



nauka + praksa

Centar za građevinarstvo i arhitekturu Niš

22 | 2019



VIŠENAMENSKA LAMELA - DOGRADNJA ZGARDE
ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

nauka + praksa

Centar za građevinarstvo i arhitekturu Niš

22 | 2019

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK:

V. prof. dr Miomir Vasov, dipl. inž. arh.

IZDAVAČ:

GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET UNIVERZITETA U NIŠU

REDAKCIONI ODBOR:

Prof. dr Slaviša Trajković, dipl. inž. građ.

Prof. dr Danica Stanković, dipl. inž. arh.

Prof. dr Zoran Grdić, dipl. inž. građ.

Prof. dr Gordana Topličić-Ćurčić, dipl. inž. građ.

Doc. dr Vladan Nikolić, dipl. inž. arh.

TEHNIČKI UREDNIK:

Doc. dr Radovan Cvetković, dipl. inž. građ.

AUTOR NASLOVNE STRANE:

Doc. dr Vladan Nikolić, dipl. inž. arh.

NA NASLOVNOJ STRANI:

Nauka + Praksa

*Časopis Instituta za građevinarstvo i arhitekturu
Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu*

Broj 22, 2019. ISSN 1451-8341

Tiraž: 250 primeraka

Predgovor

Jedan od važnih segmenata rada nastavnika i saradnika Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu je rešavanje praktičnih zadataka iz različitih oblasti građevinarstva i arhitekture. Ta aktivnost se na Fakultetu odvija preko posebne organizacione jedinice, Instituta za građevinarstvo i arhitekturu, izradom raznih projekata, studija, ekspertiza, tehničkih kontrola, laboratorijskih ispitivanja, naučnoistraživačkih projekata, itd. U rešavanju konkretnih praktičnih zadataka, s obzirom na osnovnu vokaciju učesnika u tom poslu, pored stručnog znanja koriste se i stečena naučna saznanja, te rezultat tog rada predstavlja svojevrsnu sintezu nauke i prakse. Rešavanje nekog stručnog zadatka često nijesamo rešenje nekog konkretnog problema već ima i širi značaj i sadržaj.

Zbog toga je 1992. godine, na tridesetogodišnjicu postojanja Instituta za građevinarstvo i arhitekturu Fakultet odlučio da rezultate svog stručnog i naučnog rada učini dostupnim široj javnosti i počeo sa objavljivanjem časopisa Nauka + Praksa.

Prema kategorizaciji domaćih naučnih časopisa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Odbora za saobraćaj urbanizam i građevinarstvo, časopis **Nauka + Praksa** je svrstan u kategoriju časopisa M52.

Ovaj **dvadeset drugi broj časopisa sadrži sedam radova** iz oblasti arhitektonskog projektovanja, urbanizma, enterijera, materijala i konstrukcija, saobraćaja i hidrotehnike. Koautori nekih radova supored nastavnika i saradnika Fakulteta i nastavnici drugih Fakulteta kao i stručnjaci iz drugih institucija. Nadamo se da će čitaoci ovog časopisa pored informativne imati i šire stručne i naučne koristi.

Koristim ovu priliku da se zahvalim svim autorima i koautorima radova, recenzentima, kao inastavnicima i saradnicima angažovanim na tehničkoj pripremi ovog broja časopisa.

Prodekan za naučnoistraživački rad i direktor
Instituta za građevinarstvo i arhitekturu:

V. prof. dr Miomir Vasov, dipl. inž. arh.

Dekan:

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

Institut za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu osnovan je 1973. godine.

Delatnost Instituta je: izrada naučnih i stručnih projekata, ekspertiza, veštačenja, revizija i elaborata laboratorijskih i terenskih ispitivanja.

Organizacione jedinice Instituta su:

- odeljenja za ispitivanje konstrukcija,*
- odeljenja za konstrukcije,*
- odeljenja za hidrotehniku,*
- odeljenja za saobraćajnice ,*
- odeljenja za građevinske materijale ,*
- odeljenja za geotehniku ,*
- odeljenja za primenjenu matematiku i računarstvo.*

Načelnici odeljenja rukovode radom odeljenja.

Šefovi laboratorija rukovode radom laboratorija.

Sadržaj:

Nemanja Rančić, Dragan Zlatkov, Slavko Zdravković:

SPECIFIČNOSTI GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA U
ZAVISNOSTI OD SEIZMIČKOG HAZARDA I SEIZMIČKOG RIZIKA.....1-5

Andrej Gerov, Dragan Zlatkov, Andrija Zorić

DINAMIČKE KARAKTERISTIKE ARMIRANOBETONSKE STAMBENE
ZGRADE SA EKSCENTRIČNO POSTAVLJENIM JEZGROM LIFTA.....6-11

**Danijela Milanović, Veliborka Bogdanović, Miomir Vasov,
Danijela Đurić Mijović, Jelena Savić:**

PREGLED REGULATIVE I PREPORUKE ZA PRIMENU ZELENIH KROVOVA.....12-19

Mirko Stanimirović, Slaviša Kondić, Vojislav Nikolić:

CRKVA SVETI MILUTIN – PROBLEM SAVREMENE
SRPSKE SAKRALNE ARHITEKTURE.....20-27

Nenad Ristić, Jelena Bijeljic, Zoran Grdić, Gordana Topličić-Ćurčić, Dušan Grdić:

OTPORNOST NA SMRZAVANJE I ODMRZAVANJE GEOPOLIMERNIH
MALTERA NA BAZI ELEKTROFILTERSKOG PEPELA
SA DODATKOM CRVENOG MULJA.....28-34

Srđan Živković, Sandra Šaković, Slavko Zdravković:

SIMULACIONI MODELI SAOBRAĆAJA PRI PLANIRANJU
SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE.....35-40

Dragan Kostić, Milan Gligorijević, Natalija Kostić, Katarina Knezević:

REKONSTRUKCIJA LETNJIKOVCA KRALJA ALEKSANDRA PRVOG U
NERESNICI KOD KUČEVA.....41-47

SPECIFIČNOSTI GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA U ZAVISNOSTI OD SEIZMIČKOG HAZARDA I SEIZMIČKOG RIZIKA

UDK: 699.841

550.34

Nemanja Rančić¹, Dragan Zlatkov², Slavko Zdravković³

Rezime: U radu se definiše geotehničko zemljotresno inženjerstvo kao specifična oblast geotehnike, veoma značajna u seizmički aktivnim područjima. To je multidisciplinarna oblast i sa teorijskog i sa stručnog aspekta, jer predstavlja poznavanje raznih disciplina, a pre svega geoloških i seizmoloških. Definisanje i određivanje hazarda i rizika pri projektovanju objekata u seizmičkim područjima zahteva poznavanje i analiziranje većeg broja faktora. Seizmički hazard definiše verovatnoću nastajanja zemljotresa, odnosno izražava prognozu nivoa budućih zemljotresa i samim tim doprinosi smanjenju seizmičkog rizika. Rezultat seizmičkog rizika vezan je za posledice prouzrokovane zemljotresom: tehničke, ekonomske, socijalne, društveno-ekonomske i dr., što je u vezi zaštite u odnosu na nivo prihvatljivog rizika.

Ključne reči: geotehničko zemljotresno inženjerstvo, hazard, rizik.

Abstract: The paper defines geotechnical earthquake engineering as a specific field of geotechnics, very significant in seismically active areas. It is a multidisciplinary field, both from a theoretical and professional point of view, because it represents knowledge of various disciplines, especially geological and seismological. Defining and determining hazards and risks when designing objects in seismic areas requires knowledge and analysis of a number of factors. Seismic hazard defines the likelihood of an earthquake, that is expresses a forecast of the level of future earthquakes and thus contributes to the reduction of seismic risk. The result of seismic risk is related to the consequences caused by the earthquake: theoretical, economic, social, socio-economic, etc., which is related to protection relative to level of acceptable risk.

Key words: Geotechnical earthquake engineering, hazard, risk.

¹ Nemanja Rančić, mast. inž. građ., student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Ul. Al. Medvedeva 14, e-mail: nemanja.rancic@hotmail.com

² Dragan Zlatkov, docent dr dipl. inž. građ., Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Ul. Al. Medvedeva 14, e-mail: dragan.zlatkov@gaf.ni.ac.rs

³ Slavko Zdravković, prof. dr inž. ekspert bivšeg Saveznog ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj u oblasti: 1221 građevinsko inženjerstvo, aseizmičko građevinarstvo, stabilnost mostova (rešenje br.:exp 2/0-09-001/94-9). Redovni član Srpske kraljevske akademije inovacionih nauka – SKAIN, Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Ul. Al. Medvedeva 14, e-mail: slavko.zdravkovic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Geotehničko zemljotresno inženjerstvo (GZI) je steklo specifične karakteristike po kojima se razlikuje od ostalih inženjerskih disciplina. Danas u širem smislu geotehničko zemljotresno inženjerstvo pokriva veoma široku oblast naučnog istraživanja i rešavanja skoro svih problema vezanih za smanjenje posledica dejstva zemljotresa, kao i praktičnu primenu tih rešenja u oblasti kao što su: planiranje, projektovanje, građenje i održavanje objekata čija se otpornost na zemljotres zahteva, uključujući kako konstruktivne tako i nekonstruktivne elemente i opremu sa aspekta geotehničkih uslova. Ovo podrazumeva multidisciplinarnost, tj. predstavlja potrebu poznavanja, razumevanja i korišćenja znatnog broja različitih podataka iz raznih disciplina, a pre svega geoloških, seizmoloških, geotehničkih, konstruktivnih, arhitektonskih, urbanističkih i socio-ekonomskih. U oblasti geotehničkog zemljotresnog inženjerstva zastupljene su i nauka i inženjerstvo. Cilj naučnika je da razumeju teoriju vezanu za određenu pojavu (problem), inženjeri pak moraju da reše taj problem. Odnosno, jedno je razumeti statičko i dinamičko ponašanje jednog mosta, drugo je projektovati i izvesti taj most, prvo je nauka, a drugo je inženjerstvo.

2. ZEMLJOTRESI KAO PRIRODNI FENOMENI

Pod zemljotresom se podrazumevaju pojave naglog oscilovanja, kolebanja, talasanja i uopšte sva kretanja i pomeranja površine Zemljine kore ili njenih unutrašnjih delova, odnosno vodenog pokrivača, koji su izazvani pokretima u dubokim pokretnim delovima u samoj Zemljinoj kori, ili ređe na samoj njenoj površini, kao posledica narušavanja ravnoteže sila koje u tim prostorima deluju. Zemljotresi se događaju na Zemlji još od njenog postanka, od pre nekih 4,54 milijarde godina. Ova pojava će trajati toliko dugo dok se ne iscrpi sva energija kojom je Zemlja započela razvoj. Težina svih zbivanja u razvoju Zemlje kao planete je ipak njeno potpuno očvršćavanje. Ako se uzme u obzir činjenica da je za protekle 4,54 milijarde godina očvrstelo tek nešto oko 1% Zemljine mase u vidu čvrste površine kore, proizilazi da nema nikakvih izgleda da se dočeka vreme kad će Zemlja potpuno očvrstnuti i kada će prestati potresanje njene površine. Veoma su važna istraživanja uzroka ovih potresanja i mogućnosti da se njihove štetne posledice što više izbegnu. Ovo ni u kom slučaju nije lak zadatak jer su zemljotresi stalni pratioci razvoja Zemlje.

Zemljotresno inženjerstvo, u savremenim uslovima, predstavlja naučnu multidisciplinarnu oblast posvećenu istraživanjima s ciljem obezbeđenja prihvatljivog nivoa seizmičke sigurnosti objekta [8].

Zemljotresi se povezuju sa katastrofama i na njih se gleda kao na najdestruktniju prirodnu silu, jer nijedan prirodni fenomen ne izaziva i ne stvara tako masovan psihološki šok zato što je najveći broj poginulih u odnosu na sve druge hazarde koji se u prirodi dešavaju, a i materijalne štete su velike. Zemljotresno inženjerstvo i inženjerska seizmologija uključuju mnoge druge naučne oblasti i discipline. Osim prirodno-matematičkog i tehničkog aspekta, izučavanje zemljotresa i zaštita od njih zadire i u mnoga pitanja socijalnog i ekonomskog karaktera. To je složen multidisciplinarni posao koji zahteva kolektivni rad, kao i međunarodnu saradnju, kako bi se sačuvalo ono što je nadragocenije – ljudski život koji je neponovljiv i nemeđljiv.

Zemljotres nameće projektantima uopšte, a posebno arhitekti i konstrukteru, više raznih projektnih preduslova i kriterijuma inače nesvojsvenih za standardno projektovanje. Neki od ovih zahteva i kriterijuma su od fundamentalnog značaja i uticaja i već pri samom određivanju forme i oblika konstrukcije. Otuda je suštinski važno da se ovim, kao i drugim osnovnim aspektima pouzdanog seizmičkog rizika – posveti odgovarajuća pažnja pravovremeno, dakle, već na nivou idejnog projekta tj. posebno kod aseizmičkog projektovanja zgrada.

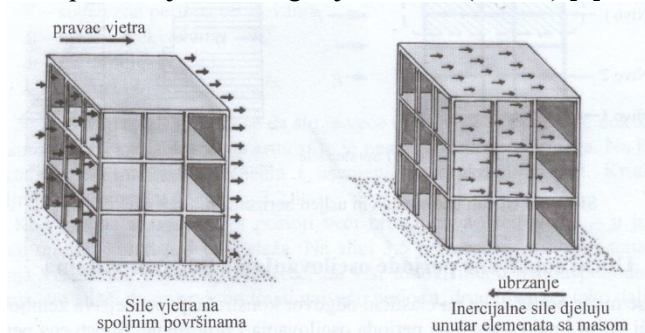
Osnovno načelo kojem treba težiti prilikom projektovanja temelja konstrukcija je da temelji leže na istoj dubini. Takođe, fundiranje objekta na tlu različitih karakteristika treba izbegavati, a ako to nije moguće, objekat treba razdvojiti na pojedinačne nezavisne celine prema uslovima tla. Važno je poštovati i načelo da temeljna konstrukcija treba da bude povezana u jednu celinu. Zato je fundiranje na temeljnoj ploči najpovoljnije rešenje. Smatra se povoljnim fundiranje pomoću temeljnih traka ispod nosećih zidova koji su raspoređeni u oba pravca. Temeljne trake raspoređene u oba pravca daju povoljnu horizontalnu krutost temeljnoj konstrukciji.

U slučaju da su temeljne trake postavljene ispod nosećih zidova koji su raspoređeni pretežno samo u jednom pravcu, neophodno je dodatno povezivanje trakastih temelja. To se postiže postavljanjem armirano-betonskih greda upravno na pravac temeljnih traka, a u visini gornje površine temelja. Razmak ovih greda treba da bude oko 6.0m, a minimalne dimenzije 30/30cm.

Krute konstrukcije treba fundirati na mekom tlu, i obrnuto, fleksibilne konstrukcije treba fundirati na tvrdom tlu.

3. SPECIFIČNOST GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA

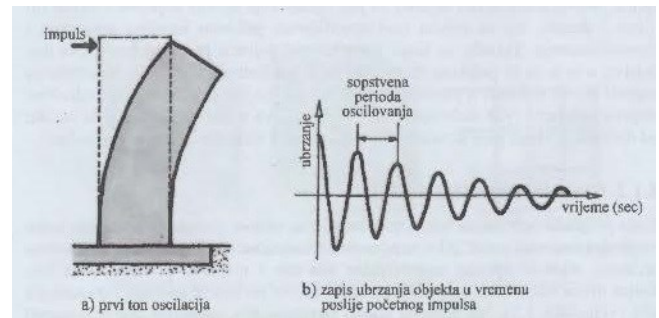
Sredinom XX, a i danas u XXI veku, pored građevinske geotehnike razvila se u stručnoj praksi nova inženjerska disciplina, koja danas egzistira pod nazivom „Geotehničko zemljotresno inženjerstvo”. Seizmičke sile oblika $I_g = -m\ddot{u}g$ su inercijalnog karaktera i proizvod su mase i ubrzanja tla. Da bi se dobila pak težina jednog elementa, ili čak celog objekta, potrebno je njegovu masu pomnožiti sa ubrzanjem zemljine teže $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$, dok se za dobijanje horizontalne seizmičke sile potrebno je istu masu pomnožiti sa horizontalnim ubrzanjem koje izaziva dejstvo zemljotresa. Naime, po nailasku sekundarnih S-talasa događaju se vibracije tla neposredno ispod objekta (na nivou fundamenta), tako da se horizontalna ubrzanja prenose na sam objekat generišući inercijalne sile u njima. Osim seizmičkog, postoji i drugi tip horizontalnog opterećenja-vetar, ali ovo opterećenje ima drugačiji karakter (slika 1) [2].



Slika 1 – Upoređenje između spoljnog opterećenja vetra i unutrašnjeg opterećenja seizmičkim silama [6]

Najveću razliku između zemljotresa i vetra, tj. ova dejstva, a to je da se prilikom delovanja jačih zemljotresa dopušta da konstrukcija napusti elastično i zađe u plastičnu oblast, što samim tim sa sobom nosi i određene stepene oštećenja, za razliku od delovanja vetra gde konstrukcija mora ostati u elastičnom domenu ponašanja. Lako se može pokazati da na elastični odgovor konstrukcije, pri dejstvu zemljotresa, najveći uticaj imaju sopstvena perioda oscilovanja i prigušenja. Sopstvena perioda oscilovanja predstavlja vreme za koje sistem (u ovom

slučaju objekat) napravi jednu punu oscilaciju (slika 2).



