

Univerzitet u Nišu
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET



ZBORNIK
RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA

Niš | 2015 | broj 30

Univerzitet u Nišu
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET



ZBORNIK
RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA

Niš | 2015 | broj 30

IZDAVAČ

Građevinsko-arhitektonski fakultet
Niš, Aleksandra Medvedeva 14
Tel: +38118 588-202
+38118 588-181
<http://www.gaf.ni.ac.rs/>



ZA IZDAVAČA

Dekan dr Petar Mitković, red. prof.

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

Direktor dr Dragoslav Stojić, red. prof.

REDAKCIJA

dr Petar Mitković, red. prof.
dr Slaviša Trajković, red. prof.
dr Zoran Grdić, red. prof.
dr Danica Stanković, van. prof.
dr Gordana Topličić-Ćurčić, van. prof.
dr Vladan Nikolić, docent

TEHNIČKI UREDNIK

mr Radovan Cvetković, asistent

TEHNIČKA OBRADA

Predrag Lukić, master inž. građ.

LEKTOR ZA ENGLJSKI JEZIK

Goran Stevanović, dipl. fil.

Radovi su recenzirani
ISSN 1452-2845

štampa Grafika Galeb
Tiraž 250

PREDGOVOR

Poštovani čitaoci, podsećanja radi treba reći da je prvi broj Zbornika izdat 1980. godine. Uprkos najrazličitijim problemima na koje se u proteklom periodu nailazilo, publikovan je i ovaj 30 po redu Zbornik, čime se poštuje dinamika izdavanja jednog broja godišnje. Sadrži devetnaest radova iz skoro svih oblasti građevinarstva i arhitekture. Svi radovi su recenzirani od strane dva priznata stručnjaka iz odgovarajuće naučne oblasti, odnosno discipline.

Koncepcija časopisa je i ovom prilikom ostala nepromenjena, kako u pogledu namene i sadržaja, tako i u pogledu tehničke obrade. Kao i do sada časopis treba da omogući široj naučnoj javnosti uvid u naučno-istraživački rad Fakulteta čime bi se njegov ugled i ugled autora više vrednovao, između ostalog i zbog činjenice da su u našoj zemlji veoma retki fakulteti koji izdaju sopstvene časopise.

Zbornik je dostupan i putem prezentacije preko Interneta u saradnji sa Narodnom bibliotekom Srbije u punom obimu.

Prema kategorizaciji domaćih naučnih časopisa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Odbora za saobraćaj urbanizam i građevinarstvo za 2015. godinu, Zbornik je svrstan u kategoriju časopisa M52.

I na kraju, kako je to već običaj, pozivamo sve autore koji se bave naučno-istraživačkim radom da i u buduće daju svoj doprinos redovnom izlaženju Zbornika. Ovaj poziv je posebno upućen mladim saradnicima kojima je Zbornik često i prvi časopis u kojem su prezentovali svoj naučno-istraživački rad. Pozivamo i njihove starije kolege i mentore da im u tim nastojanjima pomognu korisnim savetima.

Glavni i odgovorni urednik,

Prof. dr Dragoslav Stojić, dipl. inž. građ.

Dekan,

Prof. dr Petar Mitković, dipl. inž. arh.

SADRŽAJ

Aleksandra Kostić dr Danica Stanković	Boja u arhitekturi predškolskih objekata	1
Aleksandar Atanasov	Zeleni krovovi, prednost recikliranih gumenih mrvica kao sloj za drenažu	11
Jelena Lazić dr Predrag Blagojević	Analiza perioda oscilovanja u prvom tonu I horizontalog pomeranja zgrade u zavisnosti od vrste materijala pregradnih zidova	27
Milovan Stanojev dr Slobodan Ranković dr Dragoslav Stojić dr Todor Vacev	Numeričko modeliranje armirano-betonske veze greda-stub	39
Marko Nakić dr Predrag Blagojević	Interakcioni dijagrami za jednoosno opterećenje pravougaone preseke prema Evrokodu 2	47
Milan Gligorijević dr Slobodan Ranković	Sistem upravljanja mostovima u kontekstu sanacije i ojačanja armiranobetonskog mosta u centru Niša	59
Mladen Milanović dr Milan Gocić dr Slaviša Trajković	Uparedna analiza globalnih solarnih radijacionih modela na teritoriji Srbije	67
dr Dragan Milićević Saša Živković dr Ljiljana Anđelković	Mogućnost korišćenja hidroenergetskog potencijala vodotoka na lokacijama sa malim padom	77
dr Jelena Marković Branković dr Milica Marković	Primena metode konačnih elemenata u analizi brana	97
Predrag Lukić Vanja Jovanović Nikola Stojić dr Vladan Nikolić Olivera Nikolić	Uparedna analiza različitih načina armiranja grede u softerskom paketu Ansys	123

dr Jelena Marković Branković dr Milica Marković	Proračun obloge hidrotehničkih galerija metodom konačnih elemenata	.....	137
Igor Bjelić	Črkva Sv. Petra kod Unjemira i jedan varijete tipa hramova sažetog upisanog krsta	.....	153
dr Biljana Mladenović dr Marina Mijalković dr Slavko Zdravković Miloš Keković	Uticaj promene krutosti na statički proračun jednospratnih AB ramova	.....	169
Mirko Stanimirović dr Petar Mitković dr Goran Jovanović Nataša Petković Grozdanović	Silueta grada kao kompozicioni fenomen	.....	181
dr Slavko Zdravković dr Tomislav Igić mr Dragan Zlatkov Stefan Conić	Značaj i uloga aseizmičkog projektovanja pri izgradnji građevinskih objekata	.....	195
Nemanja Petrović Olivera Nikolić dr Vladan Nikolić Predrag Lukić	Uticaj istorijskog nasleđa na formiranje zelenog pojasa u centralnoj zoni grada	.....	201
dr Duško Kuzović	Kompozicija volumena i fasada objekata na Trgu Partizana u Užicu (1961)	.....	211
Olivera Nikolić dr Vladan Nikolić dr Biserka Marković Nemanja Petrović Predrag Lukić	Franc (Franja) Bartoš – srpski inženjer u 19. veku	.....	229
dr Duško Kuzović	Ugostiteljski objekti u Srbiji 19. i 20. Vek: Gradska kafana na Trgu Partiuana u Užicu (1961)	.....	235
mr Marjan Mitić dr Dragan Milićević dr Gordana Milentijević dr Ljiljana Anđelković	Aplokacija vodnih resursa na slivu	.....	247

BOJA U ARHITEKTURI PREDŠKOLSKIH OBJEKATA

**Kostić Aleksandra¹
Stanković Danica²**

Rezime

Boja je mnogostruk pojam, koji se istražuje sa gledišta fizike, psihologije, arhitekture, umetnosti i sl. U arhitekturi objekata predškolskih ustanova jedan je od značajnih činioca prostora jer je u neposrednoj vezi sa psihičkim i emocionalnim stanjima dece predškolskog uzrasta. Pored toplotnog, akustičkog, vazdušnog i vizuelnog komfora imperativno potrebno je osvetarivanje i estetskog komfora, na koji između ostalog utiču implementirane boje. S obzirom na značaj i uticaj koji boja u arhitekturi predškolskih objekata ima u razvoju ličnosti deteta, u radu je naglasak stavljen na proučavanje korelacije kolorita spoljašnjeg i unutrašnjeg okruženja i deteta predškolskog uzrasta. Kroz analizu parametara estetskog komfora izvedenih predškolskih objekata u Srbiji i šire, napravljen je osvrt na aktuelno stanje kolorita, uz izdvajanje pozitivnih i negativnih projektovanih i realizovanih rešenja enterijera i eksterijera. Osnovni cilj istraživačkog rada ogleda se u intenciji za definisanjem svrsishodnog izbora boja i kompleksa tonova koji korespondiraju dečijim mogućnostima poimanja prostora i njegovog kolorita. Interpretirani rezultati istraživanja su u službi preporuka za buduću delatnost u sferi projektovanja spoljašnjeg i unutrašnjeg okruženja predškolskih objekata.

Ključne reči:

boja, značaj i uticaj, deca, predškolski objekti, revitalizacija.

¹ Aleksandra Kostić, saradnik u nastavi, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, aleksandrakostic85@gmail.com

² dr Danica Stanković, vanr. Prof. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, danica.stankovic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Boja, kao efikasan i moćan instrument, u korelaciji je sa dečjim napretkom, ponašanjem i ostalim psihološkim i mentalnim stanjima i sposobnostima i značajno doprinosi dečjem pravilnom razvoju. Parametar boja je drugi jezik pomoću koga deca mogu da rezonuju prostor i da se orijentišu u njemu. [1] Dete treba da razume boju jer ona na njega ostavlja određen psihološki utisak. [2] Opšte poznata je činjenica da odabir boja i njihovih nijansi u unutrašnjem i spoljašnjem fizičkom okruženju vrlo važan proces. Objekti predškolskih ustanova zahtevaju pažljiv i precizan izbor boja, s obzirom na to da su osnovni korisnici ovih ustanova deca u senzitivnoj uzrasnoj fazi.

Do danas su sprovedena brojna i značajna istraživanja u domenu uticaja boja na rad, učenje, igru i ostale sposobnosti i psihoemocionalna stanja dece. Mnoštvo je literature koja se bavi pitanjem relacije boja i emocija osoba u različitim dobima. Različita su mišljenja o uticaju boje na decu predškolskog uzrasta vladala počev od sredine XX veka pa do danas. Dok su jedne grupacije tvrdile da deca razumeju i prepoznaju samo osnovne boje, pa stoga one i treba da dominiraju prostorom i deluju stimulatивно, kasnije su se pojavila shvatanja da jarke i intezivne boje nisu poželjene u arhitekturi ovih ustanova, odnosno da prostor treba da podstiče formom i toplinom (pristup koji je podrazumevao prirodne boje i teksture, uz povremene akcente na arhitektonske elemente bojom). Arhitektonsko - vizuelni efekti spoljašnjih fasadnih ravni matičnih jedinica i celog objekta dečje predškolske ustanove, važni su za osećaj prijatnosti i potrebu dece da se zbliže sa identitetom kuće koja im zamenjuje dom. Otuda su prisutna stalna nastojanja arhitekata da u upotrebi preovladavaju prirodni i topli materijali (drvo, opeka), a da se formom, plastikom i bojama približe dečjoj mašti. [3]

Zbog značaja i uloge koju boja kao sastavni i neizostavni element svakog arhitektonskog objekta ima, pitanje korelacije boja sa aktivnostima i psihoemocionalnim stanjima dece dovedeno je u vezu sa arhitekturom objekata namenjenih njihovom vaspitanju i obrazovanju. U radu je analiziran aspekt uticaja spektra boja na decu predškolskog uzrasta i njena veza sa prostorom u funkciji zadovoljenja dečije potrebe za inspirativnom i stimulativnom sredinom. S ciljem pospešivanja dečjeg napredka uključeno je i pitanje oživljavanja kolorita objekata koji su delimično ili u potpunosti izgubili ambijentalni identitet. Osnovni cilj rada je uključivanje elementa boje u stvaranju arhitekture koja će biti primerena dečjim sposobnostima razumevanja i sagledavanja prostora, radi obezbeđivanja ugodnog i prijatnog boravka.

2. ZNAČAJ I FUNKCIJA BOJA U ARHITEKTURI PREDŠKOLSKIH OBJEKATA

Jedan od brojnih principa oblikovanja prostora predškolske ustanove, koje navodi Jeffrey A. Lackney, je bogato stimulišuće okruženje kreirano kroz primenu različitih boja, tekstura, odnosno primena "podučavajuće" arhitekture. [4] Boja u okruženju namenjenom za vaspitanje i obrazovanje treba da, između ostalog, svojim vizuelnim osobenostima pruža utisak opuštajućeg, a ujedno i stimulišućeg i podsticajnog ambijenta koji pospešuje vizuelne procese, smanjuje stres, izaziva razvoj mentalnih sposobnosti i to sve putem vizuelne stimulacije (relacije boja, istraživanje i utvrđivanje modela i šara). Vizuelne stimulacije zapravo pokreću mozak, izazivajući jače impulse i konekcije u toku kojih se realizuje vizuelno razmišljanje, rešavaju problemi i aktivira kreativnost. [5] Boja poboljšava stepen pažnje, pomaže intelektualni razvoj dece kroz mentalne stimulacije, pospešujući time njihovu kreativnost, maštu i pamćenje. Negativan uticaj boje, na neadekvatan način implementirane u dečje predškolsko okruženje, sagledava se kroz zamor očiju, odsjaj, odvlačenje pažnje i smanjene koncentracije. Pravilna upotreba boja može svakako doprineti pozitivnoj percepciji prostora, čime se ujedno efikasno utiče na aktivnosti dece i smanjuje negativno ponašanje i agresija. Prisustvo kolorita boja smanjuje monotoniju i pasivnost prostora (slika 1). Dakle, u prostorima dečjih predškolskih ustanova treba uvrstiti i primeniti različite boje kako bi se smanjila jednoličnost prostora i pospešilo i osvežilo vizuelno opažanje. Međutim, u tome treba pronaći umerenost. Preterana upotreba boja (više od šest boja) u okruženju čini napor za kognitivne sposobnosti dečjeg uma. S druge strane, postoji mišljenje da su dečji predmeti za igru i rekviziti za obavljanje različitih vidova aktivnosti sami po sebi dovoljno šareni, pa je stoga poželjno da kolorit prostora bude sveden ili monohromatski (slika 2).



*Slika 1: Tuomarilan päiväkoti, Espoo, Finland; Dečiji vrtić u Brnu
<http://edfacilitiesinvestment-db.org/facilities/66;>
<http://www.liveindesign.cz/kindergarten.php>*



Slika 2: Dečji vrtić Maria Enzersdorf, Austria

<http://www.e-architect.co.uk/vienna/kindergarten-maria-enzersdorf>

3. SELEKCIJA BOJA

Kolorit boja prisutan u eksterijeru i enetrijeru predškolskih objekata treba svakako biti srazmeran dečjim mogućnostima poimanja prostora i njegovih komponenti. Uticaj koji primenjena boja u arhitektonskoj kompoziciji prostora proizvodi na opšta stanja i sposobnosti dece i nastavno osoblje je višestruk i od velike važnosti. Boja se dovodi u vezu sa fiziološkim i psihološkim stanjima kako dece tako i odraslih i ima kako pozitivne tako i negativne efekte. Fiziološki uticaj boja, usled izloženosti oka određenom spektru i kompoziciji boja, ogleda se kroz promenu krvnog pritiska, temperature, otkucaja srca, disanja, i aktivnosti mozga. Takođe, boja ima jak uticaj na emocije i osećanja. [5] U tom smislu, neke boje vezuju se sa nekoliko različitih emocija, a važi i obratno, neke emocije mogu biti povezane sa više od jedne boje (slika 3). [6] Istraživanjima je ustanovljeno da svetle boje poput žute i zelene podstiču pozitivna raspoloženja, dok tamnije boje dovode do negativnog raspoloženja. Prema Taylor and Gousie tople boje izazivaju mišićnu aktivnost i povećavaju krvni pritisak, dok ih hladne boje opuštaju i smiruju. [7] Na osnovu toga u dečjim matičnim jedinicama boravaka poželjni su topli tonovi koji stvaraju opuštajuću atmosferu u kojoj se deca mogu usredsrediti na odvijanje njihovih predviđenih dnevnih aktivnosti. Važeća zakonska regulativa (Normativ za planiranje, izgradnju i opremanje predškolskih ustanova) predlaže upotrebu svetlih i mirnih boja za prostorije dečjeg grupnog boravka. [8] Ovaj predlog je svakako opravdan jer se njime stvara atmosfera koja ne remeti odvijanje njihovih svakodnevnih aktivnosti. Postojanje jedinstvenog mišljenja o kolorisanju prostora predškolskih objekata nije izvesno, i može se reći da je zasnovano na ličnim-osobenim idejama i shvatanjima projekatnata prostora namenjenog deci.



Slika 3: Deca u okruženju obogaćenom bojama
<http://blog.novakdjokovicfoundation.org/sr/edukacija/zasto-je-predskolsko-obrazovanje-dobro-za-vase-dete/>

4. ISPITIVANJE ODNOSA PROSTOR - DEČJI RAZVOJ

Opšte je poznato da kvalitet fizičkog, projektovanog okruženja centara za decu predškolskog uzrasta –veličina, zapremina, privatnost, dobro osmišljena organizacija aktivnosti, modifikovan “open –plan” prostor, raznovrstane tehničke karakteristike projektovanog prostora i svojstva spoljašnjeg prostora za igru je u vezi sa kognitivnim, socijalnim i emocionalnim razvojem. [9] Navedeni faktori sumarno utiču na odvijanje predviđenih dnevnih aktivnosti dece, odnosno na njihovo psihofizičko i zdravstveno stanje. Od kvalitativnih svojstava projektovanog unutrašnjeg i spoljašnjeg okruženja fizičke strukture i instalirane opreme i nameštaja umnogome će zavistiti uspešnost dečjeg pravilnog rasta i razvoja. Parametar boja je, pored napred izdvojenih elemenata takođe jedan od bitnijih faktora prostora predškolskih objekata koji može značajno da doprinese uspostavljanju bogatijeg i inspirativnijeg okruženja, odnosno plodne klime za vaspitanje i obrazovanje dece predškolskog uzrasta.

Deca predškolskog uzrasta upoznaju okolnu sredinu putem sistema čula (dodir, miris, vid, sluh), pa stoga i fizičke strukture u kojima borave u toku jednog dela dana treba da zadovolje njihove potrebe, da ih podstiču i aktiviraju istraživanje okoline. "Projektovani elementi prostora mogu pružiti potporu detetu i pomoći mu da funkcioniše u granicama svojih sposobnosti, a istovremeno provocirati procese koji vode napretku." [10] Stoga, boja može biti odgovor na

brojne funkcionalne i estetske zahteve u funkciji zadovoljenja njihove potrebe za atraktivnim okruženjem. Snalaženje dece u prostoru predškolskog objekta može biti poboljšano jasnim diferenciranjem delova prostora putem kolorisanja uz pravilan izbor boja, čime se i dinamika prostora uzdiže na viši nivo. Tako tople nijanse spektra boja mogu se upotrebiti s ciljem uspostavljanja intimnije sredine, odnosno mogu vizuelno smanjiti obim i volumen prostorije, dok se hladne boje koriste da vizuelno uvećavaju prostor čineći ga tako neograničavajućim, odnosno više slobodnijim. Estetski zahtevi se svakako vezuju za atraktivnost, kreativnost, maštovitost i raznolikost prostora izraženu kroz kombinaciju boja, tekstura, oblika, volumena i sl. Estetika projektovanog prostora i estetika opreme, izražena kroz oblik, boju, teksturu, doprinose da boravak dece u unutrašnjem okruženju predškolskog objekta bude ugodniji i stimulativniji (slika 4, 5).



Slika 4: Dečji vrtić u Alcorcón pored Madrida

<http://architecture.mapolismagazin.com/rueda-pizarro-arquitectos-escuela-infantil-alcorcon-madrid>



Slika 5: Dečji vrtić Taka –Tuka- Land u Berlinu, Nemačka

<http://www.thecoolhunter.net/article/detail/1287/takatukaland-kindergaten-berlin>

5. ANALIZA STANJA KOLORITA PREDŠKOLSKIH OBJEKATA U SRBIJI-JUGOISTOČNI REGION

Novije doba uključilo je procese kojima se duh i identitet objekta transformiše i preoblikuje u novo oplemenjeno stanje. Revitalizacijskim koracima i akcijama svakako se može uticati na poboljšanje ne samo fizičkih, energetskih karakteristika objekata, već i na ambijentalna, estetska svojstva. Ovim putem ostvaruje se svrsishodnija upotreba spoljašnjeg i unutrašnjeg okruženja. Oživljavanje predškolskih objekata, stoga bi trebalo da obuhvati i implementiranje elementa boje (kolorizacija fasadnih i unutrašnjih ravni, kao i zamena dotrajale opreme novom koloritnom opremom), u delimično ili potpuno osiromašenu i zastarelu arhitekturu namenjenu deci.

Značajniji procenat objekata predškolskih ustanova širom Srbije čine objekti građeni u periodu druge polovine XX veka. Analizirajući objekte jugoistočnog regiona Srbije (uzorak od 32 predškolska objekata) [11], sa aspekta kolorita spoljašnjih fasadnih ravni, unutrašnjeg okruženja i opreme, generalno je ustanovljeno odsustvo elemenata inspirativnog spoljašnjeg i unutrašnjeg okruženja (opšta devastacija enerijera, slika 6 i slika 7). U objektima pretežno dominiraju svetli tonovi zidnih i plafonskih površina, prirodne nijanse fasadnih ravni dok su intenzivniji tonovi boja prisutni kod dečjih rekvizita i produkata dečjih aktivnosti.



Slika 6: Eksterijer obdaništa Slavuj, Niš i dečjeg vrtića Palčić, Niš [11]



Slika 7: Unutrašnje okruženje dečjeg vrtića Snežana, Kragujevac i dečjeg vrtića Lane, Leskovac [11]

Stoga, na osnovu sprovedenih istraživanja, može se zaključiti da je u postupcima revitalizacije kod ovih objekata neophodno potrebno uvrstiti i uključiti oplemenjivanje prostora kolorisanjem površina i opreme. Svakako je potrebno u tom procesu detaljno analizirati i oceniti u kojoj meri je potrebno izvršiti oživljavanje prostora-bojenje prostora (pravilan izbor pozicija koje je potrebno bojiti, pravilan izbor boja i tonova).

6. ZAKLJUČAK

Boja u predškolskim objektima ima ključnu ulogu. Na osnovu svega napred analiziranog i razmatranog može se zaključiti da je boja, pored ostalih arhitektonskih elemenata, jezik vizuelnog identiteta fizičkih struktura. Predškolski objekti svojom formom, funkcijom, materijalizacijom, primenjenim teksturama i kompozicijom boja treba da obezbede prijatnu i ugodnu sredinu koja će svakako biti baza za dalje uspešno i efikasno napredovanje i razvoj dece. Inspirativno i izazovno okruženje predškolskih ustanova, a koje je i dovoljno raznovrsno za zadovoljenje brojnih potreba dece kreira se između ostalog uvođenjem elementa boje. Njen značaj ogleda se u uticaju koji ona ima na fiziološka i psihološka stanja dece (psihičko zdravlje, moral, emocionalno stanje, ponašanje i nastup dece predškolskog uzrasta). Stoga je donošenje ispravnih odluka o izboru boja od bitne važnosti za kreiranje sredine u kojoj deca bivaju vizuelno stimulirana i podstaknuta da istražuju prostor i uče. Osnovna težnja u procesu koloracije ovog tipa javnih objekata sagledava se u uspostavljanju parametara estetskog i vizuelnog komfora, pravilnom selekcijom i kompozicijom boja. Rezultat ovog istraživačkog rada sagledava se u doprinosu

donošenja odluka u procesu koloracije objekata namenjenih vaspitanju i obrazovanju dece predškolskog uzrasta.

7. LITERATURA

- [1] Dudek, M., Kindergarten architecture, E & FN Spon, London, 1996.
- [2] Ivanovic-Sekularac, J., Predškolske ustanove i komfor, Biblioteka ACADEMIA, Zaduzbina Andrejevic, Belgrade, 2000.
- [3] Stankovic, D., Aspekti vrednovanja nacina materijalizacije i stepena ekonomičnosti u projektovanju matičnih jedinica dečijih ustanova, Zbornik radova Gradjevinsko-arhitektonskog fakulteta, Nis, 2003., 19, pp. 53-62.
- [4] Krklješ, M., Programski, funkcionalni i prostorni činioci arhitekture predškolskih ustanova u Vojvodini, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2011.
- [5] Daggett, W., Cobble, J., Gertel, S., Color in an Optimum Learning Environment, Rigor, Relevance, and Relationships for ALL Students, 2008.
Lang, J. (1993). Creating architectural theory: The role of the behavioral sciences in environmental design. New York: Van Nostrand Reinhold
Hemphill, M. (1996). A note on adults' color-emotion associations. Journal of Genetic Psychology, 157, 275-281
Mahnke F. (1996). Color, environment, human response. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [6] Lawson, B., The Language of Space, 2001., Architectural Press, Oxford, pp. 63.
- [7] Spencer, C., Blades, M., Children and their Environments: Learning, Using and Designing Spaces, Cambridge University Press, New York, 2006., pp. 98
- [8] Normativi za planiranje, izgradnju i opremanje predškolskih ustanova, Beogradska zajednica obrazovanja i Gradski fond za neposrednu deciju zastitu, Belgrade, 1972.
- [9] Moor G., Takemi S., O Donnell L., Children's physical environments rating scale, Australian Early Childhood Education 2003 Conference, Hobart, Australia, 2003.
- [10] Stankovic, D., Svojstva prostora za boravak u funkciji psiholoskog razvoja dece, Zbornik radova Gradjevinsko-arhitektonskog fakulteta, Nis, 2007., 22, pp. 175-180.
- [11] Stankovic, D., et al. (2011.) Scientific Project "Revitalisation of the Kindergartens in Serbia – Program and Methods for Improvements of Ambient, Functional and Energetic Quality" AnnualReport, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Nis

ZELENI KROVOVI. PREDNOSTI RECIKLIRANIH GUMENIH MRVICA KAO SLOJ ZA DRENAŽU

Aleksandar Atanasov¹

Rezime

Kako raste populacija potreba za gradnjom je sve veća. Samim tim smanjuju se zelene površine što negativno utiče na ozonski omotač. U novije vreme počela je primena zelenih krovova kako bi se negativan uticaj na ozonski omotač smanjio. Kako bi se još više smanjio štetni uticaj (kao što je uništavanje prirodnih pejzaža prilikom vađenja prirodnog kamena), za određene slojeve se koriste reciklirani materijali.

Otpada je sve više, a sa tim raste i potreba recikliranja materijala. Guma kao vestački materijal nije podobna za uništavanje jer se spaljivanjem gume oslobađaju štetni gasovi koji su loši za ozonski omotač. Kako ne bi imali štetne uticaje po okolinu, otpadna guma se može iskoristiti za drenažne slojeve zelenih krovova. Samim tim smo štetne uticaje eliminisali a dobili povoljne uticaje.

Zeleni krovovi imaju i druge povoljne uticaje kao što su: toplotna i zvučna izolacija, zadržavanje vode za vreme velikih kiša, ušteda električne energije za grejanje i hlađenje ali i druge prednosti. Data je uporedna eksperimentalna analiza za određivanje drenažne slojeve od puzolana, gumenih mrvica, kao i analiza sa standardnom izolacijom.

Ključne reči: Reciklirane gumene mrvice, zeleni krovovi, ušteda energije, izolacija.

¹ Atanasov Aleksandar, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Niš

1. UVOD

Održiva gradnja zahteva sisteme i materijale koji omogućuju integraciju prirodnih procesa zaštite životne sredine u izgradnji, kao što su ekstenzivni zeleni krovovi. Ekstenzivni zeleni krovovi su prihvaćeni prethodnih godina kao konstruktivni sistem koji nudi zanimljive prednosti životne okoline za razliku od uobičajenih rešenja, kao što su poboljšanje otpornosti hidroizolacionih materijala štiteći ih od sunčevog zračenja [1], smanjenje površine oticanja u velikim gradovima [2], unapređenje urbane sredine [3,4], toplotna i zvučna izolacija kao i ušteda energije [5-7].

Zeleni krovovi se obično sastoje iz sledećih slojeva (spolja prema unutra) [8,9]:

- a) Sloj vegetacije.
- b) Podloga: obično je od obradivog ili baštenskog zemljišta. Obezbeđuje hranljive materije biljkama i ima sposobnost zadržavanja vode.
- c) Filter: obično je membrana od polipropilenskih ili poliestarskih geoteksila. Voda može da prođe kroz filter ali ne prolaze male čestice podloge koje bi zapušile šupljine u drenažnom sloju.
- d) Drenažni sloj: obezbeđuje optimalnu ravnotežu vazduha i vode ali mora zadržati vodu kada pada kiša kao i da obezbedi dobru drenažu i protok vazduha podloge i korena. Za drenažni sloj se mogu koristiti:
 - Polietilenski ili polistirenski modularni paneli u kojima se voda zadržava ali dozvoljava oticanje viška vode obezbeđujući dobru ventilaciju,
 - Sloj koji se sastoji od poroznih kamenih materijala sa nekim kapacitetom zadržavanja vode, kao što je keramzit, škriljac, plavac i prirodni puzolan.
- e) Zaštitni sloj: Obično je od geotekstilnih polipropilenskih ili poliestarskih membrana koji obezbeđuju mehaničku zaštitu donjih slojeva a posebno hidroizolacije.
- f) Barijera korena i hidroizolacija: štiti konstrukciju od korena u vode. Obično je od bitumena ili PVC folije ojačane poliestrom,

fiberglasom, plastikom i mineralnim granulama. Neke su napravljene i od sintetičke gume ili polietilena.

Zeleni krov je konstruktivno rešenje dizajniran sa ciljem izgradnje održivih i zelenih zgrada. Ali je dizajn baziran na konvencionalnim materijalima kao što su paneli od polipropilena ili polistirena, keramzita, prirodnog puzolana, bitumena ili PVC folija. U prethodnom opisu slojeva, za drenažni sloj se koriste i porozni kameni materijali. Vađenje ovih prirodnih materijala dovode do velikog uticaja na životnu sredinu: uništenje prirodnih pejzaža, uticaj na životnu sredinu, višak u upravljanju otpadom kao i rast drugih nepovoljnih uticaja na životnu sredinu [10]. Zato je potrebno koristiti materijale sa manjim uticajima na životnu okolinu kao što su reciklirani materijali.

Do sada je proizvedena velika količina otpadnog materijala kojim je teško upravljati. Otpadni materijal koji se može iskoristiti za drenažni sloj je usitnjena guma različite granulacije, koja nema nikakvog štetnog uticaja na okolinu i ljude [11,12]. Agregat dobijen od gume se koristi kao osnova za puteve i pruge, kao zamena peska i šljunka kao drenažnog materijala, ispunjenje posteljice i nasipa, ispunjenje nasipa za zidove i mostove, i podna izolacija za puteve. Agregat dobijen od gume je 30-50% lakši, obezbeđuje osam puta bolju izolaciju od šljunka i odvodi vodu deset puta brže nego dobro granulirana zemljišta [13].

U prethodnom tekstu je razmatrana upotreba gumenih mrvica za drenažni sloj na ekstenzivnim krovovima. Vila i ostali utori [14] su razmatrali prednosti upotrebe gumenih mrvica za drenažni sloj umesto poroznih kamenih materijala, i pokazali su da je dobra zamena za drenažni sloj. Perez i ostali autori [15] su proučavali sposobnost drenaže reciklirane gume i upoređivali sa hidrauličkom provodljivošću puzolana. Ispitivan je uticaj reciklirane gume na razvoj biljaka, kao i uticaj različite veličine mrvica gume na termičku izolaciju i pokazano je da je slična puzolanu. Voronina i Horoshenkov [17] su ispitivali vermikulit, perlit, keramzit i reciklirane gumene mrvice na zvučnu apsorpciju. Iako među ispitivanim uzorcima nije bio puzolan, on se može uporediti sa uzorcima koji imaju sličnu poroznost među ispitivanim uzorcima.

Tselekis [16] je uporedio sisteme zelenih krovova sa krovovima sa konvencionalnom izolacijom i bez izolacije kako bi pokazao uštedu energije zelenih krovova i prednost u ceni koštanja konstrukcije.

2. EKSPRIMENTI

Rađeni su eksperimenti za uštedu energije, zadrenažnu sposobnost reciklirane gume, i prednosti gume kao zvučne izolacije.

Eksperiment za potrošnju energije

Eksperiment u vezi sa potrošnjom energije rađen je u gradu Puigverd de Lleida u Španiji (slika1). Grad se nalazi na 219 m nadmorse visine gde je zastupljena suva Mediteranska kontinentalna klima, karakteristična po velikim sezonskim varijacijama. Ima nizak nivo padavina, podeljene na dve sezone (proleće i jesen), i veliku razliku temperature između duge zime i veoma toplog leta (zima može da traje i do 160 dana). Prosečna godišnja količina padavina je 350-550 mm, a srednja godišnja temperatura se kreće oko 12 i 14°C sa temperaturnim promenama od 17-20°C.

Za eksperiment su sagrađene četiri kućice (kao kocke) sa ravnim krovovima unutrašnjih dimenzija 2.4x2.4x2.4 m, na temeljnoj ploči od betona sa lomljenim kamenom ojačan gredama dimenzije 3x3 m. Zid se sastoji od sledećih slojeva (spolja prema unutra):cementni malter, šuplja cigla (30x19x19 cm) i gipsani sloj. Za zidnu fasadu nije korišćena nikakva izolacija.

Razlika između kućica je u slojevima ravnom krovu:

- a) Zeleni krov sa slojem od recikliranog materijala: krovna konstrukcija tipa fert d=25cm, sloj betona za nagib od 2%, dupli hidroizolacioni sloj, reciklirane gumene mrvice d=4cm (zrna 2-3mm) i sloj zemlje d=5cm (slika 2c).
- b) Zeleni krov sa konvencionalnim materijalom: slojevi su isti kao pod a) samo je umesto reciklirane gume korišćen vulkanski šljunak puzolan (zrna 4-12mm) iste debljine od d=4cm (slika 2b).
- c) Krov sa standardnom izolacijom: krovna konstrukcija tipa fert d=25cm, sloj poliuretinske izolacije d=3cm, sloj betona za

nagib od 2%, dupli hidroizolacioni sloj sa završnim slojem šljunka od $d=7\text{cm}$ (slika 2a).

- d) Krov bez ikakve izolacije: sličan kao pod c) jedina je razlika što nema sloja za izolaciju (slika 2a).



Slika 1. Eksperimentalne kućice u Puigeverd de Lieida.



a)



b)

c)

Slika 2. a) Krov sa standardnom izolacijom, b) zeleni krov sa puzolanom i c) zeleni krov sa gumenim mrvicama.

Na zelenim krovovima je zasađeno dva tipa biljke i to *Sedum*, *Lampranthus* i *Delosperma* [14] (slika 3). Sa gledišta težine krova, zeleni krovovi su lakši od standardno izolovanih krovova sa šljunkom.



Slika 3. Zeleni krovovi sa procentom vegetacije od 20-25%.

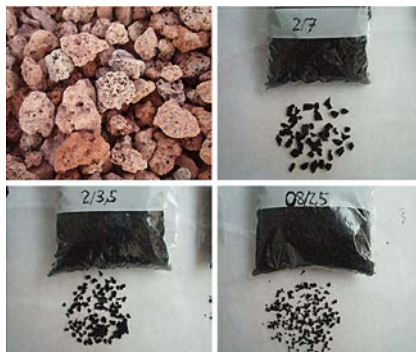
Beleženi su podaci na intervalu od 5 minuta da bi se odredio učinak svakog krovnog sistema na temperaturu:

- Unutrašnja temperatura zidova (sve šest stane kocke), kao i spoljna temperatura zida severne strane.
- Unutrašnja temperatura i vlažnost na visini od 1.5m.
- Gubitak toplote na južnom zidu (spolja i unutra).
- Ušteda električne energije klima uređaja ili električnog grejača.
- Sunčevu radijaciju.
- Spoljna temperatura i vlažnost.

U kućicama je temperatura održavana na optimalnom nivou (eksperimentalni opseg temperature 16-24°C, komforni opseg temperature: leti 23-26°C, zimi 20-24°C).

Eksperiment drenažne sposobnosti

Ispitivanje drenažne sposobnosti je rađeno na istom mestu u Španiji u laboratoriji pod stalnim opterećenjem [14]. Ispitivani materijal za drenažni sloj je puzolan (P) sa veličinom zrna 4-12mm i reciklirana guma (G) sa tri različite granice veličine zrna, 2-7mm (G-Velika), 2-3.5mm (G-Srednja), 0.8-2.5mm (G-Mala) (Slika 4). Tokom jeseni 2009. godine vršeno je ispitivanje nekoliko posuda.



Slika 4. Materijal za drenažni sloj. Puzolan i tri vrste gume.

U posudama (slika 5) nije bilo potrebe za svim slojevima kao kod ispitivanih kućica. Postojao je drenažni sloj debljine 4cm i sloj zemlje. Za drenažni sloj korišćen je puzolan i reciklirana guma (G-Velika, G-Srednja, G-Mala). Biljke koje su zasađene su Mesum Pendulina i Rosemary. Analizirana je sposobnost zadržavanja vode i razvoj biljaka.



Slika 5. Eksperimentalni zeleni krovovi u posudama.

Ispitivanje zvučne karakteristike

Funkcija novog empirijskog modela je da ponudi odgovarajući alat za predviđanje apsorpcionog koeficijenta (α_0) rastresitih granularnih mešavina slojeva tvrdih podloga. Korisno je pokazati razliku između teoretskog modela (Attenborough model [18]) i predloženog empirijskog modela za predviđanje vrednosti apsorpcionog koeficijenta poroznih slojeva tvrde podloge.

$$\alpha_0 = 1 - \left| \frac{z_s - 1}{z_s + 1} \right|^2$$

Gde je $z_s = W \coth(\gamma l)$ normalizovani površinski otpor, i l je debljina sloja.

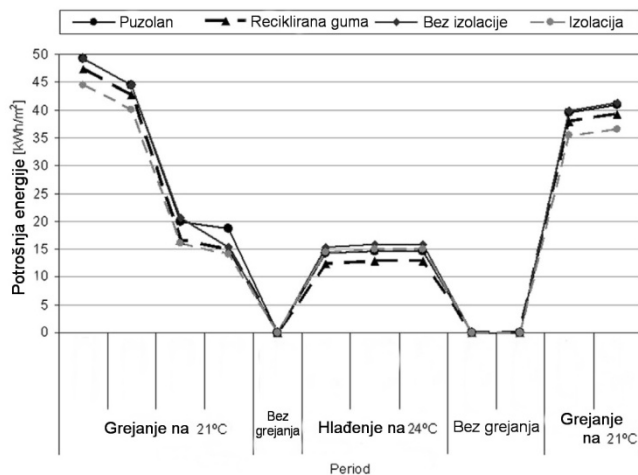
3. REZULTATI

Ušteda energije

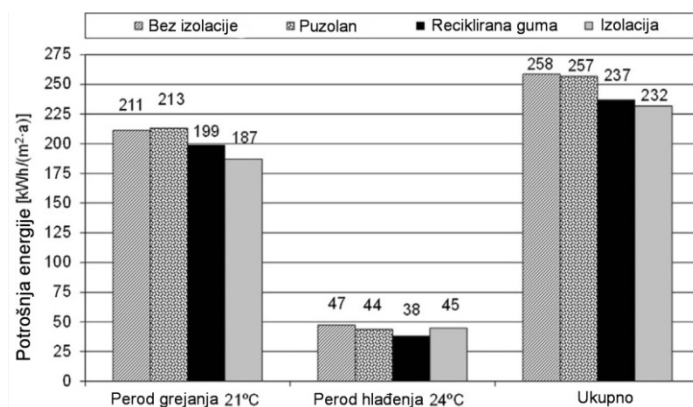
Svaki sloj je posebno analiziran. Gumene mrvice su dobijene od otpada korišćenih guma u lokalnoj prodavnici za reciklažu korišćenih guma u Lleidi. Puzolan je donošensa površinskih kopova koji se nalaze na ostrvima Canary. Obični šljunak je vađen iz lokalnih kopova šljunka u okolini Lleide.

Za svaku kućicu je merena i zabeležena (slika 6.) potrošnja energije utrošena za grejanje i hlađenje na godišnjem nivou, kako bi se dobilo kolika je ušteda na energiji u zavisnosti od različitog krovnog sistema. Godišnja potrošnja energije je podeljena na tri perioda: a) period grejanja (optimalna temperatura od 21°C je postignuta toplotnim pumpama), b) period hlađenja (optimalna temperatura od 24°C je postignuta pumpama za hlađenje), i c) period bez potrošnje struje. Period grejanja je bio u mesecima Novembar, Decembar, Januar, Februar, Mart i April, period hlađenja Jun, Jul i Avgust dok je period bez potrošnje bio Maj, Septembar i Oktobar.

Na grafikonu (slika 7.) recikirana guma je dala najbolje rezultate u periodu hlađenja i dala je bolje rezultate kao izolacija tokom cele godine od puzolana (tabela 1.). Ukupna godišnja potrošnja energijekod krova sa recikliranom gumom je veoma slična sa standardno izolovanim krovom. Kada se upoređuje krov sa recikliranom gumom i krov sa standardnom izolacijom prednost ide zelenom krovu sa recikliranom gumom jer ima niz prednosti u odnosu na standardno izolovan krov.



Slika 6. Godišnja potrošnja električne energije pumpe za grejanje i hlađenje po metru kvadratnom.



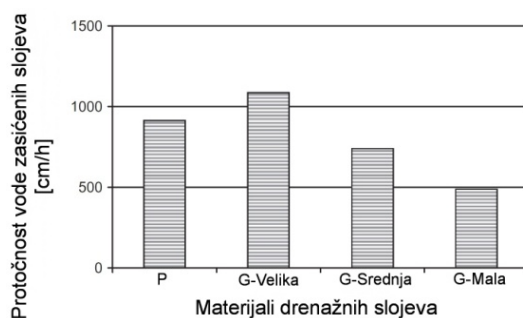
Slika 7. Potrošnja električne energije pumpe po metru kvadratnom za jednu godinu.

Tabela 1. Ukupna godišnja potrošnja električne energije pumpe (kWh/godini)

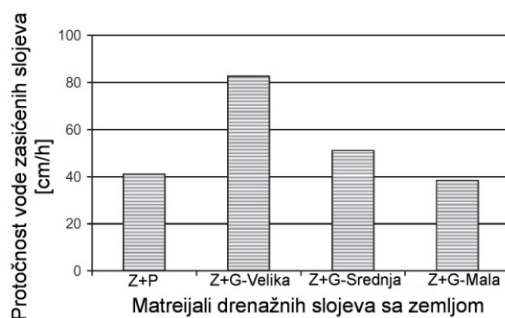
Period	Zeleni krov		Standardni krov	
	Reciklirana guma	Puzolan	Bez izolacije	Standardna izolacija
Grejanja	1243,8	1331,3	1318,8	1168,8
Hlađenja	237,5	275	293,8	281,3
Ukupno	1481,3	1606,3	1612,6	1450,1

Drenažna sposobnost materijala

Slika 8 i 9 pokazuju protočnost vode (drenažnu sposobnost) za različite drenažne slojeve. Kada postoji samo drenažni sloj bez sloja zemlje (slika 8a.), oticanje vode je veliko, više od deset puta više nego kada ima oba sloja, sloj zemlje i drenažni sloj (slika 8b.).



a)

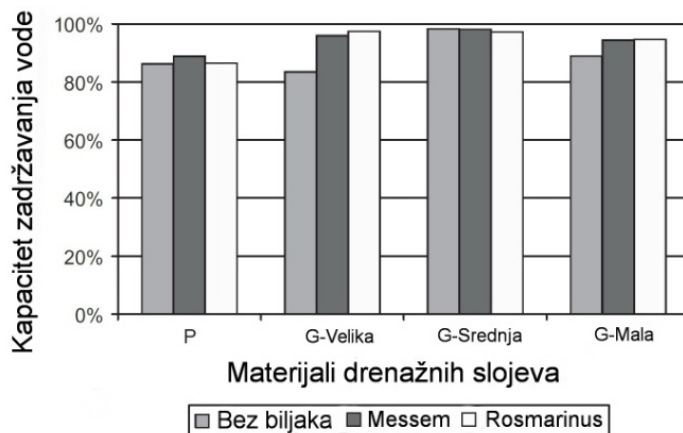


b)

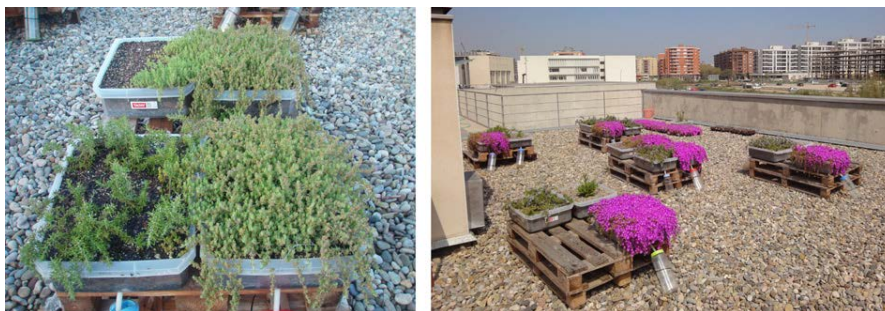
Slika 8. Protočnost vode kada su slojevi zasićeni vodom: a) samo drenažni sloj, b) zajedno, zemlja i drenažni sloj

Kao što se može primetiti (slika 8b) drenažna sposobnost zemlje sa gumom (G-Mala i G-Srednja) je slična rezultatu koji je dao puzolan sa zemljom. Stoga se guma sa veličinom zrna G-Mala i G-Srednja može koristiti umesto puzolana za drenažni sloj.

Procenat vegetacije kao i različite vrste biljaka imaju učinak na zadržavanje vode. Na slici 9 je dijagram procenta zadržavanja vode u eksperimentalnim posudama za period analize eksperimenta sa različitim sortama biljaka. Guma ima malo bolje rezultate od puzolana (3-12% veće) osim za gumu G-Velika bez biljaka.

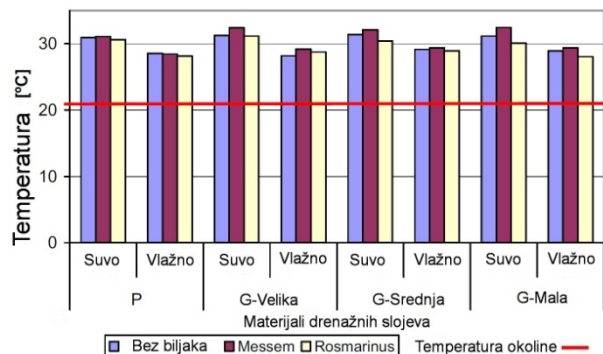


Slika 9. Kapacitet zadržavanja vode zelenih krovova u eksperimentalnim posudama



Slika 10. Biljke u eksperimentalnim posudama

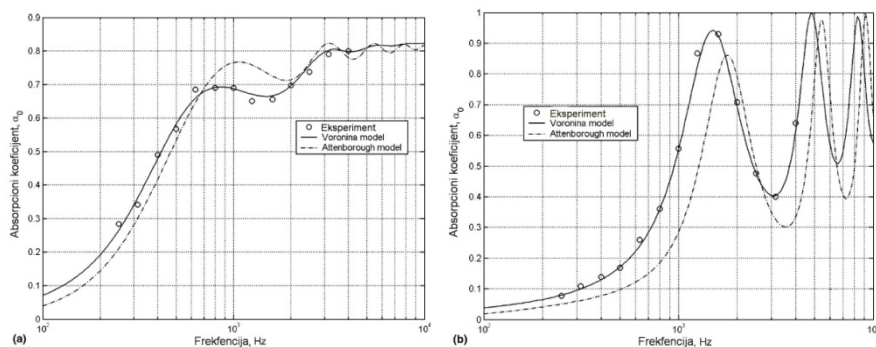
Takođe je jednom nedeljno merena i temperatura zemlje digitalnim termometrom na dubini od 2cm. Na grafikonu (slika 11.) je prikazana prosečna temperatura u zavisnosti od vrste drenažnog materijala. Vidi se da je temperatura zemlje veća za oko 10-13°C od okolne temperature. Takođe je temperatura posuda koje sadrže drenažni sloj od gumenih mrvica bila veća 2-3°C u vlažnom stanju, i 1-2°C u suvom stanju od posude sa drenažnim slojem puzolana.



Slika 11. Prosečna temperatura zemlje u posudama sa zelenim krovovima

Ispitivanje zvučne karakteristike (koeficijent apsorpcije)

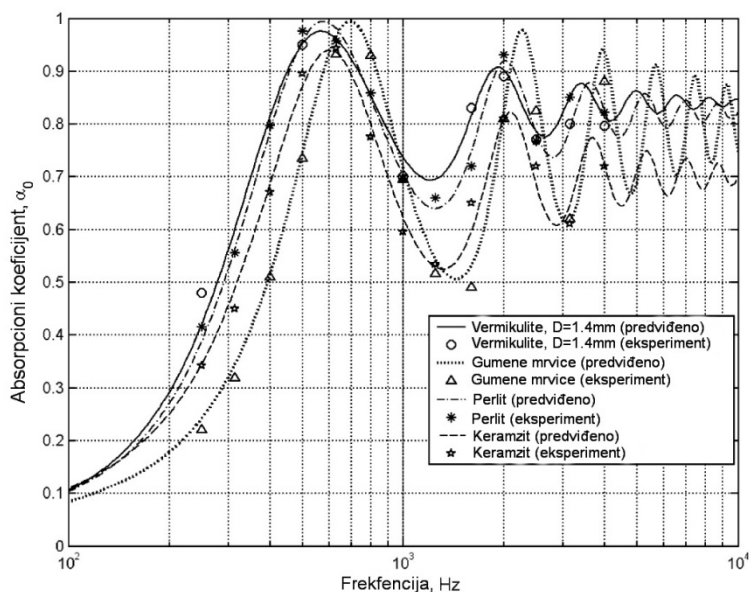
Na slici 12a je prikazana zavisnost frekvencije i apsorpcionog koeficijenta (merena i pretpostavljena) za debljinu sloja vermikulita od 40mm, dok je na slici 12b ista zavisnost ali gumenih mrvica. Na slikama je prikazana uporedna analiza eksperimenta i pretpostavljenih modela za analizu, ali ono što je ovde bitno da je apsorpcioni koeficijent gumenih mrvica bliži jedinici dok apsorpcioni koeficijent vermikulita ne može da dosegne tu vrednost ni na većoj frekvenciji.



Slika 12. Upoređivanje apsorpcionog koeficijenta sloja od 40mm (a) vermikulita i (b) gumenih mrvica.

Na slici 13 je prikazan apsorpcioni koeficijent četiri različite rastresite granuralne mešavine čiji je sloj debljine 80mm. Kao što se vidi na slici 13 jedino apsorpcioni koeficijent gumenih mrvica i perlita

dostigne skoro maksimalnu vrednost absorpcije, dok ostali rastresiti materijali imaju nešto nižu vrednost. Na 700 Hz absorpcioni koeficijent gumene mrvice ima maksimalnu vrednost.



Slika 13. Spektar absorpcionog koeficijenta nekoliko rastresitih granularnih materijala debljine sloja 80mm.

4. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad je pokazana prednost recikliranih materijala, tj. gumenih mrvica za upotrebu kao sloja zelenih krovova. Gumene mrvice su imale prednost kada je bila u pitanju potrošnja energije, tj. Pokazano je da zeleni krovovi sa slojem od gumenih mrvica imaju bolje termičke karakteristike nego li zeleni krovovi sa drugim prirodnim materijalima. Ušteda energije krova sa slojem od gumenih mrvica (u odnosu na neizolovan krov) na godišnjem nivou po m^2 je oko 8%, sa puzolanom je oko 0.4%, i sa standardnom izolacijom je oko 10%. Kao što se vidi krov sa standardnom izolacijom ima najveću uštedu energije ali krov sa takvom izolacijom ima samo tu prednost. Na primer kada dođe do sanacije krova, lakše je ukloniti rastresite materijale nego li izolaciju na bazi polistirena, koja se zalepi za vodonepropusni sloj od bitumena i koja više nije za upotrebu. Puzolan

pokazuje male prednosti kada ga uporedimo neizolovanim krovom ali ne i prednosti kada je reciklirana guma u pitanju.

Drenažna sposobnost je veoma bitna u velikim gradovima kada su velike kiše, jer ako je drenažna sposobnost krova dobra dolazi do rasterećenja kanalizacionih odvoda. Rezultati su pokazali da su gumene mrvice (srednje i male veličine zrna) u prednosti kada je u pitanju drenažna sposobnost i kapacitet zadržavanja vode. S obzirom da je puzolan porozan materijal a guma nije, možda se može, presom na čijoj se površini nalaze iglice, stvoriti poroznost tj. povećati površina kvašenja i samim tim bi se povećao kapacitet zadržavanja vode. Pošto gumene mrvice (srednje i male) već imaju dobru sposobnost zadržavanja vode prethodno predloženo bi se moglo uraditi sa krupnim gumenim mrvicama koje su ispitivane.

Opšte je poznato da je guma odličan zvučni izolator, što je i eksperimentima potvrđeno, samo što nije upoređivan sa puzolanom vec drugim rastresitim materijalima slični puzolanu.

5. LITERATURA

- [1] Kumar, Rakesh, and S. C. Kaushik. "Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings." *Building and Environment* 40.11 (2005): 1505-1511.
- [2] Getter, Kristin L., D. Bradley Rowe, and Jeffrey A. Andresen. "Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention." *Ecological Engineering* 31.4 (2007): 225-231.
- [3] Alexandri, Eleftheria, and Phil Jones. "Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates." *Building and Environment* 43.4 (2008): 480-493.
- [4] Li, Jian-feng, et al. "Effect of green roof on ambient CO₂ concentration." *Building and Environment* 45.12 (2010): 2644-2651.
- [5] Li, Jian-feng, et al. "Effect of green roof on ambient CO₂ concentration." *Building and Environment* 45.12 (2010): 2644-2651.

- [6] Saadatian, Omidreza, et al. "A review of energy aspects of green roofs." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23 (2013): 155-168.
- [7] Jaffal, Issa, Salah-Eddine Ouldboukhitine, and Rafik Belarbi. "A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance." *Renewable Energy* 43 (2012): 157-164.
- [8] Minke G. Häuser mit grünem Pelz, Frankfurt, 1982 [with G. Witter].
- [9] *Guidelines for the planning, construction and maintenance of green roofing: Green roofing guideline*. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2008.
- [10] European Aggregates Association. A sustainable industry for a sustainable Europe. Annual review, 2009-2010. <http://www.uepg.eu>;
- [11] Richter, A. Y., and R. W. Weaver. "Treatment of domestic wastewater by subsurface flow constructed wetlands filled with gravel and tire chip media." *Environmental technology* 24.12 (2003): 1561-1567.
- [12] Rodrigo, J., et al. "El consumo de energía y el medioambiente en la vivienda en España." *Análisis de Ciclo de Vida (ACV) "Energy consumption and environment in spanish dwellings. Life Cycle Assessment (LCA)"*. Fundación Gas Natural, Barcelona (2008).
- [13] European tire and rubber manufacturers association ETRMA. End of life tyres. A valuable resource with growing potential. 2010. Edition, <http://www.etrma.org/>;
- [14] Vila, Ana, et al. "Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs." *Building and Environment* 48 (2012): 101-106.
- [15] Pérez, Gabriel, et al. "Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material." *Applied energy* 97 (2012): 347-354.
- [16] Tselekis, Kyriakoulis. "Literature Review of the Potential Energy Savings and Retention Water from Green Roofs in Comparison with Conventional Ones." *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies* 9 (2012): 40-45.
- [17] Voronina, V. V., and K. V. Horoshenkov. "Acoustic properties of unconsolidated granular mixes." *Applied Acoustics* 65.7 (2004): 673-691.

- [18] Attenborough, Keith. "Acoustical characteristics of rigid fibrous absorbents and granular materials." *The Journal of the Acoustical Society of America* 73.3 (1983): 785-799.

ANALIZA PERIODA OSCILOVANJA U PRVOM TONU I HORIZONTALNOG POMERANJA ZGRADE U ZAVISNOSTI OD VRSTE MATERIJALA PREGRADNIH ZIDOVA

Jelena Lazić¹,
Predrag Blagojević²

Rezime:

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja na temu ponašanja visokog objekta u prvom tonu oscilovanja i horizontalno pomeranje zgrade u zavisnosti od visine objekta i vrste materijala pregradnih zidova. Zadatak je bio isprojektovati seizmički otpornu konstrukciju prema "Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekta visokogradnje u seizmičkim područjima" ("Službeni list SFRJ br. 31/81, 49.82, 29/83, 21/88 I 52/90). Nakon toga je rađena analiza na tri modela u softverskom paketu Tower6. Za analizu su korišćeni zidovi od opekarskog bloka, gas betona(siporeksa) i gips kartonskih ploča. Cilj je bio proveriti da li i koliko utiče opterećenje od pregradnih zidova na stabilnost konstrukcije.

Ključne reči: visoki objekti, prvi ton oscilovanja, horizontalna pomeranja zgrade

¹ dipl.inž.arhitekture

².Doc. dr Predrag Blagojević, d.i.g. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu

1. UVOD

Pojava novih materijala i sistema gradnje na tržištu postavila je nove standarde i rokove koje tradicionalni sistemi ne mogu u potpunosti da isprate. Da li je bolje držati se starih i proverenih načina građenja ili je bolje ići u korak sa novitetima, pitanje na koje niko neće ostati ravnodušan. Da bi dali što precizniji odgovor potrebno je stvari pogledati sa više aspekta. Cilj ovog istraživanja je dati odgovor na pitanje od kog materijala je najbolje praviti pregradne zidove.

Pokazaćemo da li i koliko se razlikuju periodi oscilovanja i horizontalana pomeranja u zavisnosti od odabira vrste materijala. Odnosno, da li pregradni zidovi značajno menjaju uticaje u konstruktivnom sklopu ili ih je moguće i zanemariti.

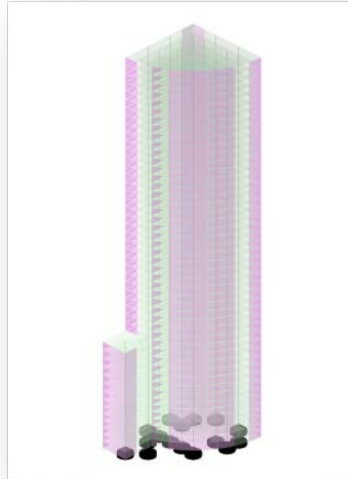
Rad je rezultat istraživanja u okviru Master rada.

2. KONSTRUKCIJA

Konstrukcije u seizmičkim područjima treba da budu projektovane i izvedene tako da se ne sruše. Projektovana je u skladu preporukama datim u EC8 (1). Principi kojima smo se rukovodili prilikom rešavanja konstruktivnog sklopa su: jednostavnost konstrukcijskog sistema, otpornost i krutost u oba pravca, torziona otpornost i krutost, projektovanje tavanica kao krutih dijafragmi.

Glavni noseći element su AB platna koja se prostiru od temelja do vrha zgrade. Raspoređena su tako da mogu da prihvate horizontalne sile iz bilo kog pravca delovanja. Tavanice imaju veliku ulogu u seizmičkom ponašanju cele konstrukcije. One imaju funkciju horizontalne dijafragme i suprotstavljaju se seizmičkom dejstvu.

Analiza perioda oscilovanja u prvom tonu i horizontalnog pomeranja
zgrade u zavisnosti od vrste materijala pregradnih zidova



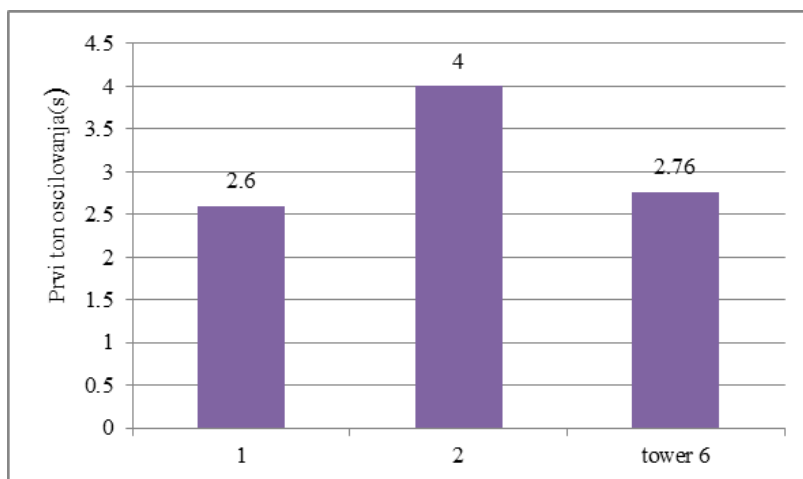
Slika 1 - Izgled gotovog modela u programu Tower6

Usvojena je pečurkasta ploča debljine 30cm. Stubovi spadaju u "sekundarne" seizmičke elemente i ne učestvuju u formiranju sistema koji se odupire seizmičkim silama. Nosivost i krutost ovog elementa može da se zanemari, ipak treba da se projektuju tako da prenose gravitaciona opterećenja. Ukupan doprinos "sekundarnih" elemenata u odupiranju od seizmičkih sila ne sme da pređe 15% od ukupnih doprinosa primarnih seizmičkih elemenata. Osnova je oblika četvrtine kruga poluprečnika 30 m. Donjih 8 etaža proširene su za jedan kvadrat dimenzija 10x10 m. To je urađeno u skladu sa preporukama koje kažu da odnos između dve strane ne sme da pređe 4, u ovom slučaju je taj odnos $40/30=1,33$ čime je ispoštovan još jedan uslov. Podzemne etaže su istog oblika kao i prvih 8 etaža. Jedina razlika je u tome što se dimenzije stubova menjaju. U podzemnim etažama su 120/100 cm, a iznad zemlje su 100/80 cm. Marka betona je za sve elemente ista. Što se tiče regularnosti zgrade po visini uslov kaže da kada postoji samo jedno sažimanje u okviru

donjih 15% ukupne visine sažimanje ne sme da bude veće od 50% od prethodne dimenzije.

2.1. Materijalizacija

Analiza je rašena za tri različita modela. U prvom je unešemo zamenjujuće opterećenje pregradnih zidova od opekarskog bloka, u drugom d gas betona i u trećem od gips kartonskih ploča. Vrednosti opterećenja date su u tabeli (Slika 2).



Slika2 - Grafički prikaz zamenjujućeg površinskog opterećenja od pregradnih zidova u kN/m^2

3. MODALNA ANALIZA

Prva analiza bila je razlika perioda oscilovanja u prvom tonu u zavisnosti od toga da li objekat ima podzemne etaže ili nema. Prilikom proračuna pretpostavka je bila da je koeficijent modula reakcije tla za vertikalni pravac beskonačno veliki.

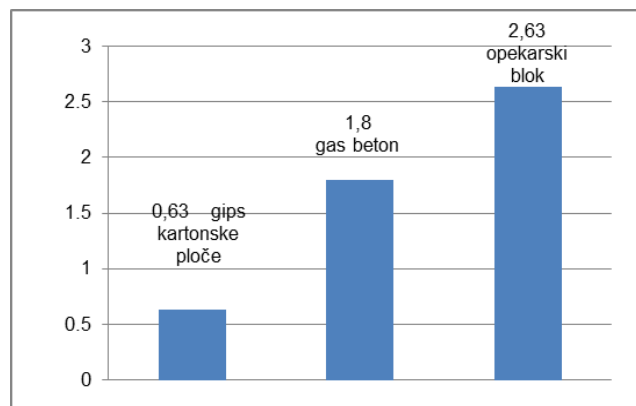
Analiza perioda oscilovanja u prvom tonu i horizontalnog pomeranja zgrade u zavisnosti od vrste materijala pregradnih zidova

Rezultati osnovnog modela bez unetog opterećenja od pregradnih zidova upoređeni su sa dobijenim preporukama:

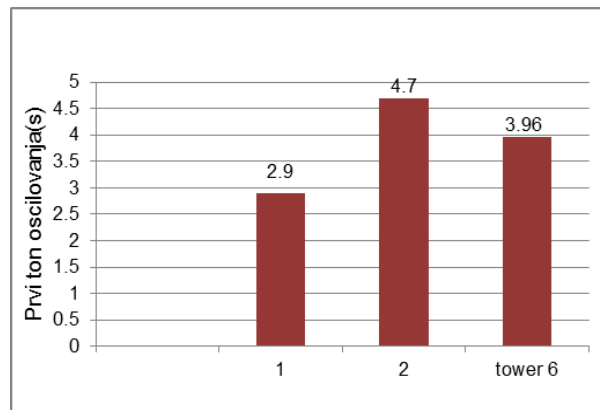
$$T=H/46 \quad (1)$$

gde je H ukupna visina objekta u metrima

$$T=\text{broj spratova}/10 \quad (2)$$



Slika 3 - Grafički prikaz dobijenih rezultata za prvi ton oscilovanja za osnovni model bez podzemnih etaža, bez unetog opterećenja od zidova

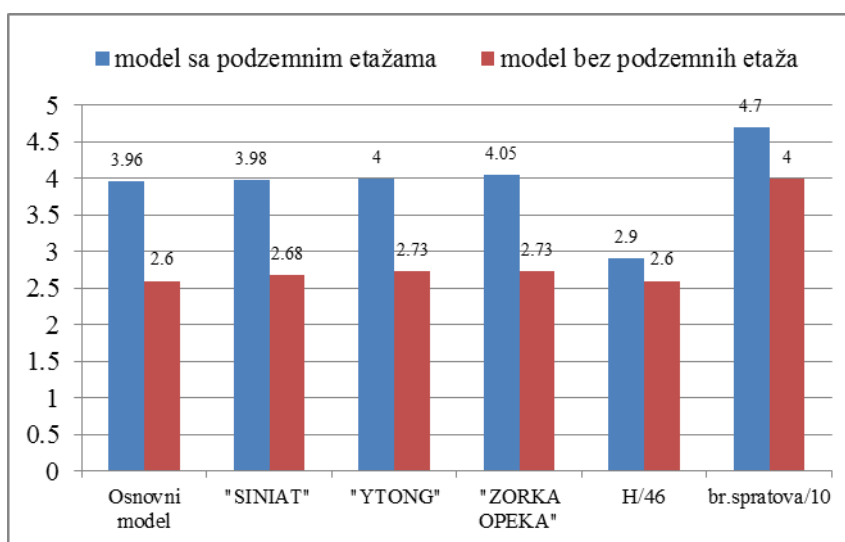


Slika 4 - Grafički prikaz dobijenih rezultata za prvi ton oscilovanja za osnovni model sa podzemnim etažama, bez unetog opterećenja od zidova

Iz priloženih tabela (Slika 3 i 4) vidimo da model sa podzemnim etažama ima dosta veća prekoračenja, čak za 1s, dok su prekoračenja kod modela bez podzemnih etaža značajno manja može se slobodno reći i da su u granicama preporuka.

3.1. Modalna analiza objekta sa unetim opterećenjem od pregradnih zidova

Sa grafikona (Slika 5) možemo da vidimo da se dodavanjem opterećenja prvi ton oscilovanja povećava. Kada pogledamo vrednosti vidimo da se tonovi razlikuju za po nekoliko sekundi, ali da su i dalje u granicama dozvoljenog.



Slika 5 - Grafički prikaz dobijenih rezultata za prvi ton oscilovanja za osnovni model sa podzemnim etažama, bez unetog opterećenja od zidova

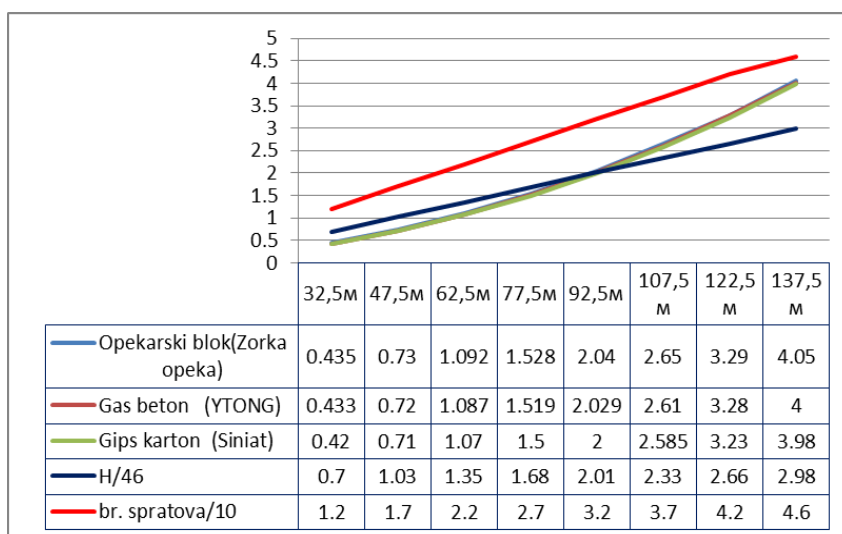
Nema značajnih odstupanja, i može se reći da su opterećenja od pregradnih zidova za ovako visok objekat zanemarljiva i ne utiču bitno na period oscilovanja. Ono što je bitno naglasiti jeste da su periodi oscilovanja kod zgrade bez

Analiza perioda oscilovanja u prvom tonu i horizontalnog pomeranja
zgrade u zavisnosti od vrste materijala pregradnih zidova

podzemnih garaža značajno manji. Uklanjanjem podzemnih etaža dobijaju se povoljniji rezultati.

Da bi dobili preciznije rezultate o ponašanju zgrade u zavisnosti od visine objekata sledeći korak u analizi bio je smanjivanje spratnosti objekta za po pet spratova. Dobili smo tako osam modela sa po tri slučaja opterećenja. Analiza je rađena samo za zgrade sa podzemnim etažama. Sledeći grafikon (Slika 6) je prikaz dobijenih vrednosti za sve analizirane modele. Uočavamo da se srazmerno povećanju spratnosti, povećavaju i periodi oscilovanja.

Može da se uoči da je preporuka 2, gore navedena, iznad svih kriva, dok se negde na 92-om metru krive oscilovanja modela i kriva preporuke 1, gore nevedene, seku.



Slika 6 - Uporedni dijagram vrednosti prvog tona oscilovanja za modele sa podzemnim etažama

Vrednosti oscilovanja za sva tri analizirana slučaja se minimalno razlikuju. što pokazuje i kriva koja za sva tri slučaja izgleda kao jedna. Dolazi se do zaključka da na period oscilovanja utiče visina, odnosno spratnost objekta, dok su opterećenja od pregradnih zidova zanemarljivo mala u odnosu na opterećenje od cele konstrukcije. Daljim primerima potvrdićemo tezu.

Uvešću u analizu sad uslov iz Evrokoda 8(1) koji glasi:

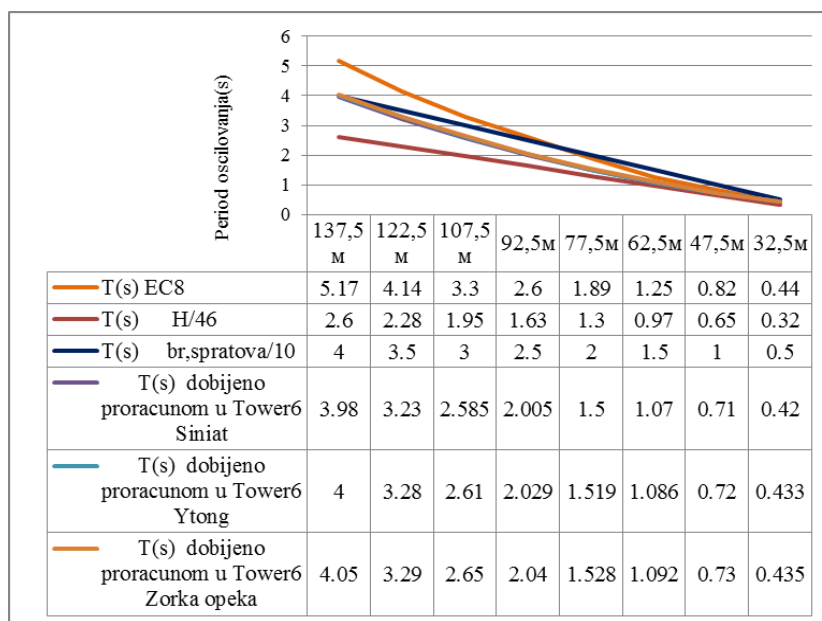
$$T=2\sqrt{d} \quad (3)$$

gde je d horizontalno elastično pomeranje vrha zgrade, izraženo u metrima, usled gravitacionih sila koje su primenjene u horizontalnom pravcu.

Horizontalno elastično pomeranje dobija se tako što se očita iz suma reakcije težina objekta za kombinaciju opterećenja $g+p/2$, zatim tu dobijenu silu zadajemo kao horizontalnu silu u centar krutosti na vrhu objekta. Pomeranja dobijena od te sile su ustvari traženo pomeranje sa kojim idem u proračun po formuli (3).

Na grafikonu(Slika 7) se vidi kako periodi oscilovanja AB zgrade ne zavise od vrste odabranog materijala, razlike u odstupanjima su minimalne, linijski se povećavaju, srazmerno težini odnosno opterećenju od zidova. Uočavamo, naravno, da su najmanje oscilacije zgrade u kojoj su predviđeni pregradni zidovi od gips kartonskih ploča, zatim ih prate zidovi od gas betona, i na kraju najveće vrednosti dobijene su u modelu sa zidovima od opekarskog bloka. Međutim, iako se razlikuju dobijeni podaci kada se prebace u linijski grafički prikaz, kao što smo videli i na prethodnom grafikonu (tabela5) skoro pa se preklapaju i deluju kao jedna deblja linija, i kao takva nalazi se između preporučenih vrednosti. Gledano sa ovog aspekta ne može se izdvojiti nijedan materijal kao bolji ili lošiji od ostala dva za konkretan slučaj.

Analiza perioda oscilovanja u prvom tonu i horizontalnog pomeranja zgrade u zavisnosti od vrste materijala pregradnih zidova



Slika 7 - Konačni dijagram perioda oscilovanja u zavisnosti od vrste materijala i spratnosti sa svim unetim preporukama

4. HORIZONTALNO POMERANJE VRHA OBJEKTA

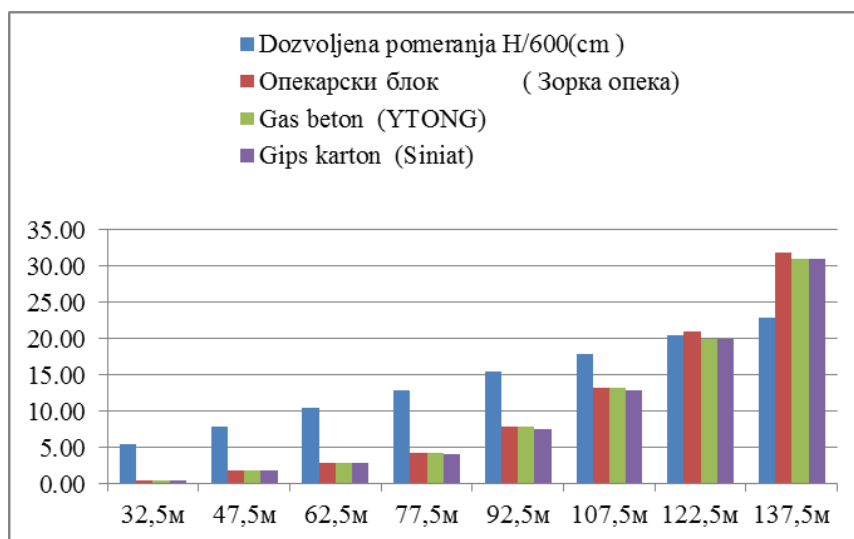
Prema "Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (2) maksimalni horizontalni ugib, određen po teoriji elastičnosti, iznosi:

$$f=H/600 \quad (4)$$

gde je H ukupna visina objekta

Kod industrijskih i drugih specijalnih objekata mogu se dozvoliti i veći ugibi ako se dokaže stabilnost objekta. Pravilnik se odnosi na objekte visine do 100m.

Na konačnom dijagramu (Slika 8) prikazana su horizontalna pomeranja sva tri modela, kao i vrednosti dozvoljenih pomeranja u x pravcu. Uočavamo da sa porastom spratnosti i pomeranja se povećavaju. Razlika u horizontalnom pomeranju zgrada je sve do 122-og metra, odnosno do 35-og sprata, među analiziranim modelima mala, skoro su izjednačene. Na 35-om spratu dolazi do prekoračenja dozvoljenog ugiba u modelu sa pregradnim zidovima od opekarskog bloka. Na poslednjem, 40-om spratu nijedna zgrada ne ispunjava zadat uslov. Proračun je pokazao da upotrebom druga dva materijala dobijamo zgradu za dva sprata višu.



Slika 8 - Konačni dijagram horizontalnog pomeranja vrha objekta u zavisnosti od vrste materijala i spratnosti

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog materijala dolazimo do zaključka da na period oscilovanja direktno utiče visina objekta, dok je opterećenje od pregradnih zidova zanemarljivo u odnosu na konstrukciju koja je tu primarna. Pokazali smo da usvojeni konstruktivni sklop je u domenu datih preporuka za period oscilovanja u prvom tonu.

Što se tiče horizontalnog pomeranja vrha objekta pokazali smo da, po ovom pravilniku (2), zgrada ovakva kakva jeste ne bi mogla, bez dodatnog proračuna stabilnosti zgrade da se izvede do vrha, već bi moralo da dođe do redukovanja spratnosti.

Upotrebom opekarskih blokova dobijamo zgradu od 35 spratova, a ukoliko se opredelimo za pregradne zidove od gas betona ili gips kartonskih ploča dobićemo objekat od 37 spratova koji zadovoljava u potpunosti sve zadate uslove.

6. LITERATURA

- [1] *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.* prEN 1998-1. CEN/TC250/SC8/N306. December 2001.
- [2] *Evrokod 8: Proračun seizmički otpornih konstrukcija. Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004)* //Prevod na spski jezik. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, novembar 2009;
- [3] *Beton i armirani beton prema BAB 87, tom 1 i 2 / grupa autora* // Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, četvrto izdanje, maj 2000;
- [4] *Evrokodovi i jugoslovensko građevinsko konstrukterstvo* // Jugoslovensko savetovanje, Zbornik saopštenja, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu sa JDGK i SZS, 1995, Beograd;

NUMERIČKO MODELIRANJE ARMIRANO-BETONSKE VEZE GREDA-STUB

Milovan Stanojev¹
Slobodan Ranković²
Dragoslav Stojić³
Todor Vacev⁴

Rezime

Često puta se događa da se usled različitih krutosti grede i stuba plastični zglob formira upravo u stubu, umesto u gredi. Do iste pojave može doći i prilikom armiranja čvora stuba i grede, gde se često puta u praksi uzengije na delu stuba uopšte ne postavljaju. Predmet istraživanja u ovom radu je upravo ponašanje armirano-betonske veze konzolne grede i stuba, sa uporednom analizom rezultata u slučaju da uzengije u stubu prolaze ili ne prolaze kroz čvor sa gredom. Analizom veze putem programskog paketa ANSYS i njenim modeliranjem koristeći metodu konačnih elemenata (FEM), dobija se detaljniji prikaz ponašanja ove veze usled dejstva tačkastog opterećenja na kraju konzole. Prikaz prslina koje se formiraju u čvoru nam govori da se one, u slučaju da u čvoru nema uzengija, ne javljaju samo na gornjoj ivici grede pri kontaktu sa stubom, već i sa spoljne strane stuba (u nivou donje ivice grede), što je na kraju rada i prikazano.

Ključne reči: *plastični zglob, greda-stub, uzengije, armatura, ANSYS*

¹ Milovan Stanojev, master inž. građ., doktorant, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, milovanstanojev@gmail.com

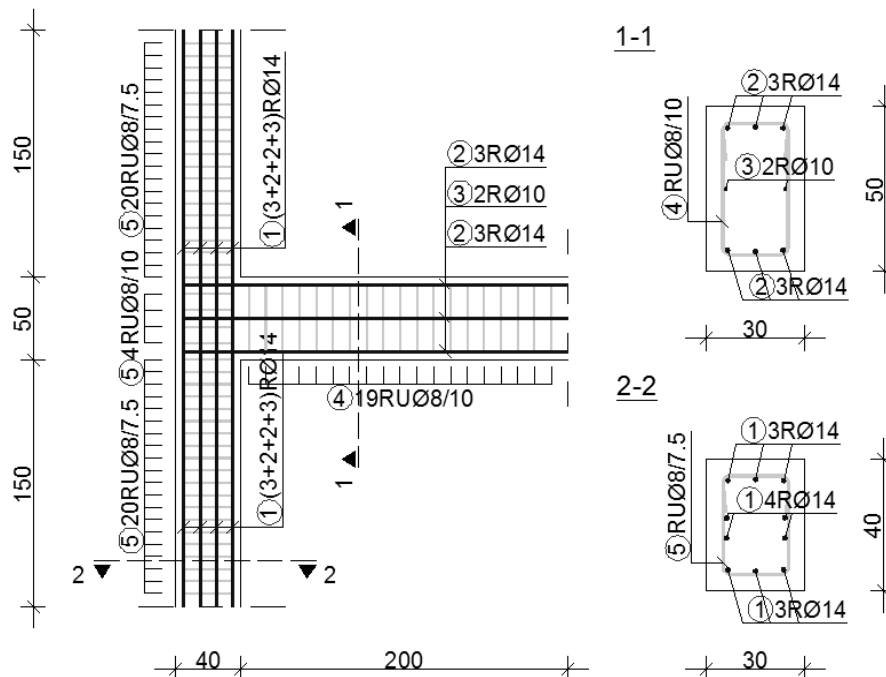
² Dr Slobodan Ranković, dipl. građ. inž., docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, slobodan.rankovic@gaf.ni.ac.rs

³ Dr Dragoslav Stojić, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, dragoslav.stojic@gaf.ni.ac.rs

⁴ Dr Todor Vacev, dipl. građ. inž., docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, todor.vacev@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Prilikom nelinearne analize armirano-betonskih konstrukcija jako je važno predvideti mesta u konstruktivnim elementima na kojima može doći do prekoračenja elastičnih napona u betonu ili armaturi. Formiranje plastičnih zglobova je neizbežno pri nelinearnoj analizi, pri čemu se njihov položaj uvek mora ograničiti na „manje važne” konstruktivne elemente. U slučaju veze grede i stuba (slika 1) do formiranja prvog plastičnog zgloba uvek mora doći na delu grede, na rastojanju od čvora ne većem od visine grede. Međutim, često puta je geometrija veze takva da je nosivost preseka stuba manja od nosivosti preseka grede sa kojom je u čvoru, pa se potencijalni plastični zglob lako može formirati i na delu stuba, što ima katastrofalne posledice po celu konstrukciju [1]. Još je češći slučaj u praksi da se poprečna armatura (uzengije) stuba ne postavlja na delu veze sa gredom, iako se u svim propisima i pravilnicima to izričito traži [2], [3].



Slika 1. Veza konzolne grede i stuba, sa karakterističnim poprečnim presecima

U ovom radu je prikazan numerički primer armirano-betonske veze konzolne grede i stuba: u prvom slučaju se poprečna armatura stuba postavlja kroz čvornu vezu sa gredom, dok se u drugom slučaju uzengije ne postavljaju u čvoru. Veza je modelirana u programu ANSYS APDL 13.0 koristeći metodu konačnih elemenata (Finite Element Method – FEM). Detaljnim prikazom ponašanja ove veze usled dejstva tačkastog opterećenja na kraju konzolne grede, može se uvideti da se u slučaju postavljanja uzengija u čvoru prsline gotovo i ne javljaju, dok se u slučaju nepostojanja uzengija prsline javljaju ne samo na gornjoj ivici grede u čvoru, već se mogu javiti i na spoljnoj strani AB stuba, što je direktna posledica nepostojanja poprečne armature za prihvat bočnih napona zatezanja u betonu [3].

2. NUMERIČKO MODELIRANJE VEZE

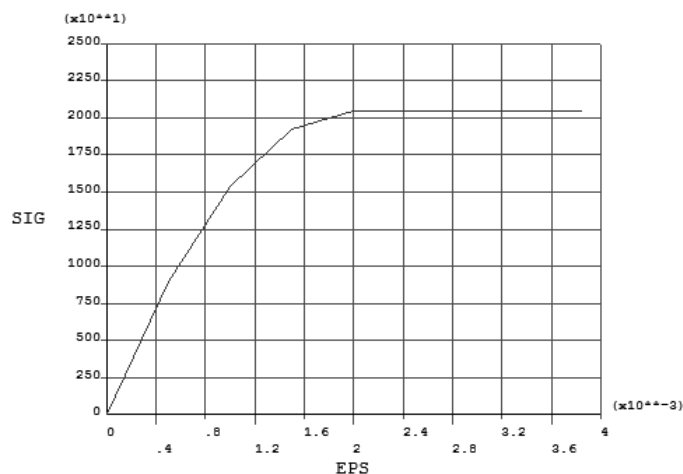
Čvor konzolne grede i stuba je modeliran elementima SOLID 65 i LINK 180 [1]. Solid 65 je korišćen za modeliranje betona, ima 8 čvorova sa po tri stepena slobode, odnosno translacije u x,y, i z pravcu. LINK 180 je korišćen za modeliranje armature, ima 2 čvora sa po tri stepena slobode (u x,y i z pravcu). Realne karakteristike SOLID 65 elementa su procenat armiranja i ugao orijentacije armature (u tri pravca). Pošto se u ovom modelu armatura zasebno koristi, realne konstante SOLID 65 elementa su jednake nuli. Realne konstante koje su uzete za element LINK 180 su površine poprečnih preseka (za $\Phi 8$ površina preseka je $0,00005 \text{ m}^2$, za $\Phi 10$ površina preseka je $0,000078 \text{ m}^2$, za $\Phi 14$ površina preseka je $0,00015 \text{ m}^2$).

U ovom primeru se koriste dva materijala: beton i armatura. Materijal broj jedan je beton MB30 sa Jungovim modulom elastičnosti betona od $E = 3,15 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$ i Poasonovim koeficijentom $PRXY = \nu = 0,20$. Pri njegovom definisanju potrebno je zadati linearno-izotropno ponašanje i multilinearano izotropan materijal, kako bi se pravilno defonisale karakteristike betona. Prilikom određivanja svojstava betona, definisano je nekoliko različitih konstanti:

- koeficijent prenosa smicanja kod otvorene prsline je 0,3
- koeficijent prenosa smicanja kod zatvorene prsline je 0,8
- čvrstoća pri zatezanju je 2,4 MPa
- čvrstoća na pritisak je -1.

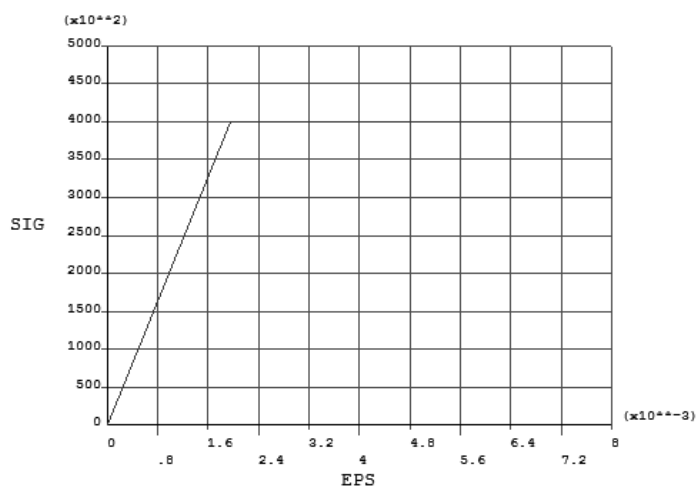
Poslednji koeficijent je unet kao -1 zbog lokalnog loma betona, koji bi onemogućio konvergenciju rešenja. Ostali koeficijenti u ovom

slučaju su nule. Takođe je analitičkim putem definisan i radni dijagram betona prema formuli datoj u PBAB 87 (Član82) [2]. Uneti su naponi pri dilataciji betona od 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,0 i 3,5‰ (slika 2).



Slika 2. Radni dijagram za beton MB30

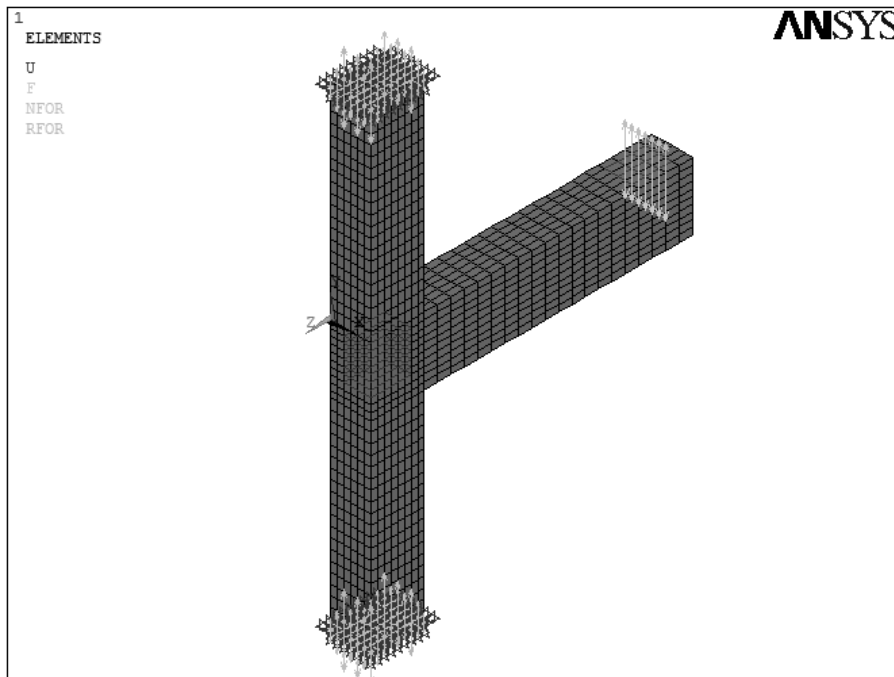
Element koji se koristi za armaturu (LINK 180) mora da se ponaša linearno i bilinearno izotropno (slika 3). Pošto se koristi rebrasta armatura RA 400/500-2, izabran je moduo elastičnosti od $E = 2,05 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$ i Poasonov koeficijent za čelik $\nu = 0,30$. Zadaje se granica tečenja armature od 400 MPa.



Slika 3. Radni dijagram za armaturu RA 400/500-2

Greda je modelirana SOLID 65 elementima dimenzija 5x5cm u preseku i dužine 10cm. To je učinjeno kako bi se uzengije U Φ 8 postavile na međusobnom rastojanju od 10cm (slika 4). U gornjoj i donjoj zoni grede se nalaze tri šipke Φ 14, modelirane elementima LINK 180, dok se po sredini preseka grede nalaze dve šipke Φ 10.

Stub je takođe modeliran SOLID 65 elementima, dimenzija 5x5cm u preseku, ali dužine 7,5cm, kako bi se na tom rasteru postavile uzengije U Φ 8 u stubu. Stub je armiran sa 3+2+3 šipke Φ 14. U samom čvoru je zadržana postojeća armatura iz grede i stuba, ali su dužine SOLID 65 elemenata smanjene na 5cm. Uzengije u čvoru U Φ 8 su na 10cm.

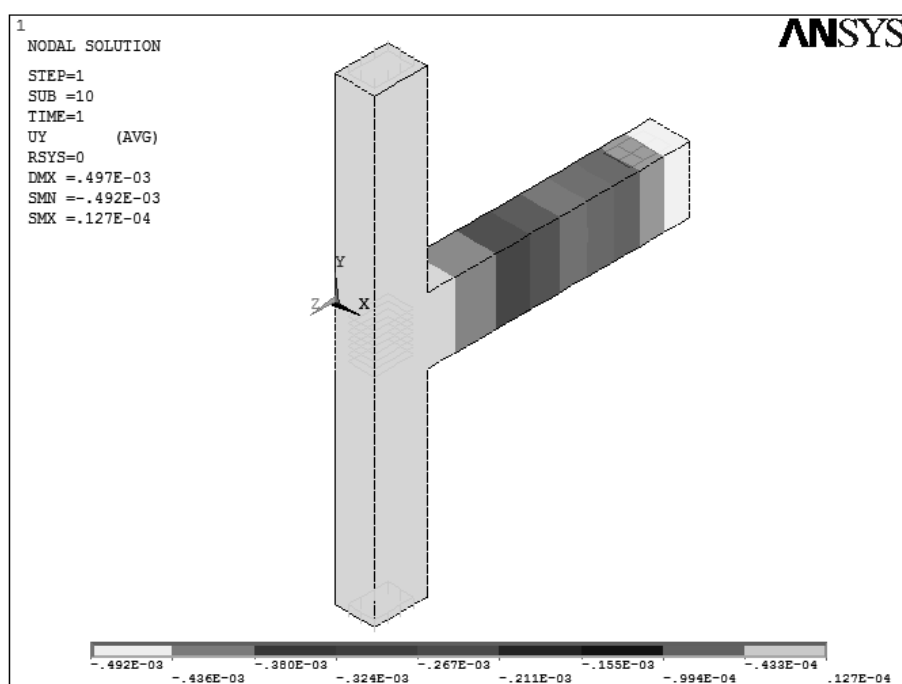


Slika 4. Prostorni model veze greda-stub, sa prikazom zapreminskih konačnih elemenata

Oba kraja stuba su uklještena, tj. sprečeno je pomeranje u x,y i z pravcu krajeva stuba (slika 4). Na 0,20m od kraja konzole je sa gornje strane grede naneto opterećenje od 7 kN. Za nelinearno rešenje, ova sila je izdvojena na 10 podjednakih delova. Zadavanje iterativnih koraka može biti i obimnije, ali u ovom slučaju je zadovoljavajuće [4].

3. ANALIZA REZULTATA

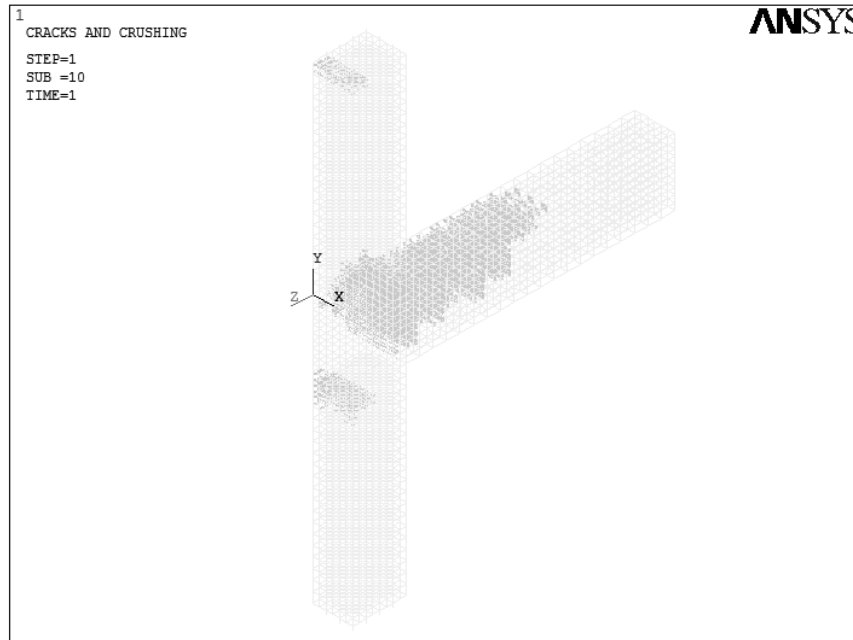
Nakon sprovedenog nelinearnog proračuna modela, pristupa se očitavanju dobijenih rezultata [1]. Pošto se opterećenje nanosi u 10 jednakih delova, moguće je sagledavanje rezultata posebno za svaki korak. Na slici 5 je prikaza deformisani model veze grede i stuba sa uzengijama u čvoru, gde je prikazano maksimalno pomeranje kraja konzolnog nosača [4] u poslednjem iterativnom koraku.



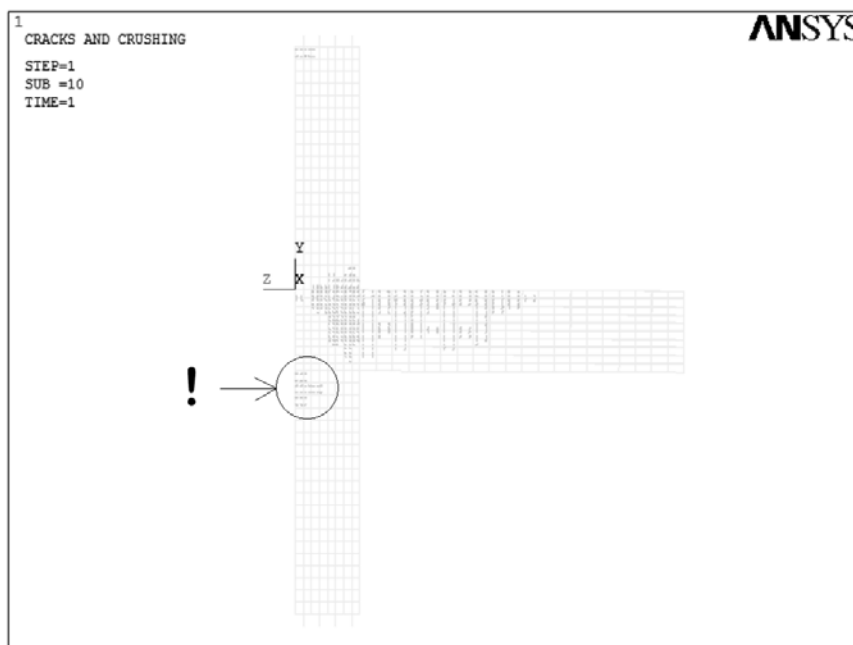
Slika 5. Dijagram vertikalnih pomeranja kraja konzolne grede

Za vrednost nanete sile ne dolazi do značajnije pojave prslina u betonu, pri usvojenoj konfiguraciji sistema i planu armature (slika 1). Naneta sila nije dovoljna da izazove napone zatezanja u betonu neophodne za otvaranje prvih prslina bilo u gredi ili u stubu.

Međutim, ukoliko se na istom modelu izbace uzengije u čvoru stub-greda, dolazi do pojave prslina i u gredi i u stubu. Pojava prslina u gornjoj zoni grede je i očekivana, dok se pojava prslina u zadnjoj strani stuba objašnjava povećanim naponima zatezanja u betonu sa zadnje strane stuba, što je direktna posledica lokalnog pritiska donje ivice konzolne grede na stub u istoj ravni.



Slika 6. Pojava prvih prslina, na modelu bez uzengija



Slika 7. Pojava prslina na zadnoj strani stuba, na modelu bez uzengija

4. ZAKLJUČCI

Do formiranja plastičnih zglobova u armirano-betonskim konstrukcijama može doći prilikom prekoračenja elastičnih napona u konstruktivnim elementima. Prilikom amplificiranja uticaja u nosećim elementima usled seizmičkog dejstva u svim pravcima lako može doći do pojave plastičnog zgloba u stubu čija je nosivost preseka manja od nosivosti preseka grede u istom čvoru. Takođe, čest slučaj u praksi je da se uzengije u stubu na delu čvora sa gredom (najčešće u nivou tavanica) uopšte i ne postavljaju, uprkos mnogim obavezujućim preporukama. Rezultat toga je prikazan u ovom radu.

Naime, na prikazanom modelu je naneto opterećenje takvog intenziteta da ne može izazvati pojavu prslina, u slučaju da se veza armira na način prikazan na slici 1, uz obavezno postavljanje uzengija u stubu na delu čvora sa gredom. Ukoliko se na istom modelu uklone uzengije u stubu a svi ostali elementi ostanu isti, javljaju se velike razlike u rezultatima. U tom slučaju dolazi do pojave prslina ne samo u gornjoj zoni grede (gde se zbog najvećeg momenta savijanja najpre i očekuju), već i sa spoljne strane stuba, u nivou donje ivice grede. Ova pojava je rezultat lokalnog pritiska grede u donjoj zoni, pa se pri kontaktu sa stubom javljaju naponi zatezanja sa zadnje strane stuba, koji se moraju prihvatiti dodatnom armaturom. Postavljanje uzengija u stubu na delu veze sa gredom dovodi do triaksijalnog stanja naprezanja u čvoru, te se i naponi zatezanja bolje prenose na uzengije, dok se istovremeno duktilnost preseka stuba povećava, čime se povećava i nosivost čitave veze.

5. LITERATURA

- [1] Vacev Todor: *ANSYS – Lectures, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Niš, Serbia, 2012*
- [2] *Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton (Sl. list SFRJ broj 11/87)*
- [3] *Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, sl. list SFRJ br. 31/81, Beograd*
- [4] *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1. Brussels: CEN - European Committee for Standardization*

INTERAKCIONI DIJAGRAMI ZA JEDNOOSNO OPTEREĆENE PRAVOUGAONE PRESEKE PREMA EVROKODU 2

Marko Nakić¹

Predrag Blagojević²

Rezime

U radu je prikazan princip konstruisanja interakcionih dijagrama prema Evrokodu 2. Na osnovu iznetih principa upotrebom Excela konstruisan je interakcioni dijagram koji je primenjen na jednom numeričkom primeru. Dalje su prikazani ostali interakcioni dijagrami koji se mogu upotrebljavati u dimenzionisanju armirano betonskih elemenata.

Ključne reči: interakcioni dijagrami, Evrokod 2

¹ Marko Nakić, mast. inž. građ., student doktorskih studija na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu u Nišu ; markonakic90@yahoo.com

² dr Predrag Blagojević, dipl. inž. građ., docent , Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu ; predragb@eunet.rs

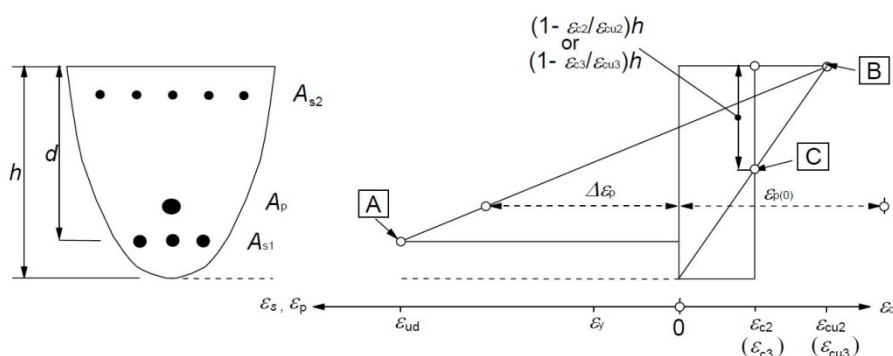
1. UVOD

Korišćenje interakcionih dijagrama ima prednosti i mane u odnosu na klasično dimenzionisanje pravougaonih preseka upotrebom tabela. Prednosti ovakvog postupka su brzina u radu, skraćivanje postupka dimenzionisanja i veća sigurnost u projektovanju jer se problem dimenzionisanja može sagledati i bolje razumeti u celoj oblasti kombinacije jedoveremenih uticaja momenata i normalnih sila. Mane su u tome što se moraju vršiti interpolacije između odnosa armature, njihovih položaja u presku, usvajanja mehaničkog procenta armiranja, što može otežati postupak dimenzionisanja i povećati opasnost od pravljenja greške prilikom usvajanja armature.

Poštovanjem evropskih propisa Evrokod 2, dolazi se do drugačijih interakcionih dijagrama od onih definisanih u Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton iz 1987. god. i interakcionih dijagrama iz publikacije „Dijagrami za dimenzionisanje armirano betonskih preseka prema graničnoj nosivosti“. Razlog zbog kojih se razlikuju je uvođenje parcijalnih koeficijenata sigurnosti za materijale kod armature R400/500, a kod armature B500B je razlog i njena veća granična dilatacija koja iznosi 20%.

2. KONSTRUKCIJA INTERAKCIONIH DIJAGRAMA

Na slici 1 definisana su stanja dilatacija preseka. Tačka „A“ predstavlja graničnu dilataciju armature pri zatezanju, tačka „B“ predstavlja graničnu dilataciju betona pri pritisku, tačka „C“ predstavlja graničnu dilataciju betona pri čistom pritisku.



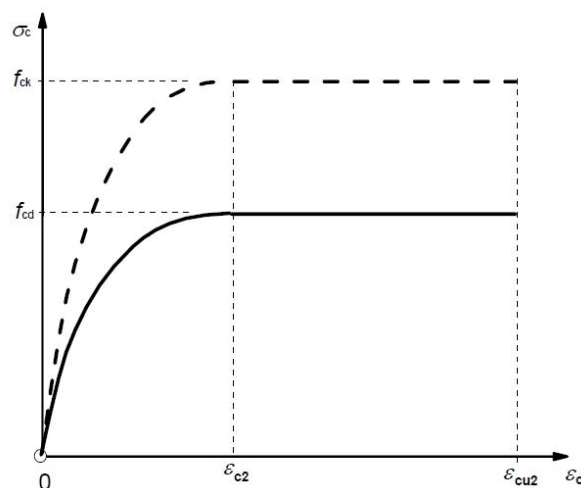
Slika 1. Mogući dijagrami dilatacija u graničnom stanju nosivosti

Već poznatim postupkom postavljanja ravnoteže u poprečnom preseku iz suma normalnih sila i suma momenata moguće je

mehanički koeficijent armiranja ω izraziti u funkciji bezdimenzionalnih koeficijenata ν i μ . Pri postavci problema poznate veličine koje figurišu u jednačinama ravnoteže su: radni dijagram betona (slika 2), dijagrami naponi-dilatacija za čelik (slika 3), odnos armature u gornjoj i donjoj zoni (k), položaji armature u donjoj i gornjoj zoni (α_1, α_2), koeficijent armiranja armature u donjoj zoni i koeficijent armiranja armature u gornjoj zoni (ω_1, ω_2).

Kako bi se problem uopštio a zatim i napravili interakcioni dijagrami u uslovima ravnoteže koeficijent armiranja ostaje kao nepoznata vrednost da bi se nakon sređivanja izraza njegova vrednost pretpostavila u određenom intervalu sa određenim korakom.

Kao prvi korak u konstrukciji interakcionih dijagrama potrebno je pretpostaviti dilatacije armature i betona u preseku tako da budu u skladu sa mogućim graničnim stanjima dilatacija sa slike 1, zatim sračunati sile u betonu i armaturi, postaviti uslove ravnoteže normalnih sila i momenata u preseku.

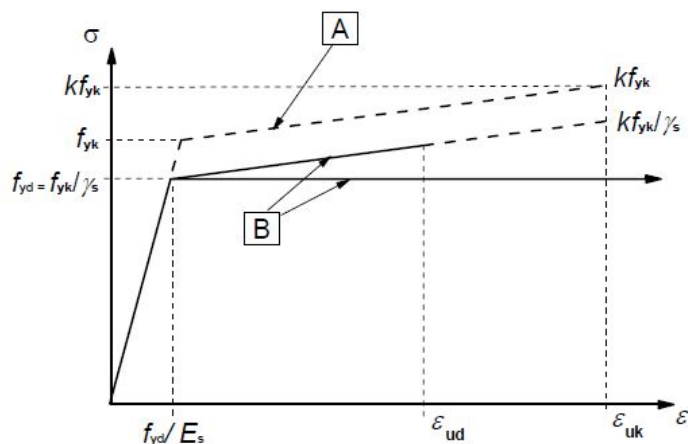


Slika 2. Radni dijagram betona pri pritisku

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \text{ za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \text{ za } \varepsilon_{cu} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

gde je: $n=2$ za betone C12/15-C50/60

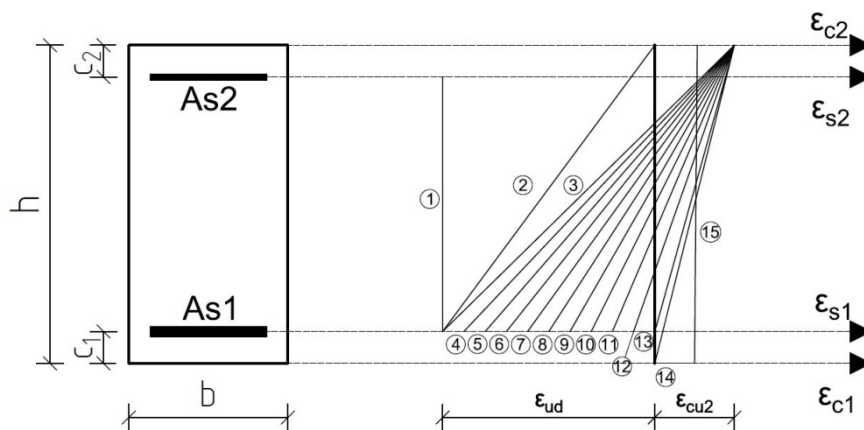


Slika 3. Dijagrami naponi-dilatacija za čelik

A – idealizovani dijagram

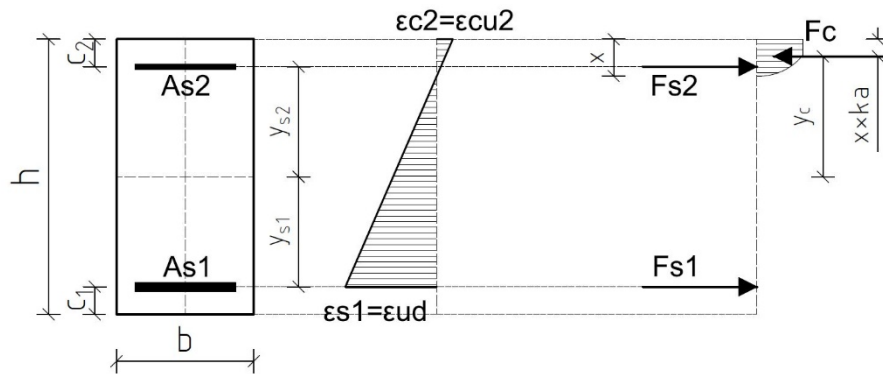
B – proračunski dijagram

3. KONSTRUKCIJA INTERAKCIONIH DIJAGRAMA



Slika 4. Karakteristične dilatacije preseka

Na stanju dilatacija koje odgovara liniji 3, biće odrađen proračun 'pešaka', dok će za ostala stanja dilatacija biti prikazana izlazna lista iz tabelarnog programa napravljenog u Excelu.



Slika 5. Dilatacije preseka koje odgovaraju liniji 3

Armaturu u preseku moguće je izraziti u funkciji dimenzija preseka i mehaničkog koeficijenta armiranja:

$$A_{s1} = \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} ; A_{s2} = k \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Položaji težišta armatura u odnosu na težište betonskog preseka određen je kao:

$$y_{s1} = (0,5 - \alpha_1)h ; y_{s2} = (0,5 - \alpha_2)h$$

Odgovarajuće sile u armaturi u gornjoj i donjoj zoni određene su preko sledećih izraza:

$$F_{s1} = \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \sigma_{s1} ; F_{s2} = k \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \sigma_{s2}$$

Položaj neutralne linije u preseku x , određen je bezdimenzionom veličinom s :

$$s = \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}} ; x = sh$$

Koeficijent punoće naponskog dijagrama betona α_b može se odrediti sledećim izrazima:

$$\alpha_c = \frac{\epsilon_{c2}(6 - \epsilon_{c2})}{12} \text{ za } 0 \leq \epsilon_{c2} \leq \epsilon_{cu}$$

$$\alpha_c = \frac{3\epsilon_{c2} - 2}{3\epsilon_{c2}} \text{ za } \epsilon_{cu} \leq \epsilon_{c2} \leq \epsilon_{cu2}$$

Položaj sile pritiska u betonu u odnosu na gornju ivicu preseka određen je koeficijentom k_α :

$$k_\alpha = \frac{8 - \varepsilon_{c2}}{4 - (6 - \varepsilon_{c2})} \text{ za } 0 \leq \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_{cu}$$

$$k_\alpha = \frac{\varepsilon_{c2}(3\varepsilon_{c2} - 4) + 2}{2\varepsilon_{c2}(3\varepsilon_{c2} - 2)} \text{ za } \varepsilon_{cu} \leq \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_{cu2}$$

$$y_c = \frac{h}{2} - s(1 - \alpha_2)k_\alpha h = h[0,5 - s(1 - \alpha_2)k_\alpha]$$

Sila pritiska u betonu određena je sledećim izrazom:

$$F_c = \alpha_c b x f_{cd}$$

Nakon zamene odgovarajućih izraza u uslovu ravnoteže normalnih sila u preseku, uzimajući u obzir i to da je zatezanje negativnog znaka a pritisak pozitivnog znaka, dobijaju se sledeći izrazi za bezdimenzionalni koeficijent normalne sile v :

$$\sum N = 0 \rightarrow N_{Ed} = F_{s1} + F_{s2} + F_c$$

$$N_{Ed} = -\omega_1 b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \sigma_{s1} + k \omega_1 b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \sigma_{s2} + \alpha_c b k_\alpha h f_{cd}$$

$$v = \frac{N_{Ed}}{b h f_{cd}}$$

$$v = -\omega_1 \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + k \omega_1 \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} + \alpha_c k_\alpha = \omega_1 \left(-\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + k \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} \right) + \alpha_c k_\alpha$$

Nakon zamene odgovarajućih izraza u uslovu ravnoteže momenata u preseku, uzimajući u obzir i to da je moment pozitivan kada zateže donju ivicu preseka, dobijaju se sledeći izrazi za bezdimenzionalni koeficijent momenta μ :

$$\sum M = 0 \rightarrow M_{Ed} = F_{s1} y_{s1} + F_{s2} y_{s2} + F_c y_c$$

$$M_{Ed} = \omega_1 b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \sigma_{s1} (0,5 - \alpha_1) h + k \omega_1 b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \sigma_{s2} (0,5 - \alpha_2) h$$

$$+\alpha_c b k_a h f_{cd} h [0,5 - s(1 - \alpha_2) k_a]$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b h^2 f_{cd}}$$

$$\mu = \omega_1 \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} (0,5 - \alpha_1) + k \omega_1 \sigma_{s2} (0,5 - \alpha_2) + \alpha_c k_a [0,5 - s(1 - \alpha_2) k_a]$$

Za sledeće usvojene vrednosti, predstavljeni su izlazni podaci iz tabelarnog programa napravljenog u Excelu na osnovu koga je napravljen interakcioni dijagram sa slike 6.

Armatura B500B: $\epsilon_{ud}=20\%$

Beton C12/15-C50/60: $\epsilon_{cu2}=3,5\%$

$\alpha_1=c_1/h=0,1$; $\alpha_2=c_2/h=0,1$; $k=A_{s2}/A_{s1}=0,5$

εs1=	-20.00	[‰]	
εs2=	0.89	[‰]	
εc1=	0.00	[‰]	
εc2=	3.50	[‰]	
Fs1=	-1.00	*ω1*b*h*fcd	
ys1=	-0.40	*h	
Fs2=	0.41	*ω1*b*h*fcd	
ys2=	0.40	*h	
s=	0.15		
x=	0.13	*h	
αc=	0.810		
ka=	0.416		
Fc=	0.109	*b*h*fcd	
yc=	0.444		
v=	-0.591	*ω1+	0.109
μ=	0.564	*ω1+	0.048

Na kraju se dobijaju izrazi za bezdimenzionalne koeficijente u funkciji ω_1 za karakterističnu dilataciju određenu linijom 3. Dalje su dati tabelarni prikazi vrednosti bezdimenzionalnih koeficijenata za sve karakteristične dilatacije.

Linija 1

$\epsilon s1=$	-20.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	-20.00	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	0.00	[‰]	
$v=$	-2.000	* $\omega1+$	0.000
$\mu=$	0.000	* $\omega1+$	0.000

Linija 2

$\epsilon s1=$	-20.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	-2.22	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	0.00	[‰]	
$v=$	-2.000	* $\omega1+$	0.000
$\mu=$	0.000	* $\omega1+$	0.000

Linija 3

$\epsilon s1=$	-20.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	0.89	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	
$v=$	-0.591	* $\omega1+$	0.109
$\mu=$	0.564	* $\omega1+$	0.048

Linija 4

$\epsilon s1=$	-18.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	1.11	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	
$v=$	-0.489	* $\omega1+$	0.119
$\mu=$	0.604	* $\omega1+$	0.052

Linija 5

$\epsilon s1=$	-16.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	1.33	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	
$v=$	-0.387	* $\omega1+$	0.131
$\mu=$	0.645	* $\omega1+$	0.057

Linija 6

$\epsilon s1=$	-14.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	1.56	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	
$v=$	-0.284	* $\omega1+$	0.146
$\mu=$	0.686	* $\omega1+$	0.062

Linija 7

$\epsilon s1=$	-12.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	1.78	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	
$v=$	-0.182	* $\omega1+$	0.165
$\mu=$	0.727	* $\omega1+$	0.068

Linija 8

$\epsilon s1=$	-10.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	2.00	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	
$v=$	-0.080	* $\omega1+$	0.189
$\mu=$	0.768	* $\omega1+$	0.076

Linija 9

$\epsilon s1=$	-8.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	2.22	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	

Linija 10

$\epsilon s1=$	-6.00	[‰]	
$\epsilon s2=$	2.44	[‰]	
$\epsilon c1=$	0.00	[‰]	
$\epsilon c2=$	3.50	[‰]	

Interakcioni dijagrami za jednoosno opterećene pravougaone preseke prema Evrokodu 2

v=	0.000	* ω_1 +	0.222
μ =	0.800	* ω_1 +	0.086

Linija 11

ϵ_{s1} =	-4.00	[‰]	
ϵ_{s2} =	2.67	[‰]	
ϵ_{c1} =	0.00	[‰]	
ϵ_{c2} =	3.50	[‰]	
v=	0.000	* ω_1 +	0.340
μ =	0.800	* ω_1 +	0.111

v=	0.000	* ω_1 +	0.268
μ =	0.800	* ω_1 +	0.097

Linija 12

ϵ_{s1} =	-2.00	[‰]	
ϵ_{s2} =	2.89	[‰]	
ϵ_{c1} =	0.00	[‰]	
ϵ_{c2} =	3.50	[‰]	
v=	0.080	* ω_1 +	0.464
μ =	0.768	* ω_1 +	0.121

Linija 13

ϵ_{s1} =	0.00	[‰]	
ϵ_{s2} =	3.11	[‰]	
ϵ_{c1} =	0.00	[‰]	
ϵ_{c2} =	3.50	[‰]	
v=	1.000	* ω_1 +	0.729
μ =	0.400	* ω_1 +	0.092

Linija 14

ϵ_{s1} =	0.35	[‰]	
ϵ_{s2} =	3.15	[‰]	
ϵ_{c1} =	0.00	[‰]	
ϵ_{c2} =	3.50	[‰]	
v=	1.161	* ω_1 +	0.810
μ =	0.336	* ω_1 +	0.068

Linija 15

ϵ_{s1} =	2.00	[‰]	
ϵ_{s2} =	2.00	[‰]	
ϵ_{c1} =	2.00	[‰]	
ϵ_{c2} =	2.00	[‰]	
v=	1.840	* ω_1 +	0.850
μ =	0.000	* ω_1 +	0.000

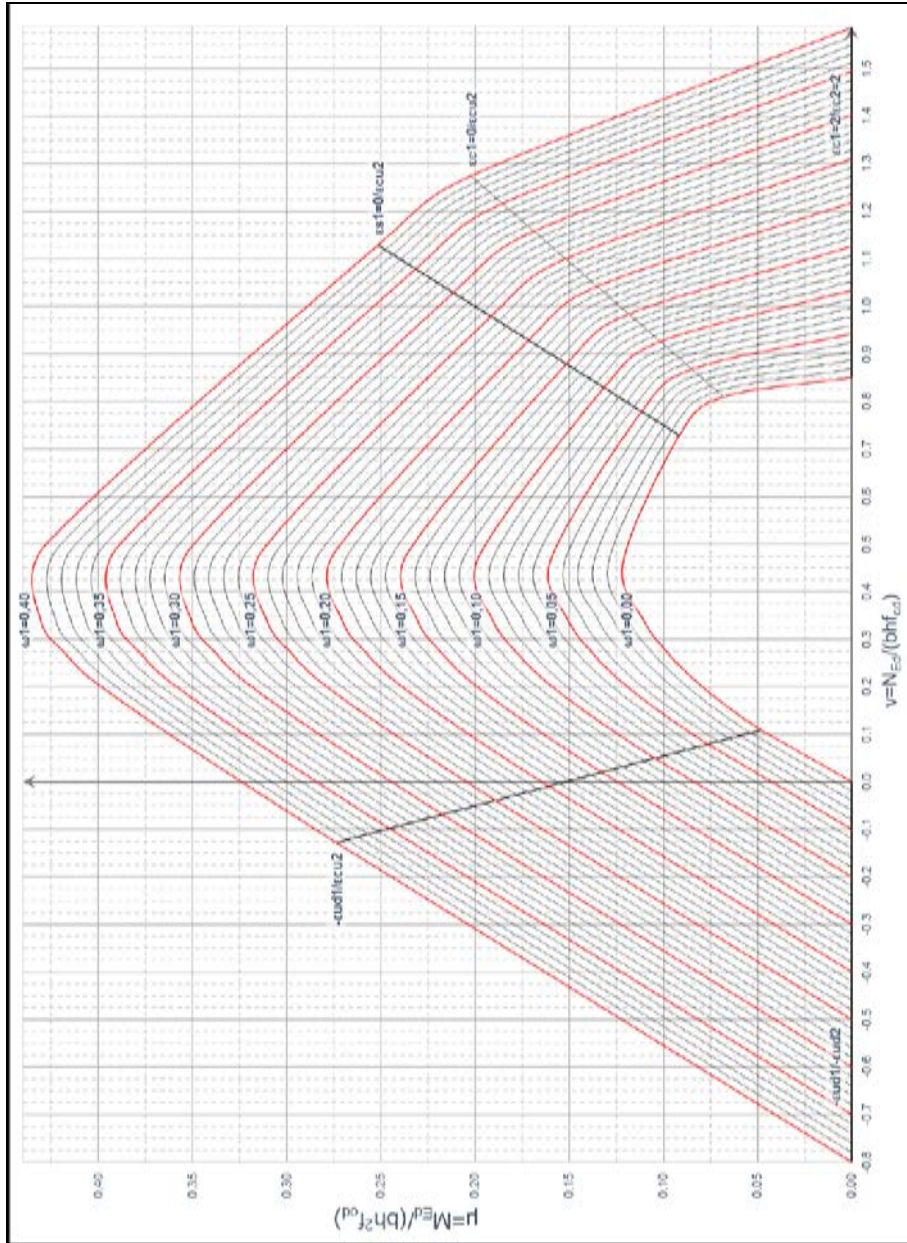
Nakon zamene za ω_1 od 0,00 do 0,40 sa korakom 0,01 dobijaju se vrednosti za v i μ čijim spajanjem se konstruišu interakcione krive koje su prikazane na slici 6. Na dijagramima su prikazane i linije koje definišu granične dilatacije u betonu i armaturi, na osnovu kojih se može zaključiti da li se lom preseka dešava po armaturi ili po betonu.

B500B		
fck=	500.00	[MPa]
γ_s =	1.15	
fcd=	434.78	[MPa]

ϵ_{ud} =	20.00	[‰]
Es=	200.00	[GPa]
ϵ_{yd} =	2.174	[‰]
ϵ_{cu} =	3.500	[‰]

k=	0.050
α_1 =	0.083
α_2 =	0.083

Tabela 1. Ulazni podaci potrebni za konstrukciju interakcionih dijagrama u Excelu



Slika 6. Interakcioni dijagram za armaturu B500B; $k=1,0$; $\alpha_1=\alpha_2=0,10$

4. NUMERIČKI PRIMER

Za dati betonski presek dimenzija $b/h=40/60$ cm, $d_1=d_2=5$ cm. Element je klase betona C30/37 (klasa izloženosti XC2), simetrično armiran armaturom B500B. Element je opterećen sa $M_{Ed}=260$ kNm i $N_{Ed}=120$ kN (pritisk). Potrebno je odrediti površinu armature.

Beton: C30/37

$$\rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

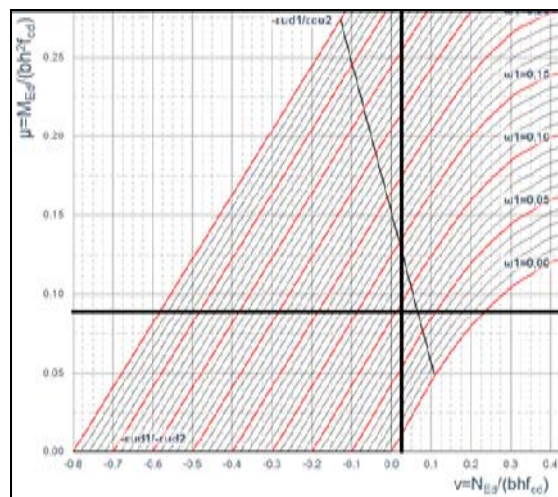
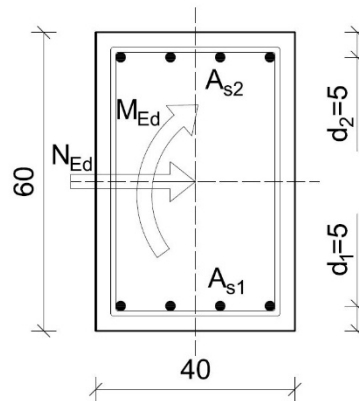
Armatura: B500B

$$\rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = 1,0;$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{d_1}{h} = \frac{d_2}{h} = \frac{5}{60} = 0,833$$

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} = \frac{120}{40 \cdot 60 \cdot 2,0} = 0,025 \\ \mu &= \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{260}{40 \cdot 60^2 \cdot 2,0} = 0,090 \end{aligned} \right\} \rightarrow \omega_1 = 0,090$$



Slika 7. Određivanje vrednosti ω_1

$$A_{s1} = \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,090 \cdot 40 \cdot 60 \cdot \frac{20}{434,8} = 9,94 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = k \omega_1 b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 1,0 \cdot 0,090 \cdot 40 \cdot 60 \cdot \frac{20}{434,8} = 9,94 \text{ cm}^2$$

4. ZAKLJUČAK

U svakodnevnom projektovanju javlja se potreba za korišćenjem interakcionih dijagrama baziranim na pravilima iz Evrokoda 2. U radu je objašnjen kompletan princip konstrukcije interakcionih dijagrama i prikazan jedan dijagram i njegova primena na numeričkom primeru.

4. LITERATURA

[1] Evrokod 2 - EN 1992-1-1:2004: Evropski standard, proračun betonskih konstrukcija deo 1-1: opšta pravila i pravila za zgrade, Beograd 2006.

[2] Dušan Najdanović, Vanja Alendar, Dragan Ješić: Dijagrami za dimenzionisanje armirano betonskih preseka prema graničnoj nosivosti, Građevinska knjiga, Beograd 1989.

[3] Dušan Najdanović: Betonske konstrukcije, OrionArt, Beograd 2004.

SISTEM UPRAVLJANJA MOSTOVIMA U KONTEKSTU SANACIJE I OJAČANJA ARMIRANOBETONSKOG MOSTA U CENTRU NIŠA

Milan Gligorijević¹
Slobodan Ranković²

Rezime

Primena Sistema upravljanja mostovima nam omogućava optimalno korišćenje raspoloživih sredstava za usaglašavanje postojećih mostova sa saobraćajnim potrebama i zahtevima bezbednosti. Autori ovoga rada su, u okviru inspeksijskog pregleda i ispitivanja konstrukcija armiranobetonskog mosta u centru Niša, registrovali izuzetno veliki porast oštećenja pojedinih konstrukcija mosta. U bombardovanju 1999. godine, deo vitalnih nosećih konstrukcija mosta je porušen, što je uticalo na alarmantni pad nosivosti, stabilnosti, a samim tim i bezbednosti svih ostalih konstrukcija mosta.

Most je zahtevao hitnu sanaciju i rekonstrukciju pojedinih konstrukcijskih elemenata, što je u toku leta i urađeno, uz neophodno ojačanje glavnih nosećih konstrukcijskih elemenata mosta.

Ključne reči *Sistem upravljanja mostovima, oštećenja, održavanje, popravke, sanacija i ojačanje.*

1. UVOD

Mostovi su integralni deo putne mreže, čija razvijenost i funkcionalnost utiče na ukupnu razvijenost neke zemlje. Održavanje postojeće infrastrukturne mreže je zbog velikog obima, veličine i troškova, izuzetno složeno, posebno u svetlu ograničenih budžeta koji su na raspolaganju za održavanje.

¹ Milan Gligorijević, Mr, Asistent, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu

² Slobodan Ranković, Dr, Docent, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu

Shodno tome, u svetu se razvijaju nove strategije za upravljanje javnom infrastrukturuom i sredstvima, na način koji obezbeđuje dugoročnu održivost na osnovu ograničenih budžeta.

Mostovi predstavljaju vitalne infrastrukturne veze u svakoj saobraćajnoj mreži. Potpuni ili delimični prekid saobraćaja na njima, parališe ukupne performanse saobraćajne mreže i uzrokuje prekomerne javne i privatne gubitke. Dakle, mostovima u mreži treba upravljati na način koji osigurava nesmetano funkcionisanje saobraćaja tokom njihovog celokupnog eksploatacionog veka.

Konstrukcije mostova su, za razliku od većine drugih građevinskih objekata, permanentno izložene različitim spoljašnjim uticajima, tako da se njihovom održavanju mora posvetiti posebna pažnja. Pravilno određivanje prioriteta u održavanju mostova, postaje sve složeniji problem sa povećanjem broja objekata koji pokazuju neka konstrukcijska oštećenja, kao posledicu neadekvatnog projektovanja, građenja i praćenja funkcionalnosti ili pak nedostatka održavanja.

Rešenje ovih problema daje nam Sistem upravljanja mostovima (engl. *Bridge Management System* - **BMS**). Sistem upravljanja mostovima je sredstvo koje objedinjuje sve inženjerske aktivnosti i sve administrativne funkcije potrebne za efikasno gazdovanje, odnosno racionalan izbor i primenu optimalnih rešenja u cilju poboljšanja mostovskih konstrukcija.

Sistem upravljanja mostovima uključuje čitav životni vek mosta kao građevinskog objekta tj. pethodne studije – projektovanje – građenje – eksploataciju – održavanje – rekonstrukcije i uklanjanje. Zbog toga Sistem upravljanja mostovima, kao poslovni proces zahteva dobro poznavanje različitih tehničkih i drugih ne tehničkih disciplina.

Sistem upravljanja mostovima bavi se postojećim mostovima u cilju osiguranja njihove funkcionalnosti tokom predviđenog životnog veka, uz prihvatljivo nizak rizik otkazivanja i uz minimum neophodnih troškova održavanja.

Sistem upravljanja mostovima (BMS) je, prema tome, zbir organizacionih elemenata, propisa, standarda i postupaka koje koristi nadležna služba da bi organizovala, obavljala i pratila aktivnosti koje slede posle izgradnje mosta. To je integrisani sistem alata i procesa koji omogućava planiranje eksploatacije, održavanja, kontrole i finansijske analize, kako bi se ostvarili unapred postavljeni ciljevi u određenom vremenskom periodu. Da bi uspešnije ostvarili postavljene ciljeve, među kojima je najvažniji optimalno korišćenje raspoloživih sredstava za usaglašavanje postojećih mostova sa saobraćajnim potrebama i zahtevima bezbednosti, a sve sa ciljem da se poverena imovina što bolje i duže koristi, neophodno je usavršavanje i razvijanje modernog sistema upravljanja mostovima.

Međutim, praksa je pokazala, da čak i u razvijenim zemljama ima nedostataka u toj oblasti. Uočen je učestali porast oštećenja na mostovskim konstrukcijama, uz ogroman pad nosivosti i bezbednosti mostova, pa su čak zabeležena i rušenja, nekih i vrlo značajnih mostova.

To je bio povod, da se preduzmu odgovarajuće mere za postizanje optimalnih rezultata putem odgovarajućih istraživanja i tehnno-ekonomskih analiza. Poboljšanja se već implementiraju u nacionalne sisteme upravljanja mostovima, pa se može reći da se razvijene zemlje približavaju uspešnom rešenju poboljšanja svojih sistema upravljanja mostovima. Uspehi su vidljivi u povećanom stepenu saznanja o stanju mostova, uzrocima i posledicama šteta na njima, posledicama zanemarenja održavanja, a naročito u probuđenom interesovanju stručne javnosti, državnih i političkih struktura, kao i najšire javnosti uopšte. Rezultat svega toga je povećano izdvajanje sredstava za istraživanja u ovoj oblasti i najzad uvođenje modernog Sistema upravljanja mostovima.

2. SISTEM UPRAVLJANJA MOSTOVIMA U SRBIJI

Putna mreža je jedna od najvećih kapitalnih vrednosti u Srbiji, a drumski saobraćaj predstavlja osnovni vid prevoza kod nas, tako da se danas putevima preveze oko 90% putnika. Putevi Republike Srbije deo su evropske mreže puteva, a multimodalni panevropski saobraćajni koridor X najvećim delom prolazi njenom teritorijom.

Putna mreža Republike Srbije (bez teritorije Kosova) ima oko 17 000km magistralnih i regionalnih puteva sa oko 3000 mostova, čija se vrednost procenjuje na preko 14 milijardi dolara.

Mostovi su različite starosti, najrazličitijih oblika i načina gradnje, od drveta, kamena, betona, prethodno napregnutog betona, čelika, kao i spregnuti, te različitih statičkih sistema, raspona i dužina.

Usled dugogodišnjeg nedovoljnog ulaganja u održavanje i rekonstrukciju mostova, trenutno stanje mostova nije zadovoljavajuće, naročito u odnosu na njihovu starost. Prema nekim podacima, skoro četvrtina mostova u Srbiji su u lošem stanju, u sistemu klasifikacije dobro-srednje-loše.

Nestabilni uslovi finansiranja, česte organizacione promene, neravnoteža između ulaganja u građenje i održavanje, doprineli su značajom zaostatku Srbije u ovoj oblasti. Redovno održavanje je uglavnom primitivno, tako da se ubrzava starenje konstrukcijskih elemenata i pogoršava stanje mostova, a veće popravke i sanacije gotovo su jedini vid aktivnosti i obavljaju se u bezizlaznim situacijama.

Mora se međutim reći, da deo uzroka za visok stepen oštećenosti mostova u Srbiji nije samo posledica nedostataka u Sistemu upravljanja mostovima, nego i u oblastima koje ne pripadaju, strogo uzevši sistemu upravljanja, kao što su projektovanje i građenje.

Prvi pokušaji uvođenja i razvoja Sistema upravljanja mostovima u Srbiji urađeni su tokom 1985. - 1988. godine. U tom pogledu, vredan pažnje je deo rezultata postignutih u Beogradu, gde treba istaći osnivanje banke podataka o mostovima i početak njenog korišćenja za potrebe planiranja i programiranja radova. Već od 1990. godine, savremeni sistem upravljanja mostovima na nivou celokupne putne mreže u Srbiji je u permanentnom razvoju. Na taj način, zadovoljene su osnovne organizacione i tehnološke pretpostavke za racionalno održavanje putne mreže, a time i mostova.

Istraživački program, koji je u toku u Srbiji, razmatra i pitanja odnosa između projektovanja, građenja, održavanja, praćenja funkcionalnosti i naučno-istraživačkog rada, dovodeći ih u međusobnu vezu. Ako se usvoji taj pristup, može se očekivati otklanjanje uslova za pogoršanje stanja mostova koji su van sistema upravljanja, kao i puni uspeh rezultata uvođenja u upotrebu savremenog Sistema upravljanja mostovima u Srbiji.

3. NADGLEĐANJE I ISPITIVANJE MOSTOVA

Primaran interes za vlasnike i korisnike mostova je da mostovske konstrukcije zadrže sve projektovane funkcije i zadovolje traženi nivo stabilnosti, funkcionalnosti i pouzdanosti u toku celog eksploatacionog veka. Praćenje svih pojava na samom mostu i njegovoj neposrednoj okolini, ima stoga veoma značajnu ulogu u očuvanju potrebnih karakteristika, iako se na neke promene ne može direktno uticati. Ove promene uslovljene su neminovnim pojavama koje prate eksploataciju mosta, kao i potrebom i težnjom da se odabere i usvoji adekvatna politika i strategija koja bi efikasno pratila i rešavala sve probleme u ovoj oblasti. Sistem upravljanja mostovima objedinjuje aktivnosti u domenu kontinualnog praćenja i procene stanja mostovskih konstrukcija, kroz njihovo sistematski organizovano nadgledanje.

3.1. Inspekcijski pregledi mostova

Nakon izgradnje mosta, osnovni cilj je sačuvati njegovo upotrebno stanje na potrebnom nivou, koje korisnicima garantuje neophodne uslove funkcionalnosti, sigurnost i optimalno korišćenje u što dužem vremenskom periodu. Bitan preduslov za ostvarenje tog cilja je dosledno i krajnje odgovorno sprovođenje propisanih mera nadgledanja i održavanja u okviru organizovanog sistema upravljanja

mostovima. Brojni inspekcijski pregledi mostovskih konstrukcija u svetu i kod nas, ukazuju da uočeni nedostaci i oštećenja konstrukcija mostova dramatično smanjuju njihovu nosivost, upotrebljivost i trajnost. Samim tim je, na žalost, ugrožena sigurnost i pouzdanost mostova. Činjenica da su ovakve pojave često izražene i kod novih konstrukcija mostova, generalno je potrebno sistematsko nadgledanje i ocena stanja mostovskih konstrukcija. Nadgledanje mostova je skup svih mera, koje neposredno treba preduzimati u toku njihovog eksploatacionog veka, u cilju utvrđivanja neophodnih mera i planiranja potrebnih radova održavanja. Zbog toga, ono ima ogroman značaj za očuvanje kapitalnih investicija koje su uložene u mostove.

Inspekcijski pregledi mostova omogućavaju upravljaču da prikupi dovoljan broj podataka o stanju mosta i raspolaže njima na jedan gotovo stalan način. Poseban značaj nadgledanja je u praćenju ponašanja svakog elementa mosta ponaosob, permanentnom pravovremenom otkrivanju problema i oštećenja, uz konstantno prikupljanje i dostavljanje potrebnih informacija. Takođe, kontinualno nadgledanje omogućava blagovremeno davanje "znaka za uzbunu", u slučaju opažanja pojava i oštećenja koje su zabrinjavajuće po pitanju nosivosti, upotrebljivosti, a samim tim i sigurnosti mostova i njihovih korisnika. U našoj zemlji, prema odredbama Pravilnika o tehničkim normativima za eksploataciju i redovno održavanje mostova za drumski saobraćaj [7], redovni pregledi su: kontrolni (dva puta godišnje, pre i posle zimskog perioda), redovni (jednom u dve godine) i glavni (najmanje jednom u šest godina). Kada realno stanje mosta to zahteva ili se sumnja u realnost tog stanja, određiće se mnogo intenzivnije nadgledanje od uobičajenog, tj. pojačano i specijalno nadgledanje. Kategorija varira u zavisnosti od učestalosti pregleda.

3.2. Ispitivanje mostova

U okviru nadgledanja mostova, poseban značaj ima njihovo ispitivanje. Ispitivanje mostovskih konstrukcija zasniva se na eksperimentalnim i analitičkim metodama u cilju provere i analize ponašanja konstrukcija pri različitim statičkim i dinamičkim uticajima, ocene njihove osetljivosti, kao i analize odgovora mostovskih konstrukcija u odnosu na teorijske postavke usvojene u statičkom proračunu. Na osnovu kompleksnih analiza rezultata ispitivanja, dolazi se do zaključka o ostvarenoj nosivosti, stabilnosti i sigurnosti mosta kao celine ili pojedinih njegovih konstrukcijskih elemenata. Ispitivanjem se istovremeno otkrivaju i sve "patološke pojave" i potencijalno slaba mesta u konstrukciji. Izbor vrste ispitivanja je u zavisnosti od traženih rezultata. Ispitivanje mostovskih konstrukcija od posebnog je značaja i

za upravljače i korisnike mostova, s obzirom na njihovu funkcionalnost i veliku kapitalnu vrednost.

4. MOSTOVI U CENTRU NIŠA

Ekonomska situacija u Srbiji, u kombinaciji sa nizom drugih problema, kao i često nerešenih pravnih pitanja i neadekvatnog čuvanja tehničke dokumentacije, dovela je do toga da su i mostovi na gradskim saobraćajnicama Niša u prilično lošem stanju. Mr Milan Gligorjević je, u okviru inspeksijskog pregleda mostova u centru Niša, 1997. godine formirao bazu podataka o mostovima u gradu Nišu i registrovao izuzetno veliki porast oštećenja pojedinih mostovskih konstrukcija, uz alarmantni pad nosivosti, stabilnosti, a samim tim i bezbednosti konstrukcija mosta. Redovni pregledi mostovskih konstrukcija, koji se prema Pravilniku [7] obavljaju svake druge godine, od 1997. godine nisu urađeni na mostovima u Nišu. Enormno povećanje saobraćajnog opterećenja na ovim mostovima, rezultovalo je ogromnu degradaciju i ekstremno pogoršanje stanja svih konstrukcija mostova. Usled nebrige i neodržavanja došlo je do incidentnog urušavanja vitalnih konstrukcijskih elemenata.

U ovom radu, prikazan je samo most u najužem centru Niša, kao ilustrativni primer potrebne permanentne brige i održavanja mostova u Nišu, uz primenu savremenog sistema upravljanja.

4.1. Most u ulici "12. Februar"

Mostovske konstrukcije spajaju ulicu "12 Februar" sa ulicom Kneginje Ljubice, prevodeći drumski i pešački saobraćaj preko reke Nišave. Most ima 3 otvora, a sagrađen je 1947. godine. Gornji stroj mosta rešen je kao kontinualna AB roštiljna konstrukcija na tri polja, raspona 18,30+24,80+18,30 m, sa niveletom u dvostranom nagibu od 0,50% i osom mosta u pravcu. Dužina rasponskih konstrukcija je 62,30m a ukupna dužina mosta iznosi 67,50m. Fundiranje mosta je izvršeno direktno, izradom temeljnih stopa.

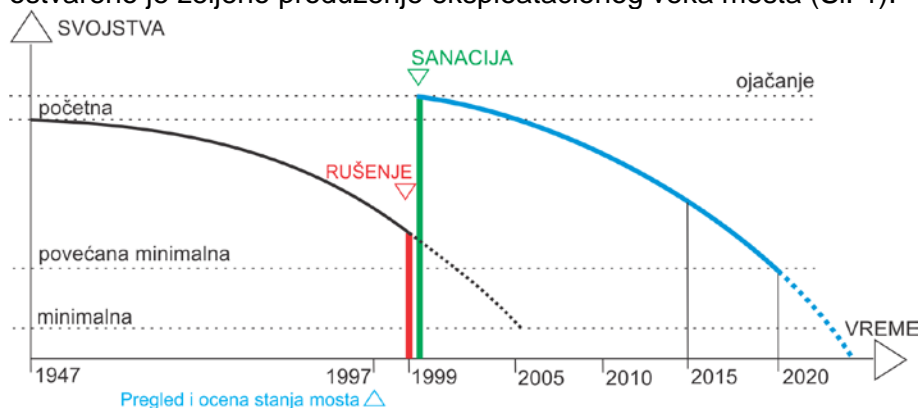
Od dana puštanja u saobraćaj do bombardovanja 8. maja 1999. godine most je bio permanentno u funkciji.

Uticao vremena i povećano saobraćajno opterećenje značajno su razrušili konstrukcije mosta. Prikaz oštećenja i globalno stanje mosta u Sistemu upravljanja mostovima dati su u Izveštaju [1] kao i u radovima [2] i [3].

Alarmantno povećanje oštećenja i pogoršanje stanja armiranobetonskih elemenata mostovskih konstrukcija kroz vreme, a samim tim i ukupnog "rejtinga" mosta u Sistemu upravljanja

mostovima, zahtevalo je popravku i sanaciju pojedinih konstrukcijskih elemenata mosta, još 1997. godine, što nažalost nije urađeno.

U bombardovanju 8. maja 1999. godine došlo je do incidentnog urušavanja nosećih konstrukcijskih elemenata. Porušeni su nizvodni glavni nosači sa pešačkom stazom u zoni srednjeg levog stuba, a sam stub je bio znatno oštećen, te je most zatvoren za saobraćaj. Autori ovog rada, odmah su uradili elaborat o stanju mosta [4] i ispitivanje mostovskih konstrukcija [5]. Most je saniran po urađenom glavnom projektu [6], u toku leta iste godine i od tada je ponovo u funkciji. Glavnim projektom sanacije mosta, urađeno je ojačanje konstrukcija mosta sprežanjem nove kolovozne ploče sa postojećom, čime je povećana njihova nosivost. Na taj način, most je osposobljen da može da prihvati znatno veće uticaje od dejstava koji su bili predviđeni projektom i odgovori većim zahtevima upotrebljivosti, zbog promene i povećanja saobraćajnih uslova. Odgovarajućim ojačanjem date konstrukcije sa povećanim zahtevima, ostvareno je željeno produženje eksploatacionog veka mosta (Sl. 1).



Slika 1. Povećani eksploatacioni vek nakon ojačanja mosta

Mr Milan Gligorijević je, po metodologiji razvijenoj u okviru svoje doktorske disertacije „Optimizacija sistema upravljanja mostovima“, analizirao pogoršanje stanja konstrukcijskih elemenata ovog mosta i u modulu za prognoziranje budućeg stanja dobio da 2020. godine, rejting mosta sa tipa održavanja '*planiranje sanacije*' prelazi u '*hitna sanacija*'.

5. ZAVRŠNE NAPOMENE

Nezavisno od impozantnih dostignuća, građevinsko konstrukterstvo ima i veoma ozbiljan i izuzetno atraktivan zadatak, da uspešno reši problem budućnosti ogromnog broja postojećih objekata.

Oštećenja mostova na putevima su neprijatna ali očekivana i neizbežna pojava. Savremeni Sistem upravljanja mostovima nam pomaže kako da se ta oštećenja svedu na najmanju moguću meru, te kako, kada i kojim redosledom oštećenja treba otklanjati.

Iako je u dosadašnjoj praksi održavanja mostova kod nas, najviše zastupljena strategija „ne radi ništa“ (engl. *do-nothing*), odnosno „čekati“, kompleksne tehničke i ekonomske analize u sistemu upravljanja mostovima ukazuju da je to najskuplja, neracionalna i neadekvatna opcija po svim aspektima.

Blagovremeno održavanje uz praćenje stanja mostovskih konstrukcija, redovne popravke, rekonstrukcije i preventivne mere, daju veoma pozitivne efekte kako u tehničkom, tako i u funkcionalnom i ekonomskom pogledu. Zbog toga održavanje mostova treba da bude preventivno i redovno. To je tehnički, organizaciono i ekonomski najpovoljnije rešenje.

6. LITERATURA

- [1] Gligorijević M. i dr.: "Izveštaj o stanju mosta u ulici 12. Februar u Nišu", Institut za građevinarstvo i arhitekturu, 06 broj 26/2-17, 08.09.1997., Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, 1997. god.,
- [2] Gligorijević M. i dr.: "Drumski most preko reke Nišave u Nišu, obnovljen posle NATO bombardovanja", Zbornik radova JDGK, R-8, str. 63-68, 11. Kongres, Vrnjačka Banja, Septembar 2002.
- [3] Gligorijević M, S. Novak: "Oštećenja, sanacija i rekonstrukcija armiranobetonskih konstrukcija drumskog mosta u ulici 12. Februar u Nišu", Zbornik radova Simpozijuma o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, str. 355-360, JUDIMK, XXII Kongres, Niška Banja, Oktobar 2002. godine,
- [4] Gligorijević M. i dr.: "Elaborat o stanju mosta u ulici Oktobarske revolucije posle bombardovanja 8. Maja 1999.godine", Institut za građevinarstvo i arhitekturu, 06 broj 26/3, 11.05.1999.GF Niš
- [5] Ranković S. i dr.: "Izveštaj o ispitivanju mosta u ulici 12. Februar u Nišu", Institut za građevinarstvo i arhitekturu, 06 broj 26/5, 08.07.1999., Građevinski fakultet Niš, 1999. godine,
- [6] Gligorijević M. i dr.: "Glavni projekat sanacije drumskog betonskog mosta preko reke Nišave u Nišu, na regionalnom putu R-214, u ulici Oktobarske Revolucije-Bulevar 12 februar", Institut za građevinarstvo i arhitekturu, 06 broj 26/6, 04.08.1999., Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, 1999.god.,
- [7] *Pravilnik o tehničkim normativima za eksploataciju i redovno održavanje mostova* Sl. List SRJ br.20/1992.godine.

UDK: 551.521.1(497.11)

UPOREDNA ANALIZA GLOBALNIH SOLARNIH RADIJACIONIH MODELA NA TERITORIJI SRBIJE

Mladen Milanović¹

Milan Gocić²

Slaviša Trajković³

Rezime

Analizirano i upoređeno je šest globalnih solarnih radijacionih modela u Srbiji za vremenski period od 1980. do 2010. godine. Posmatrano je pet stanica od kojih se izdvaja stanica u Vranju sa najvišim vrednostima solarne radjacije (R_s), dok su najniže vrednosti na stanici Niš. Rezultati su pokazali da su na teritoriji Srbije najveće vrednosti R_s u julu mesecu. Validacija modela je urađena primenom dva statistička testa, i to: koren srednje kvadratne greške (RMSE) i srednje apsolutna procentualna greška (MAPE). Na osnovu testova utvrđeno je da Toğrul i Toğrul model 6 ima najveću podudarnost sa Angström-Prescott modelom.

Ključne reči: globalni solarni radijacioni model, Toğrul i Toğrul model 6, Angström-Prescott model, Srbija.

¹ Mladen Milanović, dipl.građ.inž, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

² dr Milan Gocić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

³ dr Slaviša Trajković, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

1. UVOD

Solarna radijacija (R_s) značajno utiče pri modelovanju rasta useva, pa samim tim i na procenu evapotranspiracije i definisanje potrebnih količina vode za navodnjavanje.

Za razliku od temperature vazduha i padavina, R_s predstavlja meteorološki promenljivu veličinu koju većina stanica ne meri. Zato je razvijen veliki broj empirijskih modela koji kao ulazne podatke koriste astronomske, geografske, geometrijske, fizičke i meteorološke parametre [1-3]. Od svih navedenih parametara za proračun empirijskih formula najviše se koristi stvarno trajanje sunčevog sjaja [4].

Analiza veze stvarnog trajanja sunčevog zračenja i R_s u Kini, sa posebnim osvrtom na delove zemlje koji se ubrzano razvijaju je prikazana u [5]. Definisan je period od deset godina kao osnovni period za kalibraciju R_s modela. Almorox je sproveo kalibraciju i validaciju petnaest empirijskih globalnih radijacionih modela primenom dostupnih meteoroloških podataka [6]. Podaci su uzeti sa Aranjuez stanice (Španija) za period 2003.-2008. godina. Za potrebe validacije metoda korišćeno je više statističkih metoda. Od svih kalibrisanih modela najbolje rezultate daje model kod koga se koristi ekstraterestrijalna radijacija, pritisak zasićene vodene pare, padavine i dnevna minimalna relativna vlažnost vazduha. Almorox predlaže Hargreaves i Samani model za određivanje R_s , zbog svoje jednostavnosti u uslovima gde su samo dostupni podaci o temperaturi vazduha.

U Srbiji, na teritoriji Smederevske Palanke analiziran je uticaj nagiba i orijentacije površine na proračun referentne evapotranspiracije [7]. U radu je razvijen metod za proračun radijacije na granici atmosfere i postupak za proračun neto radijacije na površinu pod nagibom.

U ovom radu predstavljena je analiza prosečnih dnevnih vrednosti solarne radijacije na mesečnom nivou, upotrebom šest globalnih solarno radijacionih modela koji se zasnivaju na lako dostupnim meteorološkim i geografskim podacima. Oblast proučavanje je teritorija Srbije za period od 1980. do 2010. godina.

2. MATERIJALI I METOD RADA

2.1 Oblast proučavanja i podaci

Teritorija Srbije se nalazi u centralnom delu Balkanskog poluostrva sa umereno kontinentalnom klimom. U većem delu Srbije prevladava klima umerenog pojasa, a u jugozapadnom delu dolazi do mešanja sredozemne subtropske i kontinentalne klime. Prosečna temperatura vazduha je 10,9 °C. Kao najhladniji mesec izdvaja se januar dok je najtopliji jul. Vrednosti sume trajanja sisanja Sunca na godišnjem nivou se kreću u granicama između 1500 do 2200 sati. Meseci u kojima je najveće sunčevo zračenje su maj, jun, jul, avgust i septembar.

U ovom radu posmatrana je teritorija Srbije preko pet sinoptičkih stanica, tabela 1. Podaci za proračun modela solarne radijacije (stvarno trajanje sunčevog sjaja) uzeti su iz hidrometeoroloških godišnjaka, koje izdaje Republički hidrometeorološki zavod Srbije.

Tabela 1 – Geografske karakteristike posmatranih stanica

Stanica	Geografska dužina	Geografska širina	Nadmorska visina (m)
Niš	21°54'	43°20'	204
Vranje	21°55'	42°33'	432
Kragujevac	20°56'	44°02'	185
Sombor	19°05'	45°47'	87
Dimitrovgrad	22°45'	43°01'	450

2.2 Metod rada

2.2.1 Modeli za proračun globalne solarne radijacije

Za proračun solarne radijacije korišćena su šest globalna solarna radijaciona modela. Šest modela su podeljena na jednoparametarske modele (linearni, polinomni, logaritamski, eksponencijalni model i model snage) i na višeparametarski model (linearni).

Jednparametarski linearni model

Angström-Prescott model [8, 9]:

$$R_s = \left(0,25 + 0,5 \frac{n}{N} \right) R_a \quad (1)$$

Jednparametarski polinomni model

Jin et al. model 2 [10]:

$$R_s = \left(0,1404 + 0,6126 \left(\frac{n}{N} \right) + 0,0351 \left(\frac{n}{N} \right)^2 \right) R_a \quad (2)$$

Jednparametarsko logaritamski model

Newland model 2 [11]:

$$R_s = \left(0,34 + 0,4 \left(\frac{n}{N} \right) + 0,17 \log \left(\frac{n}{N} \right) \right) R_a \quad (3)$$

Jednparametarsko eksponencijalni model

Toğrul and Toğrul model 5 [12]:

$$R_s = \left(0,3396 e^{0,8985 \left(\frac{n}{N} \right)} \right) R_a \quad (4)$$

Jednparametarski model snage

Toğrul and Toğrul model 6 [12]:

$$R_s = \left(0,7316 \left(\frac{n}{N} \right)^{0,4146} \right) R_a \quad (5)$$

Višeparametarski linearni model

Raja and Twidell model 3 [13]:

$$R_s = \left(0,388 \cos \varphi + 0,367 \left(\frac{n}{N} \right) \right) R_a \quad (6)$$

gde je: R_s solarna radijacija ($\text{MJ m}^{-2}\text{dan}^{-1}$), R_a je ekstraterestrijalna radijacija ($\text{MJ m}^{-2}\text{dan}^{-1}$), n je stvarno trajanje sunčevog sjaja (h), N je maksimalno trajanje sunčevog sjaja (h) i φ je geografska širina ($^\circ$).

Vrednosti za R_a se određuju na osnovu jednačine [8, 9]:

$$R_s = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right] \quad (7)$$

gde je G_{sc} solarna konstanta ($0,082 \text{ MJ m}^{-2}\text{min}^{-1}$), d_r je relativno rastojanje Zemlja–Sunce, ω_s je ugao zalaska sunca, φ je geografska širina (rad) i δ je sunčeva deklinacija (rad). Navedeni elementi se izračunavaju upotrebom sledećih formula:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (8)$$

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (9)$$

gde je J broj dana u godini

$$\omega_s = \arccos\left[-\tan(\varphi)\tan(\delta)\right] \quad (10)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (11)$$

2.2.2 Statistički testovi za poređenje modela

Za poređenje solarno radijacionih modela korišćena su dva statistička testa, koren srednje kvadratne greške (RMSE) i srednje apsolutna procentualna greška (MAPE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - m_i)^2} \quad (12)$$

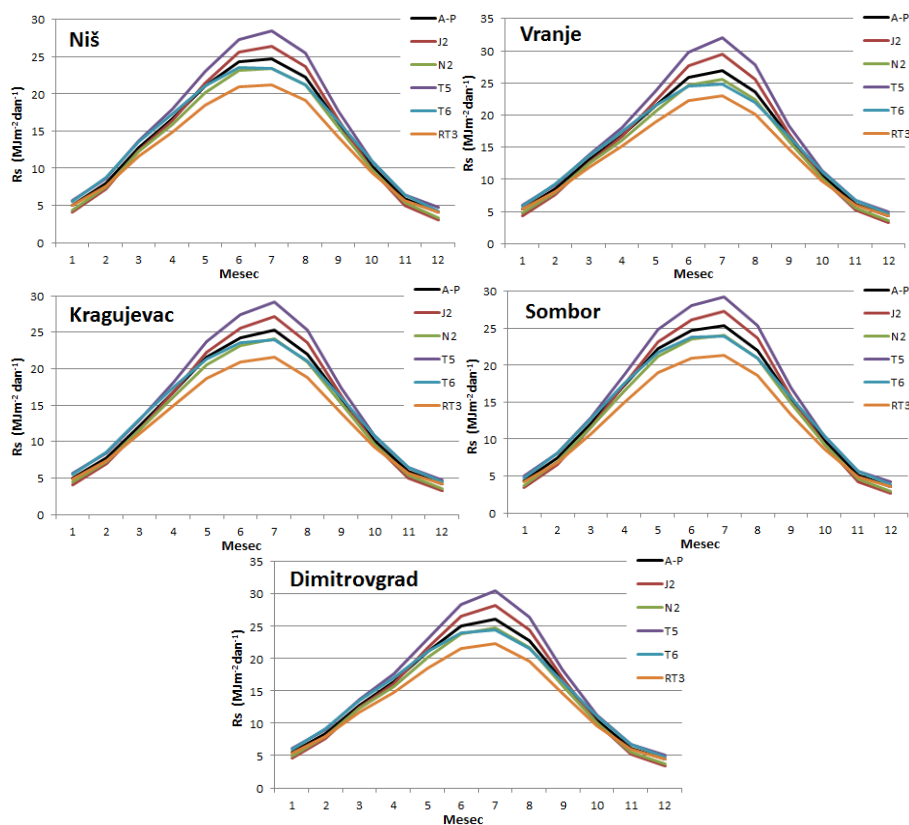
$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{m_i - c_i}{m_i} \right|}{n} 100 \quad (13)$$

gde je c_i i-ta izračunata vrednost a m_i je i-ta merena vrednost. Što je vrednost RMSE testa manja to je preciznost modela veća. MAPE predstavlja meru tačnosti izračunatih vrednosti u odnosu na

izmerene, izražena u procentima. Veće je podudaranje između merenih i izračunatih vrednosti kada su vrednosti MAPE testa manje (bliže nuli).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Vrednosti solarne radijacije su izračunate za period od 1980. do 2010. godine za pet meteoroloških stanica u Srbiji. Korišćeni su modeli Angström-Preseott model (A-P), Jin et al. model 2 (J2), Newland model 2 (N2), Toğrul i Toğrul model 5 (T5), Toğrul i Toğrul model 6 (T6) i Raja i Twidell model 3 (RT3). Na slici 1 prikazane su prosečne dnevne vrednosti R_s na mesečnom nivou za stanice Niš, Vranje, Kragujevac, Sombor i Dimitrovgrad.



Slika 1 – Srednje dnevne vrednosti vrednosti R_s na mesečnom nivou

Sa slike 1 se uočava da su najviše vrednosti R_s kod stanice Vranje, a najniže su kod stanice Niš. Od svih posmatranih metoda

najviše vrednosti dobijaju se upotrebom T5 metode, a najniže RT3 metodom. Decembar je mesec sa najnižim vrednostima prosečne dnevne R_s , a najviše vrednosti su u julu.

Prema [14] izdvaja se Angström-Prescott model kao najpouzdaniji metod za proračun vrednosti R_s . Na osnovu ove preporuke izdvojen je A-P model kao bazni model koji je poređen sa ostalim modelima za određivanje R_s . U tabeli 2 dati su rezultati poređenja R_s modela primenom dva statistička testa.

Tabela 2 – Poređenje Angström-Prescott modela sa posmatranim R_s modelima

Stanica	Statistički test	J2	N2	T5	T6	RT3
Niš	RMSE	0,973	0,812	1,920	0,698	2,019
	MAPE	8,694	6,976	10,758	5,303	8,883
Vranje	RMSE	1,240	0,860	2,447	0,969	2,156
	MAPE	8,841	6,700	11,478	5,901	8,798
Kragujevac	RMSE	0,996	0,791	1,974	0,720	2,119
	MAPE	8,412	6,479	10,545	5,709	9,457
Sombor	RMSE	1,046	0,808	2,078	0,726	2,354
	MAPE	9,253	7,212	11,363	5,365	10,783
Dimitrovgrad	RMSE	1,093	0,818	2,160	0,831	2,094
	MAPE	8,223	6,360	10,740	5,750	8,960

Primenom RMSE testa izdvajaju se dva modela N2 i T6, kao modeli koji imaju najveće poklapanje sa A-P modelom. Dok najlošije poklapanje imaju T5 i RT3 modeli. MAPE test pokazuje da najveće podudaranje sa A-P modelom ima T6 model, a najmanje T5 model.

4. ZAKLJUČAK

U radu je sprovedena uporedna analiza modela za proračun solarne radijacije sa Angström-Prescott modelom za pet sinoptičkih stanica na teritoriji Srbije. Utvrđeno je da T5 model daje najviše vrednosti R_s kod svih stanica, i ujedno to je model koji ima najveća odstupanja od A-P modela. Oba statistička testa su pokazala da najveće podudaranje sa A-P modelom ima T6 model.

Sledeća studija biće usmerena ka analizi uticaja geografske širine i dužine na metode proračuna R_s i na većoj upotrebi višeparametarskih modela R_s .

ZAHVALNOST

Rezultati istraživanja prikazani u radu su finansirani u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije br. 37003 "Razvoj hidro-informacionog sistema za praćenje i ranu najavu suša".

5. LITERATURA

- [1] Almorox, J., Hontoria, C.: *Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain*. Energy Conversion and Management 45, 2004, 1529–1535.
- [2] Udo, S.O.: *Contribution to the Relationship Between Solar Radiation and Sunshine Duration in the Tropics: A Case Study of Experimental Data at Ilorin, Nigeria*. Turkish Journal of Physics 26, 2002, 229-236.
- [3] Menges, H.O., Ertekin, C., Sonmete, M.H.: *Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey*. Energy Conversion and Management 47, 2006, 3149–3173.
- [4] Zhao, N., Zeng, X., Han, S.: *Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China*. Energy Conversion and Management 76, 2013, 846-851.
- [5] Liu, J., Linderholm, H., Chen, D., Zhou, X., Flerchinger, G.N., Yu, Q., Du, J., Wu, D., Shen, Y., Yang, Z.: *Changes in the relationship between solar radiation and sunshine duration in large cities of China*. Energy 82, 2015, 589-600.
- [6] Almorox, J.: *Estimating global solar radiation from common meteorological data in Aranjuez, Spain*. Turkish Journal of Physics 35, 2011, 53-64.
- [7] Stanić, M., Vasilić, Ž., Prodanović, D.: *Uticaj nagiba i orijentacije površine na proračun referentne evapotranspiracije primenom Penman-Monteith metode*. Vodoprivreda 43, 2011, 175-187.
- [8] Angstrom, A.: *Solar and terrestrial radiation*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50, 1924, 121–126.
- [9] Prescott, J.A.: *Evaporation from a water surface in relation to solar radiation*. Transactions of the Royal Society of South Australia 64, 1940, 114–125.

- [10] Jin, Z., Yezheng, W., Gang, Y.: *General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China*. Energy Conversion and Management 46 (2), 2005, 257-268.
- [11] Newland, F.J.: *A study of solar radiation models for the coastal region of South China*. Solar Energy 43, 1989, 227-235.
- [12] Turk Tođrul, I., Tođrul, H.: *Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data*. Renewable Energy 25, 2002, 55-67.
- [13] Raja, I.A., Twidell, J.W.: *Distribution of global insolation over Pakistan*. Solar Energy 43, 1989, 355-357.
- [14] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M.: *Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998, Roma, Italy.

MOGUĆNOST KORIŠĆENJA HIDROENERGETSKOG POTENCIJALA VODOTOKA NA LOKACIJAMA SA MALIM PADOM

Dragan Milićević¹
Saša Živković²
Ljiljana Anđelković³

Rezime

Ovaj rad ima za cilj da ukaže na mogućnosti i značaj iskorišćenja energetskog potencijala vodotoka na lokacijama sa malim padovima koje do sada nisu bile interesantne za izgradnju malih hidroelektrana. Korišćenje novih tipova turbina, koje su se u novije vreme pojavile na tržištu, na takvim lokacijama, se pokazalo kao sasvim isplativo. U radu je dat kratak prikaz VLH turbine koja se može uspešno primeniti na lokacijama na kojima najčešće nije moguće uraditi rešenje sa drugim tipom turbina, čime bi takva mesta ostala neiskorišćena.

Ključne reči: *energetika, male hidroelektrane, mali padovi*

1. UVOD

Sve veća globalna potreba za električnom energijom i ograničenost klasičnih izvora energije, doveli su do toga da je u razvijenim zemljama sveta već odavno prepoznata potreba bržeg uvođenja i korišćenja obnovljivih izvora energije.

Poseban značaj, pridaje se malim hidroelektranama, kao vrlo atraktivnim i značajnim objektima, koji mogu predstavljati značajan dopunski resurs električne energije jedne države. U evropskim

¹ dr Dragan Milićević, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

² Saša Živković, dipl.inž.građ., HTS hidro consulting Niška Banja

³ dr Ljiljana Anđelković, docent, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini, sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici

zemljama od svih alternativnih izvora energije male hidroelektrane imaju najveću ulogu.

U sklopu integralnog, kompleksnog i jedinstvenog upravljanja režimom voda, treba realizovati iskorišćenje svih iskoristivih hidropotencijala, tako što će se racionalno iskoristiti vodeni padovi i protoke za izgradnju malih hidroelektrana gde god je to moguće. Podrazumeva se da korišćenje voda za potrebe energetike mora biti usklađeno sa potrebama drugih korisnika voda, zaštite voda i zaštite od voda. Trend intenzivnog korišćenja prirodnih obnovljivih resursa za dobijanje električne energije, podstiče prepoznavanje mogućih lokacija za male hidroelektrane tamo gde one ranije nisu uočavane. To posebno važi za lokacije na većim vodotocima sa malim raspoloživim padovima, ali sa značajnim proticajima.

Iako je u poslednjih nekoliko godina primetan određeni pad cena opreme, cena izgradnje male hidroelektrane po instalisanom kilovatu je i dalje visoka pa električna energija proizvedena u malim hidroelektranama može biti skupa. To posebno važi za kombinaciju malog pada i veće količine vode, koja čini opremu male hidroelektrane još skupljom.

U poslednjih desetak godina na tržištu se pojavilo nekoliko novih tipova turbina koje mogu da rade sa malim padovima i većim proticajima, a čije korišćenje se pokazalo sasvim isplativim, pogotovo ako već postoji hidrotehnički objekat: brana, pregrada, kanal ili cevovod. Danas je na lokacijama na kojima postoji pad od 1.5 m do 4.0 m praktično moguća ugradnja nekog od novih tipova turbina, tako da mnoga mesta, koja do sada nisu bila interesantna za izgradnju male elektrane, postaju finansijski opravdani projekti.

U ovom radu dat je kratak prikaz VLH turbine koja se može uspešno primeniti na lokacijama na kojima najčešće nije moguće uraditi rešenje sa drugim tipom turbina, čime bi takva mesta ostala neiskorišćena. Korišćenjem VLH turbine izbegavaju se skupi građanski radovi za konvencionalne male hidroelektrane sa drugim tipovima turbina i dodatno korišćenje zemljišta a već uspostavljene plavne zone ostaju nepromenjene, što smanjuje uticaj na vredno poljoprivredno zemljište ili stambene oblasti.

2. VLH TURBINE

U dosadašnjoj praksi nije bilo opreme koja omogućava izgradnju prihvatljivo profitabilnih malih hidroelektrana na lokacijama sa padom manjim od 4 m. Tehnički gledano, neke od tehnologija koje su

dostupne mogu se primeniti u ovakvim slučajevima (Kaplan, propelerna, Bulb ili Arhimed turbina), ali njihova implementacija podrazumeva troškove građevinskih radova koji čine ukupnu investiciju male hidroelektrane neprihvatljivom.

Profitabilnost postrojenja za iskorišćenje snage lokacija sa malim raspoloživim padovima je problematična iz više razloga:

- korišćenje malih padova zahteva značajne proticaje; da bi se pri padu manjem od 3 m generisala relativno umerena snaga (reda nekoliko stotina kW) proticaj turbine mora biti veći od $10 \text{ m}^3/\text{s}$, što za potrebe obezbeđenja protoka vode, rezultira građevinskim strukturama značajnih dimenzija,
- troškovi građevinskih radova rapidno rastu u poređenju sa instalisanom snagom i na taj način sa ostvarenom dobiti;
- da bi njihova oprema bila konkurentnija, proizvođači turbina nastoje da optimizuju svoj proizvod povećanjem njegovih performansi i smanjenjem prečnika radnog kola; proizvođači imaju privilegiju da smanjuju veličinu i troškove svoje opreme, po pravilu na štetu građevinskih radova i objekata, posebno za male raspoložive padove;
- od primarnog značaja je da se postigne isplativo rešenje optimizacijom troškova građevinskih radova.

Na osnovu statističkih istraživanja obavljenih na brojnim postojećim objektima i hidrauličnih proračuna za dimenzionisanje ulaznih i izlivnih struktura količina radova za izgradnju male hidroelektrane eksponencijalno raste sa smanjenjem raspoloživog pada. Tako na primer, za jednaku snagu postrojenja, pri smanjenju pada sa 3.0 m na 1.5 m, obim građevinskih radova potrebnih za instaliranje konvencionalnih rešenja se povećava 5 puta.

U poslednjih desetak godina na tržištu se pojavilo nekoliko novih tipova turbina koje mogu da rade sa malim padovima i većim proticajima, a čije korišćenje se pokazalo sasvim isplativim.

Vrlo interesantno rešenje je very low head (VLH) turbina, francuskog proizvođača MJ2 Technologies. Osnovna ideja koncepta VLH turbine je suprotna navedenim tendencijama i usmerena je u pravcu smanjenja, koliko je to moguće, ulaznih i izlaznih građevinskih struktura, povećanja veličine prečnika radnog kola turbine i integracije u kompaktnu samonoseću strukturu koja obezbeđuje sve funkcije kao i konvencionalna oprema.

Originalni dizajn VLH turbogenerators omogućava prevazilaženje problema koji se javljaju pri korišćenju klasične opreme na lokacijama sa malim raspoloživim padovima jer smanjuje zahteve za građevinskim radovima na minimum.

Novi koncept VLH turbina namenjenih za eksploataciju veoma malih padova (u rasponu između 1.5 i 3.4 m, do maksimalno 4.5 m u prilagođenoj armiranoj konfiguraciji) potekao je od tima francuskih i kanadskih stručnjaka u oblasti mini hidroelektrana. Patentna prijava za VLH turbogenerator jedinicu podneta je 2003. godine u Francuskoj kao rezultat dugogodišnjeg iskustva u projektovanju turbina za male padove. U aprilu 2004. godine je formirana firma MJ2 Technologies SARL sa ciljem razvoja novog koncepta, pronalaženja sredstava i upravljanja projektom razvoja prvog prototipa turbogenerators, sa naučnog, istraživačko razvojnog i industrijskog aspekta.

Posle preliminarnih studija završenih u toku 2004. i 2005. godine i laboratorijskih testova na modelima manjeg obima završenih u toku 2006. godine, izgrađena je i 2007. godine puštena u rad prva MHE sa ugrađenom VLH turbinom na lokaciji u Millau, na jugu Francuske.

Danas MJ2 međunarodna prodajna mreža ima predstavnike u Nemačkoj, Italiji, Belgiji, Španiji, Holandiji, Poljskoj, Kanadi i SAD, a pregovori sa brojnim drugim zemljama su u toku. Od 2007. do 2014. godine MJ2 je isporučila 49 VLH turbina ukupne instalirane snage od oko 11000 kW, koje su instalirane u MHE na 38 lokacija, a treba da isporuči još 43 VLH turbine ukupne instalirane snage oko 7000 kW, koje će biti instalirane u MHE na još 20 lokacija.

2.1. Tehničke karakteristike VLH turbina

Ciljevi razvoja VLH turbogenerators su da se dobije jedinica koja zahteva vrlo male građevinske radove, koja je jednostavna za instalaciju i nudi visok stepen pouzdanosti po razumnoj ceni po instaliranom kW. Za postizanje ovih ciljeva, koncept VLH turbina ima potpuno drugačiji pristup od tradicionalnog dizajna i koristi veliko Kaplan radno kolo da bi se praktično eliminisale skupe građevinske strukture karakteristične za tradicionalni koncept.

Generalno govoreći, VLH jedinica je integrisani sistem, koji uključuje veliko Kaplan radno kolo sa osam podesivih, samozatvarajućih lopatica, fiksni distributor, permanentni magnetni

generator direktno spojen sa radnim kolom i automatski rotirajući čistač montiran na distributoru iznad lopatica radnog kola.

VLH turbinu karakterišu sledeći elementi:

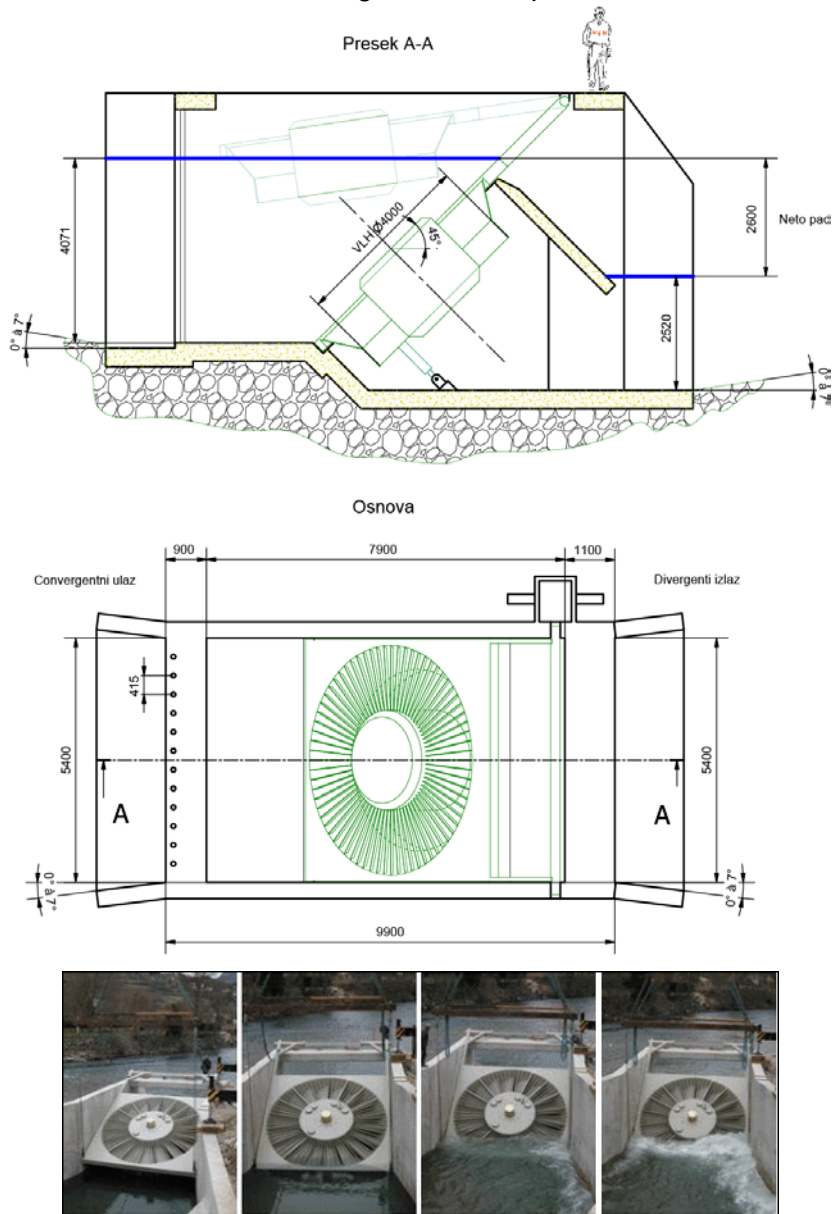
- samonoseća konstrukcija, koja omogućava kompletno fabričko sklapanje i veoma brzu montažu ili demontažu na licu mesta,
- distributor, koji se koristi i kao zaštitna mreža radnog kola.
- ugrađeni rotirajući čistač smeća,
- standardizovana Kaplan turbina sa 8 lopatica podesivih prema uzvodnom nivou i protoku,
- otvaranje lopatica je hidraulički kontrolisano u skladu sa raspoloživim protokom i trenutnim raspoloživim padom,
- turbina prestaje sa radom zatvaranjem svojih lopatica i ne zahteva uzvodni uređaj za zaustavljanje proticaja,
- spori direct-drive permanentni magnetni generator promenljive brzine,
- brzina generator varira prema trenutno izmerenom neto padu, što omogućava da se optimizuje efikasnost turbine, tako što će ona raditi u najboljem opsegu efikasnosti, bez obzira na izmereni pad,
- elektronski konverter frekvencije,
- integrisana elektronska kontrolna oprema za upravljanje turbogeneratorom i energetsom elektronskom opremom,
- mogućnost rotiranja oko rotacione ose na gornjem kraju, što omogućava podizanje turbine iz vode za održavanje.

Pošto je koncept VLH turbina namenjen relativno uzanom opsegu padova i protoka, one su savršeno dobro prilagođene potpunoj standardizaciji.

Turbine se proizvode u 5 prečnika (3150, 3550, 4000, 4500 i 5000 mm), zavisno od pada i proticaja sa kojima rade.

Opseg padova turbine kreće se od 1.5 do 3.4 m. (do 4.5 m u prilagođenoj armiranog verziji za tri najmanja modela u opsegu), a opseg protoka od 9 do 27 m³/s, ali instaliranje više jedinica na istoj lokaciji omogućava vrlo velike ukupne protoke postrojenja.

Opseg snage turbine kreće se od 100 do 500 kW, sa koeficijentom korisnog dejstva turbine od 80%. VLH turbina će zadržati svoju nominalnu efikasnost sve do 40% od nominalnog pada, što obezbeđuje godišnji proizvodni kapacitet ekvivalentan sa konvencionalnom dvostruko regulisanom Kaplan turbinom.



Slika 1. Ugradnja VLH Ø4000 turbine u betonskom kanalu i izgled ugrađene turbine

Procenjuje se da VLH turbina snage ispod 100 kW ne bi bila profitabilna, a studije do sada izvedenih turbina su pokazale da je za snage iznad 500 kW, profitabilnije instalirati nekoliko manjih turbina umesto jedne velike.

Ovaj tip turbina postavlja se pod uglom od 45 stepeni u odnosu na horizontalu. Građevinska infrastruktura neophodna za ugradnju VLH turbine svodi se na betonski kanal sa dva paralelna vertikalna bočna zida i horizontalnu donju platformu (slika 1), koji ne zahteva velike iskopne radove.

Posebna pogodnost ovih turbina je mogućnost postavljanje na već postojeće hidrotehničke objekte (derivacioni kanali, prelivna polja na samoj brani), bez izgradnje posebnih građevina za njihov smeštaj i značajnijih dodatnih građevinskih radova na objektima.

Tokom rada VLH turbina je potopljena u vodi. Za konfigurisanje, servis ili propuštanje poplavnih voda turbina se može podići oko rotacione osovine na gornjem kraju.

2.2. Uticaja VLH turbine na životnu sredinu

Tehničke karakteristike VLH turbine omogućavaju joj izuzetno povoljne ekološke karakteristike. Budući da je VLH turbina pri radu potopljena, njen vizuelni uticaj i uticaj na povećanje buke je veoma nizak, čineći njenu implementaciju u urbanim sredinama vrlo jednostavnom.

Najinteresantnija karakteristika VLH turbine u pogledu uticaja na životnu sredinu leži u njenom veoma malom uticaju na migracije riba, jer veliki prečnik radnog kola obezbeđuje veliki prostor između lopatica i omogućava lak prolaz svih rečnih riba. Osim toga brzina rotacije radnog kola je veoma mala (<40 ob/min), brzina protoka vode je ispod 2 m/s (uporediva sa brzinom kroz riblju stazu), a hidraulični prolaz vode karakteriše veoma niska varijacija pritiska.

Na osnovu izvršenih ispitivanja na MHE sa instaliranim VLH turbinama i dobijenih odličnih rezultata VLH turbina je rangirana kao "najprijateljskija" za riblju populaciju među turbinama testiranim do današnjih dana. Izvršena ispitivanja su takođe omogućila izmene na VLH turbinama za dodatno poboljšanje učinka u ovoj oblasti.

Nizak uticaj na životnu sredinu i mogućnost integracije u urbani kontekst, kao i u zaštićena prirodna područja čini VLH turbinu idealnim kako za ugradnju na nove lokacije sa malim raspoloživim

padovima, tako i na brojene već postojeće hidrotehničke objekte, bez većih troškova za građevinske radove.

3. MHE SA VLH TURBINAMA KOD DOLJEVCA

Mogućnost energetskeg korišćenja malih vodotoka u Srbiji sagledana je u okviru Katastra malih hidroelektrana na teritoriji SR Srbije van SAP" („Energoprojekt Hidroinženjering" i Institut „Jaroslav Černi", 1987. godine) koji obuhvata 856 lokacija i Katastra malih hidroelektrana u Autonomnoj Pokrajini Vojvodini („Hidroinvest" DTD, 1989. godine) koji obuhvata još 13 lokacija.

Obzirom da su na brojnim lokacijama iz Katastra MHE uslovi značajno izmenjeni, Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Srbije od 2007. do 2012. godine (izmene i dopune, 2009) je predvideo detaljnu reviziju lokacija predviđenih Katastrom MHE i utvrđivanje precizne liste izvodljivih lokacija za izgradnju malih hidroelektrana.

Prostornim planom RS konstatovano je da se Katastar MHE može koristiti kao dokumentaciona podloga za pripremu izgradnje MHE uz neophodnost prethodne provere stanja u prostoru i hidrologije, ali da se MHE mogu graditi i na lokacijama koje nisu obuhvacene katastrom na osnovu tehničke dokumentacije koja je urađena prema vodnim uslovima i uslovima zaštite prirode.

Pojava novih tipova turbina za male padove i velike proticaje učinila je da za izgradnju MHE postanu interesantne i isplative i lokacije sa malim raspoloživim padom do 4 m na većim vodotocima, kao što su Velika Morava, Zapadna i Južna Morava, koje Katastrom MHE nisu uopšte razmatrane.

Vodoprivrednom osnovom RS (Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 2001. godina) nisu eksplicitno predviđene lokacije za izgradnju MHE ali je predviđena mogućnost izgradnje protočnih elektrana na Velikoj Moravi, Zapadnoj Moravi i Južnoj Moravi.

Oslanjajući se na pozitivne zakone Republike Srbije, Investitor Solomont energija d.o.o. Doljevac je izabrao kod Doljevca tri lokacije na Južnoj Moravi za izgradnju malih hidroelektrana.

3.1. Makrolokacija objekata

Opština Doljevac se nalazi u jugoistočnom delu Srbije na glavnom auto-putu i železničkoj pruzi Beograd-Niš-Skoplje-Solun.

Opština Doljevac je jedna od šest opština na području Nišavskog okruga, sa površinom od 121 km² i 19.561 stanovnika, po popisu 2002. godine. Po veličini teritorije je na poslednjem, a po broju poljoprivrednih površina i gustini naseljenosti na drugom mestu u okrugu.

Blizina grada Niša (samo 18 km), kulturnog, ekonomskog i privrednog centra je jedan od razloga zbog kojeg cela opština Doljevac gravitira ovom regionalnom centru.

Opština Doljevac prostire se na plodnoj aluvijalnoj ravni Južne Morave i donjih tokova Toplice, Jugbogdanovačke i Puste reke, na nadmorskoj visini između 188 m (kota isteka Južne Morave sa teritorije Opštine) i 805 m (vrh Crno Jezero). Teritorija opštine Doljevac obuhvata deo plodne južnomoravske doline između gradova Niša i Leskovca, odnosno južni deo Niške i severni deo Leskovačke kotline, koje su njenom središnjem delu povezane poznatim Korvingradskim tesnacom. Ovaj interesantan prirodni prolaz kroz koji se provlače Južna Morava, železnička pruga i druge saobraćajnice, čine najistureniji obronak planine Seličevice.

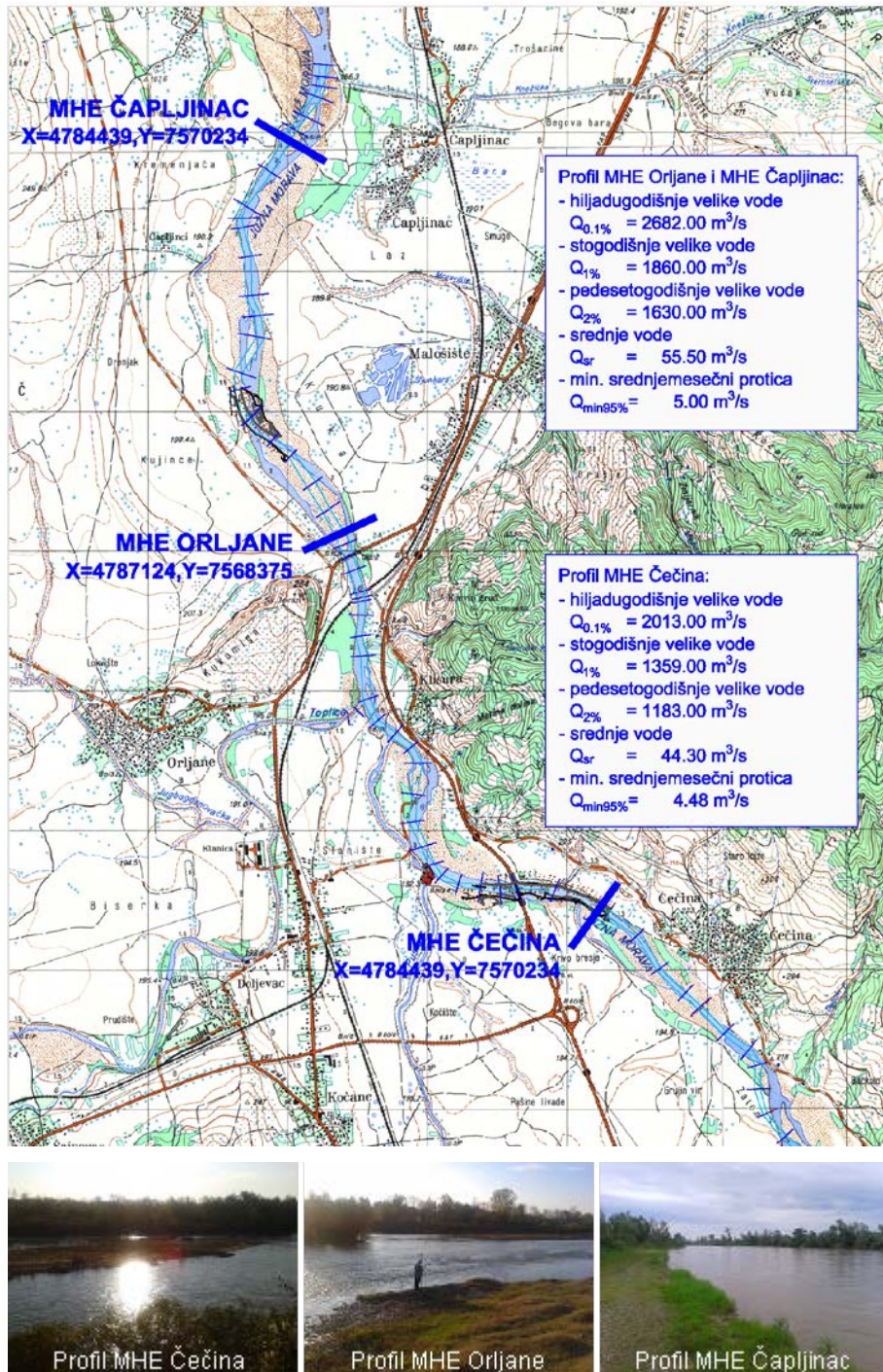
Profili koje je izabrao Investitor za izgradnju MHE nalaze se u opštini Doljevac, Južnoj Moravi (slika 2) i to:

- profil MHE Čečina koji se nalazi severozapadno od sela Čečina, na oko 1000 m od centra sela, na Južnoj Moravi na oko 600 m uzvodno od postojećeg putnog mosta,
- profil MHE Orljane koji se nalazi severoistočno od sela Orljane, na oko 2000 m od centar sela, na Južnoj Moravi na 180 m nizvodno od postojećeg putnog mosta i oko 3900 m nizvodno od profila MHE Čečina,
- profil MHE Čapljinac koji se nalazi zapadno od sela Čapljinac, na oko 1000 m od centra sela, na Južnoj Moravi na oko 3000 m nizvodno od profila MHE Orljane.

Na osnovu izvršenih preliminarnih analiza utvrđeno je da postoji opravdana mogućnost za izgradnju malih hidroelektrana na izabranim lokacijama pa se pristupilo potrebnim merenjima i izradi hidrološke studije za potrebe izrade tehničke dokumentacije.

Takođe su pribavljeni mišljenje o lokaciji Opštine Doljevac, uslovi i mišljenja nadležnih institucija (Ministarstvo odbrane RS, Zavod za zaštitu spomenika kulture, Telekom Srbija, RHMZ, JVP Srbijavode VPC Morava Niš).

Izlaskom na lokacije budućih malih hidroelektrana utvrđeno je da su prirodni uslovi za izgradnju malih hidroelektrana na izabranim profilima postoje relativno nepovoljni iz sledećih razloga:



Slika 2. Lokacija profila MHE Čečina, MHE Orljane i MHE Čapljinac

- radi se o lokacijama sa veoma malim padom,
- Južna Morava ima velike oscilacije protica,
- glavno korito Južne Morave ima relativno malu dubinu (najmanju u zoni ušća Puste reke, gde dubina korita iznosi oko 4.0 m), sa širokim koritom za velike vode,
- korito Južne Morave je usečeno u aluvijum, a obale su delom nestabilne i osetljive na eroziju pogotovo pri povlačenju velikih voda,
- vode Južne Morave nose dosta vučenog nanosa o čemu treba voditi računa.

Ostali uslovi za izgradnju MHE na izabranim lokacijama su povoljni i to:

- na deonici Južne Morave na kojoj će se graditi planirane MHE nema drugih potrošača i korisnika vode, što omogućava da se za energetiku koriste ukupni raspoloživi proticaji koji se javljaju u reci.
- u blizini budućih MHE egzistira elektro mreže i dobro konzumno područje Doljevca i Niša, a MHE će poboljšati elektroenergetske prilike u ovom kraju,
- postoje dobri pristupni putevi, novi i stari auto put za Skoplje, kao i lokalni putevi koji omogućavaju pristup svim budućim hidrograđevinskim i hidroenergetskim objektima,
- u relativnoj blizini budućih MHE ima potrebnog građevinskog materijala i fabrike betona.

Nepovoljni prirodni uslovi za izgradnju MHE na izabranim lokacijama, pre svega veoma mali raspoloživi padovi i glavno korito reke relativno male dubine, uslovljavaju primenu novih tehnologija turbina koje mogu da rade sa malim padovima, a da racionalno koriste raspoložive proticaje u reci.

3.2. Tehničko rešenje MHE na Južnoj Moravi kod Doljevca

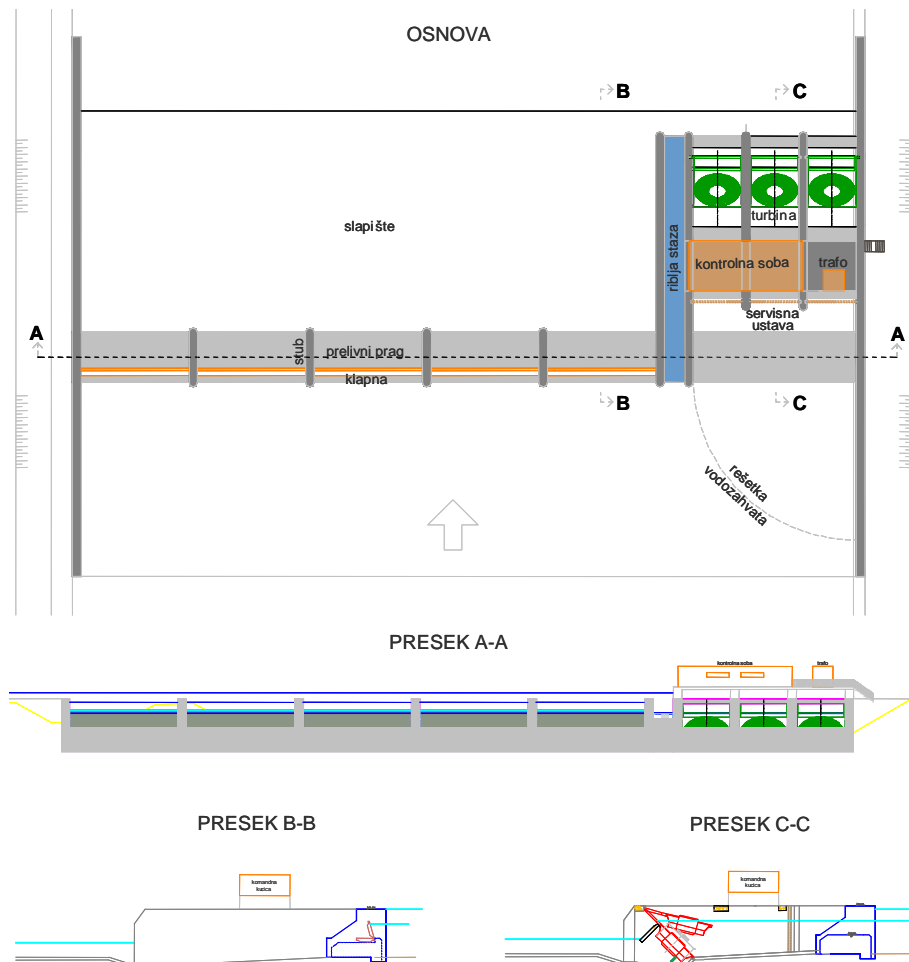
Male hidroelektrane Čečina, Orljane i Čapljinac, na Južnoj Moravi, imaju osnovnu namenu da proizvode električnu energiju i da je preko distributivnog sistema prodaju definisanim kupcima na tržištu.

Po svojoj konfiguraciji male hidroelektrane su predviđene kao protočna pribranska postrojenja bez akumulacije, kaskadnog tipa.

Raspoloživi pad za rad turbina se ostvaruje niskom pregradom branom sa ustavom – klapnom, koja ima ulogu i da omogući zahvatanje vode za rad elektrane. Posle prolaska vode kroz turbine, sva zahvaćena voda se vraća u vodotok, bez promene količine i kvaliteta.

Male hidroelektrane su locirane u samom koritu reke i sastoje se od sledećih elemenata (slika 3):

- niska betonska pregrada sa prelivnim poljima između betonskih stubova, na kojima su postavljene ustave - klapne,
- zahvat vode koji prelazi u dovodni kanal prema turbinama,
- dovodni kanal sa prostorom u kome je postavljena turbina,
- komandni prostor sa opremom.



Slika 3. Osnova i preseki MHE Čapljinac

Betonska pregrada služi da stvori potreban pad za rad elektrane i da omogući zahvatanje vode za rad turbina.

Jedan deo pregrade je betonski prag sa bočnim stubovima i prelivnim poljima na kojima su postavljene ustave – klapne. Klapne imaju osnovnu funkciju da, kada su podignute održavaju potreban nivo gornje vode za rad turbina, odnosno da pri nailasku velikih voda, kada su u oborenem položaju, omoguće prolaz velikih voda i ispiranje i pronos vučenog nanosa. Klapne su oslonjene na betonski prag i vezane su preko armiranih veza sa telom praga. Klapnama upravlja hidraulički agregat preko kiperu postavljenih u bočnim betonskim stubovima.

Drugi deo pregrade je od gabiona i služi da održi potreban nivo uspora vode za rad turbina kao i da bude pomoćni preliv za proticaje koji su u rangu velikih voda. Gabioni su različitih dimenzija, prema potrebi. Mreža gabiona je od pocinkovane žice debljine 3.5 mm, a pune se kamenom iz majdana koji se nalaze u blizini sa specifičnom težinom od 2.8 kg/m^3 . Ovakav tip pregrade lako se održava, otporan je na velike vode koje se javljaju tokom godine, a može se uvek dograditi prema potrebama.

Iza betonskog praga, nizvodno, formirano je slapište, koje se nastavlja u kinetu koja prihvata vode iz turbina i omogućava održavanje kote donje vode na potrebnom nivou.

U boku betonske pregrade je postavljena riblja staza, koja radi i kao preliv pri nailasku velikih voda.

Zahvatanje vode se vrši preko jednog ili dva zahvata, zavisno od broja instaliranih turbina, koji su postavljeni uz obalu neposredno uzvodno od betonske pregrade. Zahvati vode su predviđeni da učestvuju u propuštanju velikih voda. Zahvati su sa niskim pragom visine 1.0 m, kako bi se sprečio ulazak vučenog nanosa u dovodni kanal prema turbinama. Na pragu je formiran preliv na kome je postavljena gruba rešetka od čeličnih šipki debljine 1.5 cm na rastojanju od 25 cm, koja služi da spreči ulaz većih plivajućih tela koje nosi voda. Sitan plivajući nanos koji se istaloži u prostoru zahvata ispira se kroz dovodne kanale u kojima su turbine, pri čemu se turbine podižu, kao bi oslobodile čist profil kanala za evakuaciju vode i ispiranje nanosa. Zahvat vode u nastavku prelazi u dovodni kanal prema turbinama, čija širina zavisi od broja i veličine radnog kola instaliranih VLH turbina.

Nakon ulaznog dela dužine oko 10 m, dovodni kanal se betonskim zidom debljine 1.0 m deli na dva, odnosno tri dela, zavisno od broja instaliranih turbina. Na početku svakog dela kanala nalaze se

utore za postavljanje servisnih tablastih ustava, čija je uloga da obezbede održavanje kanala, a ne turbine, jer same turbine se mogu podići iznad nivoa vode u slučaju potrebe sa servisiranjem. Na kraju svakog dela kanala je prostor za smeštaj VLH turbine, čije dno je nešto niže od dna dovodnog kanala, čime se obezbeđuje što niža kota donje vode pri instalisanom proticaju.

Za postavljanje VLH turbine nije potrebna mašinska zgrada u klasičnom smislu, potreban je i dovoljan prostor sa spuštenim dnom u otvorenom betonskom kanalu. Posle prolaska vode kroz turbinu ona se vraća direktno u reku.

Za smeštaj sistema za upravljanje turbinama i ustavama, ormara za struju i potrebnih pratećih agregata, neophodna je komandna prostorija. Poželjno je da se komandna prostorija sa sistemima za upravljanje nalazi što bliže samim turbinama, čime se skraćuju sve instalacije i smanjuje se rizik od kvarova. Taj prostor zbog uštede je postavljen iznad dovodnog kanala na platou sa kotom koja je viša od kote poplavnih voda. Sa platoa na kome je komandna prostorija ujedno se može manipulirati servisnim ustavama.

Betonski prag sa prelivima i stubovima, vodozahvat i dovodni kanal se rade od armiranog vodonepropusnog betona MB 30 i čine kompaktnu konstrukciju.

Za hidrauličke proračune i dimenzionisanje elemenata malih hidroelektrana korišćeni su hidrološki podaci koji su verifikovani Mišljenjem RHMZ-a. Korišćenjem srednjih višegodišnjih proticaja reke od $Q_{sr} = 44.30 \text{ m}^3/\text{s}$ za MHE Čečina, odnosno $Q_{sr} = 55.50 \text{ m}^3/\text{s}$ za MHE Orljane i MHE Čapljinac definisani su instalisani proticaj od $Q_{inst} = 60.00 \text{ m}^3/\text{s}$ za MHE Čečina, odnosno $Q_{inst} = 75,00 \text{ m}^3/\text{s}$ za MHE Orljane i MHE Čapljinac. Elementi malih hidroelektrana projektovani su sa definisanim instalisanim proticajima, a u skladu sa geometrijom korita uz uslov da se ne pogorša režim oticanja velikih voda na predmetnoj deonici Južne Morave. Takođe je, sa definisanim instalisanim proticajima i raspoloživim bruto padovima određen i tip, model i broj turbina. Usvojene tehničke karakteristike planiranih malih hidroelektrana prikazane su u tabeli 1.

Hidrauličke analize uticaja planiranih MHE sa usvojenim tehničkim karakteristikama na prirodni režim tečenja na razmatranoj deonici Južne Morave izvršene su u programu HEC-RAS verzija 4.10. Obzirom da su planirane male hidroelektrane kaskadnog tipa i da su locirane na relativno malom rastojanju jedna od druge, analiziran je i njihov međusobni uticaj.

Mogućnost korišćenja hidroenergetskog potencijala vodotoka na lokacijama sa malim padom

Tabela 1. Tehničke karakteristike MHE na Južnoj Moravi kod Doljevca

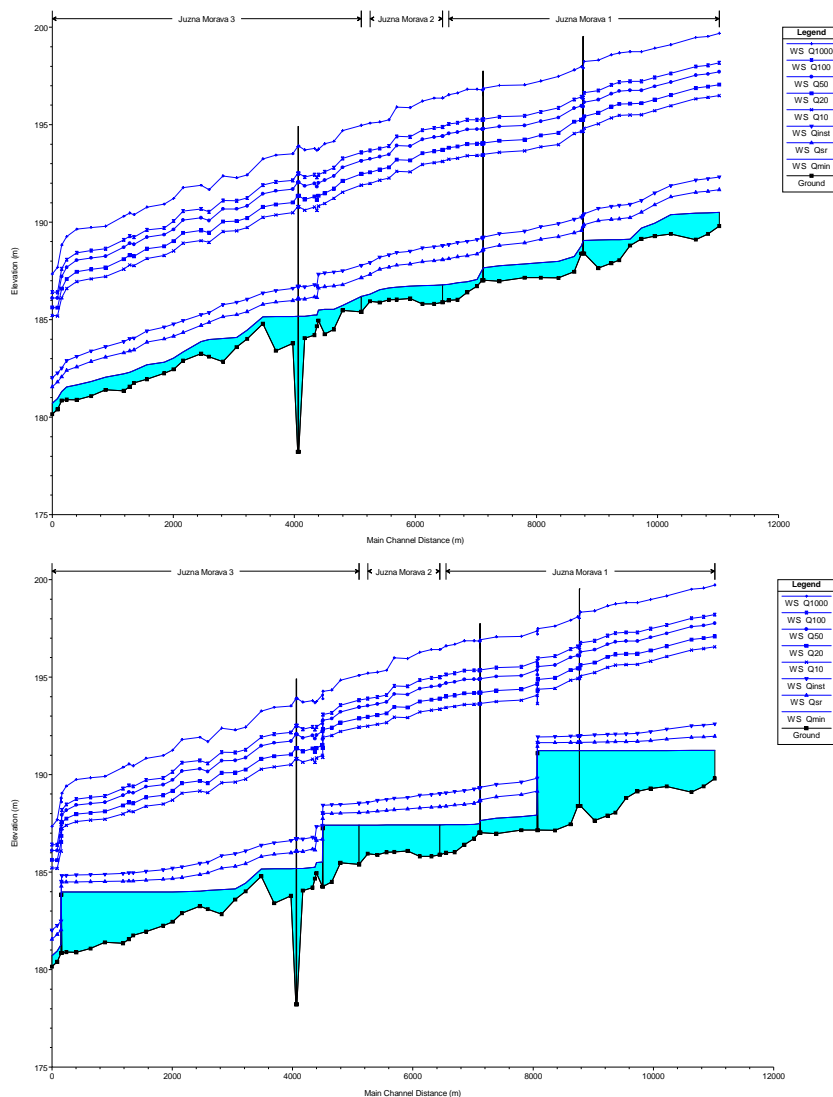
		MHE Čečina	MHE Orljane	MHE Čapljinac
Q minimalno	m ³ /s	4.50	5.00	5.00
Q srednje	m ³ /s	44.30	55.50	55.50
Q instalisano	m ³ /s	60.00	75.00	75.00
Visina pregrade od dna reke		1.3	2.5	2.5
Broj prelivnih polja		4	6	5
Dužina prelivnog polja	m	14	15	15
Ukupna dužina prelivnih polja	m	56	90	75
Hidraulička visina klapne	m	1.7	2.0	2.0
Kota gornje vode	m.n.m	191.90	188.90	185.55
Kota donje vode	m.n.m	188.85	186.30	182.90
Hbruto	m	3.05	2.60	2.60
Hneto	m	3.00	2.50	2.50
N bruto snaga vode	kW	1766	1913	1913
Broj vodozahvata		2	1	1
Broj VLH turbine		4	3	3
Model VLH turbine		DN 3550	DN 5000	DN 5000
Maksimalni proticaj turbine	m ³ /s	15	25	25
N turbine instalisano	kW	1422	1560	1560
N generatora	kW	1310	1430	1430

Upoređenje režima tečenja za razmatranu deonicu Južne Morave za prirodni režim i izmenjeni režim posle izgradnje planiranih MHE prikazano je na slici 4. Analize su pokazale da:

- do protoka od 180 m³/s na profilu MHE Čečina, odnosno 188 m³/s na profilima MHE Orljane i MHE Čapljinac moguće je vodostaj uzvodno od pragova, zadržati u osnovnom koritu reke manipulacijom predviđenim ustavama,
- pri instalisanom proticaju uzvodni uticaj sežu od oko 1.2 km od pregrade, kod MHE Čečina, odnosno do oko 2 km od pregrade, kod MHE Orljane i MHE Čapljinac i nema

uticaj na donju vodu, odnosno ne remeti rad turbina uzvodne MHE,

- za protoke veće od $180 \text{ m}^3/\text{s}$ na profilu MHE Čečina, odnosno $188 \text{ m}^3/\text{s}$ na profilima MHE Orljane i MHE Čapljinac, klapne se potpuno spuštaju oslobađajući pun proticajni profil preko pregrade, tako da pregrade pri većim proticajima imaju zanemarljivo mali uticaj na režim tečenja u reci u odnosu na prirodni režim.



Slika 4. Podužni profil Južne Morve na posmatranoj deonici: prirodni režim tečenja (gore), izmenjeni režim tečenja zbog izgradnje MHE (dole)

Izvršene analize su u potpunosti verifikovale usvojene tehničke karakteristike planiranih MHE. Analize su takođe pokazale da dispozicija pregrada, rešenih u vidu niskih pragova sa klapnama koje omogućavaju potpuno otvaranje i oslobađanje punog proticajnog profila pri evakuaciji velikih voda, predstavlja najpouzdanije rešenje sa gledišta hidrauličke i seizmičke pouzdanosti objekta. U slučaju svih vanrednih događaja (povodanja retkih javljanja, seizmičke aktivnosti, itd.) odgovarajućim operativnim upravljanjem agregatima i ustavama, što će biti predmet posebnih elaborata rađenih za upravljanje sistemom, uvek se mogu blagovremeno i vrlo operativno namenski oboriti nivoi vode u osnovnom koritu i uspostavljati najpouzdanija stanja sa gledišta sigurnosti brane po bilo kom parametru sigurnosti (hidrauličke, seizmičke).

VLH turbine mogu da rade u širokom opsegu proticaja od 20-100% od instalisanog, što se postiže promenom brzine obrtanja i otvorenosti lopatica radnog kola i to sa visokim koeficijentom korisnog dejstva, koji pri maksimalnim proticajima iznosi oko 0.8.

Usvojeni model turbine DN 3550 kod MHE Čečina može da radi u opsegu od 7 do 180 m³/s, dok usvojeni model turbine DN 5000 kod MHE Orljane i MHE Čapljinać može da radi u opsegu od 10 do 188 m³/s.

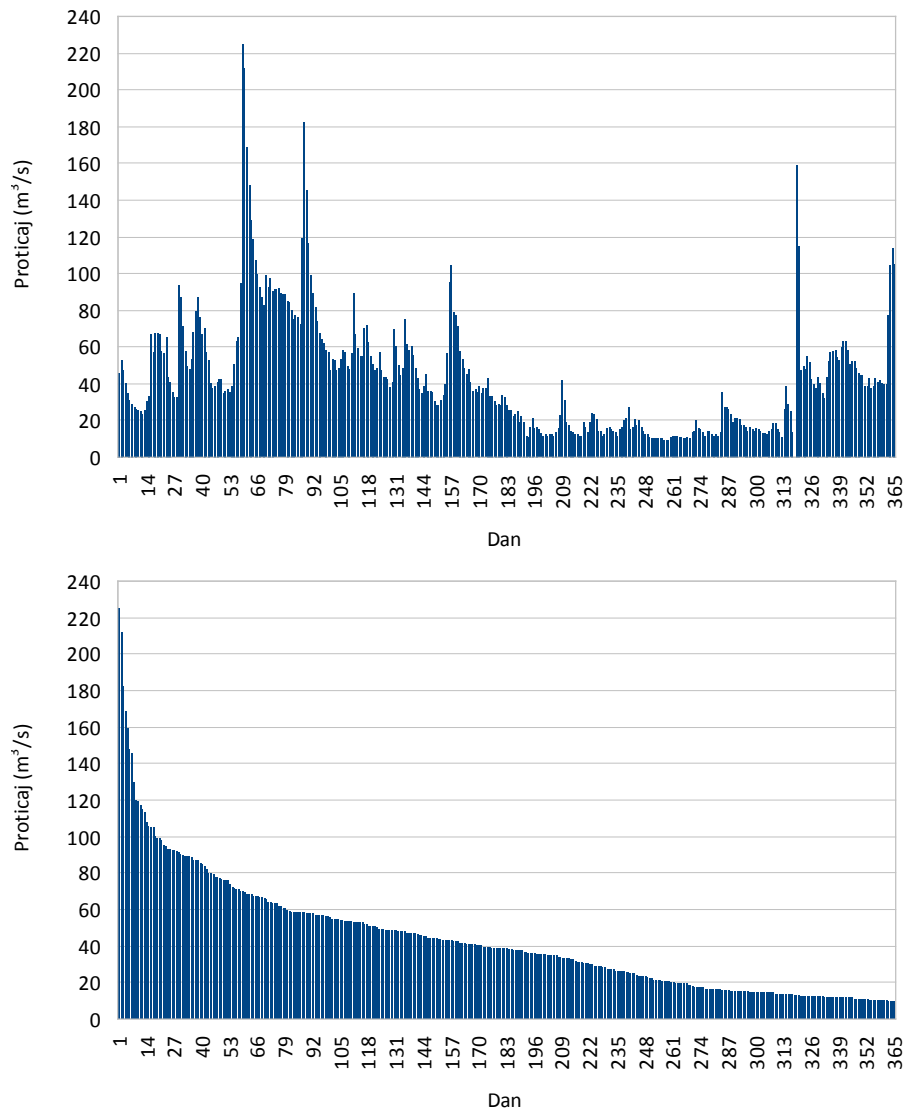
Analizom raspoloživih podataka o dnevnim proticajima mereni na HS Korvingrad za period od 55 godina može se zaključiti da u reci ima dovoljno vode za rad elektrane praktično tokom cele godine neprekidno, izuzev kratkih intervala pojave velikih voda, kada zbog podizanja nivoa donje vode rad turbina nije moguć.

Na slici 5 prikazani su dnevni proticaji i kriva trajanja proticaja Južne Morave u profilu MHE Čečina za tipsku 2004. godinu sa $Q_{sr} = 44.01$ m³/s. Sa krive trajanja je evidentno da se proticaji veći od 180 m³/s javljaju u trajanju od samo nekoliko dana godišnje. Analiza raspoloživih podataka o dnevnim proticajima pokazale su da se proticaji veći od 180 m³/s javljaju u trajanju od 10-30 dana godišnjem što garantuje visoku produkciju elektrane praktično tokom cele godine. Analize su takođe pokazale da za produkciju ovakvog tipa turbina za male padove, nije ključna obilnost proticaja već njegov ravnomeran raspodela tokom godine.

Sa aspekta životne sredine ovakva postrojenja su najmanje moguće štetna po okolinu i živi svet. Koristi se voda koja dotiče rekom i koja se odmah po prolasku kroz turbine vraća nazad bez promene

količine i kvaliteta. Stvoreni uspor za rad elektrane ostaje u postojećem osnovnom koritu reke, tako da nema potapanja i zauzeća okolnog priobalnog prostora.

Niska pregrada sa klapnama koje se obaraju omogućava propuštanje vučenog nanosa i velikih voda bez uticaja na reku uzvodno od pregrade. Same turbine, po svojim dimenzijama, tipu radnog kola i broju obrtaja ne unuštavaju faunu reke.



Slika 5. Dnevni proticaji (gore) i kriva trajanja proticaja (dole) Južne Morave u profilu MHE Čečina, 2004. godina ($Q_{sr} = 44.01 \text{ m}^3/\text{s}$)

Imajući u vidu sve što je u ovom radu navedeno usvojena rešenja MHE na Južnoj Moravi kod Doljevca, na izabranim lokacijama sa nepovoljni prirodni uslovi, pre svega sa veoma malim raspoloživim padom i glavnim koritom reke relativno male dubine, su tehnički ispravna rešenja koja omogućavaju optimalno iskorišćenje vodnih resursa za energetiku uz poštovanje svih ekoloških zahteva.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je dat kratak prikaz VLH turbina koje se mogu implementirati u projektima u kojima se radi o malim hidroelektranama sa malim padom na novoizgrađenim ili postojećim hidrotehničkim objektima. Posebno je važno da nema klasične mašinske zgrade pošto su elektrane nisko profilne i uvek izložene nailasku poplavnih voda.

Finansijski gledano ove turbine su često skuplje po jedinici instalisane snage od klasičnih. Ipak treba imati na umu da bez primene ovih turbina pojedine lokacije ne bi ni mogle da budu iskorišće za proizvodnju električne energije. Treba istaći i njihov pozitivan efekat pri korišćenju vodnih tokova i hidrotehničkih objekata jer na najmanji način utiču na okruženje.

ZAHVALNOST

Istraživanja prezentovana u ovom radu finansirana su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta "Razvoj sistema podrške odlučivanju za potrebe integralnog upravljanja vodnim resursima na slivu", ev. broj TR37018.

5. LITERATURA

- [1] Milićević S., Milićević D., Milićević R.: Male hidroelektrane u sistemima za vodosnabdevanje, Voda i sanitarna tehnika, vol. 39, br. 3 (2009), ISSN 0350-5049, str. 11-18
- [2] Anđelković Lj., Milićević D., Živković S.: Iskorišćenje energetskog potencijala postojećih hidrotehničkih objekata, Zbornik radova Četrnaeste međunarodne konferencije "Vodovodni i kanalizacioni sistemi", Poslovno udruženje vodovoda republike Srpske, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo Beograd, Jahorina, Pale 28-30.05.2014., st. 211-218, ISBN 987-86-82931-62-1

- [3] VLH Turbine, <http://www.vlh-turbine.com>
- [4] Hidrodinamičke turbine, <http://www.malehidroelektrane.com/hidro-dinamicke-turbine>
- [5] Generalni projekat MHE Čečina, HTS hidro consulting Niška Banja, 2014.
- [6] Generalni projekat MHE Orljane, HTS hidro consulting Niška Banja, 2014.
- [7] Generalni projekat MHE Čapljinac, HTS hidro consulting Niška Banja, 2014.

PRIMENA METODE KONAČNIH ELEMENATA U ANALIZI BRANA

Jelena Marković Branković¹
Milica Marković²

Rezime

Proračun složenih konstrukcija, kao što je brana sa fundamentom, zadat je parcijalnim diferencijalnim jednačinama, za koje ne postoji analitičko rešenje. Numeričke metode zajedno uz primenu računara, omogućuju rešavanje skoro svih problema konstrukcija, i to putem: metode konačnih razlika i metode aproksimacionih funkcija. Procedura metode konačnih razlika je najprijemčivija, diferencijalne jednačine koje definišu ravnotežu konstrukcije, transformišu se u funkciji nepoznatih veličina u tačkama prostorne mreže, pa se postupak integracije zamenjuje rešavanjem sistema linearnih jednačina. Ova metoda uvodi ograničenja: proračunsku mrežu pravilnog oblika i specijalne jednačine za uvođenje konturnih uslova. Primena ove metode kod brana datira od 1908. kada je primenjena na brani Assuan. U 1956. uveden je koncept konačnih elemenata, koji se zasniva na diskretizaciji konstrukcije na subzapremine, zvane konačni elementi. Diskretizacija konstrukcije na elemente i uvođenje konturnih uslova je u potpunosti proizvoljna, čime se eliminišu ograničenja koja nameće metoda konačnih razlika: U radu je data analiza serije aspekata, čije razjašnjenje može predstavljati smernicu u procesu odlučivanja.

Ključne reči

brane, statička analiza, metoda konačnih elemenata

¹Jelena Marković-Branković, Dr, dipl.inž. građ, docent, Građevinsko-ArHITEKTONSKI fakultet u Nišu

²Milica Marković, Dr, dipl.inž. građ, naučni saradnik, Javno vodoprivredno preduzeće Srbijavode

1. UVOD

Složene konstrukcije, kao što je brana sa fundamentom, opisuju se po pravilu parcijalnim ili integralnim jednačinama, za koje ne postoji analitičko rešenje. Danas, numeričke metode sa primenom računara, omogućuju rešavanje u najvećoj meri svih problema konstrukcija, putem: metode konačnih razlika i metode aproksimacionih funkcija.

Procedura konačnih razlika je najprirodnija, diferencijalne jednačine koje definišu ravnotežu konstrukcije, transformišu se u funkciji nepoznatih veličina u tačkama proračunske mreže, tako da se postupak integracije zamenjuje rešavanjem sistema linearnih jednačina. Primena ove metode kod brana datira od 1908. kada je primenjena na brani *Assuan*.

U 1956. uveden je koncept konačnih elemenata, koji se zasniva: na podeli (diskretizaciji) konstrukcije na subzapremine, zvane elementi; na funkcijama aproksimacije koje su definisane lokalno za svaki element; na vrednostima pomeranja (napona) koje se odnose na tačke u kojima su povezani elementi- čvorovi.

Diskretizacija konstrukcije na elemente i uvođenje konturnih uslova je u potpunosti proizvoljna, čime se eliminišu ograničenja koja nameće metoda konačnih razlika: proračunska mreža pravilnog oblika; specijalne jednačine za uvođenje konturnih uslova.

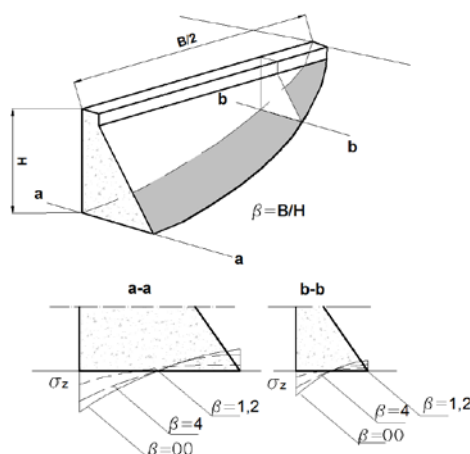
U nastavku rada analizira se serija aspekata, čije razjašnjenje može da predstavlja jedan putokaz u procesu odlučivanja.

2. HIPOTEZE U STATIČKOJ ANALIZI

Analiza u ravni ili prostoru? Sistem brana – fundament čini, nezavisno od tipa brane, jedan prostorni sistem. Sledi da statička analiza brane i fundamenta treba da se uradi kao prostorni problem metode konačnih elemenata. Imajući u vidu da je vreme rada računara kada je u pitanju prostorni problem 10 do 30 puta veći od statičke analize koja posmatra problem kao ravno stanje, projektant treba da proceni u kojoj meri statička analiza problema u ravni može da bude upotrebljiva. Procena treba da ima u vidu veličinu greške koja se na ovaj način uvodi i da li je ona prihvatljiva ili ne.

Lučne brane, koje predstavljaju prostornu konstrukciju kako po koncepciji tako i po načinu preuzimanja opterećenja i prenošenja na fundament, moraju se računati kao prostorna konstrukcija [7].

Gravitacione brane, su većinom izvedene od nezavisnih lamela, sa dilatacijama koje nisu injektirane. Kada je u pitanju sopstvena težina one čine klasičan slučaj ravnog stanja napona. Hidrostatički pritisak, prilikom svog delovanja, nailazi na konstrukciju koja ima mogućnost da lamele rade zajedno tako što se opterećenje jedne lamele preko trenja između lamela prenosi na druge lamele. Rezultati jedne skorašnje studije koji se odnose na gravitacione brane, uzimajući u obzir hipotezu ravnog i prostornog stanja napona prikazani su na slici 1. U slučaju prostorne analize, naponi usled hidrostatičkog pritiska su sistematski manji, sa smanjenjem širine doline. Ipak prostorna analiza gravitacionih brana se ne preporučuje.

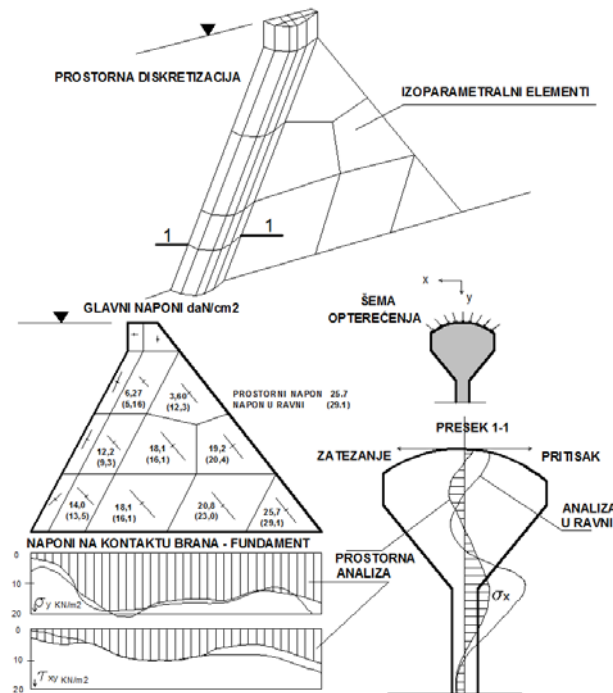


Slika 1. Analiza ravnog i prostornog stanja gravitacionih brana

Promena temperature izaziva promenu veličine dilatacije i sezonski rad lamela. Proračun u ovom slučaju treba uraditi za najnepovoljniji slučaj kao problem u ravni. Ipak, kod osmatranja brana, kada treba uporediti merenja sa matematičkim modelom korisno je da se uradi prostorna statička analiza.

Kontraforne brane, sa svojom specijalnom formom lamela, upućuju na primenu prostorne statičke analize. U praksi proračun se radi u dve etape. U prvoj etapi kontrafor se tretira kao ravno stanje napona, da bi se dobili naponi na različitim nivoima (u kontraforu), nakon čega, u drugoj etapi se analizira ravno stanje napona horizontalnog preseka kontrafora, da bi se dobila raspodela napona u pečurci – glavi kontrafora. Naponi dobijeni u horizontalnoj i vertikalnoj ravni kontrafora služe za procenu sigurnosti brane. Poređenje rezultata dobijenih na kontrafornoj brani, u horizontalnoj i vertikalnoj ravni, sa rezultatima dobijenim analizom kontrafora kao prostorni model,

prikazani su na slici 2. Raspodela i veličina napona u potpunosti opravdava primenjenu metodologiju proračuna.



Slika 2. Analiza u ravni i prostoru kontraforme brane.

Brane od lokalnog materijala, nemaju vertikalne dilatacije te je njihovo ponašanje pod dejstvom opterećenja prostorno. Ako uzmemo u obzir mogućnost pojave napona zatezanja u brani, koji izazivaju podužne i poprečne pukotine u zaptivnom elementu tela brane, neophodno je primeniti kompletan prostorni model proračuna. Proračun u dve faze koji podrazumeva u drugoj fazi analizu podužnog preseka kao ravno stanje napona ne obezbeđuje željenu tačnost. Kompletna studija ovog problema bavila se analizom tri zemljane brane smeštene u dolini koja ima V formu, sa nagibima kosina 1/1, 1/3 i 1/6 (slika 3).

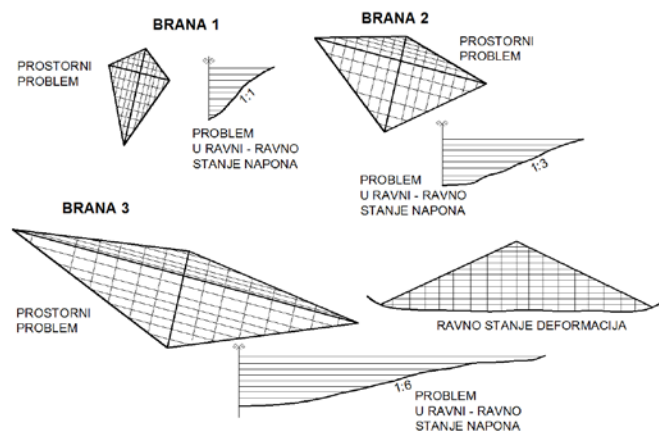
Proračun, kako za ravan problem (ravno stanje deformacija u maksimalnom preseku i ravno stanje napona u podužnom preseku) tako i za prostornu analizu, rađen je u sukcesivnim koracima, prateći u osam faza proračuna napredovanje brane do kote krune brane.

Tabela 1: Poprečni presek

(Vrednosti ravnog problema/vrednosti prostornog problema) x 100%						
Obale	1:1		1:3		1:4	
Veličine	srednje	varijacija	srednje	varijacija	srednje	varijacija
	113	100-129	102	100-113	101	98-108
	98	79-125	96	81-111	97	88-100
	138	108-225	112	100-150	106	100-150
	136	91-156	106	85-114	100	85-105
	268	75-435	120	80-149	105	85-120

Tabela 2: Podužni presek

(Vrednosti ravnog problema/vrednosti prostornog problema) x 100%						
Obale	1:1		1:3		1:4	
Veličine	srednje	varijacija	srednje	varijacija	srednje	varijacija
	109	80-127	110	102-115	111	100-115
	77	26-109	84	60-109	85	63-100
	149	107-185	149	111-149	149	126-181
	160	122-196	173	138-217	173	140-224
	220	130-1300	228	139-400	224	139-400



Slika 3. Analiza zemljanih brana kao trodimenzionalni problem i kao dvodimenzionalni kroz dve etape

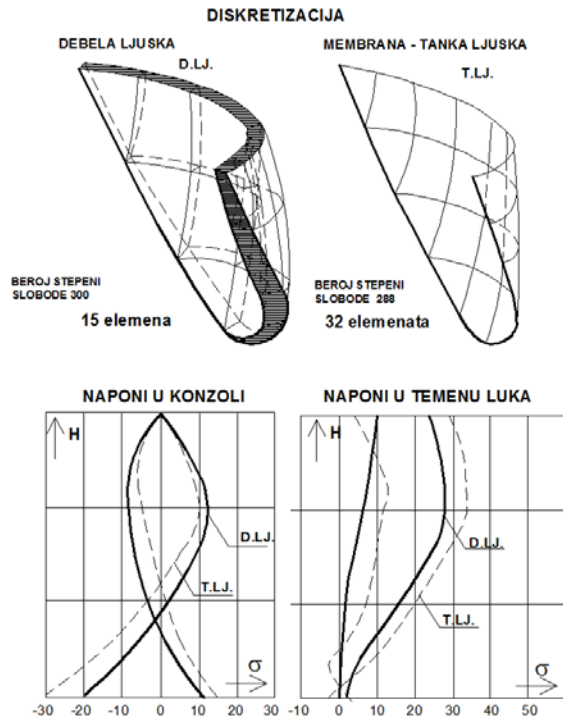
Rezultati su prikazani u tabelama 1 i 2, i vidi se:

a) u situaciji blagih nagiba obala, sa nagibom 1/3, analiza centralnog poprečnog preseka kao ravno stanje deformacija daje korektne rezultate; u slučaju strmih obala lučni naponi u podužnom pravcu brane su značajni i utiče na korektnost proračuna;

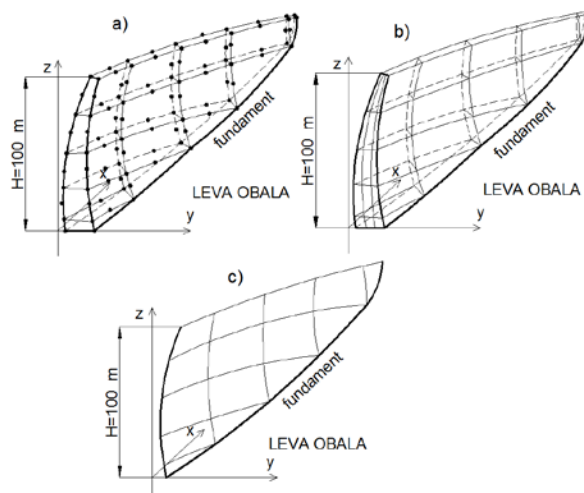
b) analiza ravnog stanja napona u podužnom preseku brana, po osovini brane, daje rezultate koji se mnogo razlikuju od napona koji se dobijaju u prostornoj analizi brana, nezavisno od oblika doline.

Lučna brana: tanka ili debela ljuska? U slučaju vitkih lučnih brana, čiji je odnos poluprečnika i debljine ljuske veći od 5, normalno je koristiti elemente za tanke ljuske. Analiza brane se odnosi na srednju površ i uvođenje hipoteza tipa Kirchoff koje kod formiranja konačnih elemenata smanjuju broj stepena slobode. Veliki broj sistematskih studija na izvedenim branama je pokazao da je primena tankih ljuski korektna. Elastična linija i veličina deformacija, kao i raspodela napona kod tankih ljuski je ista kao i u slučaju primene teorije debelih ljuski [4].

Na slici 4 dati su rezultati proračuna za branu Tau koja je opterećena hidrostatičkim pritiskom sa hipotezom da je fundament krut, korišćeni su paralelno konačni elementi tanke ljuske i konačni elementi debele ljuske. Saglasnost rezultata je izvanredna, što je normalno obzirom na vitkost brane.



Slika 4. Naponi, u brani Tau – Rumunija, za slučaj korišćenja elemenata tanke i debele ljuske



Slika 5. Diskretizacija brane: a-debela ljuska; b – prostorni izoparametarski element tipa B4N; c – tanka ljuska, membrana

Na slici 5 i 6 prikazana je diskretizacija i rezultati proračuna lučne brane, visine 100 m sa srazmerno debelom i blago zakrivljenom centralnom konzolom, pod dejstvom hidrostatičkog pritiska.

Primena elemenata tanke ljuske i u ovom slučaju je zadovoljavajuća.

Korišćenje elemenata tanke ljuske je moguće samo tada kada se uticaj fundamenta tretira po proceduri tipa Vogt (fiktivno produženje brane ili elastični koeficijenti).

Ako se pak diskretizacija fundamenta izvrši sa prostornim elementima neophodno je da se brana tretira kao debela ljuska koja ima određenu debljinu.

Naime, postoje prenosni ili tranzicioni elementi, koji eliminišu singularitet pa se preporučuje diskretizacija brane sa izoparametarskim prostornim paraboličnim elementima ili elementima tipa debele ljuske.

Fundament: Analitičko modeliranje ili diskretizacija? U slučaju brana deformabilnost fundamenta ima veliki uticaj na stanje napona i deformacije u brani.

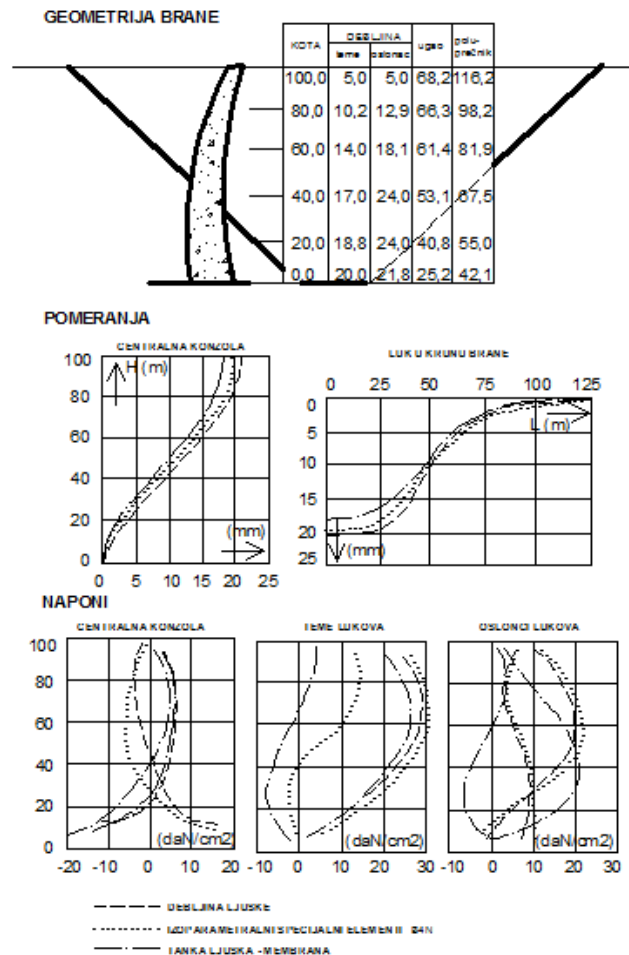
Zbog toga se statička analiza radi uzimajući u obzir jedinstvo brane i fundamenta (slika 7).

U proračunima koji baziraju na metodi konačnih elemenata neophodno je da se definiše krutost fundamenta na koji se oslanja brana. Fizički, fundament je kontinuum.

Bilo bi prirodno da se primeni „beskonačni“ konačni element čija funkcija aproksimacije pomeranja asimptotski teži tačnom rešenju. Prednosti ovakvog jednog pristupa očigledne. Mogućnost korišćenja materijala sa različitim karakteristikama u svakom od „beskonačnih“ elemenata smanjuje broj sistema jednačina, itd.

Prvi način uvođenja uticaja fundamenta se sastoji u definisanju pomeranja na kontaktu brana – fundament preko elastičnih koeficijenata koji se dobijaju na bazi aproksimativnih rešenja teorije elastičnosti u elastičnom poluprostoru.

Najpoznatiji postupci su za dobijanje elastičnih koeficijenata Vinkler - a, ili koeficijenti Vogt - a na način koji je prikazan u metodi probnog opterećenja.



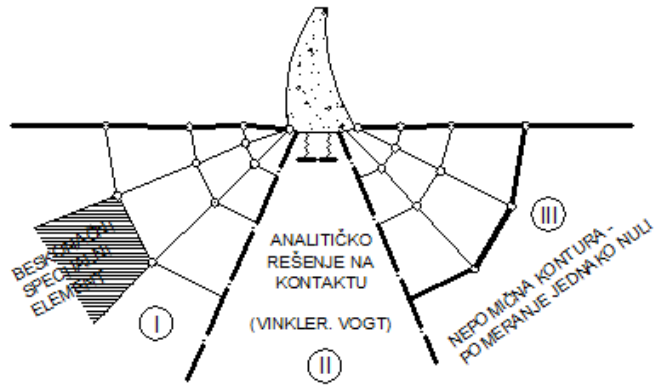
Slika 6 Pomeranja i naponi koji odgovaraju različitim tipovima diskretizacije

U slučaju Vogt - ovih koeficijenata, srednja pomeranja na površine fundamenta izražavaju se u funkciji matrice elastičnih koeficijenata i srednjih sila fundamenta: U slučaju Vogt - ovih koeficijenata, srednja pomeranja $\{\delta_v\}$ na površine fundamenta izražavaju se u funkciji matrice elastičnih koeficijenata $[F]$ i srednjih sila fundamenta $\{f_v\}$:

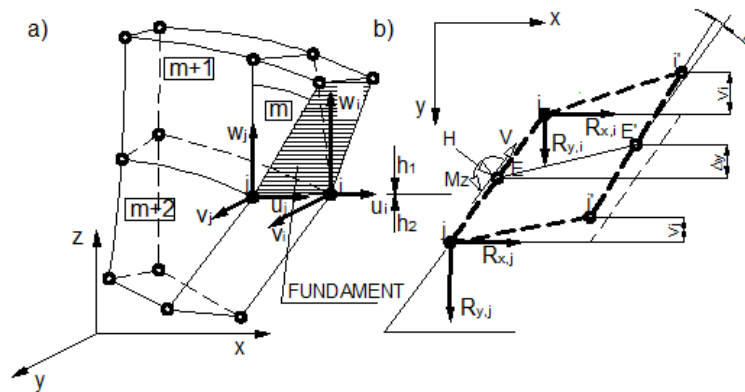
$$\{\delta_v\} = [F] \cdot \{f_v\} \quad (1)$$

Na primer, na slici 8 su prikazana pomeranja $\{\delta_v\}$ lučne brane $(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \theta_z, \theta_x)$, ista pomeranja u generalnom sistemu koordinata

$\{\delta\} = [u, v, w]$ i srednje odgovarajuće opterećenje $\{f_v\} = [H, V, M_z, M_x]$, odnosno $\{R\} = [R_x, R_y, R_z]$.



Slika 7. Modeliranje deformabilnosti fundamenta



Slika 8. Diskretizacija brane u blizini fundamenta.

Veza između lokalnih koordinata i čvorova u brani je definisana matricom $[a]$ koja sadrži samo geometrijske elemente (α, ψ, t) :

$$\{\delta_v\} = [a] \cdot \{\delta\} \quad (2)$$

Da bi se dobila matrica krutosti fundamenta u funkciji pomeranja i sila u čvorovima $\{\delta\}$ i $\{R\}$, formiramo izraz mehaničkog rada fundamenta u slučaju njegovog loma:

$$\{\delta\}^T \{R\} = \{\delta\}^T [a]^T [F]^{-1} [a] \{\delta\} \quad (3)$$

Zamenom $\{\delta_v\}$ iz jednačine (2) i vodeći računa da je $\{f_v\} = [F]^{-1} \{\delta_v\}$, zatim inverzijom jednačine (1), dobija se:

$$\{\delta\}^T \{R\} = \{\delta\}^T [a]^T [F]^{-1} [a] \{\delta\} \quad (4)$$

dakle sledi da je:

$$[K_v] = [a]^T [F]^{-1} [a] \quad (5)$$

Ova matrica se spaja, shodno njenom doprinosu, sa matricom krutosti brane u čvorovima (i) i (j) [3].

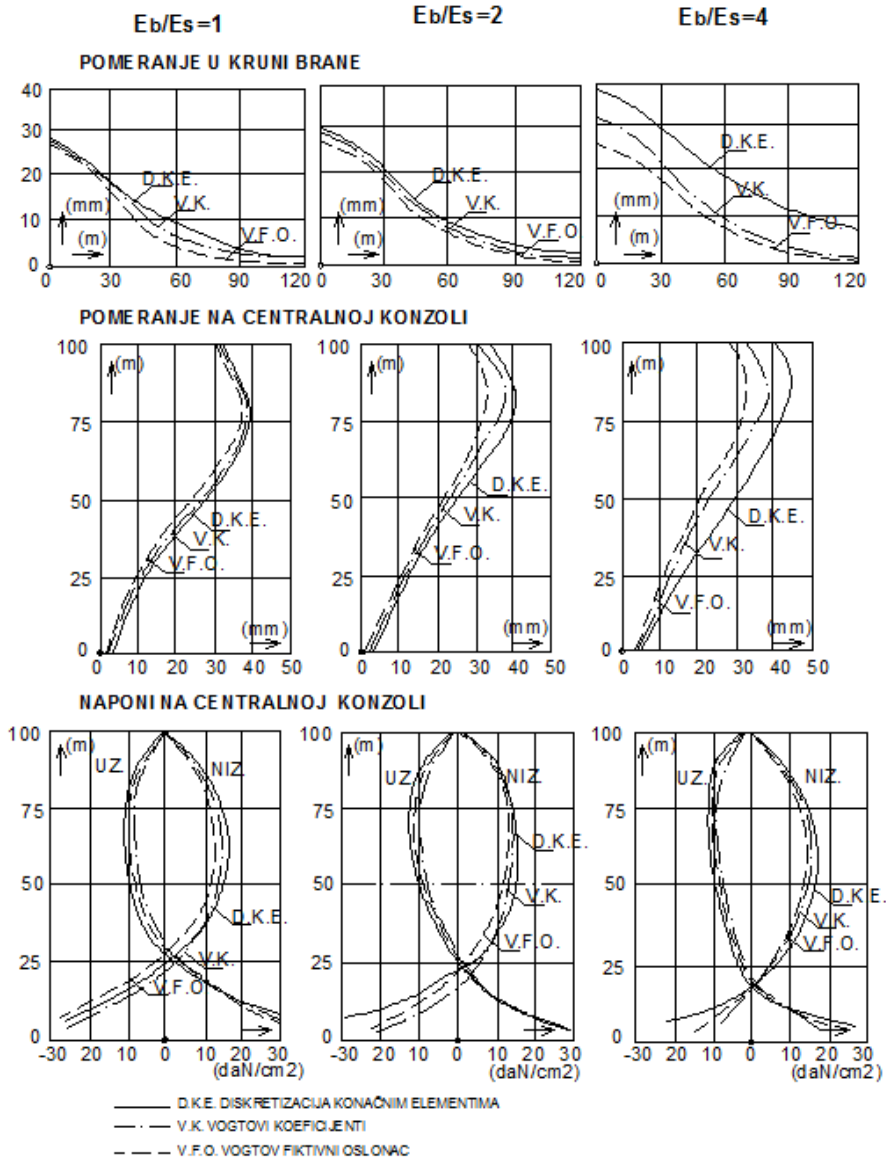
Drugi način se češće primenjuje kada su u pitanju konačni elementi. On se zasniva na diskretizaciji određene zone fundamenta na čijim granicama se pretpostavlja da su pomeranja jednaka nuli. Ako su dimenzije diskretizovane zone dovoljne, onda, na osnovu *St. Venan*-ovih principa, naponi u fundamentu i konstrukciji biće korektni. Preporučuje se da analizirana zona bude 2 do 4 puta veća od visine konstrukcije. Ukoliko priroda fundamenta i morfologija doline ne omogućuju poređenje rezultata sa drugim sličnim proračunima, zona se u tom slučaju određuje postepenim povećanjem sve dok razlika u dobijenim naponima ne bude manja od 2 do 5%. Treba istaći da poluprostor kao prostorni problem opterećen konačnom silom daje konačna pomeranja. Ako se pak poluprostor analizira kao dvodimenzionalni problem, sa povećanjem zone fundamenta povećavaju se i pomeranja istovremeno sa povećanjem zone fundamenta koja je uključena u analizu. U ovoj situaciji kriterijum za poređenje treba da se odnosi na relativna pomeranja konstrukcija - fundament.

Kod primene jednog od modela uvođenja fundamenta u analizi napona u konstrukciji, treba imati u vidu:

- analitičko modeliranje je najjednostavnije, redukuje broj stepeni slobode, a samim tim i vreme i kapacitet memorije na računaru. Ne omogućuje uvođenje nehomogenosti i anizotropije fundamenta;
- diskretizacija fundamenta u konačne elemente povećava značajno broj stepeni slobode u analizi, ali omogućuje detaljnu analizu karakteristika fundamenta i daje napone u samom fundamentu.

Bilo koji slučaj lučnih brana, kod kojih su proračuni isključivo prostorni, razlike sa gledišta dimenzija problema i vremena rada

računara su značajne i zavise od načina na koji se pristupa deformabilnosti fundameta.



Slika 9. Pomeranje i naponi na konzoli u funkciji razliĉitih modela fundameta

U jednoj studiji analizira se efikasnost odreĊenog pristupa problemu sa gledišta napona i deformacija. Analizirana je luĉna brana visine 100 m, polupreĉnik krivine u kruni 116 m i debljine u osnovi 16m,

pod dejstvom hidrostatičkog pritiska. Deformabilnost fundamenta je uvedena preko elastičnih koeficijenata *Vogt* - a, diskretizacijom zone fundiranja do dubine od 1.5 puta visine brane i preko fiktivnog oslonca uklještenja brane *Vogt*. Modul elastičnosti fundamenta E_r , određen je u funkciji, odnosno preko modula elastičnosti betona u brani E_c : $E_r = E_c$, $E_r = 0,5 \cdot E_c$, $E_r = 0,25 \cdot E_c$. Rezultati proračuna napona i deformacije su prikazani na slici 9 i 10. Poređenjem rezultata vidi se da pomeranja u brani rastu sa slabljenjem fundamenta. Diskretizacija fundamenta sa konačnim elementima daje veća pomeranja u brani u odnosu na model koji predlaže *Vogt*.

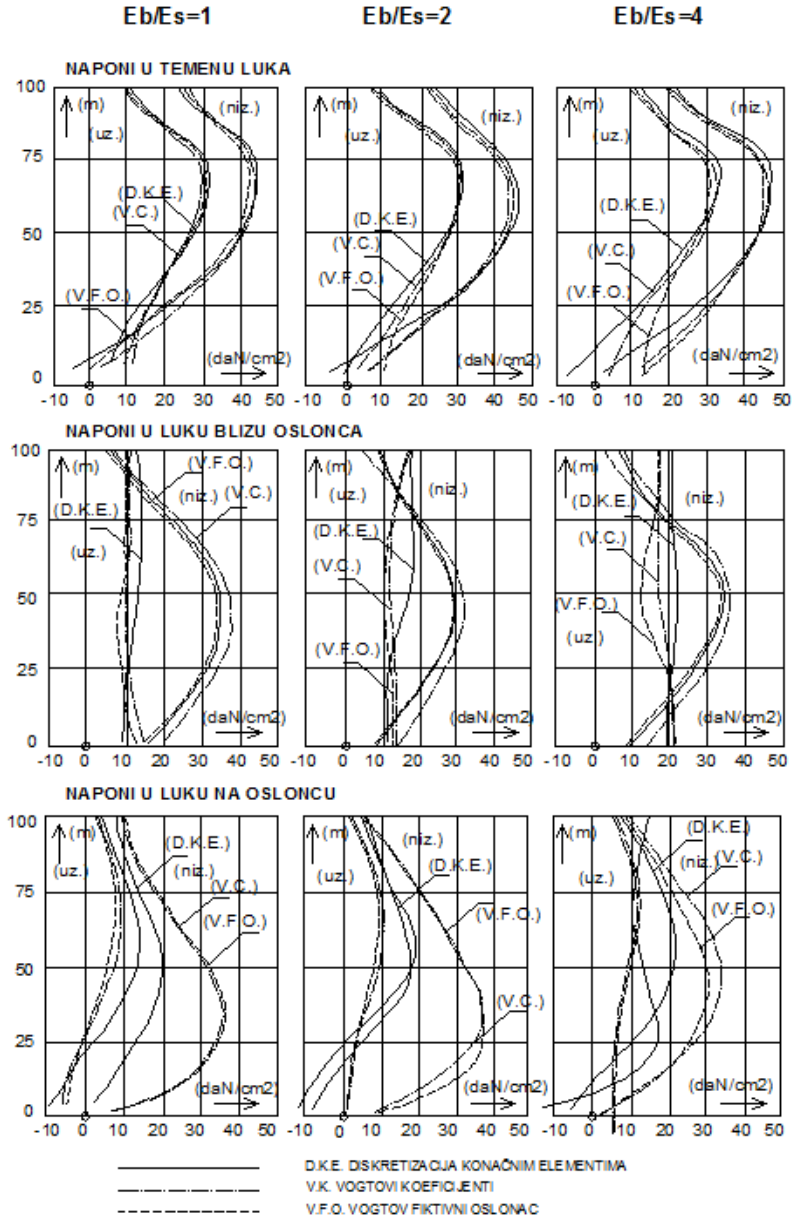
Poređenje razvoja napona u temenu lukova i u blizini oslonaca, slika 10, pokazuje dobru doslednost rezultata, nezavisno od usvojenog modela. Pošto razlike ne prelaze 10-15%, može se smatrati da primena bilo kog modela daje zadovoljavajuće rezultate napona u telu brane. Poređenje napona u lukovima na osloncu, pokazuje znatne razlike. Modeli koje predlaže *Vogt* daju veće napone, što se objašnjiva sa usvojenim konturnim uslovima elastičnog uklještenja.

Na osnovu analize dobijenih može se smatrati:

- u preliminarnoj fazi projektovanja, kada geološka istraživanja lokacije brane nisu potpuna, a može se prihvatiti hipoteza da je fundament homogen i izotropan, preporučuje se model tipa *Vogt*. Diskretizacija fundamenta u ovom slučaju zahtevala bi više vremena rada a da se pri tom ne dobija veća preciznost u rezultatima;
- kada postoje podaci sa terena koji ukazuju na nehomogenost ili anizotropiju fundamenta, ili je neophodno poznavanje napona na kontaktu sa fundamentom i u samom fundamentu, diskretizacija fundamenta je najsigurniji put koji daje realnu analizu zajedničkog rada brana-fundament.

Homogen ili ispućali fundament? Kod velikog broja brana, stenu u fundamentu karakteriše postojanje diskontinuiteta različitih veličina. Ponašanje realnog fundamenta se razlikuje od idealnog, homogenog fundamenta. Za modeliranje velikih diskontinuiteta, koji su ranga veličine brane (rasedi, pukotine gde je evidentno pomeranje slojeva), postoje specijalni konačni elementi za diskontinuitete, dvodimenzionalni ili trodimenzionalni. Najčešće u steni imamo diskontinuitete malih dimenzija, tipa mikro pukotina. U odnosu na

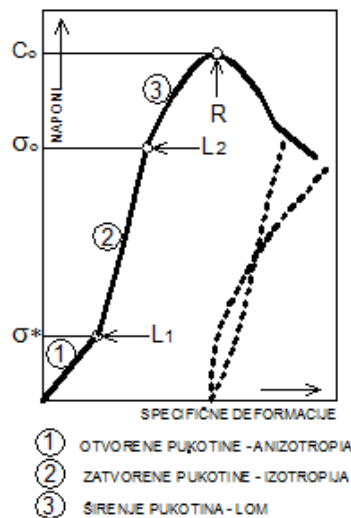
homogeni teren, ponašanje stene je uslovljeno razvojem sistema pukotina.



Slika 10. Naponi u luku u funkciji modela fundiranja

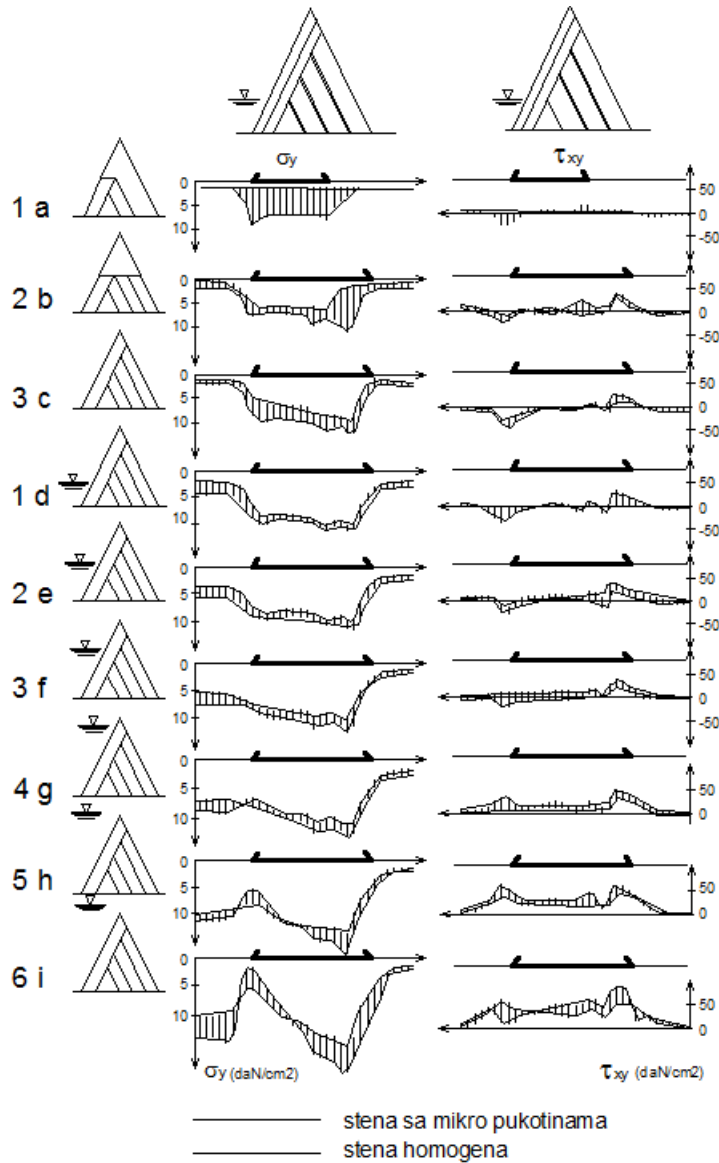
Sa gledišta deformacije pod dejstvom napona, stene sa pukotinama ima krhku elastičnost (slika 11). Kriva napona deformacije obuhvata tri posebne zone. U zoni 1 veći broj pukotina je otvoren, deformabilnost je veća u pravcu normale na ravan pukotina, odnosno materijal ima naglašenu anizotropnost. Sa porastom napona pukotine se postepeno zatvaraju te u zoni 2 ponašanje stene pod normalnim naponima poprima karakteristike izotropne stene. Međutim, ostaje anizotropija za tangencijalne napone, koje pukotina ne može da prihvati trenjem u svojoj ravni. U zoni 3 javlja se klizanje u ravni diskontinuiteta, pojavljuju se dodatne pukotine koje se šire do trenutka loma stene.

Na bazi šematskog prikaza krive napon – deformacija, u proračun se uvodi fundament kao ortotropni materijal sa konstantnim karakteristikama upravno na ravan pukotina i kao anizotropan sa promenljivim karakteristikama i opterećenjem u ravni pukotine i upravno na ravan pukotine. U proračunima se prati, u postupku korak po korak, deformacija stene u više etapa opterećenja, prati se istorija opterećenja, sukcesivnim sabiranjem stanja napona i deformacija. U tekućem koraku funkcija napon-deformacija je linearna [7].



Slika 11. Ponašanje stene sa mikro pukotinama pod dejstvom monoaksilnog pritiska.

Kao reprezentativni primer, u nastavku je prikazana analiza ponašanja kontraforne brane od 84 m, „Poiana Uzului“ u Rumuniji, u vreme građenja i eksploatacije.



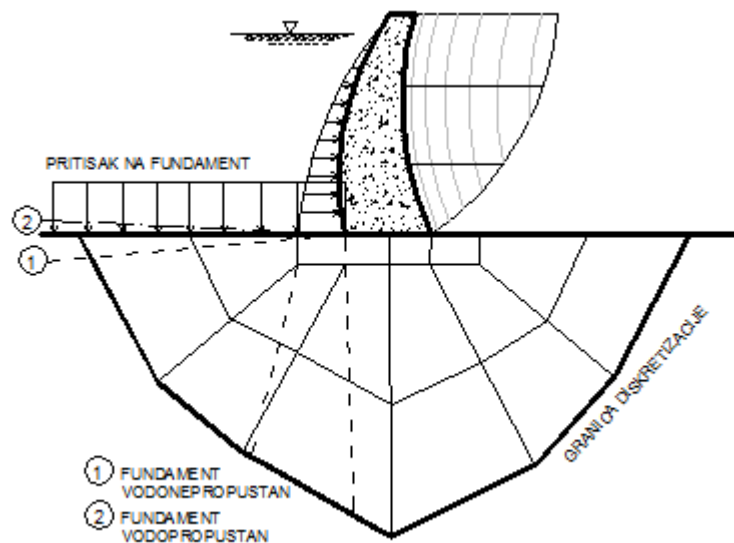
Slika 12. Razvoj napona na kontaktu brana – fundament u vreme građenja i eksploatacije.

Proračun je obavljen sa hipotezom da se radi o homogenoj steni i steni sa mikro pukotinama. Pretpostavljena je horizontalna orijentacija slojeva, da bi se evidentiralo ponašanje u blizini loma. Usvajene su tri sukcesivne etape izvođenja brane i šest etapa zadatog opterećenja od hidrostatičkog pritiska (slika 13). Poslednja etapa, sa

nivoom od 22 m preko krune brane. Na slici je prikazan razvoj napona na površini fundiranja. Krive napona pokazuju značajno odstupanja, kako u odnosu na linearnu raspodelu koja je dobijena tokom projektovanja tako i u odnosu na rezultate dobijene sa pretpostavkom da je stena u fundamenteu homogena. Sa porastom opterećenja, u steni se formiraju zone sa zatvorenim pukotinama, sa većom krutošću, koje modifikuju raspodelu napona na kontaktu brana-fundament [6].

3. SPECIFIČNOSTI KOD PRIMENE OPTEREĆENJA KOD BRANA

Hidrostatski pritisak na površinu fundamentea. Nekada se diskretizacija fundamentea, koja se značajno širi uzvodno i nizvodno od brane, čini normalnom jer se površina fundamentea pod vodom opterećuje hidrostatskim pritiskom (slika 12).



Slika 13. Pritisak vode na površinu fundamentea

Ako je fundamenteu apsolutno vodonepropustan, površinsko opterećenje od hidrostatskog pritiska vode u jezeru izaziva spuštanje fundamentea po vertikali. U realnoj situaciji, zbog značajnih dimenzija akumulacije, registrovani su naponi i deformacije lokacije brane i akumulacije. Kako je diskretizacija ipak ograničena što se prostiranja tiče, u analizi zajedničkog rada brane i fundamentea registruju se

pomeranja i rotacije prema uzvodnom licu brane, što je i merenjima dokazano.

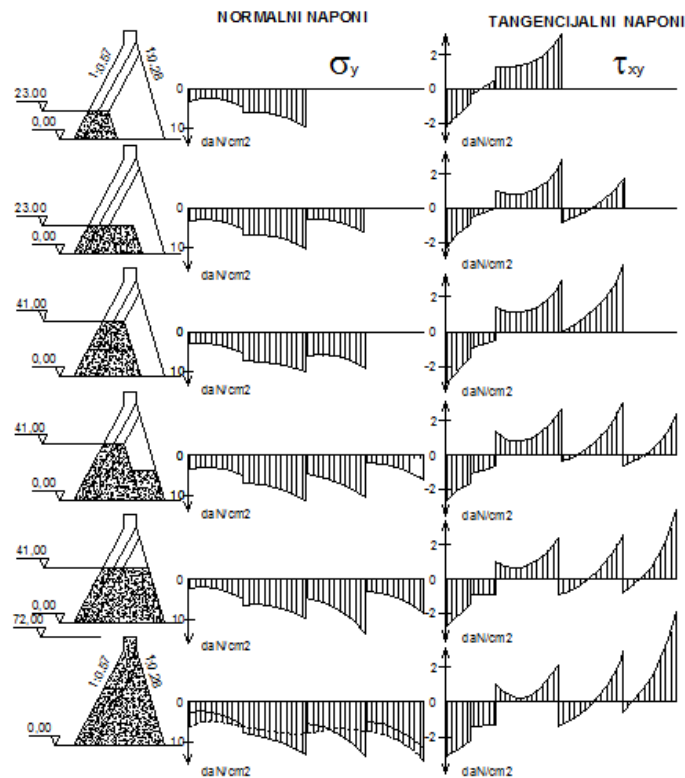
Ako je fundament vodopropustan, čak ako se radi i o površinskom sloju stene, može se prihvatiti i hidrostatički pritisak u unutrašnjosti stenskog masiva, koji čak može da prouzrokuje bubrenje i vertikalno podizanje fundamenta. Izuzimajući neke slučajeve koji su po svemu specifični, i ovaj fenomen nije registrovan tekućim merenjima na terenu. U normalnim situacijama fundament ima malu vodopropusnost i najverovatnije da se ova dva fenomena uzajamno poništavaju.

Imajući u vidu ova razmatranja, kao i činjenicu da nas sa gledišta brane više interesuju relativna pomeranja konstrukcije a ne apsolutna, preporučuje se isključivanje pritiska vode na fundament.

Sopstvena težina i početni pritisci u fundamentu. Sopstvena težina materijala u fundamentu ima svoj uticaj od davnina što za posledicu ima postojanje sistema inicijalnih napona. U okviru analize sistema brana – fundament, sopstvenu težinu fundamenta ne treba uzimati u obzir. Međutim, ako je potrebno znati inicijalne napone radi sabiranja sa naponima koje izaziva brana u fundamentu – u slučaju ne elastičnih analiza, treba znati da su naponi dobijeni proračunima daleko od korektnih. U slučaju ravnih terena, horizontalnih, vertikalna komponenta je definisana litološkim pritiskom, a horizontalna komponenta se može odrediti približno. U slučaju dolina, sa nagnutim obalama, početno stanje napona je kompleksan problem i ne mogu se odrediti jednostavnim merenjem ili aproksimacijom.

Sa gledišta brana, bez obzora da li je od betona ili lokalnog materijala, njena sopstvena težina se manifestuje tokom celog perioda građenja, prateći različite faze građenja. Statička analiza u svojim proračunima treba da prati faze izvođenja. Ovaj postupak za sada je dosta težak i dosta košta, zbog toga svaki tip brane treba tretirati posebno.

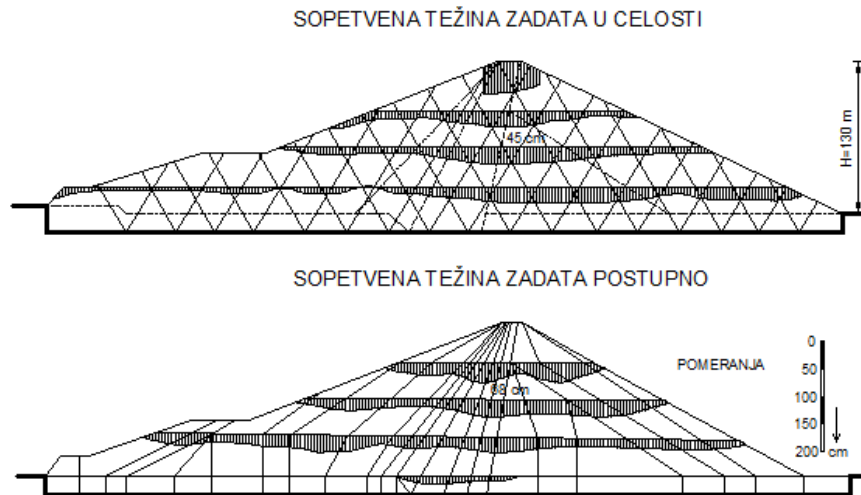
U slučaju *gravitacionih ili kontraformnih brana*, koje se posmatraju kao problem u ravni, razlika između apliciranja sopstvene težine u celosti ili po fazama građenja je beznačajna, ako je ugradnja materijala u horizontalnim slojevima. Naponi su praktično isti, a sračunate razlike u pomeranjima su beznačajne za ove brane. Preporučuje se primena sopstvene težine u celosti.



Slika 14. Naponi na kontaktu brane „Gura Riului“ u različitim etapama građenja

U slučaju kontraformnih brana sa trajnim kontrakcionim dilatacijama, faze izvođenja ne prate ravnomerno podizanje brane po vertikali (slika 14). Raspodela napona na kontaktu stena – beton u vreme građenja i nakon završetka građenja je direktno zavisna od programa izvođenja, kako je to prikazano na slici 14, na osnovu proračuna koji su izvršeni za branu *Gura-Riului-Cibin*. U ovoj situaciji neophodno je kroz proračun pratiti faze izvođenja brane.

U slučaju *brana od lokalnog materijala*, kod kojih je nelinearno ponašanje materijala evidentno, deformacije koje su posledica sopstvene težine su evidentne, deformacije usled sopstvene težine su ozbiljno pogođene fazama izvođenja brane.



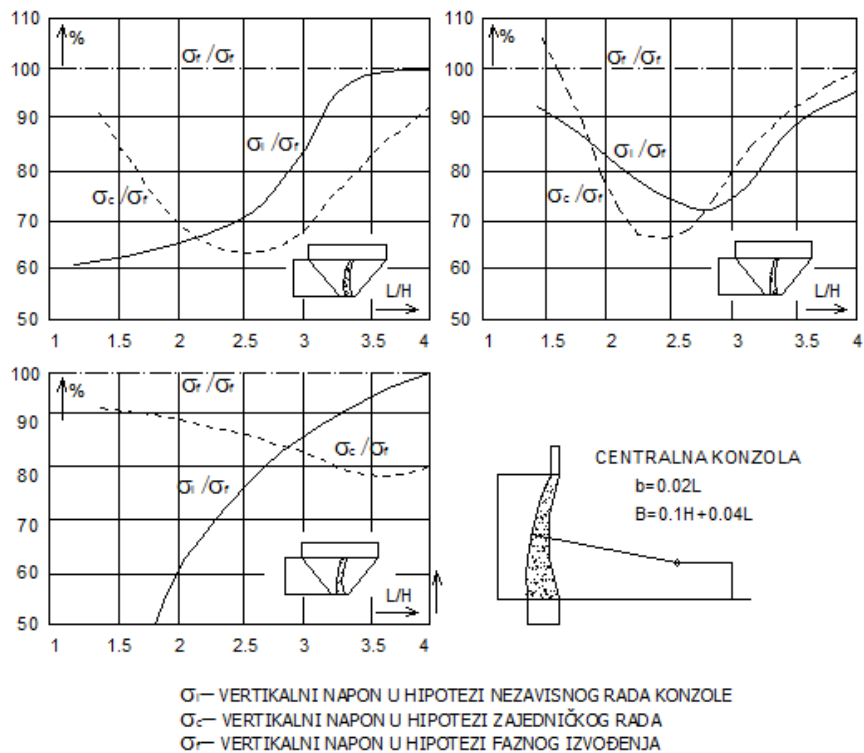
Slika 15. Vertikalno pomeranje od sopstvene težine brane „Siriu“, Rumunija

Kao primer, na slici 15 su, prikazana su sračunata vertikalna pomeranja za branu *Siriu*, za slučaj kada je sopstvena težina zadata u celini – brana izvedena, i kada je sopstvena težina zadata u šest $L/H < 1.5$ faza izvođenja brane. Bitno se razlikuje raspodela i veličina pomeranja. Kada se problem posmatra kao prostorni, efekat faznog izvođenja je još značajniji. Kod brana sa strmim obalama, koje su krute u odnosu na nasuti materijal, raspodela napona i deformacija je isključivo u funkciji načina aplikacije sopstvene težine – faze građenja. Zbog ove činjenice, preporučuje se da proračun prati faze izvođenja radova tako što će razmatrati od 6 do 10 faza izvođenja [5].

U slučaju *lučnih brana*, sopstvena težina izaziva različite efekte, zavisno od toga da li je konstrukcija kontinualna ili formirana od nezavisnih lamela. U praksi, karakteristike konstrukcije i naponi koji se javljaju u brani u toku izvođenja brane su u direktnoj zavisnosti od realizacije injektiranja. Razlike u naponima koje se javljaju u različitim hipotezama (faze izvođenja, kontinualna konstrukcija, nezavisne lamele) zavise od odnosa L/H (dužina krune/visina) koji definiše geometriju lučne brane. Na slici 16 prikazan je odnos:

- između određenih napona u slučaju konstrukcije sastavljene od nezavisnih lamela i određene faze izvođenja (σ_i/σ_f), i

- između određenih napona kada je konstrukcija kontinualna i određene faze izvođenja (σ_c/σ_f).



Slika 16. Uticaj hipoteza opterećenja od sopstvene težine kod lučnih brana

Konstatuje se, da za odnos:

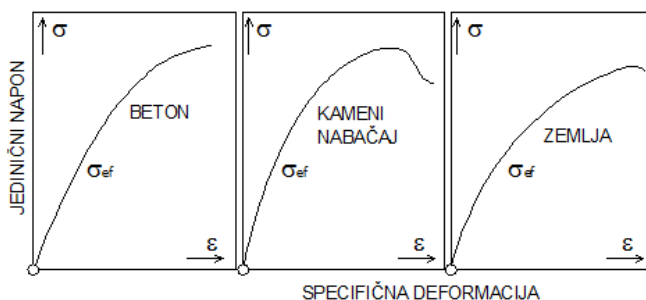
- $L/H < 1.5$, može se primeniti hipoteza kontinualne – neprekidne konstrukcije lučne brane;
- $L/H > 3.5$, može se primeniti hipoteza nezavisnih lamela.

Za odnos $1.5 < L/H < 3.5$, neophodno je kroz proračun pratiti očekivano izvođenje brane i odrediti ukupne napone kao sumu napona dobijenih u analiziranim fazama [7].

4. UTICAJ PONAŠANJA MATERIJALA I NEPREKIDNOST KONSTRUKCIJE

Razlike u pristupu betonskim branama i branama od lokalnog materijala. Materijali od koga se izvode brane, nezavisno od toga da li

su od zemlje, kamenog nabačaja ili betona, imaju elastoplastične karakteristike pod dejstvom opterećenja (slika 17).



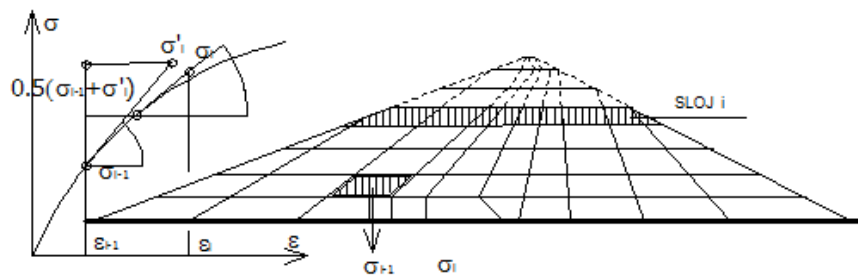
Slika 17. Kriva $\sigma - \epsilon$ za različite materijale

Naime, konačni elementi su prvo bili definisani za konstrukcije koje imaju linearnu promenu elastičnih karakteristika. Nelinearno ponašanje konstrukcije može se vrlo efikasno reprodukovati različitim numeričkim algoritmima. Treba imati u vidu da su nelinearne analize skuplje 5 do 10 puta u odnosu na linearno elastične statičke analize. Neophodno je da se definiše u kojoj meri je nelinearna analiza neophodna da bi se dobili podaci za verifikaciju sigurnosti različitih tipova brane.

U slučaju *betonskih brana* naponi usled opterećenja u toku eksploatacije u telu brane su smanjeni. Nivo napona ostaje u linearnoj zoni krive napon-deformacija, ponašanje konstrukcije je čisto elastično. Lom betona pod pritiskom može da se dozvoli jedino ako se u proračunu simulira rušenje brane. Projektantu je poznato da su havarije najčešće izazvane lomom fundamenta i da je koeficijent sigurnosti za napone u betonu vrlo veliki. Studija nelinearnih deformacija i preraspodela napona u telu brane ni u ovom slučaju ne predstavlja praktični interes. Imajući u vidu ovaj aspekt, linearno elastična analiza brana od betona je sasvim uredno.

U slučaju *brana od lokalnog materijala*, statička analiza u principu prati deformaciju tela brane pod dejstvom sopstvene težine i spoljašnjeg opterećenja. Deformacije su nekoliko puta veće od onih u betonskoj brani. Kako se radi o mnogo slabijem materijalu, naponi u brani prelaze granicu elastičnosti materijala pa se određene zone u brani nalaze u stanju plastičnih deformacija. Evidentno sledi potreba da se u proračunima uvede nelinearni deo krive napon-deformacija jer jednostavna analiza nije upotrebljiva.

U analizi brane Siriu i Gura Apelor korišćena je procedura postepenog opterećenja. Modul elastičnosti (tangenta na krivu napon-deformacija), određuje se za svaki element pre početka sledećeg koraka opterećenja koristeći analitički izraz koji je dao *Duncan*. Da bi se povećala tačnost proračuna korišćen je algoritam „srednji napon“ (slika 18) u kome svaki korak je analiziran dva puta. Prvi put se određuje modul elastičnosti elementa na bazi postojećih napona na početku sledećeg koraka, drugi put modul elastičnosti se određuje na bazi odgovarajućeg srednjeg napona u sledećem koraku [5].



Slika 18. Algoritam srednjeg napona u proceduri korak po korak

Diskontinuiteti koje uvode dilatacije kod betonskih brana. U slučaju *lučnih brana* statička analiza daje stanje napona i deformacija u prostornoj konstrukciji pod dejstvom spoljašnjeg opterećenja. Sistem konstruktivnih dilatacija koje se nakon injektiranja šire i skupljaju, „dišu“ usled promene temperature, kao i perimetralne dilatacije (kada su predviđene), stavljaju pod znakom pitanja kontinualnost konstrukcije i stanje sračunatih napona. Diskontinuiteti stvoreni dilatacijama utiču direktno na prenošenje napona zatezanja tako što ih eliminišu ili ograničavaju.

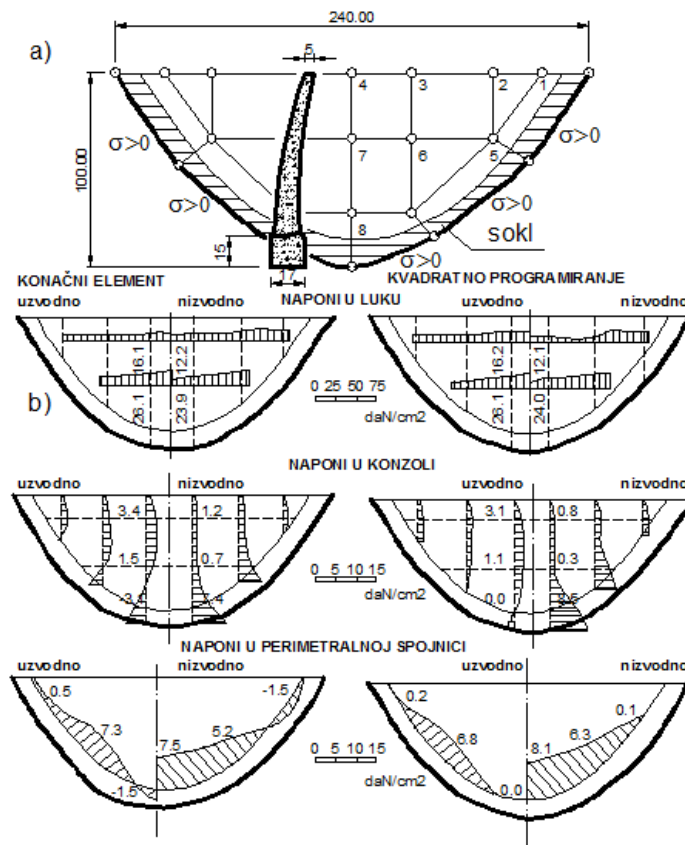
Matematičko modeliranje diskontinuiteta uvedenih dilatacijama je moguće bez ugrožavanja generalnih principa metode konačnih elemenata. Postupak minimizacije totalne potencijalne energije je dat izrazom (6):

$$E_p = \frac{1}{2} \{\delta\}^T [K] \{\delta\} - \{\delta\}^T \{R\} \quad (6)$$

ne može se realizovati jednostavnim anuliranjem njenih parcijalnih izvoda, kao što je to slučaj u klasičnoj metodi, već se rešenje traži primenom algoritma kvadratnog nelinearnog programiranja. Na ovaj način se određuju pomeranja konstrukcije koje

daju minimalnu potencijalnu energiju uvažavajući ograničavajuće uslove za napone u dilatacijama koji treba da su uvek pritisak:

$$\min (E_p) \text{ sa } \{\sigma\}_{\text{dilatacije}} \geq 0 \rightarrow \{\delta\}.$$



Slika 19. Naponi u brani sa perimetralnom spojnicom određeni metodom konačnih elemenata kada je u pitanje kontinualna konstrukcija i izdijeljena konstrukcija sa perimetralnom spojnicom

Ovaj način proračuna je bio primenjen za određivanje napona u jednoj lučnoj brani sa perimetralnom spojnicom – dilatacijom. Geometrijski elementi i diskretizacija dati su na slici 19,a. Naponi u lukovima, konzoli i normalno na dilatacije dati su uporedno, kako to daje metoda konačnih elemenata i metoda kvadratnog programiranja (slici 19,b). Uočena su anuliranja napona zatezanja na uzvodnom licu i u nizvodnoj gornjoj zoni dilatacije, koja prati blago uvećanje napona u lukovima i pritiska u nizvodnoj nožici brane [7].

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Metoda konačnih elemenata se danas veoma široko koristi u inženjerskoj analizi i možemo očekivati da će se to značajno uvećati u godinama koje dolaze. Procedure se intenzivno koriste u analizi čvrstih materija i struktura kao i toplotnog fluksa, fluida i zaista metoda konačnih elemenata se dosta koristi u gotovo svakoj oblasti inženjerstva [1].

Metoda konačnih elemenata (MKE) je najrasporstanjenija metoda za proračun građevinskih konstrukcija. Njome se može rešavati svaki inženjerski problem. Pojavom sve snažnijih računara, danas inženjeri imaju velike mogućnosti za rešavanje različitih problema. Uz sve sofisticiranije statičke programe i jednostavnu grafičku prezentaciju rezultata, inženjeri mogu obraditi znatno više podataka nego pre [2].

Primena ove metode kod brana ima poseban značaj obzirom na značaj i složenost ovih konstrukcija.

6. LITERATURA

- [1] Bathe K.J., *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, 2007, 1052, ISBN: 978-0979004902
- [2] Mirkovic V., Užar J.: *Primjena metode konačnih elemenata u građevinarstvu*, Tehnical journal 6, 2(2012), 202-206
- [3] Priscu R., Ilie I., Stematiu D., Popovici A.: *Alegere sectiuni transversale a docului uskat de reparacii Mangalia*, Hidrotehnica, (3), 1975
- [4] Priscu R., Ilie L., Stematiu D., Popovici A.: *Critical considerations on arch dam mathematical models. Criteria and assumptions for numerical analysis of dam*, Swansea, 1975
- [5] Staematiu D. et all: *Analiza seizmica a barajului Siriu*, Referat catre ISPIF-Bucuresti, 1975
- [6] Staematiu D. et all.: *Analiza statica si dinamica a barajului Tau*, Referat catre ISPH-Bucharest, 1976.
- [7] Staematiu D., Clough R.W., Raphael J.M.: *New aspects in arch dam analysis*, U. C. Berkeley, Report EERC, 1974

UPOREDNA ANALIZA RAZLIČITIH NAČINA ARMIRANJA GREDE U SOFTERSKOM PAKETU ANSYS

Predrag Lukić¹
Vanja Jovanović²
Nikola Stojić³
Vladan Nikolić⁴
Olivera Nikolić⁵

Rezime

Najprostiji statički sistem koji se primenjuje u građevinskoj praksi je prosta greda. U ovom radu izvršena je analiza nosača tipa proste grede u programskom paketu ANSYS kao i njeno modeliranje pomoću metode konačnih elemenata (FEM) koristeći različite tipove konačnih elemenata za potrebe poređenja rezultata različitih načina armiranja. Kao opterećenje armirano betonske grede usvojene su koncentrisane sile na polovini raspona u iznosu od $3 \cdot 200000 N$.

Ključne reči: Prosta greda, Ansys, metod konačnih elemenata, armiranje.

¹ Predrag Lukić, master inž. građ., student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

² Vanja Jovanović, master inž. građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

³ Nikola Stojić, dipl.inž.građ., student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

⁴ dr Vladan Nikolić, dipl. inž. arh., docent, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, vladan_nikolic@yahoo.com

⁵ Olivera Nikolić, dipl. inž. arh., student doktorskih studija, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, o_milosavljevic@yahoo.com

1. UVOD

U narednim primerima biće urađena analiza rezultata dobijenih modeliranjem jedne proste grede dimenzija $20 \times 40 \text{ cm}$ i raspona $l=6,00 \text{ m}$ opterećene u sredini raspona u softverskom paketu ANSYS-u različitim načinima modeliranja, odnosno korišćenjem različitih tipova konačnih elemenata [1]. U prvom modelu greda će biti modelirana isključivo od **SOLID65** elemenata, gde će se koristiti različiti unos za REAL CONSTANTS čime će biti napravljena greda sa armiranom donjom zonom (usvojena armatura je $2R\emptyset 12$). U drugom modelu pored SOLID65 elemenata kojima će biti modeliran nearmiran deo grednog nosača, koristiće se i **BEAM** elementi za modeliranje armature koja će biti postavljena na istom položaju kao što je to slučaj u prvom modelu i biće korišćen isti procenat armiranja za donju zonu kao u prvom modelu $2R\emptyset 12$.

Ova analiza će poslužiti za upoređenje rezultata i validaciju dobijenih rezultata za različite načine modeliranja.

2. MODELIRANJE ARMIRANO BETONSKE GREDE SAMO OD SOLID 65 ELEMENTA

2.1. Tipovi konačnih elemenata

Za modeliranje armirano betonske grede u softverskom paketu ANSYS 14 izabran je element SOLID 65. Solid 65 ima 8 čvorova sa po tri stepena slobode, odnosno translacije u x,y, i z pravcu [1].

2.2. Karakteristike preseka

Na donjem delu grede (u zategnutoj zoni) umesto armature korišćen je Solid 65 sa određenim procentom armiranja za armaturu $2\emptyset 12$ koji iznosi $0,0226$, dok je na preostalom delu grede korišćen takođe Solid 65 bez procenta armiranja.

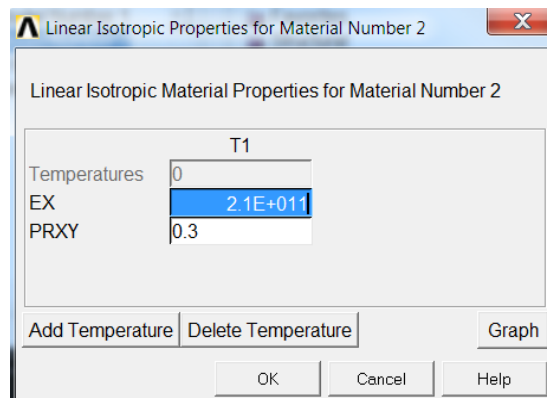
2.3. Materijal

Korišćeno je dva modela materijala. Solid 65 sa procentom armiranja koji predstavlja model materijala broj 1 i Solid 65 bez procenta armiranja predstavljen kao model materijala broj 2 .

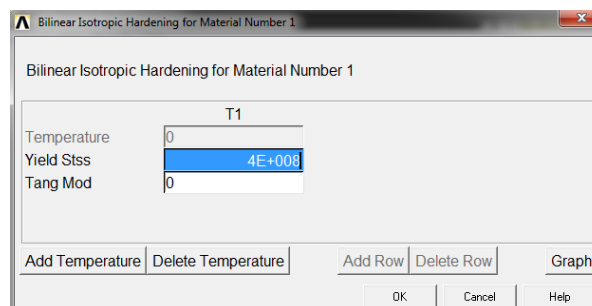
Materijal broj 1 koji predstavlja armaturu u ovom radu ima sledeće karakteristike:

- Jungov moduo elastičnosti iznosi $E_x = 2,1 \cdot 10^{11} N / m^2$,
- Poasonov koeficijent $PRXY = \nu = 0,30$,
- Granica razvlačenja $\sigma_v = 4 \cdot 10^8 N / m^2$, pošto je korišćena rebrasta armatura RA 400/500-2,

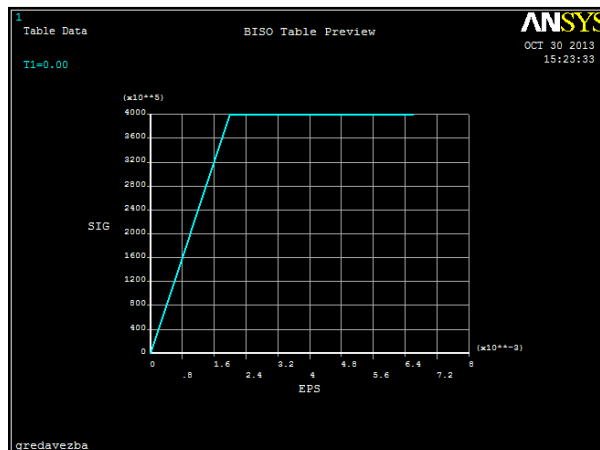
ove karakteristike kao i njihov grafik su prikazani na sledećim slikama (slika 1,2 i 3).



Slika 1- Karakteristike materijala 1

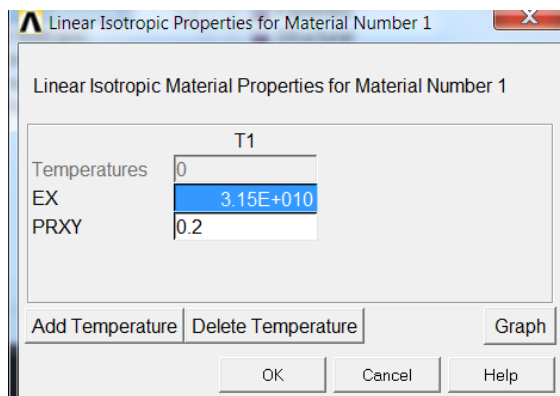


Slika 2- Karakteristike materijala 1



Slika 3- Grafik

Materijal broj 2 je beton marke MB30, sa Jungovim modulom elastičnosti betona od $E_x = 3,15 \cdot 10^{10} \text{ N / m}^2$ i Poasonovim koeficijentom $PRXY = \nu = 0,20$ (slika 4).

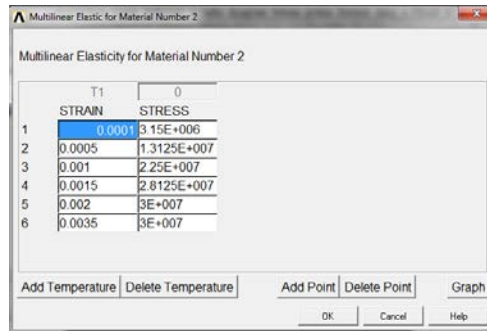


Slika 4- Karakteristike materijala 2

Pri definisanju materijalnih karakteristika betona, potrebno je zadati linearno-izotropnu fazu ponašanja i nelinearnu, tj., multilinearano materijalni model. Prilikom određivanja svojstava betona, definisano je nekoliko različitih konstanti [3]:

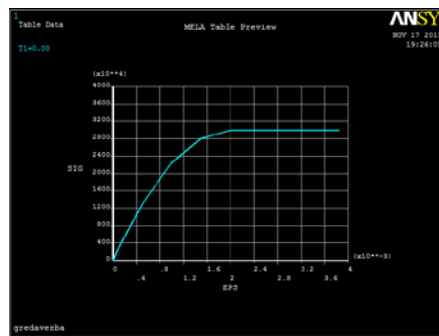
- koeficijent prenosa smicanja kod otvorene prsline je 0,5,
- koeficijent prenosa smicanja kod zatvorene prsline je 0,9,
- čvrstoća pri zatezanju je $2.65 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2$,
- čvrstoća na pritisak je $- 3 \cdot 10^7 \text{ N / m}^2$.

Analitičkim putem definisan je radni dijagram betona prema formuli datoj u PBAB 87 (Član82) [2]. Uneti su naponi pri dilataciji betona od 0,1,0,5,1,0, 1,5,2,0 i 3,5‰ (slika 5i 6).



	T1	0
	STRAIN	STRESS
1	0.0001	3.15E+006
2	0.0005	1.3125E+007
3	0.001	2.25E+007
4	0.0015	2.8125E+007
5	0.002	3E+007
6	0.0035	3E+007

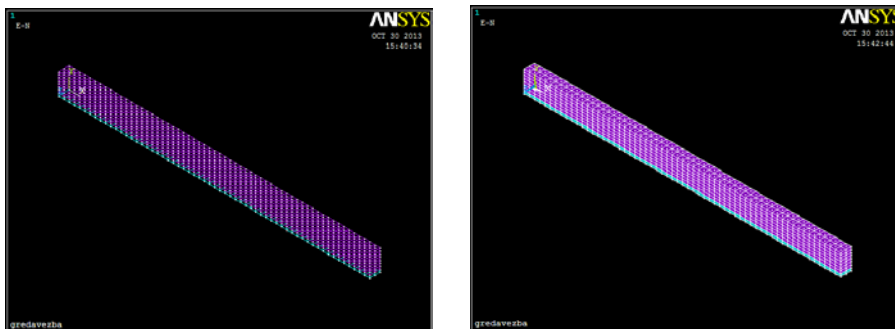
Slika 5- Multilinearni materijalni model



Slika 6- Grafik multilinearnog materijalnog modela

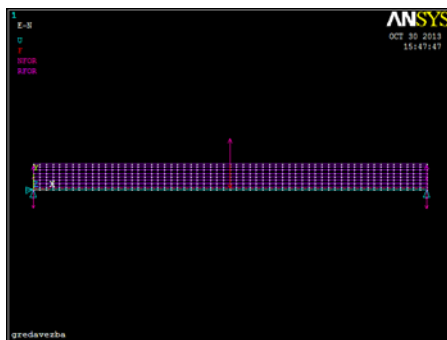
2.4. Model

Na slici 7 prikazan je izgled modela armirano betonske grede modelirane u softverskom paketu ANSYS 14.



Slika 7 - Model

Što se tiče graničnih uslova, ova armirano betonska greda je tretirana kao prosta greda, gde je na levoj strani usvojen nepokretan oslonac, dok je na desnoj strani prikazan pokretan oslonac. Na slici 8 dat je prikazan je model sa osloncima kao i sa zadatim opterećenjem.



Slika 8- Prikaz modela sa osloncima i opterećenjem.

Na ovoj slici se vidi u donjoj zoni grede isprekidana linija koja predstavlja prikaz armature u ovom slučaju $2\varnothing 12$. Kao opterećenje armirano betonske grede usvojene su koncentrisane sile na polovini raspona u iznosu od $3 \cdot 200000 \text{ N}$.

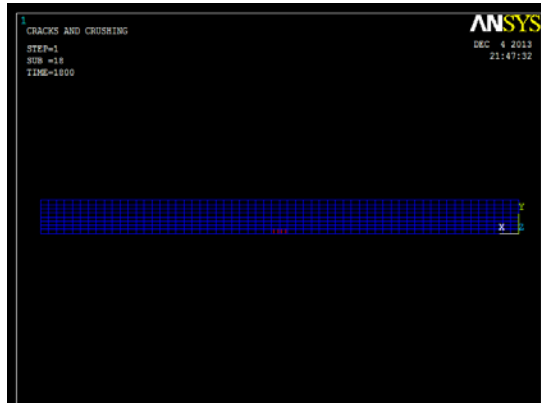
3. ANALIZA REZULTATA

Nakon sprovedenog nelinearnog proračuna modela, pristupa se očitavanju dobijenih rezultata koji se sastoje od 51 koraka, s tim da poslednji korak pokazuje divergenciju rešenja. Najpre ćemo prikazati rezultate za 18. korak iz razloga što na tom koraku dolazi do prvih prslina u betonu. Ujedno za taj korak prikazaćemo i ugibe, napone u X pravcu kao i Von Mises-ove napone. Na slici 9 je prikazano očitavanje 18. koraka, gde je time=1800.

Set	Time	Load Step	Substep	Cumulative
13	1300.0	1	13	13
14	1400.0	1	14	14
15	1500.0	1	15	15
16	1600.0	1	16	16
17	1700.0	1	17	17
18	1800.0	1	18	18
19	1900.0	1	19	19
20	2000.0	1	20	20
21	2100.0	1	21	21
22	2200.0	1	22	22
23	2300.0	1	23	23
24	2400.0	1	24	24
25	2500.0	1	25	25
26	2600.0	1	26	26
27	2700.0	1	27	27
28	2800.0	1	28	28

Slika 9- Učitavanje 18 koraka

Prikaz prvih prslina u betonu je prikazan na slici 10.

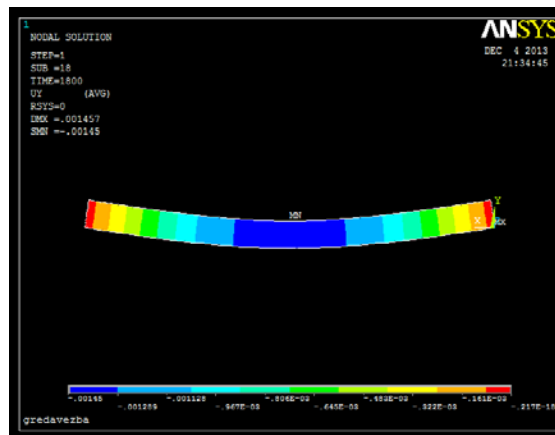


Slika 10- Pojava prvih prslina, za silu $P=10,80kN$

Opterećenje usled kojeg je došlo do pojave prvih prslina dobijamo na sledeći način:

$$\frac{3 \cdot 200000}{100000} \cdot 1800 = 10800 \text{ N} = 10,80 \text{ kN}$$

Ugib na 18. koraku je prikazan na slici 11 i iznosi $0,00145m$.



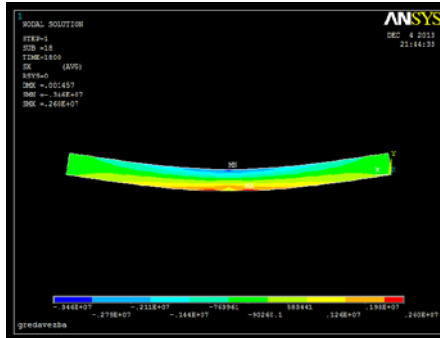
Slika 11- Prikaz ugiba na 18. koraku, za silu $P=10,80kN$

Vrednost ugiba možemo dobiti na sledeći način:

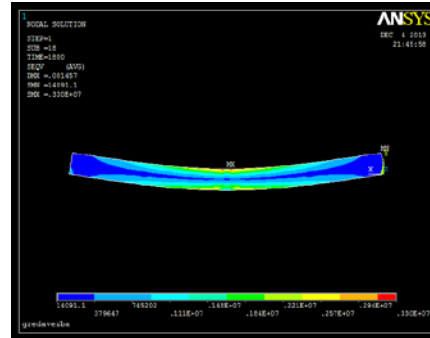
$$y = \frac{P \cdot l^3}{48EI} = \frac{10,8 \cdot 6^3}{48 \cdot 3.15E^7 \cdot 0.001067} = 0.001446 \text{ m} = 1.446 \text{ mm}$$

gde možemo zaključiti da je vrednost ugiba dobijena pomoću softverskog paketa Ansys i analitičkim putem u potpunosti ista.

Naponi u X pravcu kao i Von Mises-ovi naponi su prikazani na slikama 12 i 13.



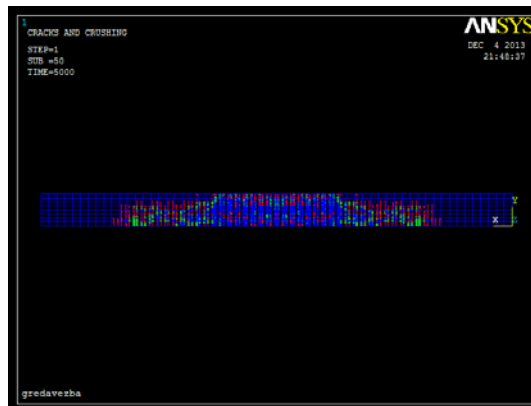
Slika 12- Naponi X pravac na 18. koraku, za silu $P=10,80kN$



Slika 13- Von Mises-ovi naponi na 18. koraku, za silu $P=10,80kN$

Sada ćemo za predposlednji, 50. korak, tj. korak pre sloma armiranobetonske grede prikazati i ugibe, napone u X pravcu kao i Von Misses-ove napone.

Prikaz prslina u betonu na 50. koraku, gde je time=5000 je dat na slici 14.

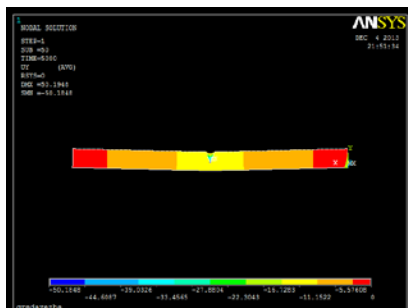


Slika 14- Prikaz prslina na 50. koraku, za silu $P=30 kN$

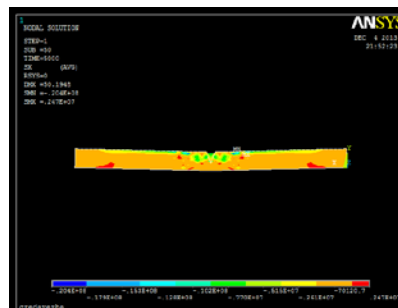
Opterećenje usled kojeg je došlo do ovih prslina dobijamo na sledeći način:

$$\frac{3 \cdot 200000}{100000} \cdot 5000 = 30000 N = 30 kN$$

Ugib na 50. koraku je prikazan na slici 15.

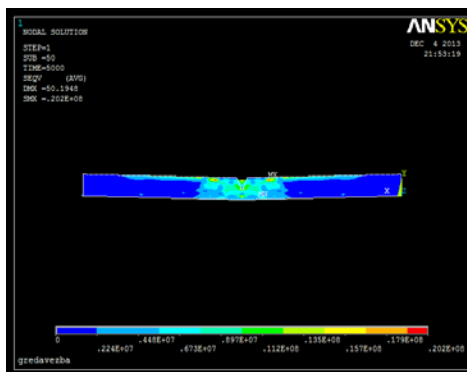


Slika 15- Prikaz ugiba na 50. koraku, za silu $P=30$ kN



Slika 16- Naponi X pravac na 50. koraku, za silu $P=30$ kN

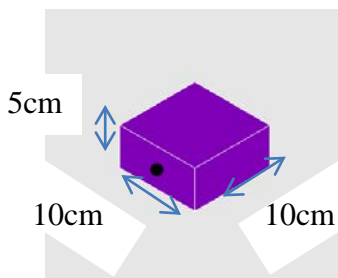
Naponi u X pravcu kao i Von Mises-ovi naponi su prikazani na slikama 16 i 17.



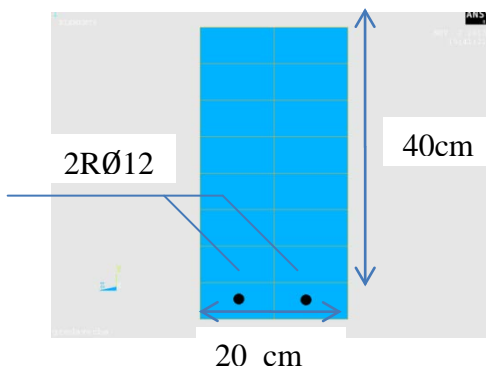
Slika 17- Von Mises-ovi naponi na 50. koraku, za silu $P=30$ kN

4. MODELIRANJE ARMIRANO BETONSKE GREDE POMOĆU SOLID 65 I BEAM 188 ELEMENTA

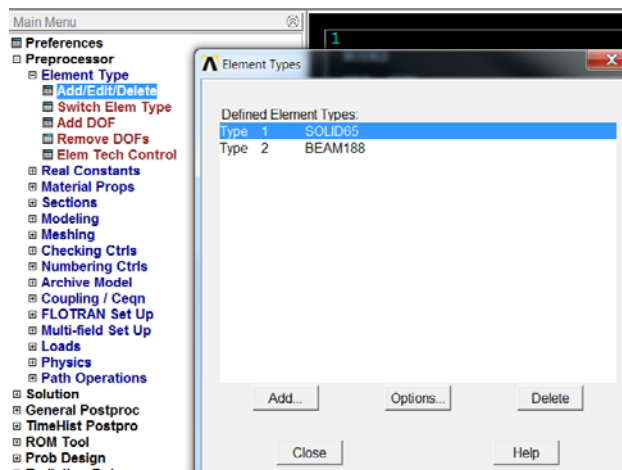
Primenjeni elementi u ovom modelu su SOLID65 za modeliranje betonskog dela nosača (bez armature) i BEAM188 za modeliranje armature. Armatura je, kao i u prethodnom modelu postavljena samo u donjoj zoni, dimenzija 2RØ12. Položaj je određen prethodnim modelom, tj pošto su u prethodnom modelu dimenzije elemeta 5x10x10 cm, slika 18, a armatura je u sredini posmatranog modela, to je neophodno postaviti armaturu na 2,5 cm od donje ivice, odnosno na 5 cm od krajeva poprečnog preseka nosača, slika 19 . Na slici 20 i 21 su prikazani odabrani elementi za modeliranje ove grede, kao i karakteristike materijala.



Slika 18- Izgled elementa SOLID65

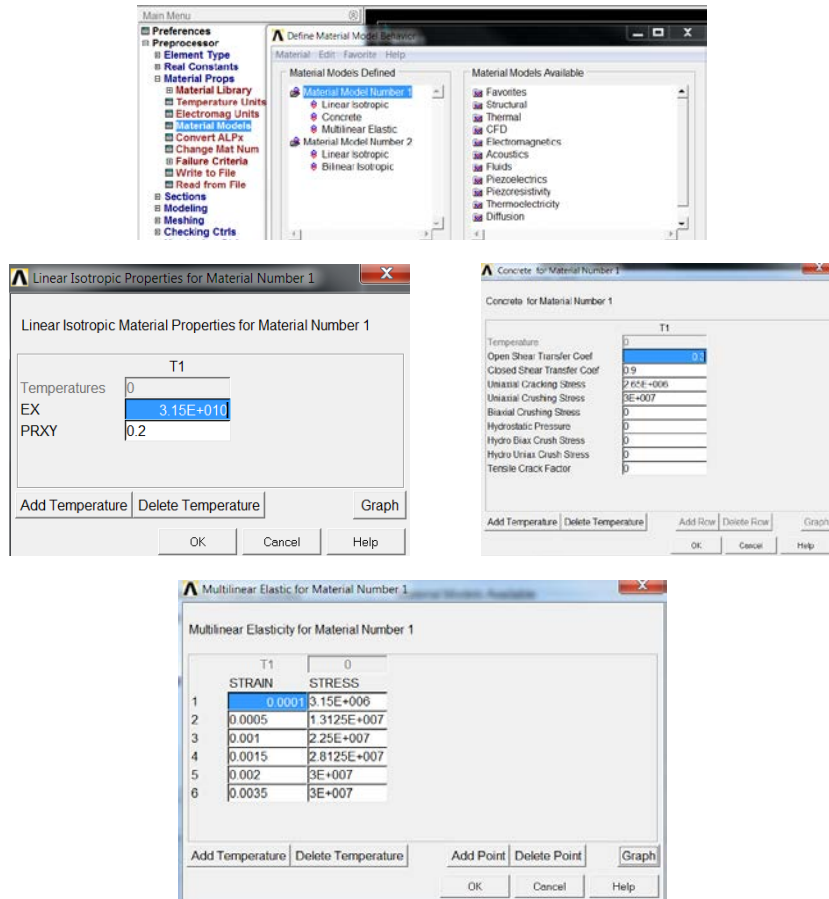


Slika 19. Dimenzije poprečnog preseka grede



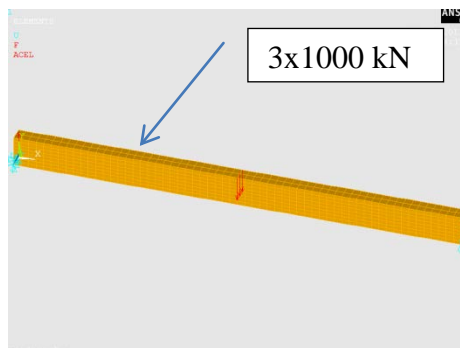
Slika 20- Izabrani tipovi konačnih elemenata

Usporedna analiza različitih načina armiranja grede u softverskom paketu ANSYS



Slika 21- Karakteristike materijala

Greda je opterećena koncentrisanim silama na polovini raspona u intezitetu od 3x1000kN, slika 22.



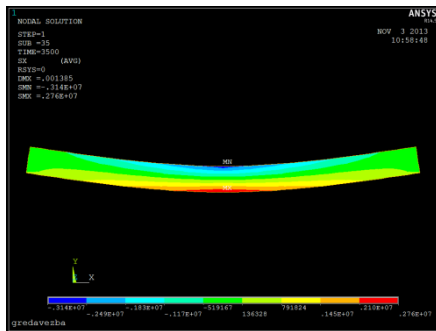
Slika 22- Zadato opterećenje

Ovakvim modelom i ovakvim podešavanjima za proračun dobijeno je 108 regularnih koraka i ukupno 7500 koraka opterećenja (poslednji korak nije regularan).

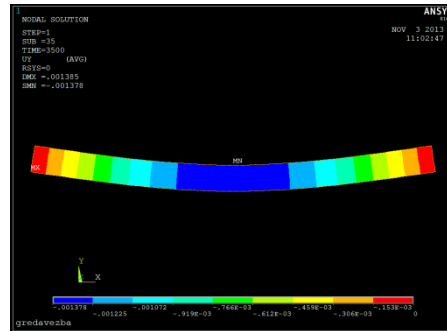
Prve prsline se javljaju na 36. koraku, odnosno kada je time=3600. To znači da je sila pri pojavi prvih prslina jednaka:

$$\frac{3 \cdot 1000000}{1000000} \cdot 3600 = 10800 \text{ N} = 10.8 \text{ kN}$$

Prikaz napona i deformacija u koraku pre pojava prvih prslina time = 3 500, dat je na slici 23 i 24:



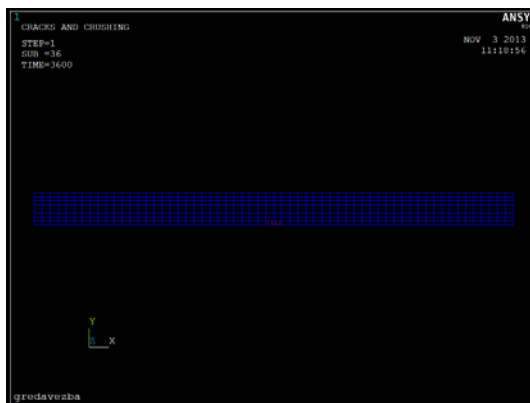
Slika 23- Naponi u X pravcu, za silu P=10,80kN



Slika 24- Pomeranija u Y pravcu, za silu P=10,80kN

Maksimalno pomeranje u Y pravcu, odnosno ugibi u vremenu time=3500 je približno 1.4 mm koji se javlja u sredini raspona.

Prikaz napona i deformacija u koraku kad se javljaju prve prsline time = 3 600, sila =10.8 kN, dat je na slici 25:



Slika 25-Prikaz prvih prslina. za silu P=10,80kN

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata, a pri pojavi prvih prslina možemo zaključiti da:

- Odabir načina armiranja u softverskom paketu ANSYS ne utiče na krajnji rezultata, pošto sila pri kojoj dolazi do prve pojave prslina je ista i iznosi $P=10,8$ kN,
- Vrednost ugiba dobijena za različite načine armiranja u ovom paketu kao i vrednost dobijena analitičkim putem je ista,
- Vrednosti napona u X pravcu dobijene za različite načine armiranja su slični.

Možemo da zaključimo da različiti načini armiranja u ovom paketu tj. korišćenje elemenata kao što su SOLID65 sa određeneim procentom armiranja, ili pak elementa BEAM 188 daje iste rezultate za problem koji se ispituje.

6. LITERATURA

- [1] ANSYS 14 Help: Mechanical APDL/Element Reference/Element Library
- [2] PBAB, Građevinska knjiga, Beograd 1991.
- [3] Maslak, E., Sadović, E., Nelinearna analiya AB nosača primenom programskog paketa ANSYS, Savremena dostignuća u građevinarstvu, Subotica, 2014.,pp. 339-345.

PRORAČUN OBLOGE HIDROTEHNIČKIH GALERIJA METODOM KONAČNIH ELEMENATA

Milica Marković¹
Jelena Marković Branković²

Rezime

Kod hidrotehničkih galerija sa slobodnim nivoom, obloga, kao noseći element, preuzima opterećenje nastalo usled pritiska brdskog masiva, hidrostatičkog pritiska vode iz unutrašnjosti galerije i sopstvene težine. Za razliku od galerija pod pritiskom kod kojih je unutrašnje opterećenje dominantno, pa je i opterećenje obloge isključivo aksijalno, kod hidrotehničkih galerija sa slobodnim nivoom opterećenje obloge izaziva savijanje. Na kontaktu ekstrados – masiv u određenim zonama prema unutrašnjosti i prema masivu, dolazi do deformacije obloge uz pojavu neravnomernih elastičnih reakcija. U aktuelnoj praksi izvođenja ovih galerija, debljina obloge je relativno mala u odnosu na iskopani otvor u steni, što kod elastičnih obloga kod kojih je deformacija dovoljno velika stvara značajne elastične reakcije. Zbog toga metode proračuna ovakvih obloga treba da uzmu u obzir, što preciznije, efekte sadejstva obloge i stene. Razvojem i sve širom primenom metode konačnih elemenata, fenomeni interakcije mogu se u proračunima modelirati mnogo korektnije, uzimajući u obzir opterećenje brdskog masiva kao efekat relaksacije masiva usled iskopa galerije, dok se kontakt obloge i stene uvodi preko materijalnog modela "no tension" kod kojeg se veza konačnih elemenata stene sa konačnim elementima obloge ostvaruje samo kada na njihovom kontaktu postoji pritisak.

Ključne reči

hidrotehničke konstrukcije, galerije sa slobodnim nivoom, metoda konačnih elemenata,

¹ Milica Marković, Dr, dipl.inž. građ, naučni saradnik, Javno vodoprivredno preduzeće Srbijavode

² Jelena Marković-Branković, Dr, dipl.inž. građ, docent, Građevinsko-ArHITEKTONSKI fakultet u Nišu

1. UVOD

Kod hidrotehničkih galerija sa slobodnim nivoom, obloga, kao noseći element, preuzima opterećenje nastalo usled pritiska brdskog masiva, hidrostatičkog pritiska vode iz unutrašnjosti galerije i sopstvene težine. Za razliku od galerija pod pritiskom kod kojih je unutrašnje opterećenje dominantno, pa je i opterećenje obloge isključivo aksijalno, kod hidrotehničkih galerija sa slobodnim nivoom opterećenje obloge izaziva savijanje. Na kontaktu ekstrados – masiv u određenim zonama prema unutrašnjosti i prema masivu, dolazi do deformacije obloge uz pojavu neravnomernih elastičnih reakcija. U aktuelnoj praksi izvođenja ovih galerija, debljina obloge je relativno mala u odnosu na iskopani otvor u steni, što kod elastičnih obloga kod kojih je deformacija dovoljno velika stvara značajne elastične reakcije. Zbog toga metode proračuna ovakvih obloga treba da uzmu u obzir, što preciznije, efekte sadejstva obloge i stene.

Pregledom kroz razvoj metoda proračuna galerija sa slobodnim nivoom, uočavamo pojavu tri vrlo značajne metode:

- metode koje zanemaruju interakciju obloga – masiv,
- metode koje prepoznaju fenomen interakcije, ali dozvoljavaju do određenih granica procenu vrednosti i raspodelu elastične reakcije i
- metode koje eksplicitno uvode fenomene interakcije i određuju elastične reakcije na osnovu ovog sadejstva.

Prva istraživanja u uvođenju efekata stene u okruženju urađena su od strane Kommerell, Rozanova i Hewetta, koji uvode pasivnu nosivost terena. Kasnije sovjetska škola, preko Davidova, Zuabov – Bugaeva, Bodrova i Goreloka, uvodi interakciju između monolitne i deformabilne obloge i stene u okruženju, preko elastičnih reakcija. U svim slučajevima usvojena je hipoteza Winkler ($q = c \cdot \delta$), odnosno linearna zavisnost između elastične reakcije q i deformacije prema masivu obloge δ . U okviru ove metode elastična reakcija je proporcionalna deformaciji samo u tački (tačkama) maksimalne deformacije, a nadalje se primenjuje procenjena forma. Takođe su nulte tačke, od kojih se ove elastične reakcije uzimaju u obzir, locirane po proceni (obično u granicama otvora od 450 u zoni temena).

U poslednje vreme, sa razvojem i širokom primenom metode konačnih elemenata, fenomeni interakcije mogu se u proračunima modelirati mnogo korektnije, uzimajući u obzir opterećenje brdskog

masiva kao efekat relaksacije masiva usled iskopa galerije; kontakt: obloga - stena uvodi se preko modela tipa "no tension" kod kojeg se veza konačnih elemenata stene sa konačnim elementima obloge ostvaruje samo kada na njihovom kontaktu postoji pritisak.

Uprošćena alternativa, data još 1966. od strane *Szechya*, sastoji se u diskretizaciji obloge na segmente i uvođenju opruge u tačke veze segmenata, koja zamenjuje postojeću stenu u okruženju; opruga ima elastične karakteristike u funkciji elastičnih karakteristika stene. Spoljašnje sile tretiraju se kao koncentrisane sile u tačkama veze segmenata. Proračun je iterativan. U prvom koraku se smatra da su sve opruge aktivne pa se određuje deformacija obloge pod dejstvom spoljašnjeg opterećenja. Ako iz proračuna dobijemo da su neke opruge zategnute, one se deaktiviraju i proračun se ponavlja. Smatra se da su rezultati korektni onda kada je sračunata deformacija saglasna sa pretpostavljenim oslanjanjem.

U praksi projektovanja se u poslednjim godinama koristi metoda proračuna proizašla iz *Szechyevog* predloga, u kojoj su segmenti tretirani kao konačni elementi tipa grede, oslonjene elastično poput konačnog elementa tipa opruge, dok se rešavanje obavlja prema principima matričnog proračuna konstrukcije. Koristi se program *CAPLAN*, a potrebne iteracije, diskretizacije i aktiviranje veza obavlja se ručno i startuje se po jednom za svaku iteraciju.

2. ALGORITAM PRORAČUNA

Algoritam proračuna, usvojen za proračun obloge galerije sa slobodnim nivoom, i njemu odgovarajući program imaju istu teorijsku osnovu kao i metoda koju je predložio *Szechy*.

Koristi se metoda konačnih elemenata, kod koje je matrica krutosti jedinstva: obloga - masiv sastavljena od matrice krutosti konačnih elemenata tipa štap (na koje je diskretizovana obloga) i matrice krutosti elastičnih opruga (koje modeliraju stenu) zasnovanu na hipotezi *Winkler-a* da je:

$$[K_{obloga} + K_{aktivna\ veza}] \cdot \{\delta_{obloga}\} = \{spoljašnje\ opterećenje\}.$$

Proračun se izvodi iterativno, aktivirajući ili deaktivirajući opruge postavljene u čvorovima veze konačnih elemenata obloge tipa štap, u funkciji smera pomeranja obloge. Opruge su aktivne onda kada se pomeranje obavlja prema masivu i aktivira elastičnu reakciju masiva.

Diskretizacija se generiše automatski, u funkciji opcije korisnika, na bazi tipa geometrije obloge i broja elemenata na koji se deli obloga. Može se računati automatskim generisanjem pet geometrijskih kontura koje su u praktičnoj primeni, za intrados i ekstrados, a kombinacijom obuhvataju ceo spektar galerija koje se koriste u projektovanju. U slučaju nekih posebnih geometrijskih specifičnosti, geometrijski podaci se mogu korigovati od strane korisnika, startovanjem programa za proračun u dve etape. Stena u okruženju može biti homogena i izotropna, anizotropna ili nehomogeno izotropna. Spoljašnje opterećenje od brdskog pritiska treba da se odredi od strane korisnika, zavisno od geološke strukture i od geotehničkih karakteristika masiva. Iteracije se rade automatski, u okviru programa proračuna; rezultat čine pomeranja obloge, elastične reakcije, presečne aksijalne sile i momenat savijanja [1].

U nastavku su dati glavni izrazi proračuna, objašnjenje načina razmatranja fenomena interakcije, detaljan opis algoritma i programa nazvanog GALERIJA. U aneksima se pokazuje način unošenja podataka, aspekti inputa i outputa, nekoliko primera proračuna i listing programa.

3. TIPOVI KONAČNIH ELEMENATA. MATRICA KRUTOSTI. MATRICA NAPON – DEFORMACIJA

Program GALERIJA sračunava poprečni presek obloge u stanju ravne deformacije (analizira se kampada galerije dužine $l=1\text{m}$).

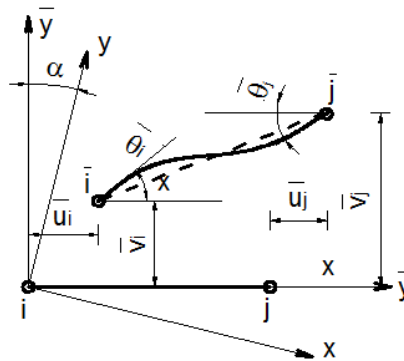
Hipoteze uprošćenja koje se uvode su:

- geometrijska šema za proračun konstrukcije prati osovinu obloge ili srednju površinu;
- smatra se da se obloga ponaša po zakonu linearne elastičnosti, što je vrlo blizu realnom ponašanju armiranog betona opterećenog silama koje se uobičajeno javljaju u eksploataciji hidrotehničkih galerija i
- oblik deformacione linije konstrukcije približan je inicijalnom obliku.

Sa ovakvim aproksimacijama izvedeni proračuni su I reda (linearna elastičnost).

Konačni elementi diskretizacije su tipa grede, dvostruko ukleštene, sa dva čvora, od kojih svaki ima tri stepena slobode (dve

moгуćnosti translacije i dve mogućnosti rotacije). U lokalnom sistemu osa X0Y (slika 1) pomeranja štapa su $\bar{\delta}^T = \{ \bar{u}_i \ \bar{v}_i \ \bar{\theta}_i \ \bar{u}_j \ \bar{v}_j \ \bar{\theta}_j \}$.



Slika 1. Pomeranja u lokalnom sistemu osa: \bar{x}, \bar{y} - lokalne koordinate; x, y - generalne koordinate konstrukcije; $\bar{u}_i \ \bar{v}_i \ \bar{\theta}_i \ \bar{u}_j \ \bar{v}_j \ \bar{\theta}_j$ - pomeranja krajnjih tačaka elemenata i rotacija preseka

Za proračun matrice krutosti elemenata tipa štap korišćeno je polje deformacija (slika 2). Vektor deformacije je $q^T = \{ q_1 \ q_2 \ q_3 \}$, a unutrašnje sile u poprečnom preseku $Q^T = \{ Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \}$.

Polje deformacije se bira u obliku polinoma:

$$\begin{aligned} u_{(x)} &= \alpha + \alpha_1 \cdot x \\ v_{(x)} &= \beta + \beta_1 \cdot x + \beta_2 \cdot x^2 + \beta_3 \cdot x^3 \end{aligned} \quad (1)$$

koji treba da ispuni sledeće konturne uslove:

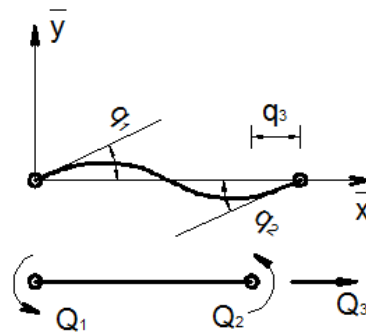
- podužna specifična deformacija je konstantna po celoj dužini štapa:

$$\varepsilon_{(x)} = \frac{du}{dx} = \alpha_1$$

- transverzalna sila je konstantna po dužini štapa (štap je opterećen samo na svojim krajevima), dok momenat savijanja ima linearnu promenu. Pomeranja predstavljena su polinomom trećeg reda, odnosno:

$$M_{(x)} = \frac{d^2v}{dx^2} = 2 \cdot \beta_2 + 6 \cdot \beta_3 \cdot x$$

$$T_{(x)} = \frac{d^3v}{dx^3} = 6 \cdot \beta_3$$



Slika 2. Deformacija i unutrašnje sile u preseku na štapu:
 Q_1, Q_2 – momenat savijanja štapa; Q_3 – aksijalna sila štapa; q_1, q_2 – rotacija preseka štapa; q_3 – izduženje štapa

Konstante iz izraza polja pomeranja određuju se iz konturnih uslova (slika 2) za $x=0$ i $x=L$ i označavaju sa $\xi = \frac{x}{L}$; iz ovoga sledi:

$$u_{(x)} = \xi \cdot q_3$$

$$v_{(x)} = \left(\xi - 2 \cdot \xi^2 + \xi^3 \right) \cdot L \cdot q_1 - \left(\xi^2 - \xi^3 \right) \cdot L \cdot q_2 \quad (2)$$

Veza: specifična deformacija – pomeranje štapa izloženog savijanju sa aksijalnom silom (pogledati teoriju elastičnosti) data je izrazom:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{xQ_3} - \varepsilon_{xQ_{1,2}} = \frac{du}{dx} - y \frac{d^2v}{dx^2} \quad (3)$$

gde je:

- $\varepsilon_{xQ_3} = \frac{du}{dx}$ dilatacija štapa usled aksijalne sile, a
- $y \frac{d^2v}{dx^2}$ skraćenje vlakna štapa na odstojanju y od neutralne ose, usled momenta savijanja.

Dilatacija vlakna definisana je izrazom:

$$\Delta dx = (\rho + y) d\varphi - \rho d\varphi = y d\varphi$$

Specifična dilatacija je:

$$\varepsilon_{xQ_{1,2}} = \frac{\Delta dx}{dx} = y \frac{d\varphi}{dx} = y \frac{d\varphi}{\rho d\varphi} = y \frac{1}{\rho} = y \frac{d^2 v}{dx^2},$$

jer je $\frac{1}{\rho}$ krivina elastične linije koja je približno $\frac{d^2 v}{dx^2}$.

Potencijalna energija deformacije je:

$$W = \frac{1}{2} \int_v \sigma \cdot \varepsilon \cdot dv = \frac{E}{2} \int_v \varepsilon_x^2 \cdot dv \quad (4)$$

koja posle integracije postaje:

$$W = \frac{AE}{2L} q_3^2 + \frac{2EI}{L} (q_1^2 + q_1 \cdot q_2 + q_2^2) \quad (5)$$

Primenjujući na energiju deformacije prvu teoremu *Castiglian-*

a $\frac{\partial^2 W}{\partial q_i \partial q_j} = k_{ij}$ dobija se matrica krutosti štapa u lokalnom sistemu

koordinata $[k_L]$ i veza: sila – deformacija, koja glasi:

$$\begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} & 0 \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EA}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{Bmatrix} \quad \text{ili} \quad \{Q\} = [k_L] \cdot \{q\} \quad (6)$$

Prelazak sa elementa na konstrukciju obavlja se pomoću transformatora koordinata. Između deformacije $\{q\}$ i pomeranja $\{\bar{\delta}\}$ iz lokalnog sistema osa $\bar{x} o \bar{y}$ postoji veza (slika 2):

$$\{q\} = [L] \cdot \{\bar{\delta}\} \quad (7)$$

gde je:

$$[L] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} & 1 & 0 & -\frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} & 0 & 0 & -\frac{1}{L} & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

matrica transformacije čiji su elementi određeni na bazi geometrijskih uslova. Ima se u vidu da je generalni sistem osa xoy , u

kojem je definisana kompletna konstrukcija, rotiran u odnosu na lokalne ose \bar{x} o \bar{y} za ugao α (slika 1). Između pomeranja $\{\delta\}$ iz lokalnog sistema i osa generalnog sistema postoji veza:

$$\begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{v}_i \\ \bar{\theta}_i \\ \bar{u}_j \\ \bar{v}_j \\ \bar{\theta}_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} U_0 & 0 \\ 0 & U_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

ili kraće:

$$\{\bar{\delta}\} = [U] \cdot \{\delta\} \quad (8)$$

gde je:

$$U_0 = \begin{Bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

matrica rotacije sistema osa.

Konačno, iz jednačine (7) i (8) sledi:

$$\{q\} = [L] \cdot \{\bar{\delta}\} = [L] \cdot [U] \cdot \{\delta\} = [A] \cdot \{\delta\} \quad (9)$$

gde je $[A] = [L] \cdot [U]$ matrica prelaska iz lokalnog sistema u generalni sistem osa i ima oblik:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-\sin \alpha}{L} & \frac{\cos \alpha}{L} & 1 & \frac{\sin \alpha}{L} & \frac{-\cos \alpha}{L} & 0 \\ \frac{-\sin \alpha}{L} & \frac{\cos \alpha}{L} & 0 & \frac{\sin \alpha}{L} & \frac{-\cos \alpha}{L} & 1 \\ -\cos \alpha & -\sin \alpha & 1 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \end{bmatrix}$$

Veza između sila u preseku $\{Q\}$ i unutrašnjih sila u preseku $\{\bar{S}\}$ i $\{S\}$ na štapu i odgovarajućoj konstrukciji određuje se preko principa virtualnog mehaničkog rada. Virtualnom pomeranju štapa

$\{\delta\delta\}$ odgovara virtualno pomeranje konstrukcije $\{\delta q\}$ koje shodno izrazu (9) može da se napiše u sledećem obliku:

$$\{\delta q\} = [A] \cdot \{\delta\delta\}$$

Iz jednakosti virtualnog mehaničkog rada prikazanog u dva sistema osa, sledi:

$$\{\delta\delta\}^T \cdot \{S\} = \{\delta q\}^T \cdot \{Q\} = \{\delta\delta\}^T \cdot [A]^T \cdot \{Q\}$$

gde je:

$$\{S\} = [A]^T \cdot \{Q\} \quad (10)$$

pošto je $\{\delta\delta\} \neq 0$.

Iz izraza (6) i (9) u nastavku sledi:

$$\{S\} = [A]^T \cdot [k_L] \cdot \{q\} = [A]^T \cdot [k_L] \cdot [A] \cdot \{\delta\} = [k_{el}] \cdot \{\delta\} \quad (11)$$

gde se sa

$$[k_{el}] = [A]^T \cdot [k_L] \cdot [A] \quad (12)$$

označava matrica krutosti štapa napisana u generalnom sistemu osa.

Matrica krutosti elementa $[k_{el}]$ formira se u nastavku, prema poznatom algoritmu, u matricu krutosti konstrukcije $[K]$.

Proračun sila u štapu $\{Q\}$ preko pomeranja čvorova $\{\delta\}$ obavlja se preko izraza:

$$\{Q\} = [k_L] \cdot \{q\} = [k_L] \cdot [A] \cdot \{\delta\} = [T] \cdot \{\delta\} \quad (13)$$

gde je

$$[T] = [k_L] \cdot [A] \quad (14)$$

matrica za prelazak sa čvornih pomeranja na sile u preseku štapa [4].

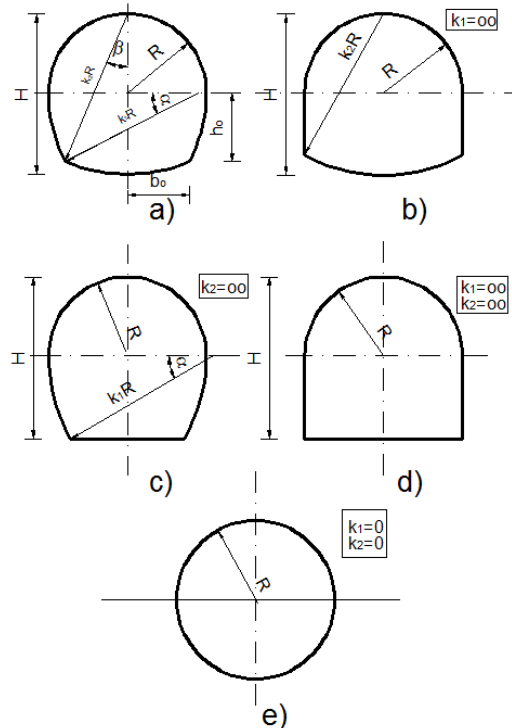
4. TIPOVI GALERIJE. DISKRETIZACIJA OBLOGE

Za razliku od poprečnog preseka galerija pod pritiskom, kod kojih je generalno optimalni oblik kružni, uslovljen za preuzimanje

velikih unutrašnjih pritisaka, kod hidrotehničkih galerija sa slobodnim nivoom oblik poprečnog preseka je određen na osnovu nekih drugih uslova od kojih se mogu navesti:

- veličina brdskog pritiska;
- obezbeđenje optimalnih uslova tečenja;
- uslovi građenja;
- odakle nekad slede komplikovani geometrijski oblici.

Vodeći računa o navedenim uslovima i olakšanju posla za pripremu podataka, program GALERIJA automatski generiše diskretizaciju konstrukcije (određivanje osovine obloge, proračun koordinata čvorova, identifikaciju čvora na štapu i jednačina na čvoru itd.) za pet različitih oblika poprečnih preseka, kao i za međusobnu kombinaciju.



Slika 3. Geometrijske forme poprečnog preseka galerije:
 a – presek proizvoljne forme; b – presek sa vertikalnim zidovima; c – presek sa horizontalnim dnom; d – rudničko okno; e – kružni presek

Polazeći od proizvoljnog oblika poprečnog preseka galerije (slika 3.a), imajući kao određene elemente poluprečnik svoda (R), koeficijente poluprečnika krivine bočnih zidova (K_1) i dna galerije (K_2),

kao i ukupnu visinu (H), može se preći na druge oblike poprečnog preseka:

- presek sa vertikalnim bočnim zidovima (slika 3.b), $K_1 = \infty$,
- presek sa horizontalnim dnom (slika 3.c), $K_2 = \infty$,
- rudničko okno (slika 3.d), $K_1 = K_2 = \infty$,
- proizvoljni presek (slika 3.a), $K_1 = K_2 = 1$,
- kružni presek (slika 3.e), $K_1 = K_2 = 0$.

Polazeći od elemenata (R, K_1 , K_2 , H) koji definišu spoljnu i unutrašnju konturu obloge, kao i od broja štapova koji predlaže korisnik, program računa koordinate čvorova na spoljašnjoj i unutrašnjoj konturi, a zatim osrednjavanjem dobija koordinate čvorova na osovini obloge, kao i srednju debljinu svakog štapa (slika 4). Numerisanje čvorova se radi na način prikazan na slici 4, sa čvorom 1 u temenu i drugim alternativnim čvorovima s jedne i druge strane, kako zbog postizanja minimalne širine banda tako i zbog preglednije prezentacije rezultata.

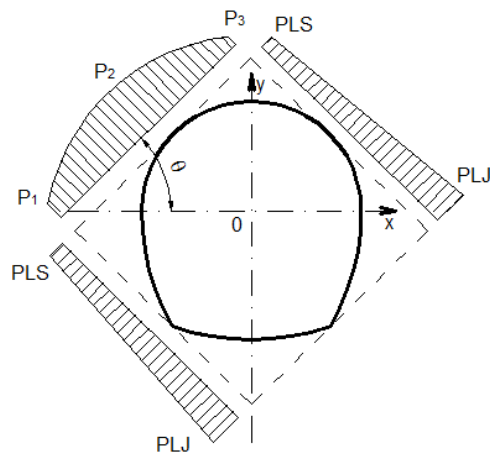
U slučaju analize galerije, koja se ne može uvrstiti u standardne forme koje generiše program, korisnik ima mogućnost da interveniše u rešavanju diskretizacije, tako što će popravljati koordinate nekih čvorova ili uneti spolja koordinate svih čvorova diskretizacije, poštujući pritom način numerisanja i pozicioniranja sistema osa sa slike 4 [4].

5. VEKTOR OPTEREĆENJA. SILE KOJE DELUJU NA OBLOGU

U eksploataciji su obloge hidrotehničkih galerija opterećene sledećim tipovima sila:

- sopstvena težina obloge;
- pritisak brdskog masiva;
- pritisak vode iz unutrašnjosti galerije.

Sve ove sile, u realnosti raspodeljene po dužini elementa, tretiraju se kao koncentrisane sile koje su na odgovarajući način pridodate čvorovima na krajevima elementa. Proračun veličine ovih sila i određivanje koncentrisanog opterećenja u diskretizovanim čvorovima radi se automatski od strane programa u funkciji geometrijskih i mehaničkih karakteristika materijala. Usled sopstvene težine obloge, sile se određuju za svaki element u funkciji njegove zapremine i pridodaju u jednakim delovima čvorovima na krajevima elementa.



Slika 4. Opterećenje od brdskog masiva

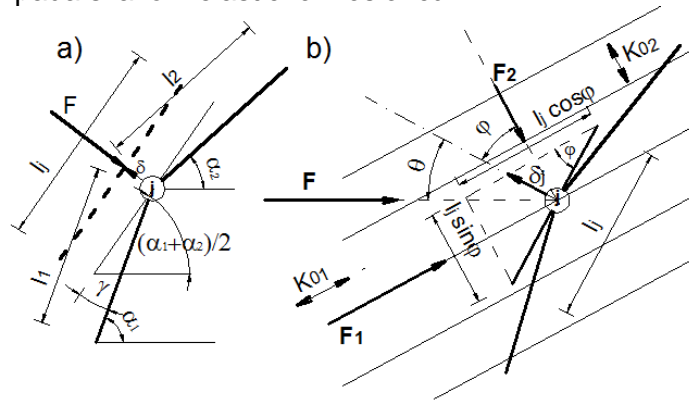
Za pritisak brdskog masiva, uzima se u obzir kako pritisak na svod (uniformni dijagram pritiska ili parabolični) tako i bočni pritisak (uniformni dijagram ili trapezni). Delovi iz dijagrama pritiska, koji se prenose na bilo koji element, raspoređeni su kao koncentrisane sile na krajnjim čvorovima elementa. Da bi se uzelo u obzir postojanje nagnutih slojeva, postoji kao opcija da se sile pritiska brdskog masiva mogu računati preko nagnutih dijagrama pritiska, pod uglom θ koji je specificiran u ulaznim podacima (slika 5).

- Pritisak vode u unutrašnjosti posmatra se tako što se čvoru svakog elementa dodeljuje koncentrisana sila dijagrama pritiska sračunatog u funkciji nivoa vode u galeriji.
- Nakon određivanja svih čvornih sila F_{ix} i F_{iy} usled spoljašnjeg opterećenja, one se sabiraju u vektor čvornog opterećenja $\{R\}$ [4].

6. INTERAKCIJA NA KONTAKTU OBLOGA-MASIV. ELASTIČNA REAKCIJA

Analizirana konstrukcija (obloga od betona) opterećena odgovarajućim silama nalazi se u interakciji sa stenom u okruženju. Pomeranja obloge na ekstradosu su relativno mala, pa se ponašanje stene može usvojiti kao čisto elastično. Prema Winklerovoj hipotezi, konstrukcija obloge je oslonjena na diskretizovane čvorove preko elastičnih opruga. Krutost opruga odgovara deformacionoj otpornosti sa kojom se suprotstavlja masivu stene i određuje se automatski (u programu), zavisno od veličine zona koje pripadaju svakoj elastičnoj opruzi i od geomehaničkih karakteristika stene (slika 5.a).

Krutost elastičnog oslonca (K_r) određuje se na osnovu koeficijenta elastične otpornosti stene (K_0) i veličine površine obloge koja pripada svakom elastičnom osloncu.



Slika 5. Određivanje elastičnih konstanti za veze obloge na spoljnoj konturi: a – stena homogena; b - stena anizotropna; l_j – pripadajuća zona čvoru j ; l_1, l_2 – dužina segmenta obloge; F – sila u opruzi; F_1, F_2 – sila u opruzi u pravcu anizotropije; K_{01}, K_{02} – koeficijent smicanja u pravcu slojevitosti i upravno na ovaj pravac

Iz izraza :

$$K_0 \left[\frac{daN}{cm^3} \cdot m \right] = p_i \left[\frac{daN}{cm^2} \right] \quad (15)$$

(gde je p_i pritisak koji deluje u unutrašnjosti galerije poluprečnika $R=1m$, neophodan da izazove pomeranje obloge prema masivu stene za $\delta_0=1cm$), dobija se za galeriju koja ima ekvivalentan poluprečnik (R):

$$p_i = \frac{K_0}{R} \cdot \delta_0 \quad (16)$$

ili u KN/m^2 :

$$p_i = 10000 \cdot K_0 \left[\frac{daN \cdot m}{cm^3} \right] \cdot \frac{\delta_0 [m]}{R [m]}$$

Ako zamenimo elastičnu reakciju stene sa silom u opruzi, onda je sila u opruzi (F_j) jednaka:

$$F_j = p_i \cdot l_j \cdot 1m = 1000 \cdot \frac{K_0 \cdot l_j}{R} \quad (17)$$

gde $1m$ predstavlja proračunsku širinu obloge, a l_j dužinu obloge koja pripada opruzi (slika 6.a), odnosno:

$$l_j = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot \cos \gamma \quad (18)$$

gde su l_1 i l_2 dužine elemenata pridodate čvoru, dok je:

$$\gamma = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} - \alpha_2$$

a α_1 i α_2 uglovi sa horizontalom (elemenata pridodatih čvoru (j)).

Sila F_j , računata za jedinično pomeranje δ_0 u pravcu elastične opruge (j), predstavlja istovremeno i krutost opruge (K_{ij}).

Kod anizotropnih stena jedinično pomeranje δ_j projektuje se na dva pravca: jedan pravac je upravnan na pravac prostiranja slojeva, a drugi je u pravcu slojevitosti, pa se tako na odgovarajući način stvaraju dve sile tipa elastičnih reakcija. Ove sile se određuju u funkciji koeficijenta smicanja (K_{01} i K_{02}) i pripadajućih dužina ($l_j \sin \varphi$, odnosno $l_j \cos \varphi$) (slika 5.b), gde je $\varphi = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} - \beta$, a β ugao između pravca slojevitosti i horizontale.

Sledi da je:

$$F_1 = \delta_j \cdot \sin \varphi \cdot \frac{10000 \cdot K_{01} \cdot l_j \cdot \sin \varphi}{R} \quad (19)$$

$$F_2 = \delta_j \cdot \cos \varphi \cdot \frac{10000 \cdot K_{02} \cdot l_j \cdot \cos \varphi}{R}$$

Ukupna sila (rezultanta) koja se javlja u čvoru (j) od elastične reakcije stene je:

$$F_j = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

i nagnuta je u odnosu na normalni pravac obloge u čvoru (j) pod uglom θ koji se određuje iz izraza:

$$\theta = \arctg \left(\frac{F_1}{F_2} \right) - \varphi = \arctg \left(\frac{K_{01} \cdot \sin^2 \varphi}{K_{02} \cdot \cos^2 \varphi} \right) - \varphi \quad (20)$$

Pomeranje u pravcu ove sile (koji je, u stvari, pravac elastične opruge u čvoru (j)) je $\delta_j \cos \theta$, a krutost posmatrane opruge računa se pomoću izraza:

$$K_r = \frac{F_j}{\delta_j \cos \theta}$$

Ako usvojimo da je $\delta_j = 1$, krutost opruge je $K_r = \frac{F_j}{\cos \theta_j}$, a iz izraza (19) dobijamo:

$$K_r = \frac{10000 \cdot l_j}{R \cdot \cos \theta} \cdot \sqrt{K_{01}^2 \sin^2 \varphi + K_{02}^2 \cos^2 \varphi} \quad (21)$$

Kako pomeranje δ_j u pravcu (j) daje silu u elastičnoj opruzi $F_j = -K_j \cdot \delta_j$, sila F_j se može smatrati kao spoljašnje opterećenje; upisivanjem po redosledu krutosti elastičnih opruga u dijagonalnu matricu $[K_r]$, dobija se još jedan vektor opterećenja čvorova $\{R'\}$:

$$\{R'\} = -[K_r] \cdot \{\delta\} \quad (22)$$

Sistem jednačina sada ima sledeći oblik:

$$[K] \cdot \{\delta\} = \{R\} + \{R'\} = \{R\} - [K_r] \cdot \{\delta\}$$

a može se napisati i u obliku:

$$([K] + [K_r]) \cdot \{\delta\} = \{R\} \text{ ili } [K^*] \cdot \{\delta\} = \{R\} \quad (23)$$

gde je $[K^*]$ matrica sistema jednačina (23); dijagonalne članove matrice krutosti sistema dobijamo sabiranjem krutosti na dijagonali matrice $[K]$ i krutosti elastičnih opruga u odgovarajućim jednačinama.

Rešavanjem sistema jednačina (23) dobijaju se pomeranja čvorova konstrukcije $\{\delta\}$. Rezultati su korektni ako su sve elastične opruge pod pritiskom; u tom slučaju se stena suprotstavlja pomeranjima obloge prema njoj. Ako u matrici $[K^*]$ postoji krutost elastičnih opruga koje su zategnute, rešenje sistema jednačina (23) daje pogrešne elastične reakcije. Da bi se uklonili ovi nedostaci, proračun se obavlja iterativno:

1. Sračuna se matrica krutosti konstrukcije $[K]$ i vektor opterećenja čvorova.
2. Sračuna se matrica krutosti elastičnih opruga $[K_r]$.
3. Odredi se matrica sistema: $[K^*] = [K] + [K_r]$
4. Reši se sistem jednačina (23) i dobiju se pomeranja $\{\delta\}$.
5. Verifikuje se realnost elastičnih veza preko dveju mogućih situacija:
 - Ukoliko postoji jedna ili više zategnutih elastičnih opruga, njihova krutost se oduzima iz matrice krutosti $[K_r]$ (elastična opruga se deaktivira). Ako postoje elastične opruge koje su deaktivirane u prethodnim iteracijama u pravcu u kome se javljaju pomeranja obloge prema steni,

one se ponovo aktiviraju i radi se nova iteracija. Proračun počinje od tačke 3.

- Kada je pretpostavljeno elastično oslanjanje korektno (ne postoji nijedna zategnuta elastična opruga niti pak opruga u pravcu postojanja pomeranja, koja je deaktivirana), znači da su i dobijena pomeranja korektna i prelazimo nadalje na proračun unutrašnjih sila u elementima [4].

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Metoda konačnih elemenata se danas veoma široko koristi u inženjerskoj analizi i možemo očekivati da će se to značajno uvećati u godinama koje dolaze. Procedure se intenzivno koriste u analizi čvrstih materija i struktura kao i toplotnog fluksa, fluida i zaista metoda konačnih elemenata se dosta koristi u gotovo svakoj oblasti inženjerstva [1].

Metoda konačnih elemenata (MKE) je najrasporstanjenija metoda za proračun građevinskih konstrukcija. Njome se može rešavati svaki inženjerski problem. Pojavom sve snažnijih računara, danas inženjeri imaju velike mogućnosti za rešavanje različitih problema. Uz sve sofisticiranije statičke programe i jednostavnu grafičku prezentaciju rezultata, inženjeri mogu obraditi znatno više podataka nego pre [3].

Povratna analiza izvedenog stanja tunela od velike je važnosti za verifikaciju projektnih parametara i tehnologije iskopa. Rezultate povratne analize moguće je iskoristiti kao ulazne parametre u proračunima za projekte novih tunela kao i drugih podzemnih građevina u sličnoj stijenskoj masi, u svrhu smanjenja troškova izvođenja radova [2].

7. LITERATURA

- [1] Bathe K.J., *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, 2007, 1052, ISBN: 978-0979004902
- [2] Hrestak T., *2D/3D modeliranje metodom konačnih elemenata na primjerima nedavno izvedenih tunela u Hrvatskoj*, Dani podzemne gradnje, 2011
- [3] Mirkovic V., Užar J.: *Primjena metode konačnih elemenata u građevinarstvu*, Technical journal 6, 2(2012), 202-206
- [4] Stematiu D., Popesu R.: *GANILIB*, 1983, 60

UDK: 726.54(497.115)

CRKVA SV. PETRA KOD UNJEMIRA I JEDAN VARIJETET TIPRA HRAMOVA SAŽETOG UPISANOG KRSTA

Igor Bjelić¹

Rezime

Crkva Sv. Petra u Unjemiru je jedan od spomenika ugroženog srpskog kulturnog nasleđa u Metohiji iz četvrte decenije XIV veka. Među njenim ostacima su identifikovani pojedini arhitektonski elementi koji su u ovom radu poslužili za rekonstrukciju izvornih oblika. Prema rekonstrukciji prostornih odnosa u unutrašnjosti ove crkve, hram je bio podeljen iznutra na samo dva traveja – potkupalni naos i oltarski prostor. Grupacija hramova na Kosovu i Metohiji, čija je unutrašnjost bila na sličan način rešena, dozvoljava da se u okvirima tipa hrama sažetog upisanog krsta izdvoji poseban varijetet hrama sa dva traveja.

Ključne reči: Unjemir, crkva, varijetet, dva traveja, sažeti upisani krst.

¹ Igor Bjelić, Master inženjer arhitekture, student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

1. ISTORIЈAT CRKVE I DOSADAŠNЈA PROUČENOST

Danas napušten manastir Unjemir se nalazi u Metohiji, na 11km od varoši Kline, u blizini sela Dobre Vode, odnosno u ataru sela Čabići. Crkva ovog manastira je spomenuta u nekoliko istorijskih izvora koji potiču iz srednjeg veka, iako ni jedan ne govori o osnivanju manastira. Unjemir je poznat kao rodno mesto Svetog Petra Koriškog, prema njegovom životu koje je napisao Teodosije Hilandarac [1]. Prema Teodosiju, Sv. Petar Koriški „bejaše iz kraja hvostanskog u Dioklitiji, iz nekog sela koje se zove Unjemir. [...] Po izlasku iz sela i iz doma očeva, u crkvi svetog i nad apostolima vrhovnog apostola Petra, više tog sela, od starca koji tu življaše kao inok primi anđeoski lik, i na tome mestu podiže i kolibu za stanovanje”.

Prema ovim, prvim, navodima o crkvi, znamo da je u vreme monašenja koriškog anahorete, tj. u prvim decenijama XIII veka, postojala crkva Sv. Petra u Unjemiru. Vremenom se raširenost kulta koriškog sveca uvećala, što je za ovo mesto bilo opravdano s obzirom da se Sv. Petar Koriški tu rodio i zamonašio. Značaj kulta ovog anahorete je i doveo do njene radikalne obnove u XIV veku, što je očigledno prema arhitektonskim karakteristikama na koje ćemo ukazati u daljem tekstu.

Crkva u Unjemiru se zatim pominje i u Drugoj i Trećoj dečanskoj hrisovulji. Knjeginja Milica poslednji put, u srednjem veku, 1397.god., spominje crkvu u Unjemiru prilikom vraćanja poseda manastiru Dečani. U vreme osmanlijske vlasti manastir je zapusteo da bi, privremeno, u vreme obnove Pečke patrijaršije (XVI vek), opet oživeo. Crkva je tada dosta obnovljena, kada je postojeći naos pretvoren u pripratu, a na istoku je izgrađen novi prostor naosa, dok je na zapadu dodat spratni eksonarteks. Zidovi mlađe faze crkve se upadljivo razlikuju od starije budući da su za novu crkvu korišćeni manji komadi kamena, dok su na zidovi iz starije faze izvedeni od krupnijih komada kamena.

Prve važne podatke o manastiru i njegovoj crkvi je izneo ruski konzul I. Jastrebov [2], u XIX veku, a potom je o crkvi i manastiru pisano nekoliko puta. Radi se najčešće o kraćim tekstovima od kojih

se jedino po svom obimu razlikuju tekstovi Đ. Boškovića i B. Todića [3] [4]. Originalni arhitektonski sklop crkve iz faze datovane za XIV

vek je posebno razmatrao B. Todić. Na osnovu pomena crkve u Drugoj i Trećoj dečanskoj hrisovulji, karaktera očuvane arhitektonske plastike, kao i prema diktusu slova na jednom od nadgrobnih spomenika, on je crkvu datovao u četvrtu deceniju XIV veka. To datovanje se u ovom radu usvaja kao ispravno.

Današnji ostaci crkve su rezultat višestrukih pregradnji, nastalih tokom vekova, kao i restauracije u HH veku. Iako je crkva produžena ka istoku i zapadu, ona je vremenom izgubila na svojoj monumentalnosti. Naime, ostaci vitkih gotičkih stubova, o kojima će napred biti nešto više reči, ukazuju da je ona imala i kupolu od koje više ne postoje tragovi u gornjoj strukturi hrama. U nepoznato vreme su svi otvori natkriveni naknadno arhitravno, što je bilo skoro nezamislivo u sakralnoj arhitekturi XIV veka.

Uočljivo je da, među današnjim ostacima crkve, ne postoje ostaci stabala stubova, kao ni ostaci prozora koje je kupola crkve morala imati. Ako su majstor klesari tako lepo ukrasili stubove u crkvi, tada je u crkvi je moralo biti i još elemenata sa skulpturalnom obradom pre svega delova vrata, prozora ili crkvenog nameštaja. Debljina zidova i veličina stubova ukazuju da se kupolna konstrukcija nije mogla srušiti usled prirodnih nepogoda. Izvesno je da je u trenucima stradanja mnogih manastira u Metohiji crkva Sv. Petra u Unjemiru pretrpela veća razaranja. Nepostojanje ostataka kupole, ukrasnih i lučnih delova vrata i prozor, kao i stabala stubova, a ukazuju da je materijal sa crkve u kasnijim stolećima razvlačen i u razne svrhe korišćen. Ovo je pre svega mogao biti slučaj kod dogradnji hramova u XVI veku koji nisu imale određena neka određena stilska obeležja. Na zidnom površinama uz vrata i prozor na južnoj fasadi crkve primetne su sekcije zidanja od manjih komada koje su karakteristične za radove izvedene na crkvi u XVI. veku. Može se zaključiti da su otvori izgubili prvobitne oblike i da bi se u zidovima mlađe faze mogli nalaziti fragmenti sa skulpturalnom obradom karakterističnom za XIV vek.

2. STANJE OSTATAKA CRKVE IZ GRAĐEVINSKE FAZE IZ XIV VEKA

B. Todić je u velikoj meri definisao i ostatke spoljnih oblika crkve Sv. Petra u Unjemiru (Slika 4) [4]. Od crkve iz XIV veka međutim nedostaje apsida pa se za nju nisu mogli utvrditi prvobitni oblici. Istočni kalkan je u unutrašnjosti bio definisan parom unutrašnjih pilastara nad kojima se nalazio blago prelomljeni luk što je oblik koji se vezuje za delatnost romaničkih radionica sa našeg Primorja u XIII i XIV veku. Na istočnim krajevima unutrašnjih lica perimetralnih zidova su očuvane dvojne niše. Na zapadnom zidu su određena vrata u osi crkve, dok su vrata na južnom zidu postavljena uz dodir ovoga sa zapadnim zidom. Na južnom zidu je očuvan i jedan prozor koji nema bočne strane iskošene ka unutrašnjosti. Ta okolnost nije uobičajena za XIV vek, kao i činjenica da su svi otvori na crkvi završeni arhitravno, pogotovu ako se u obzir uzme okolnost da se u unutrašnjosti nalazio blago prelomljeni luk.

Među karakterističnim arhitektonskim elementima crkve treba spomenuti i dva karakteristična gotička kapitela i baze za stubove prečnika 23cm koji su mogli poneti veće opterećenje (Slika 3.). Iz toga se zaključuje da oni nisu bili deo prozora ili kakvih bogatih portala već konstruktivni elementi koji su imali ulogu nosilaca većeg opterećenja. Prema ovoj funkciji, stepenu obrade i prečniku najbližije su im baze i kapiteli iz manastira Dečana, Pečke patrijaršije i Sv. Arhanđela kod Prizrena. Poslednji primer je naručito značajan, pre svega stubovi iz tamošnje male crkve Sv. Nikole sa tom razlikom što su oni tamo osmougano preseka, dok su stubovi u Unjemiru kružnog. Nažalost, baza i kapiteli su u Unjemirskoj crkvi dislocirani sa nekadašnjih pozicija, od kojih na terenu nisu uočeni nikakvi tragovi da bi se položaj stubova mogao neposredno utvrditi, što bi definisalo prostorno-konstruktivni sklop crkve.

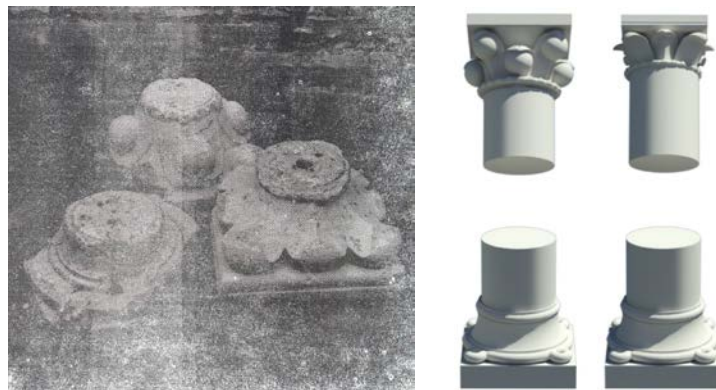
Očuvanju ostataka crkve su u najvećoj meri doprineli najnužniji konzervatorski radovi na crkvi, izvedeni 1966. i 1967.god [6]. Krovni pokrivač od kamenih ploča koji je prilikom konzervacije postavljen je vremenom raznet što je dovelo do propadanja objekta. Crkva je urasla u sopstvene ruševine i vegetaciju. Crkva danas ima funkciju seoskog ekonomskog objekta u kojem lokalno stanovništvo čuva stoku.



Slika 1. Ostaci crkve Sv. Petra u Unjemiru- sadašnje stanje



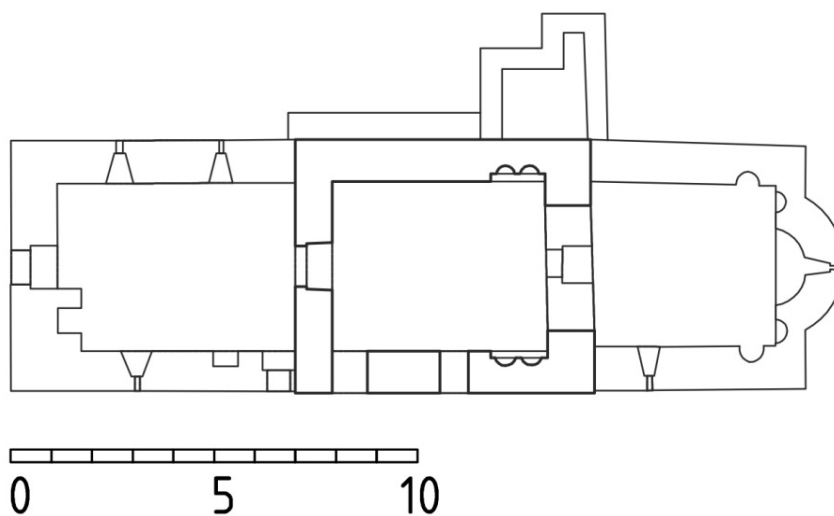
Slika 2. Ostaci crkve Sv. Petra u Unjemiru – snimak pre restauracije 1960.god.



Slika 3. Fotografija zatečenih ostataka stubova - kapitela i baze (prema B. Todiću) i 3D restitucija njihovih oblika (prema I. Bjeliću)

3. REKONSTRUKCIJA ORIGINALNIH OSTATAKA CRKVE

Na osnovu radova prethodnih istraživača, pre svega Đ. Boškovića i B. Todića, treba izdvojiti nekoliko problema koje treba rešiti u cilju postizanja izvornih oblika crkve Sv. Petra u Unjemiru. Prvi problem je oblik i pozicije apside, što direktno utiče na sledeći problem tj. dimenzije oltarskog prostora. Veličina oltarskog prostora je u suštini neposredna posledica funkcionalne dekompozicije pravougaonog prostora crkve. Dekompoziciji prostora se neminovno podređuje pozicija nosećih konstrukcija kupole hrama u projektnom postupku neimara, pa ona prerasta u treći problem. Izvorni osnovni oblici hrama crkve Sv. Petra su još jedan dodatni problem kome se istraživač mora posvetiti znajući da su oni ishodi iz pozicioniranja glavnih nosećih konstrukcija. Ostaci crkve su osnovna baza odakle crpimo podatke za rekonstrukciju izvornih oblika, ali se u procesu rekonstrukcije polazi i od rešenja pojedinih crkava koje su u Metohiji i na Kosovu izgrađene u istom stoleću. Na osnovu upoređivanja i definisanja sličnosti sa drugim primerima ukazaćemo na pojedina rešenja koja su kod crkve u Unjemiru morala da važe kao jedino moguća.



Slika 4. Osnova crkve u Unjemiru- sadanje stanje. Originalni ostaci označeni debljom linijom prema Đ. Boškoviću i B. Todiću

Kada je reč o apsidi, bitno je ukazati na nekoliko podataka koje je Todić primetio. Naime, istočne ivice podužnih zidova su u potpunosti očuvane, što govori da se na toj strani nalazio istočni zabat crkve i da se uz njega naslanja novi naos iz XVI veka. Isto se

može konstatovati i za zapadni zabat crkve. Na osnovu toga je Todić zaključio da je oltarska apsida morala biti nešto uža nego što je istočni zabat crkve, što je bio uobičajeni postupak kod većine naših crkava iz perioda od XIII do XIV veka.

Pored toga, značajan je i podatak da su na paru istočnih pilastara, tačnije na njihovim zapadnim i čeonim licima ostale očuvane freske. One nisu uočene na istočnim licima ovih pilastara, što znači da je u širini razmaka među pilastrima (između linija a i a' na slici 5. u sredini) formirano unutrašnje lice apsida, a da je spoljno bilo definisano istom debljinom koja je konstatovana na ostalim zidovima crkve.

Oblik apsida je nažalost ostao nepoznat. Kod ovog pitanja treba uzeti u obzir da je čitava crkva građena od kamena i da su među ostacima crkve pronađeni kameni gotički kapiteli i baze velikih stubova. Ti podaci ukazuju da su crkvu gradili romanički majstori, pa je najverovatnije da je apsida crkve imala u osnovi polukružni oblik kojim se odlikuje većina crkava u Primorju.

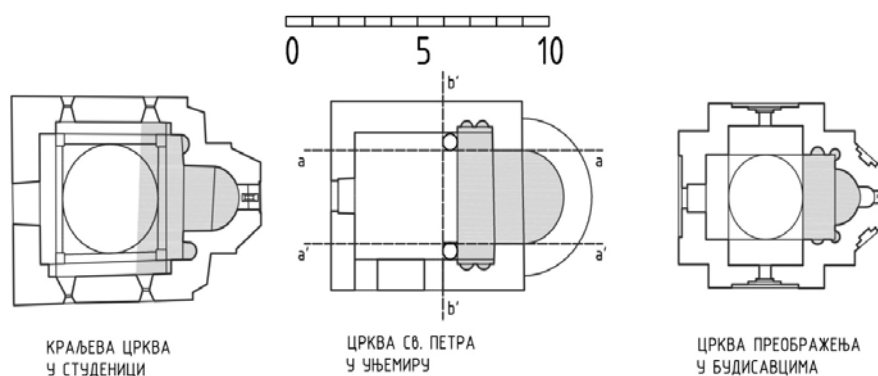
Na osnovu nalaza velikih kapitela i baza gotičkih stuba, Todić je pretpostavio da je crkva možda imala i kupolu, gde bi ovi stubovi igrali ulogu njenih nosača. Širina istočnog luka između razmatranih pilastara (između a i a') bi definisala širinu te kupole (Slika 5). Na osnovu činjenice da su očuvani istočni pilastri i da su očuvana dva kapitela i jedna baza, Todić je dodatno pretpostavio da su svi ovi arhitektonski elementi imali ulogu nosača kupole. Tačnije, on je gotičke stubove odredio kao zapadne nosače kupole, dok je spomenute pilastre i luk iznad njih odredio kao istočne nosače [4]. Pri tome bi na osnovu gornje konstrukcije i njenih nosača crkva u suštini pripadala tipu sažetog upisanog krsta, gde bi severni i južni krak bili izuzetno kratki.

Među arhitektonskim elementima ove crkve koji su odoleli zubu vremena na njenim zidnim platnima se ističu udvojene niše na delu severnog i južnog zida neposredno uz par istočnih pilastara. Pojava simetrično udvojenih niša je neuobičajena na crkvama XIV veka u unutrašnjosti Balkana i njene paralele je teško utvrditi u arhitekturi

pravoslavnih crkava na širem području uticaja vizantijske arhitekture. Međutim, ne bi trebalo ustrajavati na traženju srodnih rešenja na širokom području Balkana, jer je jedan od takvih primera prisutan u samoj Metohiji i to vrlo blizu crkve Sv. Petra.

Radi se o crkvi Preobraženja u selu Budisavci iz XIV veka (Slika 5. desno). Dvojne niše koje se nalaze u sklopu podužnih zidova ove crkve se nalaze u sastavu oltarskog prostora.

Tako je moralo biti i u crkvi Sv. Petra u Unjemiru, što znači da je oltarskom prostoru pripadao nešto veći prostor od same apside. To je bilo logično pošto su „pilastri“ sa lukom bili deo istočnog kalkanskog zida. U tom slučaju bi na zapadnom delu pravougaonog dela prostora, počev od niša (tj. od linije b' na slici 5. u sredini), preostao prostor približno kvadratnog oblika. Jedino bi se nad ovakvim prostorom mogla nalaziti kupola, što bi dalje iniciralo zaključak da nije bilo zapadnog traveja u sklopu ovog pravougaonog prostora crkve (Slika 6. u sredini).



Slika 5. Rekonstrukcija izvornih oblika i funkcionalne dekompozicije prostora crkve Sv. Petra u Unjemiru u odnosu na crkve srednjovekovne Srbije koje pripadaju tipu sažetog upisanog krsta. Sivim je označen oltarski prostor kod pojedinačnih crkava.

Prema ovom rešenju, ukupna šurina oltarskog i prostora naosa je ista, a između njih postoje dva slobodna nosača (stubovi ili stupci) koja definišu specifičnu gornju konstrukciju ovog hrama. Ona je u naosu takva da se na slobodnim nosačima oslanja kupolna konstrukcija preko svog istočnog luka, dok se ostali potkupolni lukovi formiraju između ovih nosača i zapadnog zida, kao i uz sam taj zid. U prostoru oltara se uz podužne zidove nalaze mali poprečni prislonjeni lukovi koji se na zapadu oslanjaju na slobodne nosače, dok se na

istoku oslanjaju na istočni kalkan. Na ove male lukove naleže podužni svod nad istočnim travejem.

Takvo rešenje je poznato u srpskoj sakralnoj arhitekturi XIV veka. Ako usvojimo ovo arhitektonsko rešenje crkve u Unjemiru, treba spomenuti srodnost njenog prostorno-konstruktivnog rešenja sa arhitekturom crkve Sv. Nikole u manastiru Sv. arhandela kod Prizrena tačnije njenim naosom i oltarom. Srodnosti su brojne. Pored već spomenutih sličnosti stubova dve crkve, postoji sličnost i u poziciji ovih stubova gde oni pregrađuju omaleni pravougaoni centralni prostor crkve na naos i oltar. Naos je određen u širini potkupolnog traveja, dok se istočno od trase koju određuje pozicija stubova nalazi omaleni istočni travej sa oltarskom apsidom. Kao što se na planu crkve može videti (Slika 6.) zapadni travej ne postoji. Takođe, iza stubova crkve Sv. Nikole u Sv. Arhangelima postoje karakteristične niše, koje su očigledno mogle jedino poslužiti oltarskom prostoru, kako je to moralo biti i u Unjemiru.

Kao što se može videti sličnosti crkve Sv. Nikole kod Prizrena su brojne sa crkvom manastira Unjemir. Pored ove dve crkve, na Kosovu je postojala još jedna crkva sa sličnim prostorno-konstruktivnim sklopom. Radi se o crkvi Sv. Varvare u Kmetovcima kod Gnjilana, čiju je sličnost sa crkvom Sv. Nikole u manastiru kraj Prizrena primetio V. Korać [7]. Izgradnju crkve je isti autor datovao u drugu polovinu XIV veka, što je čini mlađom od crkava u Unjemiru i Prizrenu.

Crkva Sv. Varvare u Kmetovcima je izgrađena kao jednobrodni hram sa narteksom i apsidom. Apsida je trostrana spolja, a iznutra polukružna. Naos se sastoji od kvadratnog potkupolnog prostora, dok je susedni oltarski prostor još uži. Oltarski prostor je od potkupolnog prostora bio izdvojen sa dva stupca. Od njih nisu preostali nikakvi ostaci, ali je ova strukturna podela jasna prema ostacima dva uska luka koji su polazili sa perimetralnih zidova do samih stupaca. Prema ostacima ovih malih lukova možemo da zaključimo kako su bili povezani nosači u crkvi Sv. Nikole i crkvi u Unjemiru.

Očigledno je da su prolazi pod ovim lukovima bili nepraktični za prolazak, ali su oni bili sastavni deo uobličavanja istočnog kraja naosa u vidu trivelona prema oltarskom prostoru. U crkvama u Kmetovcima i Sv. Arhangelima nosači između oltarskog prostora i naosa su bili pozicionirani neobično blizu podužnih stubova, ali to očigledno nije predstavljalo problem za uspostavljanje lukova iznad

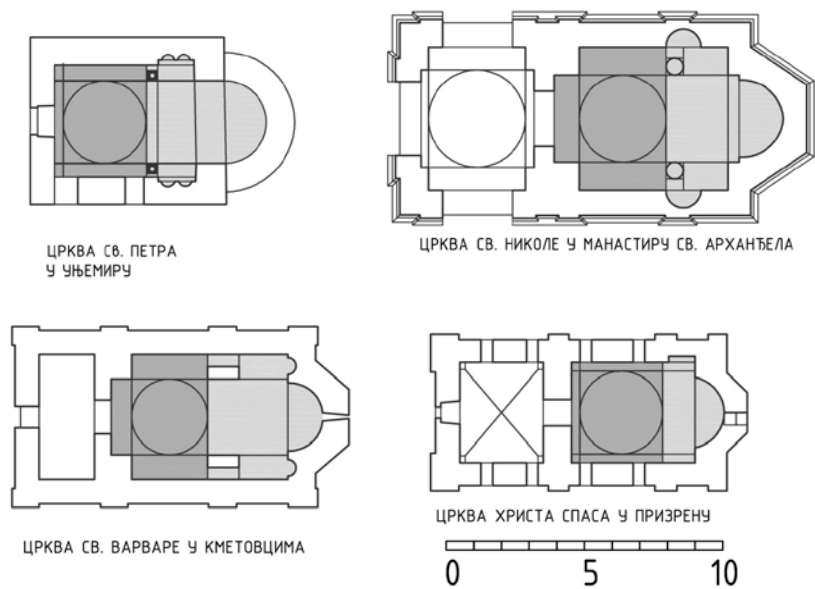
istočnog kraja naosa. Isto je konstruktivno rešenje prema tome moglo da važi i za crkvu Sv. Petra u Unjemiru. Od nosača na istočnom kraju naosa crkve Sv. Varvare nije preostalo ništa, ali je dubina bočnih poprečnih lukova vrlo izražena u odnosu na širinu, tako da je izvesno da su tu postojali zidani stupci.

Zapadni travej naosa crkve u Kmetovcima, kao ni u prethodno dvema spomenutim crkvama ne postoji. Umesto njega, kao i kod crkve Sv. Nikole u manastiru Sv. arhangela kod Prizrena, uz zapadnu stranu potkupolnog prostora postoji jasno izdvojen narteks. Nije bilo moguće konstatovati isti prostor na crkvi Sv. Petra u Unjemiru. Štaviše, verovatnije je da on nije ni postojao na crkvi iz XIV veka. Naime, spojnica koja razdvaja zidove naosa crkve iz XIV veka i eksonarteksa iz XVI veka je vrlo pravilna, tako da se srednjovekovni hram očigledno završavao sa zapadnim zidom koji je ostao očuvan do naših dana i danas pregrađuje unutrašnju pripratu (tj. staru crkvu) od spoljne.

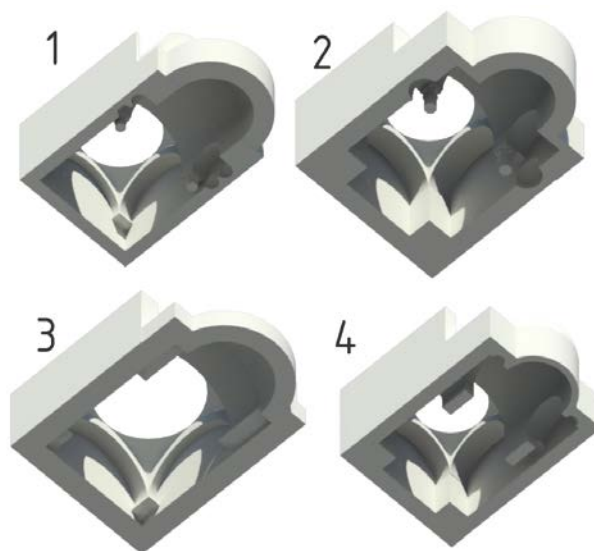
Još jedan problem koji se u crkvi Sv. Petra u Unjemiru vezuje za mogući način nošenja kupolne konstrukcije se odnosi na postojanje zapadnog poprečnog luka. Naime, ono što se u planovima crkava u Kmetovcima i Sv. Nikole kod Prizrena može uočiti je postojanje ugaonih ojačanja u vidu pilastara uz zapadni zid. Ugaoni pilastri su nosili zapadni luk kupolne konstrukcije kod crkava u Kmetovcima i arhanđelovskom manastiru kod Prizrena. U crkvi u Unjemiru međutim ne postoje takvi ostaci. Za poimanje lučne strukture crkve u Unjemiru, od velike koristi je crkva Sv. Spasa u Prizrenu iz 1348.god.

Sličnosti crkve Sv. Spasa u Prizrenu sa prethodno razmatranim crkvama se opet odnose na prostorni plan centralnog jezgra građevine. Naime, i kod ove crkve unutar jezgra postoje samo potkupolni prostor kao naos i istočni travej koji pripada oltarskom prostoru. Razlika u odnosu na crkve u Unjemiru, Sv. Nikole u Prizrenu i Sv. Varvare u Kmetovcima je što ovde ne postoje stubovi kao nosači istočnog kraja kupolne konstrukcije. Čitavo nošenje lučne i svodne konstrukcije u crkvi Sv. Spasa u Prizrenu je rešeno preko konzola.

Crkva Sv. Petra kod Unjemira i jedan varijetet hramova sa dva traveja



Slika 6. Osnove crkava na Kosovu i Metohiji – predstavnika grupacije sa dva traveja u osnovnom jezgru hrama



Slika 7. Lučni sklopovi crkava: 1 – Unjemir; 2 - Sv. Nikola kod Prizrena; 3 - Sv Spas u Prizrenu; 4 - Sv. Varvara u Kmetovcima kod Gnjilana.

Konzolno nošenje lukova i svodova je primenjeno na mnogim crkvama u Metohiji, za šta se analogije mogu pronaći u crkvi Sv. Dimitrija u Pečkoj patrijaršiji i crkvi Sv. Nikole (Tutićeva) u Prizrenu iz 1332.god, mada primera ima i šire na prostoru Balkana. Prostorna sličnost centralnog jezgra između crkve Sv. Spasa u Prizrenu i crkve u Unjemiru je nesporna. Uzgred, napomenimo da se u severnom podužnom zidu crkve Sv. Spasa, bliže oltarskoj apsidi, nalazi i niša slična onima na crkvi u Unjemiru. Prema svim iznetim primerima i kompozicijskoj analizi crkve u Unjemiru, kao i prema sličnostima između dve crkve, konzolno rešenje je bilo jedino moguće kod formiranja oslonaca zapadnog luka kupolne konstrukcije crkve Sv. Petra.

U celini, način nošenja kupolne konstrukcije u Unjemiru je izveden pomoću jasno definisanih odnosa geometrijskih tela. Pri tome on je ukomponovan u prostor koji je podeljen samo na potkupolni naos i istočni travej koji služi oltarskom prostoru. Ukazano je na više primera crkava na prostoru Metohije i Kosova koje su imale ovaj način podele prostora i sličan ili isti način nošenja kupole. U odnosu na datovanje svih do sada razmotrenih crkava, formiranje kupolnih nosača na zapadu u vidu konzola i nosača u vidu vitkih stubova na istoku je u crkvi Sv. Petra u Unjemiru, prema Todićevom datovanju hrama, najranije do sada poznato.

4. ZAKLJUČAK

Analiza ugroženog srpskog nasleđa na Kosovu i Metohiji ukazuje na tendenciju da ono ne prestaje da nas iznenađuje svojom kompleksnošću. U okvirima dokumentovanih srpskih crkava na Kosovu i Metohiji je moguće konstatovati nove varijete već poznatih tipova objekata sakralne arhitekture koji do sada u oblasti istorije arhitekture srednjovekovne Srbije nisu bili poznati. Jedan od spomenika koji nudi takvo otkrivanje varijeteta je i crkva u Unjemiru u Metohiji.

Od crkve u Unjemiru nije očuvano mnogo ostataka, pa njeno trenutno stanje ne nudi mnogo podataka na osnovu kojih bi mogli doći do njenih izvornih oblika. Na sreću, njome su se bavili najveći stručnjaci u oblasti srpske srednjovekovne arhitekture i istorije umetnosti, pa su najrelevantnije činjenice o njenoj arhitekturi blagovremeno zabeležene. Te činjenice su osnovni izvor podataka

koji ukazuju na vrednost ove crkve i istovremeno služe kao oslonac na kome zaključak ovog rada počiva. Prema svim do sada iznetim činjenicama, crkva u Unjemiru je redak spomenik srpske kulturne baštine na Kosovu i Metohiji koji ukazuje na razvojni put izdvojene skupine objekata iz XIV veka - plana sažetog upisanog krsta sa svega dva traveja u svojoj unutrašnjosti tj. sa zapadnim koji služi kao naos i sa istočnim koji je u funkciji oltarskog prostora.

Podizanje nove crkve Sv. Petra u Unjemiru u prvim decenijama XIV veka je bez sumnje uslovljena porastom značaja kulta Sv. Petra Koriškog. Kao mesto rođenja i monašenja ovog uglednog hrišćanskog podvižnika sa početka XIII veka, Unjemir je predstavljao jedno od mesta koje je svaki verni hodočasnik u srednjovekovnoj Srbiji morao obići. Program arhitektonskog uobličavanja monaških zajednica je došao do svog vrhunca u prvoj polovini XIV veka, pa je i crkva manastira u Unjemiru morala dobiti nešto uzvišeniju arhitekturu, koja bi odgovarala lepoti podviga Sv. Petra. U isto vreme projektantsko rešenje tj. dimenzije i oblici hrama su morali da odražavaju i smernost ovog anahorete.

I pored trenutnog očajnog stanja ostataka ove crkve postoji mogućnost za rekonstrukciju osnovnih oblika crkve preko kojih bi se definisao razvoj dvotravejnih hramova u srpskoj srednjovekovnoj arhitekturi. Kao osnovni uzor dvotravejne crkve Sv. Petra je korišćen obrazac Kraljeve crkve u Studenici a mane, koje su u funkcionalnom smislu postojale kod prethodnika, su u Unjemiru izbegnute. Oltarski prostor u metohijskoj crkvi je dobio srazmerno veliki deo građevine, a kupolna konstrukcija je rešavana nezavisno od gornje konstrukcije oltara – preko slobodnih nosača. U isto vreme oltarski prostor crkve je jasno definisan pozicioniranjem odgovarajućih arhitektonskih elemenata u njemu – dvojnih niša na istočnim krajevima perimetralnih zidova. Dobijeno je svedeno arhitektonsko rešenje sa samo dva traveja tako da se on u svakom smislu karakterisao istovremeno i smernošću i lepotom svoje arhitekture. Zbog ovog skladnog rešenja je crkva u Unjemiru uticala na pojedine na Kosovu i Metohiji, tako da se prema prostornim odnosima i konstruktivnim rešenjima grupacije ovih crkava može definisati poseban varijetet sa dva traveja u centralnom jezgru hrama u okvirima tipa sažetog upisanog krsta.

5. IZJAVA

Rezultati istraživanja prikazani u radu su finansirani u okviru projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike i TR36042 "Optimizacija arhitektonskog i urbanističkog planiranja i projektovanja u funkciji održivog razvoja Srbije".

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Теодосије Хиландарац, Живот и подвизи светога и преподобнога оца нашега Петра у Коришкој Гори испосника (превео Д. Богдановић), Летопис Мартице Српске, Нови Сад, 1970. 406/1.
- [2] Јастребов И. Подаци за историју цркве у Старој Србији, Гласник СУД XLII (1875). 362.
- [3] Бошковић Ђ. Белешке са путовања, Старинар, 8-9 (1933-1934), 294-297.
- [4] Тодић Б.: Црква Св. Петра код Уњемира, Старине Косова, књига IX, Покрајински завод за заштиту споменика културе, Приштина, 1989-1990.год.
- [5] Поповић Д. Пустиње и свете горе средњовековне Србије – писани извори, просторни обрасци, градитељска решења, Зборник радова византолошког института 43 (2007). 253-274.
- [6] Фолић М. – Лукић. М. Информативни преглед конзерваторских радова, Старине Косова, књига VI-VII, Покрајински завод за заштиту споменика културе, Приштина, 1972-1973.год. 245-246.
- [7] Кораћ В.: Црква Св. Варваре (Св. Димитрија) у селу Кметовци код Гњилана, Између Византије и Запада – одабране студије о архитектури, Просвета, Београд, 1987. 109-113.
- [8] Нешковић Ј.: *Ђурђеви Ступови у Старом Расу*, ЗССК у Краљеву, Краљево, 1984. (са старијом литературом).

[9] Димова В.: Църквите в България през XIII-XIV век, Агато, София, 2008. 70-71.

[10] Pouilles Romanes, La Nuit Des Temps, Editeur : Zodiaque, 1987.

[11] Куртовић-Фолић Н. Црквено градитељство – традиција или трансформација архитектонских облика, Институт за архитектуру и урбанизам Србије и Богословски факултет, Традиција и савремено српско црквено градитељство, Посебна издања ИАУС, бр.24., Београд 1995. 62-83.

UTICAJ PROMENE KRUTOSTI NA STATIČKI PRORAČUN JEDNOSPRAATNIH AB RAMOVA

Biljana Mladenović¹
Marina Mijalković²
Slavko Zdravković³
Miloš Keković⁴

Rezime

U radu je sprovedena analiza uticaja promene krutosti elemenata armiranobetonskih (AB) ramova, usled delovanja eksploatacionog opterećenja, na rezultate statičkog proračuna. Primenjen je računski model sa izmenjenom geometrijom određenom na bazi uzimanja u obzir efektivne krutosti preseka. Na osnovu numeričkih primera jednospratnih ramova sa različitim odnosom krutosti greda i stubova, izvedeni su zaključci o preraspodeli momenata savijanja u poprečnim presecima usled pojave prslina u zategnutoj zoni rigli i stubova.

Ključne reči: *armiranobetonski ram, prslina, efektivna krutost, statički proračun.*

1. UVOD

Veličine statičkih uticaja u statički neodređenim nosačima zavise, između ostalog, i od krutosti njihovih elemenata. Kako se krutost (EI) armiranobetonskih nosača menja u zavisnosti od toga u kojem se naponsko-deformacijskom stanju nosač nalazi, to će, pri prelasku poprečnog preseka iz jednog naponskog stanja u drugo, dolaziti do promene (preraspodele) statičkih uticaja u presecima.

¹ Dr Biljana Mladenović, asistent, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

² Dr Marina Mijalković, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

³ Dr Slavko Zdravković, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

⁴ Miloš Keković, Phd student, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

Eksperimentalno i teorijski je detaljno proučen mehanizam preraspodele uticaja u obostrano uklještenoj gredi i kontinualnom nosaču [5], [7]. Iako je jasno da do preraspodele uticaja dolazi i u ramovskim konstrukcijama, u literaturi nema detaljnije kvantitativne analize uticaja promene krutosti na stanje naprezanja i deformacija armiranobetonskih ramova. Razlog je složenost proračuna statičkih uticaja u ramovima ako se uzme u obzir pojava prslina.

U radu su uporedo prikazani i analizirani rezultati statičke analize armiranobetonskih ramova dobijeni primenom klasičnog proračuna pri kome se ne uzima u obzir pojava prslina, s jedne strane, i primenom postupka predloženog u [3] pomoću koga se uzima u obzir promena krutosti poprečnih preseka, tj. pojava prslina duž elemenata, s druge strane. Preraspodela statičkih uticaja u statički neodređenim armiranobetonskim ramovima usled pojave prslina prikazana je na dijagramima momenata savijanja u poprečnim presecima, kao i pomoću vrednosti pomeranja i obrtanja karakterističnih preseka tri tipa jednospratnih ramova. Za svaki tip rama sproveden je proračun za četiri različita odnosa momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle I_{bs}/I_{br} .

2. UPOREDNA ANALIZA REZULTATA STATIČKOG PRORAČUNA PRIMENOM KLASIČNOG I PREDLOŽENOG POSTUPKA

U [3] je formulisan novi postupak kojim se efikasnije rešava problem određivanja krutosti ramovskih armiranobetonskih konstrukcija usled pojave prslina i formiran novi računski model sa diskretizacijama štapova u skladu sa određenom izmenjenom geometrijom na bazi uzimanja u obzir redukovane krutosti preseka, odnosno efektivne krutosti preseka. U ovom radu je pomoću novorazvijenog softvera izvršen statički proračun armiranobetonskih jednospratnih ramova uzimajući u obzir promenu krutosti usled pojave prslina u zategnutoj zoni rigli i stubova, u cilju analize uticaja te promene krutosti na rezultate statičkog proračuna.

Grede analiziranih ramova su pravougaonog poprečnog preseka dimenzija 40/60 cm, dok je poprečni presek stubova kvadratni, i variran je tako da je odnos momenata inercije stuba i rigle I_{bs}/I_{br} redom 0,3; 1,0; 1,5 i 2,0. U svim čvorovima ramova su pretpostavljene idealno krute veze. U osloncima, na mestu veze stubova sa temeljima, pretpostavljeno je potpuno uklještenje. Ramovi

su na međusobnom rastojanju od 6 m. Pretostavljena debljina armiranobetonske ploče je $d=18$ cm. Na osnovu sprovedene analize opterećenja, usvojeno je stalno opterećenje duž rigli od 35 kN/m i korisno opterećenje od 10 kN/m. Dimenzionisanje rigli i stubova ramova je izvršeno pomoću programa ABRam [3], u skladu sa odredbama pravilnika BAB-87 [1].

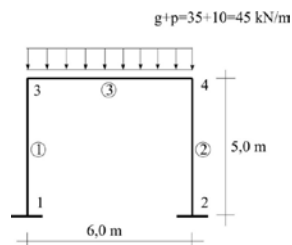
Linijom plave boje iscrtani su dijagrami za slučaj kada su uticaji dobijeni sa vrednostima momenata inercije bruto betonskog preseka rigli I_{br} i stubova I_{bs} (ne vodeći računa o površini i rasporedu armature unutar betonskog preseka). Linijom crvene boje su iscrtani dijagrami za slučaj kada su uticaji dobijeni za proračunski model sa efektivnim vrednostima momenata inercije preseka I_{ef} u desetim delovima raspona greda i stubova, dobijenih pomoću programa ABRam. U oba slučaja je proračun statičkih uticaja sproveden pomoću programa SARam [3].

U priloženim tabelama uporedo su prikazane vrednosti momenata savijanja u karakterističnim presecima, kao i ugiba, obrtanja i horizontalnih pomeranja karakterističnih preseka, za razmatrane slučajeve odnosa momenata inercije preseka stubova i rigli I_{bs}/I_{br} rama, dobijene klasičnim načinom proračuna (plavom bojom) i primenom predloženog postupka (crvenom bojom). Date su i promene vrednosti dobijenih predloženim postupkom u odnosu na vrednosti dobijene klasičnim postupkom. Ove promene su izražene kao procentualno povećanje (sa predznakom +) ili procentualno smanjenje (sa predznakom -).

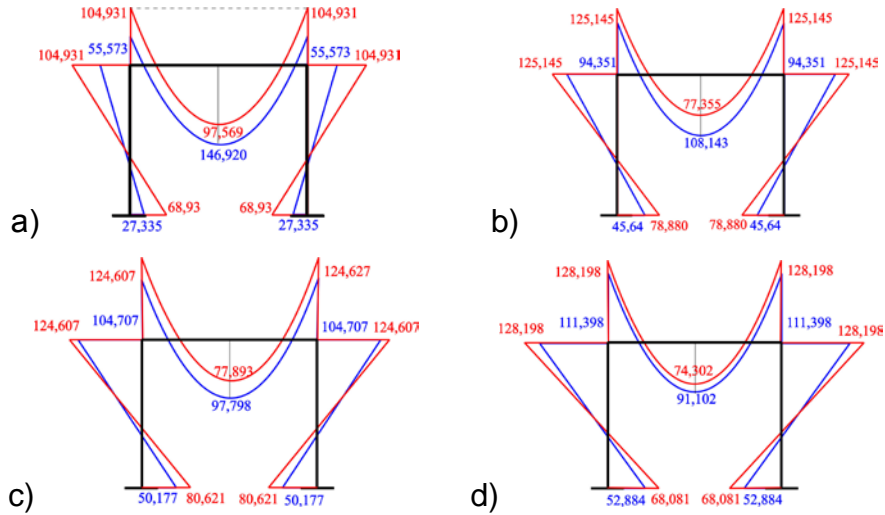
Sledi prikaz dela rezultata proračuna za tri tipa jednospratnih ramova sa jednim, dva i tri polja.

2.1 Jednbrodni armiranobetonski ramovi

RAM 1



Slika 1 Ram 1 – statička šema i operećenje



Slika 2 Dijagrami momenata savijanja u presecima Rama 1 sa odnosima momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle: a) $I_{bs}/I_{br}=0,3$; b) $I_{bs}/I_{br}=1,0$; c) $I_{bs}/I_{br}=1,5$; d) $I_{bs}/I_{br}=2,0$.

Tabela 1 Maksimalne vrednosti statičkih uticaja u rigli 3 Rama 1

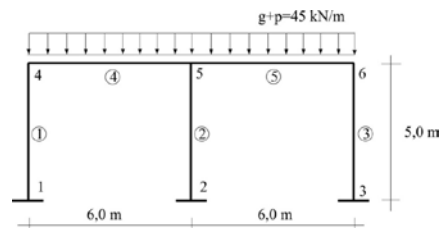
		RIGLA 3 RAMA 1											
		$M_{max}^{(*)}$ [kNm] (moment savijanja u sredini rigle)			$M_{max}^{(c)}$ [kNm] (moment savijanja na krajevima rigle)			v_{max} [mm] (ugib u sredini rigle)			ϕ [rad] (obrtanje preseka na krajevima rigle)		
I_{bs}/I_{br}		za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
		0,3		146,920	97,569	-33,6	55,573	104,931	+88,8	2,6	12,7	+388,5	-0,0011	-0,0053	+381,8
1,0		108,143	77,355	-28,5	94,351	125,145	+32,6	1,7	7,8	+358,8	-0,0006	-0,0021	+250,0
1,5		97,798	77,893	-20,4	104,71	124,607	+19,00	1,5	6,9	+360,0	-0,0004	-0,0015	+275,0
2,0		91,102	74,302	-18,4	111,40	128,198	+15,1	1,3	6,0	+361,5	-0,0003	-0,0009	+200,0

Tabela 2 Vrednosti statičkih uticaja u stubu 1 Rama 1

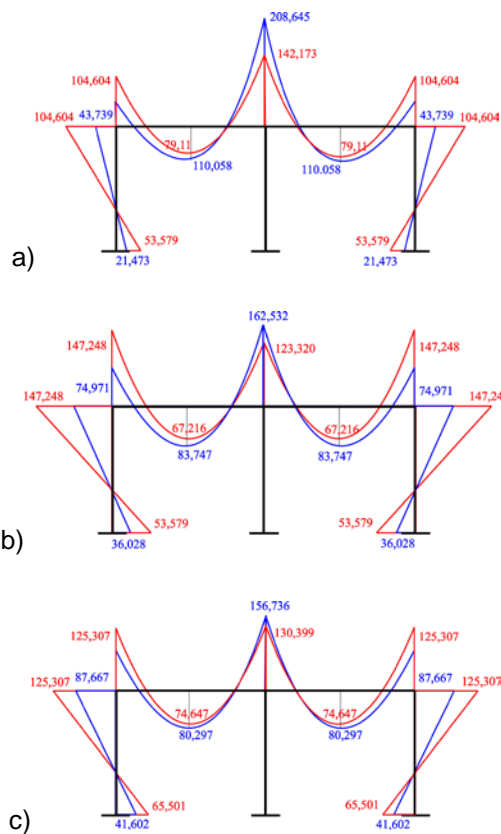
		STUB 1 RAMA 1											
		M_{1-3} [kNm] (moment savijanja na donjem kraju stuba)			M_{3-1} [kNm] (moment savijanja na gornjem kraju stuba)			u_3 [mm] (horizont. pomer. vrha stuba)			ϕ_3 [rad] (obrtanje preseka na vrhu stuba)		
I_{bs}/I_{br}		za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
		0,3		27,335	68,930	+152,2	55,573	104,931	+88,8	-0,8	-2,8	+250,0	-0,0011	-0,0053	+381,8
1,0		45,640	78,880	+72,8	94,351	125,145	+32,6	-0,4	-0,9	+125,0	-0,0006	-0,0021	+250,0
1,5		50,177	80,621	+60,7	104,71	124,607	+19,0	-0,3	-0,7	+133,3	-0,0004	-0,0015	+275,0

2,0	52,884	68,081	+28,7	111,40	128,198	+15,1	-0,2	-0,3	+50,0	-0,0003	-0,0009	+200,0
-----	--------	--------	-------	--------	---------	-------	------	------	-------	---------	---------	--------

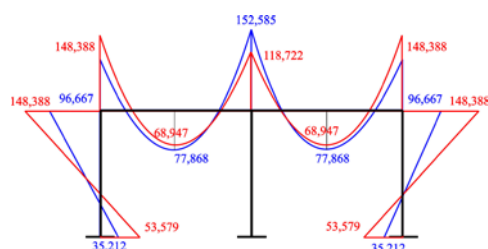
2.2 Dvobrodni armiranobetonski ramovi RAM 2



Slika 3 Ram 2 – statička šema i oprećenje



Slika 4 Dijagrami momenata savijanja u presecima Rama 2 sa odnosima momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle a) $I_{bs}/I_{br}=0,3$; b) $I_{bs}/I_{br}=1,0$; c) $I_{bs}/I_{br}=1,5$.



Slika 5 Dijagrami momenata savijanja u presecima Rama 2 sa odnosom momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle $I_{bs}/I_{br}=2,0$

Tabela 3 Vrednosti statičkih uticaja na krajevima rigle 4 Rama 2

I_{bs}/I_{br}	RIGLA 4 RAMA 2								
	$M_{4-5}^{(*)}$ [kNm] (na levom kraju rigle)			$M_{5-4}^{(*)}$ [kNm] (na desnom kraju rigle)			ϕ [rad] (na levom kraju rigle)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
0,3	43,739	104,604	+139,15	208,645	142,173	-31,86	-0,0009	-0,0032	+255,56
1,0	74,971	147,248	+96,41	162,532	123,320	-24,13	-0,0005	-0,0018	+260,00
1,5	87,667	125,307	+42,94	156,736	130,399	-16,80	-0,0004	-0,0011	+175,00
2,0	96,667	148,388	+53,50	152,585	118,722	-22,19	-0,0003	-0,0004	+33,33

Tabela 4 Vrednosti statičkih uticaja u sredini rigle 4 Rama 2

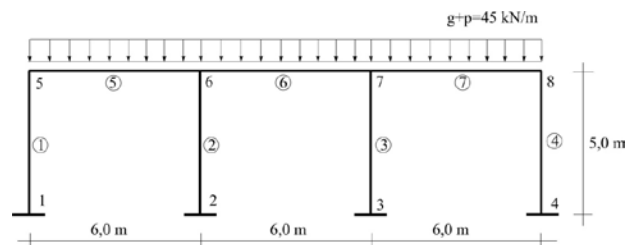
I_{bs}/I_{br}	RIGLA 4 RAMA 2					
	$M^{(*)}$ [kNm] (u sredini rigle)			v_{max} [mm] (u sredini rigle)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
0,3	110,058	79,11	-28,12	1,8	7,4	+311,11
1,0	83,747	67,216	-19,74	1,2	5,2	+333,33
1,5	80,297	74,647	-7,04	1,2	5,4	+350,00
2,0	77,868	68,945	-11,46	1,1	4,6	+318,18

Tabela 5 Vrednosti statičkih uticaja u stubu 1 Rama 2

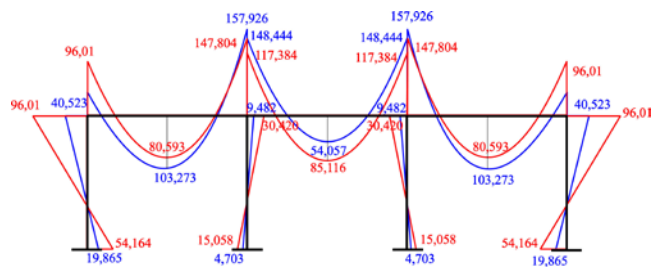
STUB 1 RAMA 2												
I_{bs}/I_{br}	M_{1-4} [kNm] (na donjem kraju stuba)			M_{4-1} [kNm] (na gornjem kraju stuba)			u [mm] (horizontalno pomeranje vrha stuba)			ϕ [rad] (obrtanje poprečnog preseka na vrhu stuba)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
	0,3	21,473	53,579	149.5	43,739	104,604	+139,2	-0,6	-1,7	183.3	-0,0009	-0,0032	+255,6
1,0	36,028	76,608	112.6	74,971	147,248	+96,4	-0,3	-0,7	133.3	-0,0005	-0,0018	+260,0
1,5	41,602	65,501	57.4	87,667	125,307	+42,9	-0,2	-0,4	100.0	-0,0004	-0,0011	+175,0
2,0	45,273	69,486	53.5	96,677	148,388	+53,5	-0,2	-0,3	-85.0	-0,0003	-0,0004	+33,3

2.3 Trobrodni armiranobetonski ramovi

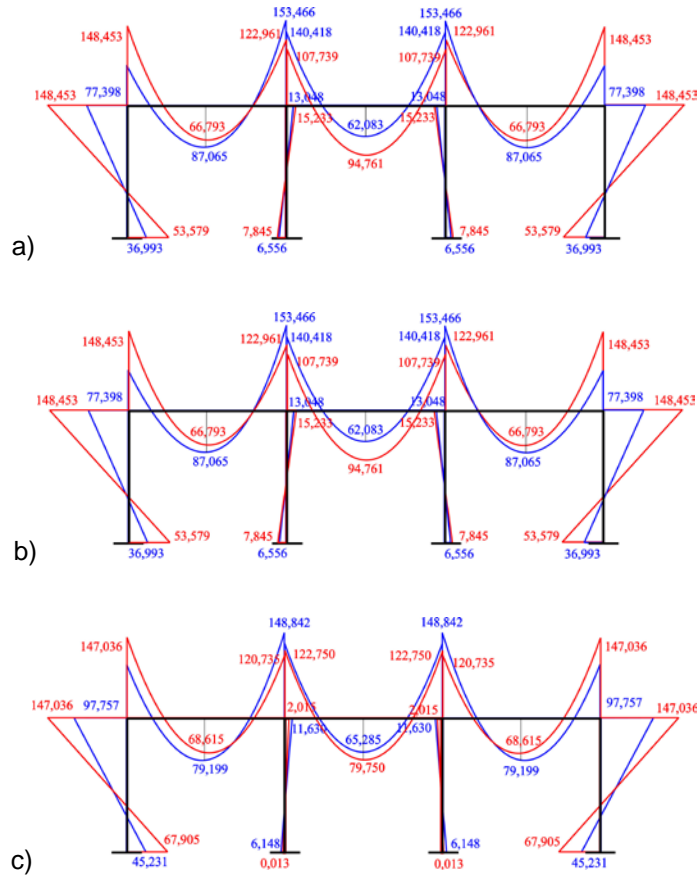
RAM 3



Slika 6 Ram 3 – statička šema i operećenje



Slika 7 Dijagrami momenata savijanja u presecima Rama 3 sa odnosom momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle $I_{bs}/I_{br}=0,3$



Slika 8 Dijagrami momenata savijanja u presecima Rama 3 sa odnosima momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle: a) $I_{bs}/I_{br}=1,0$; b) $I_{bs}/I_{br}=1,5$; c) $I_{bs}/I_{br}=2,0$.

Tabela 6 Vrednosti statičkih uticaja na krajevima rigle 5 Rama 3

I_{bs}/I_{br}	RIGLA 5 RAMA 3								
	$M_{5-6}^{(1)}$ [kNm] (na levom kraju rigle)			$M_{6-5}^{(1)}$ [kNm] (na desnom kraju rigle)			φ [rad] (na levom kraju rigle)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
0,3	40,523	96,010	136.93	157,926	147,804	-6.41	-0,0008	-0,0036	350
1,0	77,398	148,453	91.80	153,466	122,961	-19.88	-0,0005	-0,0018	260
1,5	89,345	130,313	45.85	150,965	129,453	-14.25	-0,0004	-0,0012	200
2,0	97,757	147,036	50.41	148,842	120,735	-18.88	-0,0003	-0,0004	33

Utjecaj promene krutosti na statički proračun jednospratnih AB ramova

Tabela 7 *Maksimalne vrednosti statičkih uticaja u polju rigle 5 Rama 3*

I_{bs}/I_{br}	RIGLA 5 RAMA 3					
	$M_{max}^{(s)}$ [kNm] (u sredini rigle)			v_{max} [mm] (u sredini rigle)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
0,3	103,273	80,593	-21.96	1,7	8,3	388.24
1,0	87,065	66,793	-23.28	1,3	5,3	307.69
1,5	82,342	72,617	-11.81	1,2	5,5	358.33
2,0	79,199	68,615	-13.36	1,1	4,7	327.27

Tabela 8 *Vrednosti statičkih uticaja na krajevima rigle 6 Rama 3*

I_{bs}/I_{br}	RIGLA 6 RAMA 3					
	$M_{6-7}^{(c)} = M_{7-6}^{(c)}$ [kNm] (na krajevima rigle)			ϕ [rad] (na levom kraju rigle)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
0,3	148,444	117,384	-20.92	0,0002	0,0006	200
1,0	140,418	107,793	-23.23	0,0001	0,0001	-
1,5	138,402	109,508	-20.88	0,0000	0,0001	-
2,0	137,211	122,750	-10.54	0,0000	0,0000	-

Tabela 9 *Maksimalne vrednosti statičkih uticaja u polju rigle 6 Rama 3*

I_{bs}/I_{br}	RIGLA 6 RAMA 3					
	$M_{max}^{(s)}$ [kNm] (u sredini rigle)			v_{max} [mm] (u sredini rigle)		
	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %	za $l=l_b$	za $l=l_{ef}$	razlika %
0,3	54,057	85,116	57.46	0,8	3,4	325.0
1,0	62,083	94,761	52.64	0,8	3,8	375.0
1,5	64,099	92,992	45.08	0,8	3,9	387.5
2,0	65,289	79,750	22.15	0,9	4,5	400.0

Tabela 10 Vrednosti statičkih uticaja u stubu 1 Rama 3

I_{bs}/I_{br}	STUB 1 RAMA 3											
	M_{1-5} [kNm] (na donjem kraju stuba)			M_{5-1} [kNm] (na gornjem kraju stuba)			U_{max} [mm]			Φ_{max} [rad]		
	za $I=I_b$	za $I=I_{ef}$	razlika %	za $I=I_b$	za $I=I_{ef}$	razlika %	za $I=I_b$	za $I=I_{ef}$	razlika %	za $I=I_b$	za $I=I_{ef}$	razlika %
0,3	19,865	54,164	172.66	40,523	96,010	136.93	0,6	1,9	216.67	-0,0005	-0,0018	260.00
1,0	36,993	76,808	107.63	77,398	148,453	91.80	0,3	0,7	133.33	-0,0003	-0,0005	66.67
1,5	42,038	67,587	60.78	89,345	130,313	45.85	0,2	0,4	100.00	-0,0002	-0,0003	50.00
2,0	45,231	67,905	50.13	97,757	147,036	50.41	0,2	0,3	50.00	-0,0002	-0,0003	50.00

3. ZAKLJUČAK

Usled pojave prslina, kao posledice eksploatacionog opterećenja, kod jednobrodnih ramova dolazi do smanjenja momenta savijanja u sredini rigle i istovremeno do povećanja na kraju rigle u čvoru gde je ostvarena veza sa stubom. Razlika je manja kod ramova sa većom krutošću stubova, što je i očekivano.

Kod jednobrodnih ramova se usled pojave prslina momenti u stubovima povećavaju. Razlika je manja kod ramova sa većom krutošću stubova, ali je i dalje značajna. Na primer, za $I_{bs}/I_{br} = 2$ moment na donjem kraju stuba u osloncu je za 28,73% veći kod rama sa prslinama.

Kod dvobrodnih ramova sa prslinama se uočava povećanje momenata savijanja na spoju rigli i krajnjih stubova u odnosu na ramove bez prslina, pri čemu su te razlike veće nego u slučaju jednobrodnih ramova. Moment savijanja na spoju rigle i unutrašnjeg stuba (na desnom kraju posmatrane rigle) se smanjuje usled pojave prslina.

Kod ramovskih konstrukcija rigle su prevashodno napregnute na savijanje, pa su u njima prsline izraženije nego u stubovima. U stubovima su po pravilu više izražene aksijalne sile nego momenti savijanja, te je promena krutosti na savijanje stubova znatno manja nego promena kod rigli. Ukoliko su stubovi više armirani nego grede, a primaju i znatnije sile pritiska, često u fazi eksploatacije ostaju bez

prslina ili se jave samo fine prsline, dok su rigle više isprskale. Ipak, stubovi u fazi eksploatacije primaju veće momente savijanja u odnosu na vrednosti dobijene uobičajenim proračunom zasnovanim na krutosti neisprskog betonskog preseka. Kada su u pitanju prikazani numerički primeri, u stubovima dvobrodnih ramova je uticaj prslina značajan i postoji i kod stubova veće krutosti. Na primer, u stubu 1 Rama 2, za $I_{bs}/I_{br} = 2$, moment savijanja se povećava za 53,48 % kod rama sa isprskalim presecima. Ovo je posledica manje sile pritiska u tom stubu, pa je i uticaj savijanja izraženiji.

Usled promene krutosti jednospratnih trobrodskih ramova, kada je u pitanju rigla uz krajnji stub, moment raste na njenom spoju sa krajnjim stubom, dok opada na spoju te rigle i unutrašnjeg stuba, kao i u sredini rigle. Rigla u središnjem delu rama se ponaša kao rigla kontinualnog nosača, tj. moment opada na krajevima, a raste u sredini rigle.

Ugibi u sredini svih rigli znatno se povećavaju kod razmatranih ramova, čak i do 360%, ali su svi u granicama dozvoljenog ugiba (za gredne nosače). Uglovi obrtanja krajeva rigli su u većini slučajeva znatno veći kod ramova sa prslinama, pa i kod onih ramova sa većom krutošću stubova. Horizontalna pomeranja ramova usled gravitacionog opterećenja su mala u odnosu na dimenzije elemenata rama.

Odstupanja svih razmatranih veličina za ramove sa prslinama u odnosu na one bez prslina su najveća kod ramova kod kojih je odnos momenata inercije bruto betonskog preseka stuba i rigle $I_{bs}/I_{br}=0,3$, za koje se može reći da su ramovi sa „slabim stubovima”.

Dobijeni rezultati potvrđuju opravdanost određivanja statičkih uticaja u statički neodređenim konstrukcijama prema teoriji elastičnosti sa ograničenom preraspodelom, što je predviđeno i našim propisima BAB 87, evropskim normama EC2 i američkim pravilnikom za proračun zgrada ACI 318-11. Međutim, kako je u radu pokazano, preraspodela uticaja zavisi od više faktora, a ne samo od procenta armiranja (što pravilnici propisuju kao jedini kriterijum), pa prednost treba dati daleko preciznijem i pouzdanijem proračunu sa efektivnim momentima inercije u skladu sa postupkom predloženim u ovom radu.

Zahvalnost

Istraživanja prezentovana u ovom radu finansirana su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata za projektni ciklus 2011-2015. godina, TR36016 koji nosi naziv "Eksperimentalna i teorijska istraživanja linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije drugog reda i stabilnosti" i TR36028 pod naslovom "Razvoj i unapređenje metoda za analizu interakcije konstrukcije i tla na osnovu teorijskih i eksperimentalnih istraživanja" čiji je nosilac Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu,

5. LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton - BAB 87 (Sl. list SFRJ br. 11/1987), Beograd, 1987.
- [2] Beton i armirani beton prema BAB 87 - priručnik za primenu pravilnika o tehničkim normativima za beton i armirani beton BAB 87, *Građevinska knjiga*, Beograd, 1991.
- [3] B. Mladenović: Uticaj promene krutosti na proračun i dimenzionisanje elemenata ramovskih konstrukcija od armiranog betona, doktorska disertacija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, str. 171, 2015.
- [4] Stanković, M, Đorđević, Đ: STRESS – Programski sistem za statički proračun inženjerskih konstrukcija, *Tion Computers*, Niš, 1991.
- [5] Ačić, M., Pakvor, A., Perišić, Ž.: Teorija armiranobetonskih i prethodno napregnutih konstrukcija, 2. izdanje, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Institut za materijale i konstrukcije, *Naučna knjiga Beograd*, 1986.
- [6] Vecchio, F. J., Balopoulou, S.: On the nonlinear behaviour of reinforced concrete frames, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17, pp. 698-704, 1990.
- [7] Ghaly, A., Favre, R., Elbadry, M.: Concrete Structures, Stresses and Deformations, third edition, *Taylor & Francis Group*, 2006.
- [8] Dundar, C., Kara, I.F.: Three dimensional analysis of reinforced concrete frames with cracked beam and column elements, *Engineering Structures* 29, pp. 2262 - 2273, 2007.

SILUETA GRADA KAO KOMPOZICIONI FENOMEN

Mirko Stanimirović¹

Petar Mitković²

Goran Jovanović³

Nataša Petković-Grozdanović⁴

Rezime

U ovom radu se analiziraju osnovni elementi likovne kompozicije koju čini silueta grada: vertikala i dominantna. Silueta grada koji se neprestano menja je silueta živog organizma. Uvek je prisutna i utiče na dalji razvoj. Razvoj nauke i promena načina života menjaju naše shvatanje o svetu, koje utiče na naš odnos prema slici grada. Kako smo svi prinuđeni da se razvijamo slično, tako i gradovi sa naprednijom tehnologijom liče jedan na drugi. Rad pokazuje kako silueta grada može da utiče na strukturu ili na proces projektovanja, analizom vizulenog utiska grada.

Ključne reči: *Arhitektura, silueta, grad, urbani dizajn.*

1. UVOD - O GRADU

Ako se zarada jedne porodice umnoži hiljadama puta, kolektivne pogodnosti postaju moguće. Grad je zbir svojih stanovnika i ima moć da generiše višak pogodnosti. To je jedan od razloga zašto ljudi žive u zajednicama.

¹ Mirko Stanimirović, dipl. inž. arh, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu,

² Dr Petar Mitković, dipl. inž. arh, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu,

³ Dr Goran Jovanović, dipl. inž. arh, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu,

⁴ Nataša Petković-Grozdanović, dipl. inž. arh, saradnik, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu.

Cilj grada je da ljudima pruži prijatnu sredinu u kojoj će se živeti stvaralački nadahnuti. U velikoj raznolikosti omogućene su slobode izbora i povezanost ljudi i njihove okoline. To se postiže povezivanjem osnovnih urbanističkih materijala i njihovim uključivanjem u stvaralački proces projektovanja. Rezultat odabira takvih elemenata je oblik grada. Njihovo grupisanje stvara određena svojstva grada, a iz njih proističe karakter, fizionomija grada. Osnovni elementi su ulice, trgovi, parkovi, voda, svetlost, simboli, objekti i aktivnost stanovnika.

Na kraju grad oživljava kroz pokret i njegovu ritmičku strukturu. Elementi sada već nisu više samo stvari bez duše. Oni igraju živu ulogu, oseća se njihov uticaj na uobličavanje aktivnosti i oni se sagledavaju naporedo, u sadejstvu sa ostalim predmetima koji se kreću. [1]

Grad treba da obezbedi dva nivoa života. Prvi je javni, život ulica, trgova i velikih parkova. Odvija se uglavnom pod vedrim nebom na velikim gradskim prostorima gde se mnoštvo ljudi uzajamno povezuje. Drugi vid života je privatni, život pojedinca, zaklonjen i povučen, miran i opuštajući. Otvoreni prostori su mesta gde se odvija život u ova dva sloja. Zbog toga oni određuju karakter života, njegov tempo i redosled. Nekad zauzimaju skoro pola grada, pa je njihova lokacija od bitnog značaja. Najjednostavniji i najraniji oblik gradskog prostora je ulica, koja obezbeđuje pristup kućama kao i svetlost i vazduh. Loren Halprin ih naziva arterijama zajednice.

2. O LIKU GRADA

Lik grada upija promene nastale tokom dugih perioda. U stalnom je procesu menjanja, i u njemu izrastaju nove kuće i novi trgovi. Kao i svaka stvar na planeti i kuće su podložne starenju. Stare zgrade daju specifičan karakter naselju, obeležavaju prošlost i upozoravaju nas na budućnost. Iako im je rok funkcionalnosti istekao, treba ih sačuvati. To je jedan od najtežih arhitektonskih problema, jer se menjaju materijali i načini građenja.

„Kad nastanu promene - to se najsnažnije oseti na silueti grada.“ [2] Ranije su se promene dešavale sporije. Život grada je natenane oblikovao svoju siluetu. Postojale su i izvesne predstave o značaju pojedinih zgrada koje su došle do izražaja u obradi i visini. Crkve su smatrane najbitnijim objektima, pa su njihove siluete dominirale horizontalama gradova. Crkva je dominirala duhovnim i fizičkim prisustvom. Izdizala se kao centralni dominirajući element cele kompozicije. Iz daljine se prvo sagledavala kupola ili crkveni toranj. Posle nje po značaju dolazile su kuće gradske opštine i dvorci velikaša i

bogataša. Organizovana i stabilna hijerarhija činila je siluetu grada stabilnu vekovima.

Današnji lik grada menja se veoma brzo. Visoke zgrade skeletnog sistema niču jedna za drugom. Današnje najviše zgrade biće zaklonjene sutra. Hijerarhija stvarana vekovima je dobila novu kompoziciju. Materijalno je zamenilo duhovno, prvo u životu pojedinca, a zatim i u životu grada. Tempo promena je toliko brz da još uvek nemamo način da kontrolišemo takva kretanja. Silueta nastaje spontano i stalno se menja. Sigurno je samo saznanje o vremenu koje se stalno i sve brže menja.

Halprin misli da je naša predstava o tome kako treba da izgleda naš idealni grad još uvek nejasna. Treba da koncentrišemo snage da bi pronašli najbolje šeme za projektovanje urbane sredine i ambijenta koji će nam omogućiti sve tokove stvaralačkog života. Prihvatanje procesa neprekidnog menjanja je suštinska osnova našeg života i čini bazu razvoja projektantskog rada. Ne može se kreativno planirati za statičko društvo, ni za statički ambijent, jer njihovo nepostojanje nas može odvesti u krutost regulative i suženosti naših ciljeva. To bi donelo vizuelnu sterilnost u arhitekturi, a u politici nametanje formi jednom društvu pod preteranom kontrolom, čiji bi građani bili dehumanizovani dvonogi insekti.

3. URBANIZAM

Gidion smatra da izgradnja stanova treba da pruži nešto više od privatne sfere. Treba da obezbedi pristup javnim kompleksima, igralištima, rekreaciji i trgovini. Odnos između stanovanja i ostalih životnih aktivnosti je značajan za urbanizam. Potreban je elastičan plan, koji može po potrebi da se izmeni. Konceptija prostor-vreme nezaobilazna je u planiranju. Treba sprečiti međusobno preplitanje različitih funkcija, ali i njihovo povremeno spajanje. Osnova savremene kuće je postala elastična i slobodna. Ona menja strukturu grada, jer se i on kreće u istom pravcu.

„Nigde u arhitekturi se ne oseća tako jak uticaj savremenog života kao u urbanizmu.“ [3] Potrebno je da urbanisti znaju savremenu koncepciju života, da bi se bavili urbanizmom, jer je urbanizam u prvom redu humani problem. Van Esteren misli da urbanista ne treba da polazi od arhitekture. Za njega grad ne bi trebalo da predstavlja produkcijsku šemu. Treba da istražuje kako je grad nastao i kako je dostigao današnji stepen razvoja. Treba da utvrdi osobine zemljišta i njegove odnose sa okolinom. Mora da razmišlja o ljudima koji će u tom gradu raditi i živeti. Grad treba da posmatra u odnosu na gustinu stanovanja, bez

definitivnog oblikovanja. Delovanje raznih okolnosti će formirati izgled grada. Ipak, potrebno je pronalaženje oblika koji se mogu u svakom trenutku prilagoditi specijalnim uslovima. „Urbanista je upoznat sa funkcijama koje treba zadovoljiti; njegov zadatak je da sastavi celinu od postojećih mogućnosti datih uslova.“ [4]

Po Gidionu, životna koncepcija unosi red u mnoštvo činjenica s kojima se urbanista sreće. Ispoljava se na različite načine. Moderan saobraćaj utiče na naš osećaj prostora i izoštrava ga. Samo prostorno-vremenski osećaj može da posluži u planiranju kompleksnog razvoja grada. Planiranje u dve ili tri dimenzije nije dovoljno. Ravnoteža svih komponenata je rešenje. Usaglašenost raznih funkcija jedne zajednice, preobraziće statičko stanje u ravnotežu živog organizma.

Silueta grada koji se neprestano menja je silueta živog organizma. Uvek je prisutna i utiče na dalji razvoj. Razvoj nauke i promena načina života menjaju naše shvatanje o svetu, koje utiče na naš odnos prema slici grada. Kako smo svi prinuđeni da se razvijamo slično, tako i gradovi sa naprednijom tehnologijom liče jedan na drugi.

Da li može silueta grada da utiče na strukturu ili na proces projektovanja? Koji su elementi takve slike i u kom pravcu se razvija urbanizam? Odgovori na ova pitanja proisteći će kroz analizu vizuelnog utiska grada.

4. VIZUELNI UTISAK GRADA

Kao što se novac više porodica umnožava njihovim udruživanjem u zajednicu, tako se i uživanje u vizuelnom utisku grada povećava sa povećanjem zgrada, odnosno stanovnika. Grupacija zgrada, koje su svaka za sebe proizvod arhitekture, pravi sopstveni život-prostor između njih samih. Veličine kuća se stvaraju poređenjem sa okolinom. Objekti velikog značaja, kao na primer crkve, dobijaju nadznačaj u poređenju sa okolnim kućama. Pobjednik u nekoj trci, je onaj koji je bolji od svih ostalih učesnika. Gordon Kalen nas podseća da ljudski um reaguje na kontrast, na razlike među stvarima. Ako nam ni jedan element grada ne stvara emocije, grad ćemo shvatiti kao inertan.

„Ipak, ako posle svega toga grad deluje dosadno, nezanimljivo i bez duše, onda on ne ispunjava svrhu svog postojanja. On je promašen.“ [6]

Jednim pogledom na plan grada sagledava se njegova suštinska funkcija. Stanje njegovih delova odražava određene linije sila koje predstavljaju splet okolnosti nastanka grada. Smetnje u odnosu funkcije i

forme rezultiraju nedostatkom karaktera i struktura. To objašnjava amorfan karakter modernih gradova. Zadatak urbaniste je razrešavanje sukoba, određivanjem koliko i kome treba posvetiti pažnju. Rezultat može da bude grad čitljivog i karakterističnog oblika.

Kalen je ovaj postupak opredmetavanja pokazao na primeru grada Briksama. U ovom primorskom gradu linije sila su u neposrednoj vezi sa graničnim linijama u geografskom smislu. Smisao postojanja takvog grada je linija duž koje se susreću zemlja i voda, koja formira prirodan amfiteatar koji zatvara luku. Oblik grada se poklapa sa ovom rezultantom linija sila i predstavlja zaštitničko okupljanje zajednice oko brodova koji joj obezbeđuju život. U ovom opisu je sadržan karakter Briksama, a urbanista može samo da potencira karakter vizuelnim sredstvima, da bi se iz njega mogao iscediti svaki delić dramatike i logike. [7] Bojenjem svih kuća u belo linija zaliva bi bila neprekinuta u nivou kuća. Suštinska činjenica gradskog pejzaža je da svuda postoji umetnost okruženja, ali i da je skrivena ili izgubljena.

5. VERTIKALE U SLOBODNOM PROSTORU

Privredna moć i ljudska pažnja ka materijalnim stvarima stvorili su sisteme gradnje koji su povećali visinu kuća. Arhitektura profita, kao i egocentrična arhitektura, našle su svoj izraz kroz simbole, kroz oličenje moći i veličine, kroz izgradnju tornjeva. Visina zgrada se povećava kako se povećava gustina naseljenosti, koncentrisanje velikih stambenih jedinica u visokim zgradama je moguće samo korišćenjem odgovarajućeg rastojanja. Počelo je još dvadesetih godina prošlog veka, kad je Valter Gropijus promenio strukturu grada predlogom za izgradnju stambenih blokova visine deset spratova koji imaju istu gustinu naseljenosti kao i gusti niski blokovi. Izazvao je prekid u punim nizovima kuća duž ulica. Između njih se prostirala zelena površina. Holandski arhitekta Van Tijen je realizovao tek 1934. godine visoke pločaste stambene blokove. Dominiraju nad četvrtima gusto naseljenim niskim zgradama, imaju nisku kiriju i okružene su velikim slobodnim površinama.

Za njim su krenuli Le Korbizije, a za njim Englezi. Vitke zgrade su nailazile na veliki otpor u početku. Ljudi su bili naviknuti na masivne stambene blokove. Delovale su nematerijalno, iako im je funkcionalna postavka bila u skladu sa novom prostornom koncepcijom.

„Okolo 1960. g. visoka pločasta zgrada je postala uobičajena širom sveta. Ona je negde uspostavila odnos sa nižim zgradama, to su istina izuzeci, i tako se uklopila u urbanističke celine. Međutim, masovna primena je dovela do toga da se one najčešće dižu bez međusobne

povezanosti. S ovim se dešavalo kao i s idejom vrtnog grada koja je na kraju dovela do rasparčavanja predela u kome se gradi.“ [8]



Slika 1 - Willem van Tijen - Rotterdam

Pojedinačne vitke zgrade su pojačale vertikalnu komponentu silueta. Iz socijalnih i ekonomskih uslova prostor između njih se popunjavao. Obrazovani su blokovi visokih zgrada. Naslednici Le Korbizijea, koji je sanirao zapuštene gradske četvrti primenom „visokih ploča“, primenjivali su sličan metod za cele četvrti. Na takvim mestima su nikle „bolje“ zgrade, pri čemu se sačuvao stari sistem ulica. Bulevari sa zgradama do osam spratova delovali su hladno, bez obzira na današnju naviknutost na slične objekte. Prvi trgovački centar koji je primenio dizajn oblika na odnose oblakodera je Rockefeller Center u Njujorku iz 1931. godine. Konstruisan je u nekoliko visokih objekata koji slobodno stoje raspoređeni u otvorenom prostoru. Srednji spuštenu deo je služio zimi kao skijalište. Tako je prvi put uvedeno široko merilo u današnji grad, koje dolazi do izražaja kod Parkwayja i kod saobraćajnih objekata. Parkway je predeo sličan parku sa tranzitnim putem, neometane slobode kretanja, kontinualnog toka i bez direktnih ukrštanja. On prati teren i stapa se sa predelom. Tako doprinosi saobraćaju, jer je u vozaču pobuđen osećaj sigurnosti i zaštita od suprotnog pravca, i sagledavanju siluete grada kroz otkrivanje lepote zelenila u pokretu.

Današnje visoke zgrade uglavnom imaju poslovni karakter. Grupisane su u grupe, a slobodni prostori su popunjeni manjim zgradama. Često se grupišu u nizove, sa obe strane velikih ulica. Takve poslovne četvrti su odvojene od stambenih, koje se na sličan način formiraju, ali manje visine. Takmičenju nikad kraja. Stare simbole moći, nadvisiće novi. Siluete postaju pokretne nazubljene linije.

6. SILUETE GRADOVA

Čak i običan izgled nekog grada može nam pričiniti naročito zadovoljstvo. Grad je konstrukcija u prostoru, arhitektura velikih razmera, kompozicija likovnih elemenata. Projektovanje gradova ili dizajniranje oblika i funkcija, vremenska je umetnost i veština. Retko kad može da se koristi kontrolisanim i ograničenim vremenskim sekvencama, kao što to čini muzika. Stalno je izložena pogledima i stalno se osluškuje. Tu se ništa ne događa izolovano već uvek u vezi sa okolinom i događajima koji nas do toga dovode. „Svaki građanin se na neki način srodio sa nekim delom svoga grada, a njegova slika o gradu je natopljena uspomenama i značenjima.“ [9]

Ljudi su pokretni elementi grada i značajni su za sliku grada kao i statični fizički elementi. Nikad nismo samo posmatrači nekog događaja, nego i učesnici. Sva naša čula su stalno angažovana, a slika grada se sklapa od svih tih delova. Zato grad i nije samo objekat koji posmatramo, nego i naš proizvod, rezultat našeg delovanja i stalne promene. Nema konačnog rezultata, već se ceo proces razvija kao neprekidni niz uzastopnih faza. Shodno tome, veština uobličavanja gradova i čulnog uživanja u njemu je umetnost odvojena od arhitekture, muzike i literature. Vizuelni kvalitet svakog grada može da se vrednuje proučavanjem mentalnih slika njegovih stanovnika. Kvalitet je očigledna jasnost, razgovetnost ili čitljivost gradskog pejzaža, piše Kevin Linč. Ako se silueta grada posmatra kao slika i ako sa lakoćom raspoznavamo razne delove grada, i ako je ta slika organizovana celina sastavljena od elemenata grada, onda se kaže da je gradski pejzaž čitljiv. On može da se vizuelno obuhvati i shvatiti kao složena slika razaznatih simbola. Čitljiv grad ima prepoznatljive delove identifikovane i sklopljene u jednu kompoziciju. Čitljivost ili dobra silueta je najbitniji kvalitet dispozicije jednog grada. Naša sećanja na neki grad su uglavnom formirana u tom pravcu.

Urbanisti se zanimaju za spoljne manifestacije uzajamnih dejstava koja izaziva slika čovekove okoline. Svaka forma ima visoku ili nisku verovatnoću da izazove snažnu mentalnu sliku posmatrača. Ako se posmatrači grupišu u sve homogenije grupe, pretpostavlja se da će verovatnoća moći da se preciznije proceni. Svaki pojedinac nosi svoju ličnu mentalnu sliku, a u jednoj homogenoj grupi verovatno će biti više ujednačenosti i sklada u tom pogledu. Grupne slike, nastale kao saglasnost grupe pojedinaca, predstavljaju interes za proučavanje, jer modelovanje takvih oblika grada korisno je za mnoge osobe.

Slika čovekove okoline može se razložiti na tri komponente koje se u stvarnosti uvek javljaju u zajednici: identitet, strukturu i značaj. Posmatrani objekat odlikuje nešto drugačije od drugih, poseduje nešto što ga karakteriše kao posebnu jedinicu. Ta njegova jedinstvenost je identifikacija. Strukturu čine prostorni i dispozicioni odnosi posmatranog objekta prema drugim objektima, kao i prema posmatraču. Značaj je smisao i ono što se saopštava posmatraču.

„Slika siluete Menhetna može značiti vitalnost, moć, dekadenciju, zagonetku, zagušenost, veličinu ili što god hoćete, ali ta oštro izrezana slika kristalizuje i pojačava značaj. Individualni pojmovi o značenju i sadržini nekog grada su toliko promenljivi, čak i onda, kada su njegovi oblici lako shvatljivi, da izgleda ne samo potrebno, nego i moguće da se sadržina odvoji od forme.“ [10]

Slikovitost fizičke okoline je onaj kvalitet fizičkog objekta koji nam pruža visoku verovatnoću da će na bilo kog posmatrača proizvesti snažan utisak koji daje jasnu sliku. Ne znači da je neka slika očigledna na prvi pogled ili da je opšte poznata ili jednostavna. Jednostavnost složene okoline može brzo da postane dosadna, ako nam pokazuje samo neke crte sveta u kome živimo. Sastoji se od oblika, boja i opštih rasporeda koji olakšavaju nastajanje živopisno identifikovane, snažno konstruisane i veoma korisne mentalne slike okoline. Ta osobina može da se nazove i čitljivost. Čitljiv grad će nam izgledati lepo uobličeno, izrazito, upečatljivo, privući će naš pogled i stvoriti potrebu da više posmatramo i tako više učestvujemo. Čulno shvatanje okoline na taj način će biti olakšano, produbljeno i prošireno. Slika čitljivog grada nam izgleda kao kompozicija izrazitog kontinuiteta sa mnogim izrazitim delovima jasno povezanim u skladnu celinu. Posmatrač te likovne kompozicije je visoko svestan svoje okoline i lako apsorbira nove utiske koje uklapa u osnovnu sliku bez remećenja ravnoteže. Venecija je primer izrazito čitljive slikovite okoline.

Ljudi su privrženi takvim jasnim i dominantnim oblicima. Neki zbog ličnih doživljaja, neki zbog istorijskog značaja. U trenutku raspoznavanja čoveku iz sećanja nadire čitava poplava reminiscencija. Delovi grada se uklapaju jedan deo u drugi i gradska sredina postaje skladan komad življenja njenih stanovnika. U vazduhu tog skromnog i odmerenog prostora oseća se prosto i spontano osećanje zadovoljstva i zadovoljenosti postojanja i boravka u toj sredini. Čovek koji ima sreću da korača firentinskim pločnicima, razume K. Linča da sve to potiče od samog izgleda grada.



Slika 2 - Venecija

Grad treba da se ostvari na najbolji mogući način. On je proizvod umetničkog nadahnuća, uobličen prema čovekovim potrebama. Dok se čovek prilagođava gradu, podešava grad svojim potrebama. Opstanak i dominacija zasnivaju se na sposobnosti prilagođavanja sredini i uticaja na nju kroz unapređenje. Kako da pređemo na jednu novu fazu te uzajamne relacije čovek-sredina? K. Linč misli da samo treba da usmerimo svoje napore prilagođavanjem svoje sredine perceptualnoj shemi i simboličnom procesu ljudskog bića. Povećanjem slikovitosti urbane sredine, olakšavamo njenu vizuelnu identifikaciju i strukturu. Ključevi za kvalitete oblika koji se stvaraju urbanim projektovanjem skupio je u deset kategorija : singularnost (jasnost slike zaleđa, kontrastnost površina), jednostavnost oblika (posmatrač će izobličiti složene činjenice pretvarajući ih u jednostavne oblike), kontinuitet (ponavljanje ritmičkog intervala), dominiranje (isticanje najistaknutijeg objekta), jasnost veza (lako uočljivi odnosi u strukturi), diferencijacija po usmerenosti (asimetrija kojom se neki kraj razlikuje od drugog, razlika u orijentaciji), vizuelno područje (kvaliteti koji potenciraju obim i prodor vizure), osećanje kretanja (svesnost posmatrača pojačava se vidnim i kinestetičkim osećanjima), vremenski nizovi (poveznost stav-po-stav), nazivi i značenja (nefizičke karakteristike koje potenciraju slikovitost elemenata).

Stalni porast dimenzije gradova postavlja nove probleme. Metropolitanski region je funkcionalna jedinica naše sredine. Poželjno je da bude identifikovana i konstruisana od njenih stanovnika. Sredstva komunikacija nam omogućavaju da živimo i radimo u tako prostranom regionu i istovremeno nam omogućavaju da formiramo svoju sliku grada u skladu sa onim što doživljavamo. Ukupna slikovitost velikog regiona nema jednu sliku istog intenziteta. U njoj ima nekoliko dominantnih figura, nekoliko žižnih tačaka, kao i nekoliko vezivnih tkiva. Kako uobličiti osnovnu sliku takve celovite površine? U cilju prevazilaženja ovog

problema, K. Linč predlaže dve tehnike projektovanja. Prva tretira region kao statičku hijerarhiju. Može se organizovati kao jedan glavni distrikt, koji sadrži u sebi tri pod-distrikta, a svaki od njih ima u sebi još po tri pod-distrikta... Druga tehnika primenjuje jedan ili dva velika elementa koji dominiraju. Uz njih se povezuju manje stvari, na primer, ređaju se naselja duž morske obale, ili se pravi linearni grad duž neke komunikacione kičme. Velika urbana jedinica se može i radijalno razvijati, počev od moćnog terenskog belega kao što je jedan centralni breg.

„Značajne fizičke promene se neće moći opravdati samo tim estetskim razlozima - izuzev na stratejskim tačkama. Međutim, vizuelni plan može da utiče na oblik fizičkih izmena, do kojih dolazi iz nekih drugih razloga. Takav plan se mora uklopiti u sve ostale aspekte planiranja regiona, kako bi postao normalan sastavni deo obuhvatnog, celovitog plana grada. Kao i svi ostali delovi tog plana, i on će biti u neprekidnom stanju revizije i razvoja.“ [11]

Da bi se ostvarila vizuelna forma u gradskim razmerama, mere koje bi se primenjivale mogu biti različite. Mogu biti mere opšteg zoninga, savetodavne revizije i rezervisanog uticanja ubeđivanjem na privatne projekte, sve do zabrana u kritičkim tačkama. Konačni cilj plana nije fizički oblik, već kvalitet slike u svesti. Podjednako korisno je i stvaranje takve slike treniranjem samih posmatrača, učeći ih kako da gledaju i kako da uočavaju njegove oblike. Grad treba da postane živa slika našeg društva i njegovih nada. Takvo vaspitanje značajno je za razvijanje gradskih slika i za njihovu preorijentaciju posle izvesnih dubljih promena. Umetnost urbanističkog projektovanja će biti u očekivanju jednog kritičkog auditorijuma. Jedino tako će slikar-amater početi da gleda na svet oko sebe drugim očima. Analiziranje slike jednog grada je K. Linča dovelo do zaključka da umetnost urbanog projektovanja zahteva i formiranje kritičnog i pažljivog auditorijuma. Kako umetnost i njen auditorijum uporedo rastu, tako i gradovi postaju izvor svakodnevnog uživanja miliona njihovih stanovnika.

7. OBLIKOVANJE GRADA POMOĆU NJEGOVE SILUETE NA PRIMERU TORONTA

Znak Ajfelovog tornja je vezan za Pariz. Aja Sofija je slika Istambula, piramide označavaju Kairo, bele kućice i plave polulopte nas podsećaju na Santorini, Atina ima Akropolj, Barselonu pamtimo po Sagradi Familiji, Beograd ima Kalemegdan i Hram Sv. Save... Naziv grada određuje nam sliku, poziva sećanje, stvara emocije. Vizuelne predstave, znakovi gradova su njihovi stilizovani pejzaži. Suveniri

svakog grada nastali su od obeležja tih gradova. Pored svakog repera u Parizu prodaju se medaljoni sa likom te zgrade. Na kraju obilaska posetilac poseduje novo blago, novčiće sa siluetama običenih znamenitosti, zarobljene pejzaže u metalnim pločicama. Snalaženje u takvom gradu je veoma lako, zbog mentalne podele prostora na kvartove sa određenim slikama. Informacije koje primamo preko televizije, filma, štampe ili interneta, utiču na naše predstave o pojedinim gradovima. One su ubačene u naše pamćenje i predstavljaju buduće odrednice naših novih putovanja ili sećanje na zanimljiva osećanja stečena u prošlosti. Naše želje da i naš grad ima neko obeležje, prepoznatljiv i originalan znak, utiču na njegovo planiranje i oblikovanje. Da li će to biti neki stari spomenik, istorijskog ili duhovnog značaja, ili će se stvoriti novi, savremeni odraz umetnosti, zavisi od već spominjanog auditorijuma. Sigurno je samo da se teži što višim oblicima, kao predstavama moći, ne bi li se uspostavila ravnoteža sa sve višim zgradama.



Slika 3 - Chicago



Slika 4 - Boston

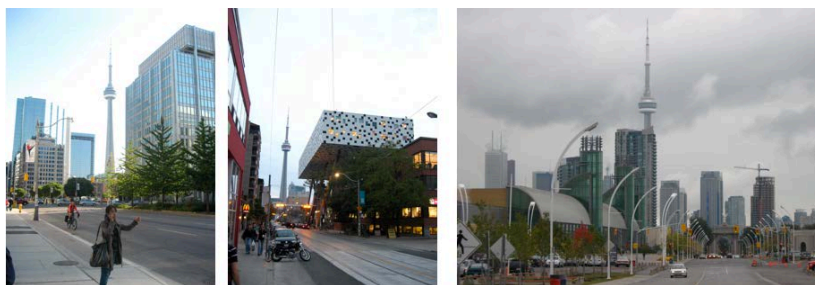


Slika 5 - Toronto

Primeri svih gradova potvrđuju potrebu za slikom grada u čijoj likovnoj kompoziciji možemo da prepoznamo dominantu. Najznačajnije

teme daljih studija mogle bi da budu primena u praksi koncepta metropolitenskih regiona, razvitak slike i njeno prilagođavanje fizičkim promenama gradske sredine i najzad projektantski potencijal koncepta slikovitosti. U cilju daljeg istraživanja, a u skladu sa pomenutim smernicama, silueta Toronta, a sam tim i njegovo uređenje, je analizirana i proširena na osnovu pretpostavke budućeg razvoja.

Glavna vertikala u silueti Toronta je CN Tower. Visine je 553 metara i nalazi se na jugu, blizu jezera Ontario. Ceo južni deo grada i čini siluetu, s obzirom da se sve visoke poslovne zgrade nalaze u tom delu, blizu jezera. Toronto je razvijen u dva pravca, sever-jug i istok-zapad. Silueta koja obuhvata zgrade iz južnog dela pruža se istok-zapad. Slika koja je pod pravim uglom na nju ne može da se doživi sa istim osećajem. Voda podržava samo prvu sliku i samo pogled na Toronto sa druge strane jezera ima tu širinu i preglednost. Čikago ili Njujork su u tom pogledu različiti. Konstrukcija saobraćaja i položaj vodenih površina omogućile su različite doživljaje iz različitih uglova. To bi, verovatno, odredilo pravac daljeg razvoja Toronta, a možemo da uzmemo u obzir i kopiranje stila većih gradova (Čikago i Njujork).



Slika 6 - CN Tower u Torontu

Silueta Toronta, poznata širom sveta, slika je grada koji leži na jezeru. To odgovara njegovom imenu, koje označava drvo u vodi. Budući razvoj označen crvenom bojom posmatran je kao oblikovanje grada korišćenjem njegove siluete. U tom smislu se pretpostavlja da će visoke zgrade nicati pored jezera, u grupacijama u skladu sa statičkom hijerarhijom. Zelene zone predstavljaju moguća sledeća širenja. Plaže i zelenilo nasuprot starom delu Toronta bi trebalo da zadrže današnju nisku izgrađenost. Posle zasićenja priobalnog dela, širenje bi se nastavilo u pravcu koji je upravan na postojeći. Dobijena slika ukrštenih silueta bila bi saglediva iz dalje okoline. Najveći poduhvat bi bio razvoj naselja u zoni koja prati jezero. Današnja visina oblakodera je mala za posmatranje siluete suprotne strane. Ako bi došlo do tolikog povećanja stanovništva, došlo bi i do povećanja visina građevinskih čuda. Dubai

pravi najveću zgradu koja će biti visoka skoro kilometar, a konkurencija najavljuje još veći poduhvat. Sa takvim napretkom, možemo očekivati siluete gradova prenesene iz naučno-fantastičnih filmova u realnost.



Slika 7 - Mogući razvoj Toronta



Slika 8 - Silueta Toronta kao kompozicioni fenomen

8. LITERATURA

- [1] Laurens Halprin, *Gradovi*, Građevinska knjiga, Beograd, 1974, str. 5.
- [2] Isto, str. 216.
- [3] Sigfried Gidion, *Prostor, vreme i arhitektura*, Građevinska knjiga, Beograd, 2002, str. 484.
- [4] Isto.
- [5] Isto.
- [6] Gordon Cullen, *Gradski pejzaž*, Građevinska knjiga, Beograd, 2002, str. 6.
- [7] Isto, str 111.
- [8] Gidion, str. 494.
- [9] Kevin Linč, *Slika jednog grada*, Građevinska knjiga, Beograd, 1974, str. 2.
- [10] Isto, str. 12.
- [11] Isto, str. 150.

ZNAČAJ I ULOGA ASEIZMIČKOG PROJEKTOVANJA PRI IZGRADNJI GRAĐEVINSKIH OBJEKATA

Slavko Zdravković¹
Tomislav Igić²
Dragan Zlatkov³
Stefan Conić⁴

Rezime

U radu se ukazuje na veliki značaj i ulogu aseizmičkog projektovanja pri izgradnji građevinskih objekata pa se prema tome mora pristupiti krajnje odgovorno. S obzirom da su seizmički uticaji najčešće merodavni pri dimenzionisanju konstrukcija to se u radu ukazuje na mnoge aspekte radi što adekvatnijeg rešenja ovog problema. Posebna pažnja posvećena je Evrokodu 8 – Projektovanju seizmički otpornih konstrukcija prema Evropskim standardima.

Ključne reči: aseizmičko projektovanje, objekat, spektri odgovora, zemljotresno inženjerstvo.

1. UVOD

Kolika je uloga i značaj aseizmičkog projektovanja pri izgradnji građevinskih objekata jasno je kada se zna da su uticaji izazvani dejstvom zemljotresa najčešće merodavni za dimenzionisanje konstrukcija. Suočavanje sa zemljotresima je prisutno od postanka zemljine kore, ipak se do najvećih saznanja došlo zadnjih 100 godina, pogotovu posle zemljotresa u Messina-Reggio 1908. godine u kojem je

¹ Prof.dr , redovan član Srpske Kraljevske asocijacije akademika, inovatora i naučnika-SKAIN, ekspert bivšeg Saveznog Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj u oblasti: 1221 građevinsko inženjerstvo, aseizmičko građevinarstvo, stabilnost mostova, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, ul. Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija

² Prof. dr , Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

³ ass. mr , Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

⁴ Student doktorskih akademskih studija, Stipendista Ministarstva, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu.

poginulo 160 000 ljudi. U Japanu, posle zemljotresa Kanto 1923. godine, kada je izgubilo život 140 000 ljudi, u proračunima su uvedeni seizmički koeficijenti u cilju povećanja sigurnosti objekata. Zemljotres u San Francisku (SAD) je imao manje gubitke u ljudskim životima, ali su zato materijalne štete bile ogromne. U SAD prvi aseizmički propisi uvedeni su nakon zemljotresa u San Francisku 1906. godine, odnosno posle zemljotresa u Santa Barbari 1925.godine. I pored 27 000 srušenih objekata od zemljotresa u San Francisku nisu preduzete administrativne mere za kodifikaciju seizmičkih propisa. Ovo je možda i zbog toga što je 80% štete bilo izazvano požarom dok je samo 10-20% štete bilo direktna posledica zemljotresa. Prema normama u prvom izdanju 1927. godine, uticaje seizmičkih sila u proračunu treba uzeti 7,5 - 10% ukupne težine objekta, što je prva verzija metode ekvivalentnog statičkog opterećenja. I pored napretka i boljeg upoznavanja seizmičkih fenomena, zemljotres u San Fernandu (1971.) iznenadio je stručnjake u celom svetu jer je prouzrokovao velika oštećenja objekata koji su bili izgrađeni po važećim normama. Ovaj zemljotres je bio velika pouka zbog jasno uočene uloge konfiguracije objekata na seizmičko reagovanje. Uočen je značaj relativne krutosti između nosećih elemenata – greda i stubova kao i seizmičko reagovanje čvorova. Zatim su počela prva istraživanja vezana za nelinearne karakteristike konstrukcije, veze između elemenata i materijala, istovremeno na više Univerziteta u svetu, kao i koncept duktiliteta, kao metoda programiranog ponašanja. Međutim zemljotresi u Loma Prietu (1989.) i u Northridge (1994.) su poslužili kao alarm da se važeći propisi moraju što pre dopuniti upotrebom seizmičke izolacije. Zemljotres u Kobe-u (1995.) izazvao je neočekivane gubitke i razaranja kako u ljudskim životima tako i na objektima pa uvođenjem novih tehnologija je 80% seizmički izolovanih objekata u Japanu, realizovano upravo u Kobe-u. Zemljotres koji se dogodio u Japanu 2011. godine, magnitude $M=9^{\circ}$ Richterove skale, oslobođena energija je iznosila kao da je eksplodiralo 8000 atomskih bombi bačenih na Hirošimu. Pomeranje zamišljene Zemljine ose je iznosilo na jugu 10cm, na severu 25cm, a rotacija Zemlje je ubrzana za 1,8 milisekunde, dok je pomeranje japanskih ostrva iznosilo 2,4m. Za prostor Balkana datum od značaja je zemljotres u Skoplju (1963.) koji je za posledicu imao preko 1100 poginulih i više od 120 000 ljudi je ostalo bez krova nad glavom. Ovaj zemljotres je značajno uticao na povećanje svesti i ozbiljnijih investiranja na istraživanjima u oblasti zemljotresnog inženjerstva. Evrokodovi za konstrukcije su unificirani Evropski standardi, dok su propisi za projektovanje u seizmičkim područjima imenovani kao Eurocode 8 (EC8), odnosno pod nazivom EC8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija. Cilj svih propisa pa i Evrokoda 8 da kod projektovanja i izgradnji zgrada i drugih građevinskih objekata u područjima koja mogu

biti ugrožena od zemljotresa se: sačuvaju ljudski životi, ograniče štete, važni objekti za sigurnost ljudi budu u upotrebi (funkcionalni) i nakon zemljotresa. Prilikom proračuna za osnovu se uzima referentni zemljotres sa povratnim periodom od 475 godina, odnosno ubrzanjem koje odgovara tom zemljotresu, tako da za npr. 50 godina postojanja zemljotresa, mogućnost (verovatnoća) događanja zemljotresa je samo

10% (koristeći Poissonov izraz: $p = 1 - e^{-\frac{L}{T}}$ gde je: p - verovatnoća dešavanja zemljotresa, T - povratni period, L - vek trajanja objekta).

2. PRINCIPI GRAĐENJA SEIZMIČKI OTPORNIH KONSTRUKCIJA

Pri projektovanju zemljotresnog opterećenja prisutna je velika nesigurnost podataka koji se najčešće definišu u statističkom smislu verovatnoće pojavljivanja. Slično se može i otpornost građevine definisati u statističkom smislu, ali se ne može postići apsolutna pouzdanost. Ljudi su se u prošlosti obraćali Bogovima radi zaštite, a često su i njihovi hramovi bili žrtve seizmičkih razaranja. Danas suprotstavljanje stihiji kao što je zemljotres nalazimo isključivo u sopstvenim sposobnostima. Nauka i tehnika su danas u stanju da ovladaju prirodnim pojavama i da stvore sredstva kojima se njihove neželjene posledice mogu sprečiti, ali ne u potpunosti kada se radi o dejstvu zemljotresa. Savremen čovek beži od istine, ali je svestan da priroda povremeno ispoljava rušilačku snagu i pokušava da joj se na najbolji način suprotstavi. Celokupna teritorija naše zemlje je u seizmički aktivnom području, zbog toga se pitanje seizmičke bezbednosti ozbiljno istražuje. Projektovanje i izvođenje seizmički otpornih građevina, stvaralački je a ne rutinski posao. Ne postoje dva ista zemljotresa, kao što ne postoje ni dva ista objekta. Kada tlo na kome su temelji objekta počinju brzo da se kreću, objekat prema zakonu inercije, teži da se zadrži u položaju u kome se nalazio. Tako na sve mase objekta deluju inercijalne sile. Pod uticajem tih sila objekat se deformiše i u njegovoj strukturi se javljaju unutrašnje sile koje teže da vrate građevinu u nedeformisani položaj. Akcijom inercijalnih i unutrašnjih sila objekat počinje da se ljulja-osciluje. Prirodno, ukoliko se u objekat ne nalaze noseći elementi koji su u stanju da se suprotstave inercijalnim silama, objekat neće izdržati zemljotres. Međutim i pri postojanju takvih elemenata, ako učestalost pokretanja tla nepovoljna za određeni objekat, on će biti teško pogođen razaranjem. Nije, prema tome, jedino značajna veličina pomeranja tla, već i učestalost pokretanja. Od svojstva konstrukcije zavisi kako će se objekat ponašati pri zemljotresu, da li će podneti unutrašnje sile ili će se u elementima konstrukcije pojaviti lomovi.

Dakle, svaki objekat ima svoju sopstvenu tj. svojstvenu frekvenciju, a zemljotres ima sve frekvencije koje imaju realni objekti. Kada se frekvencija objekta i zemljotresa poklope, nastaje tzv. rezonanca kada se svi uticaji teorijski beskonačno povećavaju. Međutim, objekat uspeva da ne dođe rušenja tako što prska ili puca i na taj način menja svoju frekvencu. Ali sledeći zemljotresni talas pogađa tu frekvencu i objektu opet pretilom i sve tako dokle traje zemljotres. Ukoliko je objekat, na primer sto puta statički neodređen, znači da sto puta objekat popuštanjem (stvaranjem plastičnih zglobova) postaje mekši i menja svoju osnovnu dinamičku konstrukciju, tj. frekvenciju i uspeva da se ne sruši, jer pri svakom prskanju formira se plastični zglob koji upija ili disipira seizmičku energiju koju mu zemljotres unosi. Ukoliko zemljotres ne traje dovoljno dugo i nije frekventnog sastava po objekat i malih amplitudnih vrednosti, objekat se neće srušiti, ukoliko objekat postane kinematički labilan, tj. ako više nije u mogućnosti da apsorbira energiju, onda će doći do mogućeg rušenja. Brzina podužnih seizmičkih talasa je vrlo velika, 7,5 – 8,0 km/s to bi većina objekata bila srušena već u prvim naletima jakog zemljotresa, ukoliko ne bi menjali osnovna dinamička svojstva, jer kao što je rečeno radi se o velikim količinama energije i velikoj brzini pri dejstvu jakih zemljotresa i objekti ne bi mogli da apsorbiraju toliku količinu energije već bi doživeli lom. Samo na opisan način popuštanjem – menjanjem, tj. promenom frekvencije objekti uspevaju da ne dođe do rušenja i u tome je cela filozofija opstanka objekata za vreme zemljotresa. Plastični zglobovi mogu formirati mehanizme sa velikom sposobnošću apsorpcije i disipacije seizmičke energije, a koji ne ugrožavaju egzistenciju konstrukcije. Na taj način samo neki elementi konstrukcije se plastifikuju (koji su najmanje opasni za opstanak konstrukcije) dok naprezanja u ostalim delovima konstrukcije ostaju u elastičnom području.

3. ZAŠTITA OBJEKATA OD DEJSTVA ZEMLJOTRESA

Osnovni prirodni zakon je opstanak, a objekti su deo prirode i ona nastoji da ih sačuva, ali zbog evolucije Zemlje kao planete, kako je već rečeno, događaju se zemljotresi koji svojom velikom energijom utiču da dođe do rušenja objekata. Objekti treba istovremeno da budu i kruti i duktilni, a to je moguće pa je potrebno naći optimalni kompromis između ovih suprotstavljenih veličina, ali da to ne podrazumeva kompromis na račun sigurnosti i bezbednosti ljudi. Kod konstruisanja objekata u zemljotresnom inženjerstvu, po poznatom principu, zahteva se da konstrukcije poseduju sposobnost apsorpcije i disipacije preuzete energije i da se energetska ravnoteža postiže preko neelastičnih deformacija konstrukcija, a da pri tome ne dođe do rušenja pojedinih

konstruktivnih celina. Pri najintenzivnijem očekivanom zemljotresu, za koji se pretpostavi da može zadesiti objekat, ne sme doći do njegovog rušenja i pored dozvoljenih značajnih oštećenja. Praksa je pokazala da se najveća seizmička otpornost konstrukcije postiže pravilnim izborom dispozicije objekta kako u osnovi, tako i po visini, pravilnim konstruisanjem karakterističnih elemenata i detalja konstrukcije, kao i dobrim izvođenjem objekta. Frekventni i amplitudni sastav i trajanje zemljotresa su najopasniji po opstanak konstrukcije. Ni najbolji seizmički proračun ne može "spasiti" konstrukciju ukoliko ona nije dobro koncipirana. Kako se zemljotresi događaju na dubinama od više desetina, a ponekad i više stotina kilometara u Zemljinoj unutrašnjosti do koje nije dospela ljudska ruka, a za takvo nepoznato opterećenje potrebno je izgraditi konstrukcije koje se neće srušiti za vreme dejstva zemljotresa. Može da izgleda neverovatno ali zemljotres u objekat unosi onoliko energiju ili onoliko silu koliko objekat može da primi što se najjednostavnije može objasniti na sledeći način. Ne unosi mu manju jer oslobađa veliku količinu energije, a ne unosi mu veću jer objekat ne može da je primi pošto bi došlo do loma (primedba autora S. Zdravkovića). Poznato je da se posle glavnog potresa događa još mnogo naknadnih slabijih zemljotresa – after šokova koji mogu srušiti objekat jer je najveći deo energije već istrošen. Ukoliko je objekat krući, on se i više suprotstavio zemljotresu pa će mu on uneti veću energiju pa ako dođe do rušenja objekta, onda je ili zemljotres bio jači od proračunskog ili objekat nije dobro izgrađen. Za vreme zemljotresa u Vrančeu (Rumunija) 1977. godine, 18-to spratni novi hotel koji je bio projektovan prema seizmičkim propisima se srušio, a stračara pored njega koja nije pružala otpor zemljotresu i koji nije unosio energiju u nju opstala je. Dakle suštinu filozofije aseizmičkog građenja nije jednostavno i lako dokučiti. Od filozofa za objašnjenje nastanka zemljotresa su se zainteresovali: Platon, Aristotel, Kont, i Volter.

4. ZAKLJUČAK

Suočavanjem sa zemljotresom je prisutno od formiranja Zemljine kore, ipak do najvećih saznanja došlo se zadnjih 100 godina. Posle zemljotresa u Messimo-Pegiu 1908., u Japanu, posle zemljotresa Kanto 1923., u San Francisku 1906. i u Santa Barbari 1925. godine može se reći da su 1927. godine izdate norme za proračun konstrukcija od uticaja seizmičkih sila. Bilo je predviđeno da u proračunu treba uzeti i do 10% od ukupne težine objekta što je prva verzija metode ekvivalentnog statičkog opterećenja. Za područje Balkana posle Skopskog zemljotresa 1963. godine izdati su Privremeni tehnički propisi za građenje u seizmički područjima 1964. godine koji se nisu pokazali kao

odgovarajući jer je zemljotres na Crnogorskom primorju 1979. godine izazvao velike materijalne štete. Zato je 1981. godine izdat Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima koji je 1990. godine dopunjen seizmološkim kartama za različite povratne periode. Ovaj pravilnik je i danas u važnosti ali su uočeni mnogi njegovi nedostaci pa se umnogome sve više koristi Evrokod 8 (EC8) – Evropski standardi za projektovanje seizmički otpornih konstrukcija. Projektovanje i izvođenje seizmički otpornih građevina je stvaralački a ne rutinski posao, a celokupna teritorija naše zemlje se nalazi u seizmički aktivnim područjima. Zato za zaštitu objekata iznaći optimalni kompromis između krutosti i duktilnosti. Praksa je pokazala da se najbolja seizmička otpornost postiže najboljim izborom dispozicije u osnovi i po visini objekta. Znači da je adekvatna krutost kao i duktilnost najsigurniji oblik suprotstavljanja objekta seizmičkim uticajima i njegovoj zaštiti i od najjačih zemljotresa i prijemu seizmičkih uticaja.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je sprovedeno na Građevinsko arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu u okviru projekta iz oblasti tehnološkog razvoja u periodu 2011. – 2015. god. pod nazivom “Eksperimentalna i teorijska istraživanja linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije drugog reda i stabilnosti” (TR 36016) finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

5. LITERATURA

- [1] Pavićević, B.: *Aseizmičko projektovanje i upravljanje seizmičkim rizikom*, Univerzite Crne Gore, Podgorica, 2000.
- [2] Zdravković, S., Zlatkov, D., Turnić, D.: *Safety Engineering in Arcitectural and Structural Design of Buildings in Seismic Areas*, 2nd International Scientific Meeting, GTZ 2012., Tuzla, 2012.
- [3] Aničić, D., Fajfar, D., Petrović, B., Nossan, A. S., Tomažević, M.: *Zemljotresno inženjerstvo – Visokogradnja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- [4] Hrasnica, M.: *Aseizmičko građenje*, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2012.
- [5] Janković, S.: *Osnove seizmičkog planiranja i projektovanja*, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, AGM Knjiga, 2014.
- [6] Zdravković, S., Zlatkov, D., Mladenović, B., Šaković, S., Keković, M.: *Zaštita građevinskih objekata od dejstva zemljotresa*, UDC: 624:042.7. DOI: 699.841, str. 563-568, 2015.

UTICAJ ISTORIJSKOG NASLEĐA NA FORMIRANJE ZELENOG POJASA U CENTRALNOJ ZONI GRADA

Nemanja Petrović¹
Olivera Nikolić²
Vladan Nikolić³
Predrag Lukić⁴

Rezime

U ovom radu biće razmatran značaj istorijskog nasleđau centralnoj zoni grada sa aspekta formiranja zelenog pojasa u gusto izgrađenoj urbanoj strukturi. Analizom nekoliko svetskih gradova u kojimaje istorisko nasleđe uslovalo kreiranje zelenih pojaseva, dolazi se do rezultata da ovakvi prostoriimaju uticaj na turistički i istorijski potencijal grada, utiču na njegov urbanistički razvoj i participiraju u kreiranju mikro klime grada. Izvedena je i studija slučaja na primeru Niša i zelene zone Tvrđave i razmatran njen uticaj na umanjenje toplotnog ostrva i emisije CO₂.

Ključne reči: *grad,istorijsko nasleđe, zelenilo, efekat toplotnog ostrva, emisija CO₂*

1. UVOD

Sa porastom broja stanovnika i napretkom ljudskog društva javlja se veća potreba za stambenim i poslovnim prostorima. Iz tog razloga svedoci smo sve manjeg broja zelenih površina unutar

¹Nemanja Petrović, master inž. arh., student doktorskih studija, asistent, Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, nemanja.maki.petrovic@gmail.com

²Olivera Nikolić, dipl. inž. arh., student doktorskih studija, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, o_milosavljevic@yahoo.com

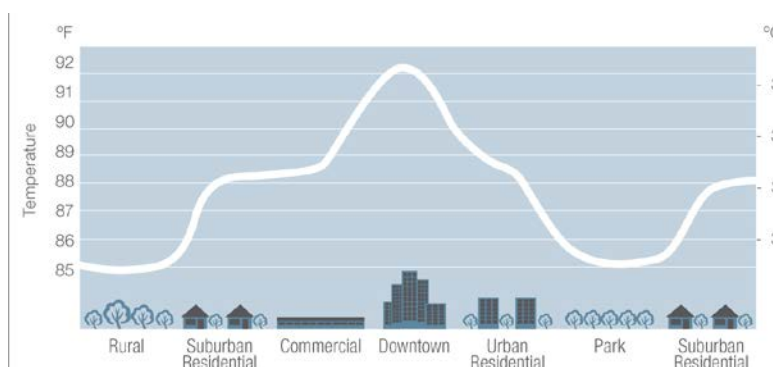
³dr Vladan Nikolić, dipl. inž. arh., docent, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, vladan_nikolic@yahoo.com

⁴ Predrag Lukić, master inž. građ., student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

urbanih struktura gradova. Rezultat smanjenog prisustva zelenila u urbanim strukturama jeste povišena temperatura tla i vazduha na prostoru grada, u dnevnim i noćnim satima, a koja negativno utiče na kvalitet života. Veliki broj današnjih urbanih centara nastao je na prostoru ranijih gradskih struktura, danas zaštićenom istorijskom nasleđu. Upravo se ti prostori mogu pretvoriti u zelene pojaseve savremenog grada i kao takvi dobiti na bioklimatskom značaju pored istorijskog i turističkog značaja koji imaju.

2. EFEKAT TOPLOTNOG OSTRVA

Početak 20. veka 15% od ukupnog broja stanovnika na globalnom nivou živelo je u gradovima. Danas je taj broj porastao na oko 50%. Površina gradova iznosi oko 2,8% ukupne površine zemljišta naše planete.[1] Sa porastom broja stanovnika u gradovima povećava se i potreba za stambenim i poslovnim prostorima, pa dolazi do neminovnog proširenja gradova i do povećanja indeksa izgrađenosti i indeksa zauzetosti prostora. Velike izgrađene površine u letnjim mesecima u gradu stvaraju efekat toplotnog ostrva koji karakteriše porast temperature vazduha u gradskim sredinama u odnosu na temperaturu vazduha u ruralnim sredinama ili nenaseljenim ozelenjenim površinama pod istim klimatskim uslovima.



Slika 1: Efekat toplotnog ostrva

Betonske površine zgrada upijaju veliku količinu toplotne energije u toku dana koju tokom noći emituju. Na ovaj način se formira toplotni mehur oko svake zgrade, 5m ka gore i 30m prema jugu u kome je razlika u spoljašnjoj temperaturi vazduha i temperaturi vazduha unutar mehura 5-8°[2]

Od veličine grada, odnosno od broja stanovnika koji živi u njemu zavisi i to koliko je izražen efekat toplotnog ostrva. Podaci za Evropu kažu da u gradovima od 100 000 stanovnika temperatura za

oko 6°C veća u gradu nego u vangradskim sredinama, za gradove od 1 000 000 stanovnika temperatura je veća za 8°C, dok je za gradove od 10 000 000 stanovnika temperatura veća za čak 10°C.

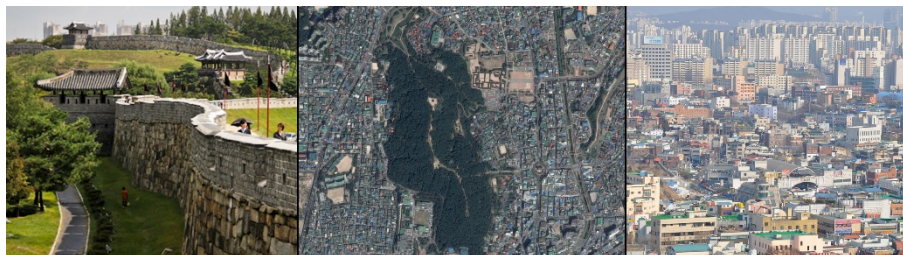
3. STRUKTURA GRADOVA UTVRĐENJA U STRUKTURI MODERNIH GRADOVA

Sa razvojem gradova i povećanjem broja stanovnika javile su se potrebe za novim teritorijama pa su gradovi počeli da se razvijaju i mimo granica definisanih bedemima. Na taj način razvijali su se mnogi današnji gradovi u Evropi i Aziji, a zidine srednjovekovnih utvrđenja sačuvane su u strukturi savremenog grada. Srednjovekovna utvrđenja u Srbiji sačuvana su u gradskim strukturama Niša, Beograda, Novog Sada, Smedereva, Kruševca, Novog Pazara. U ovim gradovima utvrđenja imaju skoro centralnu poziciju, odnosno predstavljaju element strukture modernog grada. Prostor koji se nalazi unutar utvrđenja u najvećem procentu slučajeva zaštićen je kao kulturno nasleđe i ne predstavlja lokaciju za izgradnju novih objekata. Na taj način, urbana struktura kulturnog nasleđa, pruža modernom gradu pojas zelenila za koji u većini slučajeva nema dovoljno mesta u centralnoj zoni.

3.1. Gradovi kod kojih je oko istorijskog nasleđa formiran zeleni pojas

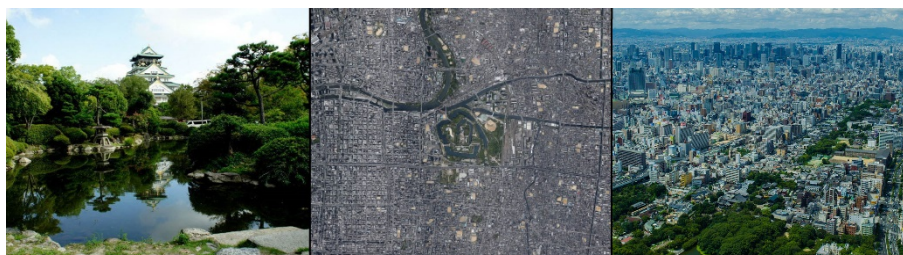
U radu su analizirani gradovi kod kojih je zeleni pojas ili zelena zona formiran u reonu oko istorijskog nasleđa u strukturi savremenog grada. U radu su opisani sledeći primeri: Hwaseong u Južnoj Koreji, Osaka u Japanu, London u Velikoj Britaniji. Međutim, slični primeri pronalaze u još nekoliko japanskih gradova poput Fukuoka City i Takamatsu, u zemljama zapadne Evrope kao što su Nemačka, Luksemburg, Francuska, Gediminas Tower u gradu Vilnius u Litvaniji, brojni gradovi na grčkom Peleponezu.

Hvaseong tvrđava u Južnoj Koreji predstavlja primer kako urbanizacija dovodi do formiranja milionskog grada Suvona na temeljima utvrđenja građenog od 1794 – 1796. godine. Zidovi tvrđave dugi su 5.74km, i okružuju zonu od 1.3 km². Unutra zidova sačuvano je 48 originalnih struktura iz 18. veka. Ova tvrđava je pod zaštitom UNESCO-a, i pored elemenata nasleđene urbane strukture koja se nalazi unutar tvrđave, pojas visokog zelenila formira zasebnu mikroklimu lokacije.



Slika 2: Hwaseong tvrđava u gradu Suwon u Koreji

Japanski grad Osaka nastao je oko Osaka zamka koji datira iz 16. veka. Sa svojom površinom od oko 6 hektara predstavljao je osnov za nastanak današnjeg grada koji broji oko 2,6 miliona stanovnika i zauzima površinu od 223 km². Zeleni pojas unutar zamka predstavlja jedinu veću zelenu zonu u prečniku od 8 km.



Slika 3: Osaka zamak u gradu Osaka u Japanu

Veliki broj evropskih gradova nastao je po već opisanom principu. Jedan od takvih je i London u Engleskoj. Za razliku od azijskih gradova, kod evropskih je razlika u prisustvu zelenila između unutrašnjosti tvrđave ili zamka i novoformirane urbane celine manja jer je kultura življenja takva da postoji veći broj drvoreda, parkova i drugih zelenih površina. London Tower građen je postepeno u više etapa od 11 do 13. veka. Imao je više namena sve do kraja II svetskog rata, kada je obnovljen i otvoren za posetioce.[3]



Slika 4: Londonski zamak u Engleskoj

3.2. Gradovi kod kojih se prostor u utvrđenju kontinuirano razvija

U radu su analizirani i gradovi kod kojih je prostor unutar zidina utvrđenja nastavio da se razvija u graditeljskom smislu. Takve strukture srećemo često na prostoru Bliskog istoka i Azije.

Pored gradova koji su svoj razvoj nastavili van zidina i kod kojih je prostor unutar utvrđenja ostao izgrađen u meri koju je odredilo nasleđe srednjevekovnog grada, a oko kojih se, kasnije, oformili važni zeleni pojasevi u novim urbanim strukturama, postoje gradovi koji su svoj razvoj nastavili unutar zidina i koji se u tom okviru i dalje razvijaju. Neki od primera ovakvih gradova su Dijarbakir u Turskoj ili Erbil u Iraku. U gradu Dijarbakiru u južnoj Turskoj na zidinama starog rimskog grada u 4. veku imperator Konstantin II podigao je utvrđenje koje i danas postoji. Utvrđenje se sastoji od spoljašnje i unutrašnje tvrđave i ima najduže odbrambene zidove na svetu posle Kineskog zida. Oko zidina utvrđenja u XX veku počeo je da se razvija grad u kome, o najnovijim procenama, živi oko milion stanovnika, uglavnom Kurda i koji se smatra nezvaničnom prestonicom turskog Kurdistanu. Dijarbakir tvrđava i osam hiljada godina stara Hevsel bašta, plodno zemljište između doline Tigra i zidina utvrđenja, 2015. godine dodati su na UNESCO listu svetske baštine.



Slika 5: Tvrđava u gradu Dijarbakir, u Turskoj

U gradu Erbilu u reonu Kurdistanu u Iraku, nalazi se erbilska tvrđava, istorijsko središte grada. Sagrađena je pet milenijuma pre nove ere i tokom istorije mnogo puta je osvajana, rušena i obnovljena. Tvrđava zauzima površinu od 14.6 hektara i u odnosu na okolne ravnice uzdignuta je za visinu od 25 - 32m. Tokom 20. veka, urbana struktura je značajno izmenjena, kao rezultat toga je uništeno više kuća i javnih zgrada. U 2007. godini, Visoki komesarijat za revitalizaciju Erbil Citadele (HCECR) osnovana je sa ciljem da nadgleda obnovu tvrđave. Istogodine, svi stanovnici, osim jedne porodice, iseljeni su iz tvrđave, kao deo velikog projekta restauracije.

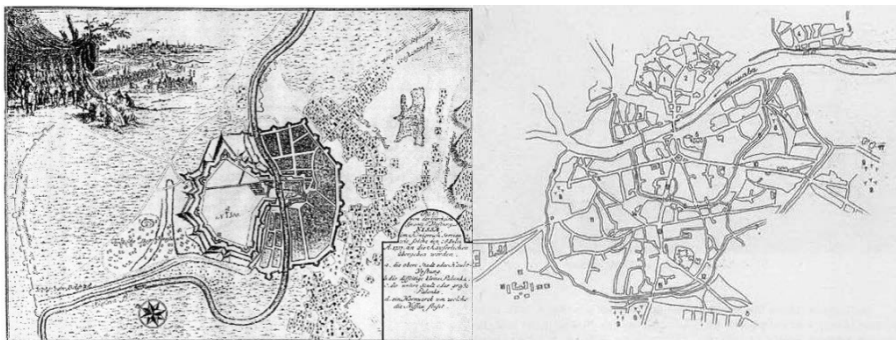
Odtada, arheološka istraživanja i restauratorske radove na tvrđavi izvode različiti međunarodni timovi u saradnji sa lokalnim stručnjacima. Vlada planira da po završenoj restauraciji u tvrđavi živi 50 porodica.[4]



Slika 6: Tvrđava u gradu Erbil, u Iraku

4. ZELENA ZONA NIŠKE TVRĐAVE

Niška tvrđava građena je od 1719-1723. godine u doba vladavine osmanskog carstva. Podignuta je na mestu ranijih tvrđava iz rimskog, vizantijskog i srednjevekovnog perioda. Tvrđava ima poligonalnu osnovu, sa sedam nejednakih strana i četiri velike kapije, jednom malom kapijom i osam bastionih terasa. Sa bedemima dužine 2.100 m koji su široki 3 m, a visoki 8 m tvrđava zahvata površinu od 22 ha, 80 ari i 52 m². [5]



Slika 7: Plan Niša iz 1737. god.

Slika 8: Vinterov plan iz 1878. god.

Do oslobođenja od Turaka 1878, godine prostor ovičen tvrđavskim zidinama bio je naseljen. Feliks Kanic je za vreme svoje prve posete Nišu 1859. zabeležio: „Veliki unutrašnji prostor citadele bio je pretrpan građevinama. Oko njegovog središnjeg dela, crveno obojenog prostranog konaka uprave za grad i provinciju, povezanog sa haremlukom guvernera, grupisali su se bez nekog reda, ali utoliko

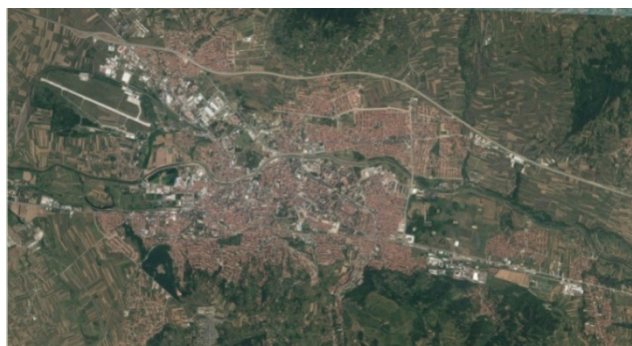
Uticaj istorijskog nasleđa na formiranje zelenog pojasa u centralnoj zoni grada

živopisnije i sa svih strana okruženi zelenilom, četiri džamije s minaretima, nekoliko tulbeta, sahat-kula, škola, pošta, nekoliko kasarni, arsenal, bolnica, zatvor, pekare i jedna mahala, podeljena na Hunkijar i Edirne, isključivo muslimansko naselje sa većinom veoma neuglednim kupama za oficire, činovnike i zanatlije. Samo nekoliko vojnih zgrada ostavljalo je utisak temeljnije gradnje, a gotovo sve ostale su bile od drveta."[6], Od oslobođenja od Turaka do 1950. godine Tvrđava je imala isključivo vojnu namenu. Zakonom je zaštićena maja 1948, a odlukom Skupštine Srbije, aprila 1979. godine, proglašena je kulturnim dobrom od velikog značaja.



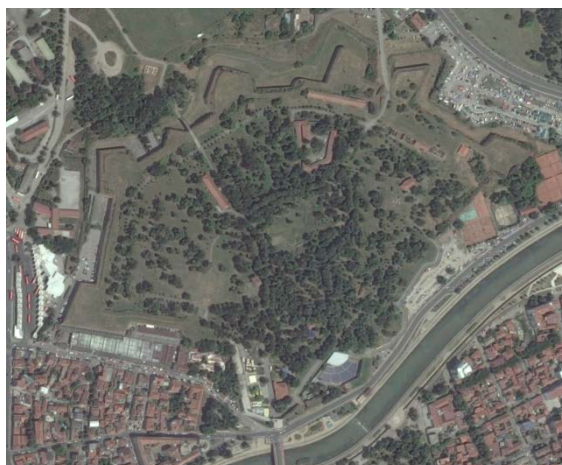
Slika 9. Niška tvrđava 1878.

U vreme turske vladavine Niš je bio izgrađen i van zidina Tvrđave, ali je planski počeo da se razvija po oslobođenju. Prvi regulacioni plan Niša izradio je Franc Vinter 1878. godine i već tada je grad zauzimaio oko šest puta veću teritoriju od veličine niške tvrđave. Prema tadašnjem popisu stanovništva u Nišu je živeo 12 801 stanovnik. Grad je nastavio da se razvija te po popisu iz 2011. godine broji 183 544 stanovnika i prostire se na površini od 596 km².



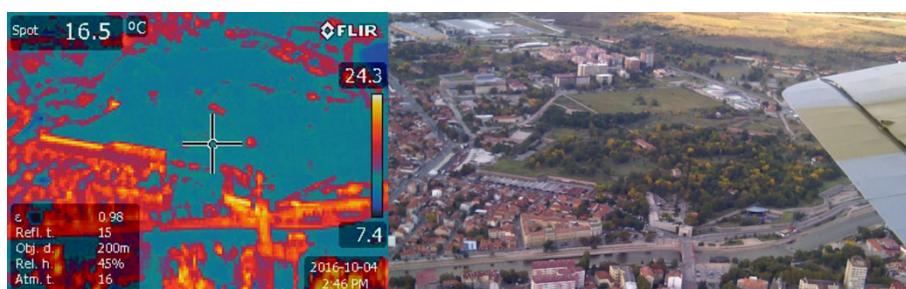
Slika 10. Grad Niš danas

U centralnoj zoni grada primećuje se odsustvo većih parkovskih površina, a i unutarblokovsko zelenilo je prisutno u maloj meri. Na taj način neminovno je očekivati da se efekat toplotnog ostrva oseti i u Nišu (iako po svojim dimenzijama predstavlja manji grad). Tvrđava u centru grada predstavlja zonu od oko 23 hektara od čega je oko 95% te površine pokriveno zelenilom.



Slika 11: Niška tvrđava

Za potrebe rada 4. oktobra 2016. godine izvršeno je probno snimanje Niške tvrđave i izgrađenih površina u neposrednoj blizini termovizijskom kamerom iz vazduha. Rezultati su predstavljeni na slici 12.



Slika 12: Termovizijski prikaz Niske Tvrđaveć

Snimanje je obavljeno u 14h i 46min pri temperaturi vazduha od 16°C i vlažnosti vazduha od 45%. I pored temperaturnih uslova koji ne utiču na formiranje toplotnih mehura i ostrva, jasno se uočava temperaturna razlika zelenila unutar Tvrđave i objekata u njenoj okolini. Temperatura zelenila, gotovo je jednaka temperaturi vazduha i

iznosi 16,5°C, dok su fasade okolnih zgrada, kao i saobraćajna mreža zagrejani do 24°C, što predstavlja razliku od 7,5°C. U toku letnjih meseci kada je period insolacije dosta duži i kada je sunčevo zračenje jače, predpostavlja se da je razlika znatnija. Iako merenja treba ponoviti u letnjim mesecima i drugačijim uslovima, iz navedenih rezultata može se zaključiti uticaj zelene zone Tvrđave na temperaturu mikro područja.

Pored uticaja na smanjenje efekta toplotnog ostrva, zelene površine utiču na smanjenje emisije ugljen dioksida. Površina od 1m² zelenila ima sposobnost apsorpcije 5kg CO₂, odatle zaključak da na dnevnom nivou, zelenilo unutar niške tvrđave apsorbuje oko 3 tone ugljen dioksida. Uzimajući u obzir podatak daje prosečna emisija CO₂ 130g/km[7] izvodi se zaključak da je zelenilo u Tvrđavi sposobno da dnevno apsorbuje količinu ugljen dioksida koju emituje 230 automobila pri prelaženju distance od 100km. Biljke upijaju i čestice iz vazduha poput smoga, teških metala i isparivih organskih jedinjenja što utiče na kvalitet vazduha i kvalitet života. Američka agencija za zaštitu životne sredine procenila je da 1m² zelenila može da apsorbuje 0,2kg čestica iz vazduha svake godine.[8] Takođe se kroz biofiltraciju sprečavaju zagađujuće materije da dospeju u vodene tokove. Zelenilo na površina od 23 hektara u periodu od godinu dana može da apsorbuju 46 tona zagađujućih čestica.

5. ZAKLJUČAK

Nasleđena struktura gradova koji sadrže antičke i srednjevekovne gradove u svom jezgru čini dobru osnovu za pružanje kvalitetnijeg života stanovnicima. Gradovi utvrđenja uglavnom unutar svojih zidina imaju mali broj objekata i velike zelene površine. Takve gradove pronalazimo u Srbiji, ali i u velikim svetskim metropolama, pretežno pozicioniranih u Evropi i Aziji.

Zahvaljujući tome što su pomenuta utvrđenja pod zaštitom i što je zabranjena izgradnja unutar zidina, tokom vremena formirani su parkovski prostori koji igraju značajnu ulogu u kvalitetu života u gradovima. Uglavnom centralno pozicionirani, ovi prostori utiču na smanjenje efekta toplotnih ostrva, ali i formiraju na prostoru jedinstvenu mikroklimu koja se u znatnoj meri razlikuje od klime grada van zidina. Takvi prostori zato i predstavljaju mesta okupljanja i mesta gravitiranja stanovništva, posebno u letnjim mesecima. Pored smanjenja temperature vazduha, zelenilo ima ulogu i u apsorpciji raznih štetnih materija iz vazduha pa je neophodno očuvati ga u što većoj meri.

Dalje istraživanje na ovu temu vodi ka ponavljanju merenja termovizijskom kamerom u letnjim mesecima u nekoliko različitih perioda dana, na nekoliko različitih lokacija u neposrednom okruženju Tvrđave, a posebno u večernjim časovima kada akumulirana toplotna energija, počne da se emituje iz fasadnih obloga i krovova.

6. LITERATURA

- [1] M. E. Assessment, "Ecosystems and Human Well-being - Current State and Trends," 2005.
- [2] O. Nikolić and V. Nikolić, "Еколошки и психолошки аспекти примене зелених кровова и фасада код објеката болница," *1. студентски симпозијум "Рециклажне технологије и држави развој"*, pp. 165-170, 2012.
- [3] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Tower_of_London. [Accessed 9 Oktobar 2016].
- [4] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Citadel_of_Erbil. [Accessed 9 Oktobar 2016].
- [5] M. M. Ђ., *Kraljevina Srbija - novi krajevi*, Beograd, 1884.
- [6] Kanić F., "Srbija, zemlja i stanovništvo", VI - Grad i Tvrđava Niš, Beograd, Srpska književna zadruga, 1989, p. 153.
- [7] P. Mićailović, "Емисија CO₂ путничких аутомобила у Србији," *Животна средина ка Европи*, pp. 129-142, 2014.
- [8] K. Insulation, *Urbanscape Modular Green Roof System*, 2013.
- [9] U. E. P. Agency. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-cooling-strategies>. [Accessed 30 September 2016].

KOMPOZICIJA VOLUMENA I FASADA OBJEKATA NA TRGU PARTIZANA U UŽICU (1961)

Duško Kuzović¹

Rezime:

Trg partizana je složena urbanističko-arhitektonski kompleks koja se sastoji iz nekoliko celina oblikovanih od strane trojice arhitekata raznorodnog arhitektonskog rečnika i koncepcije. U kompleksu se izdvajaju celine koje je projektovao arhitekta Stanko Mandić: Celina 1 (Narodno pozorište, Narodna biblioteka, Pošta i Potporni zid), Celina 4 (Blok Zapad, Robna kuća), Celina 5 (Parter). Deo Trga partizana koji je projektovao arhitekta Milorad Pantović je u okviru Celine 2 (Kula, SDK, Blok Istok, Gradska kafana, Blok Bioskop). Treća grupa je u okviru Celine 3 (Blok Jugoistok). Trg partizana je projektovan i pretežno realizovan u periodu od 1958. do 1961. godine.

Ključne reči:

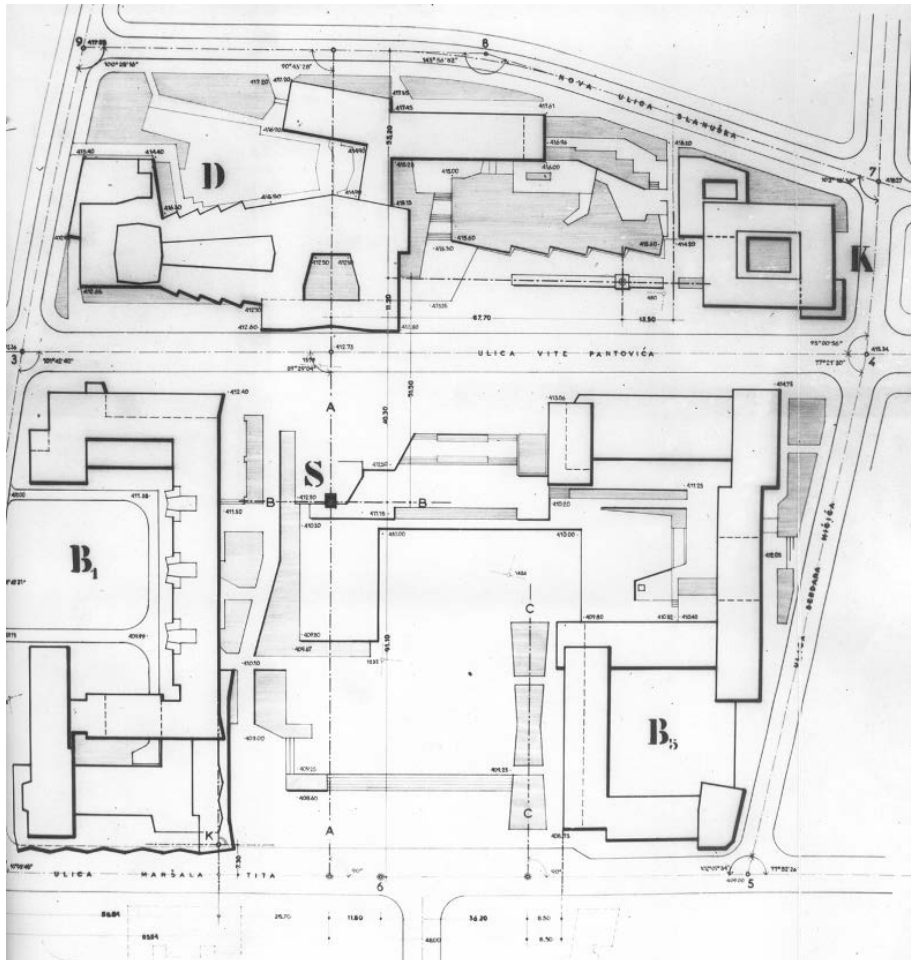
Trg partizana u Užicu, Stanko Mandić, Milorad Pantović, Oblikovanje Trga partizana u Užicu, Arhitektura Moderne u Srbiji.

¹ Assist.Prof.Dr. Duško Kuzović dipl.eng.arch.
Faculty of Architecture
Eastern Mediterranean University
TRN Cyprus

1. UVOD

Arhitektonski kompleks Trga partizana se sastoji od nekoliko oblikovnih celina koje su definisane ujednačenim arhitektonskim jezikom, rečnikom i materijalom. [1,2,3]

U pogledu oblikovanja, i pored izvesnih (i potrebnih) razlika sve celine (oblikovane od dvojice arhitekata) su međusobno vizuelno usaglašene u skladnu i harmoninu celinu.



Slika 01. Trg Partizana, situacija (1961)

Kao posebne oblikovne celine mogu se izdvojiti:

Celina 1: Narodno pozorište – Narodna biblioteka – Pošta - Potporni zid, (arhitekta Stanko Mandić).

Celina 2: Kula- objekat SDK - blok Istok - Gradska kafana - blok Bioskop (arhitekta Milorad Pantović).

Celina 3: Blok Jugoistok.

Celina 4: Blok Zapad - Robna kuća (arhitekta Stanko Mandić).

Celina 5: Parter (arhitekta Stanko Mandić).

2. DOKUMENTACIJA I DISKUSIJA

Celina 1

Celina 1 sadrži objekte javne namene. U oblikovanju ovog tipa objekata postoji za nijansu veći stepen slobode nego u oblikovanju poslovno-stambenih objekata. Sastoji se od objekata Narodnog pozorišta, Narodne biblioteke, Pošte (prvobitno zamišljena za Komandu garnizona) i Potpornog zida.

Narodno pozorište

Forma Narodnog pozorišta je raščlanjena u tri celine: volumen pozorišne sale, volumen prijemnog hola sa atrijumom i volumen pratećih i pomoćnih prostorija.

Volumen prijemnog hola se sastoji od naglašene partije sa zid-panoom koji je okrenut ka trgu (koji je namenjen kao pozadina-druperija za bronzanu figuru na Trgu partizana). Iza njega je formiran prostor koji je pridružen spratu i atrijumu. Volumen je podignut na nivo prve etaže prvenstveno iz razloga da bi se pano-zid doveo u visinski položaj koji je optimalan prema bronzanoj figuri. Duboka senka trema koji se nalazi u prizemlju stvara neobičan utisak imajući u vidu materijal kojim je obložen spratni deo-kamen i kamene pločice.



Slika 02. Trg partizana, Narodno pozorište

Pano zid je najmarkantnija fasada u kompleksu. Dužine je 32,0 metra i postavljen na 6 stubova. Na njegovoj osnovnoj površini, koja je obrađena u pravilno rezanim kamenim pločicama, nalazi se prostor formiran u plitkim nišama u kome se nalaze kamene ploče s plitkim reljefima. Pored pravougaonih prostora za reljefe geometrijskom obradom fasadne ravni zida panoa obezbeđena su mesta za reljefe. U odnosu na osnovnu fasadnu ravan, na nekoliko mesta ugrađeni su kvaderi koji su svojim delom ili celom površinom ispred osnovne ravni fasade. Pored svega navedenog, fasadni pano, je na mestu preseka sa osovinom bronzane figure blago prelomljen po dužini kako bi se naglasila pomenuta osovina i bronzana figura.

Volumen pozorišne sale se sastoji od prizemnog dela koji je obrađen u kamenu i spratnog dela koji je obrađen u ravno malterisanom cementnom malteru. Forma sprata pruža informaciju o načinu na koji je organizovana pozorišna sala unutra: galerija i bočne lođe (koje se nalaze sa na galeriji pozorišne sale) u unutrašnjosti objekta upravo imaju upravo takvu formu. Ovaj deo objekta je oblikovan kao niz volumena složenih pod oštrim uglom koji daju posebnu dinamiku formi a ostatak fasade je obrađen ravno. Karakteristično je da se na objektu jasno uočava „muskulatura“ koja nosi konstrukciju naglašavanjem stubova u prizemlju i na spratu ove fasade.

Kompozicija volumena i fasada objekata na Trgu Partizana u Užicu
(1961)

Obrađena na ovakav način fasada asocira na koncepciju fasade javnih objekata iz perioda Klasične arhitekture, odnosno 19. veka. Ovakvo vispreno i mudro rešenje ukazuje da je arhitekta imao veliko aktivno znanje iz Klasične arhitekture i da je bio u stanju da ih transponuje u sasvim novi jezik adekvatan vremenu u kome je stvarao.



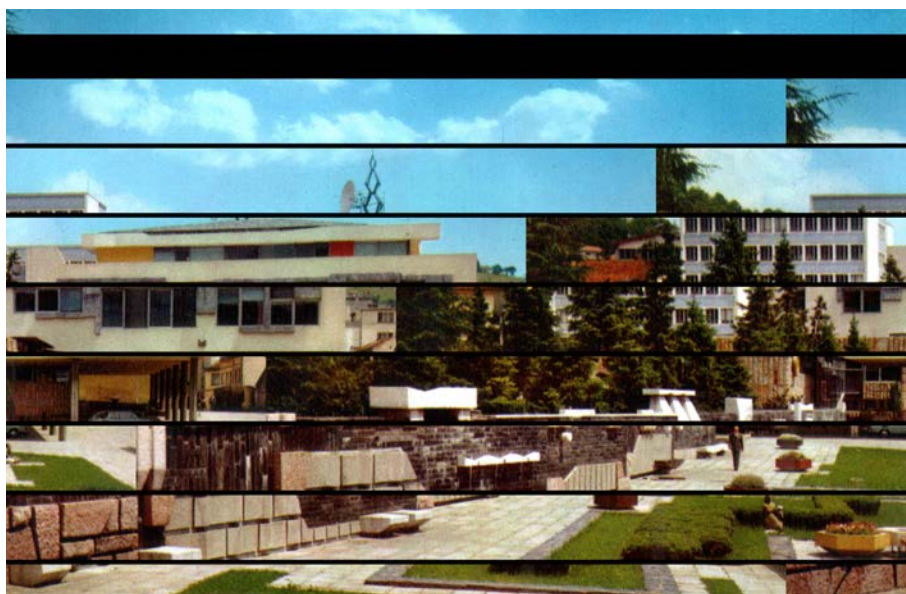
*Slika 03. Narodno pozorište, odnos bronzane figure i fasade-panoa
(1961)*

Kao poseban akcenat, u gornjoj zoni kompozicije koja se ne sagledava iz pešačke pespektive, nalazi se volumen za potrebe scene. Kako bi se razbio utisak velikog volumena i ova forma je podeljena na četiri manje celine ivicama obrađenim pod uglom. Na južnoj fasadi ovog volumena, prema Trgu partizana, postavljen je sunčani sat koji je kasnije vizuelno sa trga zaklonjen (u ovom trenutku preraslim) visokim zelenilom.

Objekat J.P. Pošte (prvobitno Komande garnizona)

Ovaj objekat nalazi se na uglu kompleksa i sa trga vidljiv je samo iz severozapadnog dela platoa. Forma objekta Pošte je izuzetno razučena i prožima se sa prostorom trotoara, atrijuma i snažno je

vezana za teren. Kako je teren u padu prema jugu objekat se sastoji iz pravougaonog volumena (koji se nalazi u zemlji) na koga je oslonjen volumen sprata. Sa južne strane prizemlja sprat je oslonjen na kolonadu stubova formirajući dubok trem koji prekriva celu širinu trotoara, od objekta do kolovoza.



Slika 04. Trg partizana, objekat Pošta

Volumen sprata je dvoetažni kvader kvadratne osnove sa povučenim drugim spratom. U centru ovog objekta nalazi se atrijum kome je moguće pristupiti iz prostora prizemlja. Kako bi se naglasio oslonac visina sprata se povećava u zoni iznad trema, gde je oslonjena na stubove. Drugi sprat ima povučenu fasadu u odnosu na ravan prvog sprata i naglašenu strehu.

Objekat Kule

Ovaj volumen je komponovan tako da svi primenjeni elementi fasade naglašavaju vertikalnu objekta. Objekat je spratnosti Pr+Me+11 spratova. Volumen objekta je pravilan kvader koji je oslonjen na stubove postavljene u nivou prizemlja i mezanina. Na dve fasade okrenute prema trgu postavljene su kolonade koje se pružaju kroz dve etaže.

Kompozicija volumena i fasada objekata na Trgu Partizana u Užicu
(1961)



Slika 05. Pošta (Komanda divizije) i Kula (1963)

Fasada viših etaža je oblikovana tako da su u primarnoj fasadnoj obradi naglašene vertikale koje se pružaju kroz sve etaže do krova dok se u sekundarnoj fasadnoj obradi naglašavaju horizontale etaža koje se sastoje od dve trake izrađene u cementnom malteru u posebnoj, drugačijoj, obradi u odnosu na osnovnu ravan fasade.

Trake sa naglašenim pravougaonim poljima se kontinualno pružaju celim obimom kvadera objekta bivajući usklađene sa podnom i parapetnom linijom na terasama objekta. Osnovna ravan fasade ima obradu u ravno malterisanom materijalu sa pravougaonim poljima koja su postavljena uspravno. Po ivici terasa postavljeni su stupci koji se po četiri na svakoj strani objekta, odnosno po ivici i po sredini terase, pružaju celom visinom objekta nadvišavajući krovnu ravan sve do krovne ploče.

Na takav način je formirana prostorna rešetka ili skelet oko objekta koja je sa po dve horizontale na svakoj etaži učvršćena u prostorni sklop. Objekat ima pravilnu, simetričnu, ekonomski racionalnu, formu koja odaje smirenost i odsustvo dinamike i stvoren je snažan vizuelni kontrast objektima Pozorišta, Pošte i bloka Zapad koji su komponovani po drugačijim načelima.



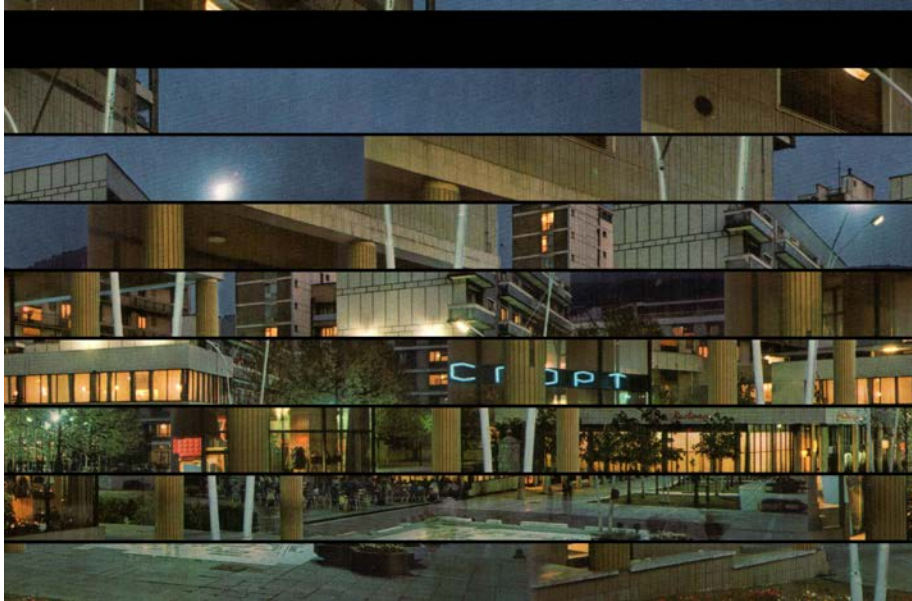
Slika 06. Trg partizana, objekat Kula

Objekat Gradske kafane

Forma gradske kafane je veoma jednostavna. Sastoji se od kvadera koji je uzdignut na stubovima nivo prvog sprata i oslonjen na kolonadu stubova kružnog poprečnog preseka. Deo prizemlja koji se nalazi u unutrašnjosti objekta zastakljen je kako bi se vizuelno što više naglasio utisak volumena sprata. Volumen sprata je prozorskom

Kompozicija volumena i fasada objekata na Trgu Partizana u Užicu
(1961)

trakom podeljen u tri zone: zonu parapeta, prozorskih otvora i zonu nadprozornika.



Slika 07. Trg partizana, Gradska kafana

Površine su obrađene u kamenu dok su prozorski otvori velike površine sa minimalno naglašenim prozorskim okvirima. Nasuprot objektu kule, koji se nalazi u neposrednoj blizini Gradske kafane, naglašena horizontala ovog objekta proizvodi ravnožu u prostoru.

Blok Istok i Bioskop

Objekat bioskopa se sastoji od kubusa sa akcentovanom horizontalom, postavljen na uzvišeno prizemlje koje prema ulici ima kolonadu sa jednakim interkolumnijama.

Volumen nije raščlanjen u manje celine već je kroz primenu naglašenih terasa (koje se nalaze ispred osnovne fasadne ravni) i naglašenih niša (koje se nalaze iza osnovne fasadne ravni), proizvedena potrebna vizuelna dinamika forme. Na pravilnu, ravnomernu, fenestraciju postavljen je niz terasa koje su sa naglašenim parapetom tako da horizontala, koja je na takav način stvorena, daje sekundarni ritam fasadi. U centralnom i bočnim

delovima fasade postavljene su niše koje razlažu osnovnu površinu fasade na više slojeva.



Slika 08. Trg partizana, objekat Bioskop

Karakteristično je da je u južnom delu objekta postavljena slepa niša koja treba da čini ravnotežu niši koja je zauzeta terasama na severu objekta, na naspramnom delu fasade.

Prizemlje, zajedno sa mezaninom, je povučeno u odnosu na glavnu fasadu tako da se forira trem koji je dovoljna zaštita od vremenskih uticaja za sve korisnike stambenog i poslovnog prostora u objektu.



Slika 09. Poslovno-stambeni blok sa bioskopom (1960)

Blok Jugoistok

Blok je napravljen među prvim na prostoru trga. Sadrži karakterističan trem koji je formiran po dužini obe fasade objekta. Na ovako formiran oslonac postavljen je volumen koji se proteže u visinu od pet spratova. Njega karakteriše oblikovanjem izdvojena najniža etaža i blok sa četiri ostale etaže koji se nalazi iznad. Najniža etaža je oblikovana u nizu vertikalnih masivnih brisoleja koje se u jednakom ritmu nižu celom dužinom fasade. Po ivici spratnog volumena nalazi se naglašena traka koja opasuje ceo objekat. Spratne četiri etaže su jednako obrađene. Fenestracija je u jednakom ritmu, sa ivičnom površinom koja je bez otvora. Kasnije će se te površine iskoristiti za postavljanje mozaika i reklamnih panoa.



Slika 10. Trg partizana, Blok Jugozapad

Trake sa prozorima su međusobno povezane u nivou jedne etaže, oblikovanjem fasade, u horizontalne celine. parapeti ispod prozorskih otvora su obrađeni u kontrastnoj boji dok je pretežna boja osnovne fasade bela. Na fasadi, osim niza na uglu objekta, nema niša niti delova fasade koji su obrađeni tako da su uvučeni u odnosu na osnovnu ravan fasade. U malom delu zapadne fasade postavljene su terase koje se protežu samo u delu objekta i to kroz tri etaže. objekat predstavlja oblikovnu celinu koja se razlikuje od ostalih objekata na Trgu partizana.

Objekat Robne kuće

Objekat Robne kuće ima izuzetno kompleksnu arhitektonsku i urbanističku poziciju. Nalazi se na uglu bloka Zapad prema glavnoj ulici, naslanja se na ulicu Dimitrija Tucovića veoma uskog profila i mora da bude vizuelni prelaz od bloka Zapad ka ulici i parteru trga. Topografija terena omogućava da se ne koristi samo prizemna etaža kao deo trga već i ostale etaže objekta. Zbog toga je kosom rampom funkcionalno povezan sa trgom.

Kompozicija volumena i fasada objekata na Trgu Partizana u Užicu
(1961)



Slika 11. Trg partizana, Robna kuća

Objekat je spratnosti Pr+2 sprata. Prizemlje je organizaciono veoma kompleksno rešeno. U okviru njega se nalazi trgovački prostor, trem kojim je pokriven trotoar, pasaž kojim se pristupa u centralni deo bloka Zapad, kosa rampa sa trga na prvi sprat objekta, široka terasa prema trgu i ulici Dimitrija Tucovića i to na dve etaže i poslovni prostor u prizemlju objekta u koji se pristupa sa platoa trga. Ovako složen program rešen je u veoma jednostavnoj formi koja se zasniva na dve etaže uzdignute na nivo prvog sprata koje su oslonjene na kolonadu okruglih stubova prizemlja.



Slika 12. Robna kuća „Progres“(1961)

Fasadna ravan sprata je složena od niza prelomljenih ravni koje se u jednakom ritmu nižu celom dužinom fasade. Prozorska traka prati formu parapeta i nadprozornika i karakteriše je jednostavna konstrukcija prozorskih nosača kako bi se što više naglasile površine pod staklom. Druga etaža ima povučenu fasadu i zasenčena je dubokom ravnom nadstrešnicom koja je oslonjena na stubove. Mada je projektovan kao samostalan objekat vizuelno je uklopljen u blok Zapad sa kojim čini jednu harmoničnu celinu.

Blok Zapad

Objekat bloka Zapad ima razuđen gabarit koji je rezultat prostornih i funkcionalnih zahteva projektnog zadatka. Glavni trakt se prostire u obliku ćiriličnog slova P dok je bočni trakt, duž ulice Strahinjića bana, u obliku pravilnog kvadera. Volumen je podeljen na dva celine: *celina prizemlja* i *celina viših etaža*. Kako je blok veoma kompleksno rešen najjednostavnije je da se sagledaju pojedinačne celine koje se zasnivaju na fasadama orjentisanim prema pojedinim ulicama.

Kompozicija volumena i fasada objekata na Trgu Partizana u Užicu
(1961)



Slika 13. Trg partizana, Blok Zapad

Istočna fasada: Spratni korpus objekta je obrađen kao jedan volumen koji je tačkasto oslonjen na tlo preko pravilno raspoređenih stubova. Da bi se naglasili oslonci u nivou prizemlja donja ivica fasade spratova je zupčasto ispuštena (stvarajući vizuelnu dinamiku arhitektonske kompozicije) prateći ritam stubova. Fenestracija spratova je ravnomerna i podeljena je u četiri prozorske osovine (grupe) sa po četiri otvora (od kojih su neki prozorski otvori a neki otvori lođa) i po jedna prozorska osovina postavljena po ivici kubusa. Otvori u jednoj etaži su međusobno obradom fasade povezani u horizontalne trake dok su unutar tako formiranog polja površine između prozora obrađene u kontrastno boji u odnosu na boju osnovne fasadne ravni. Da bi se naglasio volumen i razbila monotonija ravnih linija fasadna ravan na severostočnom delu objekta je blago prelomljena i sa nadvišenjem parapeta krove atike.



Slika 14. Blok Zapad, istočni izgled (1961)

Južna fasada se sastoji od fasadne ravni koja se pruža po dnu i po vrhu fasade dok se po bočnim ivicama pružaju uske trake koje su u istoj ravni i materijalu sa dvema horizontalama. Tako je formiran okvir u koji je smešten veliki broj raznorodnih formi, tekstura i boja. U okviru ovako definisanog polja prostor je podeljen u vertikalne trake pomoću lođa koje su duboko uvučene unutar osnovne fasadne ravni. Zidna polja između lođa su sa prozorskim otvorima i masivnim naglašenim zidnim platnom. Kao završetak ovako formirane šrafure pojavljuju se horizontalne trake u nivou međuspratne konstrukcije kojese pružaju celom širinom fasade. Kompoziciju završava povučena krovna ploča koja ravno završena ograničava krovnu površinu.

Zapadna fasada. Deo bloka pored ulice Strahinjića Bana ima najjednostavnije komponovanu fasadu. Osnovni kubus, kome je prizemlje i prvi sprat zaklonjen iza objekta robne kuće, je na uglovima prema glavnoj ulici nazubljen sa malim nišama terasa. U centralnom delu fasade prema Trgu partizana je formirana niša od dve lođe. Fenestracija je pravilna sa ravnomerno raspoređenim prozorskim otvorima. Jedina dekoracija u ravni fasade su horizontalne trake koje su postavljene u nivou međuspratne konstrukcije.

Dvorišna fasada je komponovana sa vertikalama stepeništa oko kojih su postavljene lođe stanova koji su vezani za nju. Prozorski otvori su ravnomerno raspoređeni po fasadnoj ravni. Fasada je ravno malterisana i na njoj nema nikakve dekoracije osim trka koje su formirane u nivou spratne ploče i obrađene su u istom materijalu kao i osnova ravan fasade.

3. ZAKLJUČAK

Trg partizana je složena urbanističko-arhitektonski kompleks koja se sastoji iz nekoliko celina oblikovanih od strane trojice arhitekata raznorodnog arhitektonskog rečnika i koncepcije. U kompleksu se izdvajaju celine koje je projektovao arhitekta Stanko Mandić: Celina 1 (Narodno pozorište, Narodna biblioteka, Pošta i Potporni zid), Celina 4 (Blok Zapad, Robna kuća), Celina 5 (Parter). Deo Trga partizana koji je projektovao arhitekta Milorad Pantović je u okviru Celine 2 (Kula, SDK, Blok Istok, Gradska kafana, Blok Bioskop). Treća grupa je u okviru Celine 3 (Blok Jugoistok). Trg partizana je projektovan i pretežno realizovan u periodu od 1958. do 1961. godine.

IZVORI

Istorijski arhiv Užice
Arhiv R. Poznanovića iz Užica
Arhiv M. Iskrina iz Užica

LITERATURA

[1] Mandić, S., (1959) *Gradski trg u Titovom Užicu, Funkcija i kompozicija arhitekture prostora – razmatranja, paralele, ogledi*, Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.

[2] Brkić, A, (1992) *Znakovi u kamenu, srpska moderna arhitektura 1930-1980*, Beograd: Savez arhitekata Srbije.

[3] Marković, Ž., Stanimirović, A., (1990) Kulturno-istorijsko spomeničko nasleđe Titovog Užica, *Užički zbornik*, broj 19, Titovo Užice: Narodni muzej Užice, str. 67.

POREKLO ILUSTRACIJA

Slika 01. Mandić, S., (1959) *Gradski centar u Titovom Užicu, Razmatranja, paralele i ogledi*, Beograd.

Slika 02-14. Arhiva R.Poznanovića i M. Iskrina iz Užica.

UDK: 72:929 Bartoš F.

FRANC (FRANJA) BARTOŠ – SRPSKI INŽENJER U 19. VEKU

Olivera Nikolić¹
Vladan Nikolić²
Biserka Marković³
Nemanja Petrović⁴
Predrag Lukić⁵

Rezime

U ovom radu biće izneti početni rezultati u istraživanju života i rada malo poznatog inženjera Franca Bartoša koji je u Srbiji boravio u poslednjim decenijama 19. i prvim decenijama 20. veka . Analizom istorijskih izvora došlo se do saznanja o profesionalnom kretanju inženjera i nekoliko projekata na kojima je radio. Franc Bartoš se u svom profesionalnom radu dokazao kao urbanista, arhitekta i inženjer o čemu će više reči biti u nastavku teksta.

Ključne reči: *Franc Bartoš, inženjer, Niš, Srbija, XIX vek*

¹ Olivera Nikolić, dipl. inž. arh., student doktorskih studija, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, o_milosavljevic@yahoo.com

² dr Vladan Nikolić, dipl. inž. arh., docent, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, vladan_nikolic@yahoo.com

³ Prof. dr Biserka Marković, dipl. inž. arh, redovni profesor, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Nišu, biserka.markovic@gaf.ni.ac.rs

⁴ Nemanja Petrović, master inž. arh., student doktorskih studija, asistent, Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, nemanja.maki.petrovic@gmail.com

⁵ Predrag Lukić, master inž. građ., student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

1. UVOD

Početak istraživanja o Francu Bartošu uslovljen je istraživanjem arhitekture bolnica sagrađenih u Srbiji u 19. veku i pronalaskom njegovog imena kao oca Božane Bartoš, jedne od prvih školovanih srpskih lekarki, rođene u Nišu, 22. juna 1886. godine, a koja je medicinu završila na univerzitetu u Parizu i Nansiju 1911. godine.[1] Daljim istraživanjem istorijskih izvora inženjer Bartoš spominje se i u putopisima Feliksa Kanica kao njegov vodič kroz Niš i okolinu. U dosadašnjem istraživanju nisu otkriveni lični podaci o Bartošu poput godine i mesta rođenja i smrti, osim da potiče iz ugledne češke porodice i da je u Srbiju stigao kako bi radio na beogradskom pristaništu. Praćenjem i proverom podataka koje o Bartošu zapisao Kanic sačinjena je lista projekata na kojima je Franc Bartoš radio u periodu od 1883. do 1893. godine.

2. PROJEKTI FRANCA BARTOŠA

Projekti na kojima radio Franc Bartoš prema vremenu i mestu realizacije razvrstani su u tri kategorije:

- Projekti od 1883. do preseljenja u Niš 1885.
- Projekti od 1885. do 1889. – vreme boravka u Nišu
- Projekti nakon 1889. – po preseljenju u Šabac

2.1. PROJEKTI DO 1884. godine

Franc Bartoš i njegova supruga Ernestina, stigli su u Srbiju 1883. godine, kako bi Franc kao kontraktualni (honorarni) okružni inženjer (IV klase) radio na izgradnji beogradskog pristaništa i pravio planove za izgradnju srpske železnice. [1]

Prvi projekat o kome su ostavljeni pisani tragovi, a na kome je radio inženjer Bartoš po dolasku u Srbiju je **projekat izgradnje pristaništa i keja u Smederevu**. U svojoj knjizi „Srbija, zemlja i stanovništvo“ Feliks Kanic, između ostalog beleži detaljan opis pristaništa: „...Kad se čuju stereotipne žalbe smederevskih trgovaca i prevoznika o opadanju poslova, mora se čestitati opštini što je, uprkos teškim vremenima, uspela da izgradi sasvim pristojno pristanište na Dunavu, kakvo Beograd ni danas još nema. Godine

1883. započet, i samo godinu dana kasnije završen, 220 metara dugi kej ima dva 7 metara visoka krila sa prilaznim stepenicama, kojima je stvoren poseban prostor za strane i domaće brodarske kompanije. Iskopano je 40000 kubika zemlje. Izvrsni kristalasti blokovi peščanika dobavljeni su iz kamenoloma preduzimača Bibela iz Oravice u Mađarskoj. Plan je izradio inženjer Bartoš, a radovi su izvršeni pod nadzorom gradskog inženjera Hesea uz utrošak pola miliona dinara...". Sto trideset godina kasnije pristanište i kej i dalje su u funkciji. [2]



Slika 1. Smederevski kej i pristanište oko 1900. godine

2.2. Projekti od 1885. do 1889. godine

Odlukom Ministarstva za građevinu, Franc Bartoš, inženjer 4. klase, upućen je u Niš 1885. godine da obavlja poslove okružnog inženjera. Na ovoj poziciji Bartoš je radio od 1885. do 1889. godine.

Franc Bartoš i Feliks Kanic u septembru 1889. godine putovali su zajedno od Niša prema jugu i jugoistoku zemlje. Bartoš je po preporuci načelnika Arsenovića bio Kanicov pratilac. Na osnovu Kanicovih beleški, Bartoš je u Nišu:

- projektovao i izgradio bolnicu

- trasirao i izgradio put od Gadžinog Hana kroz Barbešku dolinu do Zaplanjske Toponice
- radio na proveri stabilnosti građevinskih konstrukcija i izdavao naloge za njihovu sanaciju ili rušenje
- radio na izgradnji ulica u Nišu prema regulacionom planu inženjera Ivana Kozlića

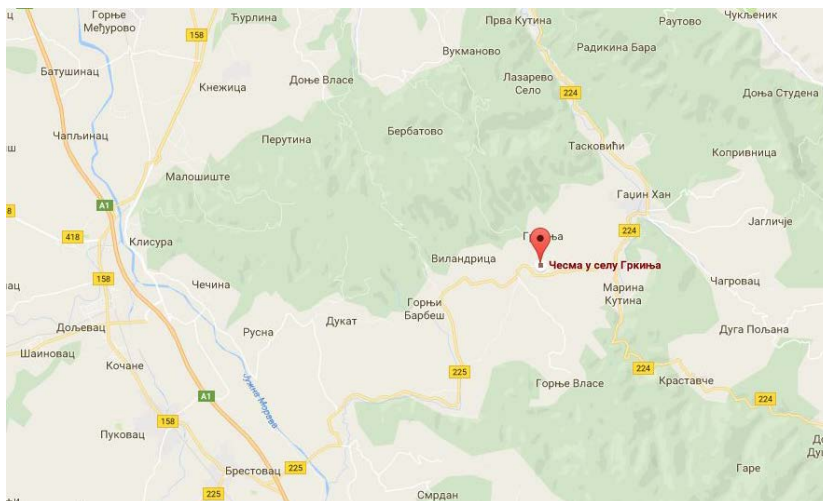
2.2.1. Projekat bolnice

U poglavlju VI - *GRAD I TVRĐAVA NIŠ*, Kanic u svojim putopisima opisuje građevine koje su u Nišu sagrađene po oslobođenju od Turaka i u jednom delu navodi sledeće: “... *udaljena petnaestak minuta od severozapadnog tvrđavskog reiona, jedna bolnica pod pokroviteljstvom Crvenog krsta, projektovana po uzoru na budimpeštanski paviljonski kompleks »Carica Elizabeta«, koju je inženjer Bartoš završio 1888. godine*”. [2]

Proveravajući Kanicove navode jer je posebno zbunjujuće učešće Crvenog Krsta u projektu izgradnje bolnice, otkriven je tekst u Niškim novinama od 27. marta 1886. godine u kom se navodi da Srpsko društvo Crvenog krsta namerava da u Nišu podigne „jednu veliku zgradu za smeštaj dveju sanitetskih kolona sa 32 kola i magazin za depo bolničkih stvari. Ovu zgradu misle tako da udese, da se na slučaj rata može odmah upotrebiti kao velika i udesna bolnica sa svim prostorijama bez kojih jedna uređena bolnica ne može biti.” [3] U izvorima se dalje pronalazi da su radovi na izgradnji Doma Crvenog krsta u Nišu otpočeli u maju, a da su završeni oktobra 1887. godine. Dom se nalazio nedaleko od zgrade železničke stanice na Crvenom krstu i po njemu je, zapravo, čitav ovaj kraj i dobio ime. Lokacija Doma poklapa se sa Kanicovim opisom da se bolnica nalazi na petnaest minuta od severozapadnog reona Tvrđave. Dom se sastojao od dve zgrade od kojih je jedna bila sagrađena od tvrdog materijala, a druga, verovatno baraka za skladištenje medicinskog materijala, od drveta. [4] U literaturi se, takođe, pronalazi i podatak da je kasnije u sklopu ovog kompleksa podignuta bolnica i magacin sanitetskih kola. Čitav ovaj kompleks, porušen je u vreme okupacije Niša u Prvom svetskom ratu. Ne može se pouzdano tvrditi da li je inženjer Bartoš projektovao zgradu Doma, a da je Kanic naziva bolnicom ili kasnije sagrađenu bolnicu unutar kompleksa. Nedostatak fotografija kao i tehničke dokumentacija po kojoj je kompleks izveden otežavaju preciznije i detaljniji opis zgrade.

2.2.2. Projekat puta od Gadžinog Hana kroz Barbešku dolinu

Podstaknuta željom kralja Milana da lakše stigne u svoja lovišta na Babičkoj gori, u 1889. godini obnovljena je trasa puta od Gadžinog Hana kroz Barbešku dolinu, čime su oblasti južne Seličevice i severne Babičke povezane sa niškom prugom, sa jedne strane i putem Niš-Leskovac, sa druge strane. Po beleškama Feliksa Kanica izgradnju puta vodio je inženjer Franc Bartoš i po njegovom mišljenju put je odlično izveden. „*On ide preko Grkinja, po škriljasto-peščarskom terenu, pravi veliku okuku prema severozapadu kod Vilandrice, pa prolazeći istočno od crkve Sv. Petra i Pavla u Gornjem Barbešu (osvećene 1858) u velikom luku niz Barbešku reku stiže do Donjeg Barbeša, da bi preko Toponice izbio na Moravu i kod čečinskog mosta, obnovljenog 1889, izišao na put Niš-Leskovac.*” [2]



Slika 2. Trasa puta kroz od Gadžinog hana kroz Barbešku dolinu

2.3. PROJEKTI NAKON 1889. GODINE

Po odluci Ministarstva građevine, Franc Bartoš se sa porodicom, krajem 1889. ili početkom 1890. godine, seli u Šabac kako bi obavljao poslove inženjera 3. klase. U Istorijskom arhivu Šabca nalazi se dokument o njegovom radnom angažovanju. Na osnovu informacije da je Božana Bartoš gimnaziju završila u Šabcu, može se pretpostaviti da se porodica Bartoš u tom gradu zadržala bar desetak godina.

Nije poznato na kojim projektima je inženjer Bartoš radio za vreme svog boravka u Šabcu, na teritoriji ovog grada, ali se u monografiji Vlasotince i okolina u ratovima i revoluciji od 1903-1945, navodi podatak da je 1893. godine Vlasotince dobilo urbanistički plan koji je izradio inženjer Bartoš, a koji je realizovan tek 1922. godine. [5]

3. ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati početnih istraživanja o profesionalnom radu inženjera Bartoša ukazuju na svestranost u radu inženjera XIX veka i ogledaju se u poznavanju konstrukcije, projektovanja, planiranja, izgradnje. Mali broj sačuvane tehničke dokumentacije iz pomenutog perioda otežava kreiranje liste projektovanih i izvedenih objekata.

Dalji rad usmeren je na otkrivanje projekata na kojima je inženjer Bartoš radio za vreme svog boravka u Šabcu, kao i na pronalaženju živih potomaka koji bi mogli pomoći u otkrivanju biografskih podataka.

4. LITERATURA

- [1] Projekat Rastko[Online], Available:
<http://www.rastko.rs/rastko/delo/14083> [Accessed 23. septembar 2016]
- [2] Kanic F., "Srbija, zemlja i stanovništvo", Srpska književna zadruga, Beograd, 1989, str. 143, 167, 192.
- [3] Niške novine, br.25, Niš, 27. mart 1886, str. 1, čuvaju se u Narodnoj biblioteci Stevan Sremac, Niš
- [4] Stamenković Đ, "100 godina Crvenog krsta u Nišu 1878–1978" – neobjavljeni rukopis u Opštinskoj organizaciji Crvenog krsta u Nišu, Niš, 1980., str. 2o.
- [5] Grupa autora, "Vlasotince i okolina u ratovima i revoluciji od 1903-1945", Opštinski odbor SUBNOR-a, Vlasotince, 1979. str.18

UDK: 725.71"18/19"(497.11)

UGOSTITELJSKI OBJEKTI U SRBIJI 19. I 20. VEKA: GRADSKA KAFANA NA TRGU PARTIZANA U UŽICU (1961)

Duško Kuzović¹

Abstrakt:

Gradska kafana na Trgu partizana u Užicu je površinom i zapreminom mali volumen ali zahvaljujući arhitektonskom oblikovanju i savršenim proporcijama prema okolnim objektima i javnim površinama predstavlja uticajan objekat. Gradska kafana se nalazi u istočnom delu trga koji je projektovao arhitekta Milorad Pantović. Objekat je spratnosti prizemlje i sprat i prema gabaritima je najmanji objekat u Kompleksu. Pristup oblikovanju arhitekta se zasniva na težnji da se kroz sve elemente oblikovanja naglašava prostornost i volumen a ne masa i težina materijala (kao na objektima u arhitektonskoj liniji preko puta). Sprat objekta je modelovan kao volumen koji je postavljen na stubovima u prizemlju koji dominiraju u liku prizemlja. U prizemlju dominantni utisak stvara kolonada stubova koja se pruža ispred ravni fasade koja zatvara volumen. Stubovi su okruglog poprečnog preseka i prate osnovi ritam armirano-betonskog skeleta koji nosi objekat. Objekat je zahvaljujući svojoj funkciji, jer je veoma dugo bio jedini ugostiteljski objekat na trgu, ali i savršeno oblikovanom formom jedan od najmarkantnijih objekata u okviru kompleksa Trga partizana. Izuzetnim arhitektonskim rešenjima objekat predstavlja važan dokument istorije arhitekture Srbije.

Ključne reči: *Gradska kafana na Trgu partizana, Trg partizana u Užicu, Milorad Pantović, Arhitektura Moderne u Srbiji, Učenici Le Korbizjea u Srbiji.*

¹ Assist.Prof.Dr. Duško Kuzović dipl.eng.arch.
Faculty of Architecture
Eastern Mediterranean University
TRN Cyprus

1. UVOD

Gradska kafana na Trgu partizana u Užicu je objekat koji je mali po površini i po volumenu. Takođe, po kvalitetu arhitektonskog oblikovanja i po savršeno određenom odnosu prema okolnim objektima i javnom prostoru koji se nalazi oko objekta Gradska kafana je najmarkantniji objekat koji ostaje najduže u sećanju posetilaca.

Pored toga, neizbežna navika stanovništva da se najveći deo javnog života odvija baš u kafanama i zahvaljujući tome što je dugo bio jedini ugostiteljski objekat na najvažnijem trgu u Užicu Gradska kafana je postala središte gradskog života.

Na osnovu navedenog potrebno je analizirati arhitektonska rešenja koja su primenjena u ovom objektu.

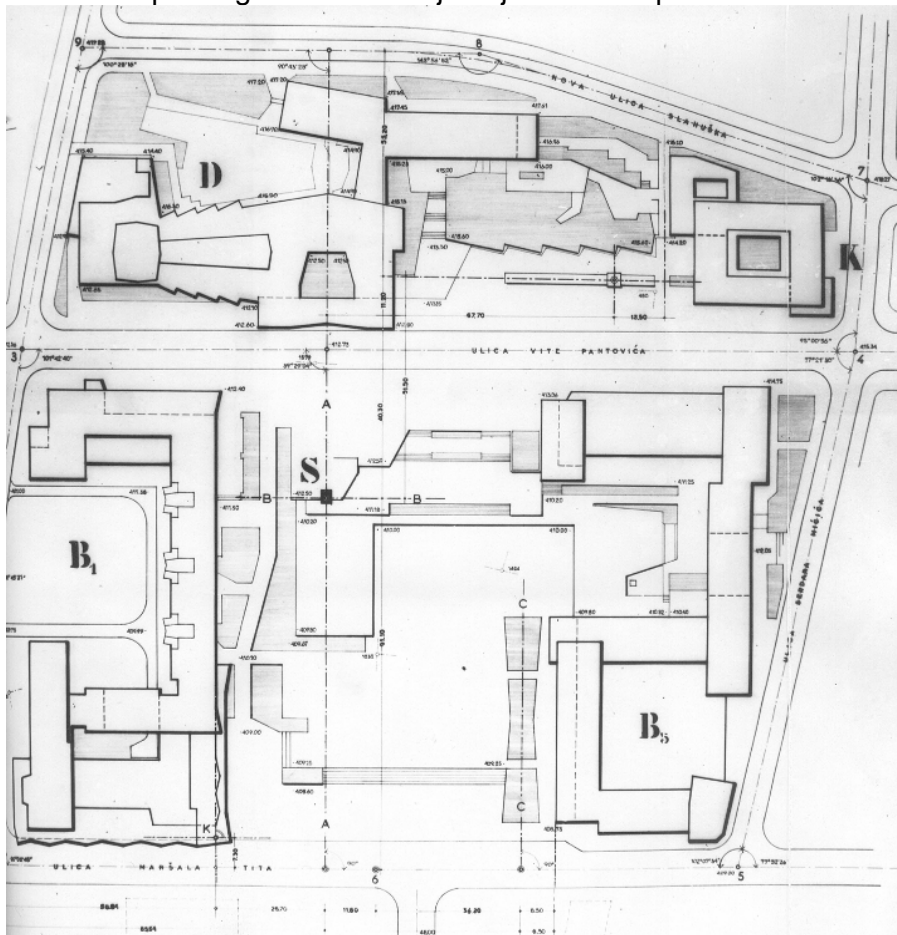


Slika 01. Gradska kafana: stanje 1961. godine (1961)

2. DOKUMENTACIJA

Lokacija

Objekat Gradske kafane na Trgu partizana se nalazi u istočnom delu Trga partizana neposredno do poslovno-stambenog objekta sa biokopom označenog kao objekat A. Orjenisan je dužom stranom ka prostoru Lipov sad dok je kraćom stranom orjentisan ka površini Trga partizana. Sa severne strane objekta se nalazi javna površina približno kvadratne osnove gde dužinu južne stranice tog malog trga zatvara objekat Gradske kafane. Prema zapadu objekat je neznatno ispred građevinske linije objekta bioskopa.



Slika 02. Gradska kafana: situacija (1961)

Imajući u vidu visinu Gradske kafane u odnosu na okolne objekte nameće se utisak da je svrha takvog oblikovanja namera da se akcentuje objekat u urbanističkoj okolini.

Sa severne strane površina javnog trga je popločana a u neposrednoj blizini Gradske kafane nalazi mala fontana koja asocira na stare užičke česme i u isto vreme stvara šum vode koji se verovatno dobro čuo u vremenu kada je otvoren (zahvaljujući neuporedivo manjem nivou buge u okolnoj sredini). Sa zapadne strane se nalazi zelena površina koja se pruža pored toga celom dužinom duže fasade objekta bioskopa.

Takođe, sa zapadne strane objekta prolazi pešačka staza koja se pruža od ulice Kralja Petra ka ulici Dimitrija Tucovića tako da objekat Gradske kafane služi kao uvodni motiv za prihvat pešaka koji produžuju dalje u trem ispred bioskopa. Nasuprot bučnoj i prometnoj stazi sa zapadne strane severna strana objekta je mirna te je i planom predviđena za letnju baštu koja se prostire oko pomenute fontane.



Slika 03. Gradska kafana: pogled na istočni deo Trga partizana (1961)

Spratni deo je po zidanim površinama obložen u kamenim pločicama dok je ostatak površine u staklu postavljenom u ramu od metalnih profila.

Podovi su obrađeni u kamenim pločicama, površine okruglih stubova i veštačkom mermeru, plafoni su obloženi u prerađevinama od drveta.

Objekat ima instalacije ventilacije postavljene u spušenom plafonu.



Slika 05. Gradska kafana tokom izgradnje (1960)

Oblikovanje objekta

Objekat gradske kafane je oblikovan u duhu Moderne prateći ideju koju je autor primenio na svim objektima koje je projektovao na prostoru Trga partizana. Naime, navedena koncepcija se sastoji u formiranju volumena na stubovima kako bi se stvorio utisak lebdenja. Kako bi se još više naglasila ova koncepcija fasadna ravan u prizemlju je povučena u odnosu na liniju stubova i uz to obrađena u staklu.

Volumen nema naglašene uglove niti osnovnu i završnu ravan i njega preseca po sredini traka prozora koja se pruža neposredno od ivica objekta, preko severozapadnog ugla do istočnog kraja objekta. Pri tome, prozorska traka ne dolazi do samog kraja objekta već se

Ugostiteljski objekti u Srbiji 19. i 20. veka: gradska kafana na Trgu
Partizana u Užicu (1961)

završava na izvesnoj udaljenosti od južne i istočne ivice. Prozorska traka se sastoji od staklenih površina koje su postavljene u metalni okvir koji se pruža celom visinom prozorskog otvora. Fasadna površina je obrađena u belim kamenim pločama dok su vertikalni i horizontalni okviri bojeni u crnoj boji. Prozorska traka koja prelazi preko ugla objekta je poznato rešenje iz arsenala Moderne baš sa namerom kako bi se akcentovao volumen, lakoća materijala i prostor koji se zahvata.



Slika 06. Gradska kafana tokom izgradnje (1961)

Stubovi u prizemlju su okruglog poprenog preseka i obloženi su kamenim pločicama svetlo oker boje. Volumen objekta u prizemlju je povučen u odnosu na ravan stubova, koji ujedno prati liniju fasadne ravni susednog objekta bioskopa. Ovako definisan volumen je pri tlu obrađen u kamenim pločicama u visini do 60 cm dok je ostatak visine obrađen u staklu koje je postavljeno u okvir od metalnih profila. Širina traka je jednaka širini traka na prozoru sprata dok je po visini polje podeljeno na dva dela.

U ovoj zoni metalni ram je obojen u crnu boju, kao i na spratu. Zanimljivo je da je širina traka ujednačena između stubova dok je u zoni stuba širina polja jednaka širini stuba (oko 40 cm). U prizemlju je stub ispred fasadne ravni i tu je lako i jednostavno uočljiv dok je u zoni sprata iza fasadne ravni ali je prisutan kroz asocijaciju na podeli prozorske trake.

Volumenom objekat je mali, u poređenju sa ostalim objektima na Trgu partizana. Međutim, funkcija koju obavlja kao i odnos u oblikovanju koji je stvorio prema okruženju ga je uvek držao u žiži pažnje javnosti.



Slika 07. Gradska kafana: enterijer (1961)

3. ZAKLJUČAK

Gradska kafana na Trgu partizana u Užicu je površinom i zapreminom mali volumen ali zahvaljujući arhitektonskom oblikovanju i savršenim proporcijama prema okonim objektima i javnim površinama predstavlja uticajan objekat. Gradska kafana se nalazi u istočnom delu trga koji je projektovao arhitekta Milorad Pantović.

Sa južne strane Gradske kafane nalazi se trem kroz koji se ulazi u bioskop dok sa istočne strane se naslanja na istočni blok. Sa severne strane objekat je orjentisan na Lipov sad a sa zapadne prema centralnom platou Trga partizana. Objekat je spratnosti prizemlje i sprat i prema gabaritima je najmanji objekat u Kompleksu.

Pristup oblikovanju arhitekta se zasniva na težnji da se kroz sve elemente oblikovanja naglašava prostornost i volumen a ne masa i težina materijala (kao na objektima u arhitektonskoj liniji preko puta).



Slika 08. Gradska kafana: severozapadni izgled noću (1961)

Sprat objekta je modelovan kao volumen koji je postavljen na stubovima u prizemlju koji dominiraju u liku prizemlja. Volumen sprata je veoma pedantna i negovana forma koja svim elementima pokazuje osnovnu nameru projektanta. Kako bi se pojačao utisak autor je u pažljivo odabranom proporijskom odnosu visine volumena postavio prozorsku traku koja se pruža kontinualno od južnog preko severnog do istočnog ugla objekta. Prozorska traka je malo uvučena u odnosu na ivicu kako bi se sačuvao osećaj volumena a ne presekao ga sa prozorskom trakom.

Površina zida je obrađena u belim kamenim pločicama dok je prozorska površina u staklu koje je postavljeno u ram od crnih metalnih profila čime je posebno naglašen raster prozora.

U zoni prozora koja se nalazi ispred stuba (jer na spratu su stubovi iza fasadne ravni) uobičajeni ritam prozorskih polja je poremećen tako da je ubačeno novo polje koje ima širinu koja je jednaka širini stuba u prizemlju. Njegova svrha je da naglasi ritam stubova koji je sakriven iza ravni fasade.

U prizemlju dominantni utisak stvara kolonada stubova koja se pruža ispred ravni fasade koja zatvara volumen. Stubovi su okruglog

poprečnog preseka i prate osnovi ritam armirano-betonskog skeleta koji nosi objekat. Na severnoj fasadi kolonada sa stubovima je neposredno uz objekat dok je na zapadnoj fasadi kolonada odmaknuta za širinu pešačkog prolaza koji se pruža celom dužinom istočnog fronta trga. Stubovi su obloženi kamenim pločicama svetlo oker boje. Volumen objekta u zoni prizemlja je obrađen u parapetnom zidu visine oko 60 cm u odnosu na završnu kotu terena koji je obložen u kamenim pločicama, kao i stubovi, dok je ostatak fasadne ravni u staklu koje je postavljeno u okvir od metalnih profila koji prati ritam vertikala kao i prozorska traka na spratu. I ovde je okvir naglašen bojenjem u crnu boju, kao i na spratu.



Slika 09. Gradska kafana: fontana i Opančarska česma na novom mestu (1961)

Objekat je zahvaljujući svojoj funkciji, jer je veoma dugo bio jedini ugostiteljski objekat na trgu, ali i savršeno oblikovanom formom jedan od najmarkantnijih objekata u okviru kompleksa Trga partizana. Izuzetnim arhitektonskim rešenjima objekat predstavlja važan dokument istorije arhitekture Srbije.

IZVORI

Istorijski arhiv Užice

Arhiv R. i M.Poznovića iz Užica

Arhiv M.Iskrina iz Užica

LITERATURA

Mandić, S., (1959) *Gradski trg u Titovom Užicu, Funkcija i kompozicija arhitekture prostora – razmatranja, paralele, ogledi*, Beograd.

Brkić, A., (1992) *Znakovi u kamenu, srpska moderna arhitektura 1930-1980*, Savez arhitekata Srbije, Beograd.

Marković, Ž., Stanimirović, A., (1990) *Kulturno-istorijsko spomeničko nasleđe Titovog Užica*, Užički zbornik, broj 19, Titovo Užice, str. 67.

POREKLO ILUSTRACIJA

Slika 02,04. Mandić, S., (1959) *Gradski trg u Titovom Užicu, Funkcija i kompozicija arhitekture prostora – razmatranja, paralele, ogledi*, Beograd.

Slika 01,03,05-09. Arhiv R. i M.Poznovića i M. Iskrina iz Užica

ALOKACIJA VODNIH RESURSA NA SLIVU

Marjan Mitić¹
Dragan Milićević²
Gordana Milentijević³
Ljiljana Anđelković⁴

Rezime

Analiza dinamičke alokacije vode, korisnicima sa različitim zahtevima u višenamenskim vodoprivrednim sistemima je izuzetno komplikovan proces, tako da se uspešno planiranje, posebno faza analize većeg broja alternativnih rešenja i izbor najpovoljnijeg rešenja u uslovima ograničenih vodnih resursa danas ne može izvršiti bez primene metoda sistemske analize i korišćenja računara. U ovom radu dat je prikaz osnovnih principa alokacije vode primenom sistema za podršku odlučivanju na slivu sa više korisnika i ograničenim vodnim resursima sa ciljem povećanja socijalnih i ekonomskih dobiti od bolje alokacije vode i njenog efikasnijeg korišćenja i ukazano je na njen izuzetan značaj na primeru severnog dela Kosova i Metohije.

Ključne reči: integralno upravljanje vodnim resursima, sistem podrške odlučivanju, zahtevi za vodom, alokacija vode

1. UVOD

Neadekvatno upravljanje vodnim i zemljišnim resursima dovelo je ljudsko zdravlje i održivi društveni i ekonomski razvoj u opasnosti. Povećanje ljudske populacije, eksplozivan rast urbanih centara, neodrživo korišćenje prirodnih resursa, nekontrolisana industrijalizacija, sve veća potražnja za vodom za proizvodnju hrane i sve veće zagađenje zivotne sredine doveli su do progresivnog smanjenja i

¹ Mr Marjan Mitić, asistent, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici

² dr Dragan Milićević, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ dr Gordana Milentijević, vanredni profesor, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici

⁴ dr Ljiljana Anđelković, docent, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici

degradacije resursa slatke vode. Mnogi od problema u sektoru snabdevanja pijaćom vodom i kanaliziranja povezani su sa neadekvatnim upravljanjem vodnim resursima. Da bi se obezbedilo održivo snabdevanje pijaćom vodom, neophodna je zajednička akcija na svim frontovima, uključujući i poljoprivredu, šumarstvo, industriju, saobraćaj, urbano i prostorno planiranje, planiranje stanovništva i električne energije. Da bi se sprečilo dalje osiromašenje i degradacija resursa slatke vode, na brojnim značajnim konferencijama održanim devedesetih godina prošlog veka, promovisan je novi pristup upravljanju vodnim resursima poznat kao integralno upravljanje vodnim resursima (IWRM). Ove konferencije su deklarirale postojeće sektorski orijentisane prakse upravljanja vodnim resursima kao neodržive iz ekonomske i ekološke perspektive i uspostavili su principe i preporuke za integralno upravljanje vodnim resursima.

Cilj integralnog razvoja i upravljanja vodnim resursima jeste da se obezbedi optimalno i održivo korišćenje vodnih resursa za ekonomski i društveni razvoj, uz očuvanje i unapređenje ekoloških vrednosti životne sredine. Integralno upravljanje vodnim resursima je holistički pristup, koji promovise koordinirano razmatranje vodnih resursa, zemljišta i povezanih prirodnih resursa tokom razvoja ljudskog društva. Ono tretira slatkovodne resurse kao konačan i ranjiv resurs, koji je od suštinskog značaja za održavanje života ljudi i prirodnog okruženja i kao javno dobro koje ima društvenu i ekonomsku vrednost za međusobno suprostavljene korisnike.

Alokacija vode je ključna univerzalna funkcija integralnog upravljanja vodnim resursima i ona mora da se uradi na način koji ostvaruje ekonomsku efikasnost, socijalnu jednakost i ekološku održivost. Alokacija vode mora da bude ostvarena kao kompromis između prioriteta zainteresovanih strana, profitabilnosti i ekonomskih dobiti, pouzdanosti snabdevanja vodom, jednakosti i održivosti ekosistema. U ovom radu dat je prikaz osnovnih principa alokacije vode primenom sistema za podršku odlučivanju na slivu sa više korisnika i ograničenim vodnim resursima sa ciljem povećanja socijalnih i ekonomskih dobiti od bolje alokacije vode i njenog efikasnijeg korišćenja i ukazano je na njen izuzetan značaj na primeru severnog dela Kosova i Metohije.

2. ALOKACIJA VODNIH RESURSA NA SLIVU

Voda željenog kvaliteta je zajednički, često oskudan resurs, koji mora da se dodeli različitim sektorima i korisnicima uključujući vodosnabdevanje i kanaliziranje, navodnjavanje, industriju, energetiku, saobraćaj itd.

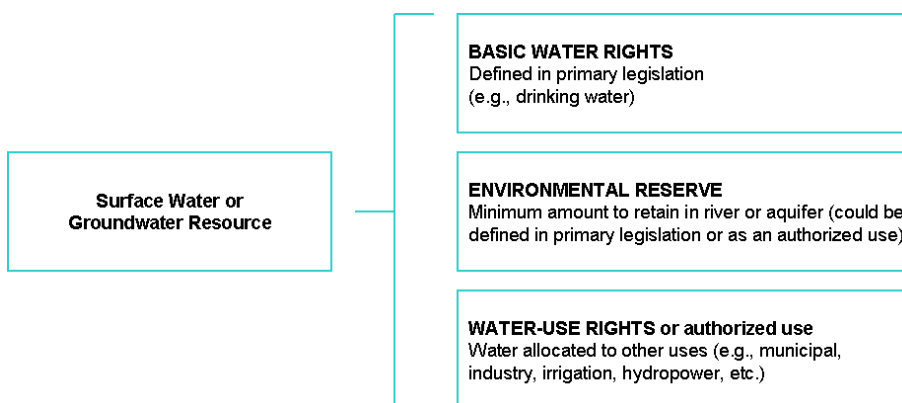
U dosadašnjoj praksi, upravljanje vodama je bilo fragmentirano između sektora i institucija i nije se vodilo mnogo računa o potencijalnim sukobima između društvenih, ekonomskih i ekoloških ciljeva i korisnika. Najčešće postoji više sektorskih agencija u čijoj nadležnosti je korišćenje vode, uključujući navodnjavanje, komunalno vodosnabdevanje, vodosnabdevanje ruralnih područja, energetiku i transport. Interakcija između ovih različitih sektora i potreba, iako su svi sastavni deo istog sistema, obično se ignoriše. Osim toga, u mnogim zemljama u kojima pojedine države i pokrajine imaju nadležnost nad vodom na njihovoj teritoriji, izvorišta vode se razvijaju bez razmatranja uticaja na druge države.

Obzirom da su resursi vode na slivu sve više iskorišćeni i da često nema dovoljno vode željenog kvaliteta da bi se zadovoljili svi zahtevi različitih korisnika, kao što su potrebe stanovništva, sanitacija, proizvodnja hrane, industrija, saobraćaj, energetika, itd. moraju se donositi odluke o tome kako će voda biti alocirana između korisnika vode i potreba koje se zahtevaju. Alokacija vode je ključna univerzalna funkcija upravljanja vodnim resursima, čiji je cilj da se maksimiziraju društvene koristi od vode. Društvene koristi se mogu klasifikovati kao ekonomske, socijalne i ekološke, svaka sa odgovarajućim principom - efikasnost, jednakost i održivost. Princip ekonomske efikasnosti podrazumeva bogatstvo koje može da se generiše na slivnom području od vodenih resursa, što zahteva, da prilikom odlučivanja kome će se alocirati voda, sektor koji generiše najveće dobiti ima prioritet. Princip socijalne jednakosti znači da svako ima fer mogućnosti za pristup vodnim resursima, što znači da voda za piće i sanitaciju treba da bude dostupna za sve uključujući i siromašne, koji ne mogu za to da plate. Princip održivosti daje značaj životnoj sredini kao korisniku vode, uz direktne i indirektno koristi za ljude i ekološki sistem.

Pod "alokacijom vode" podrazumeva se proces u kome se dostupni vodni resursi distribuiraju (ili redistribuiraju) legitimnim podnosiocima zahteva. Dobijena prava za korišćenje se izdaju, prenose, pregledavaju ili prilagođavaju kao "pravo na korišćenje vode". Prioriteti za alokaciju vode se mogu definisati zakonom ili putem strategije razvoja ili planiranja procesa.

Proces alokacije vode generiše niz prava na vodu koja regulišu korišćenje vode unutar sliva. Na slici 1. razlikuju se "osnovna" prava na vodu, koja su definisana zakonima za osnovne ljudske potrebe, od "alociranih" korisničkih prava na vodu o kojima se odlučuje kroz odgovarajući upravni postupak. Srednji red na slici predstavlja "rezervisanu" količinu vodnih resursa koja treba da se zadrži u vodotoku ili akviferu za ekološke i druge održive nizvodne potrebe.

Rezerve za zaštitu životne sredine, mogu biti definisane zakonski kao osnovno pravo ili se o njima odlučuje administrativno kroz proces planiranja vodnih resursa na slivu.



Slika 1. Prava na vodu, rezerve životne sredine i korisnička prava na vodu [1]

Osnovna prava na vodu generalno iznose veoma mali procenat od ukupnih vodnih resursa, dok su korisnička prava za opštinske i industrijske potrebe ili potrebe za navodnjavanje daleko veća. U većini zemalja, poljoprivreda je najveći korisnik vode i može da dostigne i do 90% ukupne količine iskorišćene vode.

Da bi sistem alokacije vode mogao uspešno da funkcioniše, trebalo bi svi korisnici vode (ili barem glavni korisnici) da budu identifikovani i registrovani zajedno sa njihovim ugovorenim učešćem u vodi koja se alocira za korišćenje ili čuvanje (i uslovima koji dolaze sa alokacijom), kroz uspostavljeni sistem dozvola za potrebe sprovođenja i praćenja sistema alokacije vode.

Okvir za implementaciju sistema alokacije vode sastoji se od tri nivoa, koji su prikazani na slici 2.

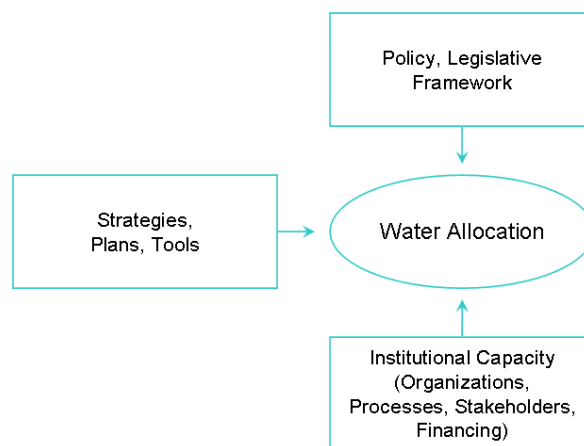
Nivo politike i zakonodavnog okvira obuhvata osnovne zakone i podzakonske propise, uredbe i administrativne naredbe potrebne za implementaciju i specifikaciju voda za čije korišćenje su potrebne dozvole, prioriteta koje treba pratiti u raspodeli, sa naglaskom na osnovne potrebe i razmatranje potreba zaštite životne sredine, prioriteta u uslovima suše i procedura da se osigura transparentnost konsultacija i odgovornosti.

Drugi nivo, koji grupiše strategije, planove i alate, obuhvata tehničke smernice potrebne da se podrži donošenje odluka o aplikaciji licenci, kao što su hidrološke baze podataka, bilans voda, profili i

Alokacija vodnih resursa na slivu

registri korištenja voda, planovi za sliv, sektorske strategije, strateške procene životne sredine i procene rizika i alate za podršku odlučivanju.

Treći nivo je institucionalni kapacitet koji predstavlja sposobnost organizacija i zainteresovanih strana da uspešno implementiraju politiku i strategije za sliv. Prema svetskim iskustvima vodoprivredna organizacija u čijoj nadležnosti je rečni sliv može presudno pomoći da se izbegnu i reše problemi na slivu i izgradi podsticajna sredine za integralno upravljanje vodnim resursima, uključujući i prava na vodu i alokaciju vode.



Slika 2. Okvir za implementaciju sistema alokacije vode [1]

Alokacija vode na slivu se bazira na činjenici da bilo koji oblik apstrakcije, prenosa, skladištenja i drugih uticaja na prirodni protok ima efekte na čitav nizvodni sistem vodotoka i vodnih resursa. Zato institucije u čijoj su nadležnosti vodni resursi moraju izvršiti analizu sistema, da bi se razumeo ceo sliv uključujući i povezane podzemne vode i kako alokacija vode utiče na živote i privredne aktivnosti na slivu i obrnuto. Važno je da se alokacija vode izvrši na osnovu njene dostupnosti i zahteva definisanih na osnovu tekućih i planiranih socio-ekonomskih dešavanja na slivu (kao što su rast stanovništva i rast potrošnje domaćinstva sa poboljšanjem sanitacije). Projekcije alokacije vode daju važan alat za planiranje prilagođavanja promenama u dostupnosti vode. Kroz ove analize je neophodno izvršiti i procenu zahteva za vodom životne sredine kako bi se rezervisao minimalni protok za održavanje ekosistemskih usluga (uključujući prečišćavanje vode i aktuelni kontinuirani tok čiste vode).

Treba napomenuti da postoje jasne veze između kvaliteta vode i njene dostupnosti i da se sa povećanjem zagađenja intenzivira

pritisak na izvore vode. Zbog toga su očuvanje i zaštita vodnih resursa i sliva od suštinskog značaja. Degradacija vodnih resursa može imati neposredan i ozbiljan uticaj na vodosnabdevanje korisnika i može dovesti do neadekvatnih performansi sistema za vodosnabdevanje zbog problema zagađenja i istaložavanja ili do napuštanja sistema zbog presušivanja izvora vode. Ovo može uticati na zdravlje korisnika, ali može uključivati i značajne ekonomske gubitke.

Neophodno je da se integralni razvoj i upravljanje vodnim resursima bore protiv oskudica vode i povećanja zagađenja vodnih resursa. Metode uključuju čuvanje i ponovno korišćenje vode, sakupljanje vode, mere kontrole zagađenja i upravljanje otpadnim vodama. Odgovarajuća mešavina zakona, politike cena i prinudnih mera je od suštinskog značaja za optimizaciju očuvanja vodnih resursa i njihovu alokaciju zainteresovanim korisnicima.

3. ALATI ZA ALOKACIJU VODNIH RESURSA NA SLIVU

Primena kompjuterski zasnovanih alata za simulaciju i optimizaciju sistema i prirodnih pojava u cilju oponašanja, a time i praćenja, upravljanja i predviđanja neizvesnih performansi sistema koji će funkcionisati u skladu sa ljudskim potrebama i očuvanjem životne sredine postaje sve šira u savremenom svetu u različitim oblastima, pa i u oblasti upravljanja vodnim resursima.

Dugoročno planiranje i gazdovanje složenim vodoprivrednim sistemima na nivou rečnog sliva u savremenim uslovima praktično je nezamislivo bez upotrebe dve osnovne klase pristupa i pripadajućih modela: simulacije i optimizacije. U planiranju vodoprivrednih sistema za ispitivanje alternativnih rešenja u skladu sa predhodno definisanim skupom pravila za alokaciju vode i rad infrastrukture, prvi, simulacioni pristup, se koristi za prikaz i analizu posledica određenih mera u ispitivanom alternativnom rešenju, dok se drugi, optimizacioni pristup, koristi za određivanje optimalnih rešenja alokacije i infrastrukture u odnosu na unapred zadate kriterijumske funkcije i prateća ograničenja. Kada su u pitanju multikriterijumski optimizacioni pristupi za odlučivanje o alokaciji vode, kriterijumi se uspostavljaju na osnovu sledećih pitanja: davanje prioriteta zainteresovanim stranama, profitabilnost i ekonomski prihodi, pouzdanost snabdevanja, dobit i održivost ekosistema.

Da bi se pomoglo menadžerima za upravljanje vodnim resursima u procesu alokacije vode, razvijeni su alati za podršku odlučivanju koji mogu da generišu moguće ishode različitih scenarija dostupnosti i alokacije vode. Scenariji se rangiraju i kao takvi

predstavljaju ulaz za donošenje odluka od strane menadžera i institucija u čijoj nadležnosti je upravljanje vodama.

Uprkos burnom razvoju tehnologija za podršku odlučivanju, klasični modeli za simulaciju i optimizaciju ostaju u srcu većine sistema za podršku odlučivanju (DSS) za upravljanje vodnim resursima.

Modeli za alokaciju vodnih resursa treba da obezbede alokaciju raspoloživih resursa između različitih korisnika sa različitim zahtevima. Oni su od ključnog značaja u složenim sistemima sa različitim izvorima vode i konkurentnim zahtevima, gde rezolucija problema alokacije nije trivijalna. Zahvaljujući svojoj fizičkoj konfiguraciji, sistem vodnih resursa sa različitim korisnicima vode na slivu može biti predstavljen mrežom čvorova i linkova sa određenim karakteristikama, pa se za rešavanje problema alokaciju vode mogu primeniti modeli linearnog programiranja i modeli mrežnog protoka, koji se mogu koristiti i za simulaciju i za optimizaciju problema alokacije vodnih resursa.

Algoritam mrežnog protoka je kompjuterski efikasnija verzija algoritma linearnog programiranja. Uobičajena formulacija problema glasi:

$$\begin{aligned} & \text{Minimise } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \\ & \text{Subject to } \sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{k=1}^m x_{ki} = 0 \quad i = 1, \dots, m \\ & l_{ij} \leq x_{ij} \leq u_{ij} \quad i, j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

gde x_{ij} predstavlja protok između čvorova i i j , c_{ij} predstavlja troškove transporta jedinice protoka, l_{ij} je minimalni protok kroz link ij , a u_{ij} je maksimalni protok kroz isti link.

Problem mrežnog protoka može da se reši konvencionalnim algoritmom linearnog programiranja. Međutim, specijalizovani softverski paketi bazirani na modelu mrežnog protoka omogućavaju korišćenje efikasnijih algoritama koji značajno smanjuju vreme proračuna i omogućavaju proučavanje većih problema sa više varijabli i ograničenja.

Mnogi aplikacije koje koriste različite verzije algoritma mrežnog protoka se mogu naći, poput EMNET (Sun et. al., 1995), AQUATOOL (Andreu et. al., 1996), HEC-PRM (U.S. Army Corps of Engineers, 1991, cited Lund and Ferreira, 1996), MODSIM (Labadie, 1988. i

1995.) i ACQUANET (Porto et al., 2004). Navedeni softveri, imaju sličan koncept modeliranja i slične algoritme rešavanja problema, a različite interfejsne i većina se može besplatno preuzeti sa interneta.

Ovakve softverske aplikacije omogućavaju rešavanje problema upravljanja složenih vodoprivrednih sistema sa skladištenjem površinskih i podzemnih voda, transportom vode, veštačkim dopunjavanjem, elementima višekorisničke potrošnje i omogućavaju realno upravljanje mrežom preko modela. U procesu simulacije-optimizacije, strategija upravljanja vodama je definisana kroz pravila o radu koje definiše korisnik modela. Za svaki vremenski interval simulacije, algoritam mrežnog protoka određuje tokove u sistemu pokušavajući da zadovolji višestruke ciljeve: minimiziranje deficita, maksimalno prilagođavanje zapremine rezervoara ciljnim krivim i ciljevima proizvodnje hidroenergije. Rezultati modela uključuju evoluciju svih relevantnih varijabli za upravljanje vodama na mesečnom i godišnjem nivou (zahtevi snabdevanja, zapremine koja se nalazi u rezervoarima, proizvodnja hidroenergije, itd.), ranjivosti snabdevanja vodom kao i pouzdanosti "ekoloških tokova".

4. ALOKACIJA VODNIH RESURSA SEVERNOG DELA KOSOVA I METOHIJE

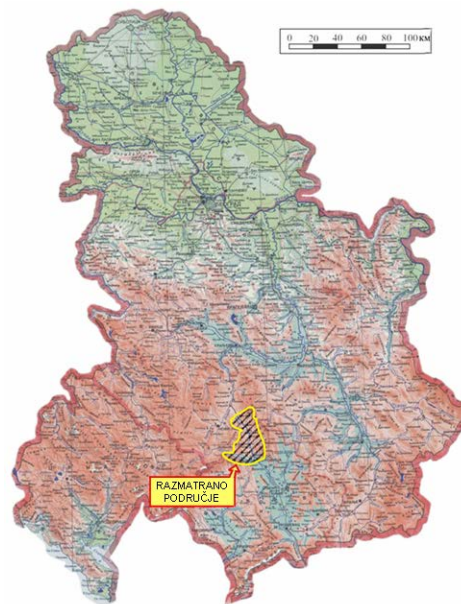
4.1. Opšti podaci o razmatranom području

Severno Kosovo je nezvanični naziv za region na severu Autonomne Pokrajine Kosovo i Metohija, pretežno naseljen Srbima, a koji je nakon albanskog proglašenja nezavisnosti ostao pod kontrolom Vlade Srbije. Prostor koji obuhvata oblast severnog Kosova i Metohije je površine od 1607,5 km², a zahvata opštine Zubin Potok (ukupne površine 334 km²), Kosovska Mitrovica (ukupne površine 335 km²), Zvečan (ukupne površine 126,5 km²) i Leposavić (ukupne površine 536 km²), gde trenutno, okvirno procenjeno, živi oko 80000 stanovnika. Geografski položaj severnog dela Kosova i Metohije prikazan je na slici 3.

Glavne saobraćajnice su: Kosovska Mitrovica - Zvečan-Zubin Potok - Ribarić-Tutin – Rožaje - Crnogorsko primorje, Kosovska Mitrovica – Zvečan – Leposavić - Raška, Zubin Potok – Ribarić - Novi Pazar, Zubin Potok – Bube – Rajetiće - Novi Pazar. Ostali putevi su seoski i loši, tako da za vreme obilnijih padavina mogu da budu i neprohodni za automobile.

U morfološkom pogledu severni deo Kosova i Metohije karakterišu planinski masivi Mokre planine (Berim, 1731), Suve planine (Radopolje, 1751), kao i delovi planinskog masiva Mokre gore (Pogled,

2154), Rogozne (Crni vrh, 1504) i južni i jugozapadni obronci Kopaonika (Pančićev vrh, 2017). Veći rečni tokovi koji prolaze terenima severnog dela Kosova i Metohije su Sitnica i Ibar.



Slika 3. Geografski položaj severnog dela Kosova i Metohije [2]

Morfološke, odnosno hipsometrijske karakteristike analiziranog terena uslovile su i njegove klimatske karakteristike. Klimatski režim je umereno–kontinentalni do planinski. Podaci za analizu klimatoloških i hidroloških parametara su raspoloživi uglavnom do 2000. godine. U poslednjih dvadeset godina, podaci ne postoje jer su po dolasku Misije međunarodne zajednice za Kosovo, gotovo sve postojeće klimatološke i hidrološke stanice prestale sa funkcionisanjem.

Pri analizi temepraturnog režima evidentan je uticaj planinskih masiva, na kojim se u najvišim predelima, tokom zime temperatura spušta i do -30°C . Srednja temperatura za posmatrano područje se kreće od $3,7^{\circ}\text{C}$ (KS Kopaonik) do $11,4^{\circ}\text{C}$ (KS Peć). Najhladniji mesec je januar sa srednjim temperaturama koje se kreću u rasponu od -4°C (KS Kopaonik) do 1°C (KS Peć), a najtopliji avgust sa srednjim temperaturama od 13°C (KS Kopaonik) do $22,1^{\circ}\text{C}$ (KS Peć).

Na posmatranom području postoji relativno mala oscilacija padavina tokom godine, odnosno padavine su dosta uniformno raspoređene po mesecima, što je veoma povoljno sa hidrogeološkog aspekta, jer stabilan režim padavina omogućava i stabilan režim

prihranjivanja podzemnih izdani. Prosečne visine padavina iznose od 625 – 850 mm, osim u planinskim delovima gde u proseku padne oko 1100 mm vodenog taloga. Po mesecima, najviše padavina izluči se u maju, junu i julu, u proseku preko 100 mm.

Uzani pojas doline Ibra, severno od Kosovske Mitrovice, koji se prostire od Lipljana (622 mm) do Leška (625 mm) spada u predele siromašne padavinama. Padine Kopaonika (Borčane 728 mm), niži delovi Ibarskog Kolašina (Brnjak 745 mm), niži delovi Novobrdске planinske oblasti (Bostane 735 mm) se svrstavaju u umereno vlažne predele koji godišnje primaju između 700 i 800 mm padavina.

Na Kopaoniku, Mokroj i Suvoj planini, kada su jake zime, broj dana sa snežnim pokrivačem ide i do 180, što značajno utiče na režim podzemnih voda.

4.2. Vodni resursi severnog dela Kosova i Metohije

Vodeni tokovi koji egzistuju na ovom terenu, pripadaju slivu Crnog mora, a najznačajniji su Ibar i njegova najveća pritoka Sitnica. Sliv reke Ibar ima relativno pravilan oblik, sa orijentacijom severozapad-jugoistok. Izvorišni deo Ibra pripada teritoriji jugoistočne Crne Gore. Ibar izvire na planini Hajli, iz kraškog vrela na 1360 m, a uliva se u Zapadnu Moravu kod Kraljeva. Ukupna površina sliva je 8.059 km², a na teritoriji Kosova i Metohije je 3.966 km² (49,2%). Dužina Ibra iznosi 272,25 km, a kroz Pokrajinu protiče u dužini od 104 km (38,2%). Visinska razlika između vrela i ušća Ibra iznosi 1176 m sa prosečnim padom od 4,32%.

U slivu Ibra, gustina rečne mreže nije velika i kreće se oko 500 m/km². Značajne desne pritoke Ibra su: Bukeljska reka, Bačka reka, Crna reka, Čečevska reka, Sitnica, Bistrica, Sočanska reka, Lepasavska reka, Drenska reka i Srpska Bistrica. Značajne leve pritoke su: Županica, Godulja, Vidrenjak, Paljevska reka Banjska reka Vučanska reka i Jošanička reka.

Na 24 km uzvodno od Kosovske Mitrovice na Ibru je izgrađena brana visine 107.5 m, koja je formirala veštačko jezero Gazivode. Akumulacija Gazivode ima maksimalnu dužinu od 24 km, površinu od 11,9 km² i minimalnu zapreminu 0.37 km³.

Srednji godišnji proticaj Ibra na ulivu u akumulaciju Gazivode, kod Ribarića iznosi $Q_{sr}=11,20 \text{ m}^3/\text{sec}$. Najveći srednji proticaj se javlja u aprilu i iznosi $Q=22,8 \text{ m}^3/\text{sec}$, a najmanji u avgustu i iznosi $Q=3,5$

m^3/sec . Dosada najveći zabeleženi proticaj Ibra na ulivu u akumulaciju Gazivode iznosio je $Q_{\text{aps.max.}}=353,20 \text{ m}^3/\text{sec}$, a najmanji $Q_{\text{aps.min.}}=0,40 \text{ m}^3/\text{sec}$. Hidrografska mreža na posmatranom području i akumulacija Gazivode prikazani su na karti (slika 4).

Kada su u pitanju podzemne vode može se reći da po perspektivnosti važno mesto zauzimaju ležišta izdanskih voda koja su formirana u kompleksu karstifikovanih karbonata planinskog masiva Mokre Gore. Značajna su i ležišta izdanskih voda u obimu izdani intergranularne poroznosti tj., zbijenog tipa izdani veće izdašnosti formiranog u okviru aluvijalnih naslaga reke Ibra, kao i njenih većih pritoka, što je veoma značajno, obzirom da je dobar deo stanovništva koncentrisan u naseljima lociranih duž doline Ibra. Neogeni sedimenti koji su istaloženi u Kosovsko-metohijskoj ravnici, čije debljine sedimenata su i do 1500 m (gde se smenjuju paketi vodopropusnih i vodonepropusnih sedimenata) na krajnjem severnom delu koji se razmatra u ovom radu, takođe mogu biti veoma značajni što se tiče koncentrisanog potencijala izdanskih voda. U okviru zbijenog tipa izdani manje izdašnosti formiranog u okviru neogenih i kvartarnih naslaga, odnosno fluvioglacialnih tvorevina, rečnih terasa, sipara i deluvijalno-proluvijalnih tvorevina, nema značajnih ležišta izdanskih voda koja bi se mogla koristiti u većem obimu za vodosnabdevanje. U ovoj oblasti veliko rasprostranjenje imaju pukotinski tip izdani, kao i uslovno "bezvodni" tereni. Na terenu je ustanovljeno, da se izdašnost izvora koji dreniraju pukotinsku izdan kreće od 0,01 do 1 l/s, dok se retko mogu sresti izvori većih izdašnosti. U ovoj oblasti za pukotinsku izdan vezane su pojave mineralnih i termomineralnih izvora, koje su veoma interesantni kako kao same pojave tako i za razvoj turizma u krajevima u kojima su konstatovani, odnosno mogu se koristiti kao tolotna energija, za flaširanje, kao lekovite vode i dr.

Analizom rezultata dosadašnjih istraživanja sa aspekta osmatranja režima podzemnih voda, kao i na osnovu rezultata dobijenim rekognosciranjem terena, zaključuje se da je režim podzemnih voda nedovoljno proučen i da se stacionarna osmatranja elemenata režima podzemnih voda ne vrše ni kod većine kaptiranih izvora podzemnih voda. Za potrebe izrade doktorske disertacije dr Gordane Milentijević [2] realizovana su terenska istraživanja sa ciljem evidentiranja svih značajnijih vodnih pojava/objekata na celokupnom istražnom prostoru-oblasti severnog dela Kosova i Metohije. U obzir su uzete sve važnije vodne pojave, pre svega izvori vode koji mogu biti značajni sa aspekta rešavanja problema vodosnabdevanja. Na osnovu podataka terenskih istraživanja izrađen je katastar vodnih pojava/izvora

i sve pojave su georeferencirane. Položaj svih registrovanih pojava/izvora prikazan je na karti (slika 4).

Ukupno su registrovana 92 izvora, minimalnog kapaciteta u rasponu od 0.067 l/s do 113 l/s. Ukupni minimalni kapacitet svih registrovanih izvora je 293.76 l/s i to: 21 kaptirani izvor ukupnog minimalnog kapaciteta 30.42 l/s, 68 izvora ukupnog minimalnog kapaciteta 251.34 l/s i 3 termomineralna izvora ukupnog minimalnog kapaciteta 12.00 l/s. Za dalju analizu je izdvojeno 50 izvora minimalnog kapaciteta većeg od 0.5 l/s, sa ukupnim minimalnim kapacitetom od 273.82 l/s. Zbog malih kapaciteta eksploatacija 39 izvora minimalnog kapaciteta manjeg od 0.5 l/s, sa ukupnim minimalnim kapacitetom od 7.94 l/s, ne bi bila ekonomski isplativa, a 3 preostala termomineralna izvora ukupnog minimalnog kapaciteta 12.00 l/s će se koristiti u balneoterapeutske svrhe.

4.3. Potrebe za vodom potrošača

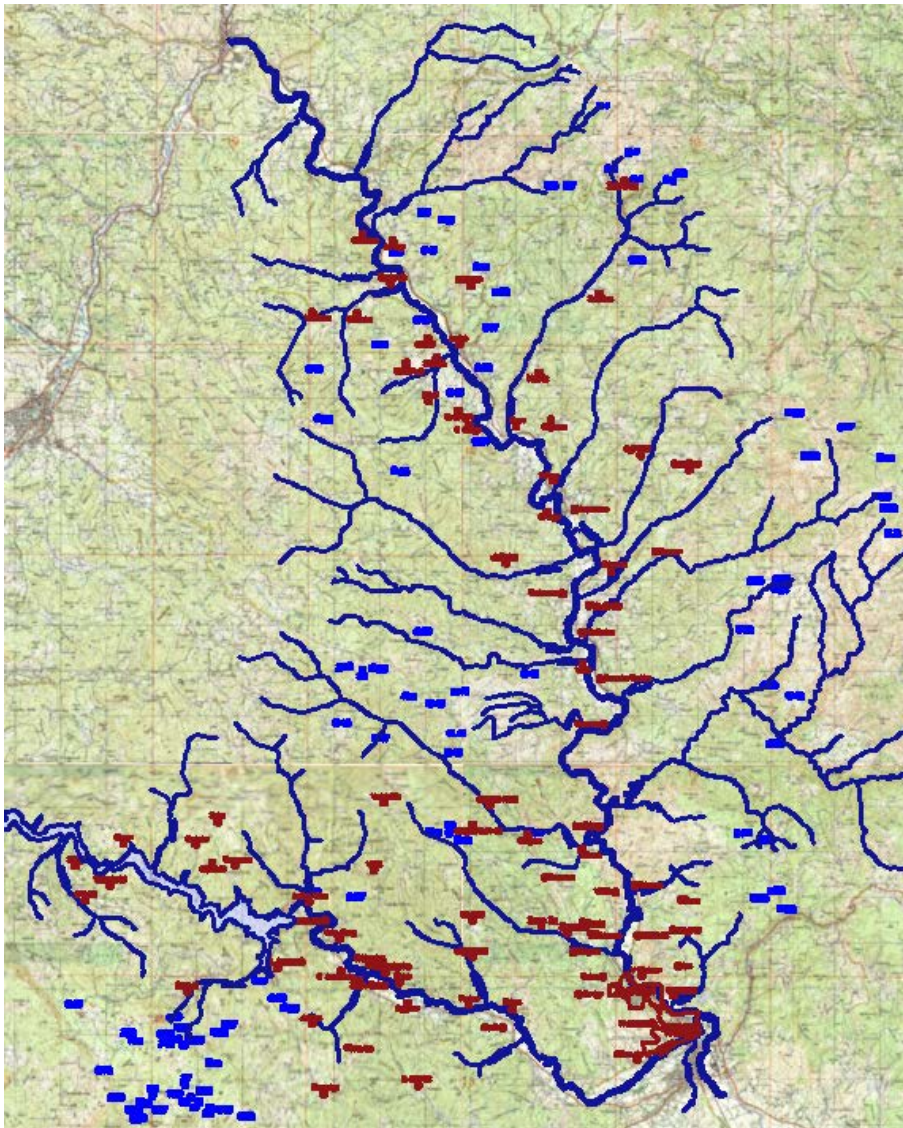
Na području severnog Kosova i Metohije prema procenama u 9 opština i mesnih zajednica danas živi 55170 stanovnika.

U proteklim decenijama krajem 20 veka stanovništvo na ovim prostorima je bilo zapošljeno u brojnim pogonima "Trepče" kao i u rudnicima Kopaoničke rudne oblasti. Poljoprivreda je bila podređena industrijalizaciji i gotovo da je zamirala, a najnižu tačku je dostigla devedesetih godina prošlog veka. Obradivo zemljište, njive, livade i pašnjaci su uglavnom u privatnom vlasništvu i poljoprivreda se nije razvijala zbog visokog životnog standarda stanovništva koje je bilo zaposleno u industriji. Stočarska proizvodnja je opala za gotovo 10 puta.

U poslednjih dvadesetak godina delatnosti stanovništva su se bitno promenile. U sadašnjim uslovima življenja, stanovništvo se preorjentalisalo na poslove drvoprerađivačke industrije, industrije hrane, na malu porodičnu proizvodnu delatnost, kao i zemljoradnju, stočarstvo i voćarstvo. Karakteristično za stanovništvo koje živi u brdsko-planinskom području ove oblasti je gajenje poljoprivredno-voćarskih kultura, kao i stočarenje, što je i ranije bilo njihovo opredeljenje. Dosta ljudi je orijentisano i na proizvodnju hrane kao i na manufakturnu proizvodnju i eksploataciju šuma.

Zbog nedostatka podataka idustrijski zahtevi za vodom nisu jasno definisani. Obzirom da se radi o malim industrijskim zahtevima (10-15 l/s) oni su uzete u obzir kroz potrebe za vodom naselja, preko povećane specifične potrošnje vode.

Sadašnje potrebe za vodom u naseljima na severu Kosova i Metohije su sračunate pod pretpostavkom da je specifična potrošnja vode $q_s=200$ l/st/dan i da su koeficijenti neravnomernosti dnevne potrošnje vode $K_1=1,5$ i časovne potrošnje vode $K_2=2.0$. Ukupne potrebe za vodom naselja i industrije za severni deo Kosova i Metohije procenjene su na $Q_{sr.dn} = 127.71$ l/s (11034.00 m³/dan), odnosno $Q_{max.dn.} = 191.56$ l/s (16551.00 m³/dan).



Slika 4. Karta vodnih resursa i korisnika vode severnog dela Kosova i Metohije [3]

4.4. Model alokacije vodnih resursa severnog dela Kosova

Za analizu alokacije raspoloživih vodnih resursa na severu Kosova i Metohije korišćen je programski paket MODSIM 8.3.2. MODSIM je razvijen na Colorado State University (CSU) sredinom 70-tih godina i korišćen je za simulacije funkcionisanja složenih vodoprivrednih sistema širom sveta.

MODSIM je deterministički model predviđen za višegodišnje analize na rečnom slivu i može da se koristi za planiranje na dnevnom, nedeljnom ili mesečnom nivou, najčešć na mesečnom nivou. Model se zasniva na realističnoj pretpostavci hidroloških i drugih vodnih inputa samo do mesec dana unapred, a alokacija vode u jednom mesecu optimizira se rigorozno po algoritmu iz klase specijalnih mrežnih algoritama linearnog programiranja.

Rezultati mesečnih optimizacija se nadovezuju jedan na drugi da bi se ostvario vremenski i prostorni kontinuitet u svim tokovima vode: alokaciji voda na korisnike, skladištenju vode u akumulacije, protocima u vodotocima (rekama i kanalima), tokovima na izlaznim profilima, ulazu i izlazu vode i dr. Model je u suštini globalno simulacioni, a lokalno optimizacioni.

MODSIM je organizovan kao sistem za podršku odlučivanju, sa grafičkim korisničkim interfejsom (GUI) koji omogućava korisnicima jednostavno interaktivno kreiranje toplogije modela sistema i unos podataka za sve elemente modela. Veoma efikasni algoritam optimizacije modela mrežnog protoka se izvršava automatski, a rezultati optimizacije se predstavljaju kroz tabelarne i korisne grafičke prikaze.

Za anлізу alokacije vodnih resursa na severu Kosova i Metohije na različite korisnike, koji su prikazani na slici 4., svi identifikovani korisnici vode su povezani sa raspoloživim vodnim resursima. Uspostavljanjem funkcionalne veze između korisnika vode i vodnih resursa, dobijena je funkcionalna šema alokacije vodnih resursa na severu Kosova i Metohije, koja je prikazana na slici 5.

Sistem raspoloživih vodnih resursa i korisnika vode na severu Kosova i Metohije je šematizovan korišćenjem sledećih elemenata: akumulacioni basen Gazivode prikazan je jednim *Reservoir* čvorom (crveni trougao), grananja u mreži prikazani su *NonStorage* čvorom (plavi krug) bez definisanog protoka, izvorišta vode prikazani su *NonStorage* čvorom (plavi krug) sa definisanim protokom, a potražaći vode su prikazani *Consumptive Demand* čvorom (ljubičasti kvadrat). Veze između čvorova modela su prikazane transmisionim linkovima sa strelicama čiji smer pokazuje tok vode.

Za definisanje scenarija za alokaciju vodnih resursa na severu Kosova i Metohije različitim korisnicima od ključnog značaja je analiza mogućnosti snabdevanja svih korisnika, samo iz akumulacije Gazivode, kao ekonomski prihvatljivijeg rešenja ili samo sa raspoloživih izvorišta podzemnih voda, kao najprihvatljivijeg alternativnog rešenja u slučaju gubitka celokupne ili delimične nadležnosti nad akumulacijom Gazivode, kako za sadašnje stanje potrošnje vode, tako i za buduće stanje povećane potrošnje u opštinama Kosovska Mitrovica i Zvečan i mesnoj zajednici Leposavić.

Za sadašnje stanje ukupna potrošnja svih korisnika je $Q_{sr,dn} = 127.71$ l/s (11034.00 m³/dan). Za buduće stanje uvedena je pretpostavka da će u narednih 25 godina zbog povećanja broja stanovnika (uglavnom zbog migracija sa sela u grad) i otvaranja novih industrijskih pogona potrošnja korisnika u opštinama Kosovska Mitrovica, Zvečan i mesnoj zajednici Leposavić biti povećana za 50% i da će iznositi $Q_{sr,dn} = 176.22$ l/s (15225.74 m³/dan).

U skladu sa ključnim pitanjima i raspoloživim podacima, usvojen je sledeći skup scenarija:

- Scenario 1 - Sadašnje stanje potrošnje vode - korisnicima se alociraju samo vode iz akumulacije Gazivode
- Scenario 2 - Sadašnje stanje potrošnje vode - korisnicima se alociraju samo podzemne vode iz raspoloživih izvorišta podzemnih voda
- Scenario 3 - Porasta potrošnje stanovništva i industrije za 50 % - korisnicima se alociraju samo vode iz akumulacije Gazivode
- Scenario 4 - Porasta potrošnje stanovništva i industrije za 50 % - korisnicima se alociraju samo podzemne vode iz raspoloživih izvorišta podzemnih voda
- Scenario 5 - Porasta potrošnje stanovništva i industrije za 50 % - korisnicima se alociraju podzemne vode iz raspoloživih izvorišta podzemnih voda i vode iz akumulacije Gazivode

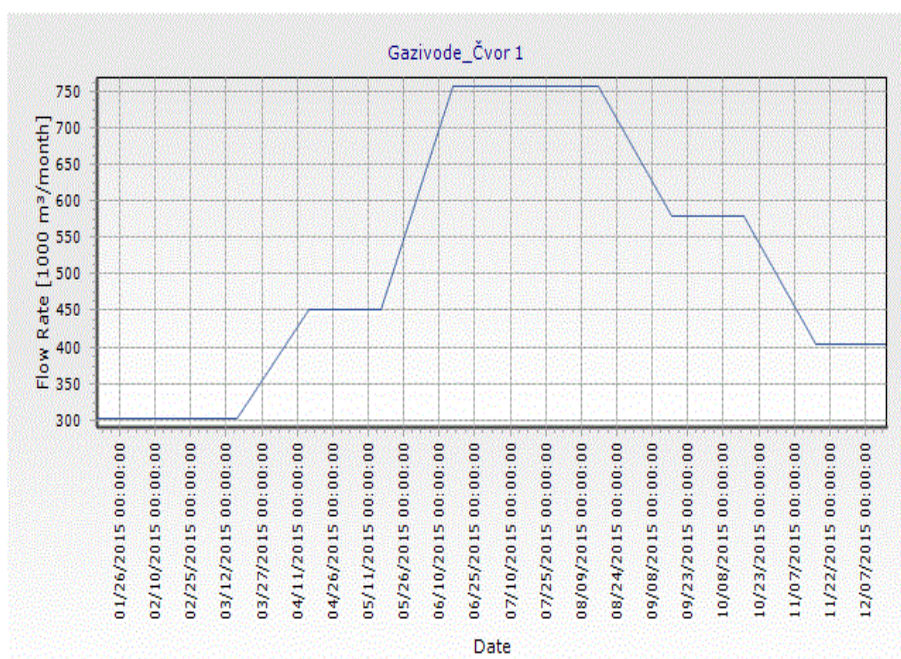
Za odgovarajuće scenarije, za sve elemente modela alokacije vode su uneti odgovarajući ulazni podaci i to: za akumulaciju Gazivode, odgovarajuće zapremine (minimalna i maksimalna aktivna zapremina, početna zapremina) i dotok u akumulaciju, za čvorove koji predstavljaju izvorišta vode, podaci o izdašnosti izvorišta, za čvorove koji predstavljaju potrošače zahevi za vodom i prioritet korišćenja vode na opštoj shemi i za linkove maksimalna propusna moć i jedinična cena transporta vode.

Za linkove, odnosno veze između čvorova je usvojena neograničena propusna moć, čime se omogućava simuliranje maksimalnog potrebnog protoka za zadovoljenje zahteva za vodom svih korisnika u sistemu. Jedinične cene transporta vode za pojedine linkove nisu uneti u model, zbog nedostatka podataka i prevazilaženja okvira ovog rada. Izvršena je optimizacija alokacije raspoloživih vodnih resursa samo sa aspekta količina vode, dok će optimizacija sa aspekta ekonomskih parametara biti predmet daljih istraživanja.

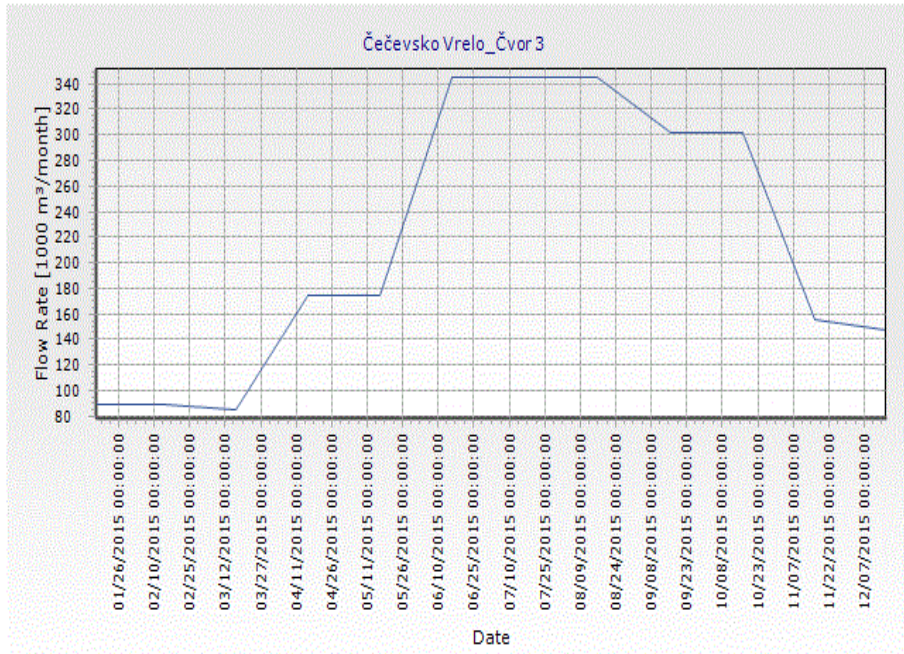
U svim scenarijima analiza alokacije vodnih resursa je vršena za vremenski period od godinu dana.

4.5. Rezultati i diskusija

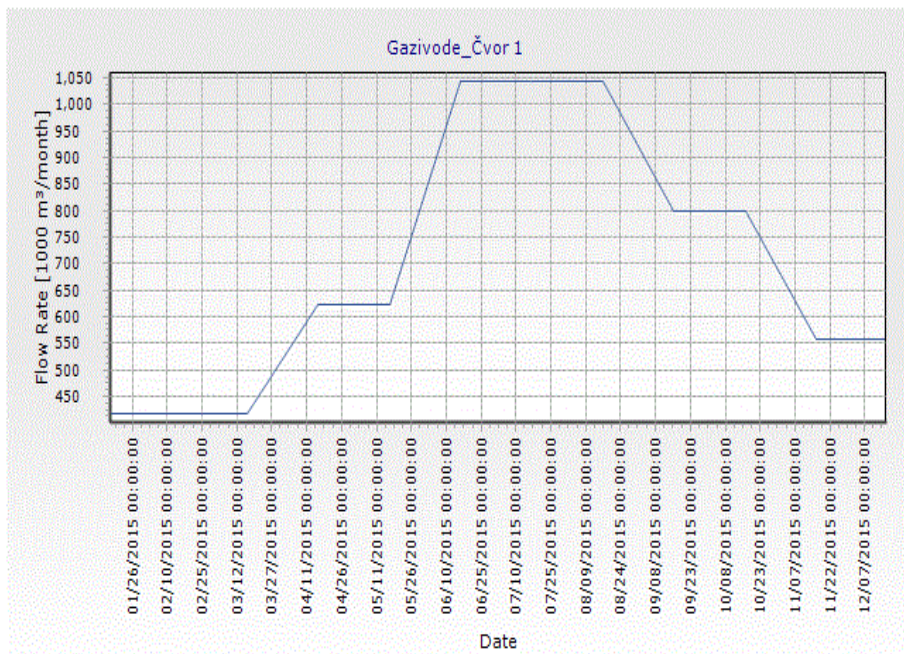
Model MODSIM daje kao rezultat dinamičku alokaciju vode u toku godine. Rezultati modela za korisnike vode su promena potrošnje vode, za linkove promene proticaja, a za izvorišta promena količina zahvaćene vode u funkciji vremena. Deo rezultata za različite razmatrane scenarije prikazan je na slikama 6. do 10. Ostali rezultati se zbog obimnosti ne prikazuju.



Slika 6. Scenario 1 - korišćenje vode iz akumulacije Gazivode [3]

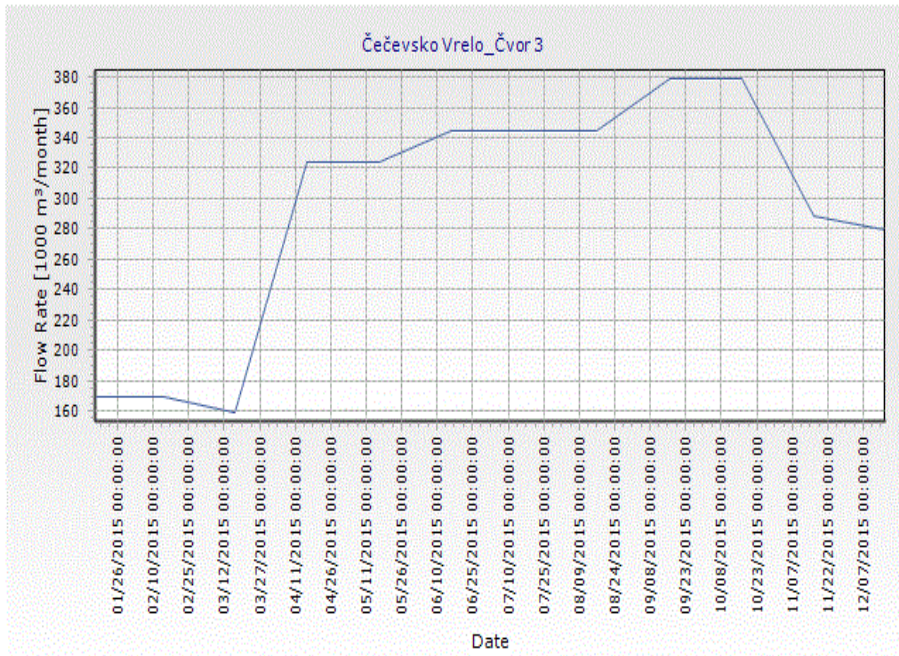


Slika 7. Scenario 2 - proticaji od Čečevskog vrela do čvora 3 [3]

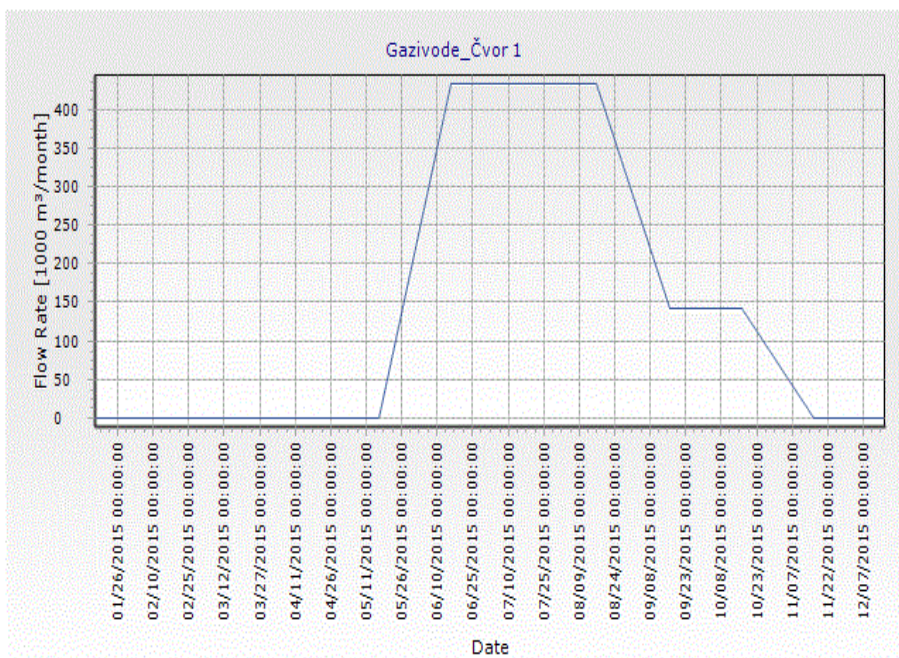


Slika 8. Scenario 3 - korišćenje vode iz akumulacije Gazivode [3]

Alokacija vodnih resursa na slivu



Slika 9. Scenario 4 - proticaji od Čečevskog vrelo do čvora 3 [3]



Slika 10. Scenario 5 - korišćenje vode iz akumulacije Gazivode [3]

Rezultati simulacija pomoću MODSIM softvera za usvojene scenarije, pokazuju sledeće:

- voda se alokira korisnicima prema definisanim prioritetima i to tako da se korisnicima alokira voda prvo sa najbližih izvorišta, a samo nedostajuće količine vode se prema potrebi alokiraju sa udaljenih izvorišta,
- za sadašnje stanje potrošnje vode zahtevi svih korisnika su zadovoljeni kako u slučaju korišćenja vodnih resursa samo sa akumulacije Gazivode (scenario 1), tako i u slučaju korišćenja samo raspoloživih izvorišta podzemnih voda (scenario 2),
- za buduće stanje povećane potrošnje korisnika u opštinama Kosovska Mitrovica, Zvečan i mesnoj zajednici Leposavić za 50%, zahtevi svih korisnika su zadovoljeni u slučaju korišćenja vodnih resursa samo sa akumulacije Gazivode (scenario 3), ali nisu zadovoljeni u slučaju korišćenja samo raspoloživih izvorišta podzemnih voda (scenario 4). Da bi se zadovoljili zahtevi svih korisnika u budućnosti neophodno je zahvatiti određene količine vode i iz akumulacije Gazivode (scenario 5) (slika 10) ili nekog drugog alternativnog izvora vodosnabdevanja u slučaju gubitka delimične ili potpune nadležnosti nad akumulacijom Gazivode.

Na osnovu rezultata dobijenih programom MODSIM, institucije u čijoj nadležnosti su vodni resursi mogu da izvrše analizu razmotrenih alternativa i pravovremeno donesu kvalitetne odluke kojima će u potpunosti da budu zadovoljeni planirani zahtevi svih korisnika u narednom periodu.

U ovom radu je prikazano korišćenje simulaciono-optimizacionog programa MODSIM kao sistema za podršku odlučivanju u rešavanju problema dinamičke alokacije vodnih resursa na severnom delu Kosova i Metohije na različite korisnike i pokazano je da softverski paketi poput MODSIM-a i sličnih predstavljaju moćan i nezaobilazan alat za planiranje i donošenje odluka u složenim sistemima u kojima postoje konfliktni zahtevi za vodom, što je u uslovima sve oskudnijih vodnih resursa od velike važnosti.

5. ZAKLJUČAK

Integralni pristup upravljanju vodnim resursima podrazumeva zajedničko sagledavanje problema optimalnog korišćenja vodnih resursa za potrebe različitih korisnika/zahteva i zaštite vodnih resursa

od zagađenja, korišćenje postojećih istorijskih i tekućih baza podataka, korišćenje savremenih simulacionih i optimizacionih modela i pažljivo planiranje i izradu odgovarajućih scenarija, u cilju postizanja optimalne strategije visoke efikasnosti. Bazni postulat savremenih pristupa problematici upravljanja vodnim resursima na slivu je da je efikasno upravljanje vodnim resursima od suštinskog značaja za borbu protiv siromaštva i uspešan održivi rast i razvoj regiona.

Analiza dinamičke alokacije vode na različite korisnike u višenamenskom vodoprivrednom sistemu je izuzetno komplikovana, tako da se uspešno planiranje, posebno faza analize većeg broja alternativnih rešenja i izbor najpovoljnijeg rešenja u uslovima ograničenih vodnih resursa ne može izvršiti bez korišćenja računara i primene metoda sistemske analize. Matematički modeli mogu poslužiti kao alat za modeliranje vodnih resursa i uspešno se iskoristiti u funkciji ne samo analize, već i aktivnog upravljanja vodnim resursima na slivu.

Osnovna pretpostavka je da primenom metoda sistemske analize može da se obezbedi racionalnije korišćenje vodnih resursa severnog dela Kosova i Metohije u skladu sa rastućim potrebama stanovništva industrije i poljoprivrede za vodom i kvalitetnija zaštita vodnih resursa od zagađenja, čime bi se poboljša ekonomska situacija ove oblasti i uskladio privredni i društveni razvoj sa principima održivog razvoja. U ovom radu je prikazana metodologija optimalnog korišćenja raspoloživih vodnih resursa severnog dela Kosova i Metohije za potrebe različitih korisnika/zahteva i model interakcije između raspoloživih vodnih resursa i različitih korisnika/zahteva u cilju ocene socijalne i ekonomske dobiti od bolje alokacije vode i povećane efikasnosti njenog korišćenja.

Predložena metodologija i model treba da predstavljaju osnovu za dalja istraživanja sa ciljem da se planerima, projektantima i donosiocima odluka omogući lakše donošenje odluka za optimalnije korišćenje i efikasnije upravljanje vodnim resursima severnog dela Kosova i Metohije na principima održivog razvoja.

6. LITERATURA

- [1] Bird J., Lincklaen Arriens W., Custodio D. Von (2009): Water rights and water allocation issues and challenges for Asia, Asian Development Bank, Manila, Philippines
- [2] Milentijević, G. (2005): Podzemne vode severnog dela Kosova i Metohije - iskorišćavanje i zaštita, doktorska disertacija odbranjena na Rudarsko-geološki fakultet Beograd

- [3] Mitić, M. (2016): Optimalno korišćenje i održivo upravljanje vodnim resursima severnog dela Kosova i Metohije, doktorska disertacija predana na pregled i ocenu, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici
- [4] Suvočarev K. (2009): Alokacija vode višenamenske akumulacije „Barje“ korišćenjem modela MODSIM (verzija ACQUANET), Letopis naučnih radova, Godina 33, broj I, str. 167-174.
- [5] Rodić Trifunović S. (2009): Alokacija vode korišćenjem programa ACQUANET, 1st International Conference ECOLOGICAL SAFETY IN POST-MODERN ENVIRONMENT, Banja Luka, RS, BiH
- [6] Droogers P., Boer F. De, Terink W. (2014): Water Allocation Models for the Umbeluzi River Basin, Mozambique, FutureWater, Netherlands
- [7] Andreu, J., A. Solera, J. Paredes: Decision Support Systems for Integrated Water Resources Planning and Management. De l'Institut d'Enginyeria de l'Aigua i el Medi Ambient de la Universitat Politècnica de València, 2003.
- [8] Andreu, J.: AQUATOOL: Decision Support Systems for Integrated Water Resources Planning and Management. Del'Institut d'Enginyeria de l'Aigua i el Medi Ambient de la Universitat Politècnica de València, 2004.
- [9] Labadie J. W : ModSim-DSS: Water Resources and Water Rights Planning and Operations Decision Support System. Department of Civil Engineering, Colorado State University, 2004.
- [10] Labadie, J. W.: MODSIM: Decision Support System for Integrated River Basin Management . Documentation and User Manual, 2000.
- [11] Yancheva S., Temelkova M.: Application of MODSIM Software to the Operation of a Real Bulgarian Water Resources System, Institute of Water Problems at Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

INDEKS AUTORA

- **Anđelković dr Ljiljana,**
docent, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini, sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici str.77-96, 247-268
- **Atanasov Aleksandar, dipl. inž. građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 11-26
- **Bjelić Igor master inž. arh.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 153-168
- **Blagojević dr Predrag dipl. inž. građ.**
docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 27-38, 45-58
- **Conić Stefan, master inž. građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 195-200
- **Gligorijević Milan dipl. inž. građ.**
asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 59-66
- **Gocić dr Milan, dipl. inž. el.,**
docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str.67-76
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 67-76
- **Igić dr Tomislav, dipl. inž. arh.**
red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 195-200
- **Jovanović dr Goran, dipl. inž. arh.**
van. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str.181-194
- **Jovanović Vanja, master inž. građ.**
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 123-136
- **Keković Miloš, master inž. građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str.169-180
- **Kostić Aleksandra dipl. inž. arh.**
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 1-10
- **Kuzović dr Diško, dipl. inž. arh.**
docent., Arhitektonski fakultet Istočni Univerzitet Mediteran, TRN Kipar, str. 211-228, 235-246

- **Lazić Jelena, master inž. arh.**
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 27-38
- **Lukić Predrag, master inž. građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 123-136, 201-210, 229-234
- **Marković Branković dr Jelena, dipl. inž. građ.**
docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 97-122, 137-152
- **Marković dr Biserka, dipl. inž. arh.**
red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 229-234
- **Marković dr Milica,**
naučni saradnik, Javno vodoprivredno preduzeće Srbijavode, str. 97-122, 137-152
- **Mijalković dr Marina, dipl. inž. građ.**
red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 169-180
- **Milanović Mladen, dipl. inž. građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 39-46
- **Milentijević dr Gordana,**
vanredni profesor, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici str. 247-268
- **Milićević dr Dragan, dipl. inž. građ.**
docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 77-96, 247-268
- **Mitić mr Marjan,**
asistent, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, str. 247-268
- **Mitković dr Petar dipl. inž. arh.**
red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 181-194
- **Mladenović dr Biljana, dipl. inž. građ.**
asistent., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 169-180
- **Nakić Marko, master inž. građ.**
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 45-58
- **Nikolić dr Vladan, dipl. inž. arh.**
docent., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 123-136, 201-210, 229-234

- **Nikolić Olivera, dipl. inž. arh.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 123-136, 201-210, 229-234
- **Petković Grozdanović Nataša, dipl. inž.arh.**
saradnik, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 181-194
- **Petrović Nemanja, master inž. arh.**
asistent, student doktorskih studija, Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, str. 201-210, 229-234
- **Ranković dr Slobodan, dipl. inž. građ.**
docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 59-66
- **Stanimirović Mirko dipl. inž. arh.**
asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 181-194
- **Stanković dr Danica dipl. inž. arh.**
van. prof, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 1-10
- **Stanojev Milovan, master inž. građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 39-46
- **Stojić dr Dragolsav, dipl. inž. građ.**
red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 39-46
- **Stojić Nikola, dipl.inž.građ.**
student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 123-136
- **Trajković dr Slaviša, dipl. inž. građ.**
red. prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 67-76
- **Vacev dr Todor, dipl. inž. građ.**
docent., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 39-46
- **Zdravković dr Slavko, dipl. inž. građ.**
red. prof., Akademik Srpske kraljevske asocijacije akademika, inovatora i naučnika-SKAIN, ekspert bivšeg Saveznog Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 169-180, 195-200
- **Zlatkov mr Dragan, dipl. inž. građ.**
asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, str. 195-200
- **Živković Saša, dipl. inž. građ.**
HTS hidro consulting Niška Banja, str. 77-96

**ZBORNIK RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA
NIŠ**

broj
30/2015

University of Nis
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

COLLECTION OF PAPER ABSTRACTS

NO 30, 2015

PUBLISHER

Faculty of Civil Engineering and Architecture
Aleksandra Medvedeva 14
Niš, Serbia
Tel: **+38118 588-202**
+38118 588-181
<http://www.gaf.ni.ac.rs/>



FOR THE PUBLISHER

PhD Petar Mitković, full prof.

EDITOR-IN-CHIEF

PhD Dragoslav Stojić, full prof.

EDITORIAL BOARD

PhD Petar Mitković, full prof.
PhD Slaviša Trajković, full prof.
PhD Zoran Grdić, full prof.
PhD Danica Stanković, associate prof.
PhD Gordana Topličić-Ćurčić, associate prof.
PhD Vladan Nikolić, assistant prof.

TECHNICAL EDITOR

M. Sc. Radovan Cvetković, assistant

TECHNICAL ADAPTION

M. Sc. Predrag Lukić

ENGLISH LANGUAGE LECTOR

BA. Phil Goran Stevanović

Papers are reviewed

ISSN 1452-2845

Printed by Grafika Galeb
Number of Copies Printed 250

COLOR IN THE ARCHITECTURE OF PRESCHOOL BUILDINGS

Aleksandra Kostić¹
Danica Stanković²

Abstract

Color is a multiple subject, which is being investigated from the standpoint of physics, psychology, architecture, art, etc. It is a one of the significant factor in the architecture of preschool buildings, because of its colossal influence on the mental and emotional conditions of children of preschool age. In addition to thermal, acoustic, air and visual comfort it is imperatively necessary to establish aesthetic comfort, on witch, among everything else, implemented color have major impact. Having in mind the importance and influence of color of preschool facilities in the development of a child's personality, in this article the main focus is on the exploration of the color correlation of external and internal environment and a pre-school child. A review of the current state of color has been made, through analysis of the aesthetic comfort parameters of the existing pre-school facilities in Serbia and beyond, with the emphasis on the positive and negative solutions of exterior and interior design. The main aim of the research work is seen in the intention to define the purposeful selection of colors and blend which corresponding to the children's abilities to understand the space and its color. Interpreted results of conducted research should be in the function of recommendation for the future practice in the sphere of external and internal environment design of pre-school facilities.

Key words: *color, the importance and influence, children, preschool facilities, revitalization.*

¹ Aleksandra Kostić, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš, aleksandrakostic85@gmail.com

² Danica Stanković, ass. prof. Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš, danica.stankovic@gaf.ni.ac.rs

GREEN ROOFS. ADVANTAGES OF RECYCLED RUBBER GRAINS AS DRAINAGE LAYER

Aleksandar Atanasov¹

Abstract

The population growth dictates the growth of building. This reduces green areas, which has a negative effect on the ozone layer. In the recent period, implementation of green roofs was initiated in order to minimize the negative impact on the ozone layer. In an attempt to reduce the adverse effects (such as destruction of natural landscape during mining of natural stone), recycled materials are used for certain layers.

There is an increasing amount of waste, which necessitates material recycling. Rubber, as an artificial material is not suitable for destroying, because rubber incineration releases harmful gases which are detrimental for ozone layer. In order to avoid that, waste rubber can be used for drainage layers of green roofs. This eliminates the adverse effects and produces beneficial effects.

Green roofs have other positive effects such as: thermal and acoustic insulation, retention of water during intensive rainfall, saving of electric power used for heating and cooling and other advantages. The comparative experimental analysis for certain drainage layers made of puzzolana, rubber grains, and standard insulation analysis were performed.

Key words: *Recycled rubber grains, green roofs, power saving, insulation.*

¹ Aleksandar Atanasov, M. Sc., PhD student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš

ANALYSIS OF FUNDAMENTAL OSCILLATION PERIOD AND HORIZONTAL DISPLACEMENT OF A BUILDING DEPENDING ON THE PARTITION WALLS MATERIAL

Jelena Lazić¹
Predrag Blagojević²

Abstract

This paper presents the research results of the behavior of tall structures oscillating in the fundamental frequency and horizontal displacement of the structure depending on its height and type of partition wall material. The task was to design a seismically resistant structure according to the "Code on technical standards for construction of building structures in seismic areas " ("Official Gazette of SFRY no. 31/81, 49.82, 29/83, 21/88 and 52/90). After that, analysis of three models done in software package Tower6 was performed. For the analysis, the walls of masonry block, are autoclaved aerated concrete blocks and gypsum-cardboard panels. The aim was to check the partition wall load effects, if any, on the structural stability.

Key words: *tall structures, fundamental oscillation frequency, horizontal building displacement*

¹ Jelena Lazić, M.Sc

² Predrag Blagojević, ass. prof. Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš

NUMERICAL MODELING OF REINFORCED CONCRETE CONNECTION BEAM-COLUMN

Milovan Stanojev¹
Slobodan Ranković²
Dragoslav Stojić³
Todor Vacev⁴

Abstract

It is often the case that due to different stiffness of a beam and column, a plastic hinge is formed in the column, instead of the beam. The same phenomenon may occur when the node between the column and the beam is reinforced, where in practice, often there are no hangers on the column. The subject of research in this paper is exactly the behavior of the reinforced-concrete connection of the console beam and the column, with the comparative analysis of results in cases when the hangers in the column either pass or do not pass through the beam node. The analysis of the connection using ANSYS software package and its modeling, using finite element method (FEM), produces a more detailed presentation of behavior of this connection duet to the action of concentrated load a the end of the cantilever. The presentation of the cracks formed in the node suggests, that in the case when there are no hangers in the node, occur not only on the top edge of the beam in contact with the column, but also on the outer side of the column (at the level of the lower edge of the beam) which was presented at the end of the paper.

Key words: *plastic hinge, beam-column, hangers, reinforcement bars, ANSYS*

¹ Milovan Stanojev, M. Sc., PhD student, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Slobodan Ranković, grad. Civ. Eng. assis. prof. The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

³ Dragoslav Stojić, grad. Civ. Eng. PhD, full prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

⁴ Todor Vacev, grad. Civ. Eng. assis. prof. The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

INTERACTION DIAGRAMS FOR UNIAXIALLY LOADED RECTANGULAR CROSS SECTIONS ACCORDING TO EUROCODE 2

Marko Nakić¹
Predrag Blagojević²

Abstract

The paper presents the principle of designing interaction diagrams according to Eurocode 2. Based on these principles, using Excel, an interaction diagram was used and implemented on a numerical example. Further are presented other interaction diagrams which can be used only in design of reinforced concrete elements.

Key words: interaction diagrams, Eurocode 2

¹ Marko Nakić, M.Sc

² Predrag Blagojević, ass. prof. Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš

BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM IN THE CONTEXT OF REHABILITATION AND STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BRIDGE IN THE CENTER OF NIŠ

Milan Gligorijević¹
Slobodan Ranković²

Abstract

Implementation of bridge management system allows optimum usage of all available instruments for harmonization of existing bridges with traffic and safety requirements. The authors of this paper, in the scope of inspection and structural testing of reinforced concrete bridge in the center of Niš, registered an extremely high increase of damage certain bridge structures. In the bombing of 1999 a part of vital bearing structural elements was destroyed, which affected the bearing capacity, stability, and thus safety of all other structural elements.

The bridge called for an urgent rehabilitation and reconstruction of certain structural elements, which was performed in the summer period, with the necessary strengthening of main bearing structural elements.

Key words: *Bridge management system, damage, maintenance, repair, rehabilitation and strengthening.*

¹ Milan Gligorijević, grad. Civ. Eng. MSc, assistant, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Slobodan Ranković, grad. Civ. Eng. assis. prof. The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

COMPARATIVE ANALYSIS OF GLOBAL SOLAR RADIATION MODELS ON THE TERRITORY OF SERBIA

Mladen Milanović¹
Milan Gocić²
Slaviša Trajković³

Abstract

Six global solar radiation models in Serbia for the period between 1980 and 2010 was analyzed and compared. Five stations were observed, whereby the Vranje station stands out with the highest solar radiation values (R_s), with the lowest values measured at the Niš station. The results indicated that the highest values of R_s on the territory of Serbia are in July. Validation of the model was performed using two statistical tests, those being: root mean square error (RMSE) and mean absolute percentage error (MAPE). On the basis of the tests it was determined that Toğrul and Toğrul model 6 has the highest congruence with Angström-Prescott model.

Key words: global solar radiation model, Toğrul and Toğrul model 6, Angström-Prescott model, Serbia.

¹ Mladen Milanović, grad. Civ. Eng., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Milan Gocić, grad. Elec. Eng. PhD., assistant prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

³ Slaviša Trajković, grad. Civ. Eng. PhD, full. prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

POTENTIAL FOR USAGE OF HYDRO POWER POTENTIAL OF WATER COURSES AT LOCATIONS WITH SMALL GRADIENT

Dragan Milićević¹
Saša Živković²
Ljiljana Anđelković³

Abstract

This paper has a goal of indicating potential and significance of usage of power potential of water courses at locations with small gradients, which have not been interesting for construction of small hydro power plants. Implementation of new types of turbines, which appeared recently in the market, at such locations proved to be fully profitable. The paper provides a short description of a VLH turbine which can be successfully implemented at locations where design with a different type of turbines is not possible, which would leave such locations unused.

Key words: *power resources, small hydro power plants, small gradients*

¹ Dragan Milićević, grad. Civ. Eng. assis. prof. The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Saša Živković, grad. Civ. Eng. HTS hidro consulting Niška Banja

³ Ljiljana Anđelković, assis. prof., Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, with temporary headquarters in Kosovska Mitrovica

IMPLEMENTATION OF FINITE ELEMENT METHOD IN DAM ANALYSIS

Jelena Marković Branković¹
Milica Marković²

Abstract

Complex structure design, such as the dam with foundations, is set by partial differential equations, for which there is no analytical design. Numerical methods, along with computer application allow solving of almost all structural problems using: finite element method and approximation function method. Finite difference method procedure is the most suitable, differential equations defining structural equilibrium are transformed in the function of unknown parameters in the points of the spatial network, so the integration procedure is replaced by solving the linear equation system. This method introduces limitations: design network of regular form and special equation for introduction of contour conditions. Application of these methods in dams dates back to 1908 when it was implemented on the Aswan dam. In 1956 the concept of finite elements was introduced, based on discretization of the structure to subvolumes, called the finite elements. Discretization of the structure to elements and introduction of contour conditions is completely random, which eliminates limitations imposed by the finite difference method. The paper provides the analysis of a series of aspects, whose clarification may represent a guideline in the decision making process.

Key words: Dams, statical analysis, finite elements method

¹Jelena Marković Branković, grad. Civ. Eng. assis. prof. The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Milica Marković, grad. Civ. Eng., ass. prof. Research Associate, Public Water Company water Serbia

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS MODES OF BEAM REINFORCEMENT IN ANSYS SOFTWARE PACKAGE

Predrag Lukić¹
Vanja Jovanović²
Nikola Stojić³
Vladan Nikolić⁴
Olivera Nikolić⁵

Abstract

The simplest statical system implemented in civil engineering practice is a simple beam. In this paper was performed analysis of the simple beam supports in ANSYS software package, and its modeling using Finite Elements Method (FEM) employing various types of finite elements for the needs of comparison of the results of various modes of reinforcement. The adopted load of reinforced concrete beam are concentrated forces acting on the mid-span amounting to $3 \cdot 200000 \text{ N}$.

Key words: Simple beam, Ansys, finite element method, reinforcing.

¹ Predrag Lukić, M. Sc. PhD Student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

² Vanja Jovanović, M. Sc., t, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

³ Nikola Stojić, grad. Civ. Eng., PhD Student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

⁴ dr Vladan Nikolic, grad. Arch. Eng., docent, Faculty of Civil Engineering and Architecture, vladan_nikolic@yahoo.com

⁵ Olivera Nikolic, grad. Arch. Eng., PhD student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, o_milosavljevic@yahoo.com

DESIGN OF LINING OF HYDRAULIC ENGINEERING GALLERIES USING FINITE ELEMENTS METHOD

Milica Marković¹
Jelena Marković Branković²

Abstract

In case of free-level hydraulic engineering galleries, lining, as a load bearing element, carries the load created by the rock massif pressure, hydrostatic pressure of water from inside the gallery and own dead weight. As opposed to the pressurized galleries whose inner load is dominant, so the lining load is exclusively axial, in case of hydraulic free-level galleries, the lining load causes flexure. At the contact of extrados and rock mass, in certain zones towards the interior and the massif, the lining deformations occur as well as irregular elastic reactions. In the current practice of construction of such galleries, the thickness of the lining is relatively small in comparison to the excavated opening in the rock, which in case of elastic lining where deformation is sufficiently large, creates considerable elastic reactions. Because of that, design methods of such linings should take into account, as precisely as possible, the effects of interaction of the lining and the rock. Development and increasingly wider application of finite elements method, the interaction phenomena can be modeled in the designs in a much more correct manner, taking into account the rock massif load as well as massif relaxation effect due to excavation of the gallery, while the contact of lining and rocks is introduced using the material model "no tension" in which the connection of finite elements of the rock with the finite elements of the lining is realized only if there is pressure at their contact.

Key words: *Hydraulic engineering structures, free-level, finite elements method,*

¹ Milica Marković, grad. Civ. Eng., ass. prof. Research Associate, Public Water Company water Serbia

² Jelena Marković Branković, grad. Civ. Eng. assis. prof. The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

CHURCH OF ST. PETAR IN UNJEMIR AND ONE VARIETY TYPE OF THE TEMPLE WITH INSCRIBED CROSS

Igor Bjelić¹

Abstract

The Church of St. Petar in Unjemir is one of the endangered monuments of Serbian cultural heritage in Metohia from the fourth decade of the fourteenth century. Among its remains were identified some of the architectural elements which were used for the reconstruction of its original shapes in this paper. According to the reconstruction of spatial relations in the interior of this church, the space of the temple was divided to only two bays – one for the nave and one for the altar area. The fact that we can recognise group of churches in region of Kosovo and Metohia, whose interiors was similarly resolved, allow us to define one special variety of the temple with two bays within in the type of the temple inscribed cross.

Key words: *Unjemir, church, variety, two bays, compact cross.*

¹ Igor Bjelić, Master engineer of Architecture, PhD student, Faculty of Civil Engineering, University of Niš

EFFECT OF STIFFNESS CHANGE ON STATIC ANALYSIS OF ONE FLOOR RC FRAMES

Biljana Mladenović¹
Marina Mijalković²
Slavko Zdravković³
Miloš Keković⁴

Abstract

The paper deals with the analysis of the effect of stiffness change of reinforced concrete (RC) frames, due to the exploitation load, on the results of static calculation. The computational model with modified geometry, which is determined taking into account effective stiffness of cross sections, is applied. On the basis of numerical examples of one-floor frames with different ratios beam stiffness to column stiffness, conclusions are drawn about redistribution of cross section bending moments due to the appearance of cracks in tensile zone of beams and columns.

Key words: *reinforced concrete frame, cracks, effective stiffness, static analysis.*

¹ dr Biljana Mladenović, assist. prof., University of Niš, Faculty of Civil Engineering,

² dr Marina Mijalković, full. prof., University of Niš, Faculty of Civil Engineering,

³ Slavko Zdravković, grad. Civ. Eng. PhD, full prof., Academician of the Royal Serbian association of academics, innovators and scientists- SKAll ,former Expert of Federal Ministry of Science, Technology and Development, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

⁴ Miloš Keković, M. Sc. PhD Student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

THE SILHOUETTE OF THE CITY AS A COMPOSITIONAL PHENOMENON

Mirko Stanimirović¹
Petar Mitković²
Goran Jovanović³
Nataša Petković-Grozdanović⁴

Abstract

This paper analyses the basic elements of composition in art which is build by the silhouette of the city. The silhouette of the city is continuously changing. It presents an image of living organism. The built appearance always affects on future growth. Our understanding of the world affects on relation me — the silhouette of the city as well as the development of science and society affects on our states. We are forced to progress the same way contemporary technology makes cities to resemble each other. This paper shows how the silhouette of the city affects on the design process using analyze of the visual impression of the city.

Key words: Architecture, silhouette, city, urban design.

¹ Mirko Stanimirović, grad. arh. Eng. assis., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Petar Mitković, grad. Arch. Eng. PhD, full. prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

³ Goran Jovanović, grad. Arch. Eng. PhD, associ. prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

⁴ Nataša Petković Grozdanović, M. Sc. PhD Student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

IMPORTANCE AND ROLE OF ASEISMIC DESIGNING IN CONSTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES

Slavko Zdravković¹
Tomislav Igić²
Dragan Zlatkov³
Stefan Conić⁴

Abstract

The paper indicates a high importance and role of Aseismic designing when constructing engineering structures, so it must be approached with utmost responsibility. Regarding that seismic impacts are most often relevant when designing structures, the paper indicates many aspects in order to find an adequate solution to this problem as possible. A special attention is paid to Eurocode 8 – Designing of Aseismic structures according to European standards.

Key words: Aseismic designing, structure, response spectra, earthquake engineering.

¹ Slavko Zdravković, grad. Civ. Eng. PhD, full prof., Academician of the Royal Serbian association of academics, innovators and scientists- SKAI, former Expert of Federal Ministry of Science, Technology and Development, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Tomislav Igić, grad. arh. Eng. PhD, full prof., Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš

³ Dragan Zlatkov, grad. Civ. Eng., assis., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

⁴ Stefan Conić, M. Sc., PhD student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš

HISTORICAL HERITAGE INFLUENCE ON CREATION OF GREEN ZONE IN CITY CENTRAL AREA

Nemanja Petrović¹
Olivera Nikolić²
Vladan Nikolić³
Predrag Lukić⁴

Abstract

In this paper will be considered the importance of the historical heritage in the central zone of the city from the point of forming a green belt in developed urban structure. The analysis of several world cities where the historical heritage caused the creation of green belts, leads to the result that these areas have an impact on the tourist and historical potential of the city, affecting urban planning and participating in the creation of micro-climate of the city. The case study has been made on the example of Nis and the green zone of Fortress and its impact on the reduction of heat island and CO₂ emission has been considered.

Key words: *city, historical heritage, green area, heat island, CO₂ emission*

¹ Nemanja Petrovic, master Arch. Eng., PhD student, assistant, College of Applied Technical Sciences, Nis, nemanja.maki.petrovic@gmail.com

² Olivera Nikolic, grad. Arch. Eng., PhD student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, o_milosavljevic@yahoo.com

³ dr Vladan Nikolic, grad. Arch. Eng., docent, Faculty of Civil Engineering and Architecture, vladan_nikolic@yahoo.com

⁴ Predrag Lukić, M. Sc. PhD Student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

COMPOSITION AND FASADES OF VOLUMES OF FACILITIES IN THE PARTISANS SQUARE IN UŽICE (1961)

Duško Kuzović¹

Abstract

Partisans square urban-architectural complex consisting of several parts was designed by three architects heterogeneous architectural vocabulary and concepts. The complex is mainly designed by architect Stanko Mandić: Unity no. 1 (National Theatre, National Library, Post office, and Artistically retaining wall), Unity no. 4 (Block West, Department store), Unity 5 (parter). Part of Partisans Square designed by the architect Milorad Pantović within Unity no. 2 (Kula, SDK, East Block, City Café, Block A and Cinema). The third group is within the Unity 3 (Blok Southeast). Partisans square was designed and largely implemented during the period from 1958 to 1961.

Key words: *Partisans square in Užice, Stanko Mandić, Milorad Pantović, Design of Partisans square in Užice, Modern Architecture in Serbia.*

¹ Duško Kuzović, Assist.Prof.Dr. Duško Kuzović dipl.eng.arch., Faculty of Architecture, Eastern Mediterranean University, TRN Cyprus

FRANZ (FRANJA) BARTOSH - SERBIAN ENGINEER IN 19 CENTURY

Olivera Nikolić¹
Vladan Nikolić²
Biserka Marković³
Nemanja Petrović⁴
Predrag Lukić⁵

Abstract

In this paper will be presented the initial results of the study of the life and work of less known engineer Franz Bartosh who lived in Serbia in the last decades of the 19th and the first decades of the 20th century. Analysis of historical sources has led to the information about his professional work and several projects that he worked on. Franz Bartosh has proved himself in professional work as a town planner, architect and engineer. This will be discussed further below.

Key words: *Franz Bartosh, engineer, Nis, Serbia, XIX century*

¹Olivera Nikolic, grad.Arch. Eng., PhD student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, o_milosavljevic@yahoo.com

²drVladan Nikolic, grad. Arch. Eng., docent, Faculty of Civil Engineering and Architecture, vladan_nikolic@yahoo.com

³dr Biserka Markovic, grad. Arch. Eng., full professor, Faculty of Civil Engineering and Architecture, biserka.markovic@gaf.ni.ac.rs

⁴Nemanja Petrovic, master Arch. Eng., PhD student, assistant, College of Applied Technical Sciences, Nis, nemanja.maki.petrovic@gmail.com

⁵ Predrag Lukić, M. Sc. PhD Student, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš.

CATERING ESTABLISHMENTS IN SERBIA 19TH AND 20TH CENTURIES: TOWN TAVERN ON THE PARTISANS SQUARE IN UŽICE (1961)

Duško Kuzović¹

Abstract

City Café on the Partisans square in Užice is on the surface and volume small volume, but thanks to architectural design and perfect proportions of the surrounding buildings and public areas represents an brilliant building. City Café is located in the eastern part of the square, which was designed by architect Milorad Pantović. Floors ground floor and first floor and to the dimensions of the smallest building in the Complex. Access to architects design is based on the desire to get through all the elements of design emphasizes spaciousness and volume rather than weight and the weight of the material (such as buildings in the architectural line across the road). Floor of the building is modeled as a volume that is mounted on the pillars on the ground floor, which is dominated by the figure of the ground. On the ground floor dominant colonnade pillars creating the impression that stretches in front of the plane of the facade that closes the volume. Poles are round in cross section and follow the rhythm-based reinforced concrete frame which carries the object. The building is due to its function, because it is a very long time was the only restaurant on the square, but perfectly formed form one of the most striking buildings in the complex of the of the Partisans square. The architecture of the building represents an important document in the history of architecture in Serbia.

Key words: *City Café on the of the Partisans square, Partisans square in Užice, Milorad Pantović, Modern Architecture in Serbia, Le Corbusier students in Serbia.*

¹ Duško Kuzović, Assist.Prof.Dr. Duško Kuzović dipl.eng.arch., Faculty of Architecture, Eastern Mediterranean Univesity, TRN Cyprus

WATER RESOURCES ALOCATION ON WATERSHED

Marjan Mitić¹
Dragan Milićević²
Gordana Milentijević³
Ljiljana Anđelković⁴

Abstract

The analysis of dynamic water allocation is an exceptionally complicated process for users with different demands in multipurpose water resource systems, so successful planning, especially the phase of analysis of a larger number of alternative solutions and the selection of the best solution in limited water resource conditions today cannot be completed without the use of system analysis methods and the use of computers. This paper shows basic principles of water allocation with the use of decision support systems on the watershed with multiple users and limited water resources with a goal of increase of social and economical gains from better water allocation and it's more efficient use. The extraordinary importance of water resource allocation has been pointed out on the example of the northern part of Kosovo and Metohija.

Key words:: *integrated water resources management, decision support system, water demands, water allocation*

¹ mr Marjan Mitić, grad. Civ. Eng.,
assistant, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, with temporary
headquarters in Kosovska Mitrovica

² dr Dragan Milićević, grad. Civ. Eng.
Assistant Professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

³ dr Gordana Milentijević,
Associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, with
temporary headquarters in Kosovska Mitrovica

⁴ dr Ljiljana Anđelković, grad. Civ. Eng.,
Assistant Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, with
temporary headquarters in Kosovska Mitrovica

CONTENTS

Aleksandra Kostić dr Danica Stanković	Color in the architecture of preschool buildings	1
Aleksandar Atanasov	Green roofs. Advantages of recycled rubber grains as drainage layer	11
Jelena Lazić dr Predrag Blagojević	Analysis of fundamental oscillation period and horizontal displacement of a building depending on the partition walls material	27
Milovan Stanojev dr Slobodan Ranković dr Dragoslav Stojić dr Todor Vacev	Numerical modeling of reinforced concrete connection beam-column	39
Marko Nakić dr Predrag Blagojević	Interaction diagrams for uniaxially loaded rectangular cross sections according to Eurocode 2	47
Milan Gligorijević dr Slobodan Ranković	Bridge management system in teh context of rehabilitation and strengthening of reinforced concrete bridge in the center of Niš	59
Mladen Milanović dr Milan Gocić dr Slaviša Trajković	Comparative analysis of global solar radiation models on the territory of Serbia	67
dr Dragan Milićević Saša živković dr Ljiljana Anđelković	Potential for usage of hydro power potential of water courses at locations with small gradient	77
dr Jelena Marković Branković dr Milica Marković	Implementation of finite element method in dam analysis	97
Predrag Lukić Vanja Jovanović Nikola Stojić dr Vladan Nikolić Olivera Nikolić	Comparative analysis of various modes of beam reinforcement in Ansys software package	123

dr Jelena Marković Branković dr Milica Marković	Design of lining of hydraulic engineering galleries using finite elements method	137
Igor Bjelić	Church of St. Petar in Unjemir and one variety type of the temple with inscribed cross	153
dr Biljana Mladenović dr Marina Mijalković dr Slavko Zdravković Miloš Keković	Effect of stiffness change on static analysis of one floor rc frames	169
Mirko Stanimirović dr Petar Mitković dr Goran Jovanović Nataša Petković Grozdanović	The silhouette of the city as a compositional phenomenon	181
dr Slavko Zdravković dr Tomislav Igić Dragan Zlatkov Stefan Conić	Importance and role of aseismic designing in construction of engineering structures	195
Nemanja Petrović Olivera Nikolić dr Vladan Nikolić Predrag Lukić	Historical heritage influence on creation of green zone in city central area	201
dr Duško Kuzović	Composition and fasades of volumes of facilities in the Partisans Square in Užice (1961)	211
Olivera Nikolić dr Vladan Nikolić dr Biserka Marković Nemanja Petrović Predrag Lukić	Franz (Franja) Bartosh - Serbian engineer in 19 century	229
dr Duško Kuzović	Catering establishments in Serbia 19th and 20th centuries: town tavern on the Partisans Square in Užice (1961)	235
mr Marjan Mitić dr Dragan Milićević dr Gordana Milentijević dr Ljiljana Anđelković	Water resources alocation on watershed	247

INDEX OF AUTHORS

- **Andelković Ljiljana,**
assistant professor, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina,
with temporary headquarters in Kosovska Mitrovica, pg.77-96, 247-268
- **Atanasov Aleksandar, master Civ. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and
Architecture of Niš, pg. 11-26
- **Bjelić Igor master Arh. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and
Architecture of Niš, pg. 153-168
- **Blagojević Predrag grad. Civ. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of
Niš, pg.27-38, 45-58
- **Conić Stefan, master Civ. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and
Architecture of Niš, pg. 195-200
- **Gligorijević Milan grad. Civ. Eng.**
assistant, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg.
59-66
- **Gocić Milan, grad. Elec. Eng. PhD.**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of
Niš, pg. 67-76
- **Igić Tomislav, grad. Arh. Eng. PhD**
Full professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš,
pg.195-200
- **Jovanović Goran, grad. Arh. Eng. PhD**
Associate professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of
Niš, pg.181-194
- **Jovanović Vanja, master Civ. Eng.**
The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 123-136
- **Keković Miloš, master Civ. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and
Architecture of Niš, pg.169-180
- **Kostić Aleksandra, grad. Arch. Eng.**
The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. str. 1-10
- **Kuzović Diško, grad. Arch. Eng. PhD**
assistant professor, Faculty of Architecture, Eastern Mediterranean
University, TRN Cyprus, pg.211-228, 235-246
- **Lazić Jelena, master Arh. Eng.**
The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 27-38

- **Lukić Predrag, master Civ. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 123-136, 201-210, 229-234
- **Marković Branković Jelena, grad. Civ. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 97-122, 137-152
- **Marković Biserka grad. Arch. Eng. PhD**
Full professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 229-234
- **Marković Milica, grad. Civ. Eng. PhD**
Research Associate, Public Water Company water Serbia, pg. 97-122, 137-152
- **Mijalković Marina, grad. Civ. Eng. PhD**
full prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 169-180
- **Milanović Mladen, grad. Civ. Eng.**
The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 39-46
- **Milentijević Gordana, Phd**
Associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, with temporary headquarters in Kosovska Mitrovica pg. 247-268
- **Milićević Dragan, grad. Civ. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 77-96
- **Mitić Marjan, MSc**
assistant, Faculty of Technical Sciences, University of Pristina, with temporary headquarters in Kosovska Mitrovica pg. 247-268
- **Mitković Petar grad. Arch. Eng. PhD**
Full professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 181-194
- **Mladenović Biljana, grad. Civ. Eng. PhD**
associate, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg.169-180
- **Nakić Marko, master Civ. Eng.**
The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 45-58
- **Nikolić Vladan, grad. Arch. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg., 123-136, 201-210, 229-234
- **Nikolić Olivera, grad. Arch. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 123-136, 201-210, 229-234

- **Petković Grozdanović Nataša, grad. Arch. Eng.**
The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 181-194
- **Petrović Nemanja, master Arh. Eng.**
assistant, PhD student, University Technical College Niš, pg. 201-210, 229-234
- **Ranković Slobodan, Civ. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 59-66
- **Stanimirović Mirko grad. Arch. Eng.**
assistant, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 181-194
- **Stanković Danica grad. Arch. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 1-10
- **Stanojev Milovan, master Civ. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 39-46
- **Stojić Dragolsav, grad. Civ. Eng. PhD**
full prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 39-46
- **Stojić Nikola, grad. Civ. Eng.**
student of doctoral studies, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg.123-136
- **Trajković Slaviša, grad. Civ. Eng. PhD**
full prof., The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 67-76
- **Vacev Todor grad. Civ. Eng. PhD**
assistant professor, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 39-46
- **Zdravković Slavko, grad. Civ. Eng. PhD**
full prof., Academician of the Royal Serbian association of academics, innovators and scientists- SKAll ,former Expert of Federal Ministry of Science, Technology and Development, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 169-180, 195-200
- **Zlatkov Dragan, grad. Civ. Eng. MSc**
assistant, The Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš, pg. 195-200
- **Živković Saša, grad. Civ. Eng.**
HTS hydro consulting Niska Banja, pg. 77-96

CIP - Каталогизација у публикацији

Народна библиотека Србије, Београд

624

ZBORNIK radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta / glavni i odgovorni urednik Dragoslav Stojić. – 2015, br. 30- . – Niš (Aleksandra Medvedeva 14) : Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2015 (Niš : Grafika Galeb). - 24 cm

Godišnje. – Je nastavak: Zbornik radova Građevinskog fakulteta (Niš) = ISSN 0350-8587 ISSN 1452-2845 = Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta (Niš)

COBISS.SR-ID 126989324