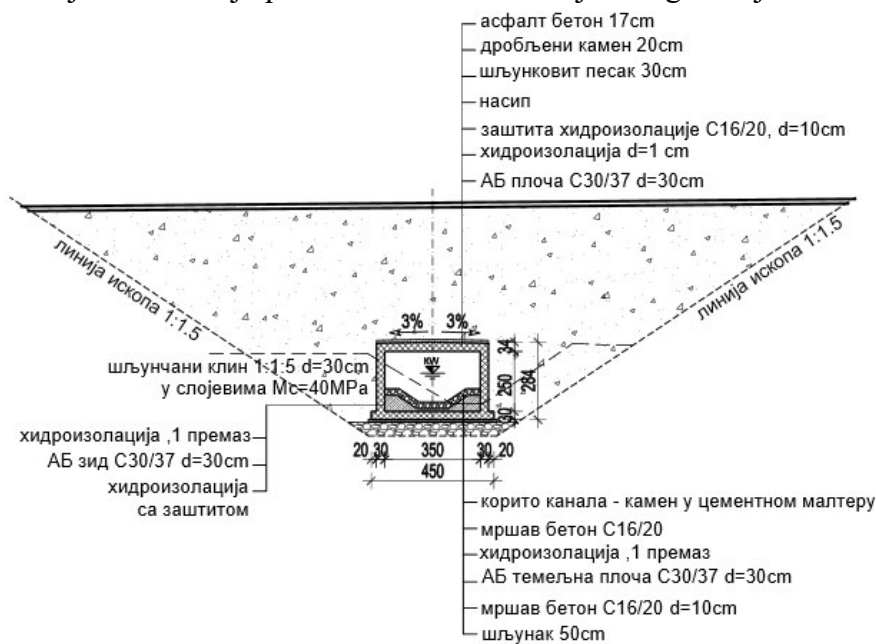
| redni broj | Stacionaža (km) | Opis | Rasponi (m) | Dužina (m) |
|------------|--------------------------|-----------------|--|------------|
| 1 | 0+588.47 | Nadvožnjak N1 | 27+3x38.2+28.2+ +28.2+2.38.2+27 | 312.7 |
| 2 | 0+513.09 | Nadvožnjak N2 | 27+38.2+28.2+ +28.2+3x38.2+27 | 274.5 |
| 3 | 0+429 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 4 | 0+720 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 5 | 1+015 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 6 | 1+650,86 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 7 | 1+947.425 | Most M1 | 13+18+13 | 56 |
| 8 | 2+164 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 9 | 2+904.18 | Most M2 | 14m | 30 |
| 10 | 3+341.56 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 11 | 3+773 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 12 | 4+479 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 13 | 4+876.64 | Nasvožnjak N3 | 26+3x36+26 | 173.20 |
| 14 | 5+764 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 15 | 6+280.18 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 16 | 6+659 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 17 | 6+829.89 | Most M3 | 20 | 42 |
| 18 | 7+336.51 | Most M4 | 14 | 30 |
| 19 | 7+850.52 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 20 | 8+214.82 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 21 | 8+577.5 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 22 | 0+257.14 | Pločast propust | 3x1.4 | |
| 23 | 0+836.111 0+840.12d | Nasvožnjak N4 | 26+36+26+26+3x36+26 | 281 |
| 24 | 10+362.55 | Nasvožnjak N5 | 24.2+3x25+24.2+1,6+ +24.2+3x25+24.2 | 260 |
| 25 | 10+505.191 10+493.17d | Most M5 | 33.4+41.4+33.4 | 121.8 |
| 26 | 10+881.14 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 27 | 11+011.5 | Most M5 | 5 | 21.4 |
| 28 | 11+080 | Cevast propust | Ø1600 | |
| 29 | 11+811.05 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 30 | 13+166.54 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |
| 31 | 13+668.81 | Most M7 | 13+18+13 | 57.5 |
| 32 | 0+218.315 | Most M8 | 19.1 | 21.7 |
| 33 | 14+526.11 | Pločast propust | 3.5x2.2 | |

Svi objekti su projektovani i dimenzionisani u skladu sa važećim SRPS – EN standardima (SRPS EN 1990:2012, SRPS EN 1991-1 do SRPS EN 1991-5, SRPS EN 1992-1-1 i SRPS EN 1992-2, SRPS EN 1997-1, SRPS EN 1998-1; SRPS EN 1998-2;

SRPS EN 1998-5), dok su karakteristike materijala usvojene prema SRPS EN 206:2017 i U.M1-206:2013.

1.1. PROPUSTI

Uslovima PZZP¹ zahtevana su planska i tehnička rešenja kojima se obezbeđuje očuvanje biološke raznovrsnosti. U skladu sa tim uslovima svi hidrotehnički objekti koji predstavljaju klopku za životinje koje se kreću koritom moraju da se projektuju tako da obezbede bezbednu migraciju tih vrsta. Od ukupno dvadeset i jedne lokacije jedanaest je određeno kao zone migracije vodozemaca. Obzirom da su u pitanju mesta ukrštaja meliracionih kanala i autoputa, za te lokacije su postojali i posebni Vodni uslovi². Nadležnim intitucijama je predloženo rešenje koje zadovoljava sve navedene uslove. Korito meliracionog kanala je u skladu sa uslovima Voda Vojvodina³ u zoni regulacije moralo da se obloži. Takođe, vodozemci uglavnom migriraju po suvom tako da je i taj uslov morao da se ispuni. Takvo rešenje bi u velikoj meri otežalo održavanje objekta obzirom na njegove male dimenzije koje su prethodno određene dimenzijama kanala. Na pomenutim lokacijama projektovani su propusti svetlog otvora 3.5x2.2m. Za oblogu korita izabran je kamen u cementnom malteru kao najpogodnije rešenje za migraciju vodozemaca. Ivce korita su projektovane tako da budu iznad kote srednje vode kanala, kako bi sve vrste mogle neometano da migriraju većim delom godine. Dodatno, na dužini od trideset metara sa svake strane propusta, na ulazi i izlazu, predviđene glatke betonske barijere koje služe da dodatno obeshrabre sitne životinje i uvedu ih u propuste. Propusti su projektovani kao betonski boksevi. Debljine svih elemenata 30cm. Nasip ispred i iza objekta zatvaraju paralelna viseća krila koja omogućavaju formiranje kegli.



Slika. 1 Karakterističan poprečni presek pločastog propusta

¹ PZZP – Pokrajinski zavod za zaštitu životne sredine, Novi Sad

² Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo, Novi Sad

³ JVP "Vode Vojvodine", Novi Sad



Slika. 2 Izveden pločasti propust – ulaz



Slika. 3 Izveden pločasti propust

1.2. MOSTOVI

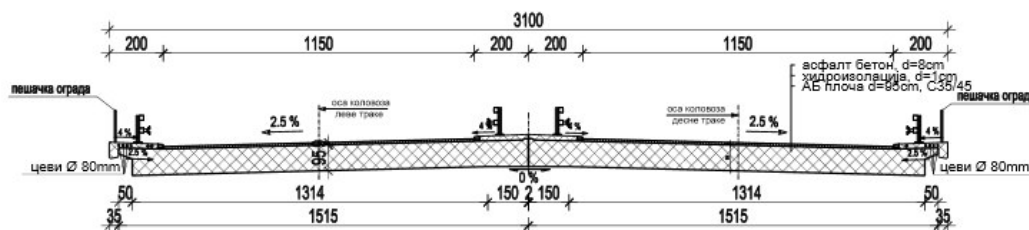
Rešenja mostova su proistekla kako iz uslova nadležnih institucija tako iz potrebe da se konstrukcije koliko je moguće tipiziraju.

1.2.1. Jednorasponski mostovi

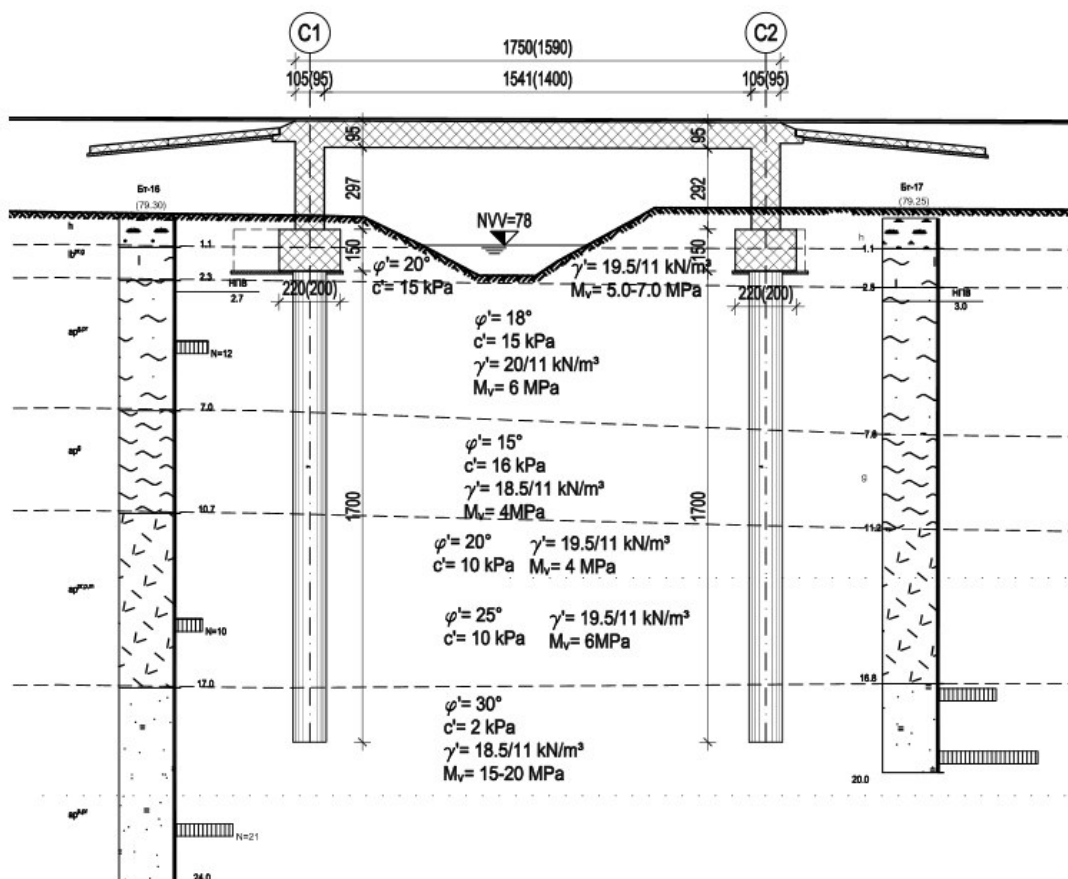
Uslovima PZZP označene su sve lokacije mostova preko meliracionih kanala koje su i koridori za kretanje sitne i krupne divljači. Most preko Grčanskog kanala na km

7+336.51 je koridor za kretanje krupne divljači, dok je most preko kanala Beglučina na km 2+904.18 koridor za kretanje srednje i sitnije divljači. Na tim mestima je potrebno obezbediti prohodnost obale kao i zahtevani ideks slobodnog prostora. Iz navedenih uslova proistekla su tipska rešenja za mostove sa svetlim otvorom 14m. Ovi kanali, uslovima Voda Vojvodina, nisu smeli da se regulišu, tako da je zadržan prirodni kosi ukrštaj sa autoputem. Most je ram sa krutom vezom stub-ploča pri dnu povezan sa trakastim temeljima. Trakasti temelji se oslanjaju na po jedan red šipova Ø1200. Gornja ploča i stubovi mosta su debljine 95cm, oslanjaju se na naglavne grede debljine 150 cm. Geološki parametri tla su , pogotovo na početku trase, vrlo nepovoljni. Gornji slojevi tla su prašinsto-peskovite gline dok se fundiranje obavlja u prašinstim peskovima. Dužina šipova na ovim mostovima su 17m odnosno 16m.

Javnim uvidom u Prostorni plan predstavnici lokalne samouprave su na početki trase tražili dodatni prolaz za vozila ispod autoputa. Na km 11+011.5 projektovan je jednorasponski most svetlog otvora 5m. Most je istog statičkog sistema kao i ostali jednorasponski mostovi na trasi. Dimenzije konstrukcije su prilagođene rasponima tako da je gornja ploča debljine 40cm, dok se stubovi debljine 50cm oslanjaju na naglavne ploče debljine 120cm. Obzirom na manje raspane most je fundiran na šipovima Ø900 dužine 14m.



Slika. 4 Karakterističan poprečni presek jednorasponskih mostova na trasi



Slika. 5 Podužni presek mosta preko kanala Beglučina



Slika. 6 Izgled izvedenog mosta svetlog otvora 14m

Kanal Vrtić je uslovima Voda Vojvodina označen kao ekološki koridor. Kanal je zemljani i nalazi se u okviru sistema meliracionih kanala za navodnjavanje, koji pripadaju vodnom području dva vodoprivredna preduzeća: VDP Hidrosrem d.o.o, Sremska Mitrovica i VDP Šidina d.o.o, Šid. Uslovima je definisano da se položaj kanala ne sme menjati, tako da je zadržan ugao ukrštaja kanala i autoputa od 55° . Dispozicionim rešenjem projektovan je most, koji u jednom rasponu, svetlog otvora $L = 20\text{m}$ premošćuje kanal. Uzimajući u obzir ugao ukrštaja Autoputa i mosta ($\approx 55^\circ$), tako projektovana zakošena konstrukcija je raspona $L=26,59\text{ m}$, u pravcu osovine Autoputa. Sa obe strane kanala, u rasponu mosta je prema uslovima nadležnih institucija ostavljen prostor za prolaz sitne divljači, od oko min. 50cm. Zemljano korito melioracionog kanala se u zoni mosta takođe oblaže.

Most je istog statičkog sistema kao i ostali jednorasponski mostovi na trasi. Obzirom na loše parametre tla na početku trase, kao i na veliki raspon mosta trakasti temelj se oslanjaju na po dva reda šipova prečnika $\varnothing 1500\text{mm}$ dužine 19m. Gornja ploča mosta je promenljive visine u poprečnom preseku, od 165cm kod stubova do 100cm u polju. Stubovi mosta su debljine 165cm, a oslaonjeni su na naglavne grede debljine 180 cm.



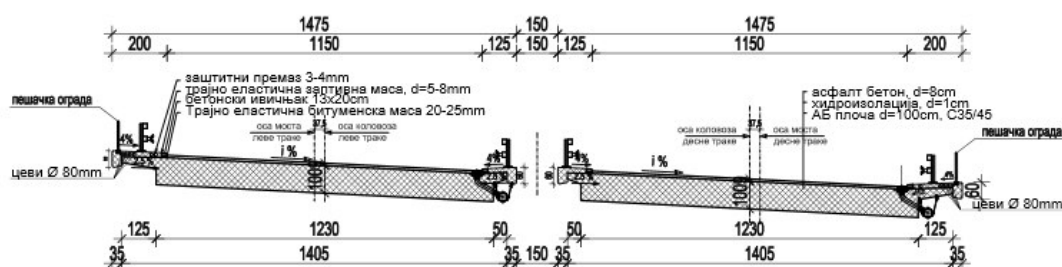
Slika.7 Izgled izvedenog mosta M3 preko kanala Vrtić

1.2.2. Mostovi dužine do 50m

Most preko Glavnog kanala na km 13+668.81 je uslovima PZZP-a određen kao mesto prolaza krupne divljači. Na ovoj lokaciju osim meliracionog kanala nalazi se i zemljani kolski put kao veza okolnih obradivih površina. Navedeni uslovi doveli su do konstrukcije mosta koju čini trobrodni ram raspona 13+18+13. Kroz srednji raspon prolazi Glavni kanal, dok je poslednji raspon ostavljen za prolaz kolskog puta, uz signalizaciju za divljač na putu.

Na km 1+947.425 autoput se ukršta sa postojećim putem za ciglanu, uz koji prolazi i kanal za odvodnjavanje puta. Uslovi fundiranja kao i visina nasipa dali su isto rešenje i na ovoj lokaciji: trorasponski most raspona 13+18+13. Krajnji rasponi su ikorišćeni za prolaz kegli tako da su smanjena i krila.

Mostovska konstrukcija je kontinualni integralni trobrodni ram. Ploča rama kruto je vezana za stubove mosta. Glavni nosač je kolovozna ploča, debljine 100 cm. Srednji stubovi su platna debljine 90cm. Most na km 1+947.425 je zbog izuzetno nepovoljnih geoloških uslova fundiran na dva reda šipova Ø1200 dužine 19m odnosno 23m. Most na km 13+668.81 je fundiran na jednom redu šipova Ø1200 dužine 13m odnosno 17m i 15m.



Slika. 8 Karakterističan poprečni presek višerasponskih mostova na trasi



Slika. 9 Izgled izvedenog mosta preko Glavnog kanala

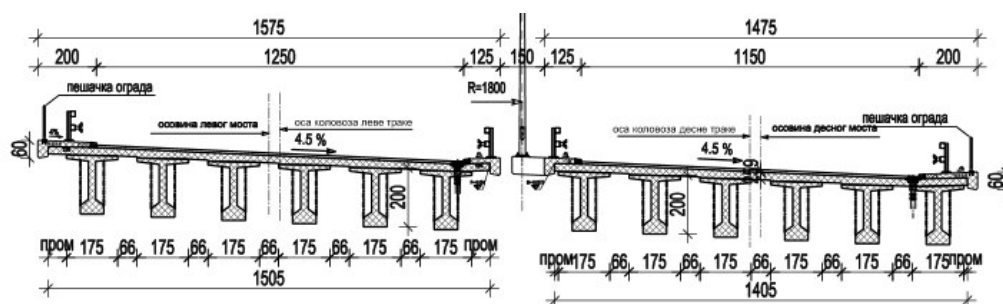


Slika. 10 Izgled izvedenog mosta preko puta za ciglanu

1.2.3. Most preko reke Bosut

Na km 10+505.19 novi autoput se ukršta sa rekam Bosut. Na mestu ukrštaja sa novim autoputem reka Bosut je na kraju svog toka, pre samog ušća u reku Savu i nije plovna. Na tom mestu se nalazi i crpna stanica koja reguliše mrežu meliracionih kanala. Obzirom da se na tom potezu reka usporeno kreće uslovima JVP Vode Vojvodine je dozvoljeno da se postave srednji stubovi u rečno korito. Istim vodnim uslovima zahtevana je i radno inspekciona staza ispod mosta u širini od 10 m. Rasponi mosta su proistekli i iz zahteva PZZP-a da se obezbedi prohodnost obale ispod mosta radi prolaza krupne divljači.

Dispozicionim rešenjem projektovan je most sa tri polja, raspona 33.4+41.4+33.4 m, ukupne dužine 110 m. Konstrukcija mosta je armiranobetonska, prethodno napregnuta kontinualna greda, oslonjena preko ležišta na kvadere krajnjih i srednjih stubova. Za glavni nosač primenjen je isti tip prednapregnutih nosača kao i za prilazne konstrukcije mostu preko Save. Zbog niske nivelete krajnji rasponi su skraćeni.



Slika. 11 Karakterističan poprečni presek mosta preko reke Bosut

Mostovi u levoj i desnoj traci su smaknuti u osnovi, obzirom da je ukrštaj reke i autoputa 52° . Most je pozicioniran vrlo blizu izlaza iz petlje Bosut, tako da je leva traka u zoni mosta širine 12.5m. Ovakvo rešenje je posledica pomeranja ovog dela trase iz zone Bosutskih šuma.



Slika. 12 Izvođenje mosta preko reke Bosut

Srednji stubovi mosta se sastoje iz tri kružna stuba $\text{Ø}130\text{cm}$ fundirana na po 6 šipova $\text{Ø}1200$ dužine 20m. Obalni stubovi su platna debljine 230cm, fundirani na 8 $\text{Ø}1200$ dužine takođe 20m.



Slika. 13 Izgled mosta preko reke Bosut

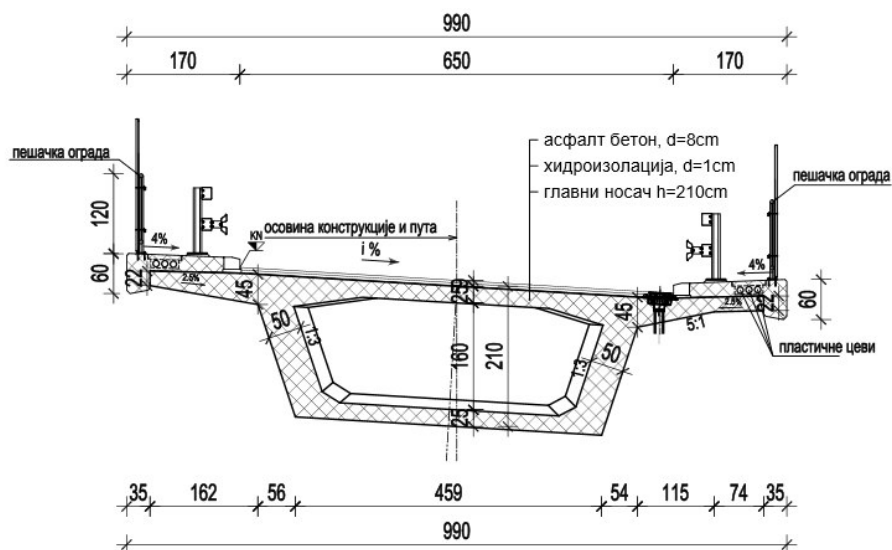
1.3. NADVOŽNJACI

Prilikom usvajanja konstrukcije nadvožnjaka vodilo se računa o optimalnoj visini nasipa, fazama izvođenja radova u zavisnosti do položaja nadvožnjaka ali i o mogućnosti tipiziranja rešenja.

1.3.1. Nadvožnjaci u petlji Kuzmin

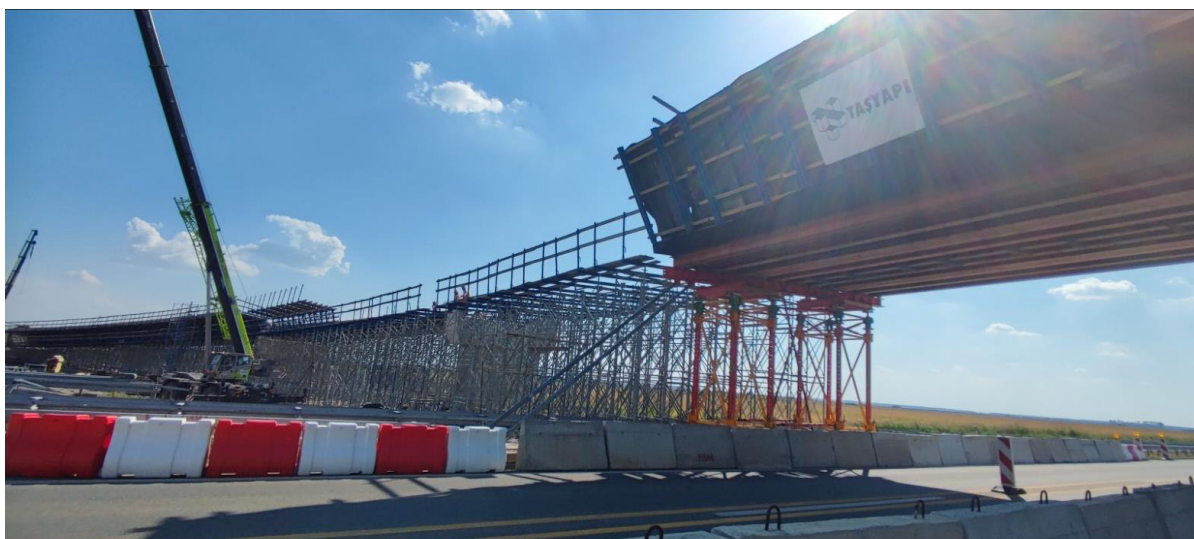
Denivelisana raskrsnica Kuzmin povezuje postojeći autoput za Zagreb i novu saobraćajnicu Kuzmin - Sremska Rača. Raskrsnica ima dva kraka koji preskaču postojeći autoput za koji je bilo neophodno obezbediti odvijanje saobraćaja u toku izvođenja radova. Otpimalna visina nasipa, obzirom na loše parapetre tla na početku

trase je bila oko 6m. Oba kraka petlje su u oštrim krivinama R180 odnosno R190 tako da su usvojena rešenja sa kontinualnim sandučastim nosačima.



Slika. 14 Karakteristični poprečni presek mostova u petlji Kuzmin

Dispozicionim rešenjem projektovani su nadvožnjaci koji se sastoje od 2 dilatacione celine. Prva konstrukcija nadvožnjaka u osi 4 je u zoni iznad autoputa i ima pet polja $27+3 \times 38.2+27$, ukupone dužine 169.8m. Druga konstrukcija je u zoni iznad novog kraka 3 petlje Kuzmin i ima 4 polja raspona $28.2+2 \times 38.2+27$, ukupne dužine 130.4m. Predviđeno je izvođenje nadvožnjaka na skeli faznim betoniranjem 'polje po polje'. Prvo se izvodi konstrukcija sa četiri raspona, između osa S10-S6, napredujući od S10 ka S6 sa četiri faze betoniranja. Nakon toga se izvodi petorasponska konstrukcija između osa S6-S1, napredujući od S6 ka S1, u pet faza betoniranja. Prekidi betoniranja su predviđeni u zoni najmanjih napreznja ≈ 7.5 m od ose stuba. Prva konstrukcija nadvožnjaka u osi 3 je na 3 polja, sa osovinskim rastojanjem stubova $27+38.2+28.2$ m, tj. ukupne dužine 93,4m. Druga konstrukcija je u zoni iznad autoputa, na 5 polja, raspona $28.2+3 \times 38.2+27$ m, tj. ukupne dužine 169,8m. Trorasponska konstrukcija nadvožnjaka u osi 3, između osa S1-S4, se izvodi livenjem sva tri raspona istovremeno. Nakon toga se izvodi petorasponska konstrukcija između osa S4-S9, napredujući od S4 ka S9, u pet faza betoniranja.



Slika. 15 Izvođenje petlje Kuzmin u zoni Autoputa Beograd-Šid

Srednji stubovi mostova su armirano betonska platna debljine 120cm, konstantnog poprečnog preseka po visini, polukružno oblikovani na krajevima. Krajnji stubovi su platna debljine 190cm. Svi stubovi su fundirani na bateriji od 6Ø1500 dužine 26m.



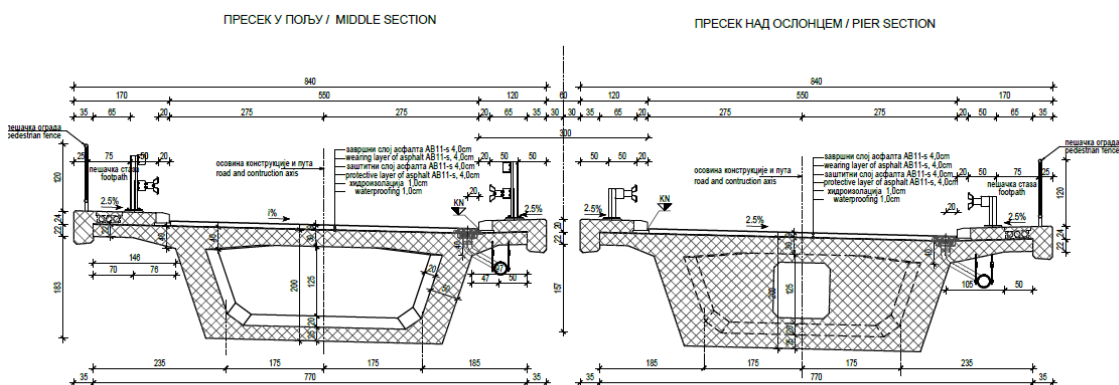
Slika. 16 Izvođenje petlje Kuzmin stubovi nadvožnjaka



Slika. 17 Izvođenje petlje Kuzmin

1.3.2. Nadvožnjaci u petlji Bosut

Na km 9+992.01 novi Autoput se ukršta sa petljom „Bosut“. Objekti na trasi petlje projektovani su tako da se ukrštaju sa Autoputem pod uglom od $\approx 78^\circ$. Širina Autoputa u zoni objekata iznosi 28,0m, sa razdelnim pojasom od 4.00m.



Slika. 18 Karakteristični poprečni presek nadvožnjaka u petlji Bosut

Za svaku traku petlje projektovan je poseban objekat, čije se ose nalaze na međusobnom osovskom rastojanju od 8.50m. Osovina puta u osi petlje je delom u pravcu i prelaznoj krivini. U zoni iznad Autoputa niveleta petlje je u vertikalnoj krivini $R_v=2000m$, dužine 240m.



Slika. 19 Izvođenje petlje Bosut

Mostovske konstrukcije u trupu petlje su rešene, svaka u svojoj traci, kao betonske prethodno napregnute, od po dve dilatacione celine, sa rasponima: dilataciona celina 1, od stubova 1-4: 26.0+36.0+26.0m, odnosno dilataciona celina 2, od stubova 4-9: 26.0+3x36.0+26.0m. Poprečni presek nadvožnjaka je usvojen kao sandučast sa ležištima na osovinskom rastojanju od 3,50m. Stubovi su međusobno smaknuti, što je posledica ukrštaja petlje sa trasom novog Autoputa i zahtevanim minimalnim rastojanjem bankine od lica stuba. Sam Autoput je premošćen rasponom između stubova 5 i 6, poštujući na krajevima minimalno rastojanje bankine od ivice stubova.



Slika. 20 Petlja Bosut i most preko reke Bosut

Konstrukcija nadvožnjaka je kontinualna a prethodno napregnuta kolovozna sandučasta konstrukcija, visine 200 cm, sa po 2 bočne konzole, što sa kolovozom od 5.50m, daje ukupnu širinu poprečnog preseka od 8.40m. Širina kolovozne ploče u nivou donje ivice konstrukcije je 420cm. Poprečni preseki konstrukcija su konstantne visine od 200 cm, raspona 26,00m, odn. 36,00m. Gornja ploča sandučastog nosača je konstantne debljine $d=30\text{cm}$ i prati poprečni pad kolovoza. Rebra nosača su promenljive debljine, od 50cm, u poljima, do 70cm, u zoni iznad oslonaca. Donja ploča sandučastog nosača je takođe promenljive debljine, od 25cm do 45cm, nad stubovima. Mostovske konstrukcije se na srednje i krajnje stubove, oslanjaju preko ležišta, kvadera i ležišnih greda.



Slika. 21 Izgled petlje Bosut i trase Autoputa

Srednji stubovi konstrukcija su koncipirani, sa po dva armirano-betonska kružna stuba, prečnika 120cm. Krajnji stubovi su u osnovi smaknuti, pre svega zbog ugla ukrštaja petlje sa trasom Autoputa. Kao posledica toga, uz krajnji stub 9, projektovan je potporni zid, koji se nalazi u razdelnom pojasu između stubova. S obzirom na geološki sastav i nosivost podloge mosta, predviđeno je fundiranje na šipovima prečnika $\Phi 1200\text{ mm}$. Svi stubovi mosta će imati po 4 šipa, prečnika $\Phi 1200\text{mm}$ i dužine 20,0m.

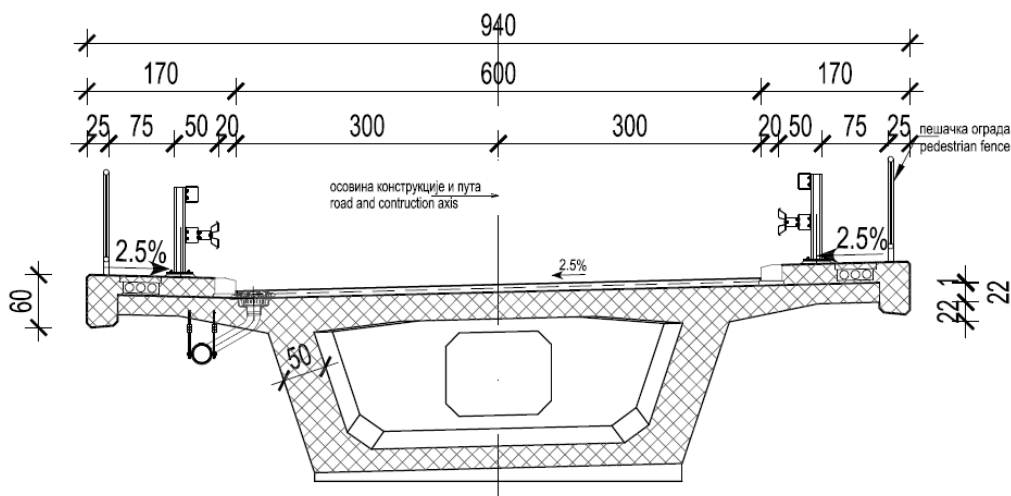
1.3.3. Nadvožnjaci u trupu lokalnih puteva

Projektom su predviđena dva nadvožnjaka u trupu lokalnih puteva. Nadvožnjak N4 na km 4+876.64 novog autoputa i nadvožnjak N5 u trupu puta za Bosut na km 10+362.55. Trasa lokalnog puta se na km 4+876.64, ukršta sa trasom novog Autoputa za Sremsku Raču pod uglom od $\approx 90^\circ$. Na ovom mestu je projektovan nadvožnjak za prelazak i pristup lokalnog stanovništva poljskim i obradivim površinama sa obe strane puta. U zoni objekta trasa Autoputa je u prelaznoj krivini, širine kolovoza sa bankinama od 30m. Trasa novoprojektovanog puta je u zoni objekta, na početku u vertikalnoj krivini poluprečnika $R_v=1500m$, i usponom od 6%, dok je na kraju u vertikalnoj krivini poluprečnika $R_v=1400m$ i podužnom padu od 6%. U zoni iznad Autoputa, trasa na nadvožnjaku je u vertikalnoj krivini $R_v=750m$, dužine 90m. Poprečni pad je promenljiv i iznosi 2.50%, zatim je na km 0+402.556 poprečni pad 0,00%, odakle se menja do 5.00% u kontra smeru, koliko iznosi u zoni kraja nadvožnjaka. Obzirom na tako projektovanu trasu u zoni objekta, kao racionalno rešenje usvojen je sandučast poprečni presek.

Ukupna dužina objekta uzimajući u obzir i krila iza krajnjih stubova iznosi 173.20m. Obzirom na prepreku bilo je moguće tipizirati konstrukcije tako da je usvojen isti raspored raspona kao i za petlju Bosut: 26.0+3x36.0+26.0m. Poprečni presek nadvožnjaka je takođe sandučast, sa ležištima na osovinskom rastojanju od 3.50m. Kroz srednji raspon nadvožnjaka između stubova 3 i 4, prolazi trasa Autoputa.

Konstrukcija nadvožnjaka je kao i kod ostalih nadvožnjaka sandučasta konstrukcija, visine 200 cm, sa po 2 bočne konzole, što sa kolovozom koji je 6,00m, daje ukupnu širinu poprečnog preseka mosta od 9.40m. Širina kolovozne ploče u nivou donje ivice konstrukcije je 420cm. Gornja i donja površina AB ploče prate promenu podužnog i poprečnog nagiba nivelete. Poprečni preseki konstrukcije su konstantne visine od 200 cm, raspona 26.00m, odn. 36.00m. Gornja ploča sandučastog nosača je konstantne debljine $d=30cm$ i prati poprečni pad kolovoza. Rebra nosača su promenljive debljine, te se menjaju od 50cm, u polju, do 70cm, u zoni iznad. Donja ploča sandučastog nosača je takođe promenljive debljine, od 25cm do 45cm, nad stubovima.

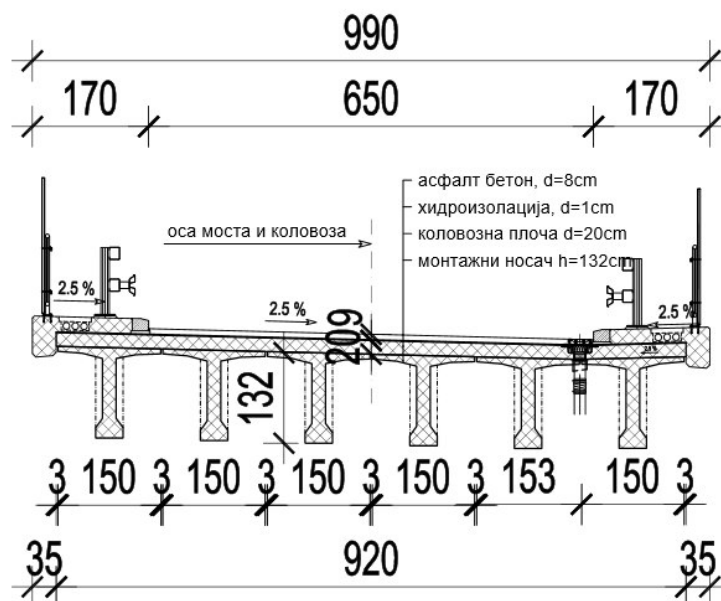
Srednji stubovi konstrukcije, formirani su kao i kod ostalih nadvožnjaka od po dva armirano-betonska kružna stuba, prečnika 100cm. Stubovi su fundirani na šipovima prečnika $\Phi 1200mm$ dužine po 18,0m.



Slika. 22 Karakteristični poprečni presek nadvožnjaka za lokalni put

Put za Bosut je u zoni nadvožnjaka saobraćajnica u pravcu, sa kolovozom konstantne širine 6.5m. Ugao ukrštaja puta i novog autoputa je 114° . Na ovoj lokaciji, obzirom na

specifičnost trase koja je na velikoj dužini u pravcu, optimalno je bilo rešenje sa montažnim nosačima. Jedan od zahteva izvođača je bila primena montažnih nosača.



Slika. 23 Karakterističan poprečni presek nadvožnjaka

Usvojena je zakošena kontinualna konstrukcija nadvožnjaka koja se sastoji iz dve dilatacione celine. Rasponi konstrukcije u pravcu ose mosta - puta su $24.2+3 \times 25+24.2+1.6+24.2+3 \times 25+24.2$. Ukupna dužina mosta je $2 \times 124.2=248,4\text{m}$. Srednje stubove S2–S5 i S7–S10 čine dva kružna stuba prečnika $\text{Ø}100\text{cm}$. Dilatacioni stub S6 se nalazi u razdelnom pojasu novog autoputa. Usvojen jedan kružni stub prečnika 130cm kako bi se zadovoljili uslovi bezbednosti saobraćaja. Krajnji stubovi su zidna platna debljine 120cm. Svi srednji stubovi uslanjaju se na bateriju od $4\text{Ø}1200$ dužine 20m. Krajnji stubovi se oslanjaju na bateriju od $6\text{Ø}1200$ dužine 20m.

LITERATURA

- [1] IDP Autoput Kuzmin – Sremska Rača od km 0+000.00 do km 16+587.85
Sveske 2/1.1.1 – 2/1.1.10 Projekat konstrukcije, SI CIP d.o.o, Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd
- [2] PGD Autoput Kuzmin – Sremska Rača od km 0+000.00 do km 16+587.85
Sveske 2/1.1.1 – 2/1.1.14 Projekat konstrukcije, SI CIP d.o.o, Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd
- [3] PZI Autoput Kuzmin – Sremska Rača od km 0+000.00 do km 16+587.85
Sveske 2/1.1.1 – 2/1.1.14 Projekat konstrukcije, SI CIP d.o.o, Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd
- [4] SRPS EN 1990 : 2012 Evrokod - Osnove projektovanja konstrukcija,
- [5] SRPS EN 1990/NA : 2012 Evrokod - Osnove projektovanja konstrukcija – Nacionalni prilog,
- [6] SRPS EN 1991-1-1 : 2012 Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-1: Opšta dejstva – Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade
- [7] SRPS EN 1991-1-1/NA : 2015 Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-1: Opšta dejstva – Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade – Nacionalni prilog
- [8] SRPS EN 1991-2 : 2012 Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije – Deo 2: Saobraćajno opterećenje na mostovima,

- [9] SRPS EN 1991-2/NA : 2019 Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije – Deo 2: Saobraćajno opterećenje na mostovima – Nacionalni prilog,
- [10] SRPS EN 1991-5 : 2012 Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-5: Opšta dejstva – Toplotna dejstva,
- [11] SRPS EN 1991-5/NA : 2017 Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-5: Opšta dejstva – Toplotna dejstva – Nacionalni prilog,
- [12] SRPS EN 1992-1-1 : 2015 Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade,
- [13] SRPS EN 1992-1-1/NA : 2015 Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade – Nacionalni prilog
- [14] SRPS EN 1992-2 : 2014 Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija – Betonski mostovi – Pravila projektovanja i konstruisanja,
- [15] SRPS EN 1992-2/NA : 2015 Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija – Betonski mostovi – Pravila projektovanja i konstruisanja – Nacionalni prilog,
- [16] SRPS EN 1997-1 : 2017 Evrokod 7 – Geotehničko projektovanje Deo 1: Opšta pravila
- [17] SRPS EN 1998-1 : 2015 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade,
- [18] SRPS EN 1998-1/NA : 2018 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade – Nacionalni prilog,
- [19] SRPS EN 1998-2 : 2012 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 2: Mostovi,
- [20] SRPS EN 1998-2/NA : 2018 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 2: Mostovi – Nacionalni prilog,
- [21] SRPS EN 1998-5 : 2012 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 5: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnički aspekti,
- [22] SRPS EN 1998-5/NA : 2018 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 5: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnički aspekti – Nacionalni prilog,
- [23] SRPS EN 206:2017 Beton – Specifikacija, performanse, proizvodnja i usaglašenost
- [24] SRPS U.M1-206:2013 Beton – Specifikacija, performanse, proizvodnja i usaglašenost – Pravila za primenu SRPS EN 206-1

FAKTORI KOJI DOPRINOSU KAŠNENJU PROJEKTA IZ PERSPEKTIVE IZVOĐAČA RADOVA: STUDIJA SLUČAJA - GRAĐEVINSKI PROJEKTI PUTNE INFRASTRUKTURE U SRBIJI

Marija Z. Ivanović¹, Đorđe Nedeljković², Zoran Stojadinović³

Rezime:

Infrastrukturni projekti su kapitalni projekti koji su veoma složeni u pogledu obima, trajanja i velikog broja učesnika. Prema postojećim studijama, prekoračenje vremena građevinskih projekata je jedan od najčešćih problema. Cilj ovog istraživanja je da se identifikuju uzroci kašnjenja u cilju razvoja mera za ublažavanje ili otklanjanje potencijalnih rizika i uspešnog završetka projekta u planiranom roku. Da bi se postigao definisani cilj, sprovedeno je empirijsko istraživanje kako bi se identifikovali glavni uzroci kašnjenja na projektima putne infrastrukture iz perspektive izvođača radova. Anketa je obuhvatila 53 uzroka kašnjenja grupisanih u 8 kategorija. Ukupno 35 izvođača je učestvovalo u empirijskom istraživanju. Rezultati su pokazali da su najčešći uzroci koji prouzrokuju prekoračenje vremena problemi sa projektnom dokumentacijom i tenderske procedure. Doprinosi ovog istraživanja mogu biti od koristi u cilju poboljšanja vremenskih performansi na projektima putne infrastrukture.

Ključne reči: vremenske performanse, uzroci kašnjenja, istraživanje, putna infrastruktura, upravljanje projektima

CONTRACTORS' PERSPECTIVE OF FACTORS CONTRIBUTING TO PROJECT DELAY: CASE STUDIES OF ROAD INFRASTRUCTURE PROJECTS IN SERBIA

Summary:

Infrastructure projects are capital projects that are very complex in terms of scale, duration, and large number of participants. Hence, the time overrun of construction projects is one of the most common issues as indicated by current studies. The aim of this research is to identify the causes of delays in order to implement measures to mitigate or eliminate the potential risks, ensuring successful project completion. To achieve this aim, empirical research was conducted to identify the major causes of delays in road infrastructure projects from the contractor's perspective. The questionnaire survey included 53 causes of delay grouped into eight major groups. In total, 35 contractors participated in this survey. The results showed that the most important causes of delays in road infrastructure projects in Serbia are design issues and the bidding process. The contributions of this research are useful to improve the time performance in road infrastructure projects.

Key words: time performance, causes of delay, survey, road infrastructure, project management

¹ asistent dr, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, mapetrovic@grf.bg.ac.rs

² doc. dr., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, ndjordje@grf.bg.ac.rs

³ vanr. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, joka@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Građevinski projekti su jedinstveni, unikatni i kompleksni poduhvati. Karakterišu ih povratni procesi, složeni odnosi i veliki broj učesnika koji proizvode značajan korpus podataka. Građevinski projekti su posebno skloni poremećajima, odnosno „crnim labudovima“ (*black swans*) [1], koji mogu značajno poremetiti tok projekta. Pomenute karakteristike, kao i složeni odnosi među zainteresovanim stranama, mogu uticati na uspeh i ciljeve projekta. Pored tradicionalnih ciljeva (gvozdeni trougao – vreme, cena i kvalitet) [2], savremeni građevinski projekti treba da zadovolje i aspekte održivog razvoja. Međutim, postojeća istraživanja o uspehu projekata svedoče da je ostvarenje tradicionalnih ciljeva i dalje izazovan zadatak.

Prema većini autora, vreme se apostrofira kao jedan od najznačajnijih ciljeva projekta [3–5] čiji neuspeh se može odraziti i na ostale ciljeve. Uprkos svom značaju, prethodna istraživanja ukazuju na veliki broj projekata koji su završeni sa značajnim prekoračenjem vremena izgradnje. Prema istraživanju CIOB - a (*The Chartered Institute of Building*) kašnjenja su prisutna na građevinskim projektima širom sveta, u rasponu od 29% do 81%, u zavisnosti od vrste projekata. Najduže kašnjenje projekta zabeleženo je pri izgradnji katoličke bazilike *Sagrada Familia* u Barseloni. Radovi su počeli 1882. godine i još uvek traju. Bostonski *Big Dig* je bio najskuplji projekat putne infrastrukture u US. Kašnjenje realizacije je iznosilo 9 godina. Aerodrom u Berlinu, koji je otvoren 2020. godine, dostigao je prekoračenje roka od 8 godina. Sedište Centralne evropske banke u Frankfurtu završeno je uz prekoračenje roka od 3 godine i prekoračenje troškova od približno 50% procenjene vrednosti radova. *Elbphilharmonie* koncertna dvorana u Hamburgu završena je uz kašnjenje radova od 7 godina i prekoračenje troškova od čak 1025% procenjene vrednosti [6].

Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da su kašnjenja globalni fenomen na koji nisu ostale imune ni razvijene zemlje ni zemlje u razvoju. Takođe, kašnjenja su prisutna kako na velikim infrastrukturnim projektima [5,7–9] tako i na projektima srednje i male veličine [10]. Stoga su potrebna ciljana istraživanja kako se ne bi donosili generalni zaključci koji neće doprineti umanjenu štetnih posledica kašnjenja po projekat. Cilj ovog istraživanja predstavlja otkrivanje uzroka kašnjenja na projektima putne infrastrukture u Srbiji iz perspektive izvođača radova. Na ovaj način popunjava se jaz u literaturi i povećava korpus znanja o uzrocima kašnjenja s ciljem da se eliminišu ili umanje kašnjenja na budućim projektima.

2. PREGLED POSTOJEĆE LITERATURE

Znanja o uzrocima kašnjenja na projektu imaju i teorijski i praktični značaj. U teorijskom smislu, uzroci kašnjenja mogu pružiti korisne podatke kako bi se razvili alati za upravljanje rizicima na projektima i povećala baza identifikovanih rizika kroz različita istraživanja. U praktičnom smislu, identifikovani uzroci kašnjenja mogu biti od koristi pri formiranju strategije za proaktivno upravljanje rizicima tokom realizacije projekta.

Iako je predmet istraživanja u ovoj studiji putna infrastruktura, pregledom literature obuhvaćene su i studije koje su se bavile i drugim vrstama građevinskih projekata. Važno je naglasiti da je u ovoj studiji prikazan deo rezultata sistematičnog pregleda literature o uzrocima kašnjenja publikovanih u periodu od 1985. do 2023. godine. Deljani rezultati pregledne analize su publikovani u doktorskoj disertaciji autora.

Od ukupnog broja razmatranih studija, najveći broj publikacije se odnosi na afričke i azijske zemlje (Slika. 1)¹. Do sličnih zaključaka su došli i autori u drugim studijama

¹ Prikaz rasprostranjenosti studija o uzrocima kašnjenja širom sveta nastao tokom istraživanja koji je deo doktorske disertacije autora

[11,12]. Pregledom studija koje se odnose na uzroke kašnjenja na građevinskim projektima uočen je najmanji broj studija za evropske zemlje.



Slika. 1 Zastupljenost studija o uzrocima kašnjenja širom sveta

Osim u teritorijalnom smislu, postoje i drugi razlozi za pretpostavku da su uzroci kašnjenja vezani za konkretan kontekst, odnosno za svaku studiju slučaja posebno. Na primer, glavni uzroci kašnjenja pri izgradnji puteva u Kambodži vezani su za vremenske uslove, odnosno kiše i poplave [13]. S druge strane, glavni uzroci kašnjenja u Palestini se odnose na nestabilnu političku situaciju koja se odražava na sve segmente građevinske industrije [14].

Jedan od najcitiranijih radova ove oblasti odnosi se na istraživanje uzroka kašnjenja za velike građevinske projekte u Saudijskoj Arabiji [5]. Na bazi 57 uspešno popunjenih upitnika došlo se do zaključka da su najznačajniji uzroci kašnjenja: (1) nalozi za izmene od strane investitora tokom izgradnje; (2) kašnjenja u plaćanju; (3) neefikasno planiranje; (4) nedostatak radne snage; (5) poteškoće u finansiranju od strane izvođača radova.

Studija [15] je razmatrala uzroke kašnjenja na građevinskim projektima u Portugalu. Metodologija istraživanja je obuhvatila pilot studiju i konačan upitnik koji se sastojao od 47 uzroka kašnjenja grupisanih u 9 kategorija. Za rangiranje uzroka kašnjenja korišćen je Indeks relativnog značaja - RII. Prema rezultatima 139 ispitanika, identifikovani su glavni uzroci kašnjenja: (1) sporost u donošenju odluka; (2) nalozi za izmene; (3) neodgovarajuća dinamika radova i ugovorne odredbe; (4) finansijska ograničenja izvođača; (5) vrsta nadmetanja tokom tenderskog postupka.

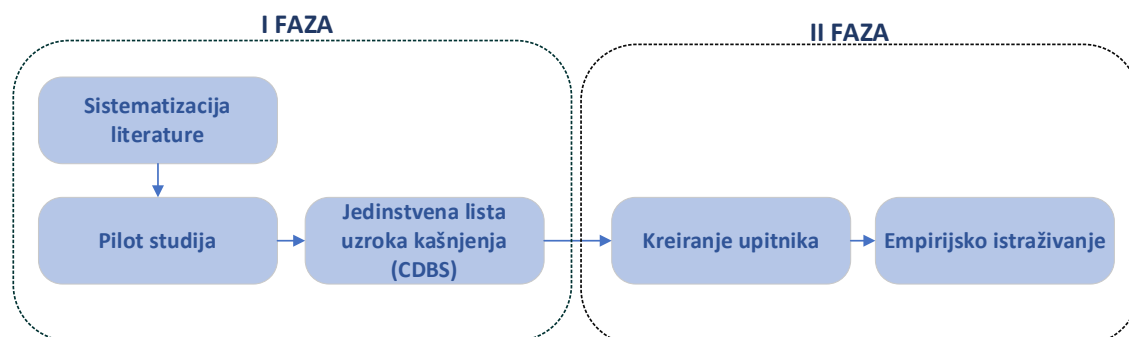
U studiji [16] su istraživani glavni uzroci kašnjenja na građevinskim projektima na Kipru. Na bazi 54 uspešno popunjene ankete došlo se do zaključka o najznačajnijim uzrocima kašnjenja i to: (1) različiti zahtevi i izmene od strane investitora; (2) greške i nedostaci projektne dokumentacije; (3) niska produktivnost; (4) neadekvatno iskustvo stručnog nadzora; (5) poteškoće u finansiranju od strane izvođača.

Studija [17] je identifikovala glavne probleme kašnjenja na građevinskim projektima u Sloveniji. Kad je reč o osnovnim uzrocima kašnjenja došlo se do saznanja da su osnovni uzroci pravne prirode - proces dobijanja građevinske dozvole. Jedan od zaključaka je da je veliki broj uzroka kašnjenja iz grupe za koje odgovornost preuzima investitor, a odnosi se na sporost u donošenju odluka, izmene projekta tokom izvođenja, kašnjenje i nepotpuna projekta dokumentacija.

Na osnovu sveobuhvatnog pregleda literature može se zaključiti da su uzroci kašnjenja jedinstveni na nivou različitog građevinskog tržišta, vrste građevinskog projekta, percepcije različitih učesnika i drugo. Na osnovu toga, ovo istraživanje ima za cilj da popuni jaz u literaturi u kontekstu identifikacije uzroka kašnjenja za projekte u Srbiji.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Razvoj metodologije istraživanja se sastoji iz dve faze. Prvi deo se odnosi na formiranje jedinstvene liste uzroka kašnjenja (*Causes od Delay Breakdown Structure – CDBS*), dok se drugi deo odnosi na kreiranje upitnika i sprovođenje empirijskog istraživanja (Slika 2).



Slika. 2 Metodologija istraživanja

Prateći preporuke u literaturi [3,5], CDBS lista je formirana kroz dve faze:

- I - sistematizacija uzroka kašnjenja
- II - pilot istraživanje

Sistematizacija uzroka kašnjenja predstavlja obiman zadatak i sastoji se od prikupljanja postojeće literature. Za potrebe istraživanja prikupljene su liste uzroka kašnjenja 80 akademskih članaka publikovanih u intervalu od 1985-2023. godina. Rezultat ovako detaljne analize jeste lista od 94 uzroka kašnjenja.

Pilot studija je, kao međukorak ka uspostavljanju konačne liste uzroka kašnjenja, prepoznata u većini istraživanja iz ove oblasti [3,18]. U pilot studiji su učestvovala tri građevinska inženjera sa preko 20 godina iskustva u oblasti upravljanja projektima. Pilot studija je imala za cilj:

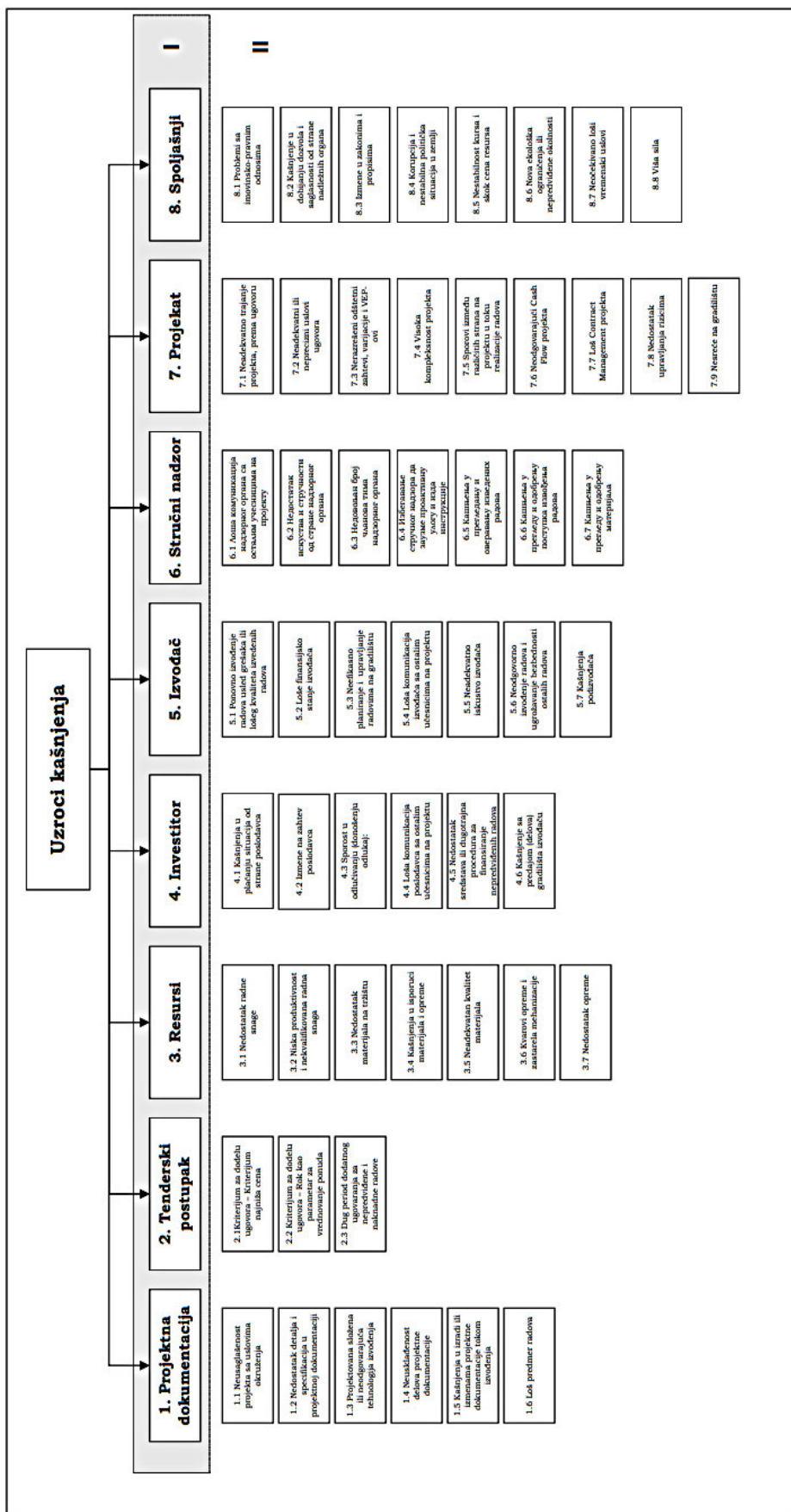
- Verifikaciju predložene liste identifikovanih uzroka kašnjenja iz prethodne faze;
- Identifikaciju, eventualnih, uzroka kašnjenja koji nisu obuhvaćeni dosadašnjim istraživanjima, a sa kojima su se susreli učesnici pilot studije.

Nakon sprovedene Pilot studije dobijena je lista od 53 uzroka kašnjenja grupisanih u 8 kategorija (Slika. 3). Osim združivanja već postojećih uzroka kašnjenja u logičke celine – grupe uzroka, doprinos pilot studije jesu i dva uzroka kašnjenja koja nisu obuhvaćena postojećom literaturom: 2.2 *Kriterijum za dodelu ugovora – rok kao parametar za vrednovanje ponude* i 2.3 *Dug period dodatnog ugovaranja za nepredviđene i naknadne radove*.

Drugi deo razvoja metodologije se odnosi na kreiranje upitnika i sprovođenje empirijskog istraživanja. Kako bi se postigla maksimalna efikasnost empirijskog istraživanja – ankete, izabrano je ciljano istraživanje [19] koje je podrazumevalo prikupljanje podataka o kašnjenju za svaki pojedinačan projekat kao i podataka o izvođačima radova.

3.1. EMPIRIJSKO ISTRAŽIVANJE – DIZAJNIRANJE UPITNIKA I ANALIZA PODATAKA

Konačan upitnik se sastojao iz tri dela: (1) opšte informacije o učesnicima istraživanja; (2) informacije o posmatranom projektu u smislu procene ugovorenog trajanja i kvaliteta projektne dokumentacije; (3) ponuđena lista uzroka kašnjenja grupisanih u 8 kategorija (Slika. 3). Usled internacionalne strukture učesnika na projektima, formiran je dvojezični upitnik.



Slika.3 Hijerarhijska struktura uzroka kašnjenja – CDBS (Causes of Delay Breakdown Structure)

Za rangiranje uzroka kašnjenja je usvojena četvorostepena *Likertova skala* (Tabela 1) [14]. Prateći preporuke u literaturi uvedena je opcija „ne znam“ kako bi se smanjio subjektivizam i povećala tačnost i preciznost odgovora [4].

Tab. 1 Ponuđena kvalitativna Likertova skala za ocenu značaja uzroka kašnjenja

| 0 | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|-------------|-----------------|-------------------------------|
| Nema ili veoma mali uticaj | Mali uticaj | Prosečan uticaj | Veliki do veoma veliki uticaj |

Analiza i rangiranje uzroka kašnjenja se vrši na bazi indeksa značaja (Severity Index - SI) [14]:

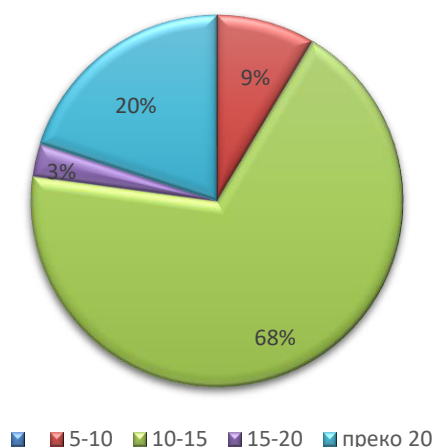
$$SI = \sum \alpha = \left(\frac{n}{N}\right) * 100/\pi r^2 \quad (1)$$

gde je α – vrednost značaja data svakom uzroku koja se kreće u intervalu od 0 (nema uticaja) do 3 (veoma veliki uticaj); n – učestalost odgovora; N – ukupan broj odgovora. U nastavku sledi prikaz rezultata i zaključci empirijskog istraživanja.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. KARAKTERISTIKE UČESNIKA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je obuhvatilo 35 projekata u Srbiji. Za svaki projekat su prikupljeni opšti podaci, stepen prekoračenja roka i podaci o učesnicima na projekta. Nakon toga, sprovedeno je empirijsko istraživanje sa jednim predstavnikom izvođača radova za svaki projekat. Na taj način, omogućena je maksimalna učinkovitost anketnog upitnika. Od ukupnog broja ispitanika, najveći broj je imalo između 10 i 15 godina radnog iskustva (70%) (Slika. 4). Ova studija je obuhvatila domaće i strane predstavnike izvođača radova.



Slika. 4 Struktura radnog iskustva ispitanika

Pre analize prikupljenih podataka, izvršeno je testiranje unutrašnje pouzdanosti mere uticaja na kašnjenja na projektu uz pomoć *Cronbach koeficijent α* . Proračunata vrednost je iznosila $\alpha = 0,957$ što predstavlja visok stepen pouzdanosti prema [3].

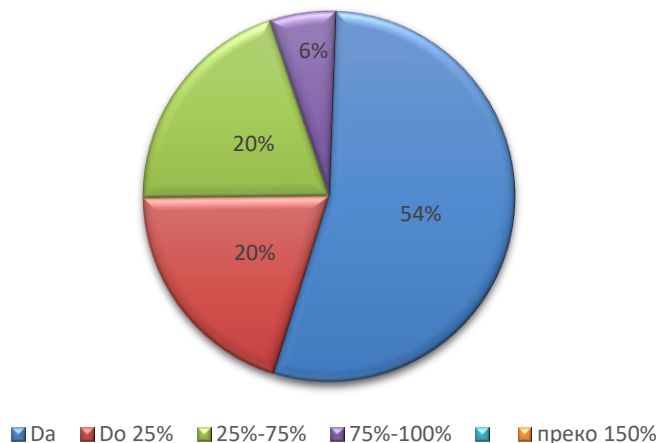
4.2. UTICAJ UGOVORENOG TRAJANJA NA KAŠNJENJE PROJEKTA

Precenjivanje ili potcenjivanje vremena realizacije – planiranog trajanja, može dovesti do ozbiljnih problema u realizaciji projekta. Mnoge studije su došle do zaključka da je jedan od najznačajnijih uzroka kašnjenja neadekvatno procenjeno trajanje [3]. U studiji [20]

koja je uključivala istraživanje o uzrocima kašnjenja u Velikoj Britaniji objavljeni su transkripti intervjua sa različitim ekspertima:

„...ponekad govorimo o kašnjenjima koja nisu kašnjenja sama po sebi, već neadekvatno planiranje pre početka projekta...“ ili „... prvobitno trajanje, dato od investitora, je suviše kratak rok za izvođenje...“.

Prema to, važno je istaći značaj procene originalnog trajanja kako bi se izolovao ovaj događaj u odnosu na poremećaje koji su nastali tokom realizacije projekta. Stoga je u drugom delu upitnika definisano pitanje „Da li je procenjeno trajanje projekta bilo odgovarajuće? Ukoliko je trajanje bilo neodgovarajuće, odrediti realno povećanje trajanje radova“.

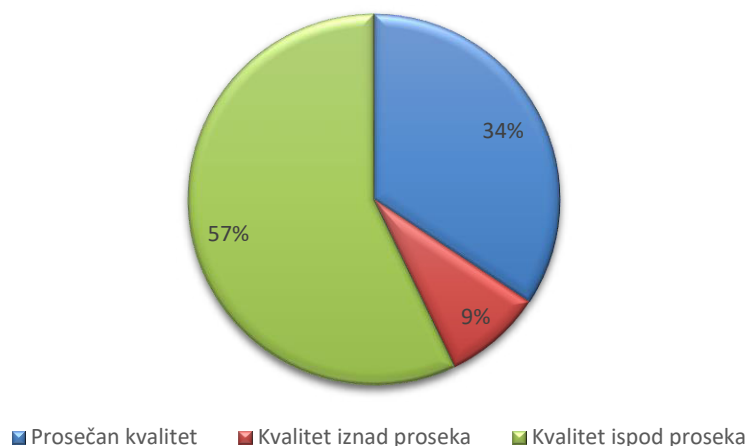


Slika 5. Struktura odgovora na pitanje „Da li je originalno trajanje projekta bilo odgovarajuće?“

Više od 50% ispitanika je zaključilo da je procena trajanja bila adekvatna (Slika 5). Ukoliko bismo usvojili da se prekoračenje roka do 25% u odnosu na originalno trajanje smatra niskim stepenom prekoračenja, možemo zaključiti da najveći broj projekata koji su bili predmet istraživanja nije imao problem sa procenom originalnog trajanja radova (više od 70% projekata).

4.3. UTICAJ KVALITETA PROJEKTNE DOKUMENTACIJE NA KAŠNENJE PROJEKTA

Kvalitet projektne dokumentacije predstavlja uzrok, ne samo kašnjenja, nego i svih drugih poremećaja odgovornih za uspeh projekta. Izmene na projektu su samo jedan od mnogobrojnih uzroka kašnjenja koji mogu biti posledica lošeg kvaliteta projektne dokumentacije. Nizak kvalitet projektne dokumentacije prisutan je na građevinskim tržištima širom sveta. Pregledom literature uočen je veliki broj studija koji ističu uticaj grupe uzroka kašnjenja koji se odnose na projektnu dokumentaciju i njen kvalitet [4,5,21,22]. Za detaljnu analizu uzroka kašnjenja važno je utvrditi stepen kvaliteta projektne dokumentacije na nivou pojedinačnog projekta, jer svi događaji koji proističu iz ovog uzroka su samo posledica pa se može stvoriti pogrešna slika o kašnjenjima. Iako su detaljnom listom uzroka kašnjenja razmatrani i problemi koji se odnose na projektu dokumentaciju, u drugom delu upitnika istaknuto je pitanje „Da li možete da ocenite kvalitet projektne dokumentacije na posmatranom projektu“.



Slika 6. Struktura odgovora na pitanje „Da li možete da ocenite kvalitet projektne dokumentacije“

Više od polovine predstavnika izvođača je smatralo da je kvalitet projektne dokumentacije ispod proseka (Slika 6). Ovi rezultati prate trendove identifikovane u drugim studijama [4,21] kada je reč o globalnom problemu kvaliteta projektne dokumentacije.

4.4. INDEKS ZNAČAJA (SI) ZA POJEDINAČNE UZROKE KAŠNJENJA

Na bazi usvojene metodologije i indeksa značaja SI, izvršeno je rangiranje uzroka kašnjenja. Tabela 2 prikazuje 10 najznačajnijih uzroka kašnjenja iz perspektive izvođača radova. Najznačajniji uzroci kašnjenja se odnose na *Neusaglašenost projekta sa uslovima okruženja* (SI=2,8), *Nedostatak detalja i specifikacija u projektnoj dokumentaciji* (SI=2,657) i *Projektovana složena ili neodgovarajuća tehnologija izvođenja radova* (SI=2,229). Imajući u vidu da je preko 50% ispitanika označilo kvalitet projektne dokumentacije kao „nizak“, ovakvi rezultati ankete su očekivani. Najmanje značajni uzroci kašnjenja se odnose na *Korupciju i nestabilnu političku situaciju u zemlji* (SI=0,514) i *Višu silu (prirodne katastrofe, pandemije, ratno stanje)* (SI=0,457).

Tab. 2 Deset najznačajnijih uzroka kašnjenja iz perspektive izvođača radova

| Rang | Uzrok kašnjenja | Indeks značaja (SI) |
|------|--|---------------------|
| 1 | Neusaglašenost projekta sa uslovima okruženja – usled neodgovarajućih podloga za projektovanje (geodetske, geološke i sl.) | 2,8 |
| 2 | Nedostatak detalja i specifikacija u projektnoj dokumentaciji (Nedovoljno razrađeni delovi projektne dokumentacija) | 2,657 |
| 3 | Projektovana složena ili neodgovarajuća tehnologija izvođenja | 2,229 |
| 4 | Neusklađenost delova projektne dokumentacije | 1,971 |
| 5 | Kašnjenja u izradi ili izmenama projektne dokumentacije tokom izvođenja (preprojektovanje) | 1,914 |
| 6 | Loš predmer radova (npr. pogrešan obračun količina radova) | 1,771 |
| 7 | Kriterijum za dodelu ugovora – Kriterijum najniža cena | 1,714 |
| 8 | Kriterijum za dodelu ugovora – Rok kao parametar za vrednovanje ponuda | 1,6 |
| 9 | Dug period dodatnog ugovaranja za nepredviđene i naknadne radove (naročito za izmene tokom realizacije) | 1,571 |
| 10 | Nedostatak radne snage | 1,571 |

4.5. INDEKS ZNAČAJA (SI) ZA GRUPE UZROKA KAŠNJENJA

PMI (Project Management Institute) preporučuje podelu strukture rizika na hijerarhijske nivoe (Risk Breakdown Structure - RBS) kako bi se iskoristio potencijal rizika na različitim nivoima [23]. Identifikovani uzroci kašnjenja su grupisani u 8 kategorija (Slika. 3). U tabeli 3 su prikazane rangirane grupe uzroka kašnjenja prema indeksu značaja (SI).

Tab. 3 Rangiranje grupa uzroka kašnjenja prema indeksu značaja

| Rang | Grupa uzroka kašnjenja | Indeks značaja (SI) |
|------|-------------------------|---------------------|
| 1 | Projektna dokumentacija | 2.224 |
| 2 | Tenderski postupak | 1.629 |
| 3 | Resursi | 1.465 |
| 4 | Investitor | 1.200 |
| 5 | Izvođač | 1.098 |
| 6 | Stručni nadzor | 0.976 |
| 7 | Projekat | 0.751 |
| 8 | Spoljašnji | 0.557 |

Najznačajnije grupe uzroka su *Projektna dokumentacija* (SI=2,224), *Tenderski postupak* (SI=1,629) i *Resursi* (SI=1,465). Naročito su značajni rezultati koje se odnose na visok rang grupe *Tenderski postupak* (SI=1,629) imajući u vidu da ova grupa uzroka kašnjenja nije identifikovana u postojećoj literaturi. Najmanje značajne grupe uzroka kašnjenja su *Projekat* (SI=0,751) i *Spoljašnji* (SI=0,557).

5. ZAKLJUČAK

U radu je sprovedeno empirijsko istraživanje s ciljem da se istraže glavni uzroci kašnjenja na građevinskim projektima putne infrastrukture u Srbiji iz perspektive izvođača radova. Najznačajniji uzroci kašnjenja se odnose na grupu *Projektna dokumentacija*, i to: *Neusaglašenost projekta sa uslovima okruženja*, *Nedostatak detalja i specifikacija u projektnoj dokumentaciji* i *Projektovana složena ili neodgovarajuća tehnologija izvođenja radova*. Značajan doprinos ovog istraživanja se odnosi i na identifikaciju grupe uzroka kašnjenja *Tenderski postupak*, koja prema mišljenju izvođača radova ima značajan uticaj na kašnjenja na projektima. Osim eksplicitnih rezultata, ova studija doprinosi lociranju uzroka kašnjenja u ranim fazama projekta (Tenderske procedure i Projektovanje). Ovi nalazi doprinose otkrivanju baznih uzroka kašnjenja kako bi se otkrilo šta je zaista *pošlo po zlu* na svakom pojedinačnom projektu.

Pored krajnjeg cilja i identifikacije glavnih uzroka i grupa uzroka kašnjenja, doprinos studije predstavlja i formiranje jedinstvene hijerarhijski strukturirane liste uzroka kašnjenja - CDBS. Predložena lista doprinosi korpusu znanja iz oblasti prekoračenja roka na građevinskim projektima pružajući nove uzroke kašnjenja koji nisu bili premet dosadašnjih istraživanja.

Rezultati ove studije mogu biti od koristi svim učesnicima na projektu pružajući podršku donosiocima odluka na budućim projektima. Pored istaknutih doprinosa, postoje i određena ograničenja. Rezultati se odnose samo na percepciju izvođača radova. Dodatno, podaci prikupljeni empirijskim istraživanjem poseduju dozu pristrasnosti i subjektivizma što može uticati na pouzdanosti rezultata.

Kao preporuke za buduća istraživanja autori predlažu istraživanje uzroka kašnjenja iz perspektive ostalih učesnika na projektu kao što su investitor i stručni nadzor. Na taj način

biće omogućeno sagledavanje percepcije svih učesnika, merenje stepena slaganja stavova ali i umanjeње subjektivizma i pristrasnosti u cilju demistifikacije problema kašnjenja na građevinskim projektima.

6. LITERATURA

- [1] Taleb, N.N. Black Swans and the Domains of Statistics. *American Statistician* **2007**, *61*, 198–200, doi:10.1198/000313007X219996.
- [2] Pollack, J.; Helm, J.; Adler, D. What Is the Iron Triangle, and How Has It Changed? *International Journal of Managing Projects in Business* **2018**, *11*, 527–547, doi:10.1108/IJMPB-09-2017-0107.
- [3] Wang, T.K.; Ford, D.N.; Chong, H.Y.; Zhang, W. Causes of Delays in the Construction Phase of Chinese Building Projects. *Engineering, Construction and Architectural Management* **2018**, *25*, 1534–1551, doi:10.1108/ECAM-10-2016-0227.
- [4] Doloi, H.; Sawhney, A.; Iyer, K.C.; Rentala, S. Analysing Factors Affecting Delays in Indian Construction Projects. *International Journal of Project Management* **2012**, *30*, 479–489, doi:10.1016/j.ijproman.2011.10.004.
- [5] Assaf, S.A.; Al-Hejji, S. Causes of Delay in Large Construction Projects. *International Journal of Project Management* **2006**, *24*, 349–357, doi:10.1016/j.ijproman.2005.11.010.
- [6] Steininger, B.I.; Groth, M.; Weber, B.L. Cost Overruns and Delays in Infrastructure Projects: The Case of Stuttgart 21. *Journal of Property Investment and Finance* **2021**, *39*, 256–282, doi:10.1108/JPIF-11-2019-0144.
- [7] Mikić, M.S. Upravljanje Rizicima Pri Izgradnji Kapitalnih Infrastrukturnih Objekata u Cilju Poboljšanja Njihove Održivosti, Doktorska Disertacija, Универзитет у Београду, 2015.
- [8] Le-Hoai, L.; Lee, Y.D.; Lee, J.Y. Delay and Cost Overruns in Vietnam Large Construction Projects: A Comparison with Other Selected Countries. *KSCE Journal of Civil Engineering* **2008**, *12*, 367–377, doi:10.1007/s12205-008-0367-7.
- [9] Ellis, R.D.; Associate Professor, J.; Randolph Thomas Professor, H. The Root Causes of Delays in Highway Construction. In Proceedings of the resentation at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board; 2003; pp. 1–16.
- [10] Hwang, B.G.; Zhao, X.; Ng, S.Y. Identifying the Critical Factors Affecting Schedule Performance of Public Housing Projects. *Habitat Int* **2013**, *38*, 214–221, doi:10.1016/j.habitatint.2012.06.008.
- [11] Viles, E.; Rudeli, N.C.; Santilli, A. Causes of Delay in Construction Projects: A Quantitative Analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management* **2020**, *27*, 917–935, doi:10.1108/ECAM-01-2019-0024.
- [12] Zidane, Y.J.T.; Andersen, B. Causes of Delay and Their Cures in Major Norwegian Projects. *Journal of Modern Project Management* **2018**, *5*, 80–91, doi:10.19255/JMPM01509.
- [13] Santoso, D.S.; Soeng, S. Analyzing Delays of Road Construction Projects in Cambodia: Causes and Effects. *Journal of Management in Engineering* **2016**, *32*, doi:10.1061/(asce)me.1943-5479.0000467.
- [14] Mahamid, I.; Bruland, A.; Dmairi, N. Causes of Delay in Road Construction Projects. *Journal of Management in Engineering* **2012**, *28*, 300–310, doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000096.
- [15] Arantes, A.; Fernandez da Silva, P.; Miguel F Ferreira, L.D. Delays in Construction Projects- Causes and Impacts. In Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM). IEEE, 2015.; 2015.
- [16] Vacanas, Y.; Danezis, C. An Overview of the Risk of Delay in Cyprus Construction Industry. *International Journal of Construction Management* **2021**, *21*, 369–381, doi:10.1080/15623599.2018.1541703.
- [17] Srdić, A.; Šelih, J. Delays in Construction Projects: Causes and Mitigation. *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal* **2015**, *7*, 1383–1389, doi:10.5592/otmcj.2015.3.5.

- [18] Faridi, A.S.; El-Sayegh, S.M. Significant Factors Causing Delay in the UAE Construction Industry. *Construction Management and Economics* **2006**, *24*, 1167–1176, doi:10.1080/01446190600827033.
- [19] Ivanović, M.Z.; Nedeljković, Đ.; Stojadinović, Z.; Marinković, D.; Ivanišević, N.; Simić, N. Detection and In-Depth Analysis of Causes of Delay in Construction Projects: Synergy between Machine Learning and Expert Knowledge. *Sustainability* **2022**, *14*, doi:10.3390/su142214927.
- [20] Agyekum-Mensah, G.; Knight, A.D. The Professionals' Perspective on the Causes of Project Delay in the Construction Industry. *Engineering, Construction and Architectural Management* **2017**, *24*, 828–841, doi:10.1108/ECAM-03-2016-0085.
- [21] Kazaz, A.; Ulubeyli, S.; Tuncbilekli, N.A. Causes of Delays in Construction Projects in Turkey. *Journal of Civil Engineering and Management* **2012**, *18*, 426–435, doi:10.3846/13923730.2012.698913.
- [22] Rachid, Z.; Toufik, B.; Mohammed, B. Causes of Schedule Delays in Construction Projects in Algeria. *International Journal of Construction Management* **2019**, *19*, 371–381, doi:10.1080/15623599.2018.1435234.
- [23] Project Management Institute A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide); 2016; ISBN 9781628253900.

MODEL VJEŠTAČIH NEURONSKIH MREŽA NA PRIMJERU TRŽIŠTA NEKRETNINA U EU ZEMLJAMA

Miloš Žarković¹, Jasmina Četković², Miloš Knežević³

Rezime:

Cilj ovog rada je definisanje modela za predviđanja cijene nekretnina primjenom vještačkih neuronskih mreža, na uzorku od 27 evropskih zemalja. U cilju izrade modela, autori su se opredijelili za 11 ulaza u model: BDP, BDP po stanovniku, nejednakost u raspodjeli dohotka, stopa nezaposlenosti, visina prosječne godišnje neto zarade, FDI, HICP, PDV, porez na imovinu (kao % od BDP-a) i porez na imovinu (kao % od ukupnih poreza). Treniranju vještačke neuronske mreže, pomoću unaprijeđenog Backpropagation algoritma, prethodilo je prikupljanje i analiza empirijskih podataka za 27 evropskih zemalja. Od 253 seta ulaznih podataka, 80% podataka je birano kao trening skup za mrežu, a 20% kao skup za validaciju. Na 11 setova podataka, na koje nije trenirana, mreža je kontrolisana. Naše istraživanje je pokazalo da prognozni modeli, zasnovani na upotrebi vještačkih neuronskih mreža, posjeduju zadovoljavajući stepen preciznosti, pa je sa pouzdanošću od oko 85% moguće aplicirati treniranu neuronsku mrežu za brze grube procjene cijene stanova na EU tržištu.

Ključne reči: vještačke neuronske mreže, tržište nekretnina, prognozni model, cijena nekretnina

MODEL VJEŠTAČIH NEURONSKIH MREŽA NA PRIMJERU TRŽIŠTA NEKRETNINA U EU ZEMLJAMA

Abstract:

The aim of this paper is to define a model for predicting real estate prices using artificial neural networks, based on a sample of 27 European countries. In order to create the model, the authors opted for 11 inputs to the model: GDP, GDP per capita, inequality in income distribution, unemployment rate, level of average annual net earnings, FDI, HICP, VAT, property tax (as a % of GDP a) and property tax (as a % of total taxes). The training of the artificial neural network, using the advanced Backpropagation algorithm, was preceded by the collection and analysis of empirical data for 27 European countries. Of the 253 input data sets, 80% of the data were selected as the training set for the network, and 20% as the validation set. On 11 data sets, on which it was not trained, the network was controlled. Our research has shown that forecast models, based on the use of artificial neural networks, have a satisfactory degree of accuracy, so with a reliability of about 85% it is possible to apply a trained neural network for quick rough estimates of the price of apartments on the EU market.

Keywords: artificial neural networks, real estate market, forecast model, real estate price

¹ Doktorand, Ekonomski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, milos.zarkovic87@gmail.com

² Redovni prof., Ekonomski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, jasmina@ucg.ac.me

³ Redovni prof., Građevinski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, knezevicmilos@hotmail.com

1. UVOD

Vještačke neuronske mreže predstavljaju alternativu konvencionalnoj kompjuterskoj logici u rješavanju logičkih problema [1-3]. Inspiracija za strukturu i logiku rada ovih mreža proizašla je iz pokušaja imitacije rada prirodnih neuronskih veza i sistema. Intenzivan razvoj vještačkih neuronskih mreža dogodio se kao rezultat sofisticiranosti ljudskog mozga i stalne ljudske želje da stvori i podredi tako složen i inteligentan sistem za ispunjavanje potreba [4]. Za prve vještačke neuronske mreže bile su dovoljne poznate anatomske strukture i fiziološke funkcije mozga [5]. Vještačke neuronske mreže samo su jedan od tehničkih alata koje nauka i tehnologija koriste za brzo i efikasno rješavanje složenih problema [1,6], budući da postoji veliki skup tehnika i rješenja koja koriste mehanizme pronađene u živim bićima [1,7- 10].

Primjenom vještačkih neuronskih mreža pokušava se napraviti vještački sistem sposoban da uči i donosi inteligentne odluke kao čovjek [1,11]. Pogodnosti koje nudi vještačka neuronska mreža su mogućnosti distribuiranja problema na više nivoa i više odvojenih faza, realizacije više paralelnih mreža, i u krajnjem slučaju zamjenljivost [2,3,12], što su karakteristike koje nedostaju mozgu. Danas ove mreže imaju veliku primjenu u rešavanju optimizacionih problema, kontrole tokova signala, upravljanja, prepoznavanja slike i glasa i drugih vrlo sofisticiranih problema [13-18]. U fazama učenja, neuronska mreža koristi karakteristiku mozga da memoriše određene podatke od interesa i da u konkretnoj situaciji, na bazi tog znanja, i određenih pravila, donese konačnu odluku [16].

Jedna od osnovnih primjena vještačkih neuronskih mreža je predviđanje [19]. Vještačke neuronske mreže su moćan alternativni alat kako za istraživače, tako i za praktičare u predviđanju. One uče iz primjera, pokušavajući da uhvate funkcionalne veze između podataka, čak i kad su te veze i odnosi nepoznati ili teško opisivi. Jako su pogodne za probleme kod kojih rešenja zahtijevaju znanja koja je teško specificirati, ali za koja postoji dovoljna količina podataka ili observacija zbog čega se tretiraju kao multivarijantne nelinearne neparametarske statističke metode [20-22]. Njihova druga karakteristika bitna za predviđanje je sposobnost generalizacije. Nakon učenja iz uzorka, one korektno reaguju na dio podataka koji nije iskorišćen kao uzorak, čak i ako uzorak sadrži neke defektne informacije. Kako se predviđanje realizuje kao predviđanje budućeg ponašanja na osnovu primjera ponašanja iz prošlosti, predviđanje je idealna oblast za primjenu neuronskih mreža. Treća karakteristika je da su vještačke neuronske mreže univerzalni funkcionalni aproksimatori. Pokazalo se da mreža može da aproksimira bilo koju kontinualnu funkciju na bilo koju željenu tačnost [23-28]. Konačno, nelinearne su, dok tradicionalni pristupi predviđanja pretpostavljaju da su vremenske serije, koje su predmet proučavanja, generisane iz linearnih procesa.

Vještačke neuronske mreže se mogu koristiti za predviđanje sa različitim nivoom uspjeha. One se obučavaju na osnovu istorijskih podataka, sa nadom da će se na taj način otkriti skrivene zavisnosti i da će biti moguće iskoristiti ih za predviđanje budućnosti. Naime, vještačka neuronska mreža nije predstavljena kao eksplicitno dat model, već više kao crna kutija koja je sposobna da uči. Za predviđanje vremenske serije obično imamo vrijednosti promjenljive u jednakim intervalima, kada pokušavamo da predvidimo razvoj vrijednosti zasnovan na istorijskim vrijednostima i samom vremenu. U ovom slučaju, vremenska serija treba da bude dovoljno duga i sa dovoljnom gustinom. Prednost upotrebe vještačkih neuronskih mreža za predviđanje je da su one sposobne da uče iz primjera i da su nakon završenog učenja sposobne da uhvate skrivene i jako nelinearne zavisnosti, čak i kada ima značajnih nepreciznosti u skupu podataka za učenje. Njihov nedostatak je što uče zavisnosti koje su validne samo za određeni period, pa se greška predviđanja ne može generalizovano procijeniti. Predviđanje vremenske serije sastoji se od učenja mreže istorijom promjenljivih u izabranom ograničenom vremenu i primjenom naučene informacije za budućnost. Podaci iz istorije su obezbijeđeni za ulaze mreže, a očekujemo podatke za budućnost iz izlaza mreže. Pri tome naglašavamo da više informacija ne znači bolje predviđanje i da je značajno izabrati relevantne informacije.

Literatura o predviđanju pomoću vještačkih neuronskih mreža raznovrsna je i zastupljena u najrazličitijim poljima. Jedna od prvih uspješnih primjena vještačkih neuronskih mreža za predviđanje je saopštena od strane Lapedes i Farber [29], čiji rezultati su pokazali da vještačke neuronske mreže mogu da se koriste za modeliranje i predviđanje nelinearnih vremenskih nizova sa veoma visokom tačnošću. Uslijedilo je korišćenje vještačkih neuronskih mreža za analizu i predviđanje determinističkih haotičnih vremenskih nizova [30], dok je Depisch predložio hijerarhijski obučeni model vještačke neuronske mreže za predviđanje dva haotična sistema [31]. Dodatno, vještačke neuronske mreže se koriste kod finansijskih aplikacija [32,33], za predviđanje bankrotstva i poslovnih gubitaka [34], kretanje stranih valuta [29], cijene akcija na berzi [35], cijene smještaja [36], makroekonomske indikacije [37], kao i kod drugih oblasti kod finansijskih aplikacija.

2. METODOLOGIJA

U literaturi je tokom prethodne decenije analiziran uticaj property price volatility na ekonomiju, ali i uticaj ekonomije na housing prices. Značaj predviđanja trendova na tržištu nekretnina u građevinarstvu je stalno aktuelan, kako za kupce i prodavce nekretnina, tako i za investitore. Iz tog razloga, razvijene su mnogobrojne metode definisanja tržišne vrijednosti nekretnina. Proces procjene cijena nekretnina je složen zbog djelovanja velikog broja faktora koji djeluju na tržištu nekretnina i opredjeljuju cjenovne trendove. Manja preciznost i odstupanje procijenjenje od realne tržišne vrijednosti nekretnina karakteristika je procjene koja samo potvrđuje dogovorenu cijenu i označava negativnu praksu procjene [38]. Zanimarivanje nespornog uticaja subjektivnih faktora na cijenu nekretnina osnovna je slabost tradicionalnih metoda procjene, zasnovanih isključivo na uticaju objektivnih faktora. Nadalje, opterećenost polaznim pretpostavkama i nedovoljna racionalnost karakteriše hedonistički metod procjene nekretnina [38,39].

U međuvremenu, sa razvojem matematičkih i kompjuterskih metoda, razvijeni su novi pristupi za procjenu. Nekonvencionalne metode procjene zasnivaju se na primjeni vještačkih neuronskih mreža i karakteriše ih procjena višeg nivoa preciznosti i objektivnosti. Problem nepotpunosti i nepreciznosti informacija, kao i raznovrsnost karakteristika nekretnina, u zavisnosti od lokacije, umnogome otežava procjenu [40]. Kao pandan konvencionalnim metodama, razvijeni su novi modeli za procjenu cjenovnih trendova na tržištu nekretnina [41-43].

Različito ekonomskog i finansijskog okruženja of residential property markets upravo su potvrdili modeli vještačkih neuronskih mreža, koji su u međuvremenu razvijeni. Posebno mjesto kod vještačkih neuronskih mreža zauzimali su tzv. back propagation modeli i back-propagation neuronske mreže za konstruisanje modela cijene stanovanja za odabrani grad [44]. Pojedini autori su kod korišćenja vještačkih neuronskih mreža potvrdili njihovu veću preciznost, manje grešaka i bolju ekstrapolaciju u nestabilnim uslovima [45], kao i bolje rezultate pri prognozi out-of-sample [46].

Cilj ovog rada je definisanje modela za predviđenja cijene nekretnina primjenom vještačkih neuronskih mreža, na uzorku od 27 evropskih zemalja. Autori rada su pretpostavili da se korišćenjem generisanog modela mogu dobiti zadovoljavajući rezultati, odnosno dovoljno precizni izlazni podaci koji mogu imati značajnu upotrebnu vrijednost u procesu odlučivanja o kupovini nekretnina na evropskom tržištu.

U definisanju ulaznih podataka za model, odnosno faktora koji utiču na formiranje cijene nekretnina, autori rada su pošli od različitih podjela faktora tržišta nekretnina, kao što su macroenvironment and microenvironment factors [47], racionalni i neracionalni faktore [48], fundamentalni faktori tržišta nekretnina [49], itd. U cilju izrade modela za predviđanje cijene nekretnina na evropskom tržištu, autori su se opredijelili za sljedeće ulaze u model (Table 1): BDP, BDP po stanovniku, nejednakost u raspodjeli dohotka,

stopa nezaposlenosti, visina prosječne godišnje neto zarade, FDI, HICP, PDV, porez na imovinu kao % od BDP-a i porez na imovinu kao % od ukupnih poreza.

Treniranje vještačke neuronske mreže obavljeno je uz prethodno definisanje 11 ulaza i 1 izlaza mreže (cijena stana). Izlazna varijabla – cijene nekretnina za 27 država EU obezbijedene su na osnovu raspoloživih empirijskih podataka i određenih kalkulacija autora. U Tabeli 1 prikazani su osnovni ulazi u model, njihova definicija i osnovne karakteristike. Izvršeno je prethodno prikupljanje i analiza podataka, priprema podataka za definisanje modela i na kraju izrada modela. Treniranju vještačke neuronske mreže prethodilo je prikupljanje i analiza empirijskih podataka za 27 evropskih zemalja.

Tab. 1 Osnovni ulazi u model, definicija i karakteristike

| Varijable | Definicija varijable | Minimum | Maksimum | Aritm. sredina | St. devijacija | Jedinica mjere |
|--|--|----------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| GDP* | GDP odražava ukupnu vrijednost svih proizvedenih dobara i usluga umanjenu za vrijednost dobara i usluga korištenih za međupotrošnju u njihovoj proizvodnji. | 5.142 | 3.032.820 | 477.763,56 | 720.649,35 | mil € |
| GDP per capita* | GDP p.c. se računa kao odnos GDP-a u tržišnim cijenama prema prosječnom stanovništvu određene godine. | 4.200 | 84.400 | 23.829,63 | 15.759,46 | € |
| GDP rast* | Obračun godišnje stope rasta obima GDP-a ima za cilj da omogući poređenje dinamike ekonomskog razvoja kako tokom vremena, tako i između ekonomija različite veličine. | -14,8 | 11,9 | 1,63 | 3,84 | % |
| Nejednakost u raspodjeli dohotka* | Odnos ukupnog dohotka koje prima 20% stanovništva sa najvećim dohotkom (najviši kvintil) prema onoj koju prima 20% stanovništva sa najnižim prihodom (najniži kvintil). | 3,2 | 8,3 | 4,83 | 1,16 | - |
| Nezaposlenost* | Predstavlja nezaposlene osobe kao procenat radne snage. | 3,40 | 27,50 | 9,07 | 4,32 | % |
| Prosječne godišnje neto zarada* | Neto zarada se obračunava od bruto zarade oduzimanjem doprinosa za socijalno osiguranje i poreza na dohodak zaposlenog, te dodavanja porodičnih dodataka u slučaju domaćinstava sa djecom. | 1.550,77 | 38.490,18 | 17.175,81 | 10.445,15 | € |
| FDI** | FDI se odnose na tokove kapitala direktnih investicija u ekonomiji koja izvještava. To je zbir vlasničkog kapitala, reinvestiranja zarade i drugog kapitala. | -29.679 | 734.010 | 27.948 | 67.501 | mil \$ |
| HICP – inflacija* | HICP su dizajnirani za međunarodna poređenja inflacije potrošačkih cijena. | -1,6 | 15,3 | 2,38 | 2,20 | % |
| PDV*** | PDV je opšti, široko zasnovan porez na potrošnju koji se obračunava dodanu vrijednost robama i uslugama. | 15 | 27 | 20,5 | 2,57 | % |
| Porez na imovinu kao % od GDP-a**** | Porez na imovinu se definiše kao periodični i jednokratni porezi na korišćenje, vlasništvo ili prenos imovine. To uključuje poreze na nepokretnu imovinu ili neto bogatstvo, poreze na promjenu vlasništva imovine putem nasljeđa ili poklona i poreze na finansijske i kapitalne transakcije. | 0,283 | 5,387 | 1,463 | 1,06 | % |
| Porez na imovinu kao % od ukupnih poreza**** | | 0,844 | 14,907 | 4,013 | 2,74 | % |

Od 253 seta ulaznih podataka, 80% podataka je birano je kao trening skup za mrežu, a 20% kao skup za validaciju. Na 11 setova podataka, na koje nije trenirana, mreža je

kontrolisana. Generisani prognozni model zavisi od vremena jer je tržišna vrijednost nekretnina podložna promjenama kroz vrijeme.

Kako se može zaključiti iz Tabele 1, arhitekturu mreže čini 11 ulaza i 1 izlaz. Razvoj modela vještačkih neuronskih mreža (ANN) sastojao se od formiranja skupova podataka, analize i obrade podataka, te izgradnje ANN modela. Arhitektura ove mreže je pažljivo izabrana kako bi odgovarala našem specifičnom problemu i podacima koji su korišćeni. Odlučili smo se za dva skrivena sloja, svaki sa 15 neurona. Ovi slojevi su dizajnirani da nauče kompleksne veze između različitih karakteristika nekretnina. Iako se može postaviti pitanje o broju neurona po sloju, ovaj izbor je rezultat naših eksperimenata i praćenja performansi modela. U prethodnim iteracijama smo isprobali različite arhitekture mreže koje su dale manje zadovoljavajuće rezultate. Odlučili smo se za ovu arhitekturu zato što smo željeli da model bude dovoljno složen da nauči nijanse tržišta nekretnina, ali ne toliko složen da dođe do problema preprilagođavanja (overfitting). Naša arhitektura se oslanja na heuristike i eksperimentalni pristup kako bi pružila zadovoljavajuće rezultate.

Za treniranje naše vještačke neuronske mreže koristili smo algoritam unazadne propagacije greške (engl. backpropagation). Unazadna propagacija greške je najčešće korišćen algoritam za obuku vještačkih neuronskih mreža i pogodan je za probleme nadgledanog učenja, kao što je naš slučaj. Nijesmo koristili Levenberg-Marquardt algoritam ili druge metode obuke, jer smo smatrali da je unazadna propagacija greške odgovarajuća za našu analizu.

U mnogim slučajevima, korišćenje backpropagation-a je dovoljno za obuku neuronskih mreža, dok Levenberg-Marquardt može biti koristan u problemima gdje je potrebna brža konvergencija i nelinearni optimizacioni pristup.

Važno je napomenuti da je uspješnost neuronskih mreža u velikoj mjeri zavisna od mnogih faktora, uključujući arhitekturu mreže, veličinu skupa podataka, i druge parametre obuke. U našem slučaju, željeli smo da postignemo ravnotežu između kompleksnosti mreže i sposobnosti generalizacije.

Detalji našeg pristupa obuci su sledeći:

Inicijalizacija težina: Početne težine mreže su inicijalizovane slučajno kako bismo izbjegli bilo kakvu pristrasnost u treniranju. Ova inicijalizacija je važna za postizanje konvergenije tokom obuke.

Funkcija greške: Koristili smo funkciju greške srednjeg kvadrata (engl. mean squared error) kao mjeru razlike između stvarnih vrijednosti nekretnina i vrijednosti koje daje naša mreža. Ova funkcija greške je standardna za regresione probleme.

Optimizacija: Kao optimizacioni algoritam za ažuriranje težina, koristili smo stohastički gradijentni spust (engl. stochastic gradient descent, SGD). Ovaj algoritam nam omogućava da postepeno prilagodimo težine kako bi minimizovali funkciju greške.

Stopa učenja: Podesili smo stopu učenja (engl. learning rate) kako bismo obezbijedili stabilno i brzo konvergiranje modela. Stopa učenja je važan parametar u procesu obuke.

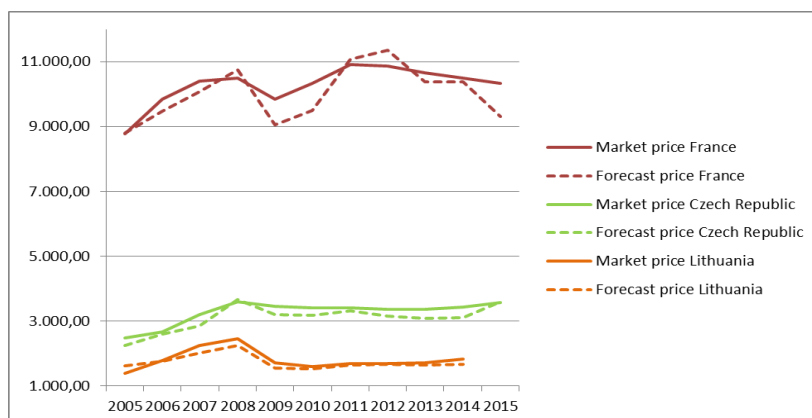
Kriterijum zaustavljanja: Proces obuke se zaustavlja nakon određenog broja epoha ili kada se funkcija greške na validacionom skupu prestane smanjivati kako bismo izbjegli preprilagođavanje.

Što se tiče broja epoha, odlučili smo da prekinemo obuku nakon određenog broja epoha kako bismo izbjegli prenaučenosť mreže. Iako se može pretpostaviti da bi dodatni ciklusi optimizacije mogli poboljšati rezultate, postojala je zabrinutost zbog prenaučenosťi i dugog vremena obuke. Naša trenutna arhitektura mreže i broj epoha predstavljaju kompromis između preciznosťi i efikasnosťi.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

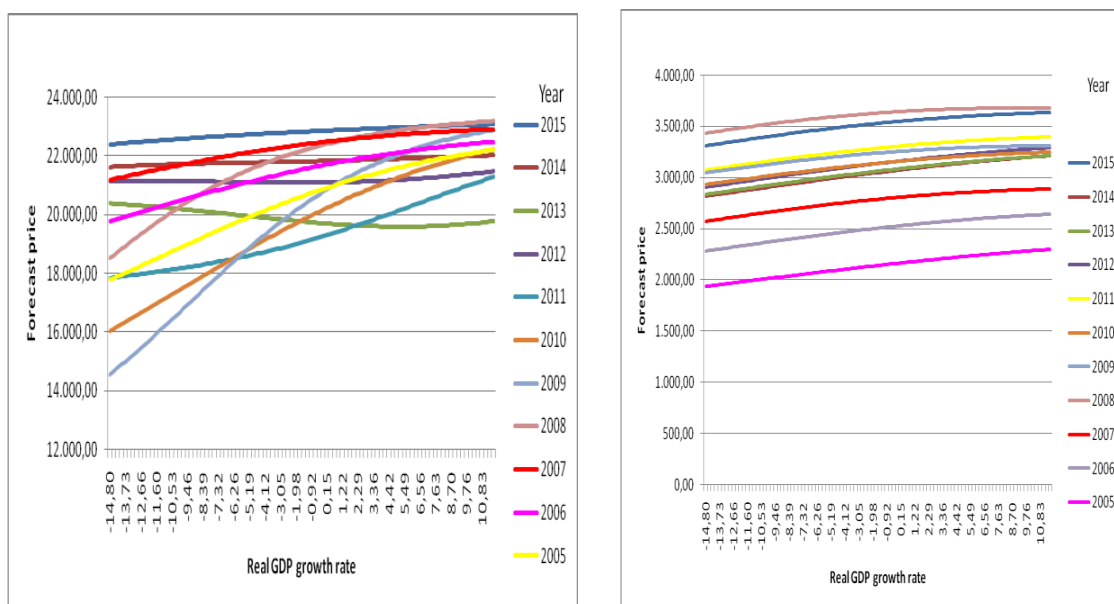
Generalno, naše istraživanje je pokazalo da prognozni modeli, zasnovani na upotrebi vještačkih neuronskih mreža, posjeduju zadovoljavajući stepen preciznosťi. Naime,

prognozni model za procjenu cijene na tržištu nekretnina u EU, urađen za potrebe ovog istraživanja, je sa prosječnim odstupanjem realne od prognozne cijene do 14%. Na Grafiku 1 koji slijedi prikazano je ovo odstupanje za 3 odabrane zemlje različitog nivoa razvijenosti.

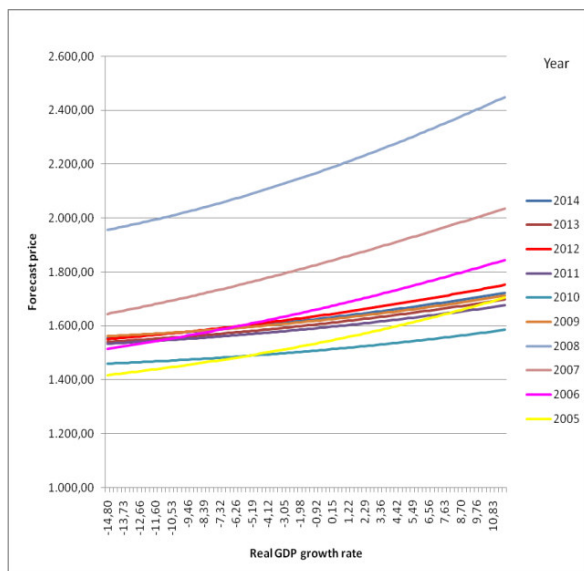


Slika. 1 Odstupanje realne od prognozne cijene

Polazeći od uticajnih makroekonomskih varijabli, a na osnovu generisanog prognoznog modela zasnovanog na korišćenju vještačke inteligencije, tj. vještačkih neuronskih mreža, uradili smo procjenu cijena nekretnina u zemljama EU. Pod pretpostavkom fiksности ostalih veličina, analiziran je uticaj određenog faktora na izlaznu veličinu modela, odnosno na cijene nekretnina na EU tržištu. Uticaj stope rasta GDP na prognozne cijene nekretnina predstavljen je na Graficima 2 i 3, na primjeru zemalja različitog nivoa razvijenosti (visoko, srednje i nisko razvijene). Sa povećanjem stope rasta GDP dolazi do rasta prognoznih cijena nekretnina, nezavisno od nivoa razvijenosti zemlje. Slijedeći teorijske opservacije, povećanje cijena nekretnina se dešava u uslovima povećane potrošnje, kada raste tražnja za nekretninama, što izaziva porast cijena. Kako je BDP vezan za poboljšanje ekonomskih performansi zemlje, onda poboljšani ekonomski učinak povećava ukupnu potražnju i pokreće cijene, uključujući i cijene stanova, koje rastu [50-53]. Ne mali broj empirijskih istraživanja je provjeravao nivo statističke značajnosti međuodnosa između promjena realnog GDP i cijena nekretnina [54]. Različite stepene statističke značajnosti između cijene nekretnina i stope rasta GDP su potvrdili i ordinary least squares modeli, kao i modeli zasnovani na korišćenju vještačkih neuronskih mreža [55].

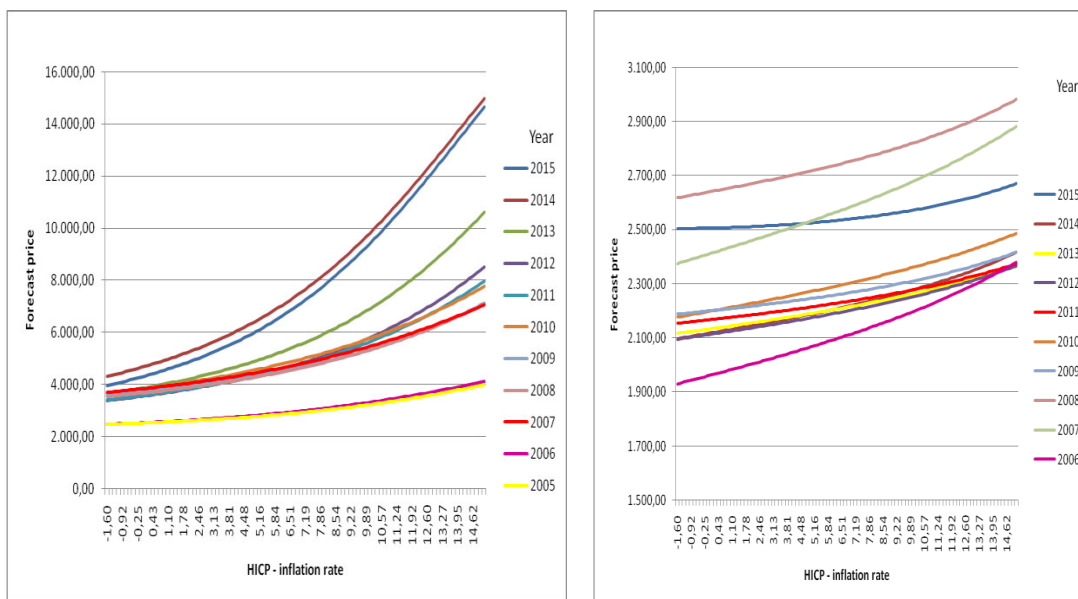


Slika. 2 Uticaj stope rasta GDP na prognoznu cijenu nekretnina u Velikoj Britaniji i Češkoj

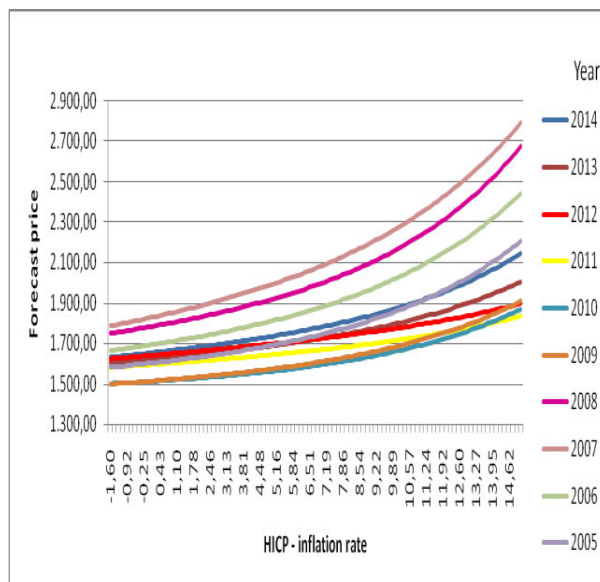


Slika. 3 Uticaj stope rasta GDP na prognoznu cijenu nekretnina u Litvaniji

Uticaj HICP na prognozne cijene nekretnina prikazan je na dolje prikazanim Graficima 4 i 5. Očigledno je povećanje HICP dovodi do rasta prognozne cijene nekretnina, nezavisno od stepena razvijenosti zemlje. Uticaj HICP na tržište nekretnina potvrđen je i nekim od prethodnih istraživanja [49]. Primjer Norveške, kao visoko razvijene evropske zemlje, takođe je potvrdio oštar rast cijena nekretnina usljed višegodišnjeg rasta HICP, kao indikatora prosječne godišnje stope inflacije [56]. I ostala brojna istraživanja su potvrdila da rast stope inflacije dovodi to the increase in housing prices [51,53,57].

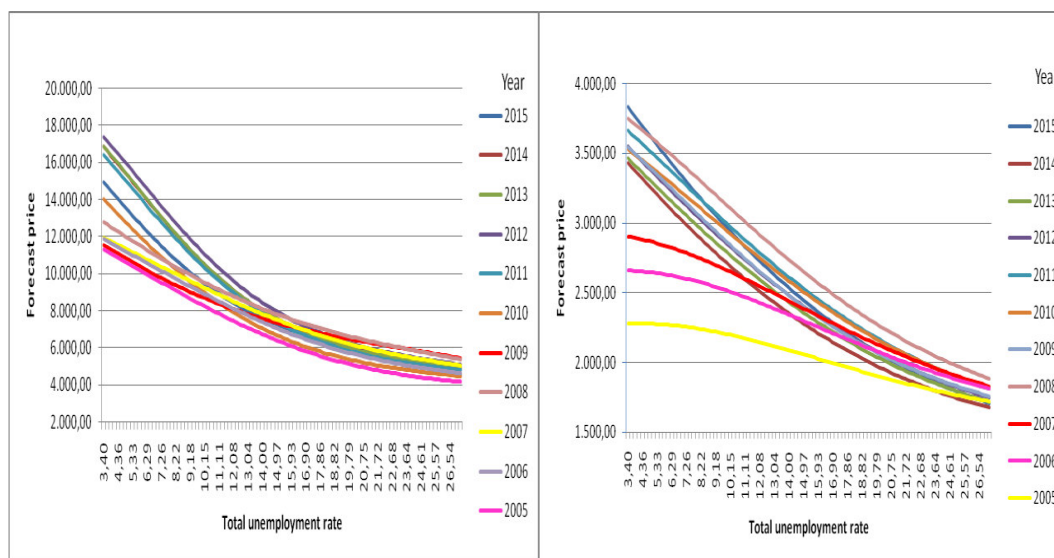


Slika. 4 Uticaj HICP na prognoznu cijenu nekretnina u Njemačkoj i Slovačkoj

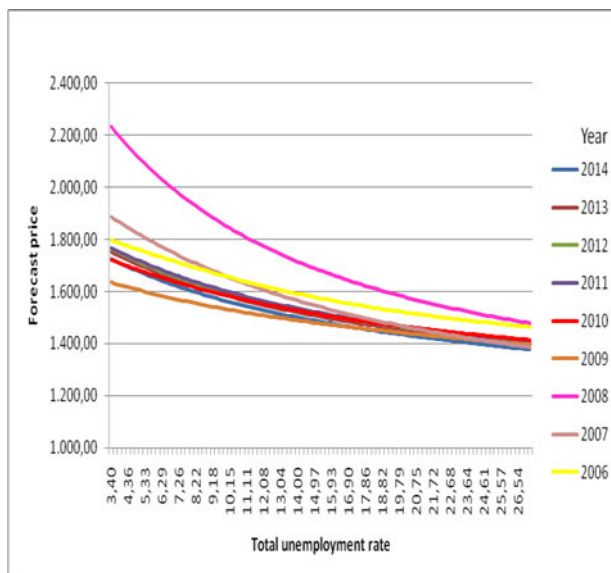


Slika. 5 Uticaj HICP na prognoznju cijenu nekretnina u Litvaniji

Na Graficima koji slijede (6 i 7) prikazan je uticaj stope nezaposlenosti na kretanje prognoznih cijena nekretnina. Na osnovu prezentovanih grafika, zaključujemo da sa porastom stope nezaposlenosti dolazi do pada prognozne cijene nekretnina. Istovremeno, teorijski stavovi ukazuju na rast cijena nekretnina usljed niskog nivoa nezaposlenosti, i obrnuto. Međutim, sagledano iz ugla ranijih empirijskih istraživanja, konstatujemo da se promjene cijena nekretnina smanjuju sa rastom stope nezaposlenosti [58], što je potvrio i naš prognostički model. Novija empirijska istraživanja ukazuju na različit uticaj stope nezaposlenosti na cijenu nekretnina. Npr. novije istraživanje Gruma i Kobe-Govekarb je ukazalo na statistički značajnu vezu između stope nezaposlenosti i the price of real estate [59], dok je istraživanje Mernagh potvrdilo rast cijena nekretnina u uslovima niske stope nezaposlenosti [60].

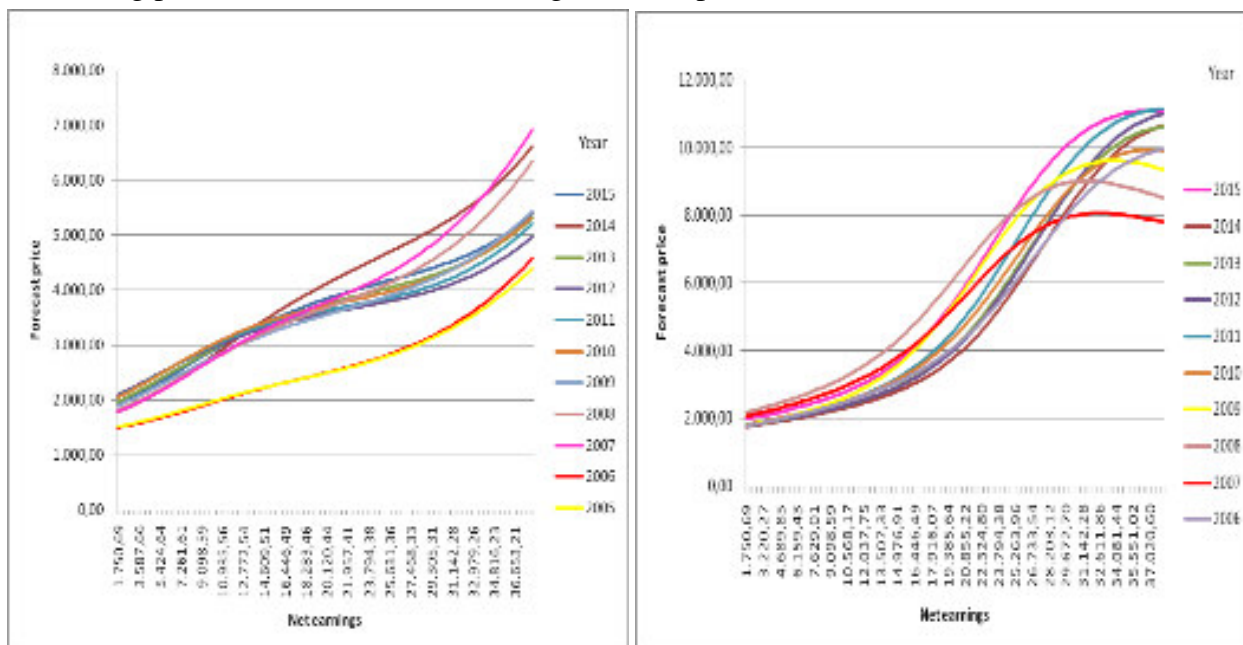


Slika. 6 Uticaj stope nezaposlenosti na prognoznju cijenu nekretnina u Francuskoj i Republici Češkoj

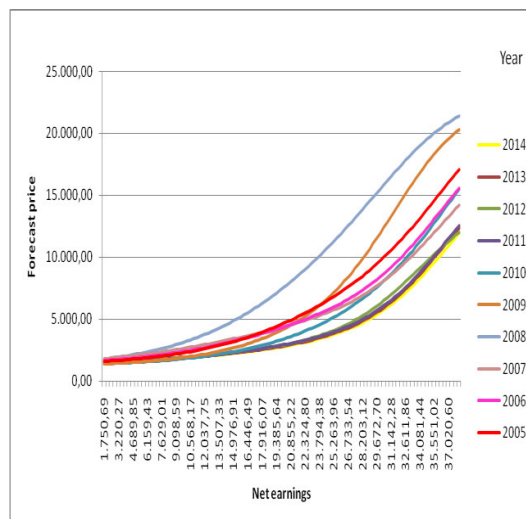


Slika. 7 Uticaj prosječne godišnje neto zarade na prognoznu cijenu nekretnina u Bugarskoj

Uticaj prosječne godišnje neto zarada na prognoznu cijenu nekretnina, u zemljama različitog nivoa razvijenosti, prikazane na Graficima 8 i 9. Na graficima se zapaža rast cijena nekretnina usljed rasta prosječne godišnje neto zarade kod posmatranih zemalja. Ne mali broj empirijskih istraživanja je ukazao na relevantnost stope rasta dohotka (zarade) kao faktora rasta cijena nekretnina. Istraživanje Sommer et al. je identifikovalo rast ovog faktora kao ključni faktor rasta cijena nekretnina u visoko razvijenim zemljama. [61], dok su Peek i Wilcox u svom istraživanju potvrdili nesporn uticaj incomes na cijene stanova [62]. Ima i suprotnih nalaza, pa su neka istraživanja ukazala na to da rast population's income možda neće povećati cijene stanova jer se najveći broj transakcija kupovine stambenog prostora finansira iz bankarskog kredita/hipoteke [63-65].



Slika. 8 Uticaj prosječne godišnje neto zarade na prognoznu cijenu nekretnina u Njemačkoj i Slovačkoj



Slika. 9 Uticaj prosječne godišnje neto zarade na prognoznju cijenu nekretnina u Litvaniji

4. ZAKLJUČAK

Predviđanje je jedna od osnovnih primjena veštačkih neuronskih mreža. Vještačke neuronske mreže uče iz primjera, pokušavajući da uhvate funkcionalne veze između podataka, kako bi se mogle iskoristiti za predviđanje budućnosti. Značaj predviđanja trendova na tržištu nekretnina je stalno aktuelan, kako za kupce i prodavce nekretnina, tako za investitore. Imajući u vidu postojanje međusobnog uticaja između tržišta nekretnina i privrednog razvoja, problem procjene tržišne vrijednosti nekretnina je stalno aktuelan. Istovremeno, zbog uticaja velikog broja varijabli, ovaj problem je veoma složen. Kao pandan konvencionalnim metodama vrednovanja nekretnina, pored hedonističke metode, razvijeni su modeli vještačkih neuronskih mreža, koji pokazuju zadovoljavajući nivo tačnosti.

Cilj ovog rada je da kreira prognostički model tržišne cijene nekretnina na EU tržištu. Model je baziran na korištenju vještačkih neuronskih mreža. Postignuti rezultat je zadovoljavajući, pa je sa pouzdanošću od oko 85% moguće primijeniti treniranu neuronsku mrežu kako bi se brzo i grubo procijenila cijena nekretnina na tržištu EU. Vještačke neuronske mreže su poznate po svojoj sposobnosti modeliranja nelinearnih veza između podataka. Ovo je od posebne važnosti u analizi tržišta nekretnina gdje faktori koji utiču na cijene i promet često imaju složene i nelinearne odnose.

Iako se slažemo da su vještačke neuronske mreže moćan alat za dubinsku analizu, smatramo da su korisni i u situacijama kada je potrebna gruba procjena.

Navedena preciznost je zadovoljavajuća, pogotovo što se radi o modeliranju sistema socio-ekonomskog karaktera, koji se odlikuju složenošću i varijabilnosti. Uključivanjem većeg broja ulaznih skupova podataka mogla bi se postići još veća preciznost.

LITERATURA

- [1] Alpaydin E. (2004). *Introduction to Machine Learning*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.
- [2] Rojas R., Feldman J. (1996). *Neural Networks: A Systematic Introduction*. Springer.
- [3] Aleksander I., Morton H. (1995). *An Introduction to Neural Computing*. Intl Thomson Computer Pr.
- [4] Fausett L. (1993). *Fundamentals of Neural Networks-Architectures, Algorithms and Applications*. Prentice Hall, 1993.
- [5] Brown M., Harris C. J. (1994). *Neurofuzzy adaptive modelling and control*. Prentice Hall.
- [6] Jang J.S., Sun C.T., Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: Acomputational approach to learning and machine intelligence*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.

- [7] Russel S.J., P. Norvig P. (1995). *Artificial Intelligence – A Modern Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [8] Chakraborty G. (2001). *Genetic Algorithm Approaches to Solve Various Steiner Tree Problems, Steiner Trees in Industries*. Kluwer Academic, pp. 71-100, 2001.
- [9] Lin C.T., Lee G. (1996). *Neural Fuzzy Systems: A Neural-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Prentice-Hall Inc., NJ.
- [10] Dorigo M., Di Caro G. (1999). Ant colony optimization: a new meta-heuristic, Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, Washington, DC, USA.
- [11] Luger G.F. (2005). *Artificial Intelligence-Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Addison-Wesley.
- [12] Haykin S. (1994). *Neural networks - a comprehensive foundation*. MacMillan collage Publishing Company, Inc.
- [13] Wang, L.X. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Prentice Hall, NJ.
- [14] Tsoukalas H.L., Uhrig E.R. (1997). *Fuzzy and neural approaches in engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Araujo F., Ribeiro B., Rodrigues L. (2001). A neural network for shortest path computation, *IEEE Trans. Neural Networks*, Volume 5, pp. 1067–1073.
- [16] R. Beale, T. Jackson, *Neural Computing – An Introduction*, Institute of Physics Publishing, 1990.
- [17] Brown T.X. (1991). *Neural network design for switching network control*, Caltech Ph. D. Thesis.
- [18] Cichocki A., Unbehauen R. (1993). *Neural Network for Optimazation and Signal Processing*. Wiley.
- [19] Sharda R. (1994). Neural networks for the MS/OR analyst: An application bibliography. *Interfaces*, Volume 24, pp. 116–130.
- [20] White H. (1989). Learning in artificial neural networks: A statistical perspective. *Neural Computation*, Volume 1, pp. 425–464.
- [21] Ripley, B.D. (1993). Statistical aspects of neural networks. In: Barndorff-Nielsen, O.E., Jensen, J.L., Kendall, W.S. (Eds.), *Networks and Chaos-Statistical and Probabilistic Aspects*. Chapman and Hall, London, pp. 40–123.
- [22] Cheng B., Titterington D.M. (1994). Neural networks: A review from a statistical perspective. *Statistical Science*, Volume 9, pp. 2–54.
- [23] Irie B., Miyake S. (1998). Capabilities of three-layered perceptrons. In: Proceedings of the IEEE International Conference on neural networks: *Neural Networks*, Volume I, pp. 641–648.
- [24] Hornik K., Stinchcombe M., White H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, Volume 2, pp. 359–366.
- [25] Cybenko G. (1989). Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematical Control Signals Systems*, Volume 2, pp. 303–314.
- [26] Funahashi K. (1989). On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. *Neural Networks*, Volume 2, pp. 183–192.
- [27] Hornik K. (1991). Approximation capabilities of multilayer feedforward networks. *Neural Networks*, Volume 4, pp. 251–257.
- [28] Hornik K. (1993). Some new results on neural network approximation. *Neural Networks*, Volume 6, pp. 1069–1072.
- [29] Weigend A.S., Huberman B.A., Rumelhart D.E. (1992). *Predicting sunspots and exchange rates with connectionist networks*. In: *Nonlinear Modeling and Forecasting*. Addison-Wesley, Redwood City, CA, pp. 395–432.
- [30] Lowe D., Webb A.R. (1990). Time series prediction by networks: A dynamical systems perspective. *IEE proceedings*, Volume 138, pp. 17–24.
- [31] Deppisch, J., Bauer, H.-U., Geisel, T., Hierarchical training of neural networks and prediction of chaotic time series. *Physics Letters* 158, 57–62, 1991.

- [32] Trippi R.R., Turban E. (1993). *Neural Networks in Finance and Investment: Using Artificial Intelligence to Improve Real-world Performance*. Probus, Chicago, 1993.
- [33] Gately E. (1996). *Neural Networks for Financial Forecasting*. John Wiley, New York.
- [34] Wilson R., Sharda R. (1992). Neural networks. *OR/MS Today*, pp. 36–42, 1992.
- [35] Grudnitski G., Osburn L. (1993). Forecasting S and P and gold futures prices: An application of neural networks. *The Journal of Futures Markets*, Volume 13, pp. 631–643.
- [36] Kohzadi N., Boyd M.S., Kermanshahi B., Kaastra I. (1996). A comparison of artificial neural network and time series models for forecasting commodity prices. *Neurocomputing*, Volume 10, pp. 169–181.
- [37] Maasoumi E., Khotanzad A., Abaye A. (1994). Artificial neural networks for some macroeconomic series: A first report. *Econometric Reviews*, Volume 13, pp. 105–122.
- [38] Mattos M., Simoes P., Zancam E., Ferreira N., Cechinel C. (2008) A Neurofuzzy Approach for Property Value Prediction, 35th Conferencia Latinoamericana de Informatica – CLEI.
- [39] Fischer D., Lai P.P. (2006). Artificial Neural networks and Computer Assisted Mass Appraisal, 12th Annual Conference of the Pacific Rim Real Estate Society (PRRES), New Zealand.
- [40] Bagnoli C., Smith H.C. (1998). The theory of fuzzy logic and its application to real estate valuation, *The Journal of Real Estate Research*, Volume 16, no. 2.
- [41] Kusan H., Autekin O., Ozdemir I. (2010). The use of fuzzy logic in predicting house selling price, *Expert System Application*, Volume 37.
- [42] Zurada J. (2006). Non-conventional approaches to property value assessment, *Journal of Applied Business Research*. Volume 22, no 3.
- [43] Yalpir S., Ozkan G. (2011). Fuzzy logic methodology and multiple regressions for residential real- estates valuation in urban areas. *Journal of Scientific Research and Essays*, Volume 6, no. 12.
- [44] Pi-Ying L. (2006). Analysis of the Mass Appraisal Model. 23rd Pan Pacific Congress of Appraisers, Valuers and Counsellors, San Francisco, CA, 2006.
- [45] Peterson S., Flanagan A.B. (2009). Neural network Hedonic Pricing Model in Mass real Estate Appraisal. *Journal of Real Estate Research*, Volume 31, pp. 147-164.
- [46] Limsombunchai V. (2004). House Price Prediction: hedonic Price Model vs. Artificial Neural Network, Paper presented at the NZARES Conference, Blenheim, June 25-26.
- [47] Vanichvatana S. (2007). Thailand real estate market cycles: case study of 1997 economic crisis, *GH Bank Housing Journal*, Volume 1, pp. 38–47.
- [48] Azbainis V., Rudzkiene V., (2010) Nekilnojamo turto rinkos evoliucijos pokyčiai pereinamosios ekonomikos sąlygomis. Tarptautinė mokslinė konferencija Business, Management and Education, sekcija: Financial problems of business development, VGTU, (in Lithuanian).
- [49] Burinskiene M., Rudzkiene V., Venckauskaite J. (2011). Models of factors influencing the real estate price, Environmental Engineering The 8th International Conference, Vilnius, Lithuania, Vilnius Gediminas Technical University.
- [50] Hott C., Monnin P. (2008). Fundamental real estate prices: An empirical estimation with international data. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, Volume 36, pp. 427-450.
- [51] Oktay E., Karaaslan A., Alkan O., Celik A.K. (2014). Determinants of housing demand in the Erzurum province, Turkey. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, Volume 7, pp. 586-602.
- [52] Post J.E., Berkhout T. (2014). Risk perceptions in the European real estate industry, 2014.
- [53] Zalieckaitė D., Snieška V., Vasauskaitė J., Remeikienė R. (2007). Price, bubble in the Lithuanian real estate market?, Kaunas University of Technology, Kaunas.
- [54] Valadez R.M. (2010), The housing bubble and the U.S. GDP: a correlation perspective. *Journal of Case Research in Business and Economics*, Volume 3, pp. 10490.

- [55] Renigier-Bilozor M., Wisniewski R. (2013). The impact of macroeconomic factors on residential property prices indices in Europe. *XLI Incontro di Studio del Ce.S.E.T.*: pp. 149-166.
- [56] Johansen I., Nygaard R. (2019). Owner-Occupied Housing in the Norwegian HICP, Reports 2009/18. Statistisk sentralbyrå, Statistics Norway Oslo–Kongsvinger.
- [57] Goddard G.J., Marcum B. (2012). *Real estate investment: A value based approach*. Springer-Verlag, Berlin, 1st ed.
- [58] Clapp J., Giacotto C. (1993). The Influence of Economic variables on House price Dynamics. *Journal of Urban Economics*, Volume 36, pp. 116-183.
- [59] Gruma B., Kobe-Govekarb D. (2016). Influence of Macroeconomic Factors on Prices of Real Estate in Various Cultural Environments: Case of Slovenia, Greece, France, Poland and Norway, 3rd Global Conference On Business, Economics, Management And Tourism, 26-28 November 2015, Rome, Italy. *Procedia Economics and Finance*, Volume 39, pp. 597 – 604.
- [60] Mernagh M. (2014). House prices and unemployment: a story of linked fortunes, Significance in Economics & Business. Royal Statistical Society and American Statistical Association.
- [61] Sommer K., Sullivan P., Verbrugge R. (2011). Run-up in the House Price-Rent Ratio: How Much Can Be Explained by Fundamentals?, Bureau of Labor Statistics Working paper 441.
- [62] Peek J., Wilcox A. (1991). The Baby Boom, Pent-Up Demand, and Future House Prices. *Journal of Housing Economics*, Volume 1, pp. 347-367.
- [63] Ciarlone A. (2015). House price cycles in emerging economies. *Studies in Economics and Finance*, Volume 32, pp. 17-52.
- [64] Lin W.S., Tou J.C., Lin S.Y., Yeh M.Y. (2014). Effects of socioeconomic factors on regional housing prices in the USA. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, Volume 7, pp. 30-41.
- [65] Tsatsaronis K., Zhu H. (2004). What drives housing price dynamics: Cross-country evidence, *BIS Quarterly Review*, Volume 3, pp. 65-78.

SOCIO-EKONOMSKA ANALIZA PROJEKTA IZGRADNJE OBILAZNICE: STUDIJA SLUČAJA

Jasmina Četković¹, Miloš Žarković², Nikola Knežević³

Rezime:

Cilj našeg rada bila je analiza opravdanosti projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaje (Crna Gora), dužine cca 2.5 km, koja povezuje magistralni put M-2 (Dimiškin most) i I fazu obilaznice (Crnja). U okviru socio-ekonomske analize opravdanosti projekta procijenjene su očekivane koristi za korisnike transporta (uštete u vremenu putovanja i uštete u troškovima eksploatacije vozila), kao i eksterni uticaji (uticaji na bezbjednost i uticaji na životnu sredinu). Analiza je pokazala da su dominantne uštete u vremenu putovanja i troškovima eksploatacije vozila. Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) ovog projekta je pozitivna u iznosu od 54.989.280 EUR, ekonomska interna stopa rentabilnosti (EIRR) je 26,87% (pri čemu je diskontna stopa 5%), dok benefit-cost ratio (B/CR) iznosi 4,95, što znači da je vrijednost ukupnih diskontovanih prihoda veća od vrijednosti ukupnih diskontovanih troškova. Scenariji osjetljivosti projekta potvrdili su da ovaj projekat ima zadovoljavajuću socio-ekonomsku opravdanost.

Ključne reči: obilaznica, Cost-Benefit analiza, socio-ekonomski benefiti

Abstract:

The goal of our paper was the analysis of the justification of the project of the II phase of the construction of the Rožaje bypass (Montenegro), approximately 2.5 km long, which connects the main road M-2 (Dimiškin bridge) and the I phase of the bypass (Crnja). As part of the socio-economic analysis feasibility of the project, the expected benefits for transport users (savings in travel time and savings in vehicle exploitation costs), as well as external impacts (impacts on safety and impacts on the environment) were assessed. The analysis showed that the dominant savings are in travel time and vehicle operating costs. The economic net present value (ENPV) of this project is positive in the amount of EUR 54,989,280, the economic internal rate of return (EIRR) is 26.87% (with a discount rate of 5%), while the benefit-cost ratio (B/CR) is 4.95, which means that the value of total discounted income is greater than the value of total discounted costs. The sensitivity scenarios of the project confirmed that this project has satisfactory socio-economic feasibility.

Keywords: bypass, Cost-Benefit analysis, socio-economic benefits

¹ Redovni prof., Ekonomski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, jasmina@ucg.ac.me

² Doktorand, Ekonomski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, milos.zarkovic87@gmail.com

³ Asistent, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, nknezevic@gf.bg.ac.rs

1. UVOD

Ne mali broj ranijih istraživanja je nastojao da ocijeni ekonomske, socijalne i druge uticaje obilaznica na društvenu zajednicu. Društvene zajednice prepoznaju obilaznice kao sveukupno korisne, s tim da se proaktivno mora djelovati na promjene i izazove koji se javljaju sa njihovom izgradnjom. Preusmjeravanje saobraćaja iz gradskih centara obavlja se u cilju skraćivanja vremena putovanja, smanjenja saobraćajnih nesreća i poboljšanja protoka saobraćaja. Sa izgradnjom obilaznica, po pravilu, zajedničke koristi se odnose na rješavanje problema ukupnog protoka saobraćaja i redukovanje zagušenja. Na taj način se povećava predvidivost i bezbjednost saobraćajnih obrazaca, iako Amundsen i Hofset u svom istraživanju upozoravaju da smanjenje gustine saobraćaja povećava brzinu putovanja, što može povećati broj i težinu saobraćajnih nesreća [1], dok su Elvic i Vaa utvrdili negativnu korelaciju između težine sudara i gustine saobraćaja [2]. Ipak, još ranije je uočeno da su obilaznice šansa za budući rast nekih područja, bez obzira na rizike od neplaniranog rasta. Istovremeno, izgradnja obilaznica je donijela i određene izazove koje treba proaktivno adresirati i rješavati, kao što su izazovi u dijelu procesa planiranja, potrebe za planovima, promjene u ograničenju brzine, itd. Zato neka istraživanja, uočavajući značaj nekih neekonomskih benefita, sugerišući da je neophodno da saobraćajni planeri pažljivo razmotre sve faktore kako bi se realno ocijenilo da li su obilaznice poželjne i društveno korisne [3]. Takođe, značajan broj ranijih istraživanja je ocjenjivao uticaj autoput obilaznica na ekonomsku aktivnost, pri čemu su rezultati istraživanja bili unekoliko različiti. Tako su se rezultati ovih istraživanja kretali od onih da obilaznice imaju značajan pozitivan uticaj na lokalnu ekonomsku aktivnost [4] ili nemaju negativan uticaj na ekonomski rast [5], preko onih koja su zaključila da zajednice nemaju značajne ili nemaju iste benefite od njih [6], do onih istraživanja koja su ocijenila da nema dovoljno dokaza za utvrđivanje odnosa između izgradnje obilaznica i ekonomske aktivnosti, jer mnogi drugi faktori, pored obilaznica, imaju uticaja na ekonomsku aktivnost zajednica [7]. Neka od kasnijih istraživanja su ponudila miksane rezultate, ukazujući na to da obilaznice izgleda nemaju značajan uticaja na ukupnu zaposlenost, ali da su nesporni pozitivni uticaji obilaznica, kao što su smanjenje buke i zagušenosti saobraćaja, unaprijeđena bezbjednost, razvoj novih poslova, povećanje dostupnosti područja, itd. [8].

Značajan broj istraživanja ocjenjivao je efekat obilaznica na bezbjednost saobraćaja. Tako je istraživanje Elvik et al. utvrdilo statistički značajno smanjenje broja nezgoda sa povredama (od skoro 20%), kao rezultat izgradnje obilaznica [9]. Slične efekte na sigurnost saobraćaja su potvrdila i mnoga druga istraživanja [10-14]. Međutim, istraživanje Elias i Shiftan sugeriše velike varijacije u efektima izgradnje obilaznica na saobraćajnu sigurnost [15], dok Goldenbeld i Schermers zaključuju da će impakt varirarati u zavisnosti od sigurnosti stare dionice, kao i od toga da li obilaznica stvara dodani promet i da li dovodi do povećanja brzine [16]. Dodatno, nedavno istraživanje Gawrońska et al. je pokazalo da izradnja obilaznice neće imati negativan uticaj na elemente životne sredine i zdravlje [17], a eventualni negativni uticaji na životnu sredinu se mogu ublažiti usvajanjem dobre građevinske prakse i efektivnom implementacijom plana upravljanja zaštitom životne sredine [18].

Cilj našeg rada je socio-ekonomska analiza opravdanosti projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaje (Crna Gora), dužine cca 2.5 km, koja povezuje magistralni put M-2 (Dimiškin most) i I fazu obilaznice (Crnja). Osnovni problemi saobraćaja na postojećem putu ispoljavaju se kroz pojavu uskih grla (pogotovo u špicu turističke sezone), niske prosječne brzine vozila (zbog loših elemenata postojećeg puta, zbog prolaska kroz raskrsnice u nivou, zbog konflikta sa pješačkim kretanjima, itd.), povećane troškove eksploatacije vozila i troškove vremena putovanja, nizak nivo bezbjednosti i ugrožavanje životne sredine. Ciljevi izgradnje ove obilaznice su eliminisanje navedenih problema preusmjeravanjem tranzitnih tokova na obilaznicu. Osnovni zadatak u našem radu je bio

da se na osnovu sagledanih socio-ekonomskih troškova izgradnje i očekivanih socio-ekonomskih koristi u 20-to godišnjem periodu, primjenom Cost-Benefit analize, utvrde pokazatelji socio-ekonomskog vrednovanja koji su mjerodavni za pružanje odgovora na pitanje da li postoji zadovoljavajuća socio-ekonomska opravdanost ulaganja u ovaj projekat.

2. TRENUTNO STANJE: OBILAZNICA ROŽAJE, CRNA GORA

Drumske veze sa okruženjem opština Rožaje ostvaruje državnim putevima, magistralnim i regionalnim. Komunikacija sa unutrašnjom zonom ostvaruje se isto državnim putevima, kao i mrežom lokalnih i nekategorisanih puteva. Državna putna mreža u predmetnoj zoni je u dosta lošem stanju, uzimajući u obzir njenu prosječnu starost, kao i mala ulaganja u održavanje i rekonstrukciju, što za posljedicu ima veliki broj kritičnih mjesta, posebno na velikim nadmorskim visinama. Magistralni put M-5 (Ibarska magistrala) predstavlja osnovu putne mreže opštine Rožaje, kojim je opština Rožaje u jednom smjeru povezana sa opštinom Berane i dalje čitavom Crnom Gorom, a u drugom smjeru sa Srbijom i Kosovom. S obzirom na položaj, prostor opštine Rožaje predstavlja tranzitnu zonu za saobraćajne tokove iz Srbije prema Podgorici i dalje za primorje, kao i za tokove u suprotnom smjeru. Zbog izrazito velikih saobraćajnih opterećenja naročito tokom ljetnje sezone, nivo usluge magistralnog puta na tom pravcu je ispod potrebnog, kao i bezbjednost odvijanja drumskog saobraćaja. Osim saobraćajnim opterećenjem usljed tranzita, magistralni put je opterećen i saobraćajem u službi gradskih potreba. Mreža saobraćajnica u gradu prilagođena je uslovima koje je diktirao prolazak magistralnog puta kroz sredinu naselja. Tako magistrala pri prolasku kroz grad ima karakter tranzitne i gradske saobraćajnice, sa mješovitom strukturom saobraćaja (pješaci biciklisti, dostava i sl).

Da bi se postignu planirani ciljevi razvoja grada, tranzitni saobraćaj je neophodno potpuno izmjestiti iz grada. Izgradnjom obilaznice, postojeća saobraćajnica bi se rekonstruisala u saobraćajnicu koja u potpunosti zadovoljava gradske kriterijume (pješačke, biciklističke staze, rasvjeta, raskrsnice...). Na ovaj način bi se potpuno razdvojila dva tipa saobraćajnog opterećenja: tranzitno i gradsko.

Projektu izgradnje obilaznice Rožaje prethodila je izrada studije izvodljivosti koja je uključila saobraćajnu i socio-ekonomsku analizu projekta, sa ciljem da se dobiju pouzdani pokazatelji na osnovu kojih treba da se donese odluka o opravdanosti izgradnje predmetne deonice. Kako je I faza obilaznice okončana, osnovni cilj izrade studije izvodljivosti bila je ocjena projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaja, Crna Gora, dužine cca 2.5 km, koja povezuje magistralni put M-2 (Dimiškin most) i I fazu obilaznice (Crnja). Kako ja naprijed navedeno, osnovni problemi saobraćaja na postojećem putu se odnose na pojavu uskih grla, niske prosječne brzine vozila, povećane troškove eksploatacije vozila i troškove vremena putovanja, nizak nivo bezbjednosti i ugrožavanje životne sredine. Razvoj mreže saobraćajnica u predmetnom zahvatu treba da predstavlja balans između ekonomskih i tehničkih zahtjeva. S tim u vezi analizirane su dvije alternative:

- Alternativa A: „Do minimum“. Ova mogućnost iziskuje najmanje troškova. Ova varijanta poboljšanja trenutne situacije podrazumijeva manje intervencije na samom kolovozu, kao i u smislu poboljšanja uslova odvijanja saobraćaja. Manje intervencije se ogledaju u sanaciji kolovoza, odnosno rehabilitaciji kolovozne konstrukcije. S obzirom na ivičnu gradnju, potrebno bi bilo uraditi pješačke staze. U tom slučaju, neophodna je izgradnja atmosferske kanalizacije. Sve raskrsnice je potrebno obilježiti saobraćajnom signalizacijom. Ona povećava nivo bezbjednosti i privatnih i komercijalnih vozila, kao i ostalih učesnika u saobraćaju (pješaka i biciklista). Rehabilitaciju, koja se inače radi na svakih 15 godina, trebalo bi uraditi odmah,

- Alternativa B: Izgranja II faze obilaznice. Ovom alternativom se kompletan tranzitni saobraćaj izmješta iz gradskog jezgra. Postojeća saobraćajnica bi bila rasterećena i služila bi za potrebe stanovnika koji joj gravitiraju. Planirani koncept trase obilaznice je sljedeći: na zapadnom dijelu opštine Rožaje magistralni put se iz pravca Berana povezuje na obilaznicu (Dimiškin most) i dalje preko gradskog naselja Gornji Ibarac vezuje na regionalni put za Peć (Crnja kota 1100mm), zatim ide do naselja Zeleni na istoku gdje sa magistralim putem prema granici Srbije ostvaruje vezu kod Zelenskog mosta. Prva faza obilaznice (od veze sa regionalnim putem do Zelenskog mosta) je izvedena na padini sa lijeve obale rijeke Crnja. Projektovana je kolovozna konstrukcija za teški saobraćaj sa debljinom kolovozne konstrukcije 53 cm, širina kolovoznog zastora $B = 6\text{m}$, širina ivične trake 30 cm, širina bankina 1 m sa obje strane i širina rigole 50 cm. Ukupna dužina I faze obilaznice iznosi oko 3.6km.

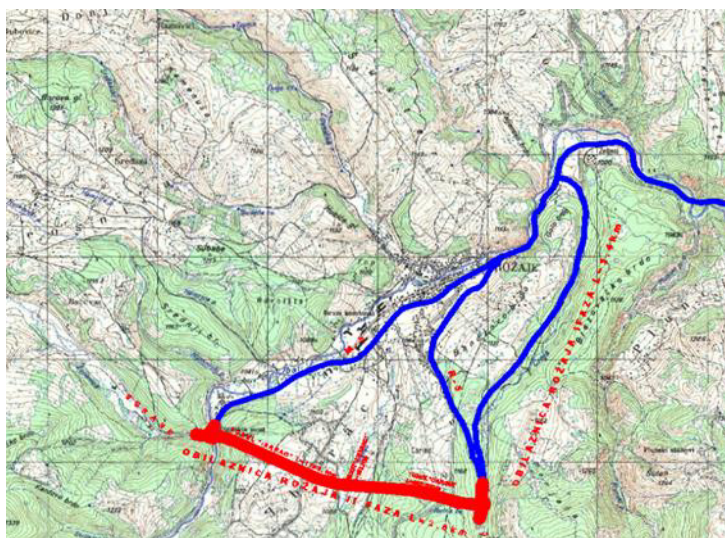
Na osnovu Studije saobraćaja, koja je urađena za potrebe izrade PUP-a opštine Rožaje, usvojena je trasa II faze obilaznice dužine $L = 2,5\text{ km}$ na relaciji: Dimiškin most (kota 1043)→Ibarac→Crnja. Trasa počinje od Dimiškinog mosta, raskrsnicom sa kružnim tokom. Posle raskrsnice, trasa ulazi u tunel od 1193 m do doline Ibarac, gdje izlazi na kotu približno 1072 mm. Dolina Ibarac se prelazi vijaduktom od 154.70 m, zatim otvorenom trasom ulazi u tunel „Carine“, dužine (692.60 m) i izlazi u Crnju na kotu 1114 mm, gdje se kružnom raskrsnicom vezuje na I fazu obilaznice. Put će imati dvije saobraćajne trake sa obostranim bankinama širine po 1,00m. Trasa II faze obilaznice projektovana je za računsku brzinu od 60km/h, u skladu sa projektnim zadatkom i urbanističko-tehničkim uslovima. Osnovni elementni poprečnog profila prikazani su u Tabeli 1, koja slijedi u nastavku teksta.

Tab. 1 Osnovni elementi poprečnog profila

| | |
|---|-----------|
| Širina saobraćajnih traka | 2x3,00m |
| Širina ivične trake | 2x0,35m |
| Širina bankine | min 1,00m |
| Zaštitne pješačke staze na mostovima i tunelima | min 1,00m |
| Proširenje u krivinama za mimoilaženje dva teretna vozila sa prikolicom | |

Kako je već navedeno, na trasi su projektovani mostovi (“Dimiškin” most, $l = 17.70\text{m}$ i most “Veliki Ibarac”, $l = 154.70\text{m}$), kao i tuneli (tunel “Ibarac”, $l = 1193.10\text{m}$ i tunel “Carine”, $l = 692.60\text{m}$). Investiciona ulaganja u izgradnju II faze obilaznice Rožaje su utvrđena u ukupnom iznosu od 19.788.320 EUR, od čega je do sada realizovano 14.352.893 EUR, te je preostali iznos potreban za završetak ulaganja 5.435.427 EUR.

Analiza karakteristika saobraćajnog toka obuhvatila je analizu zahtjeva za protokom, strukturu saobraćajnog toka i vremenske neravnomjernosti protoka, u skladu sa raspoloživim podacima. Prilikom procjene veličine zahtjeva za protokom na dionici puta M5 kroz Rožaje uzeti su u obzir demografski podaci, a kao referentna vrijednost uzet je broj stanovnika opštine i naselja Rožaje iz popisa stanovništva 2011 godine. Prognoza saobraćajne potražnje na putnoj mreži u zoni obilaznice izvršena je za planski period 2023 – 2043. godine. Analiza je bazirana na podacima prikupljenim na automatskim brojačima 0050-M5 Kalače, 0056-R5 Kula u Crnoj Gori i ABS1318 u Republici Srbiji. Detaljne prognoze za sve dionice relevantne za ocjenu projekta izgradnje obilaznice Rožaje, za scenarija "bez" i "sa" projektom, urađene su okviru saobraćajnog dijela studije opravdanosti. Putna mreža sa obilaznicom grada prikazana je na Slici 1.



Slika. 1 Putna mreža sa obilaznicom grada (source: Studija izvodljivosti obilaznice Rožaje, II faza)

Ciljevi izgradnje obilaznice Rožaje ogledaju se u eliminisanju naprijed navedenih saobraćajnih problema, koji će se otkloniti preusmjeravanjem tranzitnih tokova na obilaznicu. Istovremeno, očekuje se da u određenoj mjeri dođe do poboljšanja uslova saobraćaja za lokalne i početno završne tokove koji će ostati na postojećem putu nakon izgradnje obilaznice. U ovom radu, u okviru socio-ekonomske analize troškova i koristi, ocijenjen je uticaj ovog projekta na socio-ekonomsku dobrobit društva.

3. METODOLOGIJA

Proces razvoja saobraćaja koji se ostvaruje kroz investicionu aktivnost, uglavnom ima karakter modernizacije ili izgradnje, sa naglaskom na rekonstrukciji ili kompletiranju postojećih objekata saobraćajne infrastrukture. Osnovna karakteristika ovakvih zahvata jeste da se u tom procesu koriste i postojeći i dodatni činioци proizvodnje saobraćajnih usluga, pa su postignuti efekti nakon modernizacije rezultat i jednih i drugih činilaca. Zbog toga je bilo neophodno izdvojeno identifikovati i mjeriti efekte dodatnih investicija, jer se jedino tako može sprovesti analiza i ocjena opravdanosti projekta. To se postiže primjenom Cost-Benefit analize, usklađenom i verifikovanom metodologijom koja predstavlja zajednički standard za investicije svih veličina i oblasti primjene.

U ovom radu, u okviru Cost-Benefit analize, urađeno je poređenje dva različita scenarija: scenario „sa projektom“ (koji podrazumijeva sprovođenje planirane investicije) i scenario „bez projekta“ (koji podrazumijeva očuvanje postojećeg stanja). Bitne pretpostavke za analizu i ocjenu opravdanosti projekta bile su utvrđivanje strukture, visine i dinamike investicionih ulaganja i utvrđivanje elemenata za kalkulaciju troškova i prihoda, kako za stanje „sa projektom“, tako i za stanje „bez projekta“. Osnovne metodološke odrednice za sprovođenje predmetne socio-ekonomske analize opravdanosti projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaje, bile su:

- Cost-Benefit analiza je rađena na način da su osnovni principi i pravila na kojima je zasnovana analiza opravdanosti projekta II faze obilaznice Rožaje postavljeni u skladu sa principima i pravilima EK i međunarodnih finansijskih institucija [19],
- Transformacija tržišnih u obračunske (ekonomske) cijene vršena je uz pomoć faktora konverzije;
- U cilju svođenja troškova i koristi na istu baznu godinu vrši se proces diskontovanja. Prema Smjernicama EK za analizu troškova i koristi preporučuje se korišćenje diskontne stope od 5% za države koje pristupaju EU [19];
- Veličine dostignutog i prognoziranog saobraćaja na postojećim putnim pravcima, kao i raspodjela prognoziranog saobraćaja, između postojećih putnih pravaca i

projektovane obilaznice, u 20-godišnjem inicijalnom periodu projekcije, date su na osnovu podataka iz saobraćajnog dijela studije opravdanosti;

- Operativni postupak koji je primijenjen u postupku analize i ocjene opravdanosti projekata sastoji se od (1) analize, pod pretpostavkom da investicionih ulaganja u projekat koji je predmet ocjene neće biti (analiza stanja „bez projekta“), (2) analize, pod pretpostavkom da će se potrebna investiciona ulaganja u predmetni projekat realizovati (analiza stanja „sa projektom“) i (3) ocjene doprinosa investicionih ulaganja (razlika između stanja „sa“ i „bez projekta“). Detaljne prognoze za sve dionice relevantne za ocjenu ovog projekta, za scenarija "bez" i "sa" projektom, preuzete su iz saobraćajnog dijela studije opravdanosti;
- Kako je naprijed navedeno, u okviru socio-ekonomske analize opravdanosti projekta ocijenjene su očekivane koristi za korisnike transporta, kao i eksterni uticaji (širi društveni uticaji). Od koristi za korisnike transporta kalkulisane su uštede u vremenu putovanja i uštede u troškovima eksploatacije vozila, dok su u okviru kategorije eksternih uticaja projekta procijenjeni uticaji na bezbjednost saobraćaja i uticaji na životnu sredinu;
- Za proračun troškova vremena putovanja na mreži „bez projekta“ i mreži „sa projektom“, kao i za proračun troškova održavanja razmatranih mreža, primijenjen je klasičan postupak direktne analize;
- Za kalkulaciju troškova od saobraćajnih nezgoda u 20-godišnjem periodu na razmatranoj mreži korišćeni su odgovarajući proračunati stepeni saobraćajnih nezgoda u odnosu na vozilo/km;
- Na bazi razlike u troškovima eksploatacije vozila na mreži „bez projekta“ i mreže „sa projektom“, u 20-godišnjem periodu projekcije, urađen je proračun očekivanih direktnih socio-ekonomskih koristi po ovom osnovu;
- Efekti na životnu sredinu su kalkulisani kao razlika u troškovima zagađenja životne sredine na mreži „bez projekta“ i mreže „sa projektom“, u 20-godišnjem periodu projekcije, a razmatrani su uticaji na zagđenje vazduha i uticaji na klimatske promjene;
- Primjenom Cost-Benefit analize utvrđeni su sljedeći indikatori vrednovanja projekta sa socio-ekonomskog aspekta: ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV), ekonomska interna stopa rentabilnosti (EIRR) i Benefit/Cost ratio (B/CR). Poređenjem vrijednosti EIRR sa oportunitetnim troškom kapitala (OCK) i poređenjem vrijednosti ENPV sa 0 urađena je ocjena opravdanosti II faze obilaznice Rožaje sa društveno-ekonomskog aspekta. ENPV je indikator koji uvažava vremenske preferencije i predstavlja zbir neto dobiti u ekonomskom vijeku projekta svedenih diskontovanjem na sadašnji trenutak, tj. na početak ulaganja. Metod neto sadašnje vrijednosti se temelji na pretpostavci diskontovanja svih budućih prihoda i troškova na početku implementacije projekta, uz unaprijed određenu diskontnu stopu. Projekat je prihvatljiv ako je ENPV veća od nule. EIRR je stopa po kojoj se ENPV projekta izjednačava sa 0, a kao kriterijum prihvatljivosti se uzima da ona treba da bude veća od diskontne stope. B/CR pokazuje koliko se neto koristi može postići po svakoj jedinici troškova, a računava se kao odnos diskontovanog zbira svih budućih koristi i diskontovanog zbira svih troškova. Projekat je prihvatljiv ukoliko je B/CR veći od 1.
- U okviru analize osjetljivosti projekta, prethodno navedeni indikatori opravdanosti projekta (EIRR, ENPV i B/CR), podvrgnuti su testovima osjetljivosti, s obzirom na moguća odstupanja u ekonomskim troškovima izgradnje i ekonomskim koristima od izgradnje.

4. REZULTATI ANALIZE I DISKUSIJA

Finalnim rezultatima socio-ekonomske analize prethodilo je nekoliko koraka. U prvom koraku je izvršena kalkulacija očekivanih troškova projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaje, tj. kalkulacija troškova investicionog ulaganja i troškova održavanja nove

saobraćajnice. U sljedećem koraku urađena je kalkulacija očekivanih koristi od ovog projekta, i to koristi za korisnike transporta (uštede u vremenu putovanja i uštede troškova eksploatacije vozila) i eksternih uticaja projekta (uticaji na bezbjednost i uticaji na životnu sredinu). Navedene kalkulacije, zbog obima rada, nijesu prikazane u samom radu. Nakon urađene ocjene očekivanih troškova i koristi projekta, socio-ekonomska ocjena opravdanosti konkretnog projekta je izvršena primjenom standardnih dinamičkih pokazatelja opravdanosti investicije, i to: ENPV, EIRR i B/CR. Na kraju je urađena analiza osjetljivosti projekta, kojom je utvrđen prag rentabilnosti projekta, variranjem ključnih parametara analize. Finalni rezultati socio-ekonomske analize i analiza osjetljivosti projekta prikazani su u nastavku rada.

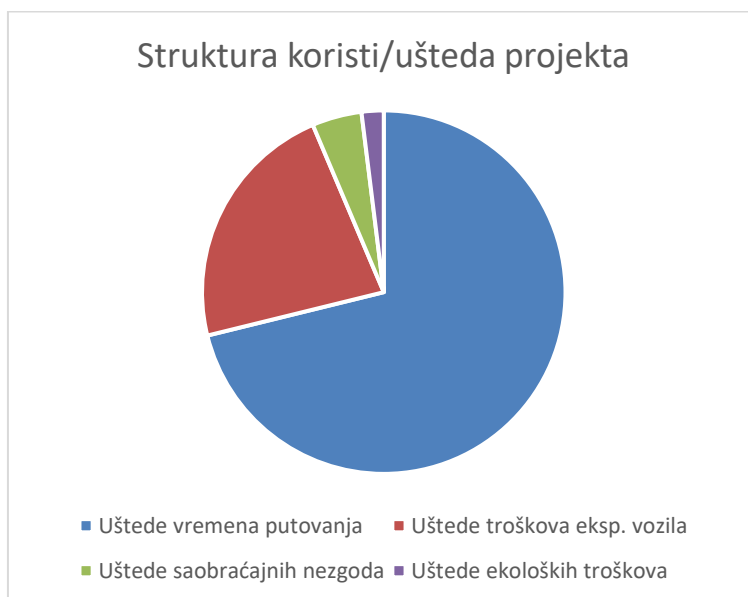
4.1. FINALNI REZULTATI SOCIO-EKONOMSKE ANALIZE PROJEKTA

Kako je navedeno u tački 3, socio-ekonomska analiza i ocjena projekta II faze obilaznice Rožaje izvršena je primjenom standardnih dinamičkih pokazatelja opravdanosti investicije, i to: ENPV, EIRR i B/CR. U cilju svođenja troškova i koristi na istu baznu godinu izvršen je proces diskontovanja, pa je preduslov za dinamičku ocjenu isplativosti bio utvrđivanje adekvatne diskontne stope. Kako je već navadeno, prema preporukama relevantne metodologije, za države koje pristupaju EU preporučuje se korišćenje diskontne stope od 5% [19]. Ukupni efekti izgradnje – troškovi i koristi projekta, koji su sagledani po godinama u periodu od 2020 – 2043. god., diskontovanjem pomoću izabrane diskontne stope svedeni su na zajednički imenitelj, odnosno izraženi su u sadašnjim vrijednostima novčanih jedinica, što je prikazano u Tabeli 2.

Tab. 2 Projekcija ekonomskog toka projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaje

| Godina | Investiciona ulaganja | Troškovi održavanja | Uštede vremena putovanja | Uštede troškova eksp. vozila | Uštede saobraćajnih nezgoda | Uštede ekoloških troškova | Rezidualna vrijednost | Neto efekti |
|--------|-----------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------|
| 2020 | 6.047.332 | | | | | | | -6.047.332 |
| 2021 | 3.676.021 | | | | | | | -3.676.021 |
| 2022 | 5.909.420 | | | | | | | -5.909.420 |
| 2023 | | 38.189 | 1.917.183 | 1.045.716 | 200.908 | 85.667 | | 3.010.377 |
| 2024 | | 38.189 | 2.684.765 | 1.173.525 | 228.573 | 99.559 | | 3.919.660 |
| 2025 | | 38.189 | 3.533.338 | 1.227.701 | 239.934 | 105.204 | | 4.828.053 |
| 2026 | | 38.189 | 4.626.166 | 1.285.414 | 251.977 | 111.194 | | 5.984.585 |
| 2027 | | 38.189 | 6.033.150 | 1.346.996 | 264.747 | 117.551 | | 7.459.508 |
| 2028 | | 38.189 | 7.644.386 | 1.362.969 | 267.388 | 118.787 | | 9.087.953 |
| 2029 | | 38.189 | 7.243.591 | 1.376.794 | 270.082 | 120.045 | | 8.702.242 |
| ... | | | | | | | | |
| 2041 | | 38.189 | 3.080.902 | 1.543.368 | 302.900 | 135.995 | | 4.722.075 |
| 2042 | | 38.189 | 3.108.174 | 1.556.966 | 305.656 | 137.394 | | 4.764.345 |
| 2043 | | 46.295 | 3.135.680 | 1.570.703 | 308.445 | 138.813 | 9.067.009 | 13.865.910 |

Radi veće vizibilnosti očekivanih socio-ekonomskih koristi od projekta obilaznice Rožaje, relativna struktura ukupnih socio-ekonomskih koristi projekta prikazana je na Slici 2, dok su finalni rezultati socio-ekonomske analize opravdanosti projekta II faze izgradnje obilaznice Rožaje prikazani u Tabeli 3.



Slika. 2 Relativna struktura ukupnih socio-ekonomskih koristi/ušteda projekta

Tab. 3 Pregled indikatora socio-ekonomske opravdanosti projekta

| Indikatori socio-ekonomske opravdanosti projekta | Vrijednost |
|--|----------------|
| Ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) | 55.054.502 EUR |
| Ekonomska interna stopa rentabilnosti (EIRR) | 26,88% |
| Benefit-cost ratio (B/CR) | 4,96 |

Kao što se vidi iz Tabele 3, ekonomska neto sadašnja vrijednost (ENPV) ovog projekta je pozitivna u iznosu od 55.054.502 EUR, što znači da će društvo, ako očekuje prinos po stopi od 5%, biti u dobitku za utvrđeni iznos neto sadašnje vrijednosti. Ekonomska interna stopa rentabilnosti (EIRR) ovog projekta je 26,88%, što se može smatrati povoljnom internom stopom, ako se ima u vidu da je projekat prihvatljiv ako ima IRR minimum 5% (koliko iznosi diskontna stopa). Benefit-cost ratio (EB/CR) ovog projekta je 4,96, što znači da je vrijednost ukupnih diskontovanih prihoda veća od vrijednosti ukupnih diskontovanih troškova. Na osnovu dobijenih finalnih rezultata analize, zaključili smo da je projekat socio-ekonomski opravdan i da ga treba implementirati.

4.2. ANALIZA OSJETLJIVOSTI

S obzirom da se tokom ocjene efikasnosti projekta koriste buduće vrijednosti, koje uslovljavaju određeni manji ili veći stepen neizvjesnosti dobijenih rezultata, urađena je analiza osjetljivosti projekta kojom je utvrđen prag rentabilnosti projekta, variranjem ključnih parametara analize, i to: obim saobraćaja, veličina kapitalnog ulaganja, diskontna stopa i vrijeme putovanja. Rezultati analize osjetljivosti, sa pretpostavkama koje su uzete u socio-ekonomskoj analizi, dati su u Tabeli 4.

Tab. 4 Testovi osjetljivosti: socio-ekonomska analiza

| Redni broj | Vrsta testa | EIRR Uslov: EIRR > OCK | ENPV Uslov: ENPV > 0 (u EUR) | BCR Uslov: BCR > 1 |
|------------|--|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. | OBIM SAOBRAĆAJA | | | |
| | Scenario 1: Osnovni scenario | 26,88% | 55.054.502 | 4,96 |
| | Scenario 2: Pad saobraćaja za 10% | 24,91% | 48.363.309 | 4,48 |
| | Scenario 3: Pad saobraćaja za 20% | 22,81% | 41.672.116 | 4,00 |
| | Scenario 4: Porast saobraćaja za 10% | 28,75% | 61.745.695 | 5,43 |
| | Scenario 5: Porast saobraćaja za 20% | 30,53% | 68.436.888 | 5,91 |
| 2. | VELIČINA KAPITALNOG ULAGANJA - INVESTICIJA | | | |
| | Scenario 1: Osnovni scenario | 26,88% | 55.054.502 | 4,96 |
| | Scenario 2: Rast investicije 10% | 26,37% | 54.635.679 | 4,79 |
| | Scenario 3: Rast investicije za 20% | 25,87% | 54.216.855 | 4,64 |
| 3. | DISKONTNA STOPA | | | |
| | Scenario 1: Osnovni scenario – diskontna stopa 5% | 26,88% | 55.054.502 | 4,96 |
| | Scenario 2: Diskontna stopa 6% | 26,88% | 47.578.550 | 4,50 |
| | Scenario 3: Diskontna stopa 8% | 26,88% | 35.654.213 | 3,74 |
| | Scenario 4: Diskontna stopa 10% | 26,88% | 26.760.228 | 3,15 |
| 4. | VRIJEDNOST VREMENA | | | |
| | Scenario 1: Osnovni scenario | 26,88% | 55.054.502 | 4,96 |
| | Scenario 2: Vrijednost vremena putovanja manja za 33% | 21,66% | 38.250.558 | 3,81 |

Na osnovu testova osjetljivosti, prezentovanih u Tabeli 4, zaključili smo da za sve „razvijene“ scenarije, koji su pretpostavili variranje ključnih parametara analize, dobijeni rezultati su slični rezultatima analize dobijenih u „osnovnom“ scenariju, čime je potvrđen zaključak iz „osnovnog“ scenarija da projekat ima zadovoljavajuću socio-ekonomsku opravdanost.

ZAKLJUČAK

Direktne koristi od ove investicije, koje je predmetna analiza pokazala, uključile su uštede troškova vremena putovanja (kao posljedica povećanja operativnih brzina vozila), uštede troškova eksploatacije vozila, uštede troškova saobraćajnih nezgoda i ekološke uštede. Analiza je pokazala da su u strukturi očekivanih socio-ekonomskih koristi projekta dominantne uštede u vremenu putovanja i troškovima eksploatacije vozila. Na osnovu cjelokupne analize zaključujemo da, iz ugla analiziranih socio-ekonomskih efekata, ovaj projekat ima puno socio-ekonomsko i saobraćajno-tehnološko opravdanje. Uvažavajući sve napred navedeno, preporuka je da treba nastaviti sa svim daljim aktivnostima usmjerenim na završetak obilaznice i njeno puštanje u saobraćaj, čime bi se stekli uslovi za ostvarivanje očekivanih koristi kvantifikvanih u radu. Završetak i puštanje u saobraćaj obilaznice Rožaje treba da obezbijedi niz direktnih efekata, kao što su eliminisanje uskih grla, povećanje prosječne brzine vozila, smanjenje troškova eksploatacije vozila i troškova vremena putovanja, povećanje nivoa bezbjednosti, kao i efekte zaštite životne sredine (kao što su nivo buke, aero zagađenje, itd.).

Vjerujemo da rezultati našeg istraživanja, ostvareni i prezentovani u ovom radu, predstavljaju teorijski i praktični doprinos u ovoj oblasti. Naime, od projekata saobraćajne infrastrukture se očekuju značajni socio-ekonomski efekti, koji primarno opredjeljuju

odluku o investiranju. Zbog toga je korišćenje relevantne metodologije za kvantifikovanje i monetizovanje ovih benefita teorijski doprinos našeg rada u ovoj oblasti. Istovremeno, ovakve analize treba da pruži snažnu podršku kreatorima politike u procesu donošenja odluka, kako bi se obezbijedila optimalna alokacija ograničenih resursa i zadovoljio javni interes. Kako ovi projekti unapređuju saobraćajnu infrastrukturu opština, u tome se sastoji praktični doprinos ovog rada.

Ograničenja u našem radu su istovremeno slobodan prostor za buduća istraživanja. Naime, u okviru ocjene očekivanih socio-ekonomskih benefita od izgradnje obilaznice Rožaje, nijesu obuhvaćeni svi benefiti koji se mogu ostvariti njenom izgradnjom. Njihovo kvantifikovanje, koje bi moglo da poboljša rezultate ostvarene u okviru socio-ekonomske analize, drugim istraživačima otvara prostor za buduća istraživanja.S

LITERATURA

- [1] Amundsen F.H., Hofset F. (2000). Omkjøringsveger-en Analyse av Trafikkulykker og Trafikkutvikling. *Rapport TTS*, Volume 8. Vegdirektoratet, Kontor for trafikkanalyse, Oslo.
- [2] Elvic R., Vaa T. (2004). *The Handbook of Safety Measures*. Elsevier Science, Oxford.
- [3] Srinivasan S., Kockelman K. (2002). The Impacts of Bypasses On Small- and Medium-Sized Communities: an Econometric Analysis. *Journal of Transportation and Statistics*, Volume 5, pp. 57-69.
- [4] Buffington J. E., Burke D. J. (1991). Employment and Income Impact of Expenditures for Bypass, Loop and Radial Highway Improvements. *Transportation Research Record*, Volume 1305, pp. 224-232.
- [5] Andersen S. J., Mahmassani H. S., Helaakoski R., Euritt M. A., Walton C. M., Harrison R. (1993). Economic Impact of Highway Bypasses. *Transportation Research Record*, Volume 1395, pp. 144-152.
- [6] Burress D. (1996). Impact of Highway Bypasses on Kansas Towns. Kansas Department of Transportation Final Report No. K-TRAN: KU 95-5, Lawrence, Kansas.
- [7] Wells S., Farnworth. T. (2001). Economic Impacts of Highway Bypasses on Small Communities – A Review. *Development Authority of the North Country*.
- [8] Babcock M. W., Davalos J. (2004). Case Studies of the Economic Impact of Highway Bypasses in Kansas. Report No. K-TRAN: KSU – 02-1, Kansas State University Manhattan, Topeka, Kansas.
- [9] Elvik R., Amundsen F. H., Hofset F. (2001). Road Safety Effects of Bypasses. *Transportation Research Record*, Volume 1758, pp. 13-20.
- [10] Jadaan K. S., Nicholson A. J. (1988). Effect of a New Urban Arterial on Road Safety. *Australian Road Research*, Volume 18, pp. 213–223.
- [11] Andersson, P. K.; Lund, B. L.; Greibe, P. Omfartsveje. Den Sikkerhedsmessige Effekt. Rapport 4, Danmarks Transport Forskning, Lyngby, 2001.
- [12] Egan M., Petticrew M., Ogilvie D., Hamilton V. (2003). New Roads and Human Health: A Systematic Review. *American Journal of Public Health*, Volume 93, pp. 1463–1471. <https://doi.org/10.2105%2Fajph.93.9.1463>
- [13] Cena L., Keren N., Li W. (2007). A full Bayesian assessment of the effects of highway bypasses on crashes and crash rates. In: Proceedings of the 2007 MidContinent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa State University.
- [14] Cena L. G., Keren N., Li W., Carriquiry A. L., Pawlovich M. D., Freeman, S. A. (2011). A Bayesian assessment of the effect of highway bypasses in Iowa on crashes and crash rate. *Journal of Safety Research*, Volume 42, pp. 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2011.05.007>
- [15] Elias W., Shiftan Y. (2011). The Safety Impact of Land Use Changes Resulting from Bypass Road Constructions. *Journal of Transprrt Geography*. Volume 19, pp. 1120-1129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.05.012>

- [16] Goldenbeld C., Schermers G. (2017). Synopsis 15: Creation of bypass roads SafetyCube. Project: SafetyCube.
- [17] Gawrońska G., Gawroński G., Król K., Buzowski H. (2019). Environmental Impact Assessment of a Planned Construction Project – Case Study of the Tuchów Bypass. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, Volume 2, pp. 21–36.
- [18] Ullah N., Shah H. U., Khan J., Abdullah S., Ahmad M. (2020). Environmental Impact of Newly Constructed Road (A case study of Jamrud bypass Road Khyber Pakhtunkhwa – Pakistan). *Global Scientific Journal*, Volume 8, pp. 434-437.
- [19] European Commission. (2020). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014-2020.

ULOGA I ZNAČAJ COST-BENEFIT ANALIZE U INVESTICIONOM MENADŽMENTU

Miloš Ivaniš¹

Rezime:

Da bismo mogli realno sagledati proces investiranja i oceniti opravdanost realizacije jednog investicionog projekta potrebno je utvrditi i analizirati ukupne efekte koje donosi realizacija određene investicije. Efekti, koje daje jedan investicioni projekat, mogu se ocenjivati i analizirati, kako sa aspekta preduzeća, tako i sa aspekta šire društvene zajednice. Preduzeća kao investitori, najčešće su zainteresovana samo za direktne ekonomske efekte od investicija, koji se mogu dovoljno egzaktno meriti i kvantitativno izražavati, za razliku od indirektnih kod kojih to nije moguće. Međutim, pojedine investicije ipak treba posmatrati i ocenjivati, pre svega, sa šireg društvenog aspekta (saobraćajne, energetske i sl.). U tom kontekstu, cost-benefit analiza predstavlja metod za donošenje investicionih odluka, kojima se vrši uticaj na razvoj određenog regiona, društvene zajednice ili društva u celini. Cilj ovog rada je da ukaže na osnovne elemente cost-benefit metodologije za ocenu investicionih projekata.

Ključne reči: analiza, investicije, troškovi, koristi, investicioni kriterijumi.

ROLE AND IMPORTANCE OF COST-BENEFIT ANALYSIS IN INVESTMENT MANAGEMENT

Summary:

In order to estimate the investment process realistically and assess the justification of an investment project it is necessary to establish and analyze the total effect brought by the realization of an investment. This effect can be assessed and analyzed both from the perspective of a firm and broader social community. Firms as investors are usually interested only in direct economic effects which can be measured and expressed in quantitative terms, in contrast to indirect ones which are harder to measure and quantify. However, it is to be borne in mind that certain investments should be considered and assessed mainly from a broader aspect (e.g. the ones in transportation system, energetics and alike). To that end, cost-benefit analysis presents a method used for making investment decisions which influence the development of broader social community – a certain region, economy or society as a whole. The aim of this paper is to point out the basic elements of cost-benefit methodology for the assessment of an investment project.

Key words: analysis, investments, cost, benefits, investment criteria.

¹Student doktorskih studija, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Novi Sad, Cvećarska 2, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Srbija, e-mail: mivanis97@gmail.com

1. UVOD

Proces investiranja karakterišu jednokratna ili višekratna ulaganja koja se vrše u sadašnjem, a njihovi efekti se očekuju u budućem vremenu. Otuda, aktivnosti investiranja mogu se definisati kao sadašnja ulaganja pretežno jednokratnog karaktera za postizanje budućih efekata [1]. Da bi se mogla realno sagledati i oceniti opravdanost realizacije jednog investicionog projekta, neophodno je utvrditi i analizirati ukupne efekte koje može doneti realizacija određenih investicija. Preduzeća kao investitori, u najvećoj meri, zainteresovana su samo za direktne ekonomske efekte od investicija koji se mogu dovoljno egzaktno meriti i kvantitativno izražavati. Sa druge strane, za indirektno neekonomske efekte od investicije koje je veoma teško meriti i kvantitativno izražavati, preduzeća nisu posebno zainteresovana. Međutim, prilikom ocene opravdanosti realizacije jednog investicionog projekta treba uvek imati u vidu i efekte koje projekat donosi drugim privrednim subjektima ili široj društvenoj zajednici. U tom kontekstu, cost-benefit analiza (CBA) ili analiza troškova i koristi predstavlja tehniku kojom se utvrđuju, analiziraju i upoređuju ukupne koristi i troškovi od konkretne investicije. Cost-benefit analiza je metod koji se koristi za donošenje odluka kojima se vrši uticaj na razvoj šire društvene zajednice određenog regiona, privrede, i zemlje u celini [2].

Cost-benefit analiza kvantifikuje i pridodaje novčane vrednosti svim efektima, (kako ekonomskim tako i neekonomskim) i utrošcima vezanim za realizaciju projekta, na osnovu čega se vrši proračun neto (društvene) koristi [3]. Drugim rečima, cost-benefit analiza predstavlja metod ocene politike investicionih ulaganja, koji kvantifikuje posledice i uticaj izabrane investicione politike, na sve članove jedne društvene zajednice i treba je razlikovati od analize efektivnosti troškova (CEA—cost effectiveness analysis). Zadatak ove analize je troškovno identifikovanje najisplativije solucije za dati investicioni cilj. Dakle, u fokusu je izbor najpovoljnije investicione varijante. Pri tome, ona se svodi na optimiziranje unapred postavljenog fiksnog cilja, uz kriterijum minimiziranja sadašnje vrednosti troškova izvođenja investicionog projekta. U primeni analize troškovi-efektivnost stoji pretpostavka da je cilj investicionog projekta unapred dat i da je identičan za sve alternative [4].

U cost-benefit analizi, troškovi i rezultati investicionog projekta nisu unapred određeni, već se izbor projekata poredi sa utvrđenim veličinama troškova i rezultata. Pri tome, postoji mogućnost da sve alternative ostvarenja jednog razvojnog cilja budu odbačene kao nezadovoljavajuće. Naime, cost-benefit analiza polazi od ideje da jedan isti efekat ne mora biti pozitivan i za preduzeće i za društvo u celini, što znači da ciljevi pojedinih preduzeća i društva u celini ne moraju uvek biti potpuno usklađeni. Jedan investicioni projekat može doneti investitoru značajne pozitivne ekonomske efekte, a istovremeno (npr. zbog zagađivanja okoline i sl.) može biti štetan za društvo u celini. Zbog mogućih ovakvih razlika u odnosu na pojedinačne i ukupne društvene ciljeve, cost-benefit analiza insistira na društvenim efektima investicija, odnosno na sagledavanju i procenjivanju njihovih efekata sa aspekta društvene zajednice u celini, a to je upravo ono što predstavlja glavno obeležje ove metode. Dakle, društvena ocena obuhvata utvrđivanje i merenje doprinosa projekta fundamentalnim razvojnim ciljevima zemlje [5]. U kontekstu navedenog, cost-benefit analiza najviše se koristi kod ocene investicionih projekata koji zahtevaju velika ulaganja finansijskih sredstava i donose efekte od značaja za mnoga područja društvene i privredne delatnosti. Tu spadaju, pre svega, investicioni projekti u saobraćaju (putni, železnički, vazdušni, vodeni), zatim investicioni projekti u krupne energetske objekte, vodoprivredu, poljoprivredu, kao i vanprivredu (obrazovanje, zdravstvo).

Osnovni koncept cost-benefit analize je da se uzmu u obzir i izračunaju ili procene sve društvene koristi i troškovi jednog investicionog projekta, te da se na osnovu upoređenja (vaganja) ukupnih koristi i troškova oceni njegova rentabilnost. Cost-benefit analiza na nivou jednog ili više projekata omogućava sagledavanje svih relevantnih troškova i rezultata, i na tim osnovama izbor podobnosti i profitabilnosti tih projekata sa stanovišta nosioca razvoja [6]. Pri tome, samo oni projekti kod kojih ukupne koristi nadmašuju ukupne troškove mogu biti ocenjeni pozitivno, što znači da su prihvatljivi za realizaciju. Stoga, bez obzira koji je od njih u pitanju, cost-benefit analiza zahteva da se uzmu u obzir ukupni troškovi i ukupne koristi koje društvena zajednica može imati od konkretnog investicionog projekta.

Cost-benefit analiza se izvodi na vrlo kompleksan način, pomoću postupaka koji podrazumevaju utvrđivanje velikog broja polaznih pretpostavki u vezi sa opsegom i egzaktnošću ocena koristi i troškova, vremenskog okvira, načina merenja itd. Međutim, treba naglasiti da dobijeni rezultati zavise od tipa cost-benefit analize.

Ex ante cost-benefit analiza je standardni tip analize troškova i koristi. Ona se izvodi, kao sastavni deo investicione studije, u procesu analize opravdanosti investicionog projekta, pre njegove implementacije. *Ex post* cost-benefit analiza se izvodi nakon završene realizacije projekta, kada troškova više nema, niti korektivne aktivnosti od strane investitora ili države. Ona se ogleda u pružanju informacija, javnim službama (državi) i investitorima, o realnoj vrednosti specifičnih grupa projekata u smislu njihove opravdanosti u budućnosti.

Izuzetna kompleksnost problematike cost-benefit analize, kao i njene adekvatne primene u praksi, zahteva poznavanje nekoliko značajnih problema koje ćemo u nastavku razmotriti, a to su:

- Utvrđivanje troškova i koristi investicionog projekta;
- Vrednovanje troškova i koristi investicionog projekta;
- Osnovne faze izvođenja cost-benefit analize;
- Kriterijumi koji se koriste u cost-benefit analizi.

1.1. UTVRĐIVANJE TROŠKOVA I KORISTI

Cost-benefit analiza je zasnovana na konceptu po kome treba uzeti u obzir, utvrditi, i kvantitativno proceniti, te novčano izraziti sve troškove i koristi koje jedan investicioni projekat donosi celokupnoj, društvenoj zajednici. Analogno tome, utvrđivanje i merenje društvenih troškova i koristi ima izuzetan značaj u primeni cost-benefit analize, ali zbog mnogih specifičnosti i teškoća, to ujedno predstavlja i najveći problem u celokupnom postupku korišćenja ove metode u oceni investicionih projekata. Cost-benefit analiza se koristi kod tzv. ekonomske analize projekata i njome se utvrđuju doprinosi ukupnim društvenim ciljevima, za razliku od tzv. finansijske analize koja utvrđuje njihove efekte sa aspekta privatnog investitora.

Primenu cost-benefit analize posebno preporučuje Svetska banka. S tim u vezi, ona sugerše da se pri utvrđivanju troškova i koristi, za celo društvo, (ekonomska analiza) pođe od efekata koje konkretan projekat daje investitoru (finansijska analiza) i da se uključivanjem ili isključivanjem određenih grupa troškova i koristi dođe do ukupnih rezultata sa aspekta društva u celini. U tom smislu, sugerše se sledeći pristup [7]:

a) *Transferna plaćanja* – predstavljaju sva plaćanja koja ne znače stvarno korišćenje resursa, a čine ih. To su otplate i kamate na domaće kredite, porezi, subvencije, dotacije i premije. Budući da ova plaćanja ne predstavljaju stvarno trošenje resursa, sa stanovišta

društva u celini, njih treba isključiti iz analize. To je stoga, što transferna plaćanja ne predstavljaju ekonomski trošak, već samo finansijsku transakciju.

b) Nepredviđeni troškovi – odnose se na troškove koji se, eventualno mogu pojaviti u realizaciji projekta. S tim u vezi, potrebno je unapred utvrditi način na koji će se oni tretirati u oceni investicionog projekta. Pri tome, sve nepredviđene troškove, koji su isključeni iz osnovnih podataka, treba ispitati u okviru analize rizika i analize osetljivosti.

c) Prethodni troškovi – odnose se na sve troškove koji su nastali pre ocene projekta, te se ne mogu izbeći. Njih treba isključiti iz ukupnih troškova prilikom odlučivanja o tome da li nastaviti projekat ili ne, budući da se ne mogu više izbeći.

d) Eksterni efekti – podrazumevaju dejstva koja izlaze iz okvira samog projekta. Treba ih uključiti u ekonomsku analizu, iako se ponekad veoma teško identifikuju, a još teže mere. Ipak, bez obzira na to da li se mogu kvantifikovati ili ne, treba ih uzimati u obzir i vršiti kvalitativnu analizu.

e) Multiplikacioni efekti – karakteristični su za privredu koja pati od viška kapaciteta i u kojoj investiranje može dovesti do rasta prihoda, jer realizacija investicija izaziva dodatnu potrošnju i smanjuje višak kapaciteta. Ovo pak, nije karakteristično za zemlje u razvoju, budući da one najčešće nemaju višak kapaciteta. Multiplikacione efekte treba uključiti u analizu, iako ih je teško proceniti.

f) Međunarodni efekti – odnose se na rezultate projekata izvan granica posmatrane zemlje, te se tretiraju kao međunarodni. Primera radi, ako realizacija nekog investicionog projekta u jednoj zemlji nepovoljno utiče na prirodnu sredinu druge zemlje (zagađivanje reka), onda to čini međunarodne efekte. Oni treba da budu uključeni u analizu kod određenih projekata, mada ih je teško proceniti.

1.2. VREDNOVANJE TROŠKOVA I KORISTI

Nakon utvrđivanja svih društvenih troškova i koristi koje jedan investicioni projekat donosi, potrebno ih je ove vrednovati i izraziti u novčanom obliku. S tim u vezi, pribegava se primeni odgovarajućeg sistema cena koji omogućava prevođenje raznovrsnih efekata u novčane izraze. Za merenje društvenih efekata, koje donose projekti, cost-benefit analiza koristi ispravljene tržišne cene, koje se najčešće zovu obračunske cene. One se obično znatno razlikuju od tržišnih cena, koje se koriste u finansijskoj oceni projekta i nisu u mogućnosti da izraze sve njihove društvene efekte, pa zato nisu pogodne za primenu u cost-benefit analizi. Tržišne cene su valjan pokazatelj valorizovanja rezultata samo u uslovima savršenog tržišta. U nesavršenim tržišnim uslovima tržišne cene ne predstavljaju pouzdanu meru dejstva projekata na ciljeve razvoja, pa ih je potrebno korigovati i zameniti sa obračunskim cenama. U kontekstu navedenog, obračunske cene predstavljaju način ispravljanja distorzija i nepravilnosti koje postoje kod tržišnih cena, zbog nesavršenog tržišta, slabije ekonomske politike zemlje, postojanja monopola ili drugih razloga [8].

Generalno gledano, obračunske cene predstavljaju principijelan pristup merenju i vrednovanju efekata od projekata, dok sam način njihovog izračunavanja može biti različit i dosta složen. Osnovno pitanje, koje treba razrešiti u određivanju obračunskih cena, je da li su u pitanju tzv. razmenljiva (tržišna) ili nerazmenljiva (netržišna) dobra, a to zavisi, pre svega, od činjenice da li se ta dobra, robe ili usluge, mogu izvoziti ili uvoziti. Razmenljiva (tržišna) dobra su ona koja se mogu realno uvoziti ili izvoziti, a

nerazmenljiva (netržišna) dobra su pak ona čiji su domaći troškovi proizvodnje (uključujući i troškove transporta) suviše visoki, da bi omogućili konkurentan izvoz, ili pak suviše niski, da bi omogućili konkurentan uvoz. Drugim rečima, to je cena koja je veća od f.o.b. cene za izvoz, a manja od c.i.f. cene za uvoz.

Postoje dva osnovna metoda u određivanju obračunskih cena, to su: (1) Little Mirrleesov metod (LM metod) i (2) UNIDO metod. Oni se međusobno razlikuju, pre svega, po usvojenom sistemu cena i izboru obračunske jedinice mere. Dok LM metod polazi od pretpostavke da su svetske cene (c.i.f. za izvoz, f.o.b. za uvoz) veoma dobra aproksimacija obračunskih cena, dotle ih UNIDO metod određuje na osnovu karakteristika domaće tražnje, odnosno spremnosti korisnika da plate za proizvod ili uslugu. Imajući u vidu značaj navedenih metoda, pokušaćemo ih preciznije objasniti.

1. *Little Mirrleesov metod* polazi od svetskih cena kao osnove za utvrđivanje obračunskih cena. Prema ovom metodu, za obračunske cene se uzimaju svetske cene. Pri tome, kao svetske cene se koriste cene na granici, a to su c.i.f. cene za izvoz, a f.o.b. cene za uvoz. U ovom pristupu se smatra da većina inputa i outputa projekta pripadaju razmenljivim (tržišnim) dobrima koja se vrednuju po svetskim cenama, odnosno cenama na granici. Kod nerazmenljivih (netržišnih) dobara, Little Mirrleesov metod predlaže postupak koji se ogleda u sledećem: (a) Nerazmenljiva dobra treba rastaviti na više sastavnih elemenata; (b) Deo ovih elemenata pripada razmenljivim dobrima i treba ih vrednovati korišćenjem cena na granici kao obračunskih cena; (c) Preostali delovi nerazmenljivih dobara mogu se prevesti u svetske cene korišćenjem standardnih konverzionih faktora. Kada su u pitanju svetske cene, razmenljiva dobra se prevode sa svetskih deviznih cena na svetske cene u domaćoj valuti, putem zvaničnog deviznog kursa, a prevođenje nerazmenljivih dobara sa domaćeg na svetski sistem cena (u domaćoj valuti) vrši se putem tzv. standardnog konverzionog faktora.

Konverzioni faktori služe za prevođenje cena iz jednog sistema u drugi, i iz jedne valute u drugu. Oni se koriste za prevođenje cena nerazmenljivih dobara, na domaćem tržištu i u domaćoj valuti, u obračunske cene. Mada se konverzioni faktori mogu odrediti za svako nerazmenljivo dobro posebno, u praksi se obično određuju za grupe sličnih nerazmenljivih dobara. Kada se ne mogu odrediti posebni konverzioni faktori, tada se koristi za sva nerazmenljiva dobra, standardni konverzioni faktor koji je prosečan. Standardni konverzioni faktor je odnos zvaničnog i obračunskog deviznog kursa, što je predstavljeno na sledećem obrascu:

$$SKF = \frac{ZDK}{ODK} \quad (1)$$

Ovde su:

SKF – Standardni konverzioni faktor

ZDK – Zvanični devizni kurs

ODK – Obračunski devizni kurs

Na osnovu navedenog obrasca može se dobiti obračunski devizni kurs i to kao proizvod zvaničnog deviznog kursa i recipročne vrednosti standardnog konverzionog faktora, koji predstavlja konverzioni faktor deviza (KFD), odnosno:

$$ODK = \frac{1}{SKF} \cdot ZDK = KFD \cdot ZDK \quad (2)$$

Standardni konverzioni faktor (*SKF*) služi za prevođenje sa jednog sistema cena na drugi. Zvanični devizni kurs (*ZDK*) služi za prevođenje jedne valute u drugu, a obračunski devizni kurs (*ODK*) vrši kombinovano prevođenje sa jednog (svetskog) sistema cena i jedne valute (deviza) na drugi (domaći) sistem cena i drugu valutu.

Međutim, obračunski devizni kurs (ODK) ispravlja samo postojeće disparitete cena na nivou agregata, razmenljiva – nerazmenljiva dobra, ali ne i disparitete cena unutar grupacije razmenljivih dobara. Zbog toga, najčešće se koriste sistemi svetskih cena u domaćoj valuti, odnosno standardni konverzioni faktor (SKF) za ispravljanje domaćih cena nerazmenljivih dobara na svetske cene.

2. *UNIDO metod* polazi od domaćih cena kao osnove za utvrđivanje obračunskih cena. Kod ovog metoda obračunske cene se određuju na osnovu karakteristika domaće tražnje, odnosno na osnovu ocena veličine „spremnosti da se plati“ za određenu robu ili usluge. Pri tome, za jedinicu mere (numeraire) uzima se domaća tražnja, pa analogno tome, sve veličine se izražavaju u domaćim cenama. Budući da se nerazmenljiva dobra ovde izračunavaju u domaćim cenama i domaćoj valuti, ona se mogu direktno uključiti u analizu i ocene bez promena ili konverzije. Kod razmenljivih dobara koja se uvoze, cene izražene u devizama prevode se u domaće cene i domaću valutu, primenom obračunskog deviznog kursa [8]. Prema UNIDO metodologiji, relevantni efekti projekta mogu se podeliti u tri osnovne grupe: (a) Direktni društveni ekonomski rezultati, ili neto outputi projekta; (b) Direktni društveni ekonomski troškovi, kao inputi projekta; (c) Indirektni društveni ekonomski rezultati i troškovi, koji se prezentuju kao eksterni efekti (pozitivni i negativni).

U kontekstu navedenog, treba imati u vidu i činjenicu da analiza troškovi-rezultati, zahteva i razrešenje problema vremenskog kašnjenja efekata, sa aspekta današnjeg momenta odlučivanja. Tako se javlja i potreba za diskontovanjem. Pri tome, diskontna stopa se najčešće, definiše kao brzina pada vrednosti jedinice mere u vremenu. S tim u vezi, u UNIDO pristupu, diskontnu stopu čini tzv. diskontna stopa potrošnje, dok u LM pristupu, diskontna stopa se svodi na tzv. obračunsku kamatnu stopu, koja se po pravilu razlikuje od diskontne stope potrošnje. Pri tome, UNIDO metodologija je jedna od najpoznatijih metodologija za ocenu investicionih projekata u svetu i koristi se za ocenu industrijskih razvojnih projekata u smislu ocene komercijalne i nacionalne isplativosti projekata [9].

Respektujući prethodno, moglo bi se, u formi zaključka na kraju reći i to da uprkos mnogim nedoumicama i opravdanim prigovorima, u vezi s tim, da li je pojedine investicione projekte uopšte moguće kvantitativno ocenjivati sa makro aspekta, odnosno da li se društvene koristi i troškovi mogu precizno i pouzdano oceniti da bi se opravdao napor za njihovo utvrđivanje, ipak je činjenica da se cost-benefit analiza danas dosta koristi u svetu. Dakle, pored svih problema i manjkavosti, ona ipak ostaje najprihvatljiviji metod za određene vrste investicionih projekata, koji donose raznovrsne društvene koristi i troškove za razne korisnike.

1.3. FAZE PROCESA COST-BENEFIT ANALIZE

Cost-benefit analiza predstavlja veoma složen i najčešće dosta obiman proces, sa mnogo procena, izračunavanja, predviđanja i poređenja. Zbog toga, primena cost-benefit analize u oceni investicionih projekata, zahteva da se poštuje određena procedura zasnovana na nekoliko osnovnih faza ili koraka [10]. Generalno gledano, ona je veoma slična opštoj proceduri investicionog odlučivanja između više alternativa, i realizuje se u sledećih deset faza [11]:

1. Definisane projekata za analizu;
2. Definisane vremenskog perioda na koji se analiza odnosi;
3. Utvrđivanje svih koristi i troškova za pojedine projekte;
4. Izračunavanje svih koristi i troškova u novčanom obliku za pojedine projekte;
5. Određivanje kriterijuma za analizu;

6. Određivanje diskontne stope koja će se koristiti;
7. Izračunavanje vrednosti pojedinih kriterijuma za svaki projekat;
8. Upoređivanje vrednosti kriterijuma za pojedine projekte sa određenom merom;
9. Određivanje dodatnih kriterijuma analize;
10. Konačan izbor - donošenje investicionih odluka.

U prvoj fazi identifikuje se broj i vrsta investicionih projekata čiju opravdanost treba ispitati. To mogu biti alternativna rešenja jednog projekta (A, B ili C) ili nekoliko različitih projekata koji ostvaruju isti razvojni cilj. Međutim, cost-benefit analiza ipak insistira na više mogućih projekata i izboru najboljeg i nalazi da treba poći od zadatog razvojnog cilja i utvrditi projekte, odnosno alternative koje omogućavaju njegovo dostizanje.

U drugoj fazi vrši se definisanje vremenskog perioda na koji se analiza odnosi. Zato treba uzeti ono vreme u kojem se ostvaruju određeni troškovi i koristi. Pri analizi više projekata, uzima se uvek najduži vek trajanja nekog od njih. Međutim, tada mogu nastati problemi iz činjenice da za taj projekat postoje sekundarni efekti koji mogu nastati posle isteka njegovog veka trajanja. Analogno tome, ako se odabere veoma dug period, u kojem se vrši cost-benefit analiza, postoji mogućnost da diskontovanje u potpunosti degradira efekte koji treba da slede u budućnosti. Zbog toga, ne treba koristiti veoma dug projekat.

U trećoj fazi utvrđuju se troškovi i koristi svakog projekta, te njihovi direktni i indirektni, primarni i sekundarni, kao i merljivi i nemerljivi efekti. Ovo je veoma značajan i veoma složen posao. Imajući u vidu da su efekti od projekata veoma različiti, logično je da će i koristi i troškovi biti različiti. Iskustva govore da treba razraditi posebne procedure za utvrđivanje koristi i troškova za svaku grupu istovetnih projekata. Kod ove faze najbitnije je to da se uzmu u obzir svi efekti, odnosno sve koristi i troškovi, koje jedan projekat donosi.

U četvrtoj fazi mere se troškovi i koristi, a zatim se izražavaju u novčanom obliku. Ovo je veoma značajna i složena faza u kojoj se javljaju brojni problemi. Od njihovog rešavanja zavisi i konačan ishod cost-benefit analize. Pre svega, ključni problem je u tome koje će se cene koristiti da bi se efekti izrazili u novčanom obliku. S tim u vezi, uprkos raznim predlozima i mogućnostima, čini se da je najprihvatljivije rešenje da se koriste obračunske cene. Takođe, ovde je prisutan i problem kako meriti i novčano izraziti neke, naizgled, nemerljive efekte, kao što su: zaštita čovekove okoline, zaštita istorijskih spomenika i sl. Budući da cost-benefit analiza insistira na merenju i novčanom izražavanju svih efekata, to nameće potrebu da se ovakve koristi i troškovi moraju posebnim postupcima analizirati, procenjivati i novčano izražavati.

Posebno treba istaći da *treća i četvrta faza* čine glavni deo cost-benefit analize. One odražavaju osnovne njene ideje i principe pa je neophodno da budu veoma dobro urađene da bi celokupna analiza mogla biti validna. Zbog prisutnosti mnogih problema, ove dve faze su teške i veoma složene, ali ih je neophodno obaviti i to na najbolji način, jer bez njih nema ni kvalitetne cost-benefit analize.

U petoj fazi određuju se kriterijumi za korišćenje cost-benefit analize. Na raspolaganju ih ima više, a to su: sadašnja vrednost neto koristi, odnos koristi i troškova, interna stopa rentabilnosti i rok vraćanja investicije. Da li će se koristiti sva četiri kriterijuma ili samo jedan od njih, zavisi od konkretnog slučaja, odnosno od konkretnog projekta i samog pristupa cost-benefit analizi.

U šestoj fazi određuje se veličina diskontne stope koja se koristi pri svođenju budućih veličina na sadašnju vrednost. Ova faza je veoma značajna, imajući u vidu veliki uticaj diskontne stope na vrednost pojedinih kriterijuma odlučivanja, pa time i na konačnu odluku o projektu. Izbor diskontne stope zavisi od više faktora, kao što su: vrsta projekta koji se analizira, stanje na tržištu kapitala (visina kamatne stope), način obezbeđenja finansijskih sredstava za realizaciju pojedinih planova, razvojna politika zemlje, učešće vlade ili neke međunarodne institucije u realizaciji projekata, itd.

U sedmoj fazi računaju se konkretne vrednosti pojedinih kriterijuma za svaki projekat. Imajući u vidu raspoloživost matematičke aparature i matematičkih izraza za odabrane kriterijume i raspoloživost svih neophodnih polaznih parametara, proizlazi zaključak da izračunavanje vrednosti pojedinih kriterijuma u ovoj fazi analize, ne bi trebalo da bude problematično.

U osmoj fazi upoređuju se izračunate vrednosti kriterijuma za pojedine projekte sa unapred određenim normativnim veličinama, a vrši se i međusobno upoređivanje. Svrha ove faze analize je da se pronađe koji projekat ima najveću vrednost pojedinih kriterijuma i utvrdi da li njihove vrednosti zadovoljavaju tražene normativne veličine. Ova uporedna analiza služi za pronalaženje projekata koji prema odabranim kriterijumima daju najbolje rezultate.

U devetoj fazi potrebno je izvršiti dodatne analize ako se proceni da prethodna faza nije dovoljna da se odabere najbolje rešenje. U ovoj fazi, neophodno je uraditi nove proračune postojećih ili dopunskih kriterijuma, kao i izvršiti određene promene za nove analize. S tim u vezi, neophodno je izvršiti tzv. analizu osetljivosti ako se smatra da su određeni tipovi troškova (koristi) izloženi većem stepenu varijacija.

U desetoj fazi koja predstavlja poslednju fazu cost-benefit analize, vrši se konačan izbor najboljeg projekta, odnosno donošenje investicione odluke o izboru najboljeg od svih koji su bili na raspolaganju.

Imajući u vidu sve navedeno, moglo bi se, u formi zaključka, na kraju reći da je cost-benefit analiza veoma složena metoda ocenjivanja investicionih projekata. Njena osnovna prednost ogleda se u tome što sagledava i ocenjuje efekte od šireg društvenog značaja. Primena cost-benefit analize donosi i mnogobrojne teškoće. Međutim, bez obzira na mnoga ograničenja, ona, ipak, ostaje jedina prava metoda, koju treba koristiti, kod ocene investicionih projekata sa makro aspekta.

1.4. KRITERIJUMI COST-BENEFIT ANALIZE

Osnovni princip cost-benefit analize nalazi da je projekat za realizaciju opravdan jedino ako je ukupna korist koju on donosi, veća od očekivanih troškova. Ovaj princip se koristi i pri definisanju odgovarajućih kriterijuma za ocenu efikasnosti investicionih projekata, naravno uz respektovanje i ostalih elemenata, koje je neophodno, u tim slučajevima, uzeti u obzir. Kod ocenjivanja investicionih projekata, primenom cost-benefit analize, moguće je koristiti veći broj kriterijuma za ocenu. Ovde će biti prezentovana četiri, i to:

1. Kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi,
2. Kriterijum interne stope rentabilnosti,
3. Kriterijum odnosa koristi i troškova,
4. kriterijum roka vraćanja investicije.

1. *Kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi* predstavlja razliku između ukupnih diskontovanih koristi i ukupnih diskontovanih troškova u ostvarivanju investicionih projekata. U skladu s tim, ovaj kriterijum može se predstaviti pomoću sledećeg obrasca:

$$Kns = Ks - Ts \quad (3)$$

Ovde su :

Kns – Kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi

Ks – Ukupna diskontovana korist (sadašnja vrednost ukupnih koristi projekta)

Ts – Ukupni diskontovani troškovi (sadašnja vrednost svih troškova projekta)

Ocenjivanje investicionih projekata, korišćenjem ovog kriterijuma, vrši se na taj način što se svaki od njih, čija je vrednost kriterijuma sadašnje vrednosti neto koristi pozitivna, odnosno veća od nule ($Kns > 0$), smatra ekonomski efikasnim i po toj osnovi opravdanim za realizaciju. Pri izboru, između više međusobno isključivih projekata, najprihvatljiviji za realizaciju je onaj koji ima najveću pozitivnu vrednost kriterijuma sadašnje vrednosti neto koristi. Kao pokazatelj, koji operiše sa apsolutnim veličinama, koristi i troškova, ovaj kriterijum je znatno pogodniji za ocenu pojedinačnih projekata, nego za izbor jedne između više investicionih alternativa. Naime, kod ocene valjanosti jednog projekta ne postoje veće smetnje pri odlučivanju jer se donosilac odluke oslanja na pozitivnu sadašnju vrednost neto koristi. Međutim, kod izbora između više projekata, zapažaju se razlike među i zahtevaju da se još neki faktori od uticaja uzmu u obzir, a što sa svoje strane, znatno otežava primenu ovog kriterijuma.

2. *Kriterijum interne stope rentabilnosti* predstavlja diskontnu stopu kod koje je suma diskontovane koristi jednaka sumi diskontovanih troškova, odnosno njena sadašnja vrednost neto koristi jednaka je nuli. Definisane ovog kriterijuma može se predstaviti pomoću sledećeg obrasca:

$$Kns = Ks - Ts = 0 \quad (4)$$

Ocenjivanje investicionih projekata pomoću ovog kriterijuma vrši se tako što se svaki projekat, kod koga je veličina interne stope rentabilnosti veća od kamatne stope na tržištu kapitala, (ili od usvojene diskontne stope), smatra povoljnim i ekonomski opravdanim za realizaciju. Ako se radi o izboru između više međusobno isključivih projekata, u principu smatra se da je povoljniji onaj koji ima veću internu stopu rentabilnosti. Međutim, ovaj postulat retko se primenjuje u praksi, jer smatra se da kriterijum interne stope rentabilnosti nije pogodan za izbor i odlučivanje između više projekata.

Shodno navedenom, u teoriji se najčešće, za izbor između više projekata, koristi tzv. relativna stopa rentabilnosti. Pri tome, pod relativnom stopom rentabilnosti podrazumeva se ona diskontna stopa kod koje su diskontovane razlike koristi jednake diskontovanoj razlici troškova dva posmatrana investiciona projekta. Način ocenjivanja investicionih projekata pomoću relativne stope rentabilnosti isti je kao i kod interne stope rentabilnosti.

Izračunavanje interne stope rentabilnosti dosta je komplikovana operacija. Samo kod najjednostavnijih investicionih projekata, gde se ulaganje vrši jednokratno, a pri tome su koristi i troškovi dobijeni od projekata, konstantni po godinama, izračunavanje interne stope rentabilnosti je relativno jednostavno i vrši se pomoću anuitetnih tablica. U svim drugim slučajevima, ne postoji mogućnost direktnog izračunavanja interne stope rentabilnosti već se izračunavanje izvodi pomoću navedenog obrasca primenom iterativnog postupka. Komplikovano izračunavanje interne stope rentabilnosti ujedno je i najveća prepreka za primenu ovog kriterijuma u praksi. Naime, on se u praksi retko primenjuje jer nije pogodan za izbor i odlučivanje između više projekata.

3. *Kriterijum odnosa koristi i troškova* izražava se, u stvari, koeficijentom njihovih međusobnih odnosa i predstavlja, kvantitativno posmatrano, relacije ukupnih diskontovanih koristi i ukupnih diskontovanih troškova jednog investicionog projekta. Koeficijent odnosa koristi i troškova pokazuje koliko jedinica koristi donosi svaka jedinica utrošenih sredstava. Definisanje ovog kriterijuma može se predstaviti pomoću sledećeg obrasca:

$$K = \frac{Ks}{Ts} \quad (5)$$

Ocenjivanje investicionih projekata, korišćenjem ovog kriterijuma, vrši se tako što se svaki projekat, kod koga je vrednost ovog kriterijuma (koeficijent odnosa koristi i troškova) veća od jedan ($K > 1$), smatra ekonomski efikasnim i po toj osnovi opravdanim za realizaciju. Pri izboru između više međusobno isključivih projekata, najprihvatljiviji za realizaciju je onaj koji ima najveću vrednost koeficijenta odnosa koristi i troškova. Mada se u teoriji smatra da je ovaj kriterijum po svojim karakteristikama inferioran, u odnosu na kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi, ipak on je dosta pogodan za primenu u praksi, naročito za izbor između više projekata, te ga u tim slučajevima treba koristiti. Ovaj kriterijum nije osetljiv na različite strukture koristi i troškova, te je u takvim slučajevima realniji u odnosu na kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi. S tim u vezi, to je još jedna njegova pogodnost za izbor između više raspoloživih investicionih projekata.

4. *Kriterijum roka vraćanja investicije* je period, izražen u godinama, za koji će sadašnja vrednost neto koristi od investicije da otplati ukupna uložena sredstva. Definisanje ovog kriterijuma, u navedenom smislu, može se predstaviti pomoću sledećeg obrasca:

$$t = \frac{Is}{Ksk} \quad (6)$$

Ovde su:

t – Rok vraćanja investicije

Is – Sadašnja vrednost ukupnih investicija

Ksk – Godišnje diskontovane vrednosti neto koristi

Ocenjivanje investicionih projekata, korišćenjem ovog kriterijuma, vrši se tako što se svaki od njih smatra ekonomski efikasnim, i po toj osnovi opravdanim za realizaciju, ako je njegov rok vraćanja manji od nekog unapred zadatog, normativnog roka vraćanja. Za normativni rok vraćanja može se približno uzeti ekonomski vek trajanja opreme koja se ugrađuje u investiciju. U slučaju izbora jednog, između više međusobno isključivih projekata, prednost se daje onom koji ima najkraći rok povraćaja. Treba reći, kriterijum roka vraćanja investicija može se koristiti za ocenu više projekata, a to biva jedino u slučaju istovrsnih projekata ili projekata sa više varijanti jednog istog. U ostalim slučajevima, ovaj kriterijum je nepouzdan jer dolaze do izražaja njegovi nedostaci, budući da on ne uzima u obzir celokupan period eksploatacije investicionih projekata.

Kriterijum roka vraćanja investicija obično se koristi u slučajevima investicionih projekata kod kojih je prisutno brzo tehnološko i ekonomsko zastarevanje opreme, te je težnja investitora da što pre otplati uložena sredstva kako bi mogao ponovo doći do moderne opreme. Ovaj kriterijum je veoma lak primenu i izračunavanje, a to je jedan od glavnih razloga za njegovo često korišćenje u praksi. Međutim, osnovni njegov nedostatak je u tome što ne uzima u obzir koristi i troškove projekata u celokupnom periodu eksploatacije investicija, već samo do trenutka svih uloženi sredstava. To može činiti veliko i neopravdano pojednostavljivanje analize i ocene investicija,

posebno sa aspekta investitora, koje prvenstveno zanima da li će ukupne koristi, koje se stvaraju u celokupnom periodu eksploatacije investicija nadmašiti ukupne troškove projekata. Kriterijum roka vraćanja investicija ne daje odgovor na ovo suštinsko pitanje, te je za mnoge investitore neprihvatljiv u smislu jedinog kriterijuma za ocenu investicionih projekata.

2. ZAKLJUČAK

U ovom radu prezentovan je kraći prikaz osnovnih elemenata cost-benefit metodologije za ocenu ekonomske opravdanosti investicionih projekata. Bez obzira koji je projekat u pitanju, cost-benefit analiza zahteva da se uzmu u obzir ukupne koristi i troškovi koje društvo ima od njih. Osnovna ideja cost-benefit analize je da se uzmu u obzir, izračunaju i procene sve društvene koristi i troškovi jednog projekta, te da se na osnovu poređenja ukupnih koristi i troškova oceni valjanost, odnosno rentabilnost konkretne investicije. Pri tome, isti postupci ocene primenjuju se kada su u pitanju privatni investitori i kada je u pitanju država [12]. Međutim, privatni investitori imaju interes samo za one efekte projekta koji utiču na profitabilnost, dok država mora da obrati pažnju na mnogo širi spektar efekata investicije. S obzirom na veliki značaj i složenost ove metodologije, neophodan je sistematičan i seriozan rad na planu obuke kadrova iz nauke, banaka, privrede i sl. Shodno tome, šira primena ove metodologije u praksi zahteva dugotrajan proces koji treba da dovede do poboljšanja stanja u domenu investicija u našim domicilnim uslovima poslovanja, a posebno do poboljšanja efikasnosti investicionih projekata od šireg društvenog značaja (investicioni projekti u oblasti energetike, vodoprivrede, poljoprivrede i sl.). Zbog svoje sveobuhvatnosti cost-benefit analiza spada u najčešće korišćene metode za ocenu projekata u javnom sektoru, a njen cilj jeste upotreba ograničenih resursa na što efektivniji i efikasniji način.

LITERATURA

- [1] Anđelić, G., Đaković, V. (2010). *Osnove investicionog menadžmenta*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] Jakupović, S., Bahtić, S., Novaković, Z. (2008). *Projektne i investicioni menadžment*, Visoka škola – Koledž za informatiku i menadžment “Janjoš”, Prijedor, BiH.
- [3] Petrović, E., Denčić-Mihajlov, K. (2007). *Poslovne finansije*, Ekonomski fakultet, Niš.
- [4] Mašić, B. (2009). *Strategijski menadžment*, Univerzitet Singidunum, Beograd.
- [5] Malešević, E., Malešević, Đ. (2011). *Upravljanje investicijama*, Proleter a.d. Bečej.
- [6] Obradović, M., Milošević, S. (2019). *Finansiranje projekata*, JP Službeni glasnik, Beograd.
- [7] Jovanović, P. (2006). *Upravljanje investicijama*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
- [8] Ivaniš, M. (2019). *Poslovne finansije*, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu.
- [9] Vukadinović, P., Jović, Z. (2012). *Investicije*, Univerzitet Singidunum, Beograd.
- [10] Mihić, M. (2011). *Strateško upravljanje projektima*, Zadužbina Andrejević, Beograd.
- [11] Ivaniš, M. (2012). *Finansije preduzeća*, Visoka škola strukovnih studija za računovodstvo i berzansko poslovanje, Beograd.
- [12] Stiglitz, J.E. (2004). *Ekonomija javnog sektora*, Ekonomski fakultet, Beograd.

SMJERNICE ZA PROCJENU OSJETLJIVOSTI TLA NA POJAVU LIKVEFAKCIJE TOKOM ZEMLJOTRESA

Borko Miladinović¹, Zvonko Tomanović², Slobodan Živaljević³

Rezime:

Iskustva prethodnih zemljotresa opominju da pojava likvefakcije u tlu tokom zemljotresa može imati katastrofalne posljedice po objekte koji su fundirani na tom tlu. Zadatak građevinskih inženjera je da još u fazi projektovanja predvide odgovarajuće mjere kako bi se ove i slične posljedice spriječile. Međutim, te mjere zahtjevaju dodatna ulaganja i troškove koje Investitor najčešće nije planirao. Tu nastaje problem. Iz tog razloga, neophodno je na osnovu jasnih kriterijuma dakazati da je temeljno tlo sklono likvefakciji i da su dodatna ulaganja neophodna. U ovom radu su prezentovane smjernice za procjenu osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa koje ne zahtjevaju sprovođenje skupih i nestandardnih geotehničkih ispitivanja (npr. test cikličnog direktnog smicanja, dinamički test triaksijalne kompresije). Samim tim, ove smjernice mogu biti veoma korisne geolozima pri izradi geomehaničkih elaborata odnosno građevinskim inženjerima pri projektovanju konstrukcija u seizmički aktivnim područjima.

Ključne reči: Zemljotres, likvefakcija, osjetljivost tla

GUIDELINES FOR ASSESSING THE SOIL LIQUEFACTION SUSCEPTIBILITY DURING EARTHQUAKE

Summary:

The experiences of previous earthquakes warn that soil liquefaction during an earthquake can have catastrophic consequences for structures founded on that soil. The task of civil engineers is to predict appropriate measures during the design phase to prevent these and similar effects. However, these measures require additional investments and expenses that the Investor often did not plan for. This is where the problem arises. Therefore, it is necessary to demonstrate, based on clear criteria, that the foundation soil is liquefaction susceptible and that additional investments are necessary. This paper presents guidelines for assessing the soil liquefaction susceptibility during an earthquake that do not require expensive and non-standard geotechnical tests (such as cyclic direct shear test, dynamic triaxial compression test). Therefore, these guidelines can be very useful for geologists in preparing geomechanical reports and for civil engineers in designing structures in seismically active areas.

Key words: Earthquake, liquefaction, soil susceptibility

¹Stru. saradnik, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, borkom@ucg.ac.me

²Redovni prof., Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, zvonko@t-com.me

³Van. prof., Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, slobodanz@ucg.ac.me

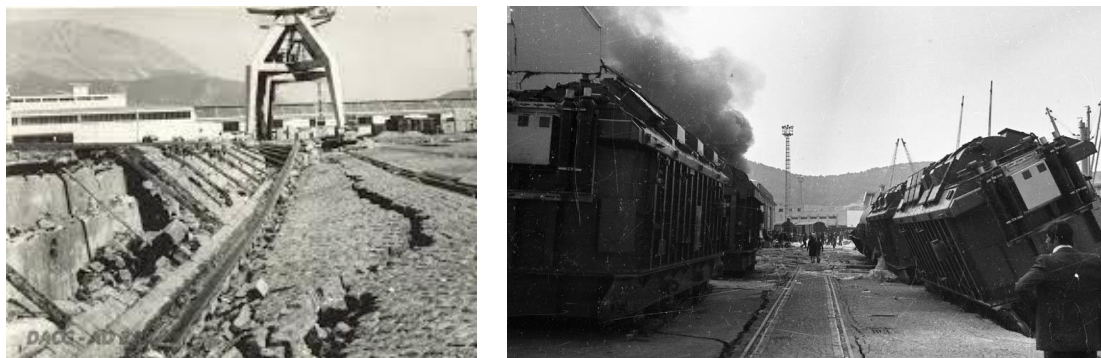
1. UVOD

Građevinski inženjeri najčešće pod likvefakcijom podrazumijevaju potpuni gubitak čvrstoće (nosivosti) i krutosti nekog zasićenog pijeskovitog ili ređe prašinastog sloja tla, te njegov prelaz iz čvrstog u gusto tečno stanje tokom zemljotresa. Ovaj gubitak nosivosti tla može imati katastrofalne posljedice po objekte koji su fundirani na tom tlu. Za geologe ipak likvefakcija je znatno širi pojam i služi da se jednostavno imenuju svi načini manifestovanja prekomjernog povećanja pornih pritisaka u zasićenom tlu koje je izazvano seizmičkim vibracijama tla.

Dosadašnja iskustva su pokazala da se likvefakcija najčešće manifestuje u vidu izviranja tj. dreniranja mulja (porne vode i čestica tla) na površinu terena kroz formirane pukotine u tlu (eng. boiling holes) tokom zemljotresa. Ovim izviranjem porne vode dolazi do relaksacije pornih nadpritisaka generisanih u vodom zasićenom tlu specifičnih karakteristika tokom zemljotresa. Naravno, smanjenje zapremine porne vode u zasićenom tlu, kao i neminovno ispiranje njegovih sitnijih čestica, dovodi do značajnog smanjenja njegove zapremine tj. značajnog slijeganja tla. Ako je na tom tlu fundiran neki objekat, posljedice ovog slijeganja mogu biti dramatične. U tim situacijama se obično kaže da je objekat "stradao" usljed pojave likvefakcije u temeljnom tlu. Međutim, ako je spomenuto dreniranje porne vode iz nekog zasićenog sloja tla tokom zemljotresa u dovoljnoj mjeri spriječeno usljed npr. male vrijednosti koeficijenta filtracije tla u odnosu na brzinu cikličnog smičućeg seizmičkog opterećenja, duže trajanje intezivnijih seizmičkih vibracija može izazivati takav rast pornih pritisaka u tom sloju da u jednom trenutku njegovi vertikalni efektivni naponi postaju zanemarljivo mali. Samim tim, dolazi do skoro potpune degradacija čvrstoće (nosivosti) i krutosti ovog sloja tla, koji se zapravo pretvara u gusti fluid tj. likvefikuje se. Ako likvefikovani sloj tla nije horizontalan već se nalazi pod nekim nagibom (dovoljno par stepeni), tokom dejstva zemljotresa dolazi do njegovog laganog bočnog pomjeranja tj. tečenja (eng. lateral spreading), što može imati značajan uticaj na intezitet kinematičkog seizmičkog opterećenja objekta, posebno u slučajevima kada je taj objekat fundiran na šipovima.

Bez obzira što postoje uglavnom pisani dokazi o pojavi likvefakcije tokom nekih ranijih snažnih zemljotresa, na detaljnije i obimnije stručne i naučne analize ovog geo-seizmičkog fenomena čekalo se sve do druge polovine 20-tog vijeka i zemljotresa na Aljasci i u Nigati 1964. godine. Tokom ovih zemljotresa registrovane su vjerovatno po prvi put katastrofalne i dramatične posljedice pojave likvefakcije. Opšte poznati su primjeri likvefakcijom izazvanog prekomjernog slijeganja i naginjanja odnosno prevrtanja zgrada tokom zemljotresa u Nigati. Takođe, pojava likvefakcije u temeljnom tlu tokom ovih zemljotresa izazvala je potpuni kolaps pojedinih mostova. Opšte je poznato šta se desilo sa mostom Šova (eng. Showa bridge) tokom zemljotresa u Nigati odnosno mosta Milion dolara (eng. Million Dollar bridge) tokom zemljotresa na Aljasci. Ozbiljne posljedice po pojedine infrastrukturne objekte imala je pojava likvefakcije u tlu tokom nekih kasnijih takođe jakih zemljotresa širom svijeta. Kao primjeri mogu se navesti zemljotres Loma Prieta 1989. godine (San Francisco, Kalifornija) i zemljotres u Kobeu (Japan) 1995. godine. Pojava likvefakcije registrovana je i tokom nedavnih razornih zemljotresa u Turskoj i Siriji.

Važno je napomenuti da je na mnogim lokacijama duž crnogorskog primorja došlo do pojave likvefakcije tokom zemljotresa od 15. aprila 1979. godine. Upravo je pojava likvefakcije izazvala kolaps jednospratnog skladišta u Zelenici, te ozbiljna oštećenja na objektima u Luci Bar (slika 1).



Slika 1 Luka Bar - posljedice pojave likvefakcije u tlu tokom crnogorskog zemljotresa od 15. aprila 1979.godine

2. MEHANIZAM POJAVE, TIPOVI I UTICAJNI FAKTORI LIKVEFAKCIJE

2.1. MEHANIZAM POJAVE LIKVEFAKCIJE

Bez obzira što likvefakcija u geotehničkom zemljotresnom inženjerstvu predstavlja širok i kompleksan pojam, obično građevinskim inženjerima prva asocijacija na likvefakciju je potpuna degradacija čvrstoće (nosivosti) i krutosti vodom zasićenog, pijeskovitog ili ređe prašinstog sloja tla specifičnih karakteristika i njegov prelaz iz čvrstog u gusto tečno stanje tokom zemljotresa. Da bi došlo do pojave likvefakcije osim seizmičke pobude dovoljne jačine i dužine trajanja, moraju biti zadovoljeni i neki drugi uslovi. Tu se prevashodno misli na odgovarajuće karakteristike pijeskovitog ili prašinstog sloja tla (stepen zasićenja, zbijenost i gradulometrijski sastav), mogućnost tj. uslove dreniranja porne vode i brzinu cikličnog seizmičkog opterećenja.

Tokom zemljotresa seizmički talasi izazivaju ciklične smičuće napone u tlu. Ovi smičući naponi između ostalog izazivaju slijeganje rastresitih, nekoheretnih slojeva tla. Međutim, ovo slijeganje može biti u značajnoj ili skoro potpunoj mjeri spriječeno prisustvom vode kao nestišljivog materijala u porama tla. Ako su karakteristike geološke sredine takve da brzina dreniranja porne vode iz nekog zasićenog sloja tla ne može da "prati" brzinu seizmičkog cikličnog opterećenja, onda smičuće seizmičko opterećenje na taj sloj tla djeluje u nedreniranim uslovima. U tim uslovima smičući naponi izazivaju povećanje pornih pritisaka tj. generisanje pornih nadpritisaka u tlu. Povećanje pornih pritisaka izaziva istovremeno smanjenje vertikalnih efektivnih napona, a samim tim i smanjenje čvrstoća tla. Kada vertikalni efektivni naponi postanu suviše mali, tlo skoro potpuno gubi svoju čvrstoću i krutost odnosno pretvara se u gustu tečnost tj. likvefikuje se. Iz ovog razloga je za pojavu likvefakcije tokom zemljotresa neophodno da tlo bude zasićeno vodom. Može se reći da "prelaskom" tla iz čvrstog u gusto tečno stanje dolazi do disipacije pornog nadpritiska. Koliko će vremena likvefikovano tlo ostati u tečnom stanju zavisi kako od dužine trajanja zemljotresa tako i od uslova dreniranja. Duže i jače ciklično smičuće seizmičko opterećenje kao i lošiji uslovi dreniranja prouzrokuje da likvefikovano tlo duže ostane u tečnom stanju.

2.2. TIPOVI LIKVEFAKCIJE

U literaturi se likvefakcija kao geo-seizmički fenomen najčešće dijeli na dva različita tipa. Prvi tip predstavlja fluidna likvefakcija (eng. flow liquefaction). Drugi tip predstavlja ciklična likvefakcija ili ciklična mobilnost (eng. cyclic liquefaction, cyclic mobility). Autori ove podjele su Robertson et al. [1], a nastala je u sklopu poznatog CANLEX (Canadian Liquefaction Experiment) istraživanja.

Dramatične posljedice pojave likvefakcije zabilježene tokom dosadašnjih zemljotresa u najvećem broju slučajeva su rezultat pojave fluidne likvefakcije. Seizmički ciklični smičući naponi izazivaju degradaciju čvrstoće i krutosti tla. U trenutku kada se statički

smičući naponi (smičući naponi od težine tla i konstrukcije) izjednače sa rezidualnom smičućom čvrstoćom tla, nastaje fluidni lom tla. Fluidni likvefacioni lom tla se karakteriše iznenadnom pojavom, brzom progresijom i velikim bočnim pomjeranjem likvefikovanog sloja tla. Obično se javlja kod kosina odnosno prirodno nagnutih terena, gdje može izazvati intezivno pomjeranje velike količine materijala.

Ciklična likvefakcija je još jedan geo-seizmički fenomen koji može takođe izazvati neprihvatljivo velike trajne deformacije tla tokom zemljotresa. Suprotno od fluidne likvefakcije, do ciklične likvefakcije dolazi u situaciji kada su statički smičući naponi manji od smičuće čvrstoće tla koja je u određenoj mjeri redukovana i degradirana usljed seizmičkih cikličnih smičućih napona. Deformacije tla izazvane pojavom ciklične likvefakcije se razvijaju inkrementalno tokom zemljotresa. Bočno tečenje likvefikovanog tla tokom dejstva zemljotresa se najčešće odvija sporo i na mahove, pošto se radi o ravnom ili blago nagnutom tlu.

2.3. UTICAJNI FAKTORI LIKVEFAKCIJE

Kao faktori koji dominantno utiču na nivo osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa (eng. soil liquefaction susceptibility) mogu se izdvojiti:

- intezitet i dužina trajanja zemljotresa,
- tip tla,
- zbijenost tla,
- granulometrijski sastav tla,
- zastupljenost sitnozih frakcija u tlu,
- dubina tla,
- stepen zasićenja tla i položaj nivoa podzemne,
- vodopropustljivost tla,
- opterećenje od konstrukcije,
- istorija prethodnih zemljotresa.

2.3.1. Intezitet i dužina trajanja zemljotresa

Vjerovatnoća pojave likvefakcije tokom zemljotresa raste sa povećanjem njegove magnitude odnosno inteziteta. Dosadašnja iskustva su pokazala da je likvefakcija kao pojava ipak karakteristična za snažnije zemljotrese magnitude ne manje od orijentaciono 6.0. Takođe, što je dužina trajanja zemljotresa veća i šanse da taj zemljotres izazove pojavu likvefakcije u tlu su veće.

2.3.2. Tip tla

Kao što je poznato, likvefakcija je karakteristična za vodom zasićena, normalno konsolidovana, pijeskovita (nekoheretna) tla. Takođe, može se javiti i kod zasićenog, normalno konsolidovanog, prašinstog tla. Po pravilu likvefakcija se ne javlja kod šljunkovitog i glinovitog tla. Razlog za to je u njihovoj strukturi. Smatra se da su šljunkovi toliko porozni da se kod njih ne može "održati" puni nadpritisak dovoljno dugo vremena da bi izazvao likvefakciju. Za gline se smatra da se u njima ne mogu generisati puni nadpritisaci dovoljnog inteziteta za pojavu likvefakcije. Ako se uzme u obzir način njihovog nastanka, može se reći da je likvefakcija uglavnom karakteristična za transportovana tla. Eolska, fluvijalna i koluvijalna tla zbog načina njihovog nastanka u prirodi se često javljaju u rastresitom stanju sa prilično uniformnom veličinom zrna. Ako su uz to još i zasićena vodom, sklona su likvefakciji.

2.3.3. Zbijenost tla

Likvefakcija je karakteristična za nekoheretna, rastresita tla kod kojih je jasno izražena tendencija smanjenja zapremine (kontrakcije) pri smicanju. Dakle, što je zbijenost tla veća, šanse da se to tlo tokom dejstva zemljotresa likvefikuje su manje. Kada je riječ o

uticaju zbijenosti tla na njegovu osjetljivost na pojavu likvefakcije tokom dejstva zemljotresa, kao posebno značajno treba izdvojiti istraživanje koje su sproveli Seed & Idriss [2]. Tom prilikom su dali veoma korisnu kvalitativnu procijenu osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije u zavisnosti od njegove relativne zbijenosti D_r za zemljotrese različitog inteziteta, pri čemu je intezitet zemljotresa izražen u vidu očekivanog maksimalnog horizontalnog ubrzanja tla u nivou površine terena $PGA_{z=0}$ (tabela 1);

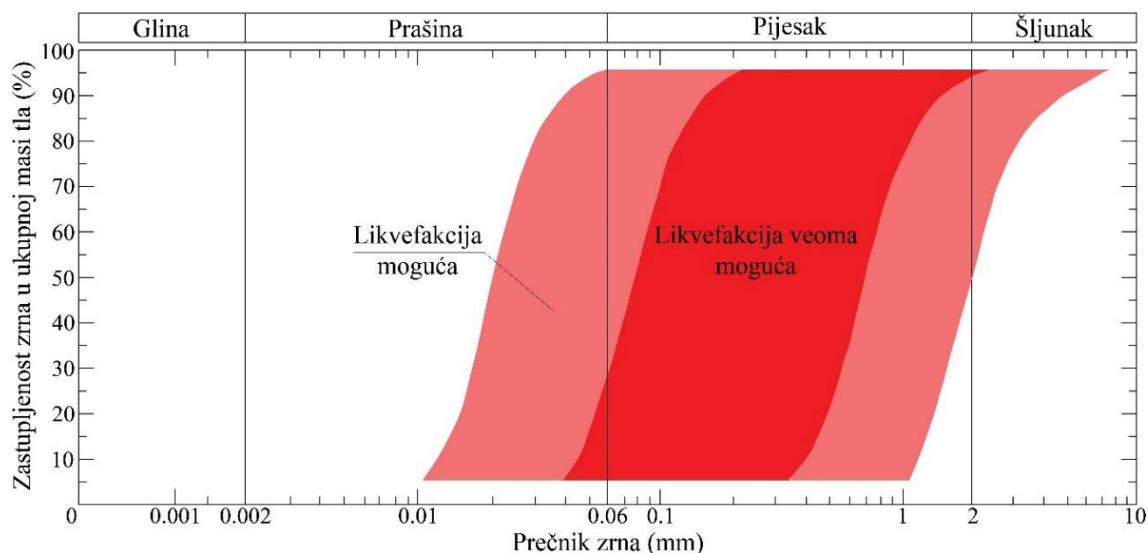
Tab. 1 Kvalitativna procjena osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije u zavisnosti od relativne zbijenosti tla D_r za zemljotrese različitog inteziteta [2]

| $PGA_{z=0}$ | Likvefakcija veoma moguća | Pojava likvefakcije zavisi od osobina tla i magnitude zemljotresa | Ne treba očekivati pojavu likvefakcije |
|-------------|---------------------------|---|--|
| 0.10·g | $D_r < 33\%$ | $33\% \leq D_r \leq 54\%$ | $D_r > 54\%$ |
| 0.20·g | $D_r < 48\%$ | $48\% \leq D_r \leq 73\%$ | $D_r > 73\%$ |
| 0.30·g | $D_r < 60\%$ | $60\% \leq D_r \leq 85\%$ | $D_r > 85\%$ |
| 0.40·g | $D_r < 70\%$ | $70\% \leq D_r \leq 92\%$ | $D_r > 92\%$ |

2.3.4. Granulometrijski sastav tla

Iskustva prethodnih zemljotresa su pokazala da granulometrijski sastav tla ima veoma značajan uticaj na njegovu osjetljivost na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa. Dobro graduirana tla odnosno tla koja sadrže veći broj frakcija različite veličine imaju manju osjetljivost na pojavu likvefakcije. Pošto su pore između većih zrna "popunjene" manjim zrnima, smanjena je mogućnost povećanja pornih pritisaka u nedreniranim uslovima. Dakle, likvefakcija se može očekivati prevashodno kod tla uniformne graduiranosti ali i kod tla loše graduiranosti. Kako tvrdi Kramer [3], likvefakcija je karakteristična za vodom zasićena, nekoheretna tla sa koeficijentom uniformnosti C_u koji je manji od orijentaciono 5.0. Međutim, u stručnoj literaturi se često može naići na drugačije referentne vrijednosti koeficijenta uniformnosti kada je u pitanju osjetljivost tla na pojavu likvefakcije. Tako npr. Moustafa [4] smatra da je likvefakcija moguća kod zasićenog, nekoheretnog tla sa koeficijentom C_u koji je manji od orijentaciono 10.

Kada je riječ o uticaju granulometrijskog sastava tla na njegovu osjetljivost na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa, često se u stručnoj i naučnoj literaturi može naići na stav da je likvefakcija karakteristična za zasićena, nekoheretna tla sa srednjom veličinom zrna D_{50} u intervalu od 0.02mm do 1.0mm. Bez obzira što je svoje istraživanje sproveo prije više od 50 godina, i danas se u praksi često koristi kvalitativna procjena osjetljivosti tla određenog granulometrijskog sastava na pojavu likvefakcije tokom dejstva zemljotresa (slika 2) koju je definisao Tsuchida [5]. Vrlo sličnu kvalitativnu procijenu osjetljivosti tla određenog granulometrijskog sastava na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa nekih 15-tak godina kasnije su predložili Iai et al. [6] i to odvojeno za loše graduirana tla odnosno tla sa $C_u < 3.5$ i za dobro graduirana tla odnosno tla sa $C_u > 3.5$. Ova kvalitativna procjena osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije postala je dio japanske zakonske regulative, a danas je u stručnoj literaturi uglavnom poznata pod nazivom Japanski kriterijum za luke i lučke objekte (eng. Japanese Criteria for Port and Harbour Facilities)



Slika 2 Kvalitativna procjena osjetljivosti tla određenog granulometrijskog sastava na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa [5]

2.3.5. Zastupljenost sitnozrnih frakcija u tlu

Opšte je poznato da zastupljenost (učestće, prisustvo) sitnozrnih frakcija (eng. fines content, FC) sa prečnikom zrna ne većim od 0.075mm u nekom pijeskovitom (nekoheretnom) tlu može značajno uticati na njegovo mehaničko ponašanje, što prevashodno zavisi od količine tih sitnozrnih frakcija. Isto važi i za osjetljivost pijeskovitog tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa ali tu situacija nije baš jednostavna. Dugo vremena među inženjerima je vladalo mišljenje da se sa povećanjem vrijednosti parametra FC nekog nekoheretnog tla smanjuje njegova osjetljivost na pojavu likvefakcije. Uporište ovakvog inženjerskog razmišljanja i rasuđivanja predstavljalo je prevashodno istraživanje koje su sproveli Seed et al. [7]. Međutim, neka kasnija istraživanja su pokazala da je osim zastupljenosti FC veoma značajno i o kom tipu sitnozrnih frakcija je riječ. Zlatovic & Ishihara [8] su dokazali da čisti pijeskovi mogu čak biti manje osjetljivi na pojavu likvefakcije u poređenju sa pijeskovima koji sadrže malu količinu prašinih (neplastičnih) frakcija. Shodno članu 4.1.4 (8) standarda MEST 1998-5 [9], a koji predstavlja zvaničnu crnogorsku verziju evropskog seizmičkog standarda Eurokod 8 dio 5, osjetljivost na pojavu likvefakcije zasićenog pijeskovitog sloja tla se može zanemariti ako taj sloj sadrži više od 35% prašinih frakcija i istovremeno ima vrijednost korigovanog broja udara SPT opita $(N_1)_{60}$ veću od 20. Ako je pijesak čist (zanemarljivo malo sitnozrnih frakcija tj. $FC < 5\%$), onda shodno istom članu navedenog standarda njegova osjetljivost na pojavu likvefakcije se može zanemariti ako ima vrijednost korigovanog broja udara SPT opita $(N_1)_{60}$ veću od 30. Ono što se sa sigurnošću može reći to je da se sa povećanjem zastupljenosti glinovitih (plastičnih) frakcija u nekom pijeskovitom tlu, njegova osjetljivost na pojavu likvefakcije tokom dejstva zemljotresa smanjuje. Seed et al. [7] tvrde da pijeskovita tla koja sadrže više od 20% glinovitih frakcija nisu osjetljiva na pojavu likvefakcije. Isto tvrdi i standard [9] u članu 4.1.4 (8) uz dodatak da indeks plastičnosti glinovitih frakcija IP mora biti veći od 10%. Moustafa [4] tvrdi da je sasvim dovoljno više od 10% glinovitih frakcija u pijeskovitom tlu kako bi se potpuno isključila mogućnost likvefikovanja ovog tla tokom snažnijih zemljotresa.

Kada se govori o vjerovatnoći pojave likvefakcije u prašinastom tlu tokom snažnijih zemljotresa, brojni istraživači su dali svoje predloge za kvalitativnu procjenu ove vjerovatnoće. Na primjer, Andrews & Martin [10] tvrde da je sasvim realno očekivati pojavu likvefakcije kod zasićenog prašinastog tla koje sadrži manje od 10% glinovitih frakcija i ima vlažnost na granici tečenja w_L manju od 32%. Isti istraživači smatraju da mogućnost pojave likvefakcije kod zasićenog prašinastog tla koje sadrži više od 10%

glinovitim frakcija i ima vlažnost na granici tečenja veću od 32% praktično ne postoji. U ostalim situacijama da bi se procijenila osjetljivost na pojavu likvefakcije zasićenog prašinstog sloja tla neophodno je sprovesti dodatna ispitivanja ovog sloja tla. Svoje predloge kada je u pitanju ova problematika dali su i Seed et al. [11], Bray & Sancio [12] kao i Boulanger & Idriss [13].

2.3.6. Dubina tla

Sa povećanjem dubine raste intenzitet vertikalnog totalnog napon u tlu, pa samim tim i šanse da u tlu ne dođe do pojave likvefakcije tokom zemljotresa su veće. Shodno članu 4.1.4 (7) crnogorskog pravilnika MEST EN 1998-5 [9], za zgrade na plitkim temeljima osjetljivost na pojavu likvefakcije zasićenog pijeskovitog sloja tla se može potpuno zanemariti ako se taj sloj nalazi na dubini većoj od 15m mjereno od površine terena. Generalno, među inženjerima u praksi ali i u stručnoj literaturi je ustaljeno mišljenje da se likvefakcija ne može javiti na dubini većoj od 15m bez obzira na tip temeljne konstrukcije postojećeg ili budućeg objekta.

2.3.7. Stepen zasićenja tla i položaj nivoa podzemne vode

Kao što je već više puta rečeno, likvefakcija je karakteristična za vodom zasićena tla ($S_r=100\%$) odnosno tla sa veoma visokom vrijednošću stepena zasićenja, jer se samo kod ovakvog tla mogu generisati dovoljno veliki porni nadpritisci tokom zemljotresa. Viši nivo podzemne vode u tlu znači i veće vrijednosti pornih pritisaka, pa samim tim i veće šanse da dođe do pojave likvefakcije u tlu tokom dejstva zemljotresa.

2.3.8. Vodopropustljivost tla

Jasno je da su sa povećanjem vrijednosti koeficijenta vodopropustljivosti tla, šanse da se tlo tokom zemljotresa likvefikuje manje. Što je koeficijent vodopropustljivosti veći, generisani porni nadpritisk se lakše "oslobađa" tj. ne može se "održati" dovoljno dugo vremena kako bi izazvao pojavu likvefakcije tla tokom zemljotresa.

2.3.9. Opterećenje od konstrukcije

Opterećenje koje konstrukcija prenosi na temeljno tlo izaziva između ostalog priraštaj vertikalnih totalnih i efektivnih napona u tlu. Samim tim, osjetljivost toga tla na pojavu likvefakcije tokom dejstva zemljotresa je manja.

2.3.10. Istorija prethodnih zemljotresa

Pojava likvefakcije u tlu tokom zemljotresa izaziva slijeganje tla. Shodno tome, zbijenost tla koje se likvefikovalo veća je nakon zemljotresa u odnosu na zbijenost prije zemljotresa. Kao logičan nameće se zaključak da je ovo tlo manje osjetljivo na pojavu likvefakcije posle nego prije konkretnog zemljotresa. Drugim riječima, ovo tlo sada neki naredni zemljotres "čeka" sa manjom osjetljivošću na pojavu likvefakcije. Međutim, iskustva pojedinih dosadašnjih zemljotresa sugerišu potpuno suprotno. Kao primjer mogu se izdvojiti dva zemljotresa iz 2011. godine. To su tzv. veliki istočnojapanski zemljotres i novozelandski zemljotres u Krajstčerču (eng. Christchurch). Tokom ovih zemljotresa likvefakcija se dogodila tj. ponovila na brojnim lokacijama za koje se sa sigurnošću znalo da su tokom prethodnih zemljotresa takođe bile lokacije pojave likvefakcija tla, o čemu svjedoče pojedina istraživanja (npr. Yasuda et al. [14], Cubrinovski et al. [15] i Quigley et al. [16]). Kako bi detaljnije analizirali ovu problematiku, u posljednjih 10-tak godina više istraživača je odvojeno sprovelo manje-više slična eksperimentalna istraživanja. Uzorci pijeskovitog tla su u laboratorijskim uslovima izlagani nekom unaprijed definisanom dinamičkom opterećenju i dovođeni u stanje likvefikovanja. Nakon toga bi se prestalo sa apliciranjem opterećenja, cijela aparatura vratila u početni položaj i uzorak

tla ponovo izlagao dejstvu istog dinamičkog opterećenja. Opisani postupak bi se ponavljao više puta. Wahyudi et al. [17] su istraživanje ovog tipa sprovedeli u opitu cikličnog direktnog smicanja, Toyota & Takata [18] u opitu triaksijalne kompresije, El-Sekelly et al. [19] uz pomoć centrifuge, a Wang et al. [20] na vibrirajućoj platformi. Rezultati navedenih istraživanja uglavnom dokazuju činjenicu da je kod tla koje se tokom prethodnog zemljotresa likvefikovalo zapravo došlo do povećanja njegove osjetljivosti na pojavu likvefakcije.

3. KVANTITATIVNA PROCJENA OSJETLJIVOSTI TLA NA POJAVU LIKVEFAKCIJE – FAKTOR SIGURNOSTI

U prethodnom dijelu prezentovani su svi faktori koji imaju značajnijeg uticaja na pojavu likvefakcije u tlu tokom zemljotresa. Takođe, jasno su targetirane seizmološke i geološke situacije kada je više ili manje realno očekivati pojavu likvefakcije u tlu tokom zemljotresa. Važno je napomenuti da su mjere kojima se objekat trajno štiti od negativnog uticaja eventualne pojave likvefakcije u temeljnom tlu najčešće vrlo skupe. Iz tog razloga neophodno je da građevinski inženjer - projektant bude u potpunosti siguran da može doći do pojave likvefakcije u tlu ispod objekta tokom budućeg zemljotresa kada od Investitora objekta traži da se ove mjere sprovedu. Naravno, inženjerima je najprikladnije vjerovatnoću da se nešto neće desiti izraziti preko faktora sigurnosti. Tako se dolazi do faktora sigurnosti tla na pojavu likvefakcije FS_{liq} .

Prema opšte poznatom rješenju, faktor sigurnosti na pojavu likvefakcije u tlu na dubini z (mjereno od površine terena) tokom zemljotresa jednak je količniku koeficijenta ciklične otpornosti tla na pojavu likvefakcije CRR_{liq} na dubini z tokom zemljotresa magnitude M i koeficijenta cikličnog smičućeg napona u tlu CSR na dubini z :

$$FS_{liq}(z) = \frac{CRR_{liq}(z)}{CSR(z)} \quad (1)$$

Koeficijent cikličnog smičućeg napona u tlu CSR se jednostavno određuje koristeći opšte poznato rješenje koje su dali Seed & Idriss [2]:

$$CSR(z) = \frac{\tau_{cyc}(z)}{\sigma'_v(z)} = 0.65 \cdot \frac{PGA_{z=0}}{g} \cdot \frac{\sigma_v(z)}{\sigma'_v(z)} \cdot r_d(z) \quad (2)$$

gdje su:

| | |
|-----------------|---|
| $\tau_{cyc}(z)$ | vrijednost amplitude uniformnih i vremenski pravilnih smičućih, cikličnih napona u tlu na dubini z sa kojima se aproksimira seizmička pobuda, |
| $\sigma_v(z)$ | totalni geo-statički vertikalni napon u tlu na dubini z , |
| $\sigma'_v(z)$ | efektivni geo-statički vertikalni napon u tlu na dubini z , |
| $PGA_{z=0}$ | maksimalno horizontalno ubrzanje tla na površini terena, |
| r_d | faktor redukcije napona. |

Prethodno spomenuti autori sprovedli su više stotina parametarskih analiza dinamičkog (seizmičkog) odgovora tla. Rezultati tih analiza su pokazali da faktor redukcije napona zavisi od dubine z i magnitude zemljotresa M . Za njegovo izračunavanje Seed & Idriss [2] su predložili sljedeći izraz:

$$r_d(z) = e^{(\alpha(z)+\beta(z) \cdot M)} \quad (3)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \quad (3a)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right) \quad (3b)$$

Vrijednost faktora redukcije napona se povećava sa dubinom. Navedeni izrazi su upotrebljivi za dubine manje od 34m. Međutim, Seed & Idriss [2] sugerišu da ovi izrazi daju sasvim pouzadane rezultate do dubine od 20m. Za veće dubine neophodno je sprovesti mnogo komplikovanije i detaljnije analize. Naravno, postoje i drugi predlozi za izračunavanje faktora redukcije napona. Na primjer, Liao & Whitman [21] su predložili sljedeće izraze:

$$r_d(z) = 1 - 0.00765 \cdot z \quad \text{za } z \leq 9.15\text{m} \quad (4)$$

$$r_d(z) = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{za } 9.15\text{m} < z \leq 23\text{m} \quad (5)$$

Očekivano, glavni problem prilikom određivanja faktora sigurnosti na pojavu likvefakcije nekog sloja tla je izračunavanje njegove odgovarajuće vrijednosti koeficijenta ciklične otpornosti na pojavu likvefakcije CRR_{liq} tokom zemljotresa magnitude M . Opšte je prihvaćen predlog koji su dali Seed et al. [22], shodno kome se vrijednost koeficijenta CRR_{liq} određuje korekcijom vrijednosti koeficijenta ciklične otpornosti tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa magnitude $M=7.5$ sa oznakom $CRR_{M=7.5}$. Međutim, postoji više predloga kako korigovati vrijednost koeficijenta $CRR_{M=7.5}$. Seed et al. [22] su predložili sljedeći način korekcije:

$$CRR_{liq}(z) = CRR_{M=7.5}(z) \cdot \chi \quad (6)$$

gdje je χ faktor magnitudne korekcije koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ (tabela 2).

Tab. 2 Vrijednosti faktora magnitudne korekcije koeficijenta $CRR_{M=7.5}$

| Magnituda | Seed et al. [22] Seed & Idriss [23] | Ambraseys [24] | Idriss [25] |
|-----------|--|----------------|-------------|
| 5.25 | 1.50 | - | - |
| 5.50 | 1.43 | 2.86 | 2.20 |
| 6.00 | 1.32 | 2.20 | 1.76 |
| 6.50 | 1.19 | 1.69 | 1.44 |
| 6.75 | 1.13 | - | - |
| 7.00 | 1.08 | 1.30 | 1.19 |
| 7.50 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 8.00 | 0.94 | 0.67 | 0.84 |
| 8.50 | 0.89 | 0.44 | 0.72 |

U inženjerskoj praksi se danas najčešće koristi način korekcije vrijednosti koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ koji su predložili Youd et al. [26]. Shodno ovom predlogu koristi se sljedeći izraz:

$$CRR_{liq}(z) = CRR_{M=7.5}(z) \cdot MSF \cdot K_{\sigma}(z) \cdot K_{\alpha} \quad (7)$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (7a)$$

$$K_{\sigma}(z) = \left(\frac{\sigma'_v(z)}{P_a}\right)^{(f-1)} \quad (7b)$$

gdje su:

| | |
|-----------------|--|
| MSF | faktor skaliranja magnitude zemljotresa, |
| $K_{\sigma}(z)$ | faktor korekcije pritiska nadsloja tla na dubini z , |
| K_{α} | faktor nagiba analiziranog sloja tla ($K_{\alpha} = 1.0$ ako je sloj horizontalan), |
| M_w | momentna magnituda zemljotresa, |
| P_a | atmosferski pritisak (približno 101kPa), |
| f | empirijski eksponent koji zavisi od relativne zbijenosti tla. |

Hyhes & Olsen [27] za relativnu zbijenost tla između od 40% do 60% predlažu vrijednost empirijskog eksponenta f od 0.70 do 0.80. Za relativnu zbijenost tla od 60% do 80% predlažu vrijednost empirijskog eksponenta f od 0.60 do 0.70.

U literaturi se takođe mogu naći predlozi drugih istraživača koji se odnose na izračunavanje faktora skaliranja magnitude zemljotresa MSF i faktora korekcije pritiska nadsloja tla K_{σ} . Na primjer, Idriss & Boulanger [28] su predložili sljedeće izraze:

$$MSF = 6.90 \cdot e^{-\frac{M}{4}} - 0.058 \leq 1.80 \quad (8)$$

$$K_{\sigma}(z) = 1 - C_{\sigma} \cdot \left(\frac{\sigma'_v(z)}{P_a} \right) \leq 1.10 \quad (9)$$

Ako se raspoložbe rezultatima standardnog penetracionog testa (SPT), onda se faktor korekcije totalnih napona C_{σ} može izračunati na sljedeći način:

$$C_{\sigma} = \frac{1}{18.9 - 2.25 \cdot \sqrt{(N_1)_{60}}} \quad (10)$$

gdje je $(N_1)_{60}$ korigovani broj iz SPT-a. Ako se raspoložbe rezultatima statičkog penetracionog testa (CPT), onda se faktor korekcije totalnih napona C_{σ} može izračunati na sljedeći način:

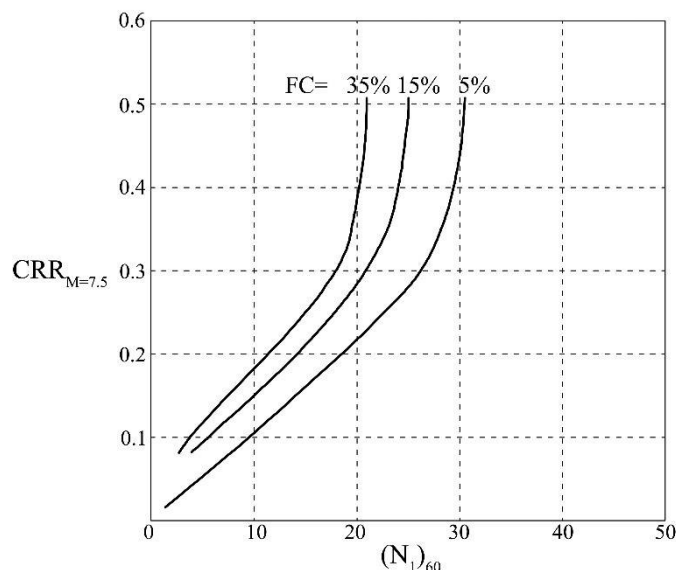
$$C_{\sigma} = \frac{1}{37.3 - 8.27 \cdot \left(\frac{C_N(z) \cdot q_c(z)}{P_a} \right)} \quad (11)$$

$$C_N(z) = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v(z)} \right)^{0.784 - 0.521 \cdot D_r} \quad (11a)$$

Shodno jednačinama 1 i 5, da bi se odredila vrijednost faktora sigurnosti tla na pojavu likvefakcije FS_{liq} , neophodno je izračunati vrijednost koeficijenta ciklične otpornosti toga tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa magnitude $M=7.5$ sa oznakom $CRR_{M=7.5}$. Ovo je najvažniji ali i najzahtjevniji "korak" pri određivanju faktora sigurnosti FS_{liq} . Mnogi istraživači su se bavili ovim problemom. Ono što se na osnovu tih istraživanja može zaključiti to je da se vrijednost koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ generalno ne može odrediti bez sprovođenja odgovarajućih laboratorijskih ili terenskih geotehničkih ispitivanja. U novioj stručnoj i naučnoj literaturi mogu se pronaći postupci određivanja koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ na osnovu rezultata dinamičkog testa traksijalne kompresije (npr. Jafarian et al. [29]) ili na osnovu rezultata cikličnog direktnog smicanja (npr. Da Fonseca et al. [30]). Pošto je riječ o nestandardnim geotehničkim ispitivanjima, za praktične potrebe mnogo značajnija su rješenja za određivanje koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ na osnovu rezultata penetracionih ispitivanja, prevashodno rezultata SPT-a i CPT-a. U daljem tekstu neka od tih rješenja biće ukratko prezentovana.

U slučaju da se raspoložbe rezultatima SPT-a, u praksi se danas najčešće primjenjuje rješenje koje se ne može pripisati samo jednom autoru ili jednoj grupi autora. Prvo su Seed et al. (1985) koristeći iskustva prethodnih zemljotresa formirali opšte poznate krive zavisnosti korigovanog broja udara SPT-a $(N_1)_{60}$ i koeficijenta ciklične otpornosti

$CRR_{M=7.5}$ uzimajući u obzir i procentualno izraženu zastupljenost sitnozrnih frakcija FC u pijeskovitom tlu (slika 3).



Slika 3 Krive zavisnosti koeficijenta ciklične otpornosti tla $CRR_{M=7.5}$ i korigovanog broja udara SPT-a $(N_1)_{60}$ za pijeskovite sa različitim zastupljenošću sitnozrnih frakcija [31]

Nekih 15-tak godina kasnije profesor Rauč (eng. Rauch) sa Univerziteta u Teksasu je prikazanu krivu zavisnosti $(N_1)_{60} - CRR_{M=7.5}$ za čiste pijeskovite ($FC < 5\%$) aproksimirao sljedećom jednačinom:

$$CRR_{M=7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (12)$$

Nedugo zatim profesor Idriss sa Univerziteta u Dejvisu (eng. Davis) je prilagodio ovo rješenje primjeni za pijeskovite sa bilo kojom zastupljenošću sitnozrnih frakcija FC . Korigovani broj udara SPT opita $(N_1)_{60}$ se dodatno koriguje u zavisnosti od vrijednosti FC . Tako se dobija novi korigovani broj udara $(N_1)_{60cs}$ koji se umjesto $(N_1)_{60}$ koristi u jednačini 10. Dakle, za izračunavanje koeficijenta ciklične otpornosti tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa magnitude $M=7.5$ sa oznakom $CRR_{M=7.5}$ koristi se izraz:

$$CRR_{M=7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (13)$$

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60} \quad (13a)$$

$$\alpha = 0 \quad \beta = 1.0 \quad \text{za } FC \leq 5\% \quad (13b)$$

$$\alpha = e^{1.76 - \left(\frac{190}{FC^2}\right)} \quad \beta = 0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000}\right) \quad \text{za } 5\% < FC < 35\% \quad (13c)$$

$$\alpha = 5.0 \quad \beta = 1.2 \quad \text{za } FC \geq 35\% \quad (13d)$$

Jednačina 13 je validna za vrijednosti $(N_1)_{60cs} < 30$, dok se za vrijednosti $(N_1)_{60cs} \geq 30$ smatra da pijeskovito tlo nije podložno likvefakciji.

U slučaju da se raspolaze rezultatima CPT-a, za izračunavanje koeficijenta ciklične otpornosti tla $CRR_{M=7.5}$ u inženjerskoj praksi se danas najčešće primjenjuje rješenje koje je predložio Youd et al. [26]. Ako je na dubini z izmjeren otpor prodoru konusa statičkog penetrometra $q_c(z)$, shodno ovom rješenju vrijednost koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ na dubini z je jednaka:

$$CRR_{M=7.5}(z) = 0.833 \cdot \left(\frac{C_N(z) \cdot q_c(z)}{1000 \cdot P_a} \right) + 0.05 \quad \text{za} \quad \frac{C_N(z) \cdot q_c(z)}{P_a} < 50 \quad (14)$$

$$CRR_{M=7.5}(z) = 93 \cdot \left(\frac{C_N(z) \cdot q_c(z)}{1000 \cdot P_a} \right)^3 + 0.08 \quad \text{za} \quad 50 \leq \frac{C_N(z) \cdot q_c(z)}{P_a} < 160 \quad (15)$$

$$C_N(z) = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v(z)} \right)^{0.50} \quad (16)$$

Kao veoma interesantno i sa aspekta svakodnevne inženjerske praske veoma korisno može se spomenuti istraživanje koje su sproveli Andrus & Stokoe [32]. U okviru ovog istraživanja definisano je alternativno rješenje koje uspostavlja korelacija između koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ nekog sloja tla i brzine prostiranja smičućih talasa kroz taj sloj V_s . Shodno ovom rješenju za izračunavanje koeficijenta $CRR_{M=7.5}$ koristi se sljedeći izraz:

$$CRR_{M=7.5} = \left[0.022 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 2.8 \cdot \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right] \cdot MSF \quad (17)$$

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \quad (17a)$$

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.50} \right)^{-2.56} \quad (17b)$$

gdje je V_{s1}^* gornja granica vrijednosti naponski korigovane brzine prostiranja smičućih talasa sloja tla koji se smatra da je osjetljiv na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa momentne magnituda M_w . Preporučena vrijednost V_{s1}^* je od 200m/s do 215m/s. Nekoliko godina kasnije Juang et al. [33] su došli do zaključka da su vrijednosti faktora sigurnosti FS_{liq} nerealno male odnosno suviše konzervativne ako su dobijene na način što su koeficijenti $CRR_{M=7.5}$ izračunati primjenom jednačine 17. Smatraju da ove vrijednosti faktora sigurnosti treba povećati za 40% kako bi se dobile znatno realnije vrijednosti faktora sigurnosti FS_{liq} .

Teorijski gledano, ako se primjenom jednačine 1 dobiju vrijednosti faktora sigurnosti FS_{liq} po dubini nekog zasićenog pijeskovitog sloja tla veće od 1.0, zemljoteres pretpostavljene magnituda neće dovesti do likvefikovanja toga sloja tla. U inženjerskoj praksi se za ovakav zaključak kao i obično zahtjeva nešto veća vrijednost faktora sigurnosti. Shodno članu 4.1.4 (11)P standarda MEST EN 1998-5 [9], minimalna zahtjevana vrijednost faktora sigurnosti FS_{liq} iznosi 1.25.

Dosadašnja iskustva su pokazala da sam faktor sigurnosti FS_{liq} ipak nije najbolji pokazatelj osjetljivosti zasićenog pijeskovitog sloja tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa odnosno nije dobar pokazatelj ozbiljnosti (eng. severity) oštećenja konstrukcija plitko fundiranih na površini terena koje bi izazvala eventualna pojava likvefakcije u tlu tokom zemljotresa. Zašto? Shodno prethodno opisanom postupku, za analizirani zasićeni pijeskoviti sloj tla debljine H dobija se n vrijednosti koeficijenata sigurnosti FS_{liq} (za dubine z_1, z_2, \dots, z_n). U praksi situacija je najčešće takva da su neke od tih vrijednosti manje od 1.0 dok su ostale jednake odnosno veće od 1.0. Samim tim nastaje problem odnosno nedoumica kada treba dati konačan zaključak da li je tlo sklono likvefakciji tokom zemljotresa prethodno usvojene (pretpostavljene) magnituda. Iz toga razloga mnogi istraživači smatra da je mnogo bolji pokazatelj osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije tzv. indeks potencijala likvefakcije (eng. liquefaction potential index, LPI). Iwasaki et al. [34] prvi definišu LPI kao mjeru potencijala pojave likvefakcije u tlu odnosno mjeru ozbiljnosti destruktivnih efekata na površini terena koji bi bili izazvani pojavom likvefakcije u površinskom (plitkom) sloju tla nešto veće debljine H tokom

zemljotresa pretpostavljene magnitude. Dakle, polaze od pretpostavke da je sloj tla sklon likvefakciji plitak tj. nalazi se pri površini terena, da je veće debljine H i da su po dubini ovog sloja dobijene (izračunate) vrijednosti faktora sigurnosti FS_{liq} manje od 1.0. Shodno predlogu Iwasaki et al. [34] LPI se izračunava se na sljedeći način:

$$LPI = \int_0^H F(z) \cdot W(z) \cdot dz = \sum_{i=1}^n F_i(z) \cdot W_i(z) \cdot H_i \quad (18)$$

$$F_i(z) = 1 - FS_{liq,i} \quad \text{za} \quad FS_{liq,i} < 1.0 \quad (18a)$$

$$F_i(z) = 0 \quad \text{za} \quad FS_{liq,i} \geq 1.0 \quad (18b)$$

$$W_i(z) = 10 - 0.5 \cdot z_i \quad \text{za} \quad z_i \leq 20\text{m} \quad (18c)$$

$$W_i(z) = 0 \quad \text{za} \quad z_i > 20\text{m} \quad (18d)$$

gdje jsu:

$F(z)$ funkcija faktora sigurnosti na pojavu likvefakcije FS_{liq} ,
 $W(z)$ funkcija dubine,
 n broj lamela na koje je podjeljen analizirani sloj tla debljine H ,
 z_i rastojanje (dubina) od površine terena do sredine i -te lamele,
 $FS_{liq,i}$ faktor sigurnosti na pojavu likvefakcije na dubini z_i .

Kao što se može vidjeti Iwasaki et al. [34] smatraju da se likvefakcija ne može javiti na dubinama većim od 20m. Sonmez [35] je u izvjesnoj mjeri korigovao rješenje koje su dali Iwasaki et al. [34], te predložio sljedeći način izračunavanja vrijednosti funkcije faktora sigurnosti koja figuriše u jednačini 18:

$$F_i(z) = 0 \quad \text{za} \quad FS_{liq,i} \geq 1.2 \quad (19)$$

$$F_i(z) = 2 \cdot 10^6 e^{-18.427 \cdot FS_{liq,i}} \quad \text{za} \quad 0.95 < FS_{liq,i} < 1.20 \quad (20)$$

$$FS_{liq,i} = 1 - FS_{liq,i} \quad \text{za} \quad FS_{liq,i} < 0.95 \quad (21)$$

Na kraju, Sonmez [36] definiše sljedeću kvalifikaciju potencijala likvefakcije (tabela 3):

Tab. 3 Kvalifikacija potencijala likvefakcije [35]

| LPI | Potencijal likvefakcije |
|-------------------|-------------------------|
| 0.00 | Bez likvefakcije |
| $0 < LPI \leq 2$ | Nizak |
| $2 < LPI \leq 5$ | Srednji |
| $5 < LPI \leq 15$ | Visok |
| $15 < LPI$ | Veoma visok |

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu date su smjernice za jednostavnu kvalifikaciju i/ili kvantifikaciju osjetljivosti tla na pojavu likvefakcije tokom zemljotresa koje ne zahtjevaju sprovođenje komplikovanih i nestandardnih geoloških ispitivanja tla. Samim tim mogu biti od velike koristi građevinskim inženjerima i geolozima u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

LITERATURA

- [1] Robertson, P.K., List, B.R., Hofmann, B.A. (1995). CANLEX (Canadian Liquefaction Experiment): A one year update. *Third International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, Missouri University of Science and Technology, Missouri, USA, April 02-07, Volume 1, pp.815-823.
- [2] Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedures for evaluating soil liquefaction potentials. *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Volume 107, pp. 1249-1274. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662>.
- [3] Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice-Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- [4] Moustafa, A. (2012). *Advances in Geotechnical Earthquake Engineering – Soil Liquefaction and Seismic Safety of Dams and Monuments*. IntecOpen, Janeza Trdine 9, Rijeka, Croatia. <https://doi.org/10.5772/2459>.
- [5] Tsuchida, H. (1970). Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits. *Seminar in the Port and Harbor Research Institute*, USA, pp. 3.1-3.33.
- [6] Iai, S., Tsuchida, H., Koizumi, K. (1989). A liquefaction criterion based on field performances around seismograph stations. *Soils and Foundations*, Volume 2, pp. 52-68. https://doi.org/10.3208/sandf1972.29.2_52.
- [7] Seed, H.B., Idriss, I.M., Arango, I. (1983). Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Volume 109, pp. 458-482. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:3\)458](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3)458).
- [8] Zlatovic, S., Ishihara, K. (1995). On the influence of nonplastic fines on residual strength. *1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Tokyo, Japan, November 14-16, pp. 239-244.
- [9] Institut za standardizaciju Crne Gore (2019). *Crnogorski standard MEST EN 1998-5 "Eurokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija – Dio 5: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnički aspekti"*, I izdanje, Podgorica, Crna Gora.
- [10] Andrews, D.C.A., Martin, G.R. (2000). Criteria for liquefaction of silty soils. *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, January 30 – February 4, Paper No. 0312, pp.1-8.
- [11] Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A., Wu, J., Pestana, J., Riemer, M., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E., Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. *Keynote presentation: 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar*, Long Beach, California, USA, April 30, pp. 1-71.
- [12] Bray, J.D., Sancio, R.B. (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 132 (9), pp. 1165-1177. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:9\(1165\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:9(1165)).
- [13] Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 132 (11), pp. 1413-1426. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:11\(1413\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:11(1413)).
- [14] Yasuda, S., Harada, K., Ishikawa, K., Kanemaru, Y. (2012). Characteristics of liquefaction in Tokyo Bay area by the 2011 Great East Japan earthquake. *Soils and Foundations*, Volume 52 (5), pp. 793–810. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.11.004>.
- [15] Cubrinovski, M., Henderson, D., Bradley, B.A. (2012). Liquefaction impacts in residential areas in the 2010–2011 Christchurch earthquakes. *International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, Tokyo, Japan, March 1-4, pp. 811–824.
- [16] Quigley, M.C., Bastin, S., Bradley, B.A. (2013). Recurrent liquefaction in Christchurch, New Zealand, during the Canterbury earthquake sequence. *Geology*, Volume 41 (4), pp. 419–422. <https://doi.org/10.1130/G33944.1>.

- [17] Wahyudi, S., Koseki, J., Sato, T., Chiaro, G. (2015). Multiple-Liquefaction behavior of sand in cyclic simple stacked-ring shear tests. *International Journal of Geomechanics*, Volume 16 (5), C4015001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000596](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000596).
- [18] Toyota, H., Takada, S. (2016). Variation of Liquefaction Strength Induced by Monotonic and Cyclic Loading Histories. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 143 (4), 04016120. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001634](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001634).
- [19] El-Sekelly, W., Abdoun, T., Dobry, R. (2016). Preshake: A database for centrifuge modeling of the effect of seismic preshaking history on the liquefaction resistance of sands. *Earthquake Spectra*, Volume 32 (3), pp. 1925–1940. <https://doi.org/10.1193/082515EQS131DP>.
- [20] Wang, R., Hu, Q., Liu, X., Zhang, J.M. (2018). Influence of Liquefaction History on Liquefaction Susceptibility. *Sessions of Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics V*, Austin, Texas, USA, June 10-13, pp. 304-310. <https://doi.org/10.1061/9780784481455.030>.
- [21] Liao, S.S.C., Whitman, R.V. (1986). Overburden correction factors for SPT in sand. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Volume 112 (3), pp. 373–377. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1986\)112:3\(373\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1986)112:3(373)).
- [22] Seed, H.B., Idriss, I.M., Makdisi, F., Banerjee, N. (1975). *Representation of irregular stress time histories by equivalent uniform stress series in liquefaction analyses*. Report No. EERC 75-29, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA.
- [23] Seed H.B., Idriss I.M. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. EERI Publication Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, USA.
- [24] Ambraseys N.N. (1988). Engineering seismology: Part I. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volume 17 (1), pp. 1–105. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290170101>.
- [25] Idriss, I. M. (1991). Earthquake ground motions at soft soil sites. *2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering. and Soil Dynamics*, Volume 3, pp. 2265–2271.
- [26] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, J.L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koestor, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., Stokoe, K.H. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 127 (10), pp. 817-833. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))
- [27] Hynes, M.E., Olsen, R.S. (1999). Influence of confining stress on liquefaction resistance. International Workshop on Physics and Mechanics of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 145–52.
- [28] Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*. EERI Publication, Monograph series no. MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, USA
- [29] Jafarian, Y., Vakili, R., Sadeghi Abdollahi, A. (2013). Prediction of cyclic resistance ratio for silty sands and its applications in the simplified liquefaction analysis. *Computers and Geotechnics*, Volume 52, pp. 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2013.04.001>.
- [30] Da Fonseca, A.V., Soares, M., Fourie, A.B. (2015). Cyclic DSS tests for the evaluation of stress densification effects in liquefaction assessment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 75, pp. 98-111. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.03.016>.
- [31] Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, R.M. (1985). The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*, Volume 111 (12), pp. 1425-1445. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:12\(1425\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:12(1425)).
- [32] Andrus, R. D., Stokoe, K. H. (2000). Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 126, pp. 1015– 1025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2000\)126:11\(1015\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2000)126:11(1015)).
- [33] Juang, C. H., Yang, S. H., Yuan, H. (2005). Model uncertainty of shear wave velocity-based method for liquefaction potential evaluation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental*

Engineering, Volume 131, pp. 1274–1282. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:10\(127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:10(127)

- [34] Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., Yasuda, S. (1978). A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various site in Japan. *5th Japan Earthquake Engineering Symposium*, Volume II, pp. 641-648.
- [35] Sonmez, H. (2003). Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environmental Geology*, Volume 44 (7), pp. 862–871. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0831-0>.

ODNOS ARHITEKTURE I EMOCIJA NASTALIH PRILIKOM VANREDNIH STANJA IZAZVANIH SOCIJALNIM I PRIRODNIM NEPOGODAMA

Bojana Mijatov¹, Miljana Vasić², Duška Prodanović³

Rezime:

Rad se bavi istraživanjem arhitekture vanrednih situacija koja se koncipira i realizuje između faktora koji dovode do nepogode i arhitektonskog prostora. U užem smislu, istraživanje je usmereno alternativnim prostornim idejama koje se tiču novog seta odnosa između subjekta i prostornog poretka kao i novih načina nastanjivanja i apsorpcije prostora. Predmet rada se usmerava na konkretizovane faktore vanrednih stanja, njihovim prevazilaženjima i odnosima između arhitektonskog prostora i emocija. S obzirom na to da je ovo istraživanje sprovedeno u jeku pandemije, doprinos ovog rada je u budućim rešenjima prilagođavanja arhitektonskih prostora i faktora koji dovode do vanrednog stanja. Cilj istraživanja je prilagođavanje arhitektonskih prostorno programskih scenarija, emocija i vanrednih stanja kao i faktora koji ih povezuju. Istraživanje vanrednih stanja sa stanovništva arhitekture, ističe važnost projektovanja sa ciljem stvaranja inovativnih pristupa problematici projektovanja.

Ključne reči: nepogoda, emocije, arhitektura, Kant, održivost

THE RELATIONSHIP BETWEEN ARCHITECTURE AND EMOTIONS ARISING FROM EMERGENCY SITUATIONS CAUSED BY SOCIAL AND NATURAL DISASTERS

Summary:

The paper explores the relationship between architecture and emotions arising from emergency situations caused by social and natural disasters. It investigates the impact of these situations on architectural space and the resulting emotional experiences. The research focuses on understanding the concrete factors of emergency situations, their overcoming, and the interplay between architectural space and emotions. Conducted during the pandemic, the study aims to contribute to future solutions for adapting architectural spaces to extraordinary circumstances. It seeks to adapt architectural spatial programming scenarios, emotions, and emergency situations, as well as the connecting factors. By examining emergency situations from an architectural standpoint, the research highlights the importance of designing innovative approaches to address the challenges posed by such circumstances.

Key words: disaster, emotions, architecture, Kant, sustainability

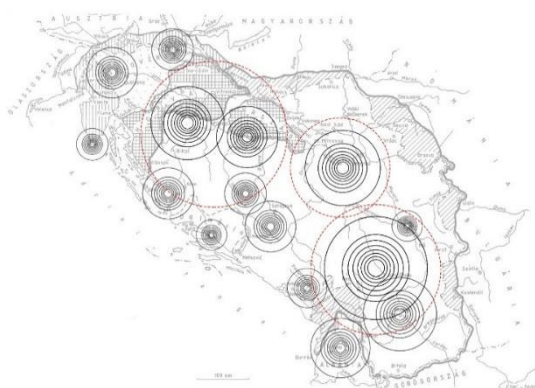
¹ Student doktorskih akademskih studija, Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, bojanaa.mijatov@gmail.com

² Asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini, Kosovska Mitrovica, Srbija, miljana.vasic@pr.ac.rs

³ Student doktorskih akademskih studija, Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, duskaprodanovic@yahoo.com

1. UVOD

U radu su analizirana različita vanredna stanja, kao što su ratne nepogode, poplave i pandemija na području bivše Jugoslavije, odnosno na području Balkana. Rat na području bivše Jugoslavije, koji je trajao od 1991. do 2001. godine, predstavlja niz sukoba, što je dovelo do raspada jugoslovenske federacije 1992. godine. Na osnovu istorijskih podataka, na području Balkana ratne nepogode nisu bile u svim područjima podjednako prisutne. Na osnovu istraženih rezultata predstavljena je mapa sa intenzitetom ratnih razaranja.(slika 1.) Većina ratova se završila mirovnim sporazumima, koji su podrazumevali puno međunarodno priznanje novih država, ali sa velikim socijalnim gubicima štetnim za region. Istraživanja nakon rata, su dosledno dokumentovala povišene stope psiholoških poremećaja kod preživelih osoba. Iako je izlaganje ratnim traumama povezano sa povišenim stopama psihopatologije, pojedinci koji ispunjavaju kriterijume za poremećaj u grupama pogođenim sukobima obično su u manjini. ⁴



Slika 1. Intenzitet ratnih razaranja na području bivše Jugoslavije, odnosno na području Balkana od 1991 do 2001. godine (izvor: autor rada – Bojana Mijatov)

Ovo naglašava značajne razlike u tome koliko se ljudi psihološki prilagođavaju nakon izlaganja ratnim traumama. Identifikovani su kontekstualni faktori, poput tipa i doze izloženosti traumi i stresovima nakon traume, koji utiču na promenljive psihološke ishode u grupama pogođenim sukobima. Dugo se smatralo da su žrtve rata samo oni koji su poginuli ili fizički stradali jer je to bilo vreme kada je okončanje jednog rata značilo pripremu za drugi.⁵ Međutim, od američkog građanskog rata do danas, javlja se potreba da se pomogne onima na koje je rat ostavio psihičke posledice, jer savremeni čovek nije ratnik po opredeljenju, već on najčešće ratuje da bi sačuvao svoj život i živote svojih bližnjih, a rat i neizvesnost koju nosi predstavljaju izrazito traumatično iskustvo za njega. (slika 2.)

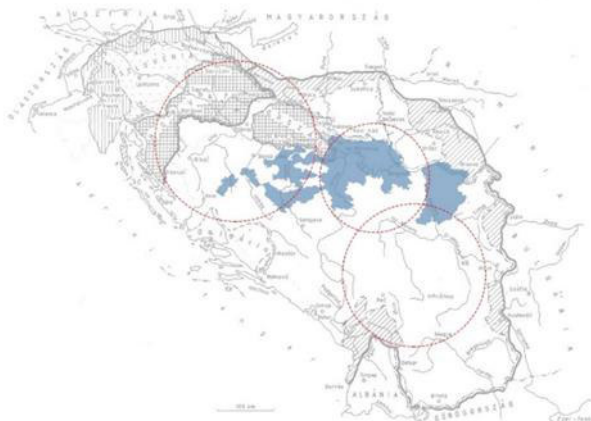


Slika 2. Prikaz psiholoških uticaja vanrednog stanja na čoveka tokom rata, od 1991 do 2001. godine, na prostoru Jugoslavije (izvor: autor rada – Bojana Mijatov)

⁴Hannah Comtesse, Steve Powell, Andrea Soldo, et al. "Long-term psychological distress of Bosnian war survivors: an 11-year follow-up of former displaced persons, returnees, and stayers", BMC Psychiatry 19, 1 (2019).;(preuzeto: <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1996-0>;posećena: 15.06.2021.)

⁵Mervin Frost, "Etika i rat: S one strane teorije pravednog rata", (Beograd: Univerzitet u Beogradu – Fakultet bezbednosti, 2010); 309 – 330.

Poslednje decenije 20. veka donele su nove uvide u složenost sveta u kome živimo. Osvajajući nove tehnologije i šire slobode, istovremeno nailazimo na rizike i prepreke u njihovom savladavanju. Kako kaže sociolog Urlih Bek (Ulrich Beck), živimo u „društvu rizika“, koje nosi nove pretnje na globalnom, lokalnom i individualnom planu, ali i mogućnost za razvoj nove solidarnosti.⁶ Poplave, kao naredni analizirani prostorno programski scenario, na Balkanskom poluostrvu su usledile nakon obilnih padavina i snažnog ciklona koji je zahvatio deo Balkanskog poluostrva u maju 2014. godine. (slika 3.) Ovaj urnebesni scenario predstavlja jednu od najvećih opasnosti po ljude i životnu sredinu i ima značajan uticaj kako na društveno-ekonomski, tako i na tehničko-tehnološki razvoj i održivost.



Slika 3. Intenzitet poplavljenosti tokom majskih poplava 2014. godine, na prostoru Balkana (izvor: autor rada – Bojana Mijatov)

Prostorno programski scenario - poplave uzrokuje intenzivne stresne reakcije, posebno prvih nekoliko dana nakon pojave događaja.⁷ Stresne reakcije se javljaju zbog niza okolnosti, a najvažnija je osećaj gubitka kontrole nad događajima oko nas i nad vlastitim životom. Izražen je osećaj bespomoćnosti u zaustavljanju poplave. Izuzetno je stresno za osobe koje, zbog svoje sigurnosti, uništenog doma ili nepostojanja adekvatnog boravka u vlastitom domu, moraju biti evakuisani s mesta poplave. Gotovo da ništa nije lakše niti osobama koje ostaju živeti u vlažnim, blatnjavim područjima nakon povlačenja vode. Nažalost u izvesnoj meri prisutno je da stanovništvo nije spremno za reagovanje na prirodnu katastrofu izazvanu poplavama.⁸ (slika 4.) Ono što je zanimljivo kada je reč o demografskim karakteristikama stanovništva, kao što su pol, godine starosti, nivo obrazovanja, utvrđena je značajna povezanost sa percepcijom, znanjem i posedovanjem zaliha u vezi spremnosti za reagovanjem, dok sa promenljivom da li ispitanici imaju ili nemaju dece nije utvrđena statistički značajna povezanost sa percepcijom spremnosti za reagovanje.⁹ Dok sa stanovišta psiholoških karakteristika građana – strah, prethodno iskustvo, nivo religioznosti i motivisanosti, utvrđena je značajna povezanost sa percepcijom, znanjem i zalihama u vezi spremnosti građana za reagovanjem.¹⁰

⁶Boris Novaković, „Poplave u Srbiji tokom 2014. godine – uticaj na zajednice akvatičnih makroinvertebrata“, (Beograd: Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Izvorni naučni članak, 2014), 42.

⁷Vladimir Cvetković, Boban Milojković, Dragan Stojković, „Analiza geoprostorne i vremenske distribucije zemljotresa kao prirodnih katastrofa“, *Vojno delo*, br. 2, 2014, 166-185.

⁸Marko Filijović, Ivica Đorđević, „Uticaj 'majskih poplava' na stanje ljudske bezbednosti u Republici Srbiji“, *Bezbednost*, br. 3, 2014, 115-128. (preuzeto: <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0409-29531403115F>; posećeno: 20.06.2021.)

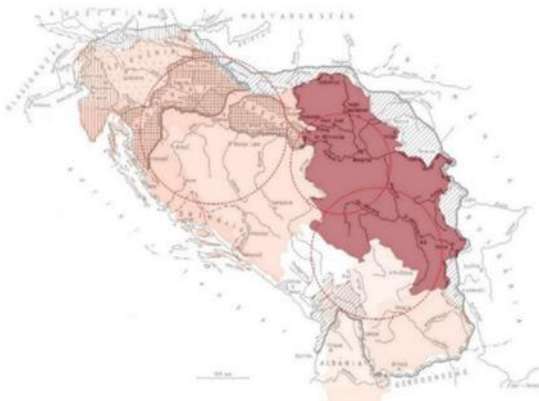
⁹B. Novaković, *isto*.

¹⁰Carla Stanke, Virginia Murray, Richard Amlot, Dr Jo Nurse, „The Effects of Flooding on Mental Health: Outcomes and Recommendations from a Review of the Literature“, *National Library of Medicine*, br. 1, 2012. (preuzeto: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3461973/>, posećeno: 20.06.2021.)



Slika 4. Prikaz psiholoških uticaja vanrednih stanja na čoveka u toku majskih poplava 2014. godine, na prostoru Balkana (izvor: autor rada – Bojana Mijatov)

Posledice poplava koje su zadesile područje Srbije u toku 2014. godine ukazale su na veoma nizak stepen spremnosti stanovništva za reagovanje u prirodnim katastrofama. Imajući u vidu neispitanost nivoa i faktora uticaja na spremnost za reagovanje, sprovedeno je istraživanje sa ciljem utvrđivanja nivoa i uticaja određenih demografskih, socio-ekonomskih i psiholoških karakteristika građana na njihovu spremnost za reagovanje.¹¹ Istražujući ovo naše područje Balkana, uočila sam da nepogode mogu doći i nekim drugim putevima. Ono što je karakteristično za ovu vrstu nepogode istražujući, možda je i sam čovek svesno ili nesvesno stvorio, predstavlja zlo, nevolju današnjice. To je pandemija COVID-19.¹² Ova pandemija uočena je unazad godinu dana, tačnije krajem 2019., početkom 2020. godine, ali za nas i samo područje Balkanskog poluostrva, spominje se u martu 2020. godine. (slika 5.) Svaka nevolja, gledana kroz istoriju nije sama za sebe gotovo uvek prate je i druge nevolje kao što su krize unutar ekonomije, politike i društva. Globalne krize poput ekonomske, klimatskih promena i globalnog zagrevanja, siromaštva, terorizma, razaranja imaju kontinuitani i duži tok manifestovanja negativnih uticaja, te su i njihove posledice pravovremeno sagledive i već postoje globalno uspostavljene strategije za njihovo savladavanje i ublažavanje. Kada je u pitanju COVID-19 ili neka slična pandemija, moramo znati da se efikasnost ogleda u što bržim, konkretnijim reagovanjima. Cilj mora biti zaštititi ljudske živote, celu populaciju, a istovremeno smanjiti loše efekte sa drugih društvenih strana.



Slika 5. Intenzitet prisutnosti COVID-19 pandemije, na području Balkana, tokom 2020/21. godine (izvor: autor rada – Bojana Mijatov)

¹¹Vladimir Cvetković, „Spremnost građana za reagovanje na prirodnu katastrofu izazvanu poplavom u Republici Srbiji“, PhD doktorska disertacija, mentor: prof. dr Vladimir Jakovljević, 2015. (preuzeto: https://www.researchgate.net/publication/297760810_Citizens_preparedness_for_responding_to_natural_disaster_caused_by_flood_in_Serbia_-_Spremnost_gradana_za_reagovanje_na_prirodnu_katastrofu_izazvanu_poplavom_u_Republici_Srbiji; posećeno: 18. marta 2022.)

¹²Unicef, *Coronavirus (COVID-19)*, internet stranica: <https://www.unicef.org/serbia/en/coronavirus-covid-19>, posećeno: 02.04.2021.

Pandemija nije samo širenje zaraze, već i otvaranje novih poglavlja ljudskih života, jer izolacija odsustvo komunikacije, fizičke aktivnosti i sl., samo pospešuju depresivna sociološki ugrožena društva.¹³ (slika 6.) Možemo samo da se pitamo koliko je onda zajednica u takvim situacijama sposobna da organizuje život i ujedno njegov kvalitet i kvantitet? Osećanje nesigurnosti zbog zdravstvenog rizika i sve većih finansijskih gubitaka doprinosi tome da se emotivna uznemirenost širi i da se rizik od psihijatrijskih poremećaja kratkoročno povećava.¹⁴ Tokom i nakon pandemije očekuje se pojavljivanje postraumatskog stresa, kao i anksioznosti. Određene uzrasne sociološke grupe, podložne su dugoročnim posledicama po mentalno zdravlje.



Slika 6. Prikaz psiholoških uticaja vanrednih stanja na čoveka tokom COVID-19 pandemije, na prostoru Balkana, 2020/21. godina (izvor: autor rada – Bojana Mijatov)

2. NESVESNE EMOCIJE U TOKU VANREDNOG STANJA: ROBERT, KANT I FROJD

Klasičan primer teorije osećanja je Džejms-Langeova teorija^{15 16}, koji postavlja da su emocije percepcije fizioloških promena u telu. Naučnici i filozofi su, međutim, ubrzo приметili da postoje brojni problemi sa kojima se takve teorije suočavaju. Ovo uključuje probleme sa uračunavanjem razlika između emocija (pošto su profili osećanja različitih emocija često izuzetno slični, dok se profili osećanja primera iste emocije mogu uveliko razlikovati), uzimajući u obzir racionalnu dimenziju emocija (na osnovu zapažanja da su emocije podložne opravdanju), uzimajući u obzir intencionalnost emocija (u smislu da su u vezi sa nekim objektom) i uzimajući u obzir jaku povezanost između emocija i procena (npr. izgleda da strah na neki način odgovara proceni objekta kao opasno).¹⁷ Takvi problemi ne podrazumevaju da teorije osećanja treba da budu odbačene, ali zahtevaju da takve teorije budu dovoljno sofisticirane da se bave ovim pitanjima. Motivisani željom da se pozabave problemima nastalim protiv teorija osećanja, mnogi filozofi su krenuli u drugom pravcu, razvijajući teorije o emocijama. Strah je, na primer, prosuđivanje da neki predmet predstavlja opasnost za sebe. Iako su takve teorije bile popularne neko vreme, i one se susreću sa problemima. Važno pitanje je obračun iracionalnih emocija.¹⁸ Na

¹³ isto.

¹⁴ dr Vladana Stefanović, „ZNAJJE, STAVOVI I PONAŠANJE ZDRAVSTVENIH RADNIKA U ODNOSU NA VAKINACIJU PROTIV SEZONSKOG GRIPA U JUŽNOBAČKOM OKRUGU“, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, mentor: prof. dr Vladimir Petrović, Novi Sad, 2019. godina

¹⁵ William James, „II. – What is an emotion?“, *Mind*, бр. 34, 1884. 188-205

¹⁶ Carl Lange, *The Emotions*, (Baltimore: MD: William & Wilkins, 1885), 121.

¹⁷ Andrea Scarantino, Ronald de Sousa, „Emotion“, (Stanford, CA: The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2018), 45.

¹⁸ Michael Stocker, Elizabeth Hegeman, „Valuing Emotions“, (Cambridge: Cambridge University Press, 1992),32.

primer, arahnofob može proceniti da mu pauk ne predstavlja nikakvu pretnju, a da ga se i dalje plaši, što sugerise da postoji jaz između prosuđivanja i emocija.

Pojava konstrualnih teorija je noviji razvoj u filozofiji emocija, nastao kao rezultat kritika teorija prosuđivanja. Oni nude napredak u teorijama rasuđivanja u tome što mogu da objasne iracionalne emocije, a istovremeno pružaju ubedljiva rešenja za probleme sa kojima se suočavaju teorije osećanja. Račun, koji je predložio Roberts, jeste da su emocije pojmovi zasnovani na zabrinutosti.¹⁹ Da bismo razumeli ovaj izveštaj, moramo razumeti šta Roberts namerava pod „konstruisanjem“. Koncept je inspirisan odlomkom iz Filozofskih istraživanja (Vitgenštajn, 1953, str. 193–194), u kome Vitgenštajn govori o osećaju „vidi“ koji se razlikuje od osećaja gole percepcije. Ovaj smisao ilustruje čuvenom iluzijom patka-zeca: figura se može videti kao patka ili kao zec. Videti neki objekat, Ks, kao nešto drugo, I, Roberts naziva konstrualom.²⁰ Prema Robertsu, emocije su tumačenja. Dobar način da se ovo razume je preko uticajne teorije procene emocija Richarda Lazarusa. Za Lazarusa (1991), emocije uključuju procene, u obliku evaluacija koje on naziva „osnovne relacione teme“. Na primer, ljutnja uključuje procenu nekog objekta kao „ponižavajućeg uvreda protiv mene ili moga“; strah uključuje „suočavanje sa neposrednom, konkretnom i ogromnom fizičkom opasnošću“; a gađenje uključuje „uzimanje ili preblizu neprobavljivog predmeta ili ideje“.²¹ Lazarus smatra da takve procene vršimo u obliku sudova. Drugi deo onoga što čini emociju, na Robertsov račun, jeste zabrinutost. Pod ovim on podrazumeva niz stanja koje možemo široko nazvati „željama“ (koje se odnose na ponašanja pristupa) ili „odbojnosti“ (u vezi sa ponašanjem izbegavanja). Emocije su tumačenja zasnovana na zabrinutosti, to jest tumačenja filtrirana kroz želje ili odbojnost. Takve brige ulaze u tumačenje kao deo I-termina: kada sam ljut na nekoga, ne vidim ga samo u smislu da su me krivo uvredili, već i u smislu moje brige da se ne uvredim na mene. Slično, dete se odnosi prema strancu preko njene averzije prema pretećim predmetima. Dakle, emocija nije samo evaluativna konstrukcija, već je pre ona u kojoj je zabrinutost protkana procenom.

Kritička analiza međuigre razuma i emocija u istoriji filozofije, kao neadekvatno ambivalentan dovodi do međusobnih odnosa kontrasta, kontrole i sukoba. U mnogim aspektima, odnos između emocija i razuma u filozofiji misli bio je odnos ispunjen ambivalentnošću, dihotomizacijom, kontrastom ili čak otvorenim sukobom. Već u popularnoj imaginaciji postoji manihejski stav o oštrom kontrastu između „razuma“ i „srca“, koji je takođe odraz duge, neprekinute i relativno pogubne tradicije u istoriji zapadne filozofije. Stari Grci su govorili o emocijama odpatema (παθημα), što je bio prilično uzak pojam koji se odnosio na strast, patnju i psihološke događaje koji su preplavili pojedinca. Na francuskom i engleskom jeziku moderne filozofije emocije su se tumačile i kao strast, što je dodatno impliciralo njihovu ćudljivost, nesposobnost, impulsivnost i pasivnost.^{22 23} Širi pojam „emocije“ na francuskom u 16. veku (émouvoir) nastao je u latinskoj reči za „kretanje“ ili „migraciju“ (ex + movere, „move to the outside“ - „pomeranje ka spolja“), što implicira da su mentalno pokrenuli ljude. Međutim, iako je termin „emocije“ neutralnije prirode, on zadržava konotaciju osobe rastrzane između

¹⁹Robert C. Roberts, „*Emotions: An Essay in Aid of Moral Psychology*“, (Cambridge: Cambridge University Press, 2003), 65.

²⁰Ludvig Wittgenstein, „*Philosophical Investigations*“, (Oxford: Blackwell, 1953), 193-194.

²¹Richard S. Lazarus, „*Emotion and Adaptation*“, (New York: Oxford University Press, 1991), 122.

²²N. H. Frijda, „*The psychologists' point of view*“ In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, L. F. Barrett, *Handbook of emotions*, 2008, 67.

²³Termin „emocije“ pojavio se u Oksfordskom rečniku engleskog jezika tek 1580. godine, nakon što su pojmovi kao što su „sebstvo“ i „svest“ izgubili negativnu konotaciju i nakon situacije u kojoj je individualno iskustvo postalo vredno pažnje. Praksa grupisanja različitih emocionalnih iskustava u okviru jedinstvenog i posebnog psihičkog fenomena je relativno skorašnja pojava, dok bes, ljubav, tuga i slični fenomeni obično do tada nisu bili konceptualizovani u okviru šire kategorije „emocija“. Takođe, moglo bi se reći da je subjektivno iskustvo postalo relevantniji fenomen, jer su pripisani identiteti u srednjem veku ustupili mesto stečenim identitetima u modernom eri.

čulnog i čulnog, pri čemu se emocije tumače kao neka vrsta pretnje racionalnoj spoznaji. Naime, strasti se razlikuju od (racionalnih) radnji po tome što pojedinac oseća akcije ili sklonosti ka emocijama na pasivan, nekontrolisan i nadmoćan način, umesto da ih aktivno stvara na sopstvenu inicijativu.²⁴ Ideje individualne pasivnosti ili neke vrste „posednutosti“ odnose se na ideju da se određena osećanja i tendencije ponašanja agresivno, nevoljno i pogubno nameću na trenutno ponašanje i racionalno razmišljanje. S tim u vezi, naučno proučavanje emocija, koje je izgledalo ohrabrujuće nakon pionirskog rada Darvina (Darwin 1872/1989), Džejmsa (James 1884/1890) i Frojda (Freud 1900/1955), zaustavljeno je napretkom bihejviorizma oko 1920. godine, kao i kognitivizma oko 1950. godine.

Immanuel Kant (Immanuel Kant 1724-1804) je nastavio tradiciju svojevrsnog animoziteta prema ljudskim emocijama, opisujući opasnosti afekata i strasti, i zagovarajući stoičku apatiju i samokontrolu. Na primer, u *Metafizici morala*, isticao je da ako razum ne nadvlada osećanja i strasti, one će početi da kontrolišu pojedinca.²⁵ Apatija i samokontrola takođe su bili presudni kako za izražavanje, tako i za zaštitu unutrašnje slobode, koja je bila pod stalnom pretnjom afekata i strasti. Dakle, Kant je posmatrao afekte, kao nagle emocije koje su privremeno nametnute racionalnom razmišljanju i samokontroli (npr. bes), i strastima, kao trajne tendencije koje su predstavljale kontinuirani izazov ili iskušenje (npr. mržnja).²⁶

Kant je isticao važnost racionalno ukorenjenih osećanja kroz koja bi pojedinci mogli da osete zadovoljstvo ili nezadovoljstvo na osnovu čistog razmatranja morala sopstvenih postupaka. Stoga, da bi racionalno biće radilo u skladu sa određenim moralnim imperativima, razum mora imati kapacitet da generiše osećaj zadovoljstva ispunjavanjem određenih moralnih dužnosti.²⁷ S tim u vezi, on je eksplicitno izdvojio i opisao moralna osećanja, savest, ljubav prema bližnjem i poštovanje drugih.²⁸ To nije značilo da je Kant imao jedinstven model emocija, ali su emocije za njega bile prvenstveno akontinuum, u rasponu od emocija koje se ne mogu kontrolisati (poput besa) do onih koje se mogu kultivisati i kontrolisati na racionalan način. Stoga je zagovarao samokontrolu ili aktivan otpor afektima, tvrdeći da su jedine radnje moralne vrednosti one koje se vrše na osnovu osećaja dužnosti. Osećaj predstavlja poštovanje moralnog zakona kao jedini etički relevantan za emocije. Kant je u svojoj filozofiji kritički odgovorio upravo na Hjumov skepticizam, formulišući beskompromisnu odbranu razuma, koja je, nažalost, dodatno učvrstila neprikladnu distinkciju između razuma i emocija. Međutim, Kant je mnogo više poštovao emocije nego njegovi filozofski prethodnici, uključujući i značaj koji je pridavao uobičajenim (intersubjektivnim) osećanjima u estetici.²⁹ Za njega je svaki izbor proizašao iz skupa akcija zasnovanih na osećanju zadovoljstva ili nezadovoljstva, što je podrazumevalo da emocije smatra važnim motivatorima za akciju.³⁰ Tvrđio je da ljudi nisu pasivni u smislu sopstvenih emocija, već da su emocije reagovala na ljudske racionalne tendencije, odnosno bile su proizvod naših izbora.³¹ Nesvesne emocije su od centralnog značaja za psihoanalizu. Oni, međutim, postavljaju konceptualne probleme. Najvažnije se tiče intuicije, koju deli Frojd, da je svest suštinska za emociju, zbog čega ideja o nesvesnoj emociji izgleda paradoksalno. Frojd se čini ambivalentnim u vezi sa emocijama. S jedne strane, smatrao je da je „od suštine emocije da je treba da budemo

²⁴N. H. Frijda, *isto*, 68.

²⁵Immanuel Kant, „*The metaphysics of Morals*“, preveo: Mary J. Gregor;(Cambridge: Cambridge University Press, 1996), 208.

²⁶I. Kant, *isto*, 208.

²⁷I. Kant, *isto*, 48.

²⁸I. Kant, *isto*, 200-204.

²⁹R. C. Solomon, „*Emotions and choice*,“ (Los Angeles: University of California Press, 1980), 251–281.

³⁰I. Kant, *isto*, 201.

³¹I. Kant, *isto*, 203.

svesni, tj. da ona postane poznata svesti“.³² S druge strane, on je često prizivao nesvesne emocije, kao što su „nesvesna ljubav, mržnja, bes, itd“.³³ Ova ambivalentnost se ogleda u nerazvijenom razumevanju nesvesnih emocija u psihoanalizi danas.³⁴ Paradoks koji sugerišu Frojdovi očigledno suprotstavljeni stavovi još uvek nije u potpunosti rešen. Tema nesvesnih emocija nije samo sporedna tema psihoanalize. Ona seže u osnove psihoanalitičkog poduhvata. Važan razlog za to je uloga koju nesvesna emocija igra u psihopatologiji. U nedavno objavljenom radu, Michael M. T., tvrdio sam da nesvesna emocija može ležati u srži histeričnih simptoma.³⁵ Argument je, ukratko, da potiskivanje sećanja može dovesti do potiskivanja pratećih emocija. Kao rezultat toga, kada se sećanje, a samim tim i prateća emocija, nesvesno aktivira, pacijent može doživeti telesna osećanja izazvana emocijom, ali ova osećanja nemaju nikakvo objašnjenje zbog nesvesnosti emocije. Neobjašnjiva telesna osećanja predstavljaju grešku predviđanja – ili slobodnu energiju – prema Bajesovom moždanom okviru. Bez dostupnosti tačnog objašnjenja za ova osećanja, mozak pokušava da konstruiše uverljivo alternativno objašnjenje, koje bi u pravim okolnostima bilo simptom „verovanja“. Ovo zauzvrat, može dovesti do stvaranja simptoma histerije. Ako je ovaj prikaz tačan, onda on pokazuje važnu ulogu koju nesvesna emocija igra u nastanku vrste fenomena na koje je psihoanaliza prvo bila osmišljena da se pozabavi.

Jedno od rešenja paradoksa zasniva se na Robertsovom izveštaju o tome šta znači osećati emociju. Ovaj izveštaj kaže da osećati emociju znači doživeti sebe kao konstruisanje objekta na određeni način. Ako ovo izjednačimo sa svešću o emociji, onda vidimo kako neko može imati emociju, a da je nije svestan. Ovo važi čak i ako usvojimo uski prikaz emocija opisan gore, pri čemu je svest – u obliku afektivnih osećanja – neophodna za emociju. Ovo rešenje otvara mogućnost potiskivanja emocija u smislu koji prevazilazi one o kojima je Frojd govorio, kao što je potiskivanje emocija. Ovo je potiskivanje tumačenja drugog reda koji čini svest o emociji. Postojanje ovog oblika potiskivanja potkrepljeno je dokazima iz aleksitimije, stanja u kojem neko može imati emociju a da toga nije svestan. Štaviše, on dopunjuje frojdovsku verziju Bajesovog prikaza histerije, jer upravo zbog potiskivanja svesti o emociji histericima ostaje neobjašnjivi afekt – dakle greška u predviđanju – koji dovodi do formiranja simptoma.

3. EMOCIONALNA VEZA IZMEĐU PROSTORA I TELA – STUDIJA SLUČAJA

Emocije se ne samo izražavaju već se i uče kroz telo. Telo nije suprotnost kulturi, već mesto gde se kultura igra. Ovo zahteva novi naglasak na prostoru i prostorima. Telo se nužno nalaze u prostoru i nose otisak prostora kroz koji se kreću i kroz koji su se kretali. Posredovani telom i njegovim čulima, različiti prostori postaju povezani sa različitim emocijama. Ova relacija nije ni slučajna, niti je data jednom zauvek: veza između emocije i određenog prostora može se promeniti tokom vremena, a isti prostori mogu izazvati veoma različite emocije kod različitih ljudi.

Emocije su povezane sa telom, pa su se stoga doživljavale kao univerzalne i nepromenljive, ili se za njih tvrdilo da su naučene tokom života i stoga obeležene kulturološkim razlikama. Ova podela se zatim odigrala u raspravi o tome da li će nauke o životu ili antropologija (i kasnije kulturološke studije) biti vodeće discipline u istraživanju emocija.³⁶ U pokušaju da se prevaziđe ova sve neproduktivnija dihotomija,

³² Sigmund Freud, „*The unconscious*,“ (London: Vintage, 1957) 177.

³³ S. Freud, *isto*.

³⁴ Salman Akhtar, „*Introduction*,“ in *On Freud's "The Unconscious"*, (London: Karnac Books, 2013), 1–19.

³⁵ Michael T. Michael, On the scientific prospects for Freud's theory of hysteria, *Neuropsychanalysis*, br.20, 2018, 87-98.

³⁶ William M. Reddy, „*The Navigation of Feeling*“, (North Carolina: Duke University, 2005) 85.

nedavne debate su postavile telo u prvi plan. Telo koje su istraživali, međutim, više nije bilo univerzalno telo nauka o životu. Umesto toga, oni su se bavili razvojem u studijama roda i tela, koje su već postavile u prvi plan načine na koje je svako telo obeleženo i proizvedeno istorijski kontingentnim iskustvima; ova iskustva su zauzvrat viđena kao društveno i kulturno posredovana. Emocije se tako ne samo izražavaju već se i uče kroz telo. Telo nije suprotnost kulturi, već mesto gde se kultura igra.³⁷ Ovo okretanje ka telu zahteva novi naglasak na prostoru i prostorima. Tela se nužno nalaze u prostoru i nose otisak prostora kroz koje se kreću i kroz koje su se kretali. Posredovani telom i njegovim čulima, različiti prostori postaju povezani sa različitim emocijama. Ova relacija nije ni slučajna, niti je data jednom zauvek: veza između emocije i određenog prostora može se promeniti tokom vremena, a isti prostori mogu izazvati veoma različite emocije kod različitih ljudi.³⁸ Tri načina shvatanja odnosa između prostora i emocija:

- **Sposobnost tela da na specifičan način utiče na određeni prostor**- može se posmatrati kao rezultat dugotrajnog procesa stvaranja znanja o emocijama kroz iskustvo i učenje. Ovo znanje može biti kognitivno i svesno, ali takođe može postati habitualizovano i otelotvoreno. Ovo omogućava reakcije koje ne moraju u svakom slučaju biti rezultat svesnih i refleksivnih procesa koji uključuju jezik. Jezik, iskustvo i utelovljenje nisu vremenski odvojeni stadijumi, već su povezani. S druge strane, to ne znači da se spajaju i da postaju nerazlučivi, već njihovo konceptualno različito ima prednost otvaranja istrage za procese prevođenja i posredovanja između njih. U poređenju sa teorijom afekta i fenomenološkim pristupima.
- **Prostori i prakse koproduciraju jedni druge.**³⁹ Kao što su kulturni geografi istakli, prostor nije prirodna datost, već je konstituisan kroz obdaren društvenim značenjem i stalno iznova stvaran kroz ljudske prakse, kako na interpretativnom tako i na materijalnom nivou.⁴⁰ Društvene interpretacije, a u još većoj meri i materijalni rezultati ovih praksi, zauzvrat stvaraju ograničenja budućim interpretacijama i praksama mogućim za pojedine aktere, čineći tako iskustvo određenih emocija verovatnijim od drugih. Opet, ovo može biti svestan proces koji uključuje debate i jezik. Međutim, ovaj proces takođe stvara materijalnu stvarnost, koja može imati uticaj bez potrebe da se ponovo vraća na jezik u svakom trenutku. Materijalna stvarnost se, opet, podvrgava promeni, bilo materijalno ili reinterpretacijom.
- **Prostori mogu biti obdareni emocionalnom valentnošću kroz prakse i iskustva koja se ponavljaju tokom dugog vremena.** Međutim, čak i jedan i kontingentni događaj može postati povezan sa prostorom kroz memoriju. Ova veza se može ostvariti kroz lično pamćenje, odnosno za pojedinca ili društvenu grupu koja je proživela događaj ili događaje, ali može uključiti i sećanja koja se prenose generacijama putem znanja i narativa.⁴¹

Emocija u arhitekturi se često može povezati sa tim koliko dobro arhitektura odiše „osećajem mesta“ – gde se emocija koju doživi određena arhitektura može oblikovati njenim „osećajem mesta“. Često „osećaj mesta“ može pomoći arhitekturi da poprimi tip ličnosti - a ova ličnost može poslužiti da izazove emocije kod stanara zgrade jer se povezuje sa njima.

Okolnosti nastale u vanrednim situacijama su uslovile da svaki pojedinac prepozna određene specifikume i probleme vezane za potpuno nove životne uslove. Arhitektura kao takva, u ovim okolnostima ima veliko značenje u formiranju alternativnih režima

³⁷Monique Scheer, „Are Emotions a Kind of Practice”, *Wiley*, br. 2, 2012, 193-220.

³⁸Benno Gammerl, „Emotional Styles: Concepts and Challenges”, *Rethinking History*, br. 2, 2012, 161-175.

³⁹Andreas Reckwitz, „Affective Spaces”, *Rethinking History*, br. 2, 2012, 241-258.

⁴⁰Lynn Stewart, „Bodies, Visions, and Spatial Politics: A Review Essay on Henri Lefebvre's *The Production of Space*“, *Environment and Planning D: Society and Space*, br. 13, 1995, 609-618.

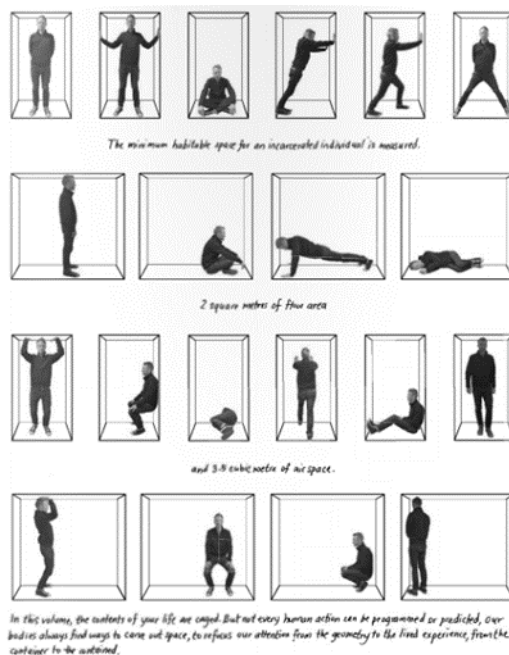
⁴¹Astrid Erll, „*Memory in Culture*”, (London: Palgrave Macmillan, 2011) 98.

svakodnevnog života, rada i slobodnog vremena, kao i transformaciji redovnih režima određenih javnih prostora ili prostornih celina u potpuno nove namene i scenarije korišćenja prostora. Na osnovu ovoga postavlja se ključno pitanje, kakav je to nov 'normalan' prostorni scenarijo u vanrednoj situaciji? Kako će izgledati svakodnevni život u toku i nakon vanredne situacije?

Suočeni sa izazovima vanrednih situacija na prostoru Balkana, u pogledu rata, poplava i pandemija, javljaju se naizbežne promene u svim aspektima naših života, gde za posledice imaju nastajanje različitih načina stambenog prostora, razvijajući nove prostorne scenrije i interakcije među njegovim korisnicima. U kombinaciji emocija koje se javljaju prilikom vanrednih stanja, generišu se osećaji straha, panike, šoka, depresije i altruizma, koji utiču na transformaciju stambenog prostora. Prinudeni da u okolnostima vanrednih situacija sa kombinacijom izazvanih emocija, transformišemo svoj stambeni prostor prilagođavajući ga sopstvenim potrebama i zahtevima poslova za sv uzrasna doba.

Posmatranjem takvih fenomena kroz aspekte ambijenta, zona i komunikacija uočeni su različiti režimi aktivnosti kao posledica potrebe proširivanja ličnog, a sužavanja zajedničkog prostora. Multiplikovanjem ovih aktivnosti – rada od kuće u uslovima vanredne situacije, nastala je tipologija poslova, u čijem su fokusu međusobno isprepletene interakcije korisnika prostora. Cilj istraživanja je naglašavanje faktora odnosa koji dovode do promena u svakodnevnom životu, uspostavljajući nove pristupe i smernice u projektovanju stambenog prostora i načinima promišljanja programa jednog porodičnog stana.

U toku vanrednih situacija neminovno je prisilno zatvaranje ljudi radi njihove bezbednosti, koja okreće arhitekturu naglavačke, a mi unutar prostornog scenarija doživljavamo osećaj konceptualne vrtoglavice. Prostor i stanovnici podjednako su podeljeni. Na slici 7. prikazana je ilustracija onog što osobe unutar prostornog scenarija opisuju kao osećaj izolacije koji je toliko intenzivan da osećaju da postaju jedno sa zidovima u svojoj ćeliji. Estetski, ovaj osećaj je potpomognut kompartmentnom prirodom stripa kao „sekvencijalne“ umetničke forme.



Slika 7. Ilustracija emocija osobe unutar prostornog scenarija; (izvor fotografije: <https://adastracomix.com/2014/09/08/undocumented-maps-the-hidden-world-of-migrant-detention/>; preuzeto: 18. jun 2022.)

Arhitektonsko iskustvo se ne može sagledati samo kroz vizuelno čulo. Umesto toga, kao što su naglašavali mnogi teoretičari i arhitekta, kao što su Juhani Palasma, Piter Zumtor,

Kengo Kuma i Ji-Fu Tuan, ono se shvata očima i doživljava kroz čitav niz telesnih čula i fizičkih pokreta tela „dok se neko kreće kroz njega i aktivno saraduje sa njim“⁴². Ovu ideju su u početku razvili filozofi kao što su Kant i Hegel, a kasnije Martin Hajdeger, Gaston Bašelard i Moris Merlo-Ponti. Ovi fenomeni i način na koji doživljavamo prostor kroz naše telo su naglašeni.⁴³ U tom smislu, finski arhitekta Juhani Palasma (2005) navodi da je „doživljavanje arhitekture multi-senzorno; kvalitete prostora, materije i razmere zajedno se mere okom, uhom, nosom, kožom, jezikom, skeletom i mišićima. Arhitektura jača nečiji osećaj postojanja u svetu, a ovo je u osnovi prinudno iskustvo sebe. Umesto pukog vida, ili pet klasičnih čula, arhitektura uključuje nekoliko oblasti čulnog iskustva koje interaguju i stapaju se jedna u drugu“.⁴⁴

Telo je značajno u razumevanju arhitekture i njene istorije. Istorijski gledano, arhitektura se uglavnom doživljavala kroz vizuelni smisao. Telo se može shvatiti kao element prirode i sastojak forme, a u prošlosti je opisano kao najosnovnije merenje sopstva.⁴⁵ To je dugo bio medij kroz koji su zapadna kultura i društvo predstavljali arhitektonsko okruženje.⁴⁶ Iako je telo predstavljalo fundamentalni prikaz arhitekture i tokom istorije se koristilo kao sistem proporcija, iskustvene i emocionalne uloge su igrale telo u subjektivom razmišljanju potpuno ignorisano, situacija koja je trajala do 20. veka. Ovo pokazuje da fizička reprezentacija tela naglašava vizuelne aspekte pre nego prostorna iskustva. Međutim, savremeni teoretičari i arhitekta, kao što su Moris Merlo-Ponti, Juhani Palasma i Piter Zumtor, ističu značajne aspekte telesnog iskustva za emocionalnu povezanost unutar unutrašnjeg prostora arhitekture. Oni smatraju kako živo telo može „efikasno da stvori emocionalno nabijeniji prostor i posledično [prouzrokuje] emocionalnu vezu unutar arhitekture“.⁴⁷ Fizičko telo i njegova emocionalna povezanost mogu stimulisati čulno iskustvo arhitekture.

Ljudi doživljavaju svet kroz pogled koji stvara emocije koje doživljavaju.⁴⁸ Emocije su izraz naših osećanja koje se javljaju prema određenim situacijama i iskustvima. Emocije se odnose i na lična iskustva unutrašnjeg prostora i na društvena iskustva, utičući na prostornu percepciju i definiciju. Ovo se može ugraditi u telo kao sećanja, koja formiraju prostorni identitet. Na primer, svaka osoba ima različita prostorna sećanja, jer su različito doživljavali prostor.⁴⁹ Ovo pokazuje da unutrašnji prostor može izazvati društveno zapamćeno prostorno iskustvo koje utiče na nečije emocije. Drugim rečima, svi možemo drugačije da doživljavamo prostor, čak i ako se nalazimo u istom prostoru. U tom smislu, Juhani Palasma (*Juhani Pallasmaa*) navodi da „svako iskustvo podrazumeva radnje prisećanja, pamćenja i poređenja“.⁵⁰ Ovo nam omogućava da doživimo unutrašnji prostor

⁴²Burcin Basyazici, Mari Ito Alpturer, „A phenomenological study of spatial experiences without sight and critique of visual dominance in architecture”, In Proceedings of the EAEA-11 Conference 2013, (Track 2) Experiential Simulation: The Sensory Perception 168 of the Built Environment, Milano, 2013, 168.

⁴³ Linxue Li, Qi Zhang; Meiting He, „Research on Body and Architecture”, (Seoul: IOP Conf. Series, 2019), 6.

⁴⁴ Francis D. K. Ching, „Architecture, Form Space and Order”, (New York: John Wiley and Sons, 2014) 41.

⁴⁵ Sarah Fortkamp, „Body, Emotion, Architecture: A Phenomenological Reinterpretation”, (Cincinnati: University of Cincinnati, 2002) 14.

⁴⁶ Zaxarov, A. „The Meditated Motion by Olafur Eliasson”, Thisispaper, 2020. (<https://www.thisispaper.com/mag/the-meditated-motion-olafur-eliasson>)

⁴⁷S. Fortkamp, *isto*, 12.

⁴⁸ Antonio Damasio, „Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain”, (Orlando: Harvest House, 2003) 144.

⁴⁹S. Kim, „Vision and Responsiveness: The Problem of Experience in the Architectures of the East and the West”, *J. Archit. Hist.*, br. 13, 2004, 35–54.

⁵⁰ Juhani Pallasmaa, „The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses”, (London: Wiley, 2005) 72.

na različite načine, stimulisan preklapanjem naših sadašnjih iskustava i sećanja formiranih iz prošlih iskustava unutar kulture.⁵¹

Iako etika leži u osnovi upravljanja vanrednim situacijama na važan način, ona nije dobila dovoljno pažnje u glavnoj akademskoj i stručnoj literaturi. Ovo je dovelo do problema da se ljudima u katastrofama nedovoljno govori kao o moralnim bićima, uprkos opštoj tvrdnji da su odgovori u njihovu korist. U toku vanredne situacije, oni se umesto toga mogu tretirati kao objekti bez prava i kojima se ne duguju dužnosti, umesto kao subjekti sa pravima i kojima se duguju dužnosti. Međutim, način na koji se etički sistemi primenjuju na katastrofe može zahtevati preispitivanje zbog promenljive prirode katastrofa i konteksta u kome se dešavaju. Konkretno, pretpostavka o povratku u već postojeću normalnost može postati sve više nevažeća u savremenim društvenim sistemima. Tokom prošlog veka, arhitektura se više fokusirala na funkcionalne i morfološke aspekte, nego na odnos prema ljudima i samom okruženju unutrašnjeg prostora.⁵²

Pored toga, vizuelno orijentisano predstavljanje arhitekture dovelo je do prevlasti vizuelnog iskustva nad drugim senzornim efektima.⁵³ Poslednjih decenija, međutim, bilo je mnogo diskusija o fenomenološkom razumevanju arhitektonskog prostora, jer je postalo kritičnije fokusirati se na to kako ljudi doživljavaju prostor, a ne na trenutnu vizuelno orijentisanu arhitektonsku formu; ovo je postavljeno kao fundamentalno pitanje i u akademskom i u praktičnom kontekstu.⁵⁴ Iako već postoje mnoge studije o fenomenološkom razumevanju arhitekture, one retko govore o važnosti unutrašnjeg doživljaja arhitekture i njenoj povezanosti sa emocionalnim aspektima koji obogaćuju kvalitet arhitekture. Unutrašnje iskustvo koje naglašava telo i stimulanse iz okoline predstavlja impresivno iskustvo koje utiče na emocije.⁵⁵ Mnogi arhitekti i istraživači se fokusiraju na primat unutrašnjeg prostora u arhitektonskom iskustvu jer je „unutrašnjost uvek važnija od spoljašnjosti“.⁵⁶ To je zato što većina ljudi provodi više od 90% svog života u zatvorenom prostoru.⁵⁷ U tom smislu, Bart Veršafel (*Bart Verschaffel*) navodi da je značajan aspekt arhitekture „*stvaranje enterijera, koji odvaja ograničeni prostor od njegovog okruženja i pretvara ga u unutrašnjost*“.⁵⁸ Pored toga, unutrašnji prostor može uticati na ljude koji zauzimaju i koriste te prostore; snažno je vezan za naše telo i shvata se kao komunikativna forma. U tom smislu, Frenk Lojd Rajt (*Frank Lloyd Wright*) kaže, „*prostor unutar postaje stvarnost objekta*“;⁵⁹ jer unutrašnji prostor omogućava ljudima da borave, žive, kreću se i vrše rituale svog svakodnevnog života. Ona pokazuje da se „*stvarnost zgrade ne sastoji od četiri zida i krova, već u prostoru u kome se živi*“.⁶⁰ U vezi sa ovim, Džon Djuj (*John Dewey*) definiše arhitekturu kao „*formiranje unutrašnjeg prostora*“, jer pruža „*mogućnost za kretanje i akciju*“.⁶¹ Ove ideje naglašavaju važnu vezu

⁵¹H. Kim, J. Lee, „A Study on the Structure of Haptic Experiential Space“, *J. Korean Inst. Spat. Des.* br. 10, 2015, 38.

⁵²Choi, S. A Theoretical Consideration on the Example of Phenomenological Perception Spatial Experience in James Turrell's Work. *Korea Des. Knowl. J.* 2012, 22, 236.

⁵³M. Reza Shirazi, „*On Phenomenological Discourse in Architecture*“, 2012. (preuzeto: https://www.researchgate.net/publication/301698613_On_Phenomenological_Discourse_in_Architecture; posećeno : 16. septembar 2022.)

⁵⁴J. Pallasmaa, *isto*, 41.

⁵⁵Swathi Matta Reddy, Debkumar Chakrabarti, Sougata Karmakar, „Emotion and Interior Space Design: An Ergonomic Perspective“, *Work*, br. 41, 2012, 1072–1078.

⁵⁶Steven Holl, „*Architecture Spoken*“, (New York: Rizzoli, 2007) 274.

⁵⁷C. Spence, „*Senses of Place: Architectural Design for the Multisensory Mind*“, *Cogn. Res. Princ. Implic.* 2020, 4.

⁵⁸B. Verschaffel, „The interior as architectural principle“ *Palgrave Commun.* br. 3, 2017, 2.

⁵⁹Frank Lloyd Wright, „*An American Architecture*“ (New York: Horizon Press, 1955) 217.

⁶⁰F. L. Wright, *isto*, 80.

⁶¹John Dewey, „*Art as Experience*“ (New York: Perigee Books, 2005) 209.

između unutrašnjeg prostora i tela. Unutrašnji prostor, angažujući telo, pruža prostorno iskustvo, koje stvara emocionalnu vezu.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad pruža fenomenološko razumevanje prostora u cilju istraživanja emocionalne veze između arhitekture i emocija nastalih prilikom vanrednih stanja izazvanih socijalnim i prirodnim nepogodama. Ovaj rad uključuje pregled literature i okuplja teorijska istraživanja zasnovana na pitanjima prostora, iskustva, umetnosti i emocija. Na osnovi unutrašnjeg iskustva u oblasti arhitekture analizirana je važna uloga emocija i prostora, angažujući telesno čulo, materijale, kulturu i identitet. Unutrašnji prostor se ovde odnosi ne samo na fizičke aspekte, kao što je materijalnost, već i na prostor u kome su telesne aktivnosti i pokreti ugrađeni u kulturu. U ovom radu utvrđeno je da unutrašnji prostor nudi efikasne načine za razvoj prostornih i emocionalnih iskustava. Kroz ovaj istraživački rad, otkriveno je da su telo i materijalnost neophodni da bi se poboljšao kvalitet doživljaja u domenu unutrašnjeg prostora, koji se shvata kao poreklo arhitekture. Prostorni doživljaj arhitekture razvijaju: telo, koje uključuje telesne pokrete i čula; materijalnost, koja predstavlja unutrašnje okruženje koje stimuliše telo; i emocionalna povezanost, koja budi i individualna i društveno zajednička sećanja. Savremeno društvo zahteva prilagodljivost, kao i prihvatanje mera od svakog pojedinca jer jedino na taj način može prebroditi svaku eventualnu nepogodu koja ga može snaći. Graditi, stvarati, projektovati nije jedini način da se pobedi neka od nepogoda ako ne postoji korelacija između same prirode i ljudskoga uma. Mapa uma je vrlo široka, a ujedno i svemoguća da savlada, može se reći na najbezbolniji način, bilo da su to prirodne nepogode, kao što je navedeno u radu - scenario poplava, ili ratne nepogode, ili veliko biološko zlo koje je zadesilo svet. U svakom od ovih scenarija centralna ličnost je čovek kao pojedinac i njegov odnos prema životu. Rešenja mogu da se stvore, ali ako odgovornost i očuvanje onoga što stvaramo nije dovoljno visoko, opstanak nije siguran ni u jednoj nepogodi, iako uvek postoji čvrsta korelacija među njima.

Ovaj rad se takođe koncentriše na fenomenološko i emocionalno iskustvo u razumevanju arhitekture, koje utiče na percepciju i doživljaj korisnika kroz fenomenološki angažman. Unutrašnji prostor pruža ličnu vezu sa komunikacijom kako bi ponudio individualno iskustvo i društveni angažman kroz preovlađujuća sećanja. Važni aspekti unutrašnjeg prostora su da obezbede telesno učešće i emocionalno iskustvo u angažovanju tela, i omogući im da komuniciraju i prepoznaju prethodno iskustvo kako bi otelotvorili prostornu percepciju. Tako se unutrašnji prostor može transformisati u mesto gde je telo uključeno, omogućavajući ljudima da otkriju unutrašnje okruženje koje stimuliše emocije korisnika i poboljšava dizajn enterijera kako bi korisnicima pružio bolje iskustvo. Takođe, u radu se oslanjamo na reprezentativne studije slučaja u vezi sa unutrašnjim iskustvom da bi analizirali kako one pružaju senzorne efekte i materijale i angažuju ljude, pružajući emocionalno iskustvo za poboljšanje kvaliteta unutrašnjeg prostora, što je jedan od osnovnih aspekata unutrašnjeg prostora. Analizom tri značajna aspekta: integrisano razumevanje tela, materijalnost (stimulansi iz okruženja) kao i kako emocije igraju značajnu ulogu u poboljšanju kvaliteta unutrašnjeg iskustva; određeni faktor pruža kulturno iskustvo stimulišući društveno zajedničko pamćenje; i materijalni svetovi koji angažuju telo mogu obogatiti i prostorno i emocionalno iskustvo, čak i u apstraktnoj strukturi

Trenutno nesigurno tlo, predstavlja oblast pandemije, kao jedan novi izazov i u oblasti arhitekture, pa i same medicine. U istraživanjima naglašen je značaj imunizacije, kao i stvaranje novih prostorno programskih scenarija, koji i kasnije mogu da se prilagode i drugim funkcijama. Među svim merama prevencije zaraznih bolesti, imunizacija predstavlja najbržu, najdelotvorniju i ekonomski najopravdaniju meru, koja direktno utiče na smanjenje incidencije i mortaliteta od zaraznih bolesti, kao i izmenu strukture

obolevanja od zaraznih bolesti u čitavom svetu. Da li je dovoljno raditi imunizaciju stanovništva ili je neophodno pozabaviti se i sa prostorom tj. sredinom koja nas okružuje i u kojoj živimo? Prostorno programski scenariji sa više određenih funkcija trenutno predstavlja zamisao kroz koju može da se prođe i stvori jači imuni sistem u celini, a kasnije nakon pandemije, ti prostori se prilagođavaju drugim potrebama društva.

Rad na temu „ODNOS ARHITEKTURE I EMOCIJA NASTALIH PRILIKOM VANREDNIH STANJA IZAZVANIH SOCIJALNIM I PRIRODNIM NEPOGODAMA“, predstavlja niz studije slučaja nastalih kao reakcija na aktuelna razmišljanja i doživljaje vezanih za vreme u kom su nastali, a koje karakterišu krajnost u njihovim ekstenzijama i dehumanizacija čovečanstva.

Cilj ovog rada je očuvati postojeće javne arhitektonske prostore i uspešno, efikasno, prilagoditi eventualnim nepogodama koje dovode do različitih vidova vanrednih stanja. Jasno je da arhitektura kao takva, može dati adekvatan odgovor jer su to vrlo često stanja u kojima nema puno vremena niti ulaganja za izgradnju posve novih kako objekata, tako i novih javnih arhitektonskih prostora. Ono što je važno za svakog arhitektu, jeste da pri stvaranju nekih svojih vizija mora imati na umu da se ne stvara za jednu generaciju, već da to treba da ima neko trajanje. Fenomenološko razumevanje unutrašnjeg prostora može dovesti do stimulacije emocionalnih osećanja i sećanja, što dovodi do novih načina razmišljanja o arhitekturi, što nam pomaže da razvijemo enterijer. Doprinos ovog rada ogleda se u budućim istraživanjima koji će omogućiti definisanje novih kriterijuma projektovanja prostora orijentisanih oko korisnika na emotivnom nivou, postizanje humanije i efikasnije arhitekture, što će rezultirati boljim kvalitetom života korisnika.

ZAHVALNOST

Hvala vam na prilici da učestvujem na ovogodišnjem događaju. Izuzetno sam počastvovana što sam deo konferencije INDIS 2023 i veselim se inspirativnim razgovorima i novim spoznajama koje će mi ovaj događaj pružiti.

Takođe, zahvaljujem se svojim koleginicama koje su uvek voljne za nove istraživačke poduhvate.

LITERATURA

- [1] Comtesse, Hannah.; Powell , Steve.; Soldo , Andrea. et al. (2019). *Long-term psychological distress of Bosnian war survivors: an 11-year follow-up of former displaced persons, returnees, and stayers*, BMC Psychiatry 19, 1; (preuzeto : <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1996-0>; posećeno: 15.06.2021.)
- [2] Frost, Mervin. (2010). *Etika i rat: S one strane teorije pravednog rata*, Beograd: Univerzitet u Beogradu – Fakultet bezbednosti
- [3] Novaković, Boris. (2014). *Poplave u Srbiji tokom 2014. godine – uticaj na zajednice akvatičnih makroinvertebrata*, Beograd: Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Izvorni naučni članak
- [4] Cvetković, Vladimir; Milojković, Boban; Stojković, Dragan. (2014). *Analiza geoprostorne i vremenske distribucije zemljotresa kao prirodnih katastrofa*, Vojno delo, br. 2, 166-185.
- [5] Filijović, Marko.; Đorđević, Ivica. (2014). *Uticaj 'majskih poplava' na stanje ljudske bezbednosti u Republici Srbiji*, Bezbednost, br. 3, 115-128. (preuzeto: <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0409-29531403115F>; posećeno: 20.06.2021.)
- [6] Stanke, Carla; Murray , Virginia; Amlot , Richard; Nurse , Dr Jo. (2012). *The Effects of Flooding on Mental Health: Outcomes and Recommendations from a Review of the Literature*; National Library of Medicine, br. 1, 125.
- [7] Cvetković, Vladimir. (2015). *Spremnost građana za reagovanje na prirodnu katastrofu izazvanu poplavom u Republici Srbiji*, PhD doktorska disertacija, mentor: prof. dr Vladimir Jakovljević,(preuzeto: https://www.researchgate.net/publication/297760810_Citizens_preparedness_for_respondin

- g_to_natural_disaster_c caused_by_flood_in_Serbia_-_Spornost_gradana_za_reagovanje_na_prirodnu_katastrofu_izazvanu_poplavom_u_Republiki_Srbiji; posećeno: 18. marta 2022.)
- [8] Stefanović, Vladana. (2019). „ZNAJJE, STAVOVI I PONAŠANJE ZDRAVSTVENIH RADNIKA U ODNOSU NA VAKINACIJU PROTIV SEZONSKOG GRIPA U JUŽNOBAČKOM OKRUGU“, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, mentor: prof. dr Vladimir Petrović, Novi Sad
- [9] William James (1884). *II. – What is an emotion?*, Mind, br. 34, 188-205.
- [10] Andrea Scarantino, Ronald de Sousa, (2018). *Emotion*, Stanford, CA: The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 45.
- [11] Michael Stocker, Eliyabeth Hegeman, (1992). *Valuing Emotions*, Cambridge: Cambridge University Press, 32.
- [12] Robert C. Roberts, (2003). *Emotions: An Essay in Aid of Moral Psychology*, Cambridge: Cambridge University Press, 65.
- [13] Wittgenstein, Ludvig. (1953). *Philosophical Investigations*, Oxford: Blackwell
- [14] Lazarus, Richard S. (1991). *Emotion and Adaptation*, New York: Oxford University Press
- [15] Frijda, N. H. (2008). *The psychologists' point of view*, In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, L. F. Barrett, *Handbook of emotions*, 67.
- [16] Kant, Immanuel. (1996). *The metaphysics of Morals*, preveo: Mary J. Gregor; Cambridge : Cambridge University Press
- [17] Solomon, R. C. (1980). *Emotions and choice*, Los Angeles: University of California Press
- [18] Freud, Sigmund. (1957). *The unconscious*, London: Vintage
- [19] Akhtar, Salman. (2013). *Introduction*, in On Freud's „The Unconscious”, London: Karnac Books
- [20] Reddy, William M. (2005). *The Navigation of Feeling*, North Carolina: Duke University
- [21] Scheer, Monique. (2012). *Are Emotions a Kind of Practice*, Wiley, br. 2, 193-220.
- [22] Gammerl, Benno. (2012). *Emotional Styles: Concepts and Challenges*, Rethinking History, br. 2, 161-175.
- [23] Reckwitz, Andreas. (2012). *Affective Spaces*, Rethinking History, br. 2, 241-258.
- [24] Stewart, Lynn. (1995). *Bodies, Visions, and Spatial Politics: A Review Essay on Henri Lefebvre's The Production of Space*, Environment and Planning D: Society and Space, br. 13, 609-618.
- [25] Erll, Astrid. (2011). *Memory in Culture*, London: Palgrave Macmillan
- [26] Basyazici, Burcin; Alpturer , Mari Ito. (2013). *A phenomenological study of spatial experiences without sight and critique of visual dominance in architecture*, In Proceedings of the EAEA-11 Conference 2013, (Track 2) Experiential Simulation: The Sensory Perception 168 of the Built Environment, Milano, 168.
- [27] Li, Linxue.; Zhang; Qi.; He , Meiting. (2019). *Research on Body and Architecture*, Seoul: IOP Conf. Series, 6.
- [28] Ching, Francis D. K. (2014). *Architecture, Form Space and Order*, New York: John Wiley and Sons
- [29] Fortkamp, Sarah. (2002). *Body, Emotion, Architecture: A Phenomenological Reinterpretation*, Cincinnati: University of Cincinnati
- [30] Zaxarov, A. (2020). *The Meditated Motion by Olafur Eliasson*, Thispaper, (<https://www.thispaper.com/mag/the-meditated-motion-olafur-eliasson>; posećeno: 10. 06. 2023.)
- [31] Damasio, Antonio. (2003). *Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain*, Orlando: Harvest House
- [32] Kim, S. (2004). *Vision and Responsiveness: The Problem of Experience in the Architectures of the East and the West*, J. Archit. Hist., br. 13, 35–54.
- [33] Pallasmaa, Juhani. (2005). *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*, London: Wiley

- [34] Kim, H. ; Lee , J. (2015). *A Study on the Structure of Haptic Experiential Space*, J. Korean Inst. Spat. Des ., br. 10, 38.
- [35] Choi , S. (2012). *A Theoretical Consideration on the Example of Phenomenological Perception Spatial Experience in James Turrell's Work*, Korea Des. Knowl. J ., 22, 236.
- [36] Shirazi , M. Reza. (2012). *On Phenomenological Discourse in Architecture* (preuzeto: https://www.researchgate.net/publication/301698613_On_Phenomenological_Discourse_in_Architecture; posećeno: 16. septembar 2022.)
- [37] Reddy, Swathi Matta; Chakrabarti , Debkumar; Karmakar , Sougata. (2012). *Emotion and Interior Space Design: An Ergonomic Perspective*, Work, br. 41, 1072–1078.
- [38] Holl, Steven. (2007). *Architecture Spoken*, New York: Rizzoli
- [39] Spence, C. (2020). *Senses of Place: Architectural Design for the Multisensory Mind*, Cogn. Res. Princ. Implic., 4.
- [40] Spence, C. (2020). *Senses of Place: Architectural Design for the Multisensory Mind*, Cogn. Res. Princ. Implic., 4.
- [41] Verschaffel, B. (2017). *The interior as architectural principle*, Palgrave Commun, br. 3, 2.
- [42] Wright, Frank Lloyd. (1955). *An American Architecture*, New York: Horizon Press
- [43] Dewey, John. (2005). *Art as Experience*, New York: Perigee Books, 209.

KONCEPT MIMEZISA U SAVREMENOM ARHITEKTONSKOM DISKURSU

Duška Prodanović¹, Bojana Mijatov², Miljana Vasić³

Rezime:

Ovo istraživanje obuhvata istoriju pojma *mimezisa* od njegovog nastanka do njegove savremene pozicije u arhitektonskoj praksi. Pojam ima širok spektar značenja, a ovaj rad će izdvojiti ključne momente za razumevanje mimezisa kao koncepta u metodologiji arhitektonskog projektovanja. Istraživanje se bazira na postojećim teorijama o mimezisu, polazeći od teorija Platona i Aristotela, pa sve do savremenih teorija koje se odnose na digitalnu arhitektonsku praksu. Izdvojene teorije mimezisa predstavljaju polazište za konstruisanje mimezisa kao arhitektonskog koncepta, odnosno metodologije arhitektonskog projektovanja. Koncept mimezisa u savremenoj arhitektonskoj praksi se može shvatiti kao imitacija ili reprodukcija „stvarnosti“ (oponašanje prirode kao oblika, pojave ili procesa) koji se prenosi u digitalni medijum putem modelovanja. Cilj ovog rada je da istraži potencijal koncepta mimezisa kao važnog kreativnog kontigenta u digitalnoj produkciji arhitektonskog projektovanja.

Ključne reči: mimezis, imitacija, reprodukcija, digitalni mediji, algoritmi

THE CONCEPT OF MIMESIS IN MODERN ARCHITECTURAL DISCOURSE

Summary:

This research covers the history of the concept of *mimesis* from its origin to its contemporary position in architectural practice. The term has a wide range of meanings, which will be highlighted in this paper along with key moments for understanding mimesis as a term in the methodology of architectural design. The paper is based on existing theories about mimesis, starting from the theories of Plato and Aristotle, all the way to modern theories related to digital architectural practice. Separated theories of mimesis are the starting point for constructing mimesis as an architectural concept. The concept of mimesis in contemporary architectural practice can be understood as an imitation or reproduction of "reality" (imitation of nature as a form, phenomenon or process) which is transferred to the digital medium through modeling. The aim of this work is to explore the potential of the concept of mimesis as an important creative contingent in the digital production of architectural design.

Key words: mimesis, imitation, reproduction, digital media, algorithms

¹ Student doktorskih akademskih studija, Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, duskaprodanovic@yahoo.com

² Student doktorskih akademskih studija, Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, bojanaa.mijatov@gmail.com

³ Asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Prištini, Kosovska Mitrovica, Srbija, miljana.vasic@pr.ac.rs

1. UVOD

U uvodnom delu rad će istražiti pojam mimezisa od nastanka do njegove savremene pozicije. Mimesis (*μίμησις*) je pojam koji je nastao u Grčkoj retoričkoj tradiciji, a zatim i u literaturi. Početno značenje pojma kod Grka (pre Platona) se odnosilo na ideju o stvaranju umetničkih dela. Zapravo, kada su Grci pokušavali da opišu slikarstvo, skulpturu, muziku, poeziju, ples, pozorište i slično, oni su koristili reč *mimemata* (u jedini *mimema*), a aktivnost koju stvara umetnička dela su okarakterisali kao mimesis.⁴ Reč mimesis u ovakvom kontekstu se može pratiti do petog veka pre nove ere, a u narednom veku, Platonovo uvođenje reči mimesis u teoriju označava ključnu prekretnicu u istoriji grčkih ideja o umetnosti. U ovom radu, pre nego što se izdvoji Platonov najuticajni prikaz pojma mimezisa, potrebno je sagledati način prevođenja ovog pojma kroz istoriju. Od nastanka u Grčkoj pa sve do danas pojam mimezisa će poprimiti širok spektar značenja, a pojedini prevodi će fundamentalno izmeniti značenje pojma. Najčešći prevod mimezisa kroz istoriju je engleski prevod sa latinske reči *imitatio*,⁵ što u prevodu znači „imitacija“, koji nije u potpunosti u skladu sa onim što su Grci pokušavali da izraze pod pojmom mimezisa. Engleski prevod grčkog pojma mimezisa pokazuje nijanse različitih prevoda pojma, kao što su: *imitiranje, praćenje, mimika, podražavanje, reprodukcija, repeticija, kopija i slično*.⁶ Upravo zbog toga, termin mimezisa je vekovima privlačio pažnju lingvista koji su pokušavali da definišu ovu reč zagonetnog karaktera.⁷ Međutim, za ovo istraživanje je manje bitan izvorni prevod reči, koliko smisao pojma i njegova potencijalna uloga u arhitektonskom diskursu.

1.1. POJAM MIMIZISA U TEORIJAMA PLATONA I ARISTOTELA

Najvažnija rasprava o temi mimezisa polazi iz Platonove *Države*⁸, dijaloga koji je kroz vekove oblikovao umetničku praksu i teorije o umetnosti.⁹ Za ovo istraživanje posebno je važno izdvojiti Platonovu teoriju umetnosti,¹⁰ jer se pojam umetnosti opisuje uz pomoć

⁴ Göran Sörbom, *A Companion to Art Theory* (Oxford: Blackwell Publishers Ltd, 2002), 19.

⁵ „*Μίμησις* se преводи углавном преко латинске речи *imitatio* с „имитирање“, „подражавање“, „наследовање“, „подвођење“, „препричавање“.“ Ozren Žunec, *Mimesis, Grčko iskustvo svijeta i umjetnosti do Platona* (Zagreb: Latina et Graeca, 1988), 7.

⁶ U sledećoj knjizi se navode engleski prevodi kao što su: „...to imitate, to follow, to mimic, to ape, to counterfeit, to forge, to reproduce, to copy, to mirror, to double, to represent, to repeat.“ Samuel IJsseling, *Mimesis on appearing and being*, trans. Hester IJsseling and Jeffrey Bloechl (The Netherlands: Publishing House Kampen, 1997), 7.

⁷ Prema istraživanju nemačkog filozofa Guntera Gebauera (Gunter Gebauer) i nemačkog antropologa i filozofa Kristofa Vulfa (Christoph Wulf) lingvistički koren reči *mimos* je izveden od: *mimēsthai*, *mimesis*, *mimos*, *mimētes* i *mimētikos*. Kako navode *Mimēsthai* označava imitaciju, reprezentaciju ili prikazivanje. *Mimos* označava osobu koja imitira, a ova reč se može naći i u kontekstu drame. *Mimema* označava rezultat od mimetičke akcije, a *mimesis* je sama ta akcija. *Mimētikos* se označava kao subjekt imitacije. Gunter Gebauer and Christoph Wulf, *Mimesis Culture – Art – Society*, trans. Don Reneau (London: University of California Press, 1995), 27.

⁸ Platon pristupa pojmu podražavanja u dva konteksta u ovom delu: u knjigama dva i tri, a zatim u desetoj knjizi. On u svom delu povezuje pojam mimezisa sa širim pitanjima prirode i političkog života. Zaključna kritika mimetičke umetnosti se nalazi u knjizi deset, a ona je nastavak kritike iz knjige dva i knjige tri. Platon, *Država*, preveo dr Albin Vilhar i dr Branko Pavlović (Beograd: Beogradski izdavačko - grafički zavod, 2002), 36-66., 295-325.

⁹ Stari Grci i Platon (koji je zasnivao metafizički smisao vrednosti lepote), široko su shvatali pojam umetnosti, a umetnost je podrazumevala jednu vrstu znanja o nečemu. Lepota je jedan od tri kanonska elementa platonskog savršenstva, a to su: istina, dobro i lepo. Erwin Panofsky, *Idea: prilog istoriji pojma starije teorije umetnost*, preveo Zoran Gavrić (Bogovađa: Samostalno izdanje Bogovađa, 1997), 43.

¹⁰ Prema Platonu, umetnost je podeljena na poeziju (*poiesis*) i vizuelno - tehničke umetnosti (*technē*). Filozofkinja Una Popović u svom naučnom radu posebno tumači temu Platonove teorije umetnosti, navodi da poezija obuhvata i scenske umetnosti, muziku i igru, a vizuelno - tehničke umetnosti slikarstvo, vajarstvo i arhitekturu. Una Popović, „Platonova teorija umetnosti i obrazovanja: uloga dijaloga u obrazovanju za filozofiju“, *Theoria*, Volume 56, (2013), 119.

pojma podražavanja (mimetička umetnost).¹¹ Platon pojam podražavanja obeležava kao suštinu svih umetnosti. Istovremeno Platon ukazuje na problem koji podražavanje nosi, imajući u vidu udaljenost od „istine“.¹² Podražavanje određuje umetnost, na osnovu čega ono dobija umetnički karakter.

Pored Platonove Države, za ovo istraživanje je važno izdvojiti pojam podražavanja u Aristotelovoj *Poetici*. Aristotelova primarna tema ovog dela je grčka tragedija, ali ovo delo otvara dalekosežna pitanja o pojmu podražavanja koja revidiraju Platonove teorije.¹³ U *Poetici* nije reč o analizi antičkog pesništva ili ispravnoj kompoziciji pesničkog dela, već o samoj suštini pesništva i razumevanju pozicije čoveka kao stvaraoca. Aristotelov pojam podražavanja podrazumeva usmerenost na prirodu¹⁴, odnosno uspostavljanje veze između umetnosti i prirode.

Kao što je Halivel (Stephen Halliwell) primetio, Zapad je oduvek bio istorijski podeljen između dve osnovne ideje o umetnosti koje su proistekle od Platona i Aristotela. Prva ideja jeste da umetnost odražava svet kakav jeste, odnosno da kopira ili imitira materijalnu stvarnost. Druga ideja, kako Halivel navodi, jeste da je umetnost samostalni „heterokosmos“ koji simulira nama poznati svet i zapravo kopira naše načine saznavanja, odnosno razumevanja stvari.¹⁵ Drugim rečima, prema prvoj ideji, mimezis jeste manje ili više tačan prikaz onoga što postoji i prema tome zavisi od stvaranja i percepcije stvarnosti materijalnog sveta i nepromenljivih sposobnosti ljudskog oka i uha. Prema drugoj ideji, kako navodi Potolski (Matthew Potolsky), fenomen mimezisa se ne odnosi na čistu reprodukciju onoga što jeste, već je uverljiva simulacija. Simulacija u ovoj ideji zavisi od naših posebnih verovanja i poznavanja sveta koji su vezani za um i kulturu.¹⁶ U ovom istraživanju je važno napomenuti drugu ideju, koja je proistekla od Aristotela, jer je fenomen mimezisa postavljen u vezu sa osnovnim kognitivnim operacijama. Ova ideja umetnosti poziva se na razum, a posebno na inherentni osećaj o tome šta je moguće ili neophodno. Pomenuta ideja će se provlačiti kroz brojne kulturne i istorijske kontekste i dobijati različita tumačenja. Teorija mimezisa je ostala snažno vezana za dela Platona i Aristotela, iako će u savremenom svetu započeti njena brojna istraživanja.

1.2. POJAM MIMENZISA U SAVREMENIM TEORIJAMA

Pojam mimezisa nakon Platona i Aristotela počinje da se prožima kroz različite discipline kao što su: psihologija, kognitivna neuronauka, neurofiziologija, uporedna psihologija, psihijatrija i slično, kao i u antropologiji, književnoj analizi i filozofiji. Sveobuhvatno, pojam mimezisa se može videti u širokom spektru disciplina, kako u humanističkim tako i u kognitivnim i društvenim naukama. Na primer, teorija mimeze je pomogla društvenim teoretičarima da objasne poreklo jezika ili prenos kulture kroz generacije. Tako su

¹¹ „Mimetička umetnost je bezvredna, vezuje se za bezvredno i rađa ono što je bezvredno.“ Platon, *Država*, preveo dr Albin Vilhar i dr Branko Pavlović (Beograd: Beogradski izdavačko-grafički zavod, 2002), 603b.

¹² „Onda je svaka umetnost koja podražava daleko od istine i to je, kako se čini, sve što ona može da izrazi, jer od svake stvari obuhvata samo jedan mali deo i to samo njen izgled (sliku).“ Ibid., 598b.

¹³ „Dakle, ep i tragedija, zatim komedija i ditiramb, i najveći deo auletike i kitaristike: sve te umetnosti u celini prikazuju podražavajući, a postoji između njih trostruka razlika: one podražavaju ili različnim sredstvima ili različite predmete ili različitim načinom, a ne na isti način.“ Aristotel, *O pesničkoj umetnosti*, preveo Miloš N. Đurić (Beograd: Zavod za izdavanje udžbenika Socijalističke republike Srbije, 1966), 5.

¹⁴ „Uopšte, čini se, pesničku umetnost donela su dva, i to u ljudskoj prirodi zasnovana, uzroka. Jer, podražavanje je čoveku urođeno još od detinjstva, i on se od ostalih stvorenja razlikuje po tome što on najviše naginje podražavanju i što prva svoja saznanja podražavanjem stiče; zatim, svi ljudi osećaju zadovoljstvo kad posmatraju tvorevine podražavanja.“ Ibid., 9.

¹⁵ Stephen Halliwell, *The Aesthetics of Mimesis Ancient Texts and Modern Problems* (New Jersey: Princeton University Press, 2002), 5.

¹⁶ Matthew Potolsky, *Mimesis* (New York: Routledge, 2006), 3.

psiholozi, sociolozi i antropolozi pojam imitacije posmatrali kao način razumevanja društvenog i kulturnog života. Međutim, za ovo istraživanje su manje važne antropološke teorije pojma mimezisa, već se izdvajaju tri važne teorije o mimezisu iz 1930-ih i 1940-ih godina. Potrebno je izdvojiti: nemačkog književnog i društvenog kritičara Valtera Benjamina (Walter Benjamin), francuskog društvenog teoretičara Rožea Kajoa (Roger Caillois) i nemačkog filozofa Teodora Adorna (Theodor Adorno).

Prvo ćemo izdvojiti Benjamina koji smatra da koncept mimezisa omogućava identifikaciju sa spoljašnjim svetom. Benjamin u eseju *On the Mimetic Faculty* izdvaja racionalne procese koji stvaraju sličnosti. Benjamin navodi izraz „besmislena sličnost“, kojim opisuje složenosti, ne samo između stvari koje materijalno liče jedna na drugu, već i između živog i neživog, mikrokosmosa i makrokosmosa.¹⁷ Britanski arhitekta i teoretičar Nil Lič (Neil Leach) smatra da je Benjamin fenomen mimezisa preuzeo od Frojda (Sigmund Freud), određujući ga kao način identifikacije sa spoljašnjim svetom.¹⁸ Kajoa, za razliku od Benjamina, smatra da je mimezis instinkt svih oblika života. On u delu *Mimicry and Legendary Psychasthenia* izdvaja fenomen mimikrije koji se opisuje kao odnos između organizama i okoline. Mimikrija, prema Kajou, nije samo zaštita ili preživljavanje, već je biološki „luksuz“.¹⁹ Benjamin i Kajoa se razlikuju po pitanju da li se sama mimeza menja tokom vremena. Za Benjamina je ona promenljiva (ljudska bića se prilagođavaju novim uslovima), a za Kajoa je to univerzalni biološki nagon (instinkt). Adorno u svom delu *The Dialectic of Enlightenment*²⁰ fenomen mimezisa opisuje kao prilagođavanje organizma samom sebi, prateći Benjamina i Kajoa, smatra da fenomen mimezisa nije izvorno čin oponašanja, već je fiziološki odgovor na opasnost.²¹ Pored Benjamina, Adorna i Kajoa, izdvaja se teorija imitacije francuskog književnog teoretičara Rene Žirara (René Girard). Žirar je identifikovao generativnu ulogu imitacije u čovekovojoj želji i motivaciji još od ranih 1960-ih, uključujući razumevanje odnosa između pojma imitacije, nasilja i porekla strukture ljudske kulture i religije.²² Naravno, postoje i ostale analize i teorije mimezisa kroz istoriju, ali prethodno izdvojene teorije od književnih i društvenih kritičara, teoretičara i filozofa su relevantne za tematski okvir pojma mimezisa kroz digitalne medije u savremenom arhitektonskom diskursu.

1.3. POJAM MIMIZISA U ARHITEKTONSKOM DISKURSU

Nakon opisa pojma mimezisa, od nastanka do njegove savremene upotrebe, dolazimo do njegove pozicije u savremenom kontekstu arhitekture. Kao i u svim do sada pomenutim oblastima ljudskog delovanja, pojam mimezisa jednako doživljava raspon značenja i u arhitektonskom diskursu. Ideja o mimezisu, koja je potekla od Aristotela, je izrazito važna za savremene teorije mimezisa kako u umetničkoj tako i u arhitektonskoj praksi. Ovakvo shvatanje mimezisa se ne odnosi na puku reprodukciju onoga što „stvar“ jeste, već na

¹⁷ Benjamin je razvio teoriju mimeze u dva eseja, a to su: *On the Mimetic Faculty*, koji je prerada eseja *Doctrine of the Similar*. Walter Benjamin, “On the Mimetic Faculty” in *Reflections: essays, aphorisms, autobiographical writing*, ed. Walter Benjamin and Peter Demetz (New York: Schocken, 1986), 333 - 336.

¹⁸ Afirmisani arhitekta i teoretičar Lič je u mnogim svojim radovima istraživao Benjamina i Adorna, pa se upravo izdvaja i njegov tekst o analizi Benjaminovog shvatanja pojma mimezisa. Neil Leach, “Mimesis,” *Architectural Theory Review*, Volume 10, (2005), 18. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13264820509478531?journalCode=ratr20> (posećeno jun 25, 2021).

¹⁹ Roger Caillois, “Mimicry and Legendary Psychasthenia,” *October*, Volume 31, (1984), 16 - 32., https://www.jstor.org/stable/778354?seq=1#metadata_info_tab_contents (posećeno jun 25, 2021).

²⁰ Theodor Adorno and Max Horkheimer, *Dialectic of Enlightenment*, trans. John Cumming (London: Verso, 1979), 180.

²¹ „*Mimetic behaviour does not imitate something but assimilates itself to that something.*“ Theodor Adorno, *Aesthetic Theory*, ed. Gretel Adorno and Rolf Tiedemann (London: Bloomsbury, 1997), 146.

²² Girard René, *Violence and the Sacred*, trans. Patrick Gregory (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1977), 10.

uverljivu simulaciju onoga što se reprodukuje. Reč je o simulaciji koja zavisi od naših posebnih verovanja i poznavanja sveta, odnosno kongnitivnih sposobnosti. Savremene teorije mimezisa oslanjaju se na Aristotelovu teoriju mimezisa. Fenomen mimezisa se u ovim teorijama vezuje za pojam želje za prilagođavanjem koje otvara pitanja o identifikaciji sa mestom ili prostorom (psihološka dimenzija), izvan uobičajenog arhitektonskog diskursa zauzimanja fizičkog prostora. Britanski arhitekta i teoretičar Lič (Neil Leach) u svojoj knjizi *Camouflage* analizira želju za prilagođavanjem u kontekstu arhitektonskog projektovanja.²³ Želja za prilagođavanjem ili stapanjem podrazumeva subjektivne doživljaje prostora, odnosno ona podrazumeva stapanje subjektivnog stanja svesti i objektivnog prostora. Ovakvu relaciju stapanja subjektivnog i objektivnog, pronalazimo kao onu u kojoj i kroz koju nastaje arhitektonski koncept. Arhitektonski koncept mimezisa možemo uzeti kao imitaciju ili reprodukciju stvarnosti (oponašanje prirode kao oblika, pojave ili procesa). Reč je o procesu stapanja (subjektivnog i objektivnog) koji je u isto vreme i projektovanje koncepta.

S druge strane, mimezis se u arhitekturi preko spomenutih teorija mimezisa često razume kao puko spoljašnje imitiranje ili kopiranje. Ovakav pristup se može dovesti u vezu sa pitanjem autorskih prava,²⁴ ali ovde se pojam mimezisa ne posmatra kao koncept.²⁵

1.4. KONCEPT MIMESISISA U DIGITALNOJ ARHITEKTONSKOJ PRAKSI

Ako arhitektonski koncept možemo posmatrati kao misaoni konstrukt koji je istovremeno i subjektivni i objektivni, odnosno proces stapanja između subjektivnog i objektivnog, postavlja se pitanje relacije arhitektonskog koncepta i digitalne stvarnosti. Mimezis kao arhitektonski koncept se može posmatrati kao reprodukcija, odnosno produkcija prirodnih oblika, procesa i pojava, dok sa druge strane digitalni mediji poseduju beskonačne mogućnosti reprodukcije stvarnosti. Ovaj rad ima nameru da ispita potencijal arhitektonskog koncepta mimezisa kroz digitalni medijum.

Prevođenje stvarnosti kroz digitalne medije se odvija putem algoritama, te se oni mogu posmatrati kao alat za stvaranje koncepata, dok je proizvod 3D model. Algoritmi mogu biti programirani za izvršavanje niza mimetičkih zadataka, a kroz ovaj visoko rafinirani algoritamski proces neophodni su i intuitivni i logički procesi stvaranja oblika. Algoritmima se neizbežno otvara novi univerzum formalnih i kompozicionih mogućnosti i tehnika za digitalno pronalaženje oblika. Digitalni mediji kroz algoritme pružaju beskonačne mogućnosti izvođenja formi i njihovih transformacija, ono što se u savremenom arhitektonskom rečniku naziva digitalna morfogeneza.²⁶

Koncept mimezisa kroz digitalno možemo reći da se pojavljuje u dve grupe algoritama. Prva grupa algoritama se odnosi na one algoritme kod kojih vizuelizacija nije primarna, iako je neprekidno prisutna kao pratilac odgovarajućih procesa, principa ili parametara. Druga grupa algoritama se odnosi isključivo na vizuelizaciju digitalnog modela, i može se shvatiti kao digitalna estetika, beautiful data.²⁷

Prva grupa algoritama, odnosi se na reprodukciju ili podražavanje procesa prirodnih oblika i pojava kroz neprekidno praćenje parametara, što bi značilo da težište nije na vizuelizaciji, iako je neprekidno prisutna kao pratilac principa, parametara i procesa. U ovom slučaju možemo govoriti o genetskim algoritmima, parametarskim algoritmima, algoritmima performansi, algoritmima koji služe u rešavanju topoloških geometrija i slično. Genetski algoritmi su zasnovani na reprodukciji procesa evolucije i genetike (baziraju se na temama superiornog preživljavanja ili prirodne selekcije), a služe u

²³ Neil Leach, *Camouflage* (Cambridge: MIT Press Ltd, 2006), 3-7.

²⁴ Ines Weizman, *Mimesis and Copyright, or the Rights of Copies* (Heidelberg: Arthistoricum, 2017), 54.

²⁵ Ibid., 122 – 132.

²⁶ Branko Kolarevic, *Architecture in the Digital Age* (New York: Spon Press, 2003), 17.

²⁷ Orit Halpern, *Beautiful Data, A History of Vision and Reason since 1945* (Durham: Duke University Press, 2014), 7.

rešavanju konstruktivnih problema arhitektonskog projektovanja. O genetskim algoritmima je posebno pisao Manuel de Landa (Manuel De Landa) u eseju *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*.²⁸ U eseju Manuel de Landa uz praćenje teorija Žila Deleza (Gilles Deleuze), razmatra genetske algoritme kao računarske evolucione simulacije koje zamenjuju tradicionalne metode projektovanja. De Landa smatra da se produktivnost genetskih algoritama dobija iz tri oblika filozofskog razmišljanja o kojima piše Žil Delez, a to su populaciono, intenzivno i topološko razmišljanje.²⁹ Pored genetskih algoritama, postoje parametarski algoritmi koji pružaju efikasnu mogućnost modifikacije parametara u duplikaciji ili transformaciji određene arhitektonske forme. Parametarski algoritmi imaju posebnu važnost u preciznosti i rezoluciji izvođenja određenih formi u arhitektonskom projektovanju.³⁰ Algoritmi performansi se odnose na kvantitativne i kvalitativne simulacije zasnovane na performansama u projektovanju, odnosno obuhvataju konstruktivne, strukturalne, termičke, akustičke i slične probleme projektovanja. Sve navedene grupe algoritama služe u redefinisavanju finansijskih, prostornih, društvenih, kulturnih, ekoloških, tehničkih i sličnih problema arhitektonskog projektovanja.

Druga grupa algoritama se odnosi isključivo na vizuelizaciju digitalnog modela. Ovoj grupi algoritama nije primarno prevođenje principa (konstruktivnih, strukturalnih, matematičkih i sličnih), već je reč o otvaranju pitanja estetike u arhitektonskom projektovanju. Iako se u svom istraživanju ne odnose direktno na koncept mimezisa, mogu se izdvojiti pristupi trojice arhitekata kao primeri ovakve metodologije u arhitektonskom projektovanju. Na primer, italijanski arhitekta i profesor Marjan Koletti (Marjan Colletti), iako se nadovezuje na genetsku grupu algoritama, on se prvenstveno izdvaja po svom „sintetičkom“ pristupu. Koletti u svom istraživanju reprodukuje prirodne oblike, konkretno forme školjke ili algi, i prevodi ih u apstraktne digitalne obrasce arhitektonskog projektovanja.³¹ Koletti koristi algoritme koji služe u rešavanju posebnih problema materijalizacije i fabrikacije u arhitektonskom projektovanju, ali fokus je pre svega stavljen na vizuelizaciju sintetičkog modela arhitektonskog projektovanja (slika 1).



Slika 1.: *Plantolith*, autor: Marjan Colletti; 2013. godine, izvor: <http://marjancolletti.blogspot.com/2000/04/projectplantolith.html>

²⁸ Manuel De Landa, "Use of the Genetic Algorithm in Architecture," in *Rethinking Technology: A Reader in Architectural Theory*, ed. William Braham and Jonathan Hale (New York: Routledge, 2007), 389.

²⁹ Francuski filozof Žil Delez i francuski psihoanalitičar Feliks Guatari (Félix Guattari) pišu o ovakvim oblicima razmišljanja u sledećoj knjizi u kojoj je fokus sistematska, ekološka i prostorna filozofija. Gilles Deleuze and Felix Guattari, *A Thousand Plateaus* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1987), 48.

³⁰ Patrik Schumacher, *Design Parameters to Parametric Design* (London: The Routledge Companion for Architecture Design, 2015), 3.

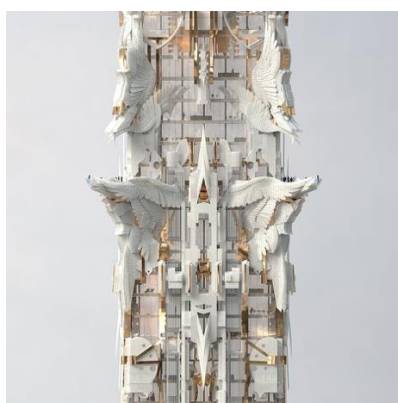
³¹ Marjan Colletti, "New Virtuosity in Contemporary Architecture," *AD Exuberance*, no. 204 (April 2010), 11., https://www.academia.edu/945069/Exuberance_and_Digital_Virtuosity (posećeno jун 25, 2021).

Pored Koletija, može se izdvojiti i arhitekta i programer Mihael Hansmejer (Michael Hansmeyer), koji koristi ovakve algoritme u rešavanju složenosti arhitektonske forme, ali je specifičan po organskoj vizuelizaciji digitalnog modela. Koncept mimizezisa kod Hansmejera se ogleda u prevođenju organskih formi, imitacijom prirode kroz digitalne tehnologije. Koncept mimizezisa je vidljiv u njegovim projektima, izvedenim skulpturama i paviljonima kao što su: „Digital Grotesque“, „Zauberflöte“, „Platonic Solids“ i drugim (slika 2.).



Slika 2.: Digital Grotesque II, Zauberflöte, Märchenwald, autor: Michael Hansmeyer; 2016-2018. godine, izvor: <https://www.michaelhansmeyer.com/projects>

Pored Koletija i Hansmejera, može se izdvojiti arhitekta i teoretičar Mark Gejdž (Mark Gage). Gejdž se u svom istraživanju ne vezuje direktno za koncept mimizezisa, iako se on može videti u reprodukciji ili imitaciji prirodnih formi. Specifičnost njegove arhitekture ogleda se u reprodukciji i transformaciji postojećih 3D modela (slika 3.).



Slika 3.: W 57th Street Residential Tower, autop: Mark Gage Foster; 2015. godine, izvor: https://www.mfga.com/k_haleesi

Ovakva beskonačna mogućnost reprodukcije koji pružaju digitalni mediji, bilo da se radi o prvoj ili drugoj grupi algoritama, otvara nova područja istraživanja koncepta mimizezisa.

2. ZAKLJUČAK

Pregledom osnovnih teorijskih radova koji se bave mimizezom, a zatim i izdvajanjem njegovih relevantnih pozicija u arhitektonskom diskursu, može se pratiti tok razvoja koncepta mimizezisa. U ovom radu smo izdvojili postojeće teorije o mimizezisu, polazeći od teorija Platona i Aristotela, pa sve do savremenih teorija koje se odnose na digitalnu arhitektonsku praksu. Fenomen mimizezisa se u savremenim teorijama vezuje za želju za prilagođavanjem ili stapanjem, koje podrazumeva subjektivne doživljaje prostora, odnosno stapanje subjektivnog stanja svesti i objektivnog prostora. Sa obzirom na različitost objašnjenja pojma mimizezisa kroz istoriju, svakako se može zaključiti da fenomen mimizezisa nije predstavljanje već prikazivanje dela u njegovom prenošenju kroz

medijum. Iako je moderna obacivala pojam, a postmodernost nastavila da se igra sa problematikom, izdvajanjem nekoliko primera iz ovog rada se ogleda da koncept kao takav i dalje postoji. U ovakvoj relaciji stapanja subjektivnog i objektivnog nastaje arhitektonski koncept mimezisa. Mimesis kao arhitektonski koncept se može posmatrati kao reprodukcija, odnosno produkcija prirodnih oblika, procesa i pojava projektovanih u digitalnom medijumu. Može se zaključiti da su digitalne tehnologije sa svojim (beskonačnim) kapacitetom reprodukcije stvarnosti, postale direktan produžetak ovakvog formulisanja arhitektonskog koncepta.

LITERATURA

- [1] Sörbom, Göran. (2002). *A Companion to Art Theory*, Oxford: BlackwellPublishersLtd
- [2] Žunec, Ozren. (1988). *Mimesis*, Grčko iskustvo svijeta i umjetnosti do Platona. Zagreb: Latina et Graeca
- [3] Ijsseling, Samuel. (1997). *Mimesis on appearingandbeing*. Translated by Hester Ijsseling and Jeffrey Bloechl. TheNetherlands: PublishingHouseKampen
- [4] Gebauer, Gunter and Wulf, Christoph. (1995). *Mimesis Culture – Art – Society*. Translated by Don Reneau. London: University of California Press
- [5] Platon. (2002). *Država*. Preveo dr Albin Vilhar i dr Branko Pavlović. Beograd: Beogradski izdavacko- graficki zavod
- [6] Panofsky, Erwin. (1997). *Idea: prilog istoriji pojma starije teorije umetnost*. Preveo Zoran Gavrić. Bogovađa: Samostalno izdanje Bogovađa
- [7] Popović, Una. (2013). *Platonova teorija umetnosti i obrazovanja: uloga dijaloga u obrazovanju za filozofiju*, Theoria, Volume 56.
- [8] Aristotel. (1966). *O pesničkoj umetnosti*. Preveo Miloš N. Đurić. Beograd: Zavod za izdavanje udžbenika Socijalističke republike Srbije
- [9] Halliwell, Stephen. (2002). *The Aesthetics of Mimesis Ancient Texts and Modern Problems*. New Jersey: Princeton University Press
- [10] Potolsky, Matthew. (2006). *Mimesis*. New York: Routledge
- [11] Benjamin, Walter. (1986). *On the Mimetic Faculty*. In Reflections: essays, aphorisms, autobiographical writing, ed. Walter Benjamin and Peter Demetz, 333-336. New York: Schocken
- [12] Leach, Neil. (2005). *Mimesis*. Architectural Theory Review, Volume 10, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13264820509478531?journalCode=ratr20> (posećeno jун 25, 2021).
- [13] Caillois, Roger. (1984). *Mimicry and Legendary Psychasthenia*. October, Volume 31, https://www.jstor.org/stable/778354?seq=1#metadata_info_tab_contents (posećeno jун 25, 2021).
- [14] Adorno, (1979). *Theodor and Max Horkheimer*. Dialectic of Enlightenment. Translated John Cumming. London: Verso
- [15] Adorno, (1997). *Theodor*. Aesthetic Theory, ed. Gretel Adorno and Rolf Tiedemann. London: Bloomsbury
- [16] Leach, Neil. (2006). *Camouflage*. Cambridge: MIT Press Ltd
- [17] Weizman, Ines. (2017). *Mimesis and Copyright, or the Rights of Copies*. Heidelberg: Arthistoricum
- [18] Kolarevic, Branko. (2003). *Architecture in the Digital Age*. New York: Spon Press
- [19] Halpern, Orit. (2014). *Beautiful Data, A History of Vision and Reason since 1945*. Durham: Duke University Press
- [20] Landa, De Manuel. (2007). *Use of the Genetic Algorithm in Architecture*, in Rethinking Technology: A Reader in Architectural Theory, ed. William Braham and Jonathan Hale. New York: Routledge

- [21] Deleuze, Gilles and Felix Guattari. (1987). *A Thousand Plateaus*. Minneapolis: University of Minnesota Press
- [22] Schumacher, Patrik. (2015). *Design Parameters to Parametric Design*. London: The Routledge Companion for Architecture Design
- [23] Colletti, Marjan. (2010). *New Virtuosity in Contemporary Architecture*. AD Exuberance, no. 204, https://www.academia.edu/945069/Exuberance_and_Digital_Virtuosity (poseћeno јун 25, 2021).
- [24] University of Ljubljana, Slovenia.

PROJEKTOVANJE, REKONSTRUKCIJA I IZGRADNJA ZGRADE SCHNEIDER ELECTRIC U OKVIRU KOMPLEKSA NOVKABEL NOVI SAD – HALA „UŽARA“

Miloš Debeljković¹, Lela Alempijević², Svetislav Vasić³

Rezime:

Za budućeg dugogodišnjeg zakupca, Schneider Electric, kompanija Novkabel je 2020. godine krenula u proces projektovanja rekonstrukcije i dogradnje postojeće hale „Užara“. „Užara“ je bio jednoetažni, četvorobrodni objekat, unutrašnje čiste visine 6,1 metara, dimenzija 136*82 m, skeletne AB konstrukcije. Projektom je visina zgrade podeljena na dva, uvedena je međuspratna konstrukcija galerije, dobijeno je ukupno 16.500 m² bruto prostora. Prirodno svetlo je u sredinu objekta uvedeno preko 4 ozelenjena atrijuma, dimenzija 15*15 m. Projekat treba da dobije LEED Gold sertifikat. Projektom konstrukcije zadržana je postojeća AB konstrukcija: temelji, stubovi, kompletna krovna konstrukcija. Za potrebe oslanjanja međuspratne konstrukcije i osiguranja glavnih krovnih nosača, u trećinama raspona dodati su novi AB stubovi. Pripremni radovi su započeli u jesen 2021, završetak svih radova je bio u aprilu 2023. Zgrada je u upotrebi od maja 2023.

Ključne reči: rekonstrukcija, izgradnja, hala „Užara“, Schneider, Novkabel, LEED

DESIGN, RECONSTRUCTION AND CONSTRUCTION OF SCHNEIDER ELECTRIC BUILDING WITHIN COMPLEX NOVKABEL NOVI SAD – HALL “UŽARA”

Summary:

For the future long-term tenant, Schneider Electric, Novkabel company in 2020 started the process of designing the reconstruction and construction of the existing "Užara" hall. "Užara" was a one-story, four-nave building, internal clear height 6,1 meter, dimensions 136*82 m, skeletal Reinforced Concrete structure. Design divided the height of the building into two, introduced a mezzanine construction of the gallery, resulting in a total of 16,500 m² of gross space. Natural light is brought into the building through 4 „green“ atriums, measuring 15*15 m each. The project should get LEED Gold certificate. The construction project retained the existing RC structure: foundations, columns, complete roof structure. For the purpose of supporting the mezzanine structure and securing the main roof girders, new RC columns were added in thirds of the span. Preparatory works started in 2021, all works were finished in April 2023. The building is in use from May 2023.

Key words: Reconstruction, Construction, Hall “Užara”, Schneider, Novkabel, LEED

1 Dipl. inž. građ, pr. menadžer, Axis građ. biro doo, Sr. Kamenica, Srbija, milos.debeljkovic@gmail.com

2 Dipl. inž. arh, CEO, Zabriskie, Beograd, Srbija, lela.alempijevic@zabriskie.rs

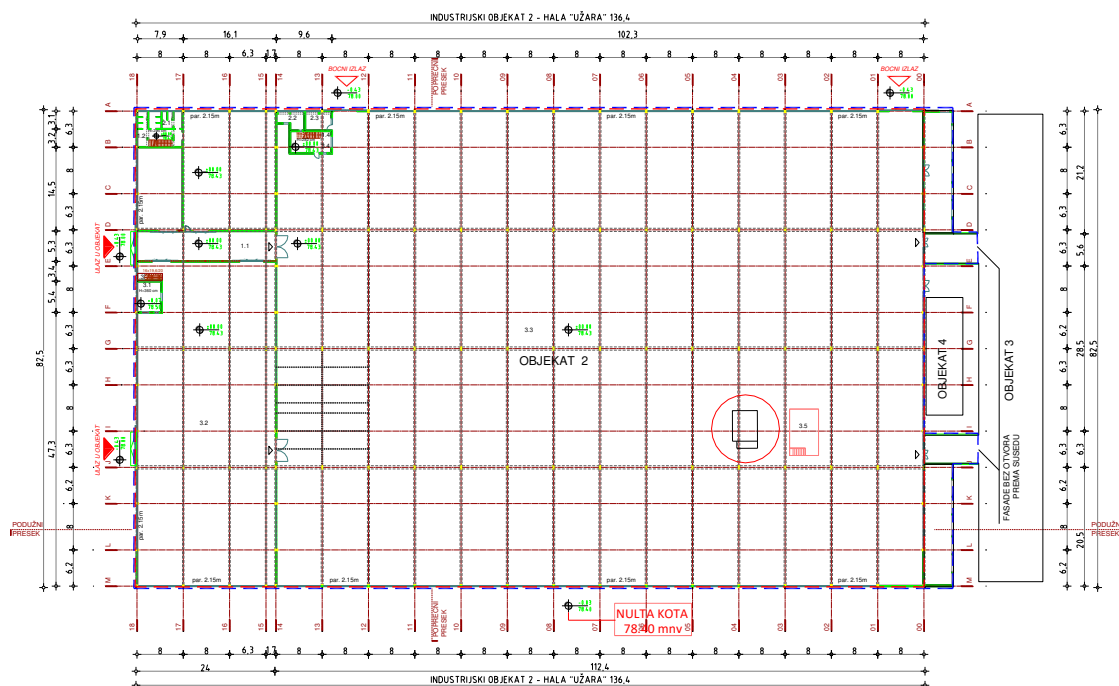
3 Dipl. inž. građ, Span biro, Novi Sad, Srbija, spanbiro@gmail.com

1. UVOD

Hala „Užara“ u industrijskom kompleksu fabrike „Novkabel“ projektovana je i izgrađena 1969 – 1970. godine. Samo ime hale definiše namenu koju je imala: izradu užadi različitih vrsta, kao osnovnu delatnost kompanije „Novkabel“. Noseća konstrukcija hale je skeletna, izvedena je montažnim načinom građenja, od betonskih elemenata. Dimenzije hale su bile u osnovi 112m x 82,5 m (površina hale je bila cca. 9200m²), a čista visina hale je 6,1 m. Sastoji se od četiri broda širine 20,5 m sa rasterom stubova u podužnom pravcu od 8,0 m. Između 1974. godine i 1975. godine, u podužnom pravcu su dograđena još tri polja, sa dilatacijom između starih i novih polja, sa potpuno istim konstruktivnim sistemom i merama (Slika 1.). Ukupna dužina hale je 136,4 metara.

U poslednjih desetak godina, od prve privatizacije i potom, vlasništvo nad kompanijom „Novkabel“ se menjalo, proizvodna hala je prestala da se koristi u svrhu proizvodnje. Oprema i alati za proizvodnju užadi su odneti, hala je ispražnjena, za potrebe budućih korisnika i buduće namene.

Godine 2020-te, uz posredovanje firme „Novaston“ iz Beograda, sklopljen je ugovor između kompanije „Novkabel“ kao Zakupodavca i kompanije „Schneider electric DMS“ kao Zakupca o dugogodišnjem zakupu hale „Užara“. Za potrebe budućeg Zakupca, hala je morala biti rekonstruisana, dograđena i renovirana. Projekat rekonstrukcije i dogradnje je morao pratiti i ispuniti u svemu smernice kompanije „Schneider“ (Schneider electric guide lines), ostvariti kategoriju „B“ ovih smernica. Po kategoriji energetske efikasnosti (po srpskim propisima) rekonstruisana zgrada mora biti klase „B“, a projekat po završetku mora ostvariti LEED Gold sertifikat.



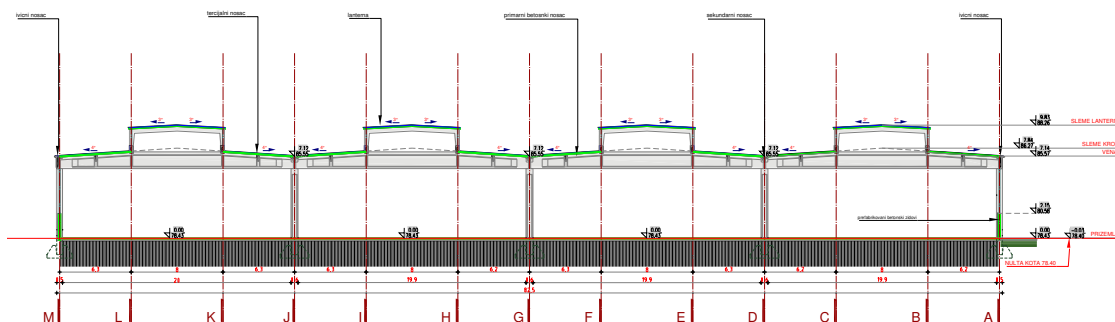
Slika 1. Osnova hale „Užara“

Za projektovanje je sklopljen ugovor sa preduzećem „Zabriskie“ za projekte arhitekture i svih instalacija. Glavni projektant i odgovorni projektant arhitekture [1] je Lela Alempijević, dipl. inž. arh. Za projekat konstrukcije [2] odabran je Svetislav Vasić, dipl. inž. građ. i firma „Span biro“ iz Novog Sada. Pošto je u pitanju bila rekonstrukcija postojećeg objekta, bez promena spoljnih gabarita i visina, procedura dobijanja dozvola se odvijala po članu 145. Zakona o planiranju i izgradnji.

2. PROJEKTOVANJE

2.1. ZATEČENO STANJE

Hala je četvorobrodna, sa dimenzijama i sistemom prethodno navedenim. Raspon svakog od četiri broda je 20,5 m, sa ukupno 14 podužnih rastera po 8 m, tj. sa dograđenim delom od 17 podužnih rastera po 8 m. Od 14 rastera u srednjih 12 su projektovane krovne ramovske lanterne. Osnovne elemente konstrukcije čine: Glavni prethodnonapregnuti betonski nosači, dužine 20.30m (u srednjim brodovima) i 20.35m (u krajnjim brodovima hale), visine od 100cm iznad stubova do 144cm u sredini raspona. Nosači su I-preseka, širine rebra 10cm, širine donje nožice 35cm i gornje nožice 45cm. Na mestima oslanjanja sekundarnih nosača i iznad stubova rebra nosača su proširena. Ovi nosači sastoje se iz tri segmenta koja su spojena na licu mesta prednaprežanjem. Za prednaprežanje je upotrebljeno osam kablova (12Ø5mm - žica kvaliteta Č150) naknadno injektiranih cementnom emulzijom. Prema projektu predviđeni su "suvi" spojevi između segmenata nosača. Projektovana marka betona je MB45 (MB450 – stara oznaka), a glatka armatura je kvaliteta Č-37. Srednji armiranobetonski stubovi su I-preseka, dimenzija 35x60cm, širine rebra 11cm. Fasadni i kalkanski armiranobetonski stubovi su pravougaonog poprečnog preseka, dimenzija 35x50cm. Visina stubova (mereno od temelja) je 6.58m. Projektovana marka betona srednjih i fasadnih stubova je MB30 (MB300), a kalkanskih MB220. Armiranobetonski sekundarni nosači (rožnjače), dužine od 7.70m do 7.84m, pravougaonog poprečnog preseka u polju (20x46cm) i T-preseka (visine 45cm, širina rebra 15-19cm i širine gornje nožice 58cm) iznad stubova. Projektovana marka betona za nosače T-preseka je MB220, a za ostale sekundarne nosače MB350. Krovni pokrivač iznad lanterne i ostalih delova hale bile su "Durisol" ploče, preko kojih je postavljena hidro izolacija.



Slika 2. Poprečni presek zatečenog stanja

Podna ploča izrađena je od betona debljine 15 cm na šljunčanoj podlozi. Stubovi su fundirani na armirano betonskim prefabrikovanim temeljnim stopama dimenzija 1,6 x 2,2 m. Pre izrade i postavljanja temelja izvršeno je poboljšanje tla u zoni temelja šljunčanim šipovima. Na fasadi objekta između glavnih ramova su veliki otvori zastakljeni crnom bravarijom, a donji deo je zatvoren parapetom od prefabrikovanih betonskih fasadnih panela postavljenih na podparapetne grede.

2.2. HAVARIJE NA KROVNOJ KONSTRUKCIJI I SANACIJE

Krajem 1999. godine, desio se iznenadni lom i rušenje glavnog prethodnonapregnutog nosača (osa C/D-14). Istovremeno sa padom ovog nosača srušili su se i pripadajući sekundarni nosači između osa C-D/13-15. Takođe je srušen i deo lanterne u polju C-D/13-14, kao i krovni pokrivač (durisol ploče sa termo i hidro izolacijom) između osa C-D/13-15. O ovim događajima napisano je izlaganje [3] u kome su detaljno opisani događaji, izveštaji i mere sanacije koje su preduzete na nosećoj konstrukciji hale. Potrebno je ovde

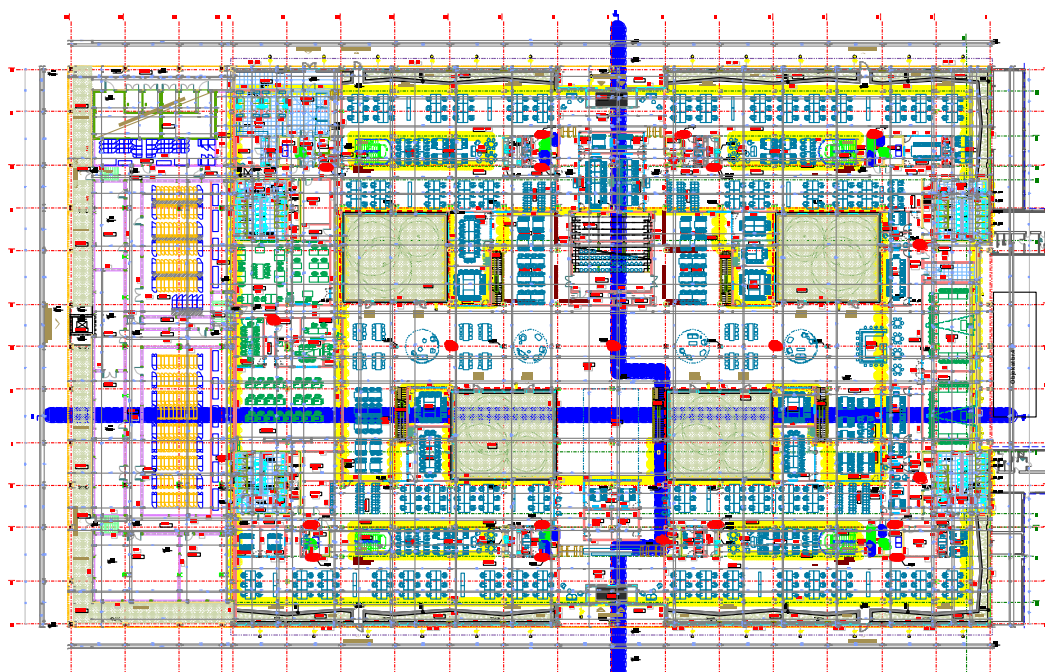
reći da su samo delimično ispunjene instrukcije iz dva ekspertska izveštaja, sanirana je konstrukcija da ne bi došlo do novog kolapsa, preventivne i ostale mere nisu urađene.



Slika 3. Glavni krovni nosač ojačan čeličnom zategom, u osi 14 (B-C)

2.3. IDEJNO REŠENJE ZA REKONSTRUKCIJU I DOGRADNJU HALE

Projektnim zadatkom definisana je rekonstrukcija i prenamena industrijskog objekta br.2 „hale Užara“ i projektovanje u: poslovni objekat **P+G (prizemlje sa galerijom) u okviru postojećeg gabarita i volumena hale**. Definisano je da treba predvideti dve povezane zone – zonu Data centra i zonu poslovnog prostora. U okviru zone poslovnog prostora treba predvideti formiranje galerije na jednom delu površine i formirati više atrijuma u centralnom delu radi prosvetljenja. U okviru objekta potrebno je organizovati tehničke prostorije, trafo stanicu iz objekta broj 4 premestiti u okvir zone objekta za data centar, ostave i vertikalne komunikacije, obezbediti i prostor za dizel agregat. Na krovu objekta projektovati solarnu elektranu - solarne panele, kako bi u najvećoj meri snabdevali objekat električnom energijom.



Slika 4. Novoprojektovana osnova prizemlja zgrade

Idejnim rešenjem (arhitekture) projektovano je dodavanje galerije u enterijeru, čime se dobija ukupna bruto kvadratura zgrade od **16.839,37m² BRGP**. Zadržani su postojeći pešački i kolski pristupi iz Industrijske ulice, i to kao dvosmerni, na prosečnoj niveleti od 78,40 mnv, kao i kolski pristup za teretni saobraćaj iz ulice Put Novosadskog partizanskog odreda, na prosečnoj niveleti 78,40 mnv. Objekat se rekonstruiše u okviru postojećeg gabarita i volumena hale, tako da se postojeće građevinske linije zadržavaju. Nulta kota je postavljena na 78,40 mnv ka Industrijskoj ulici i definisana je presekom osovine fasadnog fronta i ravni terena.

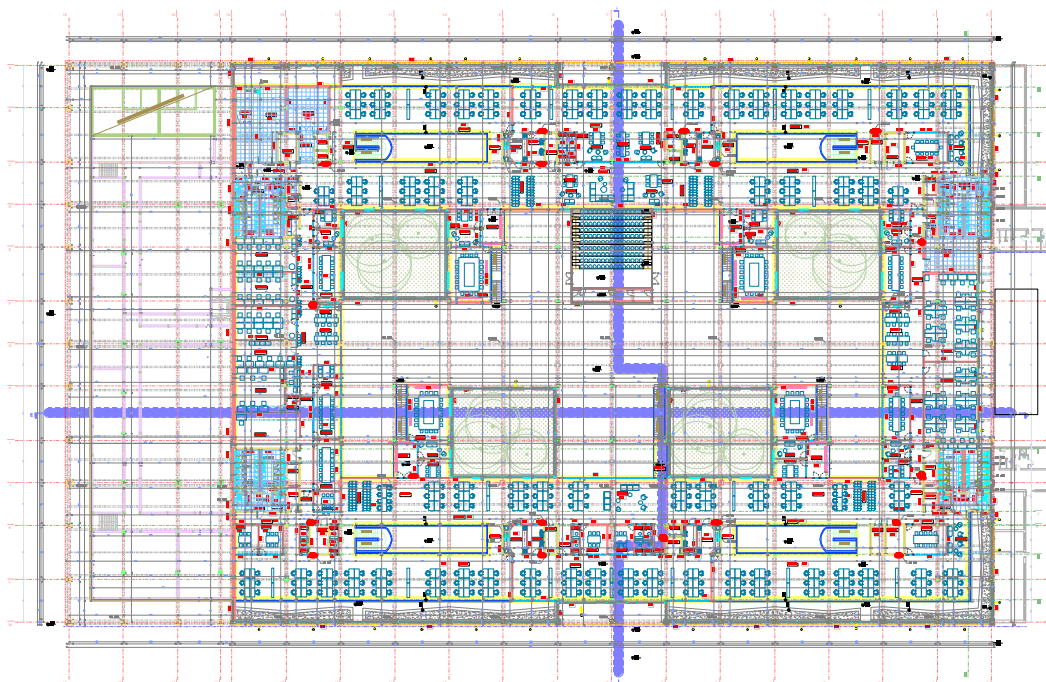
Maksimalna visina objekta (venac ili sleme) prema Planu generalne regulacije iznosi 15,00 m. Postojeća visina venca objekta se podiže za 33 cm na +7,50 m od nulte kote, visina slemena se podiže takodje za 33 cm na +8,20 m od nulte kote zbog zamene krovnog pokrivača i uvođenja termoizolacije, a visina slemena lanterne iz istog razloga na 10,20 m od nulte kote. Objekat je organizovan tako da je kota prizemlja poslovnog dela definisana na +0,20 m od nulte kote tj. na 78,60 mnv, dok je kota prizemlja data centra na +1,57m od nulte kote tj. na 79,97 mnv. Projektovan je jedan novi glavni ulaz u objekat, dva tehnička i jedan izlaz u dvorište, kao i jedan ulaz za utovar-istovar Data centra.

Novoprojektovani rekonstruisani industrijski objekat br. 2 - „Hala Užara“ je funkcionalno organizovan kao jedinstvena celina, uz podelu na dve osnovne zone:

- Poslovni prostor – smešten u osnovnom delu objekta od 14 rastera izgrađenom 1969-1970.
- Data centar – smešten u delu objekta koji je dograđen 1974-1975.

U okviru poslovnog prostora, mestimičnim postavljanjem galerija, formirani su jednovisinski i dvovisinski prostori. Prosvetljavanje u centralnom delu gabarita, udaljenom od fasadnih ravni, rešeno je formiranjem 4 atrijuma.

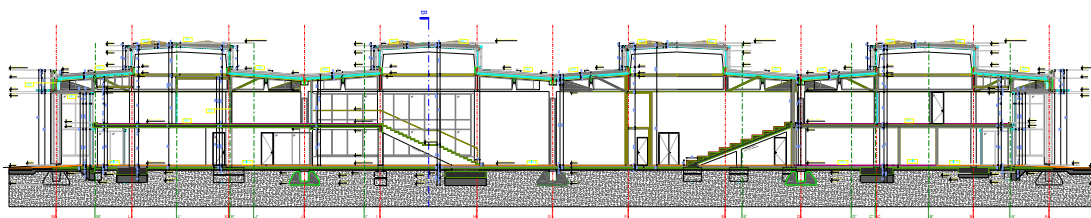
U okviru poslovnog prostora projektovani su: ulazni hol sa recepcijom i zonom za reprezentaciju, nekoliko open-space zona, mesta na radnim pultovima, sale za sastanke različitih dimenzija (određen broj sala različitih veličina - za 4, 6, 12, 16 i 20 osoba), auditorijum, trening centar, prostori za odmor i relaksaciju, kuhinje sa pratećim trpezarijama za zaposlene, kao i sve prateće servisne i tehničke prostorije za ovaj tip objekta (arhive, toaleti, tuševi, svlačionice, ostave, tehničke sobe...).



Slika 5. Novoprojektovana osnova galerije zgrade

Vertikalne komunikacije postavljene su tako da zadovolje maksimalne dozvoljene dužine puteva evakuacije sa radnih mesta galerije. Projektovana su tri putnička i jedan teretni lift koja povezuju galeriju i prizemlje. Open space zone sa radnim mestima odvojene su od ostatka centralnog, dvovisinskog prostora staklenim pregradama, kako bi se kontrolisao nivo buke. U okviru open space prostora predviđeni su plafonski akustični paneli, kao i slobodnostojeće prostorne pregrade sa istom funkcijom.

Data centar je projektovan u skladu sa posebno definisanim Projektnim zadatkom. Projektovan je tako da obezbedi kapacitet podrške za rad do 100 serverskih ormara. Područje Data centra obuhvata mašinsku sobu, elektro sobu, trafo stanicu, ostavu, prostoriju za izgradnju, mrežnu sobu, 2 server sobe i četiri sobe za osoblje koje radi na konfiguraciji opreme i ispitivanju.

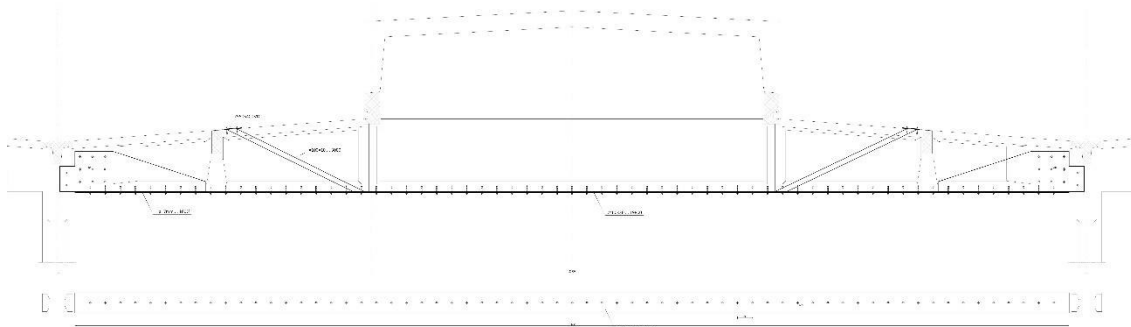


Slika 6. Presek B-B novoprojektovane zgrade

2.4. IDEJNI PROJEKAT (ZA REKONSTRUKCIJU I DOGRADNJU HALE)

Na osnovu Idejnog rešenja, dobijeni su Lokacijski uslovi od nadležnog organa uprave (Novembar 2021). Projektni zadatak za sve struke je usaglašen i odobren od strane Zakupodavca i Zakupca. Izrađeni su Idejni projekti svih struka, uključujući i Elaborat energetske efikasnosti. Na osnovu Idejnih projekata i EEE-a, PM za LEED sertifikaciju (Novaston) je izradio LEED dokument za ostvarivanje „Gold“ sertifikata. U fazi usaglašavanja projektnih zadataka odabran je stručni nadzor nad izgradnjom: „Axis građevinski biro doo“ iz Novog Sada, sa nadzornim inženjerom za AG radove Branetom Jaćimovskim, dipl. inž. građ, kao i Projekt menadžer iz istog preduzeća, Miloš Debeljković, dipl. inž. građ.

Velikih razlika u arhitekturi između Idejnog rešenja i Idejnog projekta nije bilo, ali je u Idejnom projektu konstrukcije proverena i ponovo sračunata postojeća AB konstrukcija, koja je prema projektnom zadatku za projekat konstrukcije, trebalo da se zadrži kao noseća konstrukcija zgrade. Zbog formiranja i uređivanja enterijera zgrade, zatege u nivou donjeg pojasa glavnog krovnog nosača koje su postojale na 5 nosača, trebalo je demontirati. Zbog potencijalnih oštećenja i mogućeg kolapsa zbog otkazivanja kablova za prednaprezanje glavnih krovnih nosača [3], kao i prethodno navedenog razloga, projektant konstrukcije je proračunao ojačanja svih glavnih krovnih nosača sa čeličnim limovima potrebne debljine, pričvršćenih mehaničkim sredstvima, na donjem pojasu nosača. Ova ojačanja bi preuzela funkciju kablova za prednaprezanje u slučaju njihovog otkazivanja. Takođe je dimenzionisana betonska ploča kao međuspratna konstrukcija između prizemlja i galerije kao i svi potrebni stubovi sa temeljima za oslanjanje ove međuspratne tavanice.



Slika 7. Glavni krovni nosač sa ojačanjem od čeličnog lima na donjem pojasu – Varijanta I

Projektima ostalih struka (hidrotehničke, elektro instalacije „jake“ i „slabe“ struje, termotehnika, dojava požara, automatsko gašenje požara (u Data centru), BMS i EMP, liftovi, hortikultura i enterijer) definisane su sve potrebne instalacije, urađen je projekat enterijera u zgradi. Sa ovim idejnim projektima, Investitor je mogao da počne sa prikupljanjem inicijalnih ponuda za izvođenje radova kao i da podnese zahtev za dobijanje rešenja o odobrenju izvođenja radova na rekonstrukciji i izgradnji.

Solarna elektrana na krovu zgrade nije bila sastavni deo ove projektne dokumentacije, za nju su rađeni posebni projekti i ona neće biti deo uvršćena u ovo izlaganje. Projektant konstrukcije je svakako sva opterećenja od i sa solarne elektrane na krovu uvrstio u proračun konstrukcije zgrade.

Takođe, uređenje neposredne okoline zgrade i veza sa postojećim parternim površinama (trotoari, saobraćajnice, zelene površine) nije bilo predmet ovog projekta. Naravno, to je moralo biti obrađeno drugim projektom i usklađeno sa projektom rekonstrukcije zgrade. Na osnovu završenog idejnog projekta dobijeno je Rešenje o odobrenju za izvođenje radova od gradske uprave za urbanizam i građevinske poslove Novog Sada.

2.5. PROJEKAT ZA IZVOĐENJE

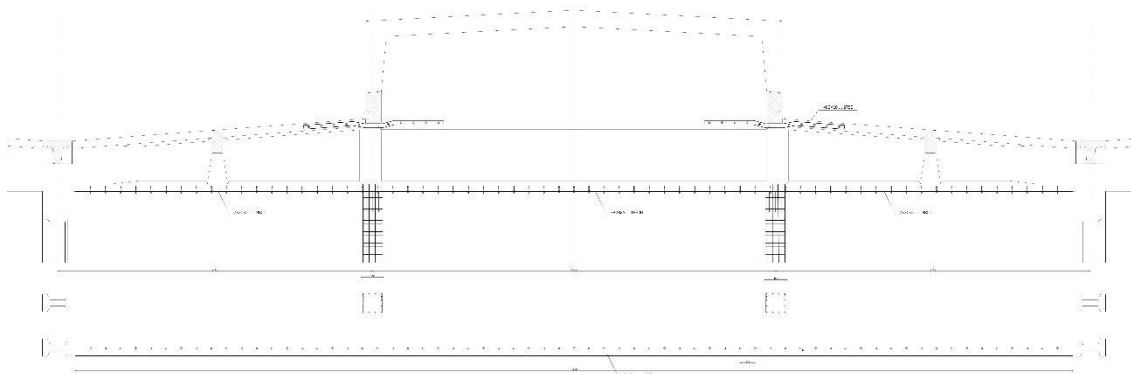
Završetkom idejnog projekta i dobijanjem odobrenja za izvođenje radova, krenulo se odmah u izradu Projekta za izvođenje i paralelno izvođenje pripremnih i drugih radova.

Za izvođača građevinskih, zanatskih i drugih AG radova odabrana je firma „Best-izgradnja“ iz Novog Sada, sa odgovornim izvođačem Đorđem Pupovcem, dipl. inž. građ. Dogovorom između Investitora i Projektanata, crteži, predmeri i sva druga potrebna dokumentacija za izvođenje radova su izrađivani i odmah dostavljani na gradilište.

Arhitektonskim projektom za izvođenje su doručeni crteži, dodati parcijani preseki, crteži detalja potrebni za izvođenje radova, unete su sve promene koje su se u toku izvođenja radova, na zahtev Zakupca ili Zakupodavca, desile (izmene u plafonima, pregradnim zidovima i drugo). Sa projektantima je ugovoren i projektantski nadzor, koji je apsolutno bio potreban za ovakav način paralelizacije procesa projektovanja i izvođenja.

Projekat za izvođenje konstrukcije je na kraju sadržao (oko) 450 crteža i specifikacija samo betonske konstrukcije. Crteži radioničke dokumentacije i specifikacije čelične konstrukcije (tri nova čelična rešetkasta glavna nosača sa pripadajućim rožnjačama, spregovima i drugim elementima, čelična konstrukcija oko atrijuma) su izrađeni od strane izvođača čelične konstrukcije i odobreni od strane odgovornog projektanta i nisu uvršćeni u navedeni broj.

Ojačavanje krovih nosača je urađeno u pet različitih varijanti u zavisnosti od geometrije nosača i načina oslanjanja. Varijante I i IV su projektovane za puni raspon od 20,5 m, a varijante II, III i V su projektovane za oslanjanje preko novih umetnutih AB stubova ili AB zidova, tako da se dodatnim čelikom obezbedi zahtevana nosivost po pitanju momenata savijanja i transverzalnih sila, kao i da se zadovolje propisani minimalni koeficijenti armiranja. Prilikom usvajanja dodatnog čelika, postojeća "meka" armatura je zanemarena. Broj i položaj mehaničkih anкера je usvojen tako da se kompletna aksijalna sila iz čelika prenese na betonsku konstrukciju što prirodnije i ravnomernije.



Slika 8. GKN sa ojačanjem od čeličnog lima na donjem pojasu i AB stubovima – Varijanta II

Na svim mestima gde je funkcionalnost objekta odnosno arhitektonsko rešenje dozvoljavalo, projektovani su novi oslonачki AB stubovi i AB zidovi. Postojeći AB stubovi (unutrašnji) su svi ojačani i prošireni do visine ploče galerije. Dodavanjem novih AB stubova i AB zidova, kao i ojačavanjem postojećih AB stubova, nosivost i stabilnost kompletne konstrukcije na lateralne seizmičke uticaje je znatno povećana, tako da u potpunosti zadovoljava zahteve važećih propisa i regulative.

U ostalim projektima za izvođenje, koji su „spakovani“ pri kraju izvođenja svih radova, nije bilo velikih izmena koncepcije i rešenja iz idejnih projekata, osim u projektu termotehničkih instalacija. Investitor je sa izvođačem TT instalacija ugovorio drugačiji koncept i proizvođača opreme za HVAC u odnosu na idejni projekat, pa su PZI-jem morali biti prikazani ugovoreni i stvarno izvedeni radovi instalacije HVAC.

O izmenama nastalim zbog okolnosti tokom izvođenja radova i prerađivanju projekta za izvođenje u toku izvođenja, više reči će biti u poglavlju 3. – Izvođenje radova.

Projekat za izvođenje je završen u oktobru 2022. godine kada je predat protivpožarnoj policiji na saglasnost.

Saglasnost MUP-a, Uprave za vanredne situacije u Novom Sadu na PZI, dobijena je u januaru 2023. godine.

3. IZVOĐENJE RADOVA

3.1. RUŠENJE I PRIPREMNI RADOVI

Tokom pripremnih radova, što je bilo skidanje – rušenje krovnog pokrivača od durisol ploča, rušenje fasade od betonskih panela sa prozorima od „crne“ bravarije kao i rušenje podne ploče, ustanovljeno je da na velikom broju mesta budućih temelja novih stubova za oslanjanje međuspratne konstrukcije, postoje temelji mašina – opreme za izradu užadi, velikih dimenzija i zapremine. Ove stare temelje je bilo neophodno potpuno ukloniti i prostor koji su zauzimali u osnovi zgrade popuniti propisano zbijenim i čvrstim šljunkovitim ili materijalom od drobljenog kamena. Predmerom radova je bilo planirano rušenje i zamena tla za 500 m³ starih temelja. Pošto je na licu mesta konstatovano da su mnogi temelji značajno veći od površine koju je trebalo osloboditi za nove, Investitor je doneo odluku da se svi postojeći temelji mašina sruše i čitava površina ispod kote ±0,000 nove zgrade oslobodi. Prema građevinskim knjigama, zapremina srušenih temelja je iznosila cca. 2.500 m³. Posle ove odluke, koja je omogućila promenu uslovljene apsolutne visinske kote ±0,000 (+78,60 m_{mnv}), kota prizemlja je spuštena za 20 cm, tj. na +78,40 m_{mnv}, čime je dobijeno 20 cm visine prizemlja. Pošto je smernicama Schneider-a minimalna visina kategorije „B“ 2,70 m, ovim „dobitkom“ je ovaj uslov uspeo da bude ispunjen.



Slika 9. Rušenje podne ploče (Data centar)

Tokom rušenja - demontaže zatega sa glavnog krovnog nosača, zbog pogrešnog redosleda planiranih radnji, došlo je do rušenja jednog glavnog krovnog nosača sa pripadajućim rožnjačama. Takođe je, po mišljenju prvog autora, zbog velikog iskopa – rušenja starih temelja mašina i njihove zamene nabijenim drobljenim kamenom, došlo do sleganja – delimičnog kolapsa jednog od nosećih stubova [3]. Zbog svega ovoga, Investitor je bez izrade novog Elaborata o proceni stanja konstrukcije, sa paušalnom, ali realnom ocenom da je stanje konstrukcije loše, naložio projektantu konstrukcije da se svi postojeći stubovi ojačaju do donje kote AB konstrukcije galerije, što je i urađeno.

3.2. RADOVI NA REKONSTRUKCIJI I (NOVOJ) GRADNJI

Rekonstrukcija postojeće noseće AB konstrukcije se prvenstveno odnosila na ojačavanje krovnih nosača, na način opisan u poglavlju 2.5. Radovi na izgradnji novoprojektovane galerije, koja se oslanja na stare (postojeće) stubove, koji su iz prethodno iznetih razloga bili ojačani do donje kote međuspratne ploče (+3,10) i na novoprojektovane stubove sa temeljima, bili su najkompleksniji zahtev ovog projekta. Prvo su ojačani postojeći stubovi, potom su izvedeni novi stubovi, posle toga je izlivana ploča galerije po principu „šahovskog polja“. Dinamika izrade međuspratne konstrukcije je bila zavisna od mnogo faktora, puteva kretanja mehanizacije kroz zgradu, unošenja krupnih komada opreme kao i od dinamike montaže fasadne konstrukcije i obloge kao i krovnog pokrivača. Završetak delova galerije je omogućavao otvaranje poslova na montaži instalacija ispod plafona kao i enterijerskih elemenata, što je sve moralo da bude montirano, bez čekanja da se kompletan objekat „zatvori“.

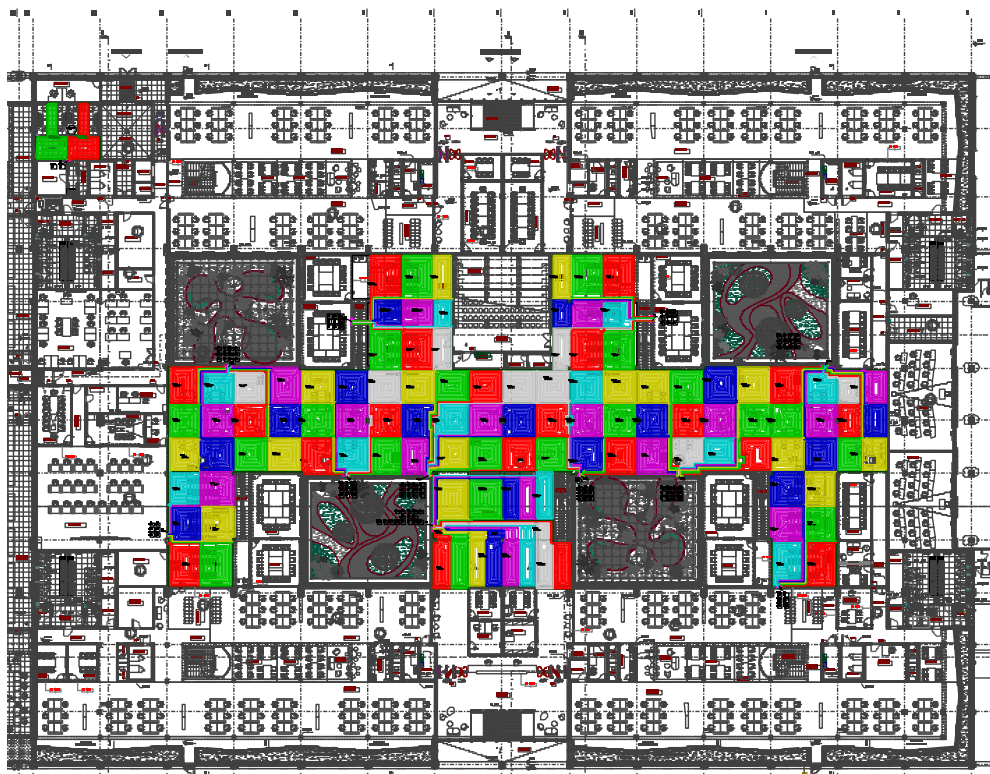


Slika 10. Montaža krovnog pokrivača i fasade

Montaža fasade (trostruko staklo sa argonom) i krovnog pokrivača („slagani“ krov sa završnom hidroizolacionom membranom) su takođe bile krupne pozicije i njihova dinamika je zavisila od završavanja izrade međuspratne konstrukcije i radova na krovnoj konstrukciji. Zgrada je bila pokrivena i spoljna fasada montirana u jesen 2022. godine, što je omogućilo unutrašnje radove da se odvijaju na galeriji i ispod krova.

Podna ploča u prostorijama gde je podna obloga keramika ili tekstilni podovi bila je rađena odmah po završetku ploče galerije. Izrada dela podne ploče od „fero“ betona na koti $\pm 0,000$ je morala biti maltene na kraju svih radova, posle završetka montaže svih kanala za HVAC instalacije, svih svetiljki i drugih enterijerskih elemenata u „dvovisinskom“ prostoru – centralnom holu zgrade. Posle ovih instalacija a pre montaže armature podne ploče i izlivanja betona, u većem delu površine, postavljene su cevi za podno grejanje. Iako je ovakav način i redosled radova uslovljavao ogromnu prašinu unutar zgrade, dinamika završetka radova nije dozvoljavala drugačiji redosled (koji bi bio logičniji i ispravniji).

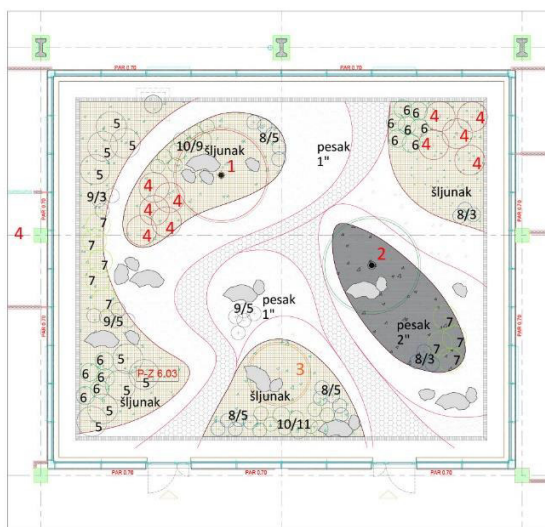
Svi unutrašnji zanatski radovi i radovi na instalacijama (hidrotehničke, elektro, mašinske) imali su svoju kulminaciju u periodu novembar 2022 – februar 2023. Vremenski uslovi su išli na ruku izvođačima, nije bilo velikih mrazeva koji bi onemogućavali u potpunosti radove koji zahtevaju temperaturu za montažu ili sušenje, u zgradi zbog velike prašine (zbog nezavršene podne ploče) nije moglo biti pušteno grejanje (vazdušni sistem sa uduvavanjem), iako je bilo završeno i moglo se koristiti.



Slika 11. Podno grejanje na koti $\pm 0,000$

Postavljanje tekstilnih i keramičkih podnih obloga, radovi u mokrim čvorovima, staklene unutrašnje (zidne) pregrade, molersko-farbarski i svi ostali radovi su izvođeni paralelno sa enterijerskim radovima (drvene obloge zidova, „drvene“ čajne kuhinje, unutrašnjost phone-boot-ova, dekorativna rasveta, draperije i zavesa i drugo) tokom februara, marta i završeni su u aprilu 2023. godine. Primopredaja zgrade između Zakupodavca i Zakupca radi montaže nameštaja je izvršena početkom aprila 2023.

3.3. ATRIJUMI I AMFITEATAR



Slika 12. Atrijum TIP 2 – ZEN / japanski Patio

Po mišljenju prvog autora ovog izlaganja, najupečatljiviji delovi ove impresivne zgrade su 4 „zelena“ atrijuma kao i amfiteatar. Atrijumi (u osnovi 15 * 15 m) projektovani su prvenstveno radi uvođenja prirodnog svetla u zgradu, što je u potpunosti uspelo, projektom hortikulture su oplemenjeni odgovarajućim biljkama (u skladu sa LEED standardom) i čitavom ambijentu daju dodatni šarm i utisak. U toku izvođenja radova, sve biljke koje su projektom bile planirane nisu zasađene, što jer nisu mogle biti nabavljene, što jer nije bio period u godini za njihovo sađenje, tako da je krajnji rezultat, velikim trudom i zalaganjem mlade inženjerke hortikulture koja je bila izvođač radova, veoma zadovoljavajući i uspešan.



Slika 13. Amfiteatar – tribine (sedišta)

Amfiteatar koji je bio zahtevan projektnim zadatkom od samog početka (dimenzija, sa potrebnim tehničkim prostorijama, u osnovi, 12 * 14 m), projektovan je u centralnoj zoni zgrade, ima veoma malo prirodnog svetla (sa krovne lanterne), ali je kombinacijom veštačke rasvete sa akustičnim gips panelima na zidovima i visećih sa plafona, uz zadržavanje vidljivih delova betonske konstrukcije (tribine i stepenište) i vidljivog dela

krovnog pokrivača (donja strana TR lima), kao i izuzetno dopadljivim sedištima, ostvaren veoma dobar osećaj širokog prostora i komoditeta.

4. UPRAVLJANJE PROJEKTOM

Upravljanje projektom izvođenja radova, uključilo je od samog početka i učešće u upravljanju izrade same projektne dokumentacije, jer je paralelno izrađivan projekat za izvođenje i izvođeni su radovi. PZI je izrađivan od strane više firmi – ugovarača, delovi projektne dokumentacije su više puta menjani, zavisno od ugovorene opreme i isporučilaca materijala, projektovanje je trajalo maltene isto vreme koliko i izvođenje radova. Glavni Stakeholderi (Zakupodavac i Zakupac) su menjali svoje predstavnike u nekoliko navrata tokom radova, ostalih Stakeholdera (Projektanata, Izvođača sa podizvođačima, Nadzora, Isporučilaca opreme i materijala i drugih) je bio veliki broj, sa čestim promenama odgovornih osoba. Od samog početka pripremnih radova održavani su redovni nedeljni sastanci svih učesnika u poslu (projektanata – projektantski nadzor, izvođača, nadzora, zakupodavca) uživo, na licu mesta, jer se pokazalo da su on-line sastanci veoma malog učinka a razdaljina između Novog Sada i Beograda nije velika. Project manager je ustanovio sve potrebne procedure kao i za „punjenje“ i korišćenje cloud servera na kome je kompletna projektna i ostala dokumentacija, u elektronskom obliku, bila postavljena. Ovaj server su uspešno koristili svi učesnici u poslu i to se, po svim komentarima, pokazalo kao jedino uspešan način pristupa projektima u ovakvom paralelnom procesu (projektovanje – izvođenje). Dinamika izvođenja radova se, kao i krajnji rokovi za završetak radova na zgradi, nekoliko puta produžavala. Jedan od razloga za ovo je bilo i kašnjenje isporuka elektro opreme od strane samog Zakupca, kao i drugih isporučilaca opreme. Usklađivanje odnosa između različitih izvođača (na gradilištu je bilo prisutno 7 firmi (sa svojim podizvođačima) sa ugovorima za izvođenje radova i još 5 isporučilaca opreme i izvođača radova na enterijeru) i njihovo uklapanje u planirani kalendar, bio je najveći izazov u upravljanju ovim projektom.

5. ZAKLJUČAK

Još u vreme završetka Idejnog rešenja (koje se na kraju svega minimalno razlikovalo od završnog rezultata), ovaj projekat je izazvao pažnju stručne javnosti. Uvršćen je u TOP 10 projekata za 2022. godinu. Po završetku radova, useljenju kompanije „Schneider“ i svečanom otvaranju, o zgradi je pisano veoma pozitivno [4]. S obzirom da je u pitanju takozvana „adaptivna prenamena prostora“ („adaptive reuse“), koja je u građevinskoj industriji u današnje vreme jedan od ključnih mehanizama ekološke održivosti, arhitektonski kvaliteti objekta ogledaju se u preklapanju značenja starog i novog. Iz estetske perspektive, uspeh rekonstrukcije i prenamene objekta, proizilazi iz načina na koji su osnovne karakteristike zgrade zadržane i rekombinovane da bi se izvršile nove funkcije, uz zadržavanje evokativnih elemenata na njihov prošli život. Iz tog razloga su autori - arhitekta iz projektantske firme Zabriskie odlučili da skoro svi elementi noseće konstrukcije budu u natur betonu. Takođe je u prostoru vidljivo, što je veoma „In“ i moderno, donji TR lim koji nosi krovni pokrivač, kao i svi linijski elementi instalacija. Sve ove zamisli autora su, uz minimalne korekcije tokom izvođenja prvenstveno dodavanjem visećih akustičkih panela iz razloga prigušenja zvuka u dvovisinskom prostoru i pojedinim kancelarijama, ostvarene, po preovlađujućem mišljenju, veoma uspelo. Ovaj kompleksan projekat je bio idealan primer za upotrebu 3D softvera (CAD ili BIM) za projektovanje. U toku izvođenja radova, na izričit zahtev Investitora i Izvođača, projektanti su pokušali i napravili su sinhron planove konstrukcije i instalacija u dve dimenzije, ali to, na žalost nije bilo upotrebljivo. Svakako da se ovo ne bi radilo da je otpočetak ugovoreno projektovanje u 3D softveru, vreme potrošeno na prepravljjanje (demontažu i ponovnu montažu) pojedinih instalacija Investitor nije na kraju uopšte

priznao. Konstruktivan i direktan odnos između svih učesnika u ovom projektu je doprineo da se ova zgrada završi u realnom vremenskom okviru i uz trošak primeren završnom izgledu i kvalitetu.

LITERATURA:

- [1] „Zabriskie“ – odg. projektant L. Alempijević (2021-2022). Projekat rekonstrukcije i prenamene hale „Užara“ u poslovni objekat P+G, sveska 1, Projekat arhitekture (za izvođenje)
- [2] „Kontura projekt“ – odg. projektant S. Vasić (2021-2022). Projekat rekonstrukcije i prenamene hale „Užara“ u poslovni objekat P+G, sveska 2, Projekat konstrukcije (za izvođenje)
- [3] M. Debeljković, S. Vasić (2022). AB krovna konstrukcija hale „Užara“, Novkabel, Novi Sad, ocena stanja i rekonstrukcija za potrebe nove upotrebe hale, *XII međunarodno savetovanje: Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata*, Savez građevinskih inženjera Srbije, Vrnjačka Banja, 2022.
- [4] Igor Conić (2023), *Gradnja.rs* – <https://www.gradnja.rs/ingrid-schneider-electric-novkabel-novi-sad/>

PRIMJENA ZAPREMINSKE METODE ZA ODREĐIVANJE UKUPNE GODIŠNJE ZAPREMINE EROZIONOG NANOSA KOJI SE PRODUKUJE U BUJIČNOM SLIVU NA PRIMJERU POTOKA KLADE

Nedžad Mekić dipl.ing.građ

Rezime:

Klimatske promjene izražene kroz sve učestaliju pojavu intenzivnih kiša, značajni antropogeni uticaji i prirodne karakteristike bujičnog sliva utiču na intenzitet erozionih procesa i ukupnu godišnju produkciju erozionog nanosa, koji nastaje u bujičnom slivu. Erozioni nanos kao čvrsta komponenta bujičnog toka dopijeva u korito bujice i tako vrši njeno zatrpavanje i smanjenje proticajnog profila, što povećava mogućnost pojave bujičnih poplava s ogromnim materijalnim štetama, a u nekim slučajevima imamo i gubljenje ljudskih života. Poznavanje karakteristika bujice kao prirodnog hazarda je veoma značajno za uspostavljanje sistema ranog upozoravanja na njihovu pojavu te definiranje preventivnih mjera zaštite. U ovom radu, autor će dati detaljan pregled primjene zapreminske metode za određivanje ukupne godišnje zapremine erozionog nanosa, na osnovu provedenih terenskih mjerenja na bujičnom potoku Klade, te izvršiti upoređivanje dobijenih rezultata sa rezultatima dobijenim korištenjem empirijskog obrasca Slobodana Gavrilovića. Također će biti dati zaključci i prijedlozi za daljnji razvoj, unaprjeđenje i primjenu zapreminske metode.

Ključne riječi: *bujični tok, erozioni nanos, geomorfološke karakteristike sliva, padavine, zapreminske metoda*

APPLICATION OF THE VOLUME METHOD FOR DETERMINING THE TOTAL ANNUAL VOLUME OF EROSION DEPOSIT PRODUCED IN A WATERSHED FOR THE EXAMPLE OF KLADE STREAM

Summary:

Climatic changes expressed through the increasingly frequent occurrence of intense rains, significant anthropogenic influences and natural characteristics of the flood basin affect the intensity of erosion processes and the total annual production of erosion sediment, which occurs in the flood basin. Erosive sediment as a solid component of torrential flow reaches the torrent bed and thus fills it and reduces the flow profile, which increases the possibility of torrential floods with huge material damages, and in some cases we also have the loss of human lives. Knowing the characteristics of flash floods as a natural hazard is very important for establishing an early warning system for their occurrence and defining preventive protection measures. In this paper, the author will give a detailed overview of the application of the volume method for determining the total annual volume of erosion sediment, based on the conducted field measurements on the raging Klade stream, and will compare the results with the results obtained using the empirical model of Slobodan Gavrilović. Conclusions and suggestions for further development, improvement and application of the volumetric method will also be given.

Key words: *torrential flow, erosive sediment, geomorphological characteristics of the watershed, precipitation, volumetric methods*

¹ - Student doktorskog studija Građevinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu

1. UVOD

Reljef Bosne i Hercegovine, razvijena hidrografska mreža, geološko-geomorfološki, hidrometeorološki i antropogeni uticaji pogoduju pojavi erozija i bujica koje izazivaju bujične poplave različite veličine, karaktera i razorne moći. Pored osobina koje karakterišu neki bujični tok-bujicu, kao što su iznenadna pojava, kretanje erozionog nanosa, velika kinetička energija i razorna moć, erodiranje dna i obala korita, treba naglasiti da su one i nepredvidive tj. teško je vršiti prognozu njihove pojave. Sve češće se javljaju intenzivne konvektivne kiše koje su vezane za određeni lokalitet i lokalnog su karaktera, pa kao takve su iznenadne i nepredvidive. Kretanje nanosa mijenja morfologiju korita što utiče da se na pojedinim dijelovima korita bujice erodira obala i dno dok se na drugim dijelovima vrši akumuliranje nanosa i smanjenje proticajnog profila korita. Smanjenjem proticajnog profila korita tokom pojave bujice nastaju bujične poplave. Nepredvidivost bujice je jedan od hazarda koji je bitan kod ranog i pravovremenog upozoravanja stanovništva na pojavu bujičnih poplava i pravovremenog preduzimanja odgovarajućih preventivnih mjera. Svaka država treba imati katastar bujičnih tokova i erozionih područja s urađenim mapama rizičnih područja s jasno definiranim opasnostima i prognozama, te jasno definisanim mjerama koje se trebaju preduzeti prije pojave bujica, u toku nastanka bujica i mjere nakon njihovog prestanka. Imajući u vidu da je bujica dvofazni fluid te da koncentracija čvrste komponente u bujičnoj vodi zavisi od stepena erozionih procesa i ukupne količine erozionog nanosa koji se produkuje u slivu, potrebno je terenskim mjerenjima precizno utvrditi ukupnu godišnju količinu nanosa koja se produkuje u slivu i koja će se kretati bujičnim tokom.

2. OPIS I OSNIVNE KARAKTERISTIKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

2.1. OSNOVNE MORFOMETRIJSKE I MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE BUJIČNOG SLIVA KLADE

Područje istraživanja je mali planinski bujični sliv Klade, koji pripada slivu rijeke Bosne. Najvisočija kota sliva Klade iznosi 1534 m n.m, dok je kota najniže tačke na učcu i iznosi 720 m n.m, a visinska razlika vrha i dna sliva je 814 m. Prosječna nadmorska visina sliva Klade 1147 m n.m, pa se sliv svrstava u planinske bujične slivove. Površina sliva potoka Klade je $F = 4,33 \text{ km}^2$ i prema površini pripada u male slivove. Prema (Dukiću, 1984)¹ sliv pripada "pluvio-nivalnom" režimu, a ovaj režim karakterišu najveći vodostaji u martu, aprilu, maju i novembru mjesecu, a najniži u avgustu i septembru, pa je očekivati pojavu bujičnih poplavnih voda u proljetnim i jesenjim mjesecima. U slivu je razvijena hidrografska mreža, gdje su prisutni stalni i povremeni bujični potoci s velikim padom, koji za vrijeme intezivnih kiša povećavaju proticaj glavnog toka i nose značajne količine nanosa zbog razvijene šumske transportne infrastrukture. U obuhvatu sliva Klade prisutan je znatan antropogeni utjecaj koji se ogleda u eksploataciji šuma u šumskim odjelima. Radi se većinom o južnoj ekspoziciji i šumama otvorenog sklopa s plitkim zemljištem, što povećava mogućnost nastajanja erozionih procesa i povećanog otjecanja.

U bujičnom slivu Klade postoje karakteristične zone koje definišu bujični sliv i to:

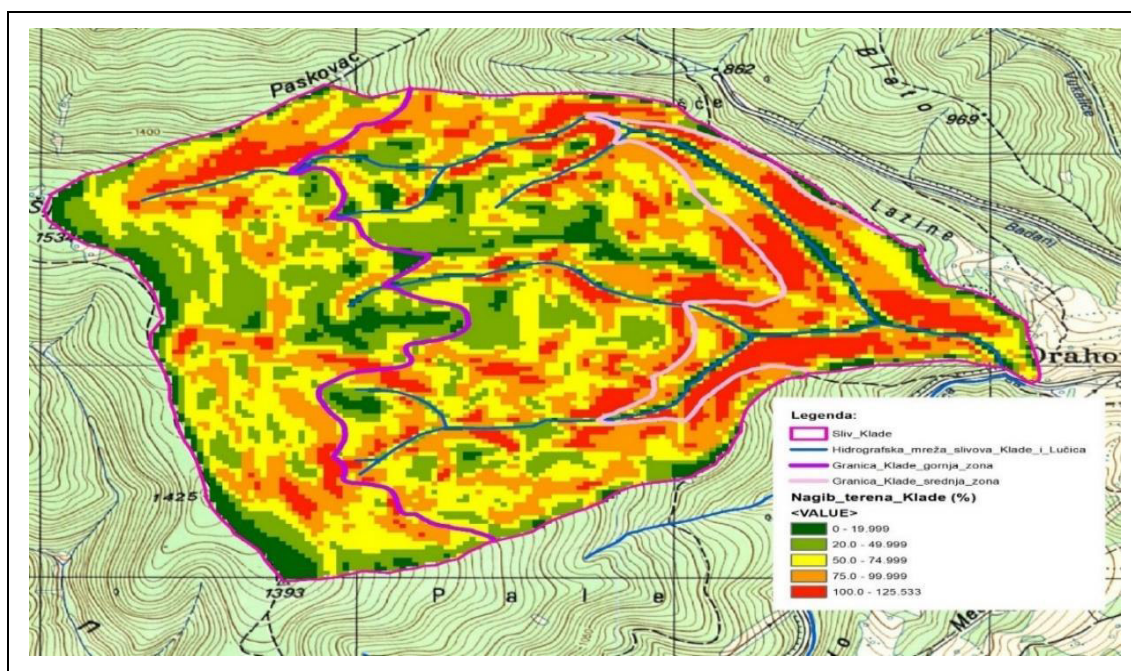
- I zona nastajanja-stavaranje i skupljanje erodiranog materijala-nanosa
- II zona transporta erodiranog materijala-tranzit bujične mase
- III zona plavine ili zona taloženja bujičnog nanosa u nižim dijelovima sliva.

Podaci o geomorfološkim karakteristikama sliva Klade dati su u *tabeli 1* i na osnovu njih mogu se definisati osnovne karakteristike sliva. Morfometrijske veličine sliva dobijne su korištenjem DMT-Digitalnog modela terena za sliv Klade prikazanom na *slici 1*, dok su druge izračunate na osnovu prethodno određenih podataka.

Tabela 1. Podaci o morfometrijskim i morfološkim karakteristikama sliva

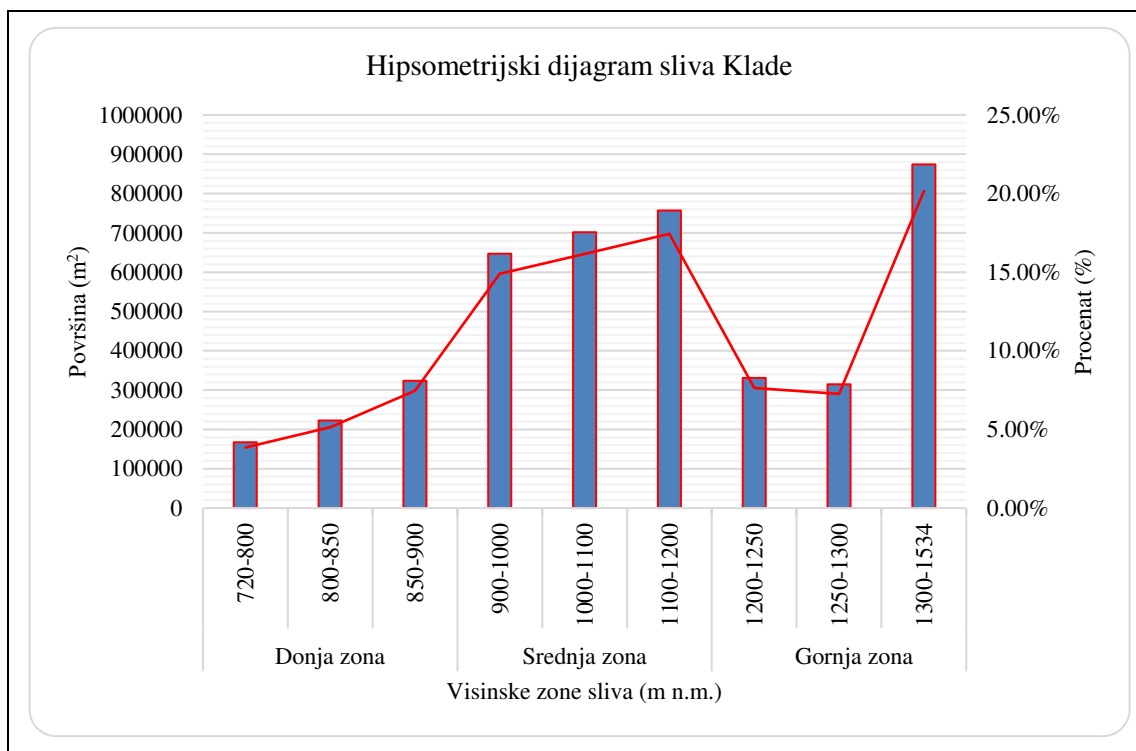
| Karakteristika sliva | Jedinica | Vrijednost |
|--|--------------------|------------|
| Površina sliva - F* | km ² | 4,33 |
| Obim sliva-dužina vododjelnice - S* | km | 8,7 |
| Maksimalna H _{max} * | m.n.m | 1534 |
| Minimalna H _{min} * | m.n.m | 720 |
| Visinska razlika vrha i dna sliva - ΔH | m | 814 |
| Prosječna nadmorska visina sliva - H _{sr} * | m.n.m | 1147 |
| Dužina sliva po glavnom toku -L _S * | km | 3,15 |
| Srednja širina sliva - B* | km | 1,37 |
| Dužina glavnog toka -L _t * | km | 3,46 |
| Gustoća hidrografske mreže u slivu - $D = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{F}$ | km/km ² | 1,90 |
| Dužina površinskog oticanja -l ₀ = 1/2 * D | km | 0,95 |
| Srednja dužina padina- l _p = 1/ (1,8 * D) | km | 0,29 |
| Ukupan pad glavnog toka- H _r = H _{r, max} – H _{r, min} | % | 20 |
| Srednji pad terene u slivu-I _{sr} * | % | 63,14% |
| Koeficijent razvoja vododjelnice - m=S/S' | - | 1,18 |
| Koeficijent razvitka bujičnog toka - k = L/L _{min} | - | 1,13 |
| Koeficijent vodpropustljivosti sliva S ₁ = 0,4 * f _p + 0,7 * f _{pp} + 1,0 * f _{np} | - | 0,6445 |
| Koeficijent pošumljenosti sliva K _f = F _s /F | - | 0,9974 |
| Koeficijent vegetacionog pokrivača S ₂ = 0,6 * f _s + 0,8 * f _t + 1,0 * f _g | - | 0,60 |

* Označava veličine koje su određene preko DMT-digitalnog modela terena



Slika 1: Nagibi terena sliva Klade prikazani preko DMT-a

Na stepen erozionih procesa utiče veličina gornje zone u kojoj nastaju najintenzivniji erozioni procesi u slivu. Na hipsometrijskom dijagramu datom na *slici 2*, prikazana je procentualna zastupljenost gornje, srednje i donje zone bujičnog sliva Klade, koji pokazuje raspodjelu reljefa sliva po visinskim zonama. U morfometrijskom pogledu ovo je prostor značajne vertikalne raščlanjenosti reljefa.



Slika 2: Hipsometrijski dijagram sliva potoka Klade

2.2. GEOLOGIJA SLIVA, GRANULOMETRIJSKI I MINERALNO-PETROGRFSKI SASTAV BUJIČNOG NANOSA

Vrste stijena i njihova procentualna zastupljenost direktno utiču na razvijenost erozionih procesa, zatim na hidrogeološke karakteristike sliva, na poroznost, vodopropustljivost, akumulativnu sposobnost, kao i razvoj vegetacije. Geološka građa u slivu potoka Klade utvrđena je preko Osnovne geološke karte SFRJ za područje Sarajeva, a u geološkoj strukturi sliva učestvuju raznovrsne stijene paleozoika, starijeg mezozoika i kvartara. Prema Osnovnoj geološkoj karti preovladavaju ³P_z -kvarc-sericitski škriljci (litidi i kvarciti) i ²P_z - filiti i filitoidi. U cilju analize erozionih procesa koji se odvijaju u slivu te stepena otpornosti pojedinih geoloških struktura koje pripadaju geologiji sliva, izvršene su laboratorijske analize granulometrijskog sastava i mineralno-petrografskog sastava erozionog nanosa iz uzoraka uzetih iz korita potoka Klade.

2.2.1. Granulometrijska analiza bujičnog nanosa

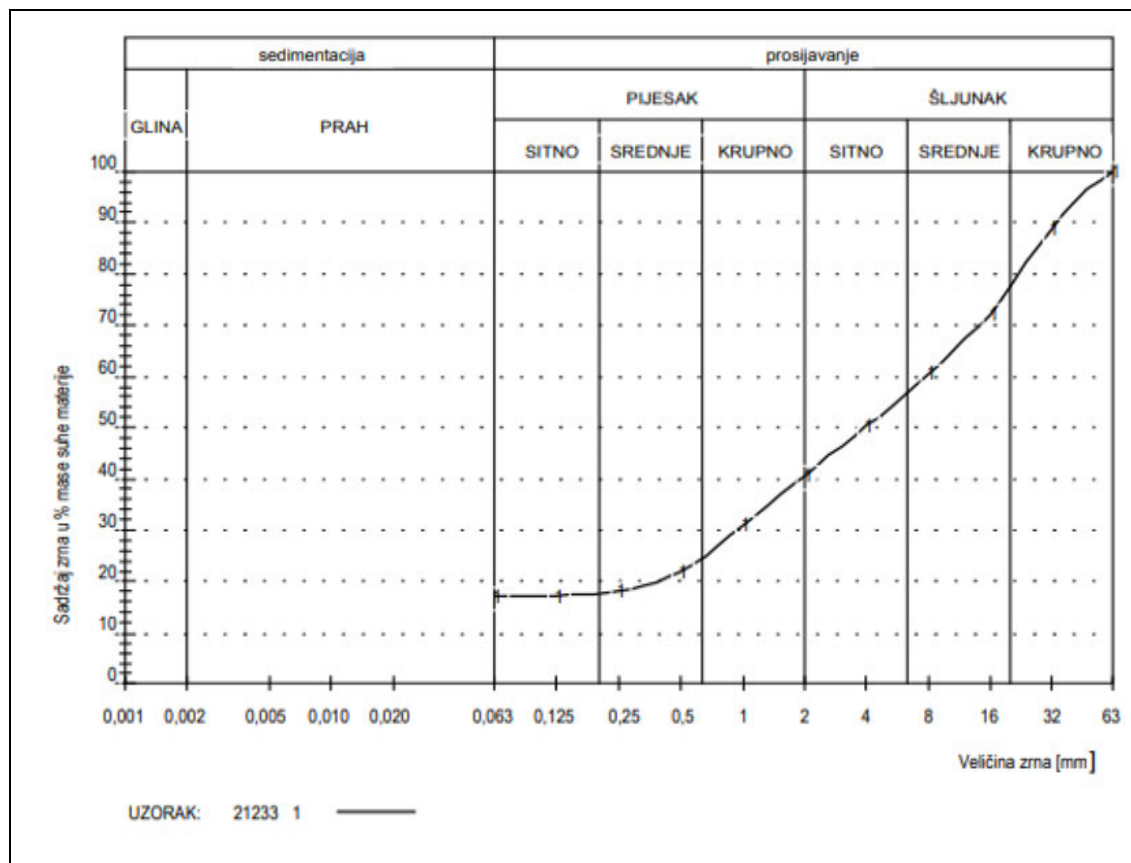
Na osnovu izvršene laboratorijske analize u certificiranoj laboratoriji², granulometrijskog sastava erozionog nanosa iz potoka Klade iz uzorka koji je uzet nakon kiše intenziteta p=112 mm/dan, utvrđeno da su u erozionom nanosu prisutne frakcije prsaha, pijeska i šljunka, što je prikazano u *tabeli 2*. Procentualna zastupljenost pojedinih frakcija u analiziranom uzorku nanosa prikazana je preko granulometrijske krive date na *slici 3*.

Tabela 2: Rezultati laboratorijske analize granulometrijskog sastava nanosa

| Potok Klade | | | | | | | | |
|---|-------|------------|-------------------------------|-------|------|---------|---------|---------------------|
| Datum: 5.11.2021.godine, padavine p= 112 mm/dan | | | | | | | | |
| Metodologija po osnovu BAS EN ISO 17892-4:2018 | | | | | | | | |
| Uzorak | Sonda | Dubina (m) | ρ_s (mg/m ³) | Glina | Prah | Pijesak | Šljunak | Zrna < 0,063 mm (%) |
| 21233 | K-4 | 0,5 m | 2,65 | 0 % | 17% | 24 % | 59% | 17% |

| Uzorak d (mm) | d 10 | d 20 | d 30 | d 40 | d 50 | d 60 | d 70 | d 80 | d 90 | d 100 |
|---------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 21233 | - | 3,9 E-1 | 9,4 E-1 | 1,9 E+0 | 3,9 E+0 | 7,8 E+0 | 1,4 E+1 | 2,2 E+1 | 3,3 E+1 | 6,3 E+1 |

| Uzorak | Sonda | Dubina (m) | Cu [-] | Cc [-] | k (m/s) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|
| 21233 | K-4 | 0,5 m | 36,3 | 0,7 | 4,3 E-4 |



Slika 3: Granulometrijska kriva erozionog nanosa iz potoka Klade

2.2.2. Mineralno-petrografska analiza erozionog nanosa

Uzorci erozionog nanosa za laboratorijsku analizu mineralno-petrografskog sastava uzeti su sa sredine i ušća potoka Klade, a pripremljeni uzirki za analizu prikazani su na slikama 4 i 5. Bitna za analizu je tačna lokacija uzimanja uzoraka, kako bi se rezultati uporedili sa geološkom kartom sliva. Mjesto uzorkovanja je SK-sredina toka-zona transporta nanosa, sa geografskim koordinatama: N: 43⁰ 47' 27"; E: 18⁰ 02' 14"; Z= 822 m n.m i ušće potoka UK - zona akumuliranja nanosa, sa geografskim koordinatama: N: 43⁰ 47' 07"; E: 18⁰ 02' 42"; Z=720 m n.m. Datum uzimanja uzorka: 29.7.2019. godine. Rezultati mineralno-petrografske analize nanosa² koje je izvršila ovlaštena laboratorija³, prikazani su u tabeli 3.



Tabela 3: Rezultati mineralno-petrografske analize erozionog nanosa iz potoka Klade

| Genetski tip stijena | Naziv stijene ili minerala | Sadržaj mineralno-petrografskih vrsta u uzorcima erozionog nanosa | | |
|----------------------|--|---|------|---------------------------|
| | | Sredina | Ušće | Prosječna zastupljenost % |
| Magmatske stijene | Nema | 0 | 0 | 0 |
| | Ukupno: | 0 | 0 | 0 |
| Sedimentne stijene | Krečnjaci, smeđe boje, kristalasti, burna reakcija na HCl kiselinu | 5 | 6 | 5,5 |
| | Pješčari, silicijskog sastava i veziva | 10 | 8 | 9 |
| | Pješčari, željezovitog veziva | 3 | 7 | 5 |
| | Rožnaci | 5 | 7 | 6 |
| | Ukupno: | 23% | 28% | 25,5% |
| Metamorfne stijene | Filiti | 30 | 24 | 27 |
| | Kvarc-sericitni šriljci | 27 | 32 | 29,5 |
| | Hloritni škriljci | 8 | 7 | 7,5 |
| | Kvarciti | 5 | 4 | 4,5 |
| | Ukupno: | 70% | 67% | 68,5% |
| Minerali | Kvarc, mliječno bijele boje do proziran, poligonalan | 5 | 4 | 4,5 |
| | Kalcit, bijele boje, poligonalan | 2 | 0 | 1 |
| | Magnezit | 0 | 1 | 0,5 |
| | Ukupno: | 7% | 5% | 6% |
| | Ukupno: | 100% | 100% | 100% |

3. ODREĐIVANJE UKUPNE GODIŠNJE PRODUKCIJE NANOSA U BUJIČNOM SLIVU

Produkcija erozionog nanosa u bujičnom slivu je promjenljiva veličina, koja zavisi od više faktora vezanih za sliv, kao što su intenzitet padavina, stanje vegetacionog pokrivača, pad sliva, pad toka, podolške, hidrogeološke i geomorfološke karakteristike sliva, zatim zavisi i od intenziteta antropogenih uticaja i stepena razvijenosti erozionih procesa. Određivanje stvarne produkcije erozionog nanosa u istraživanom bujičnom slivu Klade je podatak od kojeg zavisi definisanje mjera upravljanja erozionim procesima. Sliv s aspekta prostornog obuhvata erozije nije homogena sredina, kako ga posmatraju empirijski obrasci, već su erozioni procesi prisutni u pojedinim dijelovima sliva na različitim lokacijama i u različitom obimu. Korištenjem GIS tehnologije i DMT-digitalnog modela terena, omogućava se preciznije određivanje lokaliteta i veličine obuhvata prostora na kojima su prisutni erozioni procesi što je preduslov za primjenu zapreminske metode.

U ovom radu biće prikazani rezultati određivanja ukupne količine erozionog nanosa u slivu Klade korištenjem zapreminske metode koja je zasnovana na terenskim geodetskim mjerenjima akumuliranog nanosa na mjernim profilima postavljenim uzvodno od vještačke prepreke koja se nalazi na samom ušću potoka Klade.

Zapreminska metoda (bilansna metoda)

Zapreminska metoda ili bilansna metoda koja se koristi za određivanja ukupne zapremine erozionog nanosa u slivu, zasniva se na mjerenjima zapremine nanosa (V) koji se akumulira u bujičnom toku u određenom vremenskom intervalu (Δt). Prosječna produkcija nanosa za taj vremenski interval dobije se preko formule $V_{sr} = V / \Delta t$. Zapremina akumuliranog nanosa u potoku Klade, određena je za vremenski interval između 26.09.2020. godine i 5.11.2021. godine, a to je period od 1 godine i 40 dana. Naime, između dva navedena datuma nije bilo padavina koje su izazvale bujično tečenje u potoku Klade.

Primjena zapreminske metode zahtijevala je korištenje preciznih geodetskih snimanja poprečnih profila na osnovu kojih je određena zapremina akumuliranog nanosa. Geodetska mjerenja nanosa vršena su nakon intenzivne kiše koja se desila 5.11.2021. godine, intenziteta $p=112$ mm/dan, a koja je izazvala pojavu bujičnog toka i koja je pokrenula erozione procese i akumuliranje nanosa na samom ušću potoka. Prethodna geodetska snimanja vršena su 26.09.2020. godine i predstavljaju „*nulto mjerenje*“.

Na osnovu podataka dobijenih geodetskim snimanjima profila izračunata je ukupna godišnja zapremina nanosa koji se akumulirao na ušću bujičnog potoka Klade i iznosi $W_p = 276,69$ m³, zatim je na osnovu prethodno određenog koeficijenta retenzije preko Gavrilovićeve metode koji iznosi $R_u = 0,58$, određena ukupna količina nanosa za sliv potoka i iznosi $W_{god} = 477,05$ m³, kao i količina nanosa koji se zadržao u slivu i iznosi $W_{god,sliv} = 199,82$ m³. Imajući u vidu da u periodu između od 26.09.2020 do 5.11.2021.godine tj.jedna godina i 40 dana, nije bilo padavina koje su izazvale bujično tečenje i erozione procese, opravdano pretpostavljamo da se radi o ukupnoj godišnjoj količini nanosa za sliv Klade, koji se akumulirao na hidrometrijskom profilu-ušću.

3.1. REZULTATI GEODETSKIH MJERENJA ODREĐIVANJA ZAPREMINE AKUMULIRANOG NANOSA NA MJERNIM PROFILIMA POTOKA KLADE

Nakon pojave bujičnog toka dana 26.09.2020. godine izvršena su geodetska snimanja profila što predstavlja nulto mjerenje. Dana 5.11.2021.godine nakon padavina od $p=112$ mm/dan i pojave bujičnog toka, došlo je do akumuliranja veće količine erozionog nanosa koji se zadržao na cjevastom propustu kao prepenci, koji se nalazi na samom ušću potoka Klade, a što je prikazano na slikama 6 i 7.

Izvršeno je geodetsko snimanje po profilima i utvrđene su morfološke promjene u odnosu na prethodno mjerenje. Ukupno ima devet mjernih profila (P_0 - P_8) na kojima se nalazi od 8 do 10 mjernih tačaka u zavisnosti od širine profila. Dovoljan broj profila i mjernih tačaka dao je preciznije rezultate morfoloških promjena, što je dato u tabeli 4.

Tabela 4: Zapreminska metoda određivanja akumuliranog nanosa na potoku Klade

| Potok Klade | | | | | | | | | |
|---|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| Profili | P_0 | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 | P_5 | P_6 | P_7 | P_8 |
| Razmak profila (m) | $L_1=4,97$ | $L_2=5,75$ | $L_3=12,7$ | $L_4=7,05$ | $L_5=10,0$ | $L_6=9,15$ | $L_7=9,85$ | $L_8=8,66$ | |
| | $\Sigma L_i = 68,22$ m | | | | | | | | |
| Površina poprečnog profila (m^2) P_{pi} | P_{p0} | P_{p1} | P_{p2} | P_{p3} | P_{p4} | P_{p5} | P_{p6} | P_{p7} | P_{p8} |
| | 3,827 | 4,0819 | 4,4055 | 5,5478 | 4,9107 | 3,4937 | 3,0508 | 3,9906 | 1,903 |
| $P_{sri} = (P_{pi} + P_{pi+1})/2$ | P_{sr1} | P_{sr2} | P_{sr3} | P_{sr4} | P_{sr5} | P_{sr6} | P_{sr7} | P_{sr8} | |
| | 3,9549 | 4,2437 | 4,9767 | 5,2324 | 4,2020 | 3,2723 | 3,5207 | 2,9469 | |
| Zapremina akumuliranog nanosa po profilima (m^3) $V_i = P_{sri} * L_i$ | V_1 | V_2 | V_3 | V_4 | V_5 | V_6 | V_7 | V_8 | |
| | 19,687 | 24,422 | 63,283 | 36,888 | 42,230 | 29,948 | 34,689 | 25,540 | |
| Ukupna zapremina akumuliranog nanosa $V_{uk} = \sum_{i=1}^8 V_i$ | $V_{uk} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8$ $V_{uk} = 19,6875 + 24,4223 + 63,2837 + 36,8884 + 42,2301 + 29,9481 + 34,6895 + 25,5408$ $V_{uk} = 276,69$ m^3 | | | | | | | | |



Slika 6: Ušće potoka Klade-prije bujice

Slika 7: Ušće potoka Klade-poslije bujice akumulirani nanos

3.2. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA EROZIJE KORIŠTENJEM ZAPREMINSKE METODE

Koeficijent erozije sliva Klade određen je preko zapreminske metode na način da je prethodno geodetskim mjerenjima određena ukupna godišnja zapremina erozionog nanosa koji se produkovao u slivu. Primjenom zapreminske metode dobijena je stvarna godišnja zapremina erozionog nanosa u slivu, na osnovu koje se odredio stvarni koeficijent erozije sliva. Tako dobijen koeficijent erozije uzeo je u obzir sve parametre koji utiču na njegovu vrijednost u konkretnom slučaju uzeo je u obzir i izgrađenu šumsku transportnu infrastrukturu, koja u posmatranim slivovima značajno utiče na stepen erozionih procesa i produkciju erozionog nanosa, koji se preko putne infrastrukture transportuje tokom padavina do korita bujičnog toka.

Naime primjenom empirijskog obrasca Gavrilovića, kao i očitanjem koeficijenta erozije sa karte erozije dobije se značajno manji koeficijent erozije od onog koji je dobijen zapreminskom metodom, koja stvarno definiše stepen prisutne erozije u slivu. Dobijeni rezultati ukazuju na potrebu prikupljanja i analize konkretnih pokazatelja na terenu, kako bi se dobili podaci o stvarnoj godišnjoj produkciji nanosa u bujičnom slivu. Na osnovu određene ukupne godišnje zapremine nanosa u slivu uz primjenu empirijskog obrasca Gavrilovića (Gavrilović, 1972)⁴ za određivanje ukupne godišnje zapremine nanosa određen je koeficijent erozije sliva.

Određivanje koeficijenta erozije (Z) sliva potoka Klade:

$$W_{god,Klade} = T * H^{sr_{god}} * \pi * \sqrt{Z}^3 * F \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$477,05 \text{ m}^3 = 0,90 * 1327,3 * 3,14 * \sqrt{Z}^3 * 4,33 \text{ m}^2$$

$$477,05 \text{ m}^3 = 16241,61 * \sqrt{Z}^3$$

$$Z = 0,095.$$

3.2.1. Upoređivanje koeficijenata erozije

Koeficijent erozije sliva Klade određen je na tri načina i to:

- empirijskom formulom Gavrilovića,
- očitano s karte erozije sliva i
- određen je zapreminskom metodom,

Dobijene vrijednosti koeficijenata erozije su različite i prikazane su u *tabeli 4*. Najveća vrijednost koeficijenta erozije dobijena je primjenom zapreminske metode i predstavlja stvarni koeficijent erozije sliva.

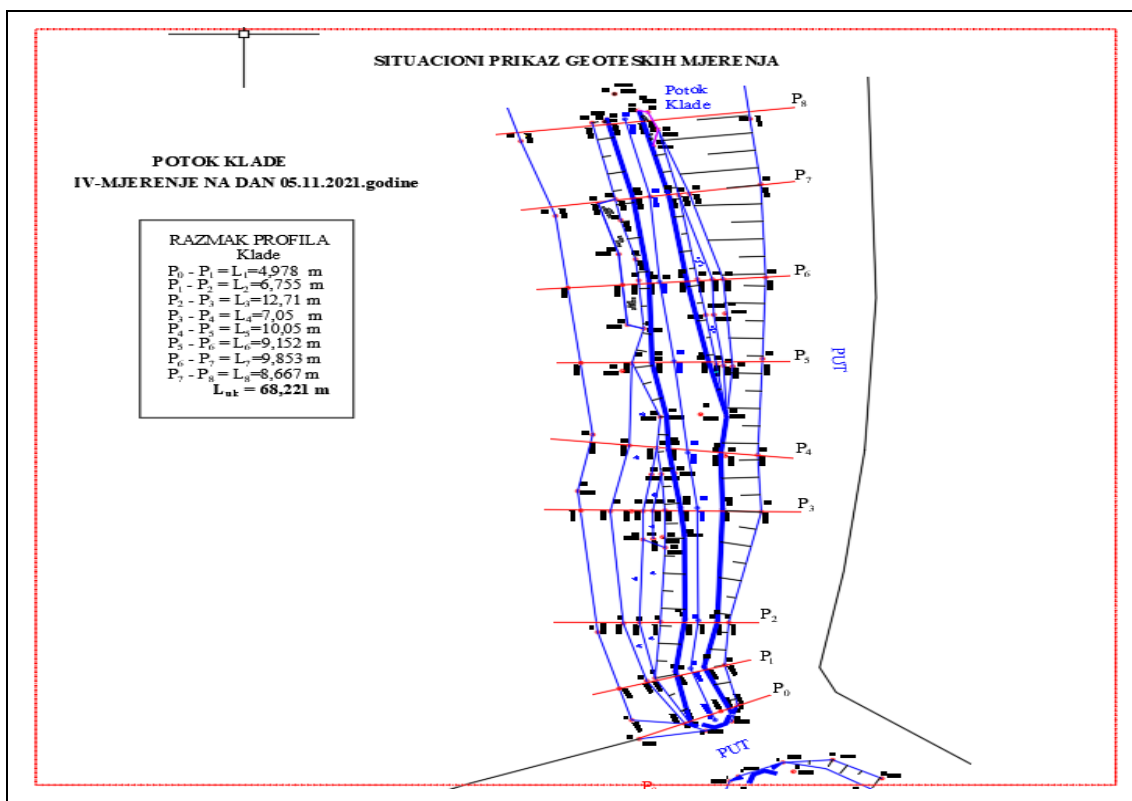
Tabela 4: Vrijednosti koeficijenta erozije sliva Klade

| Metoda proračuna / Sliv potoka | Koeficijent erozije sliva (Z) |
|---|-------------------------------|
| $Z = Y * X * a * (\varphi + \sqrt{J_{sr}})$ | 0,055 |
| Koeficijent očitano s karte erozije | 0,039 |
| Zapreminska metoda | 0,095 |

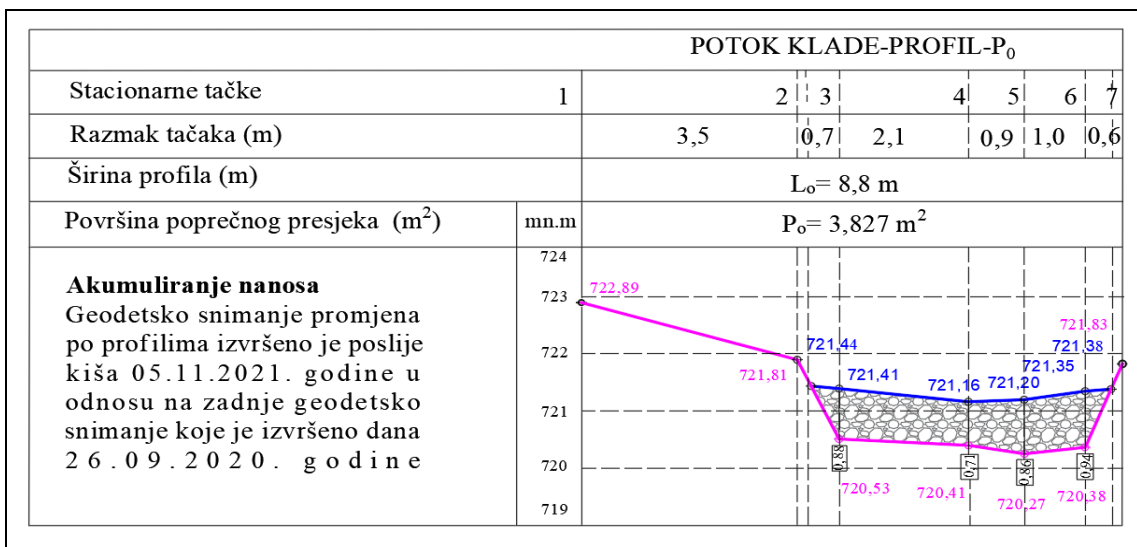
Primjenom empirijskog obrasca Gavrilovića, nije moguće detaljno sagledati uticaj izgrađenosti šumske transportne infrastrukture u slivovima Lučica i Klade, a samim time nisu analizirani svi stvarni erozioni procesi koji se odvijaju u slivu.

3.3. PRIKAZ AKUMULIRANOG NANOSA NA MJERNIM PROFILIMA

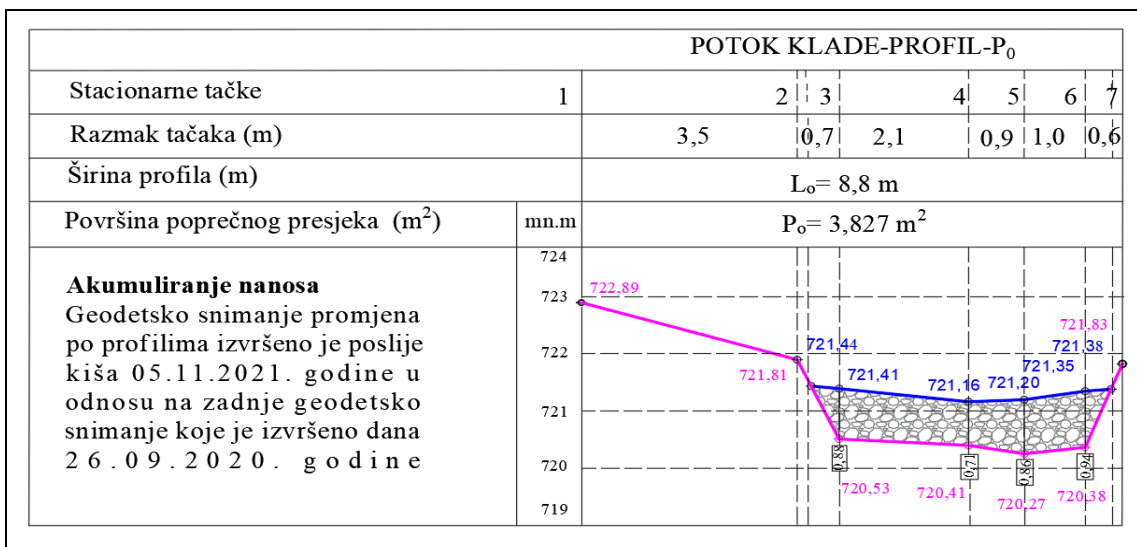
Situacioni prikaz dionice mjerenja prikazan je na *slici 8*, dok su i poprečni profili prikazani na *slikama 9,10,11,12,13,14,15,16 i 17*, a na *slici 18* prikazan je uzdužni profil mjerne dionice.



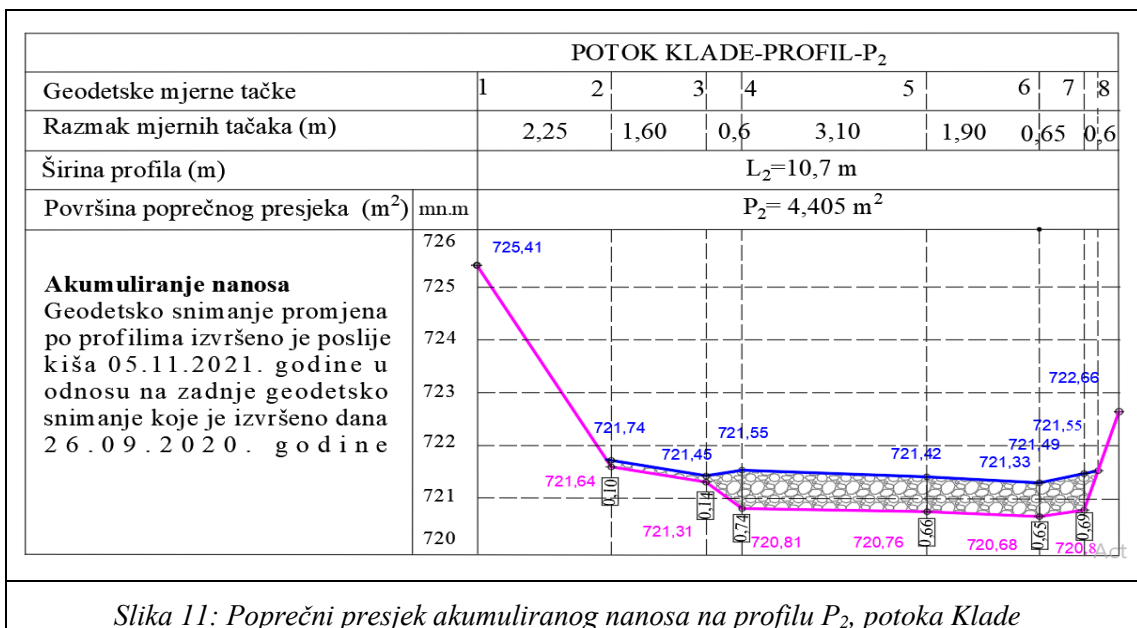
Slika 8. Situacioni prikaz mjernih profila od P₀-P₈



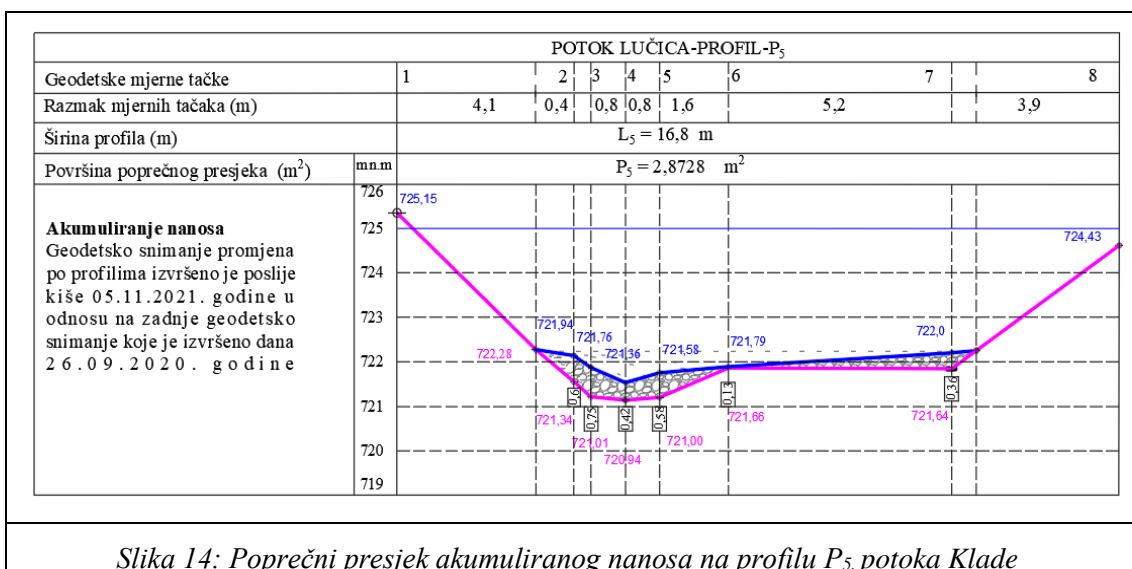
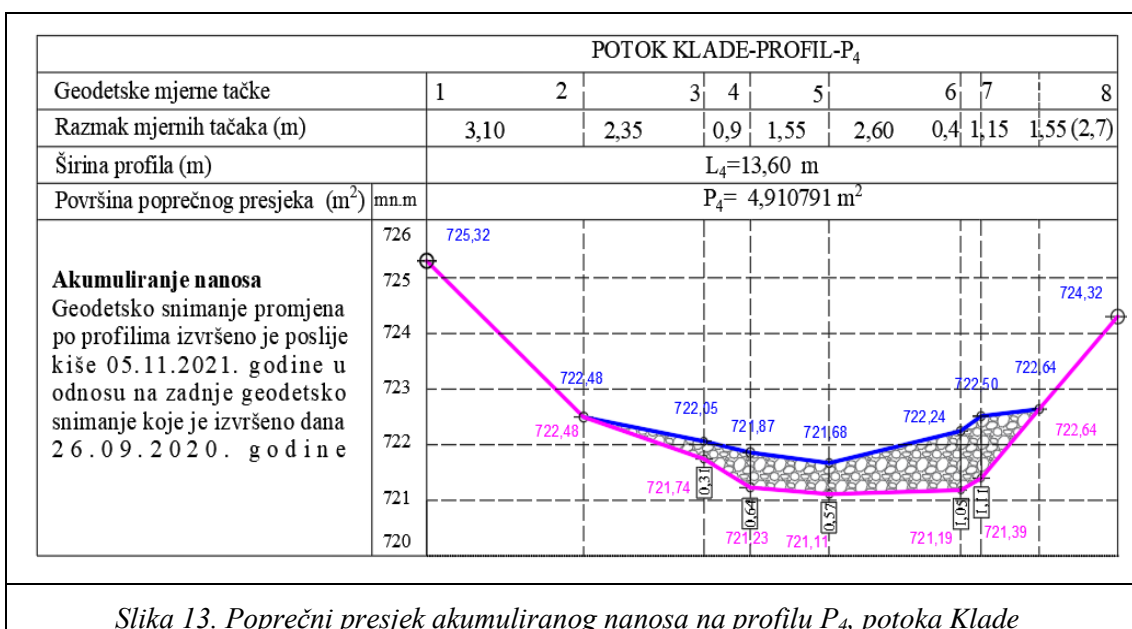
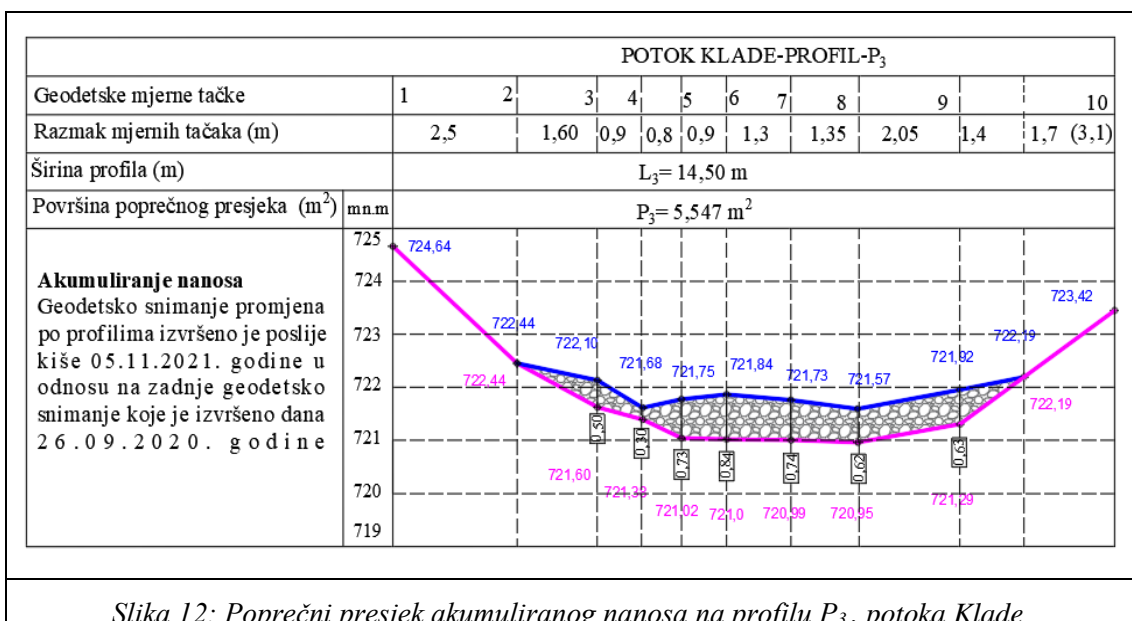
Slika 9: Poprečni presjek akumuliranog nanosa na profilu P₀, potoka Klade

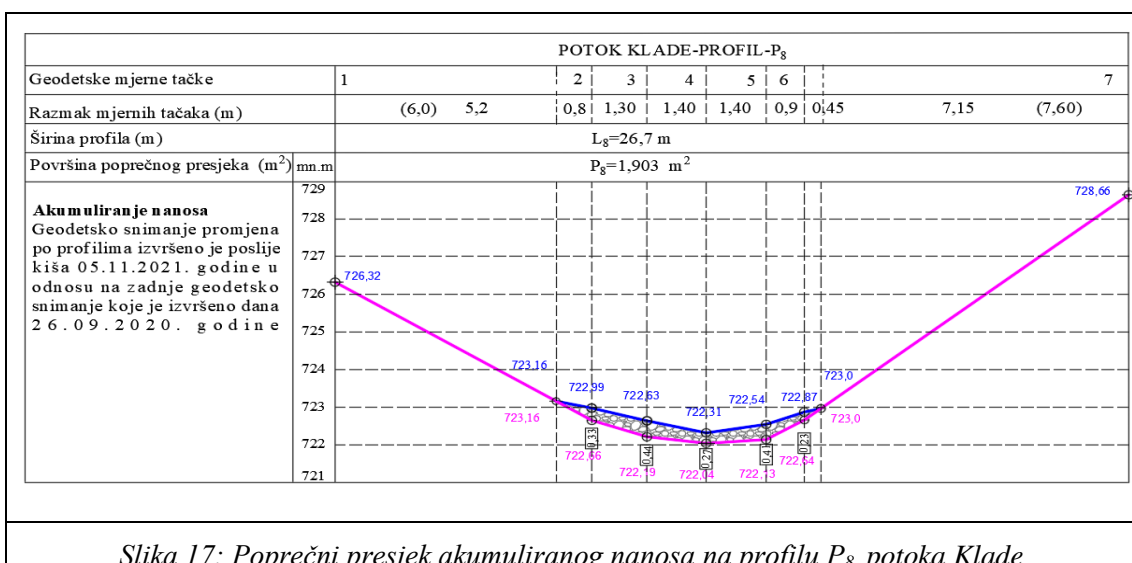
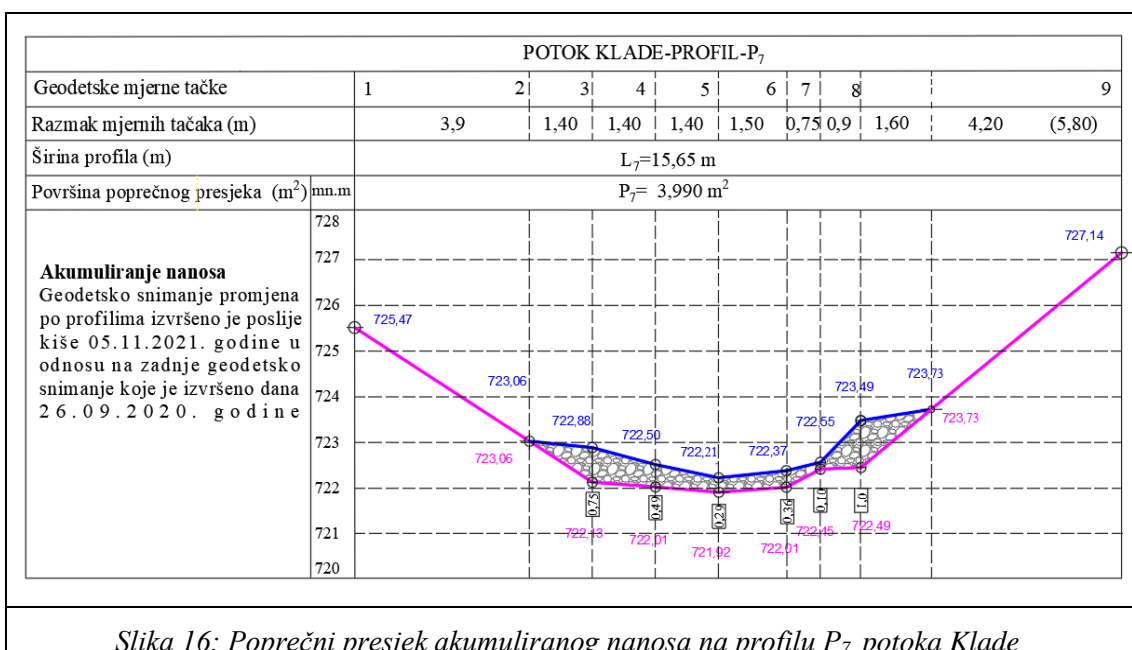
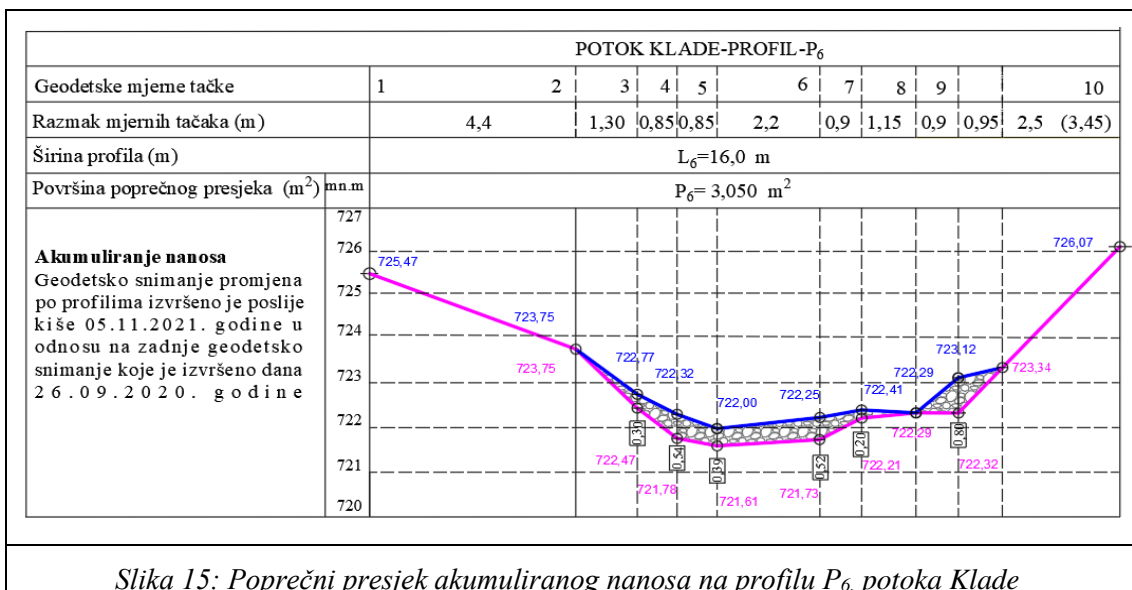


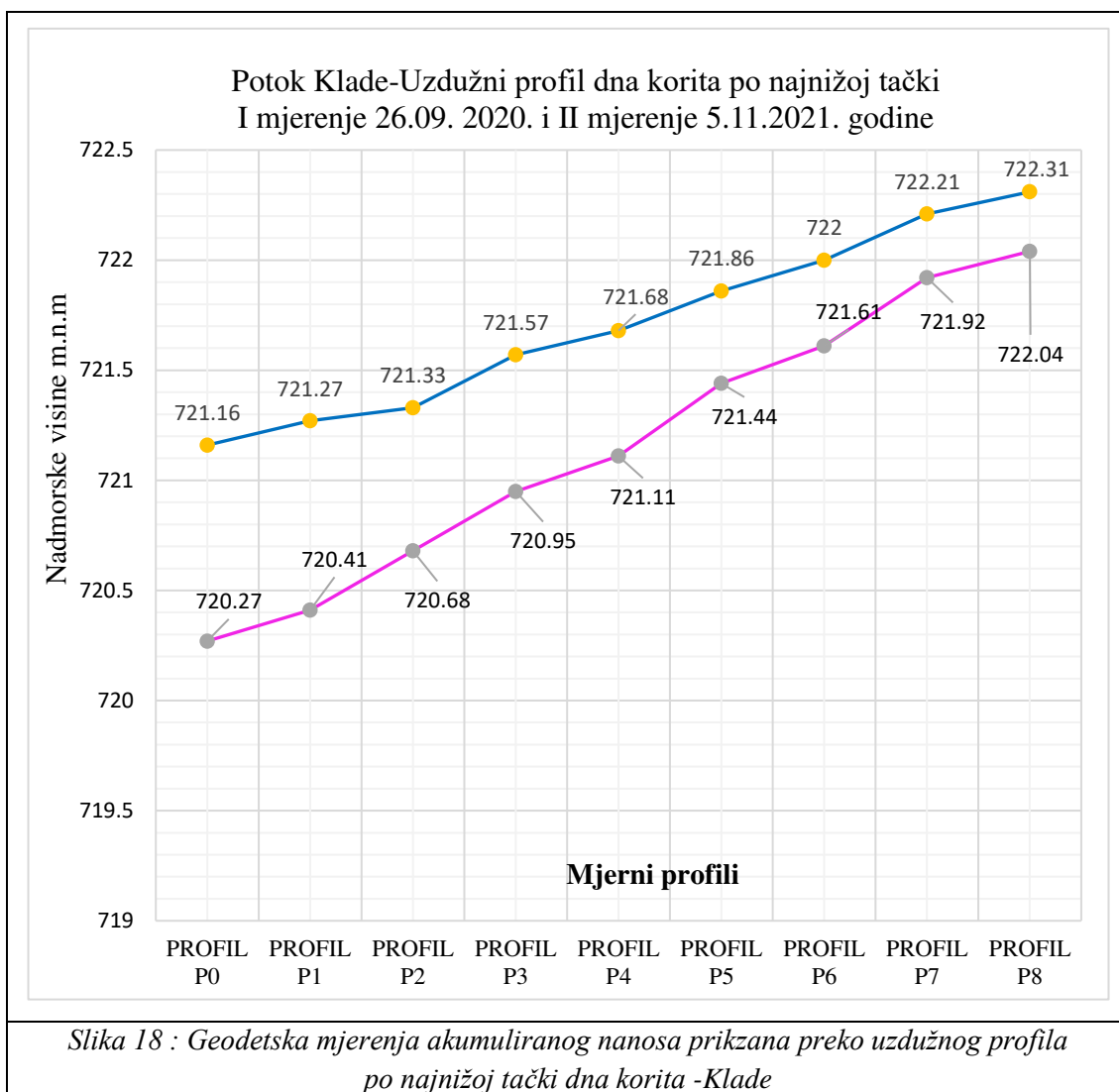
Slika 9: Poprečni presjek akumuliranog nanosa na profilu P₀, potoka Klade



Slika 11: Poprečni presjek akumuliranog nanosa na profilu P₂, potoka Klade







Slika 18 : Geodetska mjerenja akumuliranog nanosa prikzana preko uzdužnog profila po najnižoj tački dna korita -Klade

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu provedenih istraživanja na bujičnom slivu Klade i dobijenih kvantitativnih podataka u skladu sa postavljenim ciljevima doneseni su sljedeći zaključci:

- Metodologija određivanja ukupne godišnje produkcije nanosa u bujičnom slivu potoka Klade i određivanje koeficijenta erozije pomoću zapreminske metode koja je zvanovana na terenskim mjerenjima, može se uspješno primijeniti i za druge bujične slivove, sličnih ili istih geomorfoloških karakteristika;
- Bujični tokovi svojim turbulentnim tokom i jakom kinetičkom energijom vrše erozione procese i transport nanosa duž bujičnog toka, a kretanje i ukupna količina erozionog nanosa zavisi od intenziteta padavina, geologije sliva, antropogenih uticaja, stepena erozionih procesa koji se odvijaju u bujičnom slivu i koritu bujičnog toka;
- Posmatrajući promjene po poprečnim profilima (od P₀ do P₈) te maksimalnu morfološku promjenu dna u tački T-6 profila P₀, koja ima vrijednost $\Delta h_{\max} = +112$ cm, pokazuje nam da se u koritu bujičnog toka vrše stalne morfološke promjene dna i obala korita, erodiranjem ili akumuliranjem nanosa;
- Provedena laboratorijska analiza granulometrijskog sastava erozionog nanosa iz korita bujičnog potoka Klade, ukazuje da je u erozionom nanosu bujičnog toka

prisutna veća procentalna zastupljenost krupnijih frakcija, što je jedna od karakteristika bujičnih tokova;

- Određivanje godišnje zapremine nanosa za bujični sliv Klade uz primjenu terenskih geodetskih mjerenja i zapreminske-bilansne metode, pokazala se preciznija od rezultata dobijenih primjenom empirijske formule Slobodna Gavrilovića. Nakon jake kiše čiji je intenzitet bio $p=112$ mm/dan, a izmjeren je na MS Ivan Sedlo, terenskim geodetskim mjerenjima na mjernim profilima u koritu potoka Klade izmjerena je zapremina akumuliranog erozionog nanosa, koja je znatno veća od zapremine nanosa koja je izračunata empirijskom formulom. Zapreminskom metodom utvrđena je ukupna godišnja količina nanosa za potok Klade i iznosi: $W_{\text{god}}=437,17$ m³, dok prema empirijskoj formuli Gavrilovića ukupna godišnja količina nanosa iznosi: $W_{\text{god}}=209,95$ m³. Razlozi nastale razlike u zapremini erozionog nanosa u slivu su u tome što je zapreminskom metodom dobijena stvarana produkcija nanosa za registrovani intenzitet kiše od $p=112$ mm/dan, dok empirijska formula Gavrilovića za svoj proračun koristi srednji godišnji intenzitet kiše koji je manji od navedenog. Također na količinu nanosa utiču i vrijednosti koeficijenta koji čine empirijsku formulu Gavrilovića;
- Za praktičnu primjenu, a naročito za potrebe projektovanja hidrotehničkih objekta kao što je npr. izgradnja bujičnih pregrada, proračun količine erozionog nanosa koji zasipa akumulacije i drugih hidrotehničkih građevina, preporučuje se korištenje zapreminske metode kojom će se odrediti stvarna produkcija erozionog nanosa u slivu, dok se empirijski obrasci mogu koristiti za one slučajeve gdje je potrebna dovoljno tačna procjena produkovanog nanosa, kao što su izrade studija, elaborata, karti erozije i za druge slične potrebe;
- Preporučuje se unapređenje i razvijanje zapreminske metode za utvrđivanje ukupne godišnje zapremine erozionog nanosa koji se produkuje u bujičnom slivu uz kombinovanje terenskih mjerenja sa savremenim tehnologijama;
- Imajući u vidu prisutne klimatske promjene i opasnosti koje bujice mogu izazvati izučavati potrebno je uspostaviti razmjenu informacija kroz EFAS sistem, kako bi pravovremeno djelovali i smanjili rizike;
- Uspostaviti regionalnu naučnu i institucionalnu saradnju, razmjenjivati iskustva i kontinuirano saradivati s ciljem smanjenja opasnosti koje bijice mogu izazvati.

5. LITERATURA

- [1] Dušan Dukić „*Hidrologija kopna*“, Naučna knjiga Beograd, 1984.
- [2] „*Laboratorijska analiza granulometrijskog sastava nanosa iz potoka Klade*” (2021), Laboratorija “GeoLab“ d.o.o.Sarajevo, Sarajevo, Bosna i Hercegovina;
- [3] „*Laboratorijska analiza mineralno-petrografskog sastava nanosa iz potoka Klade*” (2019), Laboratorija Rudarsko-Geološko-Građevinskog fakulteta Univerziteta u Tuzli, Bosna i Hercegovina;
- [4] Gavrilović S., (1972,) „*Inžinjerin o bujičnim tokovima i eroziji*“, Beograd, Srbija;

SPONZORI



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
UNIVERSITY OF NOVI SAD

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Факултет техничких наука, основан 1960. године, једна је од најсавременије организованих високообразовних институција у региону. Факултет је данас научно-образовна институција састављена од 13 департмана, 10 стручних служби и 38 научно-стручних центара. Лоциран је у неколико зграда и располаже са преко 35.000 m². Има око 1.200 запослених и око 17.000 студената. Факултет техничких наука изводи наставу на свим нивоима академских и струковних студија из следећих области високог образовања:

1. Машинско инжењерство
2. Електротехничко и рачунарско инжењерство
3. Грађевинско инжењерство
4. Саобраћајно инжењерство
5. Архитектура
6. Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
7. Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду
8. Геодетско инжењерство

Интердисциплинарне студије:

1. Графичко инжењерство и дизајн
2. Мехатроника
3. Управљање ризиком од катастрофалних догађаја и пожара
4. Примењена математика
5. Рачунарска графика
6. Енергетска ефикасност у зградарству
7. Сценски дизајн
8. Биомедицинско инжењерство
9. Техничка механика
10. Енергетске технологије
11. Урбанизам и регионални развој
12. Третман и заштита вода
13. Инжењерство информационих система
14. Информациони инжењеринг

ВИСОКО МЕСТО У ДРУШТВУ НАЈБОЉИХ
Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
021/6350-413, 021/485-2055

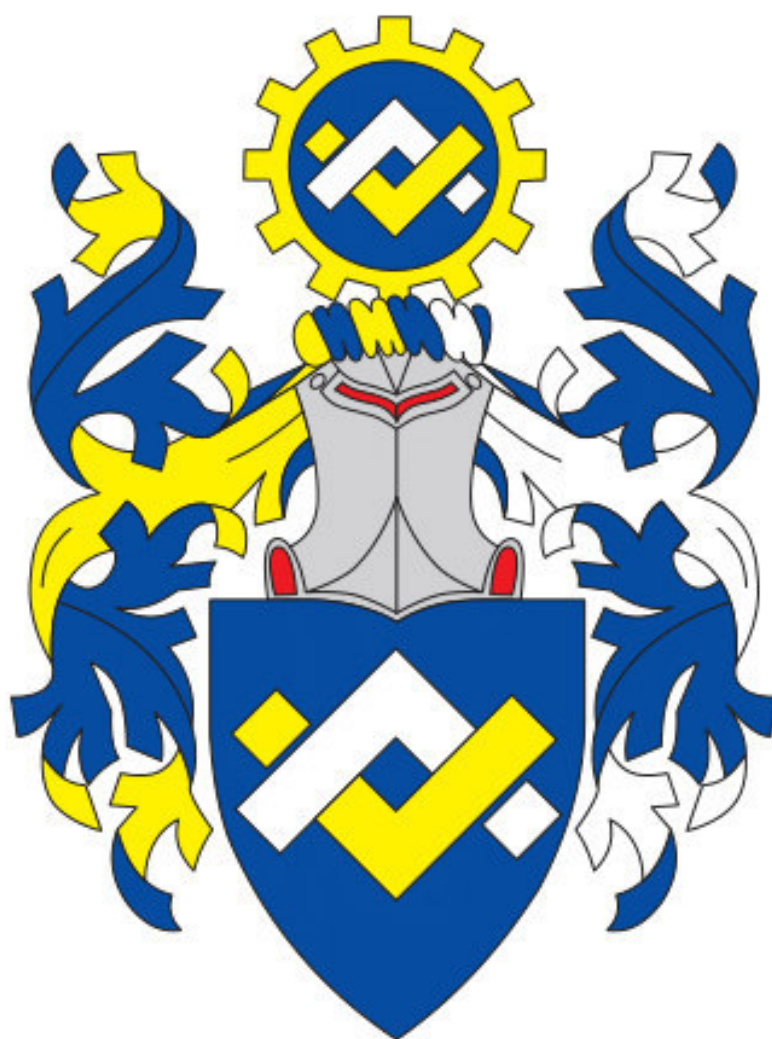
The Faculty of Technical Sciences, which was established in 1960, is one of the best organized high-educational institutions in the region. Today, Faculty of Technical Sciences is scientific and educational institution of 13 departments, 10 administrative sectors and 38 scientific technical centers. The Faculty is located within the University campus in several separate buildings of 35,000 m² in area, with about 1,200 employed personal and about 17,000 students. The Faculty of Technical Sciences offers the following profiles of high education:

1. Mechanical engineering
2. Electrical engineering and computing
3. Civil engineering
4. Traffic engineering
5. Architecture
6. Industrial engineering and engineering management
7. Environmental engineering and occupational safety engineering
8. Geodesy

Interdisciplinary studies:

1. Graphic engineering and design
2. Mechatronics
3. Disaster Risk Management and Fire Safety
4. Applied mathematics
5. Computer graphics
6. Energy Efficiency in Buildings
7. Scene design
8. Biomedical engineering
9. Technical Mechanics
10. Energy technologies
11. Urban planning and regional development
12. Water treatment and protection engineering
13. Information Systems Engineering
14. Information Engineering

HIGH PLACE IN TOP SOCIETY
Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
021/6350-413, 021/485-2055



**ИНЖЕЊЕРСКА
КОМОРА
СРБИЈЕ**



CONNECTING SERBIA AND HUNGARY

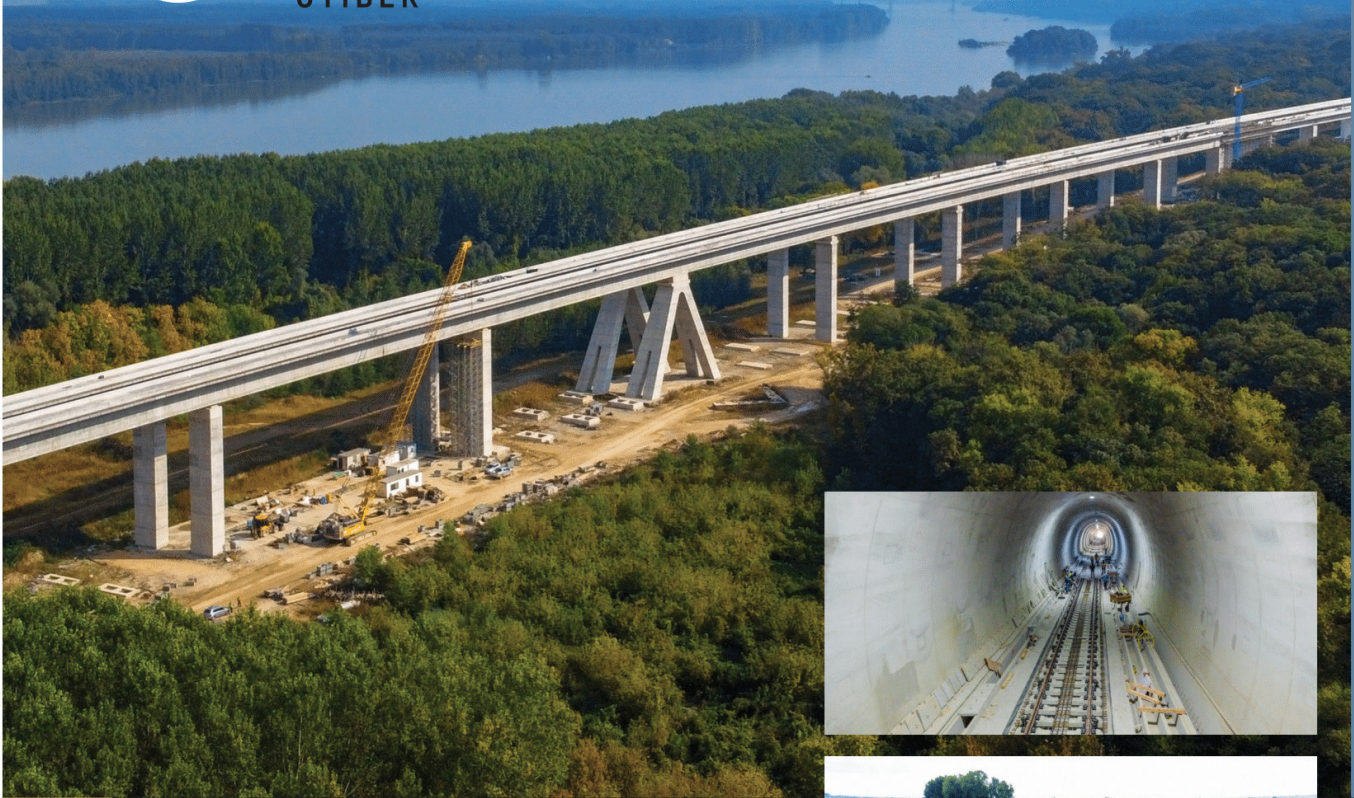
Hungarian-Serbian railway project on the territory of the Republic Serbia

Contract: Consultancy services for supervision

Sector 1 – Belgrade Centar – Stara Pazova; Sector 2 – Stara Pazova – Novi Sad

Client: Ministry of Construction, Transport and Infrastructure

Investor: JSC for public railway infrastructure management "Serbian Railways Infrastructure"



UTIBER PROJECT BIRO

WE WANT TO TAKE A KEY ROLE IN
DEVELOPMENT OF TRAFFIC, INFRASTRUCTURE AND CONSTRUCTION ENGINEERING

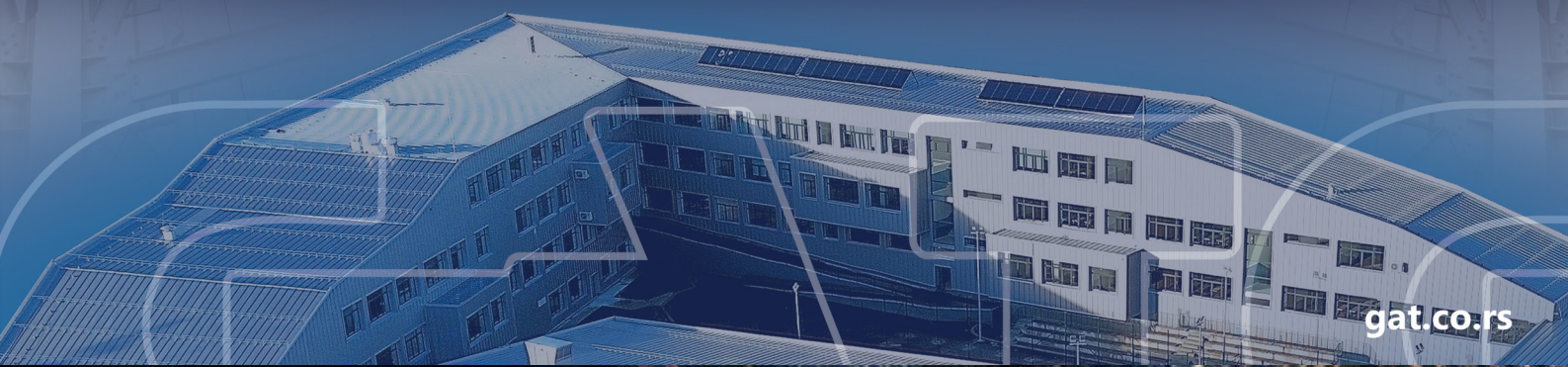
Project Biro Utiber (PBU) is established in June 2014 by renowned Hungarian company Utiber Közúti Beruhazo Ltd. With support and knowhow of its mother company and by acquiring wide pool of experts, PBU strongly established itself on the market, participating in various domestic and internationally funded projects. Among our Clients are: Ministry of Construction, Transport and Infrastructure, Public Enterprise "Roads of Serbia", Koridori Srbije, EU delegation, IBRD, EIB...

Main activities performed by UTIBER are providing all kinds of consulting engineering services in the field of transport and infrastructure systems (roads, railways, airports, water systems), especially under FIDIC contracts conditions, and production of technical documentation in the field of civil engineering including related infrastructure, with all the accompanying studies.

PROJECT BIRO **UTIBER d.o.o.**
Temerinska 76 21138 Novi Sad Srbija Tel: +381 21 537 341 www.utiber.rs

GAT

LIDER SAVREMENOG GRAĐEVINARSTVA



gat.co.rs

DELTA
REAL ESTATE

Gradimo
Bolji Svet.



AG Institut d.o.o.

Adresa
Dr Đorđa Joanovića 4/7
21000 Novi Sad, Srbija

Email
kancelarija@aginstitut.com

Telefon +381 21 511 551

Web www.aginstitut.com



PROJEKTOVANJE



visokogradnja



saobraćajnice



hidrotehnika



energija/
ekologija

LABORATORIJA



beton



geomehanika



asfalt



kamen



200+ projekata



64+ zadovoljnih klijenata



"AXIS GRAĐEVINSKI BIRO" DOO

Sremska Kamenica



VOJVODE PUTNIKA 79,
SREMSKA KAMENICA



OFFICE@AXISBIRO.CO.RS



MORAVA CORRIDOR MOTORWAY PROJECT



**WE BUILD THE FUTURE.
WE PRESERVE TRADITION.**

jadran-bg.rs



ČELIK

**PROJEKTOVANJE
PROIZVODNJA I
MONTAŽA ČELIČNIH
KONSTRUKCIJA**

Novosadska 119
21234 Bački Jarak, Srbija
www.celikdoo.rs
office@celikdoo.rs



**ENERGOTEHNIKA
JUŽNA BAČKA**
Znanje u službi kvaliteta.

ENERGOTEHNIKA JUŽNA BAČKA

Energotehnika Južna Bačka je lider na tržištu izgradnje energetske infrastrukture u zemlji i regionu, sa dugogodišnjim iskustvom i brojnim relevantnim referencama u oblasti energetike, termotehnike, obnovljivih izvora i rudarstva.



Godine postojanja

63



**Izgrađenih i
rekonstruisanih
trafostanica**

9000



**Kilometara izgrađenih
dalekovoda**

850



**Kilometara izgrađenih
gasovoda, toplovodne
i gasovodne mreže**

600



Institut za ispitivanje materijala a.d.

Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43

tel: +381 11 2650 322
fax: +381 11 3692 772

office@institutims.rs

www.institutims.rs



Design, Consulting, & Construction





GRAĐEVINSKI INSTITUT CPL

STRUČNI NADZOR I PROJEKTOVANJE

- Sektor za nadzor i project managment
- Sektor za projektovanje puteva
- Sektor za projektovanje kolovoznih konstrukcija
- Sektor za projektovanje mostova i konstrukcija
- Sektor za geotehniku

AKREDITOVANA LABORATORIJA - PREMA STANDARDU SRPS ISO/IEC 17025:2017

- Laboratorija za bitumen, bitumenske emulzije i hidroizolacije
- Laboratorija za asfalt
- Laboratorija za kamen i kameni agregat
- Laboratorija za geomehaniku i fundiranje
- Laboratorija za beton i cement
- Laboratorija za metal
- Laboratorija za konstrukcije i mostove
- Laboratorija za kolovozne konstrukcije
- Laboratorija za saobraćajnu signalizaciju

AKREDITOVANO SERTIFIKACIONO TELO - PREMA STANDARDU SRPS EN ISO/IEC 17065:2016

- Frakcionisani kameni agregat za beton i asfalt



Živorada Petrovića 13
21203 Vetenik, Novi Sad
Republika Srbija
+381 21 820 170
+381 21 820 180
+381 21 820 190
office@cpl.rs
www.cpl.rs



BIM CONSULTANTS



Value Added Service

Authorized Developer

Authorized Training Center

Autodesk Platform Services

(APS) Certified Partner



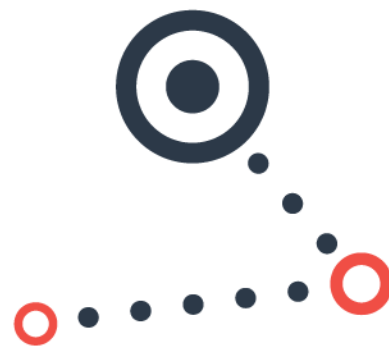
TeamCAD.rs



IDEL
ING

CAD Solutions

Projektovanje u niskogradnji, programiranje i razvoj CAD paketa
Novi Beograd, Srbija



DTmapping

DTMAPPING.COM

PROFESSIONAL GEODESY SERVICES
REALITY CAPTURE AND GIS





ASIP PREVENT

U bezbednom zagrljaju!

Lazara Stojkovića 19, 21000 Novi Sad
www.asipprevent.rs

**ŽIVOT JE LEPŠI
KADA BIRATE
KVALITETNO**



ŽIVI KVALITETNO

www.mapei.rs



best
izgradnja
NOVI SAD

**IZVOĐENJE
GRAĐEVINSKIH RADOVA
IZ OBLASTI
VISOKOGRADNJE
I NISKOGRADNJE,**

**PROIZVODNJA, TRANSPORT
I UGRADNJA BETONA,**

**PROIZVODNJA FERT GREDICA
I USLUŽNA OBRADA
BETONSKOG GVOŽĐA**

MAŠINSKI ISKOP I ODVOZ

**USLUŽNI TRANSPORT
GRAĐEVINSKOG MATERIJALA
I TEŠKE GRAĐEVINSKE
MEHANIZACIJE**

**PRODAJA GRAĐEVINSKOG
MATERIJALA**



IZABERITE NAJBOLJI PUT

Više informacija na: put-invest.com



AJDUKOVIĆ GRADNJA

Ajduković Gradnja je građevinska firma osnovana 04.10.2018. godine u Sremskoj Kamenici. Osnovna delatnost firme je izgradnja stambenih i nestambenih objekata najvišeg kvaliteta na celoj teritoriji Srbije i u regionu. Iza nas stoji veliki broj izvedenih objekata, kao i veliki broj zadovoljnih klijenata.

Glavna prednost Ajduković Gradnje je naš iskusni, stručni tim inženjera i veliki broj usko specijalizovanih majstora za izvođenje svih vrsta građevinskih radova.

Od svog osnivanja težimo ka angažovanju stručnih kadrova, primeni savremenih metoda u izvođenju građevinskih radova, primeni savremene tehničke opreme i mehanizacije, a veliki značaj i pažnju posvećujemo bezbednosti zaštiti na radu.





Saobraćaj

Građevinarstvo

Arhitektura

- Istraživanja.
- Studije.
- Planiranje.
- Projektovanje.
- Bezbednost saobraćaja.
- Geodezija.
- Geotehnička istraživanja.
- Laboratorijska ispitivanja.
- Nadzor nad izvođenjem radova.
- Sistemi za brojanje saobraćaja.
- Baze podataka.

<http://www.mhm-projekt.rs>

MHM-projekt d.o.o. Novi Sad, Jovana Popovića 40

e-mail: office@mhm-projekt.rs

tel./fax: +381 (0) 21 403 049



iNDiS2023

ISBN 978-86-6022-616-9