Slika 2 – Vibracije objekta pobuđenog impulsnom silom [6]

Na istoj slici se može videti da se vremenom amplitude sistema smanjuju, dok je sopstvena perioda konstanta. Znači, sopstvena perioda oscilovanja je karakteristika same konstrukcije i nezavisna je od spoljašnjeg opterećenja. Sopstvena perioda oscilovanja direktno zavisi od mase i krutosti sistema i obrnuto je proporcionalna kružnoj frekvenciji (Chopra, 2012):

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

Gde su kod sistema sa jednim stepenom slobode (jednoetažne zgrade)

T – sopstvena perioda oscilovanja

ω – kružna frekvencija

m – masa objekta

k – krutost objekta

Na osnovu izraza (1) vidi se da što je veća masa-veća je i perioda, dok krutost ima suprotan efekat, što je veća krutost to je perioda oscilovanja manja.

4. SEIZMIČKI HAZARD I RIZIK

Formulisanje i određivanje hazarda i rizika pri projektovanju i izgradnji objekata u seizmičkim područjima ili posmatrane lokacije, zahteva poznavanje i analiziranje više faktora (model posmatranog područja, nivo prihvatljivog rizika, itd.). Za analizu rizika moguće je definisati više matematičkih modela u zavisnosti od toga šta želimo da analiziramo. Često se u svakodnevnoj inženjerskoj praksi, ponekad i u stručnoj literaturi, poistovećuju pojmovi seizmičkog rizika i seizmičkog hazarda, iako ovi termini imaju sasvim različito značenje u

definisaju dejstva zemljotresa kao prirodnog fenomena i njihovi se rezultati razlikuju u kvalitativnom smislu.

U vezi sa tim usvojene su sledeće definicije:

Hazard (prirodni) označava verovatnoću pojave zemljotresa ili nekog drugog potencijalnog rušilačkog prirodnog fenomena, a u okviru specifičnog vremenskog perioda na određenom području.

Vulnerabilitet označava stepen gubitka nanesenom datom elementu rizika ili skupu takvih elemenata, zbog pojave prirodnog fenomena date magnitude, a izražava se u skali od nule (bez štete) do 1 (totalni gubitak).

Elementi rizika označavaju stanovništvo, zgrade i druge građevinske objekte, ekonomske aktivnosti, suprastrukturu, infrastrukturu i druge elemente izložene riziku na datom području.

Specifični rizik označava očekivani stepen gubitaka izazvan pojavom određenog prirodnog fenomena i predstavlja funkciju zavisnu od hazarda i vulnerabiliteta.

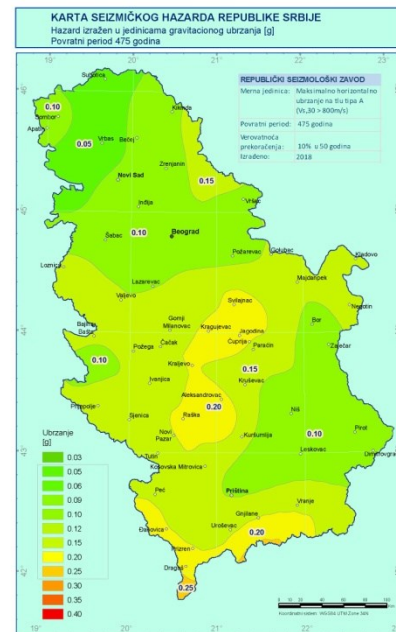
Rizik označava očekivani broj izgubljenih života, povređenih osoba, oštećenja i gubitka imovine, poremećaja privredne aktivnosti usled određenog prirodnog fenomena i sl., te prema tome predstavlja specifičnost rizika i elemenata izloženih riziku.

5. OSNOVNI PRINCIPI PRORAČUNA SEIZMIČKOG HAZARDA I RIZIKA

Iz definicije seizmičkog hazarda jasno je da se za proračun ne mogu koristiti determinističke metode, već metode matematičke statistike i teorije verovatnoće, a definisan je sa tri elementa:

- veličinom parametra oscilovanja tla
- povratnom periodom
- verovatnoćom realizacije takvog događaja.

Ovi elementi mogu se posmatrati i odvojeno, koji najčešće izražavaju seizmički parametar u okviru određenog povratnog perioda sa definisanom verovatnoćom. Rezultat proračuna je kvantitativni pokazatelj seizmičnosti izražen u više faza kao što su:



Slika 3 – Karta seizmičkog hazarda

- Korišćenjem svih dostupnih istorijskih podataka o seizmičnosti posmatranog područja;
- Određivanje žarišnih zona koje imaju značajan uticaj na seizmički hazard definisanog relacijom (Richter, Gutenberg, 1940)

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

Gde je:

N – broj potresa magnitude M za određeni broj godina

a, b – konstante relacije koje karakterišu datu žarišnu zonu

- Definisanje regionalne zakonitosti sa promenom epicentralnog rastojanja
- Izbor metode proračuna
- Izrada karte seizmičkog hazarda po izabranom parametru, najčešćeg maksimalnog horizontalnog ubrzanja oscilovanja tla.

Nacrt pravilnika [2] uvodi projektni zemljotres tip „Z1” koji može da se dogodi jednom u 100 ili 200 g., u zavisnosti od objekata sa verovatnoćom pojave od 70%. Projektni zemljotres, tip zemljotresa „Z2” može se dogoditi jednom u 1000 g. sa verovatnoćom pojave od 70%. Kod nastanka zemljotresa „Z1” objekat mora ostati bez konstruktivnih ili sa malim nekonstruktivnim oštećenjima, dok kod „Z2” mogu se pojaviti konstruktivna i nekonstruktivna oštećenja, ali funkcionalnost objekta mora ostati očuvana.

Dešavanja zemljotresa u toku vremena se obično opisuje Poisson-ovim statičkim modelom. U skladu sa Poisson-ovim modelom, verovatnoća da će se slučajna promenljiva (zemljotres određene jačine) javiti n puta u vremenskom intervalu t , iznosi:

$$P[N = n] = \frac{(\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!} \quad (3)$$

gde je:

λ – prosečna učestalost pojavljivanja zemljotresa $P[N \geq 1]$ u periodu vremena t je jednaka razlici verovatnoće sigurnog događaja (da će se zemljotres ili javiti ili ne) koja iznosi 1 i verovatnoća da se zemljotres uopšte neće javiti:

$$1 - P[N = 0] = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Za konkretni slučaj (6) izraz glasi:

$$(1 - p)^n = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

$$L = \frac{1}{p} = \frac{1}{0.00210} = 475 \text{ godina} \quad (6)$$

Inače, za različite vrednosti eksploatacionog perioda objekta i nivoa prihvatljivog seizmičkog rizika dobijaju se odgovarajući iznosi povratnog perioda.

6. ZAKLJUČAK

Za skoro pet milijardi godina zemljina kora je očvrsla oko 1% tako da se njeno potpuno očvršćavanje ne može predvideti, pa se mora voditi računa sa daljom pojavom zemljotresa, koje je nemoguće predvideti ni prema vremenu nastajanja, ni prema mestu nastajanja, ni kolike će štete iz toga proisteći. Zato treba računati na njihovo događanje u skoroj i daljoj budućnosti, pa je prihvatljiv seizmički rizik moguć adekvatnom aseizmičkom gradnjom, u meri u kojoj je to moguće u zavisnosti od ekonomske mogućnosti zemlje [4]. Zemljotresni izvori se identifikuju na osnovu istorijske arhivske građe. Ovi podaci datiraju unazad nekoliko stotina godina u većim evropskim državama i na Balkanu, zatim u Japanu i na srednjem istoku oko dve hiljade godina, u Kini više od tri hiljade godina.

Sasvim je evidentno da danas postoji mali broj država koje poseduju takve finansijske i tehničke resurse da u celosti mogu ispuniti sve zahteve koji proističu iz navedenih ciljeva i potreba. Zbog toga se pred svakom državom, sa teritorijom izloženom

visokom stepenu seizmičkog hazarda i rizika, kakva je i naša država, nameće krupan izazov da se pronađe pravi skup akcija za upravljanje seizmičkim rizikom, putem jedne integralne strategije, konzistentne sa njenim razvojnim aspiracijama i raspoloživim resursima. Uravnoteženje sadašnjih akcija prema budućoj ugroženosti od seizmičkog rizika, predstavlja srž kontrole efekta i posledica zemljotresa, sa definicijom prihvatljivog nivoa seizmičkog rizika i sprovođenja potrebnih mera za smanjenje gubitaka. Osnovni zadatak je koordinacija naučno-istraživačkog rada sa područja zemljotresnog inženjerstva i geotehničkog zemljotresnog inženjerstva, odnosno utvrđivanje seizmičkog hazarda i smanjenje seizmičkog rizika, uz njegovu realizaciju preko institucija kvalifikovanih za noseće aktivnosti u vezi sa realizacijom zadatka i odgovarajućim specifičnim programima i projektima (prema EC8 i dr.) i međunarodne saradnje i harmonizacije relevantne regulative.

7. LITERATURA

- [1] Zdravković S., Kostadinov B.: Elementi metoda za analizu seizmičkog rizika, Međunarodna konferencija–Preventivni inženjering i informacione tehnologije–PIIT 94, FZNR, Niš, 1994., str. 63.-1;63-4
- [2] Zdravković S., Turnić D., Zlatkov D.: Risk and Hazard of Technological Systems, 6th International Conference on Risk and Safety Engineering, Kopaonik, 2011., str. 139-145.
- [3] Petrović M.: Seizmički hazard kao jedan od elemenata seizmičkog rizika sa proračunom za teritoriju Srbije, Izgradnja 8/87, Beograd, str. 24-29. Karta Republičkog seizmološkog zavoda Srbije, 2018
- [4] Zdravković S.: Značaj i uloga seizmičkog rizika pri zaštiti objekta od dejstva zemljotresa, XII naučni skup–Čovek i radna sredina, Međunarodna konferencija–Preventivni inženjering i informacione tehnologije – PIIT, FZNR, Niš, 1996., str. 49-1;49-4
- [5] Terzaghi K.: Teorijska mehanika tla, Naučna knjiga, Beograd, 1972.
- [6] Janković S.: Osnove seizmičkog planiranja i projektovanja za inženjere arhitekture i građevine, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica i AGM, Beograd, 2014.
- [7] Aničić D., Fajfar P., Petrović B., Tomažević M. Popović B.: Zemljotresno inženjerstvo: visokogradnja, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.

DINAMIČKE KARAKTERISTIKE ARMIRANOBETONSKE STAMBENE ZGRADE SA EKSCENTRIČNO POSTAVLJENIM JEZGROM LIFTA

UDK : 624.012.45
624.042.7/.8

Andrej Gerov¹, Dragan Zlatkov², Andrija Zorić³

Rezime: Položaj vertikalnih konstruktivnih elemenata ima dominantan uticaj na ponašanje konstrukcije pri seizmičkom dejstvu. Neadekvatan položaj krutih elemenata dovodi do neželjenih osobina konstrukcije kao što je pojava torzionih oscilacija u I osnovnom tonu ili pojava velike ekscentričnosti centra krutosti u odnosu na centar masa. U radu je analiziran uticaj ekscentrično postavljenog liftnog jezgra na dinamičke karakteristike armiranobetonske stambene zgrade sa pravougaonom osnovom spratnosti P+6. Dodavanje AB zidova za otvor za lift za posledicu ima pojavu torzije u I i III tonu oscilovanja i značajnu promenu ekscentričnosti centra krutosti i centra masa, što sa konstruktivne tačke gledišta nije dopustivo. Da bi se obezbedio dobar prijem seizmičkih sila i otpornost opisane konstrukcije na seizmička dejstva predloženo je dodavanje AB platna na odgovarajućim mestima. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se dodavanjem AB zidova bitno popravila seizmička otpornost konstrukcije. Seizmički proračun urađen je metodom ekvivalentnog statičkog opterećenja i primenom spektralne analize u skladu sa važećim domaćim propisima. U radu je pokazano da se u slučaju konstrukcije sa neadekvatnim rasporedom krutih vertikalnih elemenata sračunava pomeranje vrha objekta za oko 21% manje primenom metode ekvivalentnog statičkog opterećenja u odnosu na spektralnu analizu, na osnovu čega se izvodi zaključak da primena metode ekvivalentnog statičkog opterećenja ne daje uvek dovoljno tačne rezultate.

Cljučne reči: dinamičke karakteristike, seizmički proračun, torzija, ekscentričnost, period oscilovanja

Summary: The position of vertical structural elements has a dominant effect on structure behaviour during seismic exposure. The inadequate position of the rigid elements leads to unwanted structural response such as the appearance of torsional oscillations in the first fundamental tone as well as the appearance of the large eccentricity of the center of rigidity with respect to the center of mass. The paper also analyzes the effect of the eccentric positioning of the elevator core on the dynamic characteristics of the reinforced concrete building with the rectangular based floors GF+6. Adding reinforced concrete walls to the elevator opening results in the appearance of torsion in the I and III oscillation tone and a significant eccentricity change of the center of rigidity and the center of mass, which from a structural point of view is not permissible. In order to achieve a good seismic force transfer and the structural resistance to seismic effects of analysed building, the addition of reinforced concrete walls in appropriate places is advised. Based on the results of this paper, it can be concluded that the addition of reinforced concrete walls has significantly improved the seismic resistance of the structure. Seismic calculations are done with the equivalent static load method and also using spectral analysis according to the active domestic regulations. The paper shows that in case the structure has inadequate arrangements of rigid vertical elements, the calculated displacement of the top of the object is 21% less with the usage of the equivalent static load method compared to spectral analysis, based on which it can be concluded that the usage of the equivalent static load method cannot always provide accurate results.

Keywords: dynamic characteristics, seismic calculations, torsion, eccentricity, oscillation period

¹ Student master studija, dipl. inž. građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

² Docent, dr građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

³ Asistent, mas. inž. građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

1 UVOD

Poznato je da kod seizmičkog dejstva nosivost, duktilnost i krutost predstavljaju osnovne parametre konstrukcije od kojih zavisi njeno ponašanje za vreme zemljotresa [1]. Sa druge strane, položaj krutih vertikalnih elemenata u objektima značajno utiče na ponašanje konstrukcije pri seizmičkom dejstvu i ne sme biti zanemaren, već se detaljno mora obraditi.

Torzione uticaje potrebno je smanjiti na najmanju moguću meru da bi se izbegla velika pomeranja i veliki uticaji u konstruktivnim i nekonstruktivnim elementima koji su locirani po obodu osnove objekta [2]. Efekti torzije mogu se javiti i kod simetričnih zgrada npr. kao posledica razlike između projektovanog i izvedenog objekta, a takođe i zemljotresna pobuda može izazvati torzione momente. Iz tog razloga se i kod idealno simetričnih zgrada konstrukciji mora obezbediti otpornost na torzione uticaje.

U ovom radu se razmatra objekat pravougaone osnove sa regularnom vertikalnom konfiguracijom. Pokazano je da zbog nesimetrično postavljenog liftnog jezgra dolazi do pojave neželjenih osobina konstrukcije, pre svega javlja se velika ekscentričnost između centra krutosti i centra masa, a zatim i pojava torzije u I osnovnom tonu oscilovanja.

U radu su prikazana konstruktivna rešenja za poboljšanje dinamičkih karakteristika konstrukcije, a koja se karakterišu pravilnim odabirom položaja vertikalnih elemenata. Upoređeni su rezultati dobijeni na modelima sa ekscentrično postavljenim krutim liftnim jezgrima i rezultati dobijeni nakon dodavanja AB zidova.

Seizmički proračun sproveden je u skladu sa Pravilnikom o tehničkim normativima projektovanja i proračuna inženjerskih objekata u seizmičkim područjima [4] metodom spektralne analize, a proračun metodom ekvivalentnog statičkog opterećenja urađen je poštovanjem Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima [5]. Analiza je sprovedena u softverkom paketu Radimpex Tower 6.

Modalnom analizom dobijene su vrednosti perioda tonova oscilovanja i njihovi dominantni oblici, takođe položaji centra krutosti i centra mase, kao i ukupna masa objekta. Metodom ekvivalentnog statičkog opterećenja dobijene su vrednosti ukupnih seizmičkih sila za dva ortogonalna pravca, a zatim se za anvelopu uticaja došlo do vrednosti pomeranja konstrukcije u oba pravca kao i do statičkih veličina momenata savijanja i normalnih sila u stubovima [3].

2 POSTAVKA PROBLEMA

Analizirana je armiranobetonska (AB) stambena zgrada sa AB zidovima (dijafragmama) u dva ortogonalna pravca spratnosti P+6. Za međuspratnu konstrukciju usvojena je monolitna AB ploča debljine $d_{pl}=18\text{cm}$ koja se oslonja na AB grede koje dalje prenose opterećenje na zidove i stubove.

Usvojene su grede dimenzija 25/45cm, a stubovi su projektovani prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima [5] tako da bude ispunjen uslov:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_0}{\beta_B} &\leq 0.35, \\ \sigma_0 &= \frac{P}{F}, \\ \beta_B &= 0.7\beta_K, \end{aligned} \quad (1)$$

gde su:

β_K - čvstoća kocke,

P - aksijalna sila od gravitacionog opterećenja,

F - površina preseka stuba.

Na osnovu uslova duktilnosti usvojeni su stubovi kvadratnog poprečnog preseka dimenzije stranice 55cm. Debljina AB dijafragmi iznosi $d_{zid}=15\text{cm}$, što predstavlja minimalnu debljinu zida kod AB konstrukcija u seizmički aktivnim područjima.

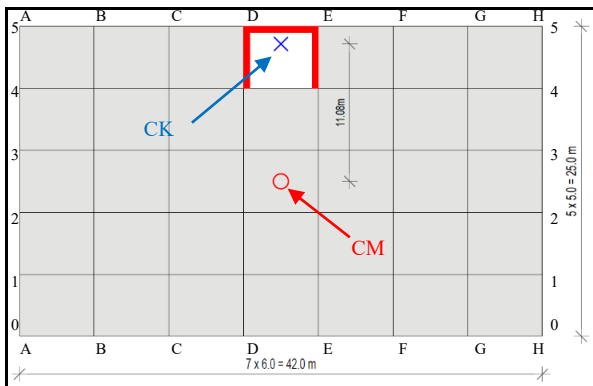
Raster noseće konstrukcije u x-pravcu je 6.0m, dok u y-pravcu iznosi 5.0m. Spratna visina analizirane stambene zgrade je 3.0m. Radi pravilnije raspodele presečnih sila i lakšeg razumevanja analize za komunikacione otvore usvojene su dimenzije jednog polja, odnosno 6.0x5.0m.

Za sve konstruktivne elemente usvojen je beton kvaliteta MB30. U skladu sa Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima [5] objekat pripada II kategoriji (vrste 1), lociran je u VIII seizmičkoj zoni i fundiran u tlu II kategorije.

Pored sopstvene težine, na konstrukciju deluje i dodatno stalno opterećenje intenziteta $g=4.0\text{kN/m}^2$, kao i korisno opterećenje intenziteta $p=2.0\text{kN/m}^2$. Poslednja etaža opterećena je snegom intenziteta $s=1.0\text{kN/m}^2$. Sva opterećenja deluju po celoj površini međuspratnih konstrukcija.

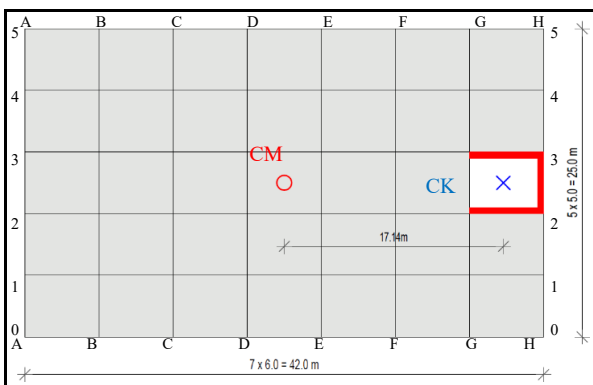
U zavisnosti od položaja jezgra za lift, razmatrana su tri različita modela opisane stambene zgrade. Kod Modela I, otvor za lift je postavljen ekscentrično u odnosu na y-osu, Slika 1. Prikazani su centar krutosti

(CK) i centar mase (CM), a crvenim linijama prikazani su AB zidovi debljine $d_{zid}=15\text{cm}$, koji formiraju jezgro oko otvora lifta.

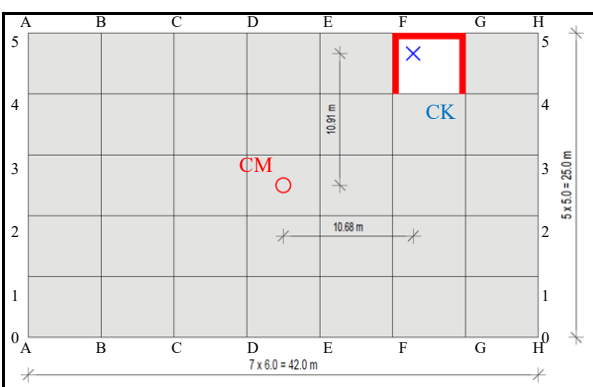


Slika 1 - Položaj jezgra za lift – Model I

Kod Modela II, otvor za lift je postavljen ekscentrično u odnosu na x -osu kao što je to prikazano na Slici 2, dok je kod Modela III otvor za lift postavljen ekscentrično u odnosu na obe ose, Slika 3.



Slika 2 - Položaj jezgra za lift – Model II



Slika 3 - Položaj jezgra za lift – Model III

Ekscentrično postavljena AB zidna platna značajno utiču na krutost konstrukcije, a samim tim i na odgovor konstrukcije na seizmičko dejstvo.

Pri analizi modela, korišćena je napredna opcija seizmičkog proračuna u softverskom paketu Tower 6, faktor krutosti horizontalnih ploča na savijanje je redukovana sa automatske vrednosti $k=1.0$ na vrednost $k=0.001$ i takođe je sprečeno pomeranje u z -pravcu, što praktično znači da je krutost horizontalnih ploča na savijanje gotovo neutralisana. U tom slučaju ploča se modelira kao kruta dijafragma u svojoj ravni i nema uticaj na krutost na savijanje celokupnog objekta, što za posledicu ima da ploča svojim savijanjem ne prihvata seizmičke uticaje.

3 DINAMIČKE KARAKTERISTIKE ANALIZIRANIH MODELA

Dodavanjem AB zidova za otvor za lift, centar krutosti je značajno pomeren u odnosu na slučaj da na istom mestu nema AB zidova (otvor za stepenište) što se može videti u [3].

Kod Modela I ekscentricitet postoji samo u y -pravcu i iznosi $e_y=11.08\text{m}$, osim na poslednjoj etaži kod koje ekscentricitet iznosi $e_y=10.9\text{m}$. Kod Modela II ekscentričnost u odnosu na x -osu iznosi $e_x=17.14\text{m}$. Veličina ekscentriciteta kod Modela III u odnosu na x -osu je $e_x=10.68\text{m}$, a u odnosu na y -osu je $e_y=10.91\text{m}$. Veća ekscentričnost u odnosu na osu y , kod Modela III, se može objasniti činjenicom da u y -pravcu postoje dva AB platna koja su zajedno bliže centru mase u odnosu na platno projektovano paralelno globalnoj x osi.

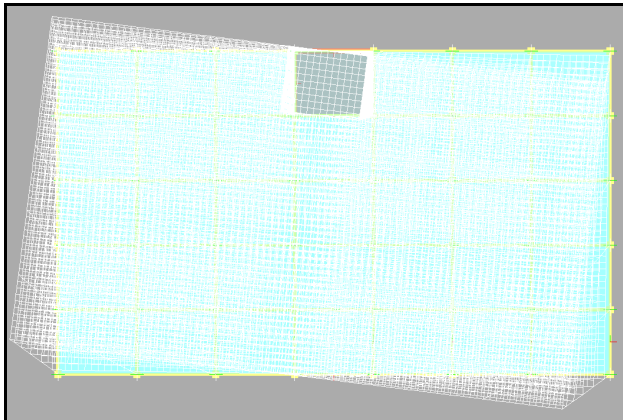
Ekscentrični položaj otvora za lift dovodi do neželjenog efekta odnosno pojave torzije u prvom osnovnom tonu oscilovanja i trećem tonu oscilovanja kod svih Modela.

U Tabeli 1 prikazane su vrednosti perioda oscilovanja prvog tona (T_1), drugog tona (T_2) i trećeg tona (T_3) razmatranih Modela.

Tabela 1- Vrednosti perioda oscilovanja Modela I-III

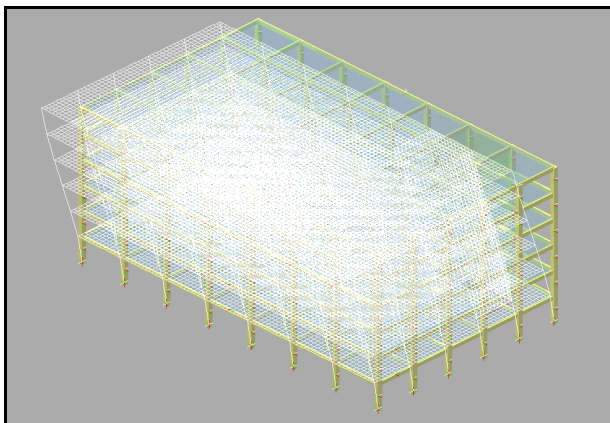
Period [s]	Model I	Model II	Model III
T_1	0.8661	0.8801	0.6799
T_2	0.5488	0.5037	0.4548
T_3	0.4221	0.3692	0.3180

Torzija kod Modela I u prvom tonu oscilovanja prikazana je na Slici 4.



Slika 4 - Prvi ton oscilovanja Modela I

Kod Modela I konstrukcija u drugom tonu osciluje u y -pravcu, kod Modela II u x -pravcu, a kod Modela III oscilovanje se javlja pod uglom $\alpha \approx 45^\circ$ u odnosu na x -osu referentnog koordinatnog sistema, Slika 5.



Slika 5 - Drugi ton oscilovanja Modela III

Kod Modela I nisu uočene oscilacije u x -pravcu ni pri višim tonovima oscilovanja, što ukazuje da je konstrukcija previše kruta u x -pravcu u odnosu na y -pravac, za razliku od Modela II kod koga se ne javlja oscilovanje u y -pravcu.

Amplituda pomeranja vrha konstrukcije kod Modela III u x -pravcu je $X_p^{max} = 5.48\text{mm}$, dok je maksimalna vrednost pomeranja u y -pravcu $Y_p^{max} = 5.34\text{mm}$. Ukupno pomeranje sračunato je vektorskim sabiranjem vrednosti amplituda pomeranja u dva ortogonalna pravca i iznosi $U = 7.65\text{mm}$.

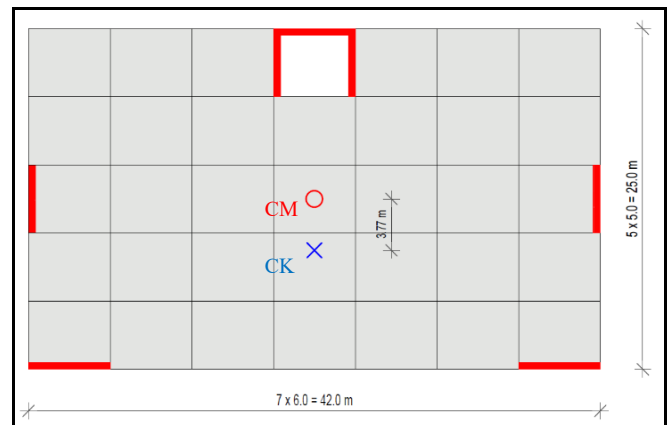
Iz svega napred navedenog može se zaključiti da ovakvim rasporedom AB jezgara dolazi do ozbiljne promene veličine ekscentriciteta, a ujedno i do pojave torzije u prvom tonu oscilovanja, što sa konstruktivne tačke gledišta nije dopustivo.

4 DINAMIČKE KARAKTERISTIKE MODELA NAKON DODAVANJA AB PLATNA ZA PRIJEM SEIZMIČKIH SILA

4.1 Rešenje problema pojave torzije u Modelu I

Najpre su Modelu I dodana AB platna na suprotnoj fasadi i za takav konstruktivni sistem je posmatran dobijeni Model Ip (međufaza). Poboľšan je odgovor konstrukcije na seizmičko dejstvo u odnosu na Model I, ali nedovoljno. U prvom tonu oscilovanja javlja se pomeranje konstrukcije u y -pravcu, za razliku od torzije koja se javila u Modelu I. Torzija se javlja kod drugog tona oscilovanja.

Dodatno poboljšanje, odnosno rešenje problema torzije u drugom tonu oscilovanja, dobijeno je dodavanjem AB platana u bočnim fasadama čime se došlo do konačnog konstruktivnog sistema Model Ip, prikazanog na Slici 6.



Slika 6 - Prikaz osnove Modela Ip

Kod Modela Ip, u drugom tonu oscilovanja, dolazi do pomeranja konstrukcije u x -pravcu, a u trećem tonu oscilovanja, dolazi do pojave torzije. U Tabeli 2 su prikazani periodi oscilovanja Modela I, Modela Ip (među-faza) i Modela Ip.

Tabela 2- Vrednosti perioda oscilovanja Modela I-Ip

Period [s]	Model I	Model Ip (međufaza)	Model Ip
T ₁	0.8661	0.5509	0.4509
T ₂	0.5488	0.4362	0.4272
T ₃	0.4221	0.4224	0.3365

Iz Tabele 2, može se uočiti da se ovim rešenjem period oscilovanja prvog osnovnog tona smanjio za 48%, odnosno sa 0.8661s na 0.4509s.

Dodavanjem AB dijafragmi ekscentricitet u odnosu na y -osu redukuje se za čak 65% odnosno

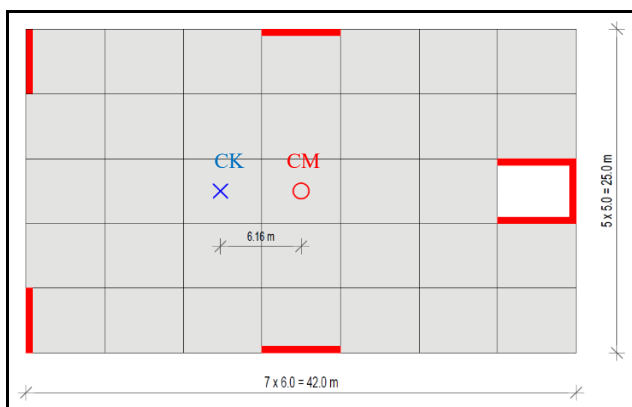
iznosi $e_y=3.77\text{m}$, a takođe se smanjuje i pomeranje Sile u presecima usled anvelope karakterističnih kombinacija opterećenja Modela Ip date su u Tabeli 3 za karakteristične stubove, kako u obodnim, tako i u srednjim ramovima.

Ip

Presečne sile	Ram 0-0	Ram 3-3	Ram A-A	Ram C-C
M_3 [kNm]	156.15	166.43	106.70	164.15
M_2 [kNm]	95.40	161.32	169.08	69.48
N [kN]	2151.36	2662.8	2407.68	2674.67

4.2 Rešenje problema pojave torzije u Modelu II

U radu su, radi boljeg uvida u važnost odabira kvalitetnog konstruktivnog rešenja, prikazana dva pristupa rešavanju problema pojave torzije u prvom tonu oscilovanja Modela II. Zajedničko za oba rešenja jesu zidovi koji se nalaze u obodnom ramu A-A, dok je razlika između dva rešenja u položaju AB zidova u pravcu duž fasade. Kod prvog pristupa AB platna su dodana u sredini ramova 0-0 i 5-5 i dobijen je Model IIp-a prikazan na Slici 7.



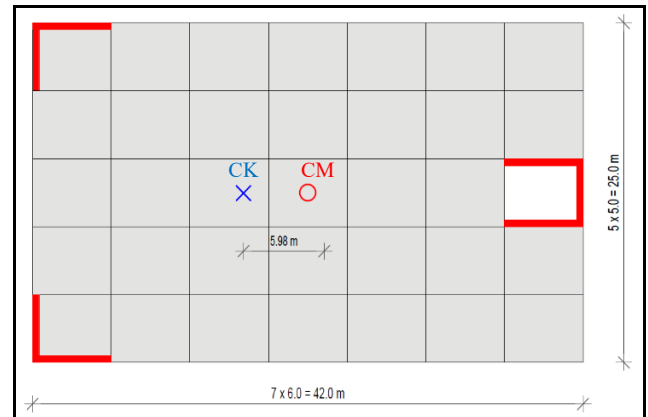
Slika 7 - Prikaz osnove Modela IIp-a

Za razliku od prvog pristupa, kod drugog pristupa AB platna su dodana u uglu obodnih ramova 0-0 i 5-5, čime je dobijen Model IIp-b prikazan na Slici 8.

Period oscilovanja u Modelu IIp-a i Modelu IIp-b značajno se smanjio u odnosu na Model II, čemu najviše doprinose AB zidna platna, a njihov raspored po obodnim ramovima je sporedan. Najmanje pomeranje konstrukcije kao i ekscentricitet su ostvareni konstruktivnim rešenjem u Modelu IIp-b u kojem je pomeranje $X_p=3.55\text{mm}$, a ekscentricitet po x -osi $e_x=5.98\text{m}$, što je smanjenje od 65% u odnosu na vrednosti dobijene za Model II. Mase modela se neznatno razlikuju.

konstrukcije u y -pravcu na $Y_p^{max}=4.43\text{mm}$.

Tabela 3- Unutrašnje sile u presecima Modela



Slika 8 - Prikaz osnove Modela IIp-b

Kod oba pristupa rešavanju problema, odnosno kod Modela IIp-a i Modela IIp-b, u prvom tonu oscilovanja konstrukcija se pomera u y -pravcu, u drugom tonu oscilovanja u x -pravcu, a u trećem tonu oscilovanja dolazi do pojave torzije. Vrednosti statičkih veličina, momenti savijanja i normalne sile, za Model IIp-a i Model IIp-b navedene su u Tabeli 4 za obodne ramove za dve ortogonalne ose.

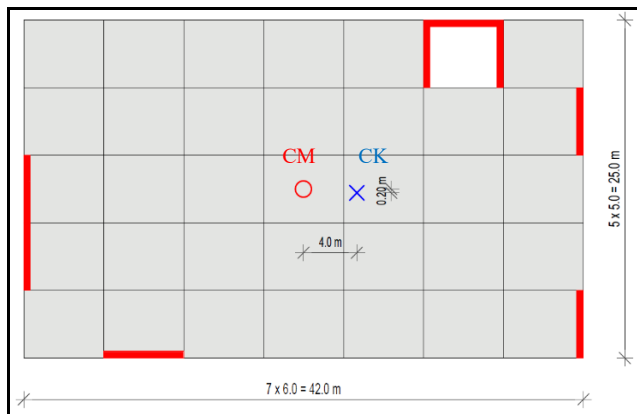
Tabela 4- Vrednosti statičkih veličina za Model IIp-a i Model IIp-b za obodne ramove

Statičke veličine	Model IIp-a		Model IIp-b	
	Ram 0-0	Ram A-A	Ram 0-0	Ram A-A
M_3 [kNm]	150.40	108.76	137.23	94.62
M_2 [kNm]	88.65	171.97	85.08	168.24
N [kN]	2340.65	2340.6	1919.28	2180.36

Oba konstruktivna rešenja su prihvatljiva i zadovoljavaju sve kriterijume Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima. Može se zaključiti da značajna razlika u datim rešenjima ne postoji, te se položaj AB zidova u pravcu duž fasade može odabrati u skladu sa arhitektonskim rešenjem objekta.

4.3 Rešenje problema pojave torzije u Modelu III

Zbog ekscentričnog položaja jezgra za lift u odnosu na obe ose, predloženo rešenje sadrži platno kroz dva rastera u obodnom ramu. Usvojen je raspored dijafragmi, čime je dobijen Model IIIp prikazan na Slici 9.



Slika 9 - Prikaz osnove Modela IIIp

Ovakvim rasporedom dijafragmi nije se uspeo neutralisati ekscentricitet u jednom od dva ortogonalna pravca, ali je ekscentricitet e_y smanjen na 20cm, što je veliko poboljšanje ako se uzme u obzir da je u Modelu III iznosio 10.9m. Takođe se i ekscentricitet e_x smanjio i to sa 10.68m kod Modela III na 4.0m kod Modela IIIp, odnosno za 63%.

Uzevši u obzir broj dodatnih AB dijafragmi, ukupna masa objekta se sa 7177t povećala na 7690.85t ili samo 6.5% u odnosu na Model III.

Periodi oscilovanja u prva tri tona su smanjeni i iznose: $T_1=0.4839s$, $T_2=0.3602s$ i $T_3=0.2530s$.

Seimički proračun Modela IIIp pored primene metode ekvivalentnog statičkog opterećenja, urađen je i primenom metode spektralne analize po normativima datim u [4].

Primenom metode ekvivalentnog statičkog opterećenja dobijene su ukupne vrednosti seizmičkih sila $S_x=3748kN$ i $S_y=3748kN$, dok su primenom spektralne analize dobijene sledeće vrednosti $S_x=5966.7kN$ i $S_y=5673.4 kN$. Iz date činjenice može se izvesti zaključak da uticaj viših tonova oscilovanja nije zanemarljiv.

U Tabeli 5 navedene su unutrašnje sile u pojedinim ramovima Modela IIIp dobijene metodom ekvivalentnog statičkog opterećenja (MESO) i metodom spektralne analize (MSA).

LITERATURA

- [1] S. Janković: *Osnove seizmičkog planiranja i projektovanja*, AGM knjiga, Beograd, 2014.
- [2] S. Zdravković: *Dinamika konstrukcija sa zemljotresnim inženjerstvom*, AGM knjiga, Beograd, 2017.
- [3] A. Gerov: *Analiza uticaja promene položaja vertikalnih konstruktivnih elemenata na dinamičke karakteristike AB stambene zgrade*, Diplomski rad, Niš, 2019.
- [4] *Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima*, Beograd, 1981.
- [5] *Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima*, Beograd, 1981.

Tabela 5- Vrednosti statičkih veličina za Model IIIp

Statičke veličine	MESO		MSA	
	Ram 3-3	Ram C-C	Ram 3-3	Ram C-C
M_3 [kNm]	180.15	146.42	184.89	149.48
M_2 [kNm]	171.89	125.01	173.64	157.33
N [kN]	2693.66	2758.6	2694.02	3278.59

Iz Tabele 5 može se uočiti da razlika u vrednostima statičkih veličina, dobijenih primenom dve različite metode nije velika. Sa druge strane razlika u sračunatim pomeranjima je značajna. Primenom metode ekvivalentnog statičkog opterećenja dobijeno je pomeranje konstrukcije u x -pravcu $X_p=5.87mm$, dok se korišćenjem spektralne analize dolazi do vrednosti pomeranja $X_p=7.13mm$, što predstavlja razliku od 21%.

5 ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog u radu mogu se izvesti sledeći zaključci:

- nesimetrično postavljanje AB jezgra može loše uticati na odgovor konstrukcije na seizmičko dejstvo, tj. dolazi do pojave torzije u prvom osnovnom tonu,
- pravilnim odabirom položaja dodatnih AB zidova može se značajno poboljšati seizmička otpornost konstrukcije,
- metoda ekvivalentnog statičkog opterećenja neće uvek dati dovoljno tačne rezultate tj. postoji razlika u proračunu pomeranja u odnosu na rezultate dobijene metodom spektralne analize od 21%. Do ovako značajne i nezanemarljive razlike u pomeranjima konstrukcije dolazi usled činjenice da se uticaj viših tonova oscilovanja ne može zanemariti, odnosno uticaj viših tonova se ne može nadomestiti delovanjem 15% seizmičke sile na vrh konstrukcije.

Preporuka za dalja istraživanja je analiza uticaja dodavanja AB zidova samo u donjim etažama objekta na dinamičke karakteristike i seizmičku otpornost objekta.

PREGLED REGULATIVE I PREPORUKE ZA PRIMENU ZELENIH KROVOVA

UDK : 692.4:635

Danijela Milanović¹, Veliborka Bogdanović², Miomir Vasov³,
Danijela Đurić Mijović⁴, Jelena Savić⁵

Rezime: Uticaj klimatskih promena se sve više manifestuje na funkcionisanje gradova kao i na život u njima, prouzrokujući čitav niz problema. Među najznačajnijim su: pojava fenomena toplotnih ostrva i sve češće plavljenje područja usled većeg prisustva olujnih dešavanja. Budući da urbanu sredinu karakteriše veliko učešće nepropusnih površina i sve manje prisustvo zelenila, primena zelenih krovova predstavlja efikasan način rešavanja navedenih problema. U tom smislu, zeleni krov kao pasivna mera u projektovanju prema principima bioklimatske arhitekture se sve češće prihvata i kao element zelene infrastrukture. Zeleni krovovi imaju potencijala da poboljšaju otpornost gradova na uticaj klimatskih promena smanjenjem efekta toplotnih ostrva i kanalisanjem brzine i količine kišnog oticaja. Osim navedenih, zeleni krovovi omogućavaju čitav niz ekoloških, energetske i socijalnih koristi za gradove kao i za same objekte. Mnoge evropske države i gradovi su primenu zelenih krovova uveli u svoje regulatorne okvire i definisali subvencije i olakšice za njihovu primenu. Za razliku od većine evropskih država u Srbiji primena zelenih krovova kao i formiranje regulatornih okvira i subvencija je tek u povoju. Rad prikazuje značaj i koristi zelenih krovova sa fokusom na pregled preporuka i smernica za njihovu primenu u odabranim zemljama Evrope.

Ključne reči: zeleni krovovi, regulativa, održivost, životna sredina, koristi zelenih krovova

Abstract: The impact of climate change is increasingly affecting the functioning of cities as well as life in them, causing several problems. Among the most significant are: the occurrence of heat island phenomena, and the increasingly frequent flooding of areas due to the increased presence of storm events. As the urban environment is characterized by a high proportion of impervious surfaces and the diminished presence of greenery, the application of green roofs is an effective way of solving these problems. In this sense, the green roof as a passive measure in the design, according to the principles of bioclimatic architecture, is increasingly accepted as an element of green infrastructure. Green roofs have the potential to improve the resilience of cities to the impact on climate change by reducing the effect of heat islands and channeling the speed and amount of rain runoff. In addition to the above, green roofs provide a range of environmental, energy, and social benefits for cities as well as for the buildings themselves. Many European countries and cities have introduced the application of green roofs into their regulatory frameworks, but have also defined subsidies and benefits for their implementation. Unlike most European countries, the implementation of green roofs, as well as the formation of regulatory frameworks and subsidies in Serbia is still in its infancy. The paper presents the importance and benefits of green roofs with a focus on reviewing recommendations and guidelines for their implementation in selected European countries.

Keywords: green roofs, regulatory frameworks, sustainability, environment, green roofs benefits

¹ Saradnik u nastavi, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

² Redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ Vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

⁴ Asistent sa doktoratom, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

⁵ Asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1 UVOD

Savremene tendencije u projektovanju objekata, zasnovane na održivosti i energetskej efikasnosti zgrada kao i zaštiti životnog okruženja, imale su uticaj na tehnološki razvoj i sve veću primenu sistema zelenog krova kao jednog od tehničkih/pasivnih elemenata projektovanja prema principima bioklimatske arhitekture. Još od antike pa do današnjih dana, razvoj zelenih krovova je rezultat tehničkog rešenja krova kao građevinske površine [1]. Usled klimatskih promena i nedostatka površina pod zelenilom gradovi su suočeni sa sve većim rizicima od poplava, pregrevavanja, zagađenja... Kao održivi sistemi prepoznate su mnogobrojne koristi zelenih krovova koji imaju potencijala da poboljšaju otpornost gradova na ove uticaje. Termin zeleni krov se danas često koristi kao termin za održivi sistem na krovu sa svim tipovima vegetacije u sloju supstrata [1]. Vrlo često se za ovakav održivi sistem, pored termina zeleni krov, koriste termini vegetacioni krov i živi krov.

U Evropi zeleni krovovi su važan funkcionalni element u projektovanju energetski efikasnih, nultih, pasivnih, niskoenergetskih i drugih zgrada. Mnoge evropske zemlje su još krajem XX i početkom XXI veka definisale obavezujuće smernice i preporuke kao i regulatorne okvire za primenu zelenih krovova. Definisanim smernicama kao i subvencijama, primena zelenih krovova u evropskim gradovima je u mnogome doprinela poboljšanju kvaliteta životnog okruženja i povećala funkcionalnu i materijalnu vrednost objekata. Za razliku od većine zemalja, u Srbiji se tek zadnjih godina analizira uticaj klimatskih promena na gradove a preporuka i regulatornih okvira za primenu zelenih krovova gotovo da i nema.

Cilj ovog rada je da prikaže: 1) koristi primene zelenih krovova i 2) aktuelnu regulativu, smernice i subvencije za primenu zelenih krovova u odabranim zemljama Evrope.

2 OSNOVNE KARAKTERISTIKE I KORISTI ZELENIH KROVOVA

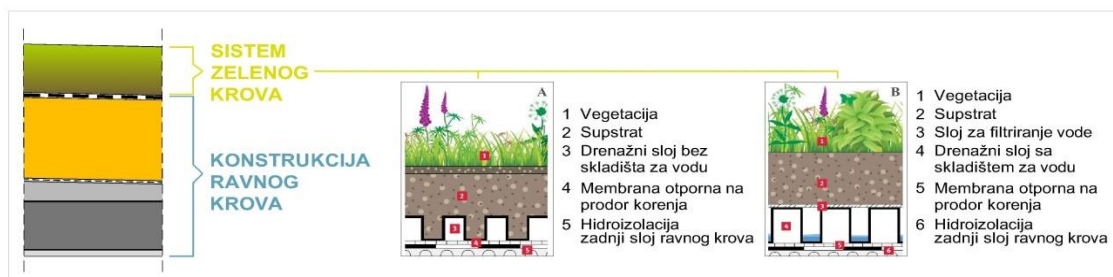
2.1 OSNOVNE KARAKTERISTIKE

U zavisnosti od debljine sloja supstrata i vrste vegetacije, koji direktno uslovljavaju namenu, pristupačnost i potrebu za održavanjem zelenih krovova, njihova najčešća podela koja se razvila u Evropi a prihvaćena u celom svetu jeste podela na: 1) ekstenzivne i 2) intenzivne zelene krovove.

Ekstenzivni zeleni krovovi imaju lagani sloj supstrata, debljine manje od 20cm koji može da podrži biljke sa malim korenom kao što su trava, sukulenti, lekovite i začinske biljke. Niski su troškovi održavanja pa s toga i zahtevaju vegetaciju koja je otporna na vremenske uticaje ali i koja se same regeneriše. S obzirom da su ovi sistemi lagani i ne zahtevaju veliku potrebu za održavanjem, ekstenzivni zeleni krovovi mogu biti dobro rešenje i za sanaciju već postojećih ravnih krovova. Ekstenzivni zeleni krovovi su bez funkcionalne namene u vidu otvorenih prostora i najčešće se primenjuju kao pasivni elementi u kontekstu ekoloških i energetskih koristi.

Intenzivni zeleni krovovi za razliku od ekstenzivnih, su relativno teški, sa slojem supstrata veće debljine od 20cm koji može da podrži gajenje širokog spektra biljaka, žbunja i drvene vegetacije. Ovi sistemi zahtevaju visok stepen održavanja. Zbog svojih strukturalnih karakteristika intenzivni zeleni krovovi mogu biti u funkciji javnih, poluprivatnih ili privatnih otvorenih prostora različite namene (za odmor, rekreaciju, baštovanstvo, igru dece...).

Zeleni krovovi su u konstruktivnom smislu specifični projektantski sistemi i predstavljaju na neki način zaštitni sloj ravnog krova (Slika 1). Specifičnost se ogleda u komponentama kao što su: vegetacija, supstrat, drenažni sloj i membrana otporna na prodor korenja. Izbor nekih od slojeva i njihove karakteristike u mnogome zavise i od tipa zelenog krova ali i od potreba za skladištenjem kišnice u samom sistemu (Slika 1A,B).



Slika 1 - Sistem zelenog krova: A) Sistem bez skladišta za vodu; B) Sistem sa skladištem za vodu

2.2 KORISTI ZELENIH KROVOVA

Najviše analizirane koristi sistema zelenog krova, kao pasivnog tehničkog elementa, u savremenim istraživanjima se grupišu kao: 1) *ekološke*, 2) *energetske* i 3) *socijalne koristi*.

Ekološke koristi – Zeleni krovovi predstavljaju mehanizam za smanjenje ekoloških problema i poboljšanje ciljeva održivosti u gradovima. Prevažno treba da budu optimizovani da odgovore na dva glavna ekološka fenomena: 1) indeks toplotnog ostrva i 2) kanisanje kišnog oticaja. Pored ove dve ključne ekološke koristi, zeleni krovovi doprinose očuvanju biodiverziteta i smanjenju zagađenja vazduha.

Centralna gradska jezgra su znatno toplija od okolnih prigradskih i ruralnih područja usled pojave fenomena toplotnog ostrva koji je najizraženiji leti u toku noći. Uticaj toplotnog ostrva je moguće smanjiti povećanjem efekta hlađenja tokom toplih leta. Ovaj efekat se može umanjiti povećanjem albeda (refleksija dolaznog zračenja van površine) ili povećanjem vegetacijskog pokrivača s dovoljno vlage u zemljištu za evapotranspiraciju [2]. Suočeni sa smanjenjem površina pod zelenilom, primena zelenih krovova u mnogome bi smanjila efekat toplotnih ostrva u izgrađenim područjima. Istraživanja su pokazala da je tokom leta spoljašnja površinska temperatura na zelenom krovu niža za 60% u odnosu na klasične bitumenizirane ravne krovove [3].

Primenom zelenih krovova poboljšava se upravljanje atmosferskim vodama odnosno smanjuje se brzina i količina kišnog oticaja jer se na zelenom krovu kišnica zadržava duže. Deo atmosferskih padavina-kiše zadržava se u vegetacionom sloju a deo ostaje „zarobljen“ u supstratu koji se vremenom preko biljaka usled evapotranspiracije vraća u atmosferu ili se preko posebnih sistema za prikupljanje i prečišćavanje odvodi u vodovodne instalacije objekta kao tehnička voda. Zeleni krovovi su idealni za kanisanje olujnog i kišnog oticaja, jer koriste postojeći krovni prostor i sprečavaju oticanje vode pre nego što napusti parcelu [2]. Skladištenje kišnice od olujnih padavina varira od 25% do 100% kod zelenih krovova sa supstratom manje debljine [4]. Prema istraživanjima, procena je da ukupna količina kišnog oticaja sa ravnog krova se može smanjiti za oko 2,7% ukoliko se 10% njegove površine prekrije zelenim krovom [5].

Koncept „*ekologija pomirenja*“, pomoću kojeg se antropogeno okruženje može modifikovati tako da se podstakne očuvanje biološke raznolikosti bez

ugrožavanja društveno socijalne koristi, potencijalno predstavlja odgovarajuću paradigmu u očuvanju gradova obzirom na uglavno loše mogućnosti koje postoje za uspostavljanje rezervi i ekološke obnove u urbanim područjima [6]. Zeleni krovovi su od nedavno počeli da se koriste i kao mera očuvanja biodiverziteta koja doprinosi ublažavanju gubitka biljnih i životinjskih vrsta iz urbanih sredina [2][6].

Imajući u vidu da su gradovi prekriveni uglavnom nepropusnim površinama (npr. ulice, parkinzi, zgrade), što otežava naknadnu sadnju drveća i povećanje gradskog zelenila, zeleni krovovi mogu predstavljati ključno rešenje u borbi protiv zagađenja vazduha i emisije CO₂. Za razliku od ekstenzivnih zelenih krovova koji zbog male biomase imaju malo potencijala u smanjenju CO₂, intenzivni zeleni krovovi koji podržavaju i sadnju drvene vegetacije mogli bi da daju značajan doprinos u smanjenju CO₂ u gradovima [2]. Zeleni krovovi smatraju se efikasnim u smanjenju atmosferskog CO₂ i zbog uticaja na smanjenje potrošnje potrebne energije u zgradama, pre svega za hlađenje.

Energetske koristi – Tokom toplog letnjeg perioda, zeleni krovovi smanjuju količinu toplote koja se prenosi kroz krov, čime se smanjuju energetske zahteve sistema za hlađenje zgrade. Primenom zelenog krova smanjuje se toplotni fluks kroz krovnu konstrukciju usled evapotranspiracije, a sama konstrukcija krova je u fizičkom smislu u hladu i na taj način se poboljšavaju toplotno zaštitne karakteristike krova [2]. Smanjenje godišnje potrebne energije za objekat sa zelenim krovom iznosi 1,2%, što je pre svega posledica letnjeg smanjenja energije za hlađenje preko 6%, mada implementacija zelenog krova omogućava uštedu energije i u sezoni grejanja [7].

Usled UV zračenja i temperaturnih oscilacija, hidroizolacione membrane na konvencionalnim ravnim krovovima brzo gube svoja svojstva. Zeleni krovovi produžavaju životni vek hidroizolacije jer štite od direktnog UV zračenja i smanjuju temperaturne oscilacije.

Socijalne koristi – U zavisnosti od namene objekta na kojima su primenjeni zeleni krovovi, socijalne koristi su višestruke. Uloga zelenog krova sa aspekta socijalne interakcije prepoznata je najpre kod objekata javne namene (poslovnih zgrada, škola, bolnica...). Boravak ili samo pogled na zeleni krov mogu doprineti većem učinku zapošljenih u administrativnim zgradama kao i bržem oporavku bolesnika koji borave u zdravstvenim ustanovama. Specijalizovane, terapijske bašte na krovu bolnice pružaju emocionalni predah bolesnicima zahvaljujući

pogledu, mogućnosti za boravak u prirodi, kao i pristupu spoljašnosti [8]. Na objektima socijalne zaštite, zeleni krovovi kao javni otvoreni prostori, socijalno nezbrinutim osobama doprinose osćaj pripadnosti društvu. Da bi se obezbedio prijatniji stambeni ambijent u višespratnim stambenim objektima kao i socijalizacija stanara koja indirektno poboljšava emocionalno blagostanje pojedinca, neophodno je obezbediti zajedničke prostore u njihovom "vertikanom komšiluku" a kao jedna od alternativa za rešavanje ovog problema je primena zelenog krova ili krovnog vrta [9].

Usled građanskog dezinvestiranja, porasta troškova života i ishrane, degradacije životne sredine došlo je do razvoja pravca nazvanog Urbana agrikultura (*eng. Urban Agriculture*). Urbana agrikultura prepoznata je u različitim oblicima gotovo od nastanka prvih gradova i pozicionirala se kao globalni društveni pokret i opšteprihvaćeni pristup održivog urbanog razvoja [10]. Integrisana je u lokalne ekonomske i ekološke sisteme po čemu se u potpunost razlikuje od ruralne agrikulture [11]. Aktiviranjem neiskorišćenih prostora za urbanu agrikulturu povećava se i ulaganje u zajednicu ali dovodi i do smanjenja stope kriminala u samim naseljima kao i do socijalne ravnopravnosti [12]. Kao jedan od potencijalnih elemenata urbane agrikulture prepoznati su zeleni krovovi – krovne „farme” (*eng. Rooftop farming*) u funkciji proizvodnje povrća, voća, začinskog bilja...

3 REGULATORNI OKVIRI I PREPORUKE ZA PRIMENU ZELENIH KROVOVA NA PRIMERIMA DOBRE PRAKSE U EVROPI

Prepoznavanje šire uloge i koristi zelenih krovova ogleda se i u donošenju regulatornih okvira i preporuka kao i odluka o dodeli državnih odnosno gradskih subvencija za njihovu primenu. Iako se naučna javnost u Srbiji bavi istraživanjem zelenih krovova sa različitih aspekata unazad nekoliko godina, tek 2018. je osnovana, zahvaljujući privatnoj kompaniji, Nacionalna asocijacija zelenih krovova (*eng. National Green Roof Association Serbia*). Asocijacija je član Evropske federacije za zelene krovove (*eng. European Federation of Green Roof Associations*) kao i nacionalne asocijacije država koje su izabrane kao primeri dobre prakse u donošenju i sprovođenju regulatornih okvira koji su prikazani u daljem tekstu.

Nemačka - Nemačka se smatra jednom od zemalja Evrope pa i sveta koja je prva uspostavila regulatorne

okvire za primenu zelenih krovova. Jasan set zahteva za njihovu primenu koji su se implementirali u pravne akte lokane vlasti širom Nemačke je uspostavljen 1998. godine. Prema podacima Evropske komisije oko 35% gradova u Nemačkoj je integrisalo zelene krovove u svoje regulatorne okvire. Više od 48 gradova obezbeđuje subvencije za zelene krovove, što se ogleda i kroz podatak da je danas u Nemačkoj od ukupne površine krovova, pod zelenim krovovima 14% odnosno 86 miliona metara kvadratnih. Kao lider u primeni zelenih krovova kako u Nemačkoj tako i u svetu izdvaja se grad Štuttgart koji pod zelenim krovovima ima više od 2 miliona metara kvadratnih. Ovakva imponantna brojka je i posledica politike grada kojom je još 1986. godine ustanovljen finansijski program pomoći za projektovanje i izvođenje zelenih krovova ali i obavezujući akti da svi novoprojektovani objekti sa krovovima nagiba manjeg od 12 stepeni moraju biti zeleni, a sve u cilju pripreme za predstojeće klimatske i ekološke promene. Dizeldorf (Slika 2) je takođe jedan od gradova u Nemačkoj sa regulatornim okvirima za primenu zelenih krovova kao i sa regulisanim obezbeđivanjem subvencija što je posledica razvoja regulative i propisa koji su započeti još 1979. godine kroz podršku grada u ekološkim projektima. Ovakav tretman prema podacima Internacionalne asocijacije zelenih krovova (*eng. International Green Roofs Association - IGRA*) doprineo je da danas u Dizeldorfu ima preko 2000 zelenih krovova odnosno oko 700000m².



Slika 2 - Kö-Bogen (Studio Libeskind), Dizeldorf - Komercijalni kompleks mešovite namene sertifikovan kao LEED platinum sa zelenim krovovima koji povezuju objekat sa istorijskim parkovima u okruženju i doprinosi mnogim koristima za okolinu.

Za razliku od Dizeldorfa, Hanover (Slika 3) je pre subvencija za primenu zelenih krovova uveo umanjeње od 50% na takse za opterećenje

kanalizacije od atmosferskih padavina za objekte sa zelenim krovom kao i zahtev da novoprojektovani objekti u Hanoveru sa krovovima nagiba do 20% moraju biti sa sistemom zelenog krova. Rezultat ovih mera je da u Hanoveru ima oko 2300 zelenih krovova odnosno 640000m².



Slika 3 - North German Bank – NordLB (Behnisch, Behnisch & Partner), Hanover – Poslovna zagrada sa 13 ekstenzivnih i 2 intenzivna krova ukupne površine od 5000m² čime je uspostavljena intenzivna veza između unutrašnjeg prostora i spoljašnosti.

Nemačka je jedna od retkih država koja je na nivou cele države uspostavila set osnovnih zahteva za primenu zelenih krovova a detaljnija regulativa i obavezujući akti su na nivou gradova. Pored obavezujućih propisa za planiranje zelenih krovova definisani su i tehnički uslovi za izvođenje zelenih krovova, vrste biljaka kao i njihovo održavanje.

Danska, Kopenhagen - gradske vlasti u Kopenhagenu od 2010. godine su u većini lokalnih planova integrisale zeleni krov kao obavezni element urbanog razvoja i kreatora zelenijeg grada (Slika 4 i 5). Fokus na zelenim krovovima intenziviran je uspostavljanjem ciljeva za razvoj urbanog dizajna sa zelenim krovovima u sklopu Plana adaptacije na klimatske promene za Kopenhagen (engl. *Climate Plan of the City of Copenhagen*). Od tada su postali integrisani u vidu različitih preporuka kao što su Preporuke za održivost konstrukcija i građevinskih radova (engl. *Sustainability in constructions and Civil works*) u kojima je propisano da svi opštinski objekti moraju da imaju zelene krovove, kao i Strategije za biodiverzitet grada (engl. *Strategy for Biodiversity*) [13]. Propisima je definisano da svi novi ravni krovovi sa nagibom manjim od 30 stepeni na višespratnim zgradama, privatnim i javnim objektima moraju da budu ozelenjeni uz ispunjenje najmanje dva kriterijuma za obezbeđenje kvaliteta kao što su

apsorpcija padavina 50-80%, obezbeđenje efekta hlađenja i izolacije zgrade, smanjenje refleksije, umanjeње uticaja toplotnih ostrva, doprinos u vizuelnom i estetskom smislu itd... [1]. Finansijska podrška zavisi od opštine do opštine, neke od opština subvencioniraju projekat zelenog krova od 10 do 20 evra po m² dok neke plaćaju iznos za ceo zeleni krov koji varira od 25 do 100% troškova njihovog izvođenja. Na osnovu odobrenih lokalnih planova očekuje se da će pod zelenim krovovima u Kopenhagenu uskoro biti 200000m² [13].



Slika 4 - 8-HOUSE (BIG – Bjarke Ingels Group) – Objekat namenjen stanovanju i kancelarijskom prostoru; 1700m² zelenog krova pod uglom od 30 stepeni predstavlja igru kontrasta arhitekture i prirode, strateški postavljen za smanjenje efekta urbanog toplotnog ostrva.



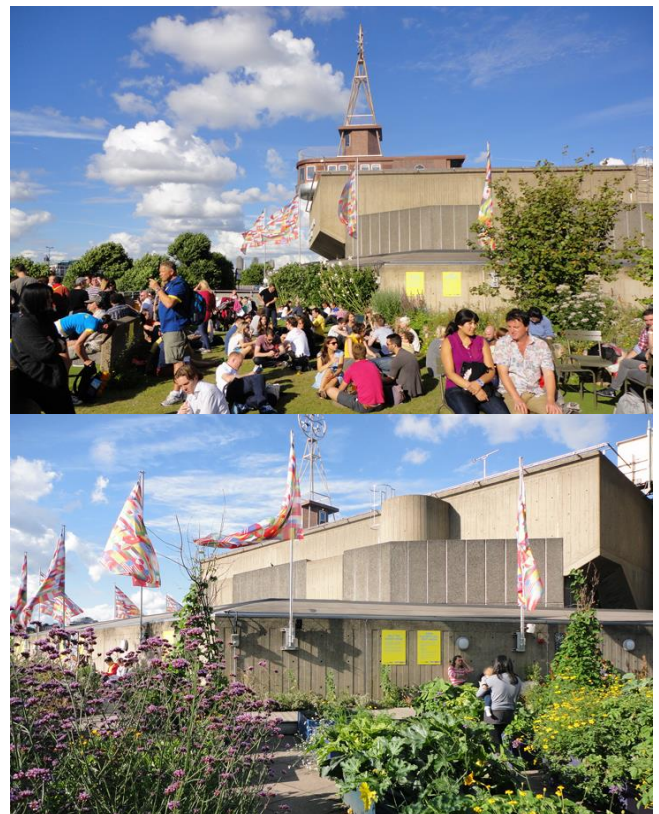
Slika 5 - Tagensbo škola (Kjaer & Richter projektni biro) - Multifunkcionalni krov iznad višenamenske školske hale površine 2200m² od čega je 1200m² pod zelenim krovom i predstavlja stecište đaka i stanovnika. Pored funkcionalne namene zeleni krov ima i ulogu "bio-agenta" jer zadržava površinske vode, odnosno smanjuje kišni oticaj.

I u ostalim razvijenim zemljama Evrope na snazi su mnogi pravni akti o implementaciji zelenih

krovova koji sve više postaju nezaobilazna mera zelene infrastrukture urbanih prostora.

Engleska, London - 2000. godine započeta je implementacija strategije "urbane renesanse" [1] sačinjene od strane radne grupe za planiranje (*engl. Urban Task Force*) a u cilju oživljavanja gradova. Ova strategija je imala uticaj i na reviziju postojećeg Zakona o planiranju koji se odnosi na stanovanje (*engl. Planning policy guidance note 3: Housing*). Poštujući ovu strategiju mnogi gradovi su na lokalnom nivou usvojili pravnu regulativu za primenu zelenih krovova. London je 2008. godine u dokumentu Londonski plan, koji je obavezujući za sve opštine, u poglavlju pet: Odgovor Londona na klimatske promene (*engl. London Plan Chapter Five: London's Response To Climate Change - Policy 5.11 Green roofs and development site environs*) definisao i primenu živih krovova. Živi krovovi su širok pojam koji je Gradska uprava Londona (*engl. Greater London Authority*) definisala kao krovove koji uključuju zelene krovove, krovne terase i krovne bašte i predstavljaju krovove kojima je moguće pristupiti od strane korisnika zgrade a koji mogu biti sa intenzivnom ili ekstenzivnom vegetacijom [14]. Primena živih krovova na postojećim i novim objektima treba da doprinese, što je više moguće, ispunjenju ciljeva definisanih u ovom poglavlju a to su: adaptacija na klimatske promene prvenstveno u hlađenju prostora, održiva urbana drenaža odnosno rasterećenje gradske kanalizacione mreže od atmosferskih padavina, doprinos energetske efikasnosti, unapređenje biodiverziteta, pristupačnost i upotreba zelenog krova kao otvorenog prostora, poboljšanje izgleda objekta i njegove trajnosti, i uzgoj hrane [15] (Slika 6). Pored ovakvih akata i strategija, primena zelenih krovova se na lokalnu zasniva na pregovorima jer se zeleni krovovi u mnogim situacijama vide kao dodatna a ne suštinska mera. I pored ovih činjenica a kao rezultat višegodišnjeg ulaganja u dijalog, stručna savetovanja i bez subvencija, primena zelenih krovova u Londonu je na zavidnom nivou. Do usvajanja Londonskog plana 2008. samo u centralnoj zoni Londona je izvedeno preko 700 zelenih krovova, odnosno više od 175000m². Prema podacima iz 2017. godine u centralnoj zoni pod zelenim krovovima izvedeno je 290000m², odnosno 1,26m² zelenog krova po stanovniku. To je više nego u mnogim drugim gradovima na svetu koji su poznati po svojim zelenim krovovima. Ukupna površina zelenih krovova na širem području Londona prema podacima iz 2017. iznosi 1,5 miliona m² (0,17m² po stanovniku) i predstavlja oko 42% ukupne površine izvedenih

zelenih krovova u Engleskoj. Od 2016. do 2017. godine primena ekstenzivnih zelenih krovova (uključujući biosolar krovove) porasla je za 17% dok je primena intenzivnih zelenih krovova porasla za 6%. Rezultati ovog plana. pokazuju da je glavni fokus aktivnosti bio u centralnom gradskom jezgri i u nekoliko spoljašnjih londonskih okruga gde je došlo do velikih urbanih regeneracija [16]. Treba napomenuti da su ovi rezultati postignuti bez subvencija ili finansijskih podsticaja koji su bili dostupni u mnogim drugim vodećim evropskim gradovima [16].



Slika 6 - The Queen Elizabeth Hall Roof Garden (Eden Project) London – Zeleni krov od 4000m² izveden na postojećem objektu u londonskom Southbank-u pored Temze, sa travnjacima, povrtnjakom i travnatim brežuljcima za kratak vremenski period postao je novi javni park koji održavaju socijalno ugrožene grupe, učenici, komšije...

Češka – poslednjih nekoliko godina tema zelenih krovova uživa sve veću popularnost u javnosti ali i u češkim institucijama. U Nacionalnoj strategiji adaptacije iz 2015. godine zeleni krovovi su navedeni kao mera adaptacije u cilju: smanjenja kišnog oticaja, osiguranja funkcionalne i ekološke stabilnosti sistema urbanog zelenila, ublažavanja rizika koji se odnosi na temperaturu i kvalitet vazduha, doprinosu za adaptaciju na klimatske promene kao i u cilju zaštite,

poboljšanja i obnavljanja ekosistema. Prema istraživanju Asocijacije zelenih krovova Češke (češ. *Sekce Zelene strechy*; engl. *Czech Green Roof Association*) iz 2015. godine u Češkoj je u prethodnoj godini izgrađeno oko 110000m² zelenog krova [17]. Kao najznačajniji rezultat Asocijacije izdvaja se objavljivanje Standarda za projektovanje, izvođenje i održavanje zelenih krovova iz 2016. godine (engl. *The publication Green Roof Buildup – Standards for the Design, Installation and Maintenance*). Subvencije za zelene krovove su od 2017. godine uvrštene u Nacionalni subvencionirani program i iznose oko 18,50 evra po m² sa maksimalnim iznosom od 2200 eura. Da bi se dobile subvencije, u skladu sa standardima za nisko-energetske objekte, zeleni krov mora da ispuni tehničke kriterijume: debljina supstrata mora biti veća od 8cm; mora biti formiran upotrebom odgovarajućeg supstrata za određeni tip zelenog krova; vegetacioni sloj mora da se sastoji od najmanje pet održivih biljnih vrsti; podnosilac prijave je odgovoran za održavanje zelenog krova; najmanje dve trećine zelenog krova mora biti pod vegetacijom u dobrom stanju u narednih 10 godina; zeleni krov mora biti u svemu usklađen sa Standardom za projektovanje, izvođenje i održavanje zelenih krovova [17]. Sa ovakvom regulativom i sa subvencijama na nacionalnom nivou, pod zelenim krovovima u 2017. izvedeno je 195000m² odnosno 247000m² u 2018. što predstavlja porast od skoro 25% na godišnjem nivou [18] (Slika 7 i 8).



Slika 7 - Administrativni objekat, Brno – Zeleni krov sa biljkama tipičnim za mesto i pored javne namene (direktno je povezan sa terenom) koristi se i u edukativne svrhe, dok se kao tehnička voda za objekat koristi kišnica prikupljena sa zelenog krova.



Slika 8 – Poslovni objekat, Prag - Intenzivni zeleni krovovi kao peta fasada objekta projektovani su kao vrtovi kako bi korisnicima bila omogućena veza sa otvorenim prostorom.

3 ZAKLJUČAK

U gradovima kao neki od problema za njihovo funkcionisanje, a koji su rezultat klimatskih promena izdvojili su se: 1) urbana toplotna ostrva i 2) poplave usled olujnih padavina. Pojavu ovih problema kao i stvaranje nezdravog urbanog okruženja doprinelo je i smanjenje zelenih površina. Zeleni krovovi predstavljaju jednu od pasivnih mera u arhitektonskom projektovanju i urbanističkom planiranju a sve u cilju odgovora na izazove klimatskih promena, prevashodno na pomenute probleme ali i na smanjenje zagađenja vazduha i poboljšanje biodiverziteta. Funkcionalna vrednost zelenih krovova doprinosi transformaciji ravnih krovova u korisne prostore (krovne bašte/terase, urbane farme ili jednostavno korisne zelene površine).

Zakonsku regulativu i standarde za primenu zelenih krovova na nacionalnom nivou ima samo nekoliko zemalja. Primeri dobre prakse pokazuju da je povećanje primene zelenih krovova vidljivo u kratkom vremenskom periodu od donošenja regulative i subvencija. Češći su primeri da se na nivou grada donose obavezujući akti o njihovoj implementaciji na novim razvojnim lokacijama, područjima urbane regeneracije i novim objektima uz subvencije države ili grada. Značaj subvencija se najbolje ogleda na primeru Češke gde je za samo godinu dana od njihovog donošenja na državnom nivou i jasno definisanim smernicama za njihovu primenu primetan porast primene zelenih krovova od 25%. Ako se ima u vidu da je u Srbiji mali procenat izvedenih zelenih

krovova, modeli regulatornih okvira i subvencija na državnom i lokalnom nivou mogu predstavljati veliku razvojnu šansu za njihovu primenu.

LITERATURA

- [1] Crnčević Tijana, Sekulić Mirjana: Zeleni krovovi u kontekstu klimatskih promena – pregled novih iskustava. *Arhitektura i urbanizam*, **2012**, Vol. **36**, UDK: 712.4:692.415; 711.4:551.583, DOI: 10.5937/arhurb1236057C, str. 57-67.
- [2] Oberndorfer Erica et al.: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, **2007**, Vol. **57** No.10, str. 823-833.
<http://bioscience.oxfordjournals.org/>
- [3] Bevilacqua Piero, Mazzeo Domenico, Bruno Roberto, Arcuri Natale: Surface temperature analysis of an extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate. *Energy and Buildings*, **2017**, Vol. **150**, str. 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.081>
- [4] Beattie D., Robert Berhage: Green roof media characteristics: The basics. Paper presented at the *Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show*; 2–4 June 2004, Portland, Oregon.
- [5] Mentens Jeroen, Raes Dirk, Hermy Martin: Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, **2005**, Vol. **77**, No **33**, str. 217–226.
- [6] Francis A. Robert, Lorimer Jamie: Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, **2011**, Vol. **92** str.1429-1437.
- [7] Saiz Susana, Kennedy Christopher, Bass Brad, Pressnail Kim: Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental Science and Technology*, **2006**, Vol. **40**, DOI: 10.1021/es0517522, str: 4312–4316.
- [8] Reeve Angela, Nieberler-Walker Katharina, Desha Cheryl: Healing gardens in children's hospitals: Reflections on benefits, preferences and design from visitors' books. *Urban Forestry & Urban Greening*, **2017**, Vol. **26**, str.48-56.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.013>
- [9] Wan Zuriea Wan Ismail, Nor Rima Muhamad Ariff, Sabarinah Sh. Ahmad, Hikmah Kamarudin: Green Roof Maintenance towards Sustaining Neighborhood Spaces of High-Rise Residential Developments in Malaysia. *Advanced Science Letters*, **2016**, Vol. **22**, No. **5**, DOI: 10.1166/asl.2016.6660, str.1502-1508.
- [10] Vasilevska Ljiljana, Milanović Danijela, Vasilevska Magdalena: Flat roofs potentials for implementation of urban agriculture. 7th International Conference: Contemporary achievements in civil engineering 23-24. April 2019. Subotica, Serbia. *Conference Proceedings International Conference*, **2019**, UDK: 69.024:635, DOI: 10.14415/konferencijaGFS2019.088 str. 953-962.
- [11] Mougeot J.A. Luc: *Urban Agriculture: Definition, Presence and Potentials and Risks - Thematic Paper 1*. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, **2000**.
- [12] Mougeot J.A. Luc: *Growing better cities: Urban agriculture for sustainable development*. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada, **2006**.
- [13] Rømø Dorthe, *Green Roofs Copenhagen*, The Technical and Environmental Administration in City of Copenhagen, **2012**.
- [14] *Living Roofs and Walls - Technical Report: Supporting London Plan Policy*, Greater London Authority, London, **2008**, ISBN 978 1 84781 132 5
- [15] *London Plan Chapter Five: London's Response To Climate Change - Policy 5.11 Green roofs and development site environs*
<https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/london-plan/current-london-plan/london-plan-chapter-five-londons-response>
- [16] *Living Roofs and Walls from policy to practice-10 years of urban greening in London and beyond*, European Federation of Green Roof and Green Wall Associations (EFB) and Livingroofs.org on behalf of the Greater London Authority, London, **2019**.
<https://livingroofs.org/czech-buildings-finance-green-roofs/> [Pristupljeno: 4.11.2019.]
- [17] <https://livingroofs.org/czech-buildings-finance-green-roofs/> [Pristupljeno: 4.11.2019.]
- [18] <https://efb-greenroof.eu/2019/09/25/cz-green-roof-market-report/> [Pristupljeno: 4.11.2019.]

IZVOR SLIKA

Slika 1: Autori

Slika 2: <https://www.inhabitat.com/wp-content/uploads/Ko-Bogen-4.jpg>

Slika 3: <https://www.greenroofs.com/projects/north-german-bank-nordlb/>

Slika 4:

[https://it.wikipedia.org/wiki/8_House#/media/File:8Tallet_Orestad_20100810_0096F_\(8367968130\).jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/8_House#/media/File:8Tallet_Orestad_20100810_0096F_(8367968130).jpg)

Slika 5:

<https://www.loa-fonden.dk/projekter/2012/tagensbo-skole/>

Slika 6: <https://inhabitat.com/londons-queen-elizabeth-roof-garden-brings-fresh-veggies-flowers-and-a-place-to-sit-in-the-sun/>

Slika 7: <https://efb-greenroof.eu/work/extensive-green-roof-czech-republic-2/#>

Slika 8: <https://efb-greenroof.eu/work/extensive-green-roof-czech-republic3/#>

CRKVA SVETI MILUTIN – PROBLEM SAVREMENE SRPSKE SAKRALNE ARHITEKTURE

UDK : 726.54(497.11)

Mirko Stanimirović¹, Slaviša Kondić², Vojislav Nikolić³

Rezime: U ovom radu je prikazano idejno rešenje crkve Sveti Milutin u selu Žitorade kod Vladičinog Hana. Pored prezentacije procesa projektovanja dokumentovano je i stanje u srpskoj sakralnoj arhitekturi. Prikazana komunikacija između arhitekata i Crkvenog odbora ilustruje zanemarivanje savremene arhitektonske prakse u slučaju srpskih pravoslavnih hramova. Idejno rešenje je odbijeno jer nije u skladu sa zamišljenom slikom hrama, koju je formirao Naručilac. Ipak, istraživanjem je postignut cilj da se u skladu sa liturgijskom funkcijom hrama objekat oblikuje na savremeniji način, kreativnom preradom uzornih principa.

Ključne reči: Sakralna arhitektura, crkva, projektovanje, Srbija

THE CHURCH OF SAINT MILUTIN - THE PROBLEM OF CONTEMPORARY SERBIAN SACRAL ARCHITECTURE

Abstract: This paper presents the conceptual design of the church of St. Milutin in the village of Zitorade near Vladicin Han. In addition to the presentation of the design process, the situation in Serbian sacral architecture was also documented. The communication shown between the architects and the Church illustrates the neglect of contemporary architectural practice in the case of Serbian Orthodox temples. The conceptual design was rejected because it did not conform to the imagined image of the temple, formed by the Client. Nevertheless, the research has achieved the goal of designing the building in a more contemporary way in accordance with the liturgical function of the temple, through creative revising of representative principles.

Keywords: Sacral architecture, church, architectural design, Serbia

¹ Dr Mirko Stanimirović, docent, wireframe22@gmail.com, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

² Slaviša Kondić, asistent, skondic555@gmail.com, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ Vojislav Nikolic, asistent, vojislavn@gmail.com, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1. PROJEKTNI ZADATAK

Pravoslavni hram u selu Žitorade, između Vladičinog Hana i Surdulice, srušen je, prema izjavama Crkvenog odbora, u 16. veku. Uz blagoslov episkopa vranjskog Gospodina Pahomija Crkvena opština Žitorade je 2014. godine pripremila neophodnu dokumentaciju, koja prethodi izradi projekta crkve Svetog Milutina. Opština Vladičin Han je 15.9.2014. godine dala saglasnost da lokacijska i građevinska dozvola za izgradnju pravoslavnog hrama na katastarskoj parceli 2769/24 (942 m²) glasi na ime Crkvene opština Žitorade. Opštinska uprava Vladičin Han donela je 22.10.2014. rešenje o lokacijskoj dozvoli za izgradnju verskog objekta u kojem su navedeni uslovi za izgradnju objekta. Kako Crkveni odbor nije bio u materijalnoj mogućnosti da naruči izradu potrebne projektne dokumentacije, obratio se telefonom Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu za pomoć. Molbu fakultetu su 22.12.2014. godine podneli predsednik Crkvenog odbora, Predrag Iskrenović i starešina Crkvene opštine Žitorade, protojerej Nikola Petrov. U molbi je u navedeno da je sa nadležnim episkopom dogovoreno da crkva ima:

- 60 – 70 m²,
- kupolu,
- zapadni trem, gde bi se palile i prodavale sveće i
- zvonik, iznad trema.



Slika 1 – Situacija (dokumentacija autora)

Nakon inicijalnog sastanka 12.1.2015. godine u Nišu, obišli smo 30.1.2015. godine mesto, koje je bilo planirano za izgradnju novog hrama. Kako je parcela imala nezavidnu proporciju, varijabilne širine 6 – 10 m i dužine od oko 100 m, u dogovoru sa predstavnicima opštinske uprave Vladičin Han, sačinjen je usmeni sporazum da se odstupa od uobičajenih pravila

građenja. Parcele u vlasništvu opštine, od puta do crkve, postale su deo projekta, a dozvoljena je gradnja do granica parcele.



Slika 2 – Mesto novog hrama (dokumentacija autora)

U Nišu je zvanično 30.6.2015. godine zaključen Ugovor o izradi projekta između Crkvene opštine Žitorade i Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu. Fakultet se kao Izvršilac obavezao da za Naručioca uradi projekat idejnog rešenja pravoslavnog hrama prema Molbi za izradu projekta za izgradnju hrama. Izvršilac je odredio Mirka Stanimirovića, Slavišu Kondića i Vojislava Nikolića kao autore Projekta. Naručilac se obavezao da izradi sve ostale projekte potrebne za izgradnju hrama i da izgradi hram, prema projektu i uz nadzor Autora. Ugovorene strane su se sporazumele da Izvršilac poklanja Projekat Naručiocu. Ugovor su potpisali dekan Građevinsko-arhitektonskog fakulteta, prof. dr Petar Mitrović i predsednik Crkvenog odbora, Predrag Iskrenović.

2. IDEJNO REŠENJE

Sa predstavnicima Crkvene opštine održana su dva sastanka na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu, 30.5.2015. u kabinetu 501 i 30.6.2015. u Institutu. Na početno rešenje je snažno uticao postojeći ambijent. Na srednji deo parcele naslanjao se narodno-oslobodilački spomenik iz 20. veka, koji je već bio u procesu izmeštanja na novo mesto. Parcela je dominantno izdužena i paralelna je sa glavnim putem koji spaja Vladičin Han i Surdulicu. Želja stanovnika je bila da crkveni zvonik i hram signaliziraju prolaznicima da je potrebno svratiti, kao i da istaknu značaj Srpske pravoslavne crkve u ovom pograničnom području, o kojem meštani govore kao o „poslednjem bastionu srpskog pravoslavlja“. U vreme pripremanja prve varijante rešenja, predstavnici Crkvenog odbora su se potrudili da dobiju sredstva za izgradnju hrama - u blizini postojao kamenolom, aktiviran za potrebe

izgradnje južnog koridora 10 i njegovog kraka prema Preševu, pa im je lokalno građevinsko preduzeće, prema njihovim rečima, obećalo kamen kao materijal za izgradnju zidova i temelja. Na početni koncept je pored navedenog uticala i crkva u Mrtvici, kao i činjenica da je predmet arhitektonskog zadatka seoska manja crkva. O uticaju aktuelnog diskursa savremene sakralne arhitekture u Srbiji, kao i odnosu tradicije i savremene arhitekture biće kasnije više reči [4, 12].

Osa parcele je postavljena 22° u odnosu na zapad – istok, što je bilo prihvatljivo za položaj oltara. Širina parcele je bila premala za razvijanje manjeg hrama i ophodnog puta (prema pravilima građenja), pa smo usvojili usmeni predlog naručioca da masivne kamene zidove na jugu postavimo do same granice. Dobijeni su sledeći rezultati – prostor oko crkve u širini 1.2 m je prelazio preko južne parcele, a na gornjoj strani je dodirivao granice parcele. Tako je dobijena ukupna širina crkve od 7 m (6 m unutra), njena jednobrodna forma i unutrašnja širina kupole od 5 m. Unutrašnji prostor crkve je dalje razvijan od središnjeg potkupolnog prostora ka ulazu i ka oltaru, dodavanjem minimalnih 3 m sa obe strane. U odlučivanju nismo koristili proporcijske sheme, već smo prostor gradili prema njegovoj kompoziciji, na osećaj. Na istoku smo dodali oltarsku apsidu širine 2 m. Na opisani način je dobijena ukupna dužina crkve od 14 m, odnosno njena dupla širina. Prema istom osećaju smo unutrašnju visinu svoda postavili na 7 m i sleme krova na 9 m. Ipak, dobijenom figurom nismo bili u potpunosti zadovoljni, jer je blizina puta i njegova dinamična priroda tražila izduženiju arhitektonsku strukturu, usidrenu u pejzaž, koji se uglavnom sagledava iz automobila. Rešenje koje se nametalo je proširenje programa – parohijskim domom i otvorenim prostorom susreta ispred crkve, koji će zameniti prostor oko spomenika.

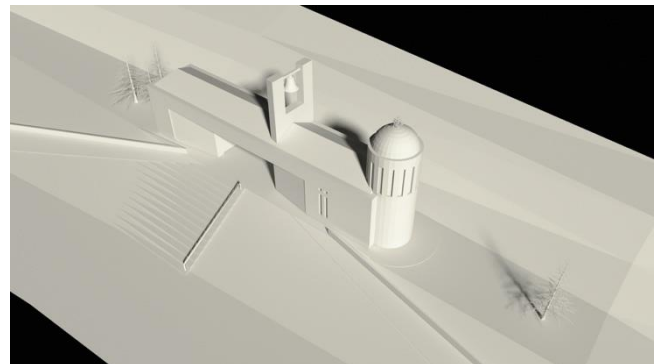
U pravcu spomenika i stepenica, koje vode do njega, formirali smo novi prilaz. Plato je mesto susreta novih stepenica i rampi, koje se usidruju u škarpu. Nalazi se u težištu ukupne izdužene figure. Sa njegove leve strane je parohijski dom, sa desne je crkva, postavljena u pravcu parcele. Susret ova dva programa naglašen je zidovima koji su u predelu rampi, u osnovi, blago zakošeni u odnosu na ortogonalnu strukturu, tako da otvaraju pogled sa platoa ka selu. Radi stvaranja ukupne izdužene siluete, dom i crkva su spojeni visokim gredama u gornjoj zoni, a iznad platoa je pergola. Tako izdužena formu olakšana je šupljinom u njenoj sredini. Zamisao autora je bila da se relativno mali unutrašnji prostor crkve proširi na plato i parohijski dom, odnosno na salu za agape, koja se

prostire kroz dve spratne visine. Rešenje je ostvareno postavljanjem velikih otvora, koji imaju mogućnost i parcijalnog (uobičajenog) korišćenja. U nastavku sale nalaze se prodavnica, toaleti za posetioce, kancelarija, kotlarnica, mala kuhinja i stepenište. Na spratu je dvosoban stan za sveštenika.



Slika 3 – Skica novog hrama (dokumentacija autora)

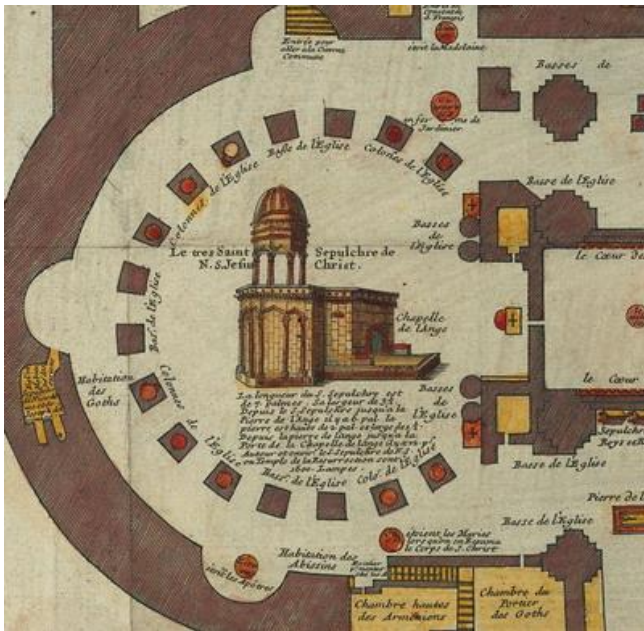
Vertikalna zvonika na zapadu crkve i horizontala ukupne strukture su nam odgovarali, ali položaj centralne kupole i sama forma preslice nisu. Nakon posete manastiru Mrtvici [9], ostala nam je zabeležena forma drvenog rešetkastog zvonika i njegov položaj u odnosu na crkvu. To je odgovaralo i autentičnom izrazu akademika Branislava Mitrovića, koji je u selu Štipina kod Knjaževca napravio antologijski iskorak u savremenoj sakralnoj arhitekturi. Iako nam je vazdušasta struktura zvonika bila veoma bliska, pokušali smo da izbegnemo njenu upotrebu. Zastupamo stav da posle crkve u Štipini svi pokušaji korišćenja njenog zvonika bi bili upravo ono što zameramo svim crkvenim objektima novijeg doba, koji su realizovani korišćenjem srednjevekovnih citata.



Slika 4 – Skica novog hrama (dokumentacija autora)

Veći problem u procesu projektovanja je bio rešiti arhitektonsku kompoziciju istočnog dela crkve, gde se oltarska apsida spaja sa svodom i krovom. Takođe, kompoziciji nije odgovarala središnja kupola (bilo koje dimenzije), pa smo pokušali da njen položaj uskladimo

sa oblikom šire situacije koja se raskrscnicom završava ka istoku. Analizirajući primere iz prošlosti nismo naišli na krajnje istočni položaj kupole u crkvi. Ima puno primera gde kupolu zamenjuje kalota iznad oltarske apside (da ne spominjemo kupole krstionica, koje ne možemo priključiti ovom arhitektonskom problemu), ali svuda je krajnji istočni položaj kupole bar dopunjen oltarskom apsidom. Iz proučavanja liturgijske funkcije pravoslavnog hrama [4, 10] zaključili smo da odvijanje događaja u hramu ne bi narušilo postavljanje kupole iznad oltara. Time bi se zapravo približili crkvi pod kupolom, kapeli Svetog Groba u crkvi Hristovog Vaskresenja u Jerusalimu ili obliku ciborijuma, koji je kao element ranohrišćanske arhitekture postavljan iznad časne trpeze kao simbol neba [2, 3].



Slika 5 – Kapela Svetog Groba (preuzet sa <https://westernwallwish.com/the-church-of-the-holy-sepulcher>, 2019 12 01)

U sledećem koraku procesa projektovanja smo osvetljavali postavljene mase. Kako je ceo srednji vek u crkvenoj arhitekturi podrazumevao kreativnu preradu uzornih rešenja (kad god su za to postojali uslovi), imali smo obavezu da se povežemo sa tradicijom i osmislimo prijatno komponovane detalje. Vezu sa srpskim srednjim vekom smo vezali za ličnost Stefana Nemanje, posebno za izgled prvih crkava iz njegovog vremena i formu dvojnih kula, koje je su izgrađene u više navrata u to doba [5, 8]. Simbol broja dva smo videli i u biforama srpskih srednjevekovnih crkava [8]. U 12. veku, pod snažnim uticajem romaničke arhitekture, prozorski otvor se pomoću stuba delio na

dva jednaka dela, a lukovi su premošćavali te dve celine i time olakšavali masu zida koja se nalazila iznad tih otvora. Pod ovim uticajem, ne samo da smo preradili motiv bifora, već smo u crkvi Svetog Milutina u Žitorađu zbog spomenutog bastiona prepoznali ideju dvojnih kula i tvrđave. Dimenzije prozorskih otvora su rezultat naše namere da stvorimo mističnu atmosferu, koja bi pojačala sakralnost liturgijskog sabranja vernika. Na izgled prvog rešenja uticala i činjenica da će crkva biti izgrađena od kamena, kao i arhitektonska ideja crkava u doba Stefana Nemanje, nastala pod uticajima Istoka i Zapada [6]. U zanosu kreativne prerade, pod snažnim uticajem crkve u Štipini, preradili smo i formu drvenog zvonika prema simbolu broja 2 i dobivenu strukturu smo postavili na simboličnu formu dvojnih tornjeva. Radi pojednostavljenja izvođenja, ovu varijantu rešenja smo podelili na dve faze:

- izgradnja crkve i
- izgradnja parohijskog doma.



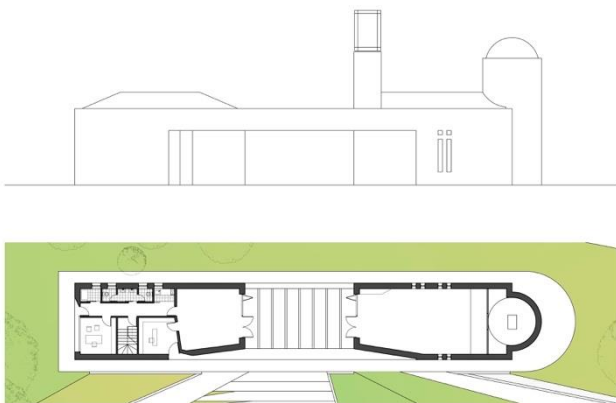
Slika 6 – Prva varijanta rešenja, crkva i parohijski dom (dokumentacija autora)



Slika 7 – Prva varijanta rešenja, crkva, prva faza (dokumentacija autora)

Mišljenja smo da se predsedniku Crkvenog odbora dopalo prvo rešenje, ali odluka je morala da se donese uz konsultacije sa episkopom Pahomijem, pa smo predložili zajednički sastanak. Uz razna obećanja i

obrazloženja sastanak se nikad nije desio, ali nam je preneto mišljenje vladike da prvoj varijanti našeg rešenja više odgovara „Beograd na vodi“ i da odustaju od izgradnje parohijskog doma. Zatražili smo osvrt na rešenje u pisanoj formi, kao i dopunu projektnog zadatka, jer smo usmeno zamoljeni da prilagodimo izgled crkve po ugledu na srednjevekovne srpske uzore. Između dva sastanka komunikacija je realizovana elektronskim putem, sa sveštenikom Nikolom Petrovim.



Slika 8 – Prva varijanta rešenja, izgled i osnova prizemlja (dokumentacija autora)



Slika 9 – Prva varijanta rešenja, prva faza (dokumentacija autora)

U nastavku procesa projektovanja, u drugoj varijanti rešenja, parohijski dom nije razmatran, ali su položaji rampi, stepenica i platoa ostali organski delovi novog koncepta. Zakošenje južnog zida je bilo u skladu sa stvorenom intervencijom u delu prilaza crkvi, te je zadržano kao sećanje na prvo rešenje. Ta kosina je bila upravna na pogled iz pravca Vladičinog Hana (slika 2) i pratila je pravac desne rampe, koja kao da je zasecala celu strukturu crkve. Mišljenja smo da je arhitektura kao društvena disciplina neodvojiva od konteksta [1] te su nam uslovi terena, ali i istorije stvaranja ovog hrama,

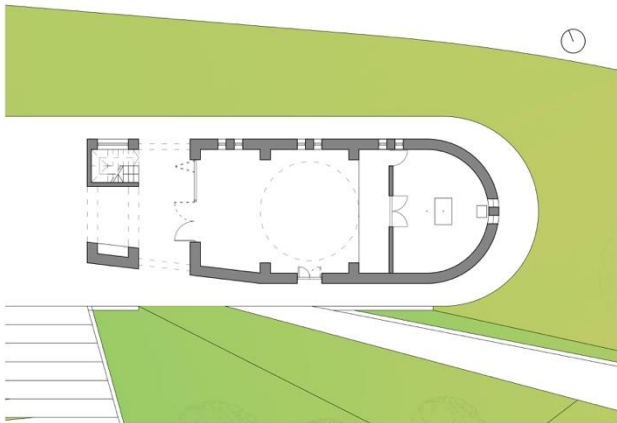
poslužili za promišljanje jedne arhitektonske strukture, koju nije moguće ponoviti na drugom mestu, u drugo vreme i prema novom programu. Kako prostor platoa ispred crkve više nije bio povezan pergolom sa crkvom i parohijskim domom, morali smo takav natkriveni prostor da potražimo između zvonika i crkve. Začeta je ideja da se u zvoniku nađu stepenice koje bi vodile do galerije i do prostora iz koga se može prići zvonima radi njihovog održavanja, ali namerno nije završena do kraja, jer smo očekivali nove izmene posle drugog sastanka. U skladu sa usmenom dopunom programa, mesto kupole je prebačeno u središte crkve, ali bez kockastog postolja, koje je jedno od obeležja naše srednjevekovne pravoslavne arhitekture [8].



Slika 10 – Druga varijanta rešenja (dokumentacija autora)

Kupolu prihvata za širinu zida širi tambur u formi tvrđave i taj motiv se ponavlja u predelu krova, koji je posmatračima zaklonjen nadzidkom. U osnovi kupolu nose pilastri, stvarajući utisak prostora podeljenog na

naos i narteks. U sredini naosa, prema jugu, otvorena su vrata, takođe prema zahtevu naručioca, što smatramo da je veoma korisno za rasterećenje praznične gužve prilikom pričešćivanja. Prema novoj arhitektonskoj kompoziciji prostor oltara gubi izdvojene niše u delu proskomidije i đakonikona, te se završava polukrugom u potpunoj širini naosa.



Slika 11 – Druga varijanta rešenja, osnova prizemlja (dokumentacija autora)

Na drugom sastanku sveštenik Nikola Petrov je izrazio svoje nezadovoljstvo u vezi sa tvrđavskim izgledom crkve i masivnim zvonikom. Predsedniku Crkvenog odbora se opet svidelo rešenje, ali za konačnu odluku je trebalo sačekati nadležnog vladiku vranjskog Gospodina Pahomija. Zahtevali smo sastanak sa njim ili njegovim predstavnicima iz eparhije, kako bismo dobili priliku da branimo rešenje i kako bismo ga unapredili dalje, prema uputstvima koje ne zahtevaju korišćenje stilova iz prošlosti, već se tiču funkcionalne organizacije prostora. Zahtevali smo mišljenje Srpske pravoslavne crkve u pisanoj formi kako bismo krenuli ka potpuno novom rešenju, kroz detaljniju saradnju sa sveštenicima.



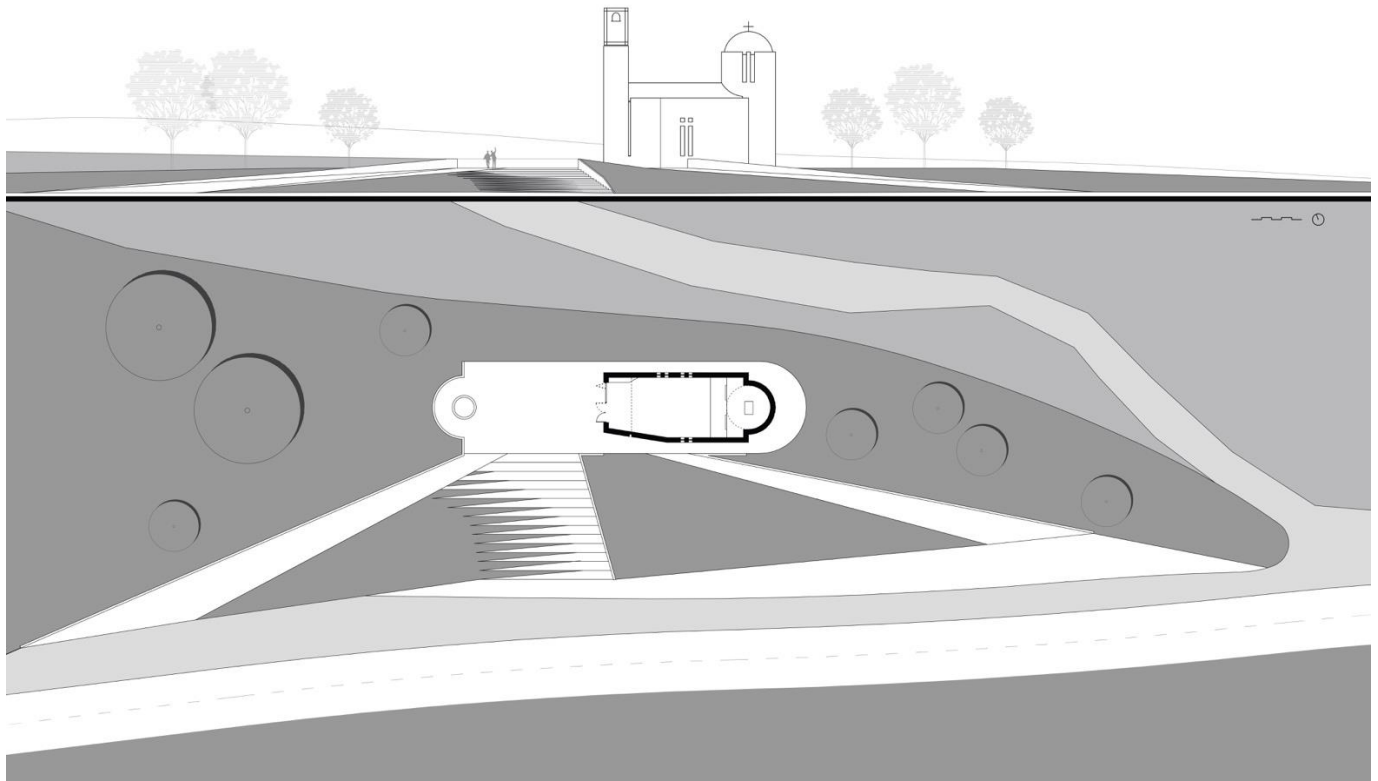
Slika 12 – Druga varijanta rešenja (dokumentacija autora)

Ali to izgleda nije odgovaralo obema stranama, jer nam je izjavljeno da naše rešenje ne podseća na srpsku pravoslavnu crkvu i predloženo nam je projektujemo „kao pre 100 godina“. Krajnje nezadovoljstvo naručioca na istom sastanku pokazano je crtanjem lukova u više redova na zvoniku, na šta smo pokrenuli raspravu o izgledu autentično srpskog hrama u srednjem veku [13], a dotakli smo se i opisivanja ovog i prošlog vremena. Rasprava je završena nakon našeg pitanja da li su predstavnici Crkvenog odbora na sastanak došli automobilom, peške ili nekim drugim prevoznim sredstvom. Ovom razmenom prijateljske energije je i završeno naše dalje angažovanje na projektu crkve Sveti Milutin u selu Žitorade. Sastanak sa vladikom se nikada nije desio, niti smo dobili njegovo mišljenje o našem rešenju u pisanom obliku. Nekoliko dana nakon sastanka predsednik Crkvenog odbora nam je saopštio da su meštani sela Žitorade pogledali naša rešenja i da postoji njihova velika bojazan da je crkva zapravo katolička, a ne pravoslavna.



Slika 13 – Druga varijanta rešenja (dokumentacija autora)

Ono što smo mogli da zaključimo je da u većini slučajeva naručilac zahteva da arhitekti izrade projekat prema njihovom „dizajnu“. Ispunjavanjem svih uslova osim „zidanja kao u srednjem veku“ nismo došli do sporazuma. Čak i naša sugestija da izbacimo iz programa zvonik nije urodila plodom. Na položaj kupole, poziciju i dimenziju otvora, oblik lađe, izgled kamenog ikonostasa, kao i na dešavanje u unutrašnjem prostoru, nije gledano kao na neočekivani izgled hrama. Na primeru ovog idejnog rešenja prikazan je uobičajeni stav naručioca o tome kako treba da izgledaju crkve u 21. veku i to je, prema našem mišljenju, problem savremene srpske sakralne arhitekture. Za potrebe ovog aktuelnog stručnog diskursa, ovaj projekat smo na Trijenalu arhitekture u Nišu 2015. godine, predstavili u njegovoj prvoj varijanti.



Slika 14 – Rešenje prezentovano na Trijenalu arhitekture u Nišu (dokumentacija autora)

3. PROBLEM SAVREMENE SAKRALNE SRPSKE ARHITEKTURE

Cilj prikazivanja procesa projektovanja crkve Sveti Milutin u selu Žitorade je dokumentacija jedne situacije u kojoj je, slobodno možemo tako reći, zanemarena arhitektonska praksa ovog vremena. Idejno rešenje je prećutno odbijeno jer nije u skladu sa zamišljenom slikom hrama, koju je formirao Naručilac. Ipak, istraživanjem je postignut cilj da se u skladu sa liturgijskom funkcijom hrama objekat oblikuje na savremeniji način, kreativnom preradom uzornih principa.

Činjenica da naručioci nisu bili spremni da razvijaju projekat kroz dvosmernu komunikaciju i argumentovano usmeravanje rešenja potvrđuje ranije postavljenu teoriju da na početku 21. veka evidentna kriza kriterijuma građenja srpskih pravoslavnih hramova [4]. Slično konkursu za hram Svetog Save na Vračaru iz 1906. godine, stručna javnost je pokazala svoje nezadovoljstvo zbog vrednovanja tradicionalnih objekata prema ličnim afinitetima. Ponavljanje ovakvih situacija dovodi do rasta nezadovoljstva srpskih arhitekata, koji su u više navrata osudili nespretno

kopiranje tradicije. Zagovornici tradicionalizma zapravo nevesitim korišćenjem srednjovekovnih citata povećavaju jaz Crkve i savremene arhitekture. Jednosmerno proučavanje naše prošlosti, pod uticajem raznih ideologija, interesa i politika, vodi u izgradnju crkava koje samo podsećaju na tradicionalne objekte, ali su zapravo neuspele arhitektonske kompozicije. Za osetniju transformaciju opisanih ideja potrebna je i osetnija pažnja poklonjena rešavanju ovog problema. Tek sa kritičkim sagledavanjem novijih crkava nakon potrebnog vremenskog razmaka, uz stalno ulaganje u obrazovanje, društvo i njegovu kulturu, stvoriće se realniji pogled na srpski pravoslavni hram novijeg doba [7]. Neke od pojedinačnih funkcija hrama su već objašnjene u nauci (kao što su liturgija [10] i ikonografija), ali još uvek nije došlo do ozbiljnije saradnje svih učesnika u izgradnji, koja bi rezultirala nastavkom složenog razvoja srpskih crkava.

Mišljenja smo da ako nakon svih napora dođemo do zaključka da je pravoslavna arhitektura u srpskoj prošlosti dostigla najveću moguću zrelost, takvu arhitekturu treba smestiti u muzeje. To bi značilo da čak ni kreativna prerada nasleđenih principa ne bi pomogla nastavku bogatog razvoja, već treba krenuti u

skladu sa novim vremenom i novim društvom. Zastupamo stav da ideja prošlosti utemeljuje stav Crkve da novi objekti preuzimaju tradicionalne oblike, u skladu sa uslovljenošću između istorijskih događaja i pojavljivanja ideje o nacionalnoj umetnosti sa početka XX veka. Slažemo se sa Trifunovićem da je prošlost je u istoriji umetnosti srpskog naroda korišćena kao kult jedne umetnosti i kao kriterijum [11], jer je promišljena nadgradnja tradicije imala za cilj povezivanje Srba u jedinstven kulturni i državni prostor.



Slika 15 – Crkva Bogorodičinog Uspenja u Mrtvici (dokumentacija autora)

5. LITERATURA

- [1] Jovanović, G. i Stanimirović, M.: Pet projektantskih načela, *Nauka i praksa*, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, br. **21**, **2018**, str. 71–76.
- [2] Krautheimer, R.: *Early Christian and Byzantine Architecture*, Penguin Books, Baltimor, **1965**.
- [3] Mango, C.: *Byzantine architecture*, Electa, Rizzoli, New York, Milano, **1985**,
- [4] Stanimirović, M.: Projektovanje srpskih pravoslavnih hramova u 21. veku, *Nauka i praksa*, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, br. **21**, **2018**, str. 18–24.
- [5] Кандић, О.: Куле–звоници уз српске цркве XII—XIV века, *Зборник за ликовне уметности*, Матица српска, Нови Сад, бр. **14**, **1978**, стр. 3–80.
- [6] Кораћ, В.: *Између Истока и Запада : одабране студије о архитектури*, Просвета, Београд, **1987**.
- [7] Куртовић Фолић, Н.: Црквено градитељство, традиција или трансформација црквених облика. *Традиција и савремено српско црквено градитељство*, ИАУС, Београд, **1995**, 62–98.
- [8] Ненадовић, С.: *Архитектура у Југославији од IX—XVIII века и главни споменици народа Југославије изван њених граница*, Научна књига, Београд, **1987**.
- [9] Пешић, Б.: Црква Богородичиног Успења у Мртвици, *Саопштења*, Републички завод за заштиту споменика културе, Београд, **XX-XXI**, **1988-1989**, стр. 93–107.
- [10] Станимировић, М., Дабић, М.: Литургијска функција у архитектури српског православног храма, *Црквене Студије*, Центар за црквене студије, Ниш, **2017**, бр. **14**, стр. 689–702.
- [11] Трифуновић, Ј.: Стара и нова уметност. Идеја прошлости у модерној уметности. *Зограф. Часопис за средњевековну уметност*, Галерија фресака, Београд, **1969**, бр. **3**, 39–52.
- [12] Турншек, Б.: *Рурална архитектура*, Грађевинско-архитектонски факултет Универзитета у Нишу, Ниш, **2019**.
- [13] Шкаламера, Ж.: Обнова „српског стила” у архитектури, *Зборник за ликовне уметности*, Матица српска, Нови Сад, бр. **5**, **1969**, стр. 191–236.

OTPORNOST NA SMRZAVANJE I ODMRZAVANJE GEOPOLIMERNIH MALTERA NA BAZI ELEKTROFILTERSKOG PEPELA SA DODATKOM CRVENOG MULJA

UDK : 666.972.16
666.9.015

Nenad Ristić¹, Jelena Bijeljić²
Zoran Grdić³, Gordana Topličić-Ćurčić⁴, Dušan Grdić⁵

Rezime: Geopolimeri su kompozitni materijali koji nastaju hemijskim procesom zvanog geopolimerizacija, kojom se amorfna faza polaznog materijala transformiše u vezivni materijal. Ovako formirani materijal nakon očvršćavanja formira kompaktnu strukturu. Geopolimerizacija predstavlja reakciju čvrstog veziva – alumosilikatnog materijala u vidu prirodnih materijala poput gline, kao i otpadnih nus proizvoda poput elektrofilterskog pepela, granulirane zgure, metakaolina, crvenog mulja i dr. i alkalnih rastvora – aktivatora u tečnom stanju, poput jakih baza NaOH ili KOH u kombinaciji sa Na₂SiO₂ ili K₂SiO₃. U ovom radu su ispitivane karakteristike geopolimernih malterskih mešavina na bazi elektrofilterskog pepela sa dodatkom crvenog mulja. Napravljeno je ukupno pet različitih malterskih mešavina sa različitim procentualno - masenim udelom crvenog mulja od 0, 5, 10, 15 i 20 %. Sve mešavine su imale isti odnos vode i veziva, kao i odnos veziva i agregata. Uzorci su negovani na vazduhu na temperaturi od 20±2°C. Sprovedeno je ispitivanje pritisne i savojne čvrstoće pri starosti uzoraka od 3, 7, 28, 56 i 90 dana, kao i praćenje njihovog ponašanja tokom izlaganja ciklusima smrzavanja i odmrzavanja. Određivanjem koeficijenta otpornosti na dejstvo mraza u pogledu savojnih i pritisnih čvrstoća u trajanju od 25 ciklusa, došlo se do zaključka da su sve geopolimerne malterske mešavine otporne na cikluse smrzavanja i odmrzavanja.

Ključne reči: geopolimerni malter, elektrofilterski pepeo, crveni mulj, mehaničke karakteristike, otpornost na smrzavanje i odmrzavanje

FREEZE – THAW RESISTANCE OF GEOPOLYMER MORTAR BASED ON FLY ASH WITH ADDITION RED MUD

Abstract: Geopolymers are composite materials created using a chemical process called geopolymerization, which transforms the amorphous phase of the initial material into a binding material. The material formed in this way, after setting forms a compact structure. Geopolymerization represents a reaction of solid binder – alumosilicate material in the form of natural materials such as clay, as well as waste by-products such as fly ash, granulated slag, metakaolin, red mud etc. and alkali solutions – activators in liquid state, such as strong bases NaOH or KOH in combination with Na₂SiO₂ or K₂SiO₃. This paper studied the characteristics of geopolymer mortar mixture based on the fly ash with red mud admixture. A total of five different mortar mixtures were made, each having a different mass and percentage share of red mud of 0, 5, 10, 15 or 20 %. All mixtures had the same ratio of water and binder, and of binder and aggregate. The specimens were cured in air at 20±20C. A test of compressive and flexural strength at the specimen age of 3, 7, 28, 56 and 90 days was conducted, and the behavior of specimens was monitored as they were exposed to freeze-thaw cycles. The established freeze-thaw resistance coefficient regarding flexural and compressive strength after 25 cycles lead to the conclusion that all geopolymer mortar mixtures are resistant to freezing and thawing cycles.

Key words: geopolymer mortar, fly ash, red mud, mechanical properties, freeze – thaw resistance

¹ docent, dr Nenad Ristić, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

² doktorand, Jelena Bijeljić, dipl. građ. inž., Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš

³ profesor, dr Zoran Grdić, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

profesor, dr Gordana Topličić-Ćurčić, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

asistent, Dušan Grdić, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

1. UVOD

Poslednjih godina sve su više u fokusu pažnje ekološki materijali. Veza između ekoloških i građevinskih materijala uspešno se može uspostaviti pomoću geopolimera. Geopolimeri su kompozitni materijali čije su karakteristike slične tradicionalnim cementnim mešavinama.

Geopolimeri ili alkalima aktivirani materijali, baziraju se na aluminosilikatnim materijalima. Emisija CO₂ za njihovo dobijanje je mnogostruko manja nego kod tradicionalnih materijala na bazi cementa. Ovi kompoziti uglavnom se baziraju na otpadnim nusproizvodima, najčešće poreklom iz industrijske proizvodnje, a njihove mehaničke karakteristike i trajnost su slične kao kod cementnih kompozita [1-2].

Do sada je veliki broj autora ispitivao mogućnost primene raznih nusproizvoda za spravljanje geopolimernih maltera pri čemu su ispitivane njihove fizičke, mehaničke i druge karakteristike. U dosadašnjim istraživanjima obuhvaćena je i mogućnost primene crvenog mulja (RM) kao sekundarnog veziva tj. kao delimične zamene elektrofilterskog pepela (FA), zgura iz visokih peći (BFS), metakaolina (MK) i dr. i njegov uticaj na karakteristike geopolimernog maltera spravljenog s njim. Jian He i dr. [3] ispitivali su dva tipa geopolimernih mešavina i to: mešavinu spravljenju na bazi MK i mešavinu spravljenju na bazi FA i RM. Prema rezultatima ispitivanja mehaničkih karakteristika, autori navode da je na mešavini spravljenju sa MK izmerene bolje mehaničke karakteristike i da su one povezane sa reaktivnošću materijala. M. Zang i dr. [4] ispitivali su fizičke, mehaničke i mikrostrukturalne karakteristike geopolimernih mešavina spravljenih sa RM i FA klase F koje su ambijentalno očvršćavale. Takođe, vršena je varijacija odnosa Si/Al i Na/Al u korišćenom vezivnom materijalu. Izmerena pritisna čvrstoća ispitivanih uzoraka iznosila je 11,3 do 21,3 MPa. K. Kaya dr. [5] su ispitivali karakteristike geopolimera na bazi MK i pri različitom procentualnom udelu RM (0 do 40 %). Ispitivane su karakteristike poput XRD, FTIR, SEM i pritisne čvrstoće kako bi se utvrdio tačan uticaj strukture materijala na karakteristike kompozita. Najveću pritisnu čvrstoću ostvarila je mešavina na bazi MK (51,5 MPa), dok se dodatkom i povećanjem procentualnog sadržaja RM pritisne čvrstoće smanjuju. Z. Pan i ostali [6] ispitivali su mehaničke, mikrostrukturalne i karakteristike trajnosti geopolimerne paste spravljenju na bazi BFS i sa dodatkom 30% RM. Prema rezultatima ispitivanja,

geopolimerna mešavina se pokazala kao izuzetno otporna na dejstvo spoljašnjih hemijskih rastvora i dejstvo mraza. Takođe, Degirmenci [7] je istraživala otpornost na dejstvo mraza i promene poput promene mase i pritisne čvrstoće na geopolimernim malterima u trajanju od 25 ciklusa. Kao rezultat, ostvarena pritisna čvrstoća svih malterskih mešavina ispitivanih na dejstvo mraza u trajanju od 25 ciklusa bila je manja od etalon uzoraka istog sastava koji su za vreme trajanja ispitivanja negovani u laboratorijskim uslovima.

U ovom radu ispitivana je mogućnost primene crvenog mulja kao sekundarnog vezivnog materijala za spravljanje geopolimera. Ispitivani malter spravljen je na bazi elektrofilterskog pepela pri čemu je izvršena delimična zamena osnovnog veziva crvenim muljem pri procentualno-masenom udelu 5 do 20 %, sa korakom zamene od 5%. Ispitivane su mehaničke karakteristike maltera i otpornost na dejstvo mraza usled naizmeničnih ciklusa smrzavanja i odmrzavanja.

2. PROGRAM ISPITIVANJA

U ovom radu su kao vezivni materijali za spravljanje geopolimernog maltera korišćeni FA i RM. FA je nusproizvod poreklom iz termoelektrane Kostolac "B" u Kostolcu (Srbija), dok je RM nusproizvod nastao pri preradi aluminijuma poreklom iz "Kombinat aluminijuma" Podgorica, (Crna Gora). FA i RM su najpre osušeni do konstantne mase, a zatim su prosejani kroz laboratorijsko sito otvora 0.09 mm. Korišćeni vezivni materijali prikazani su na Slici 1. Agregat za spravljanje maltera je iz Južne Morave maksimalnog prečnika zrna od 2mm.



Slika 1. Korišćeni vezivni materijali: elektrofilterski pepeo (levo), crveni mulj (desno)

Primenom metode potresnog stola praćeno je rasprostiranje malterskih mešavina u svežem stanju. Programom ispitivanja je predviđeno da sve malterske mešavine imaju približno isto rasprostiranje od oko 140 mm što je postignuto korišćenjem superplastifikatora Sika Visco Crete 5380.

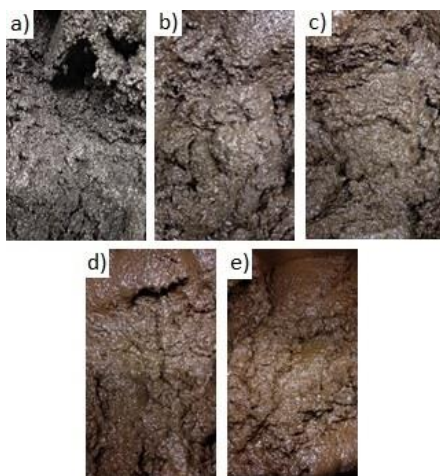
Tabela 1 – Hemijski sastav (wt%) korišćenih vezivnih materijala

Hemijsko jedinjenje	FA	RM
SiO ₂	51,70	32,80
Fe ₂ O ₃	11,60	4,63
Al ₂ O ₃	20,20	9,92
CaO	7,40	2,37
MgO	2,40	0,22
SO ₃	1,02	-
P ₂ O ₅	0,12	-
TiO ₂	1,04	-
Na ₂ O	0,80	0,12
K ₂ O	1,04	0,12

Hemijski sastav korišćenih vezivnih materijala prikazan je u Tabeli 1. Sastav je određen hemijskom analizom prema odredbama standarda ASTM C618 [8]. Korišćeni alkalni aktivatori su: natrijumhidroksid – (SH) u obliku granula proizvođača Oltchim, (Rumunija), čistoće 98,5%, i natrijumsilikat – (SS) u tečnom stanju proizvođača Galenika-Magmasil d.o.o. (Srbija) sa odnosom sadržaja SiO₂:Na₂O=1:2. Za spravljanje mešavina, korišćen je SH koncentracije 10 M koja je dobijena rastvaranjem granula u vodi.

2.1. Priprema geopolimernog maltera

Spravljen je i ispitivano pet geopolimernih malterskih mešavina. Jedna mešavina spravljena sa 100% elektrofilterskog pepela, dok je kod ostalih izvršena procentualno-masena zamena osnovnog veziva sa crvenim muljem u iznosu 5 do 20 % sa korakom zamene od 5%. Shodno procentualnom sadržaju RM u mešavinama one su označene: „0 RM“, „5 RM“, „10 RM“, „15 RM“ i „20 RM“.



Slika 2. Izgled geopolimernih malterskih mešavina u svežem stanju: a) „0 RM“, b) „5 RM“, c) „10 RM“, d) „15 RM“ i e) „20 RM“

Spravljanje malterskih mešavina izvršeno je u laboratorijskom mikseru. Maseni odnos vezivnih materijala i peska bio 1:3. Sjedinjavanje alkalnih aktivatora tj. SS i SH izvršeno je 30 minuta pre početka ispitivanja, dok je rastvaranje granula SH u vodi izvršeno 24 časa pre početka spravljanja maltera. Nakon sjedinjavanja aktivatora izvršeno je dodavanje prethodno pripremljenog vezivnog materijala. Mešanje paste u laboratorijskom mikseru je trajalo 5 minuta, nakon čega je usledilo dodavanje agregata. Mešanje je nastavljeno još 5 minuta. Sastav malterskih mešavina dat je u Tabeli 2, dok je izgled mešavina zabeležen neposredno nakon spravljanja prikazan na Slici 2.

Nakon spravljanja, svež malter je ugrađen u metalne kalupe dimenzija 4 x 4 x 16 cm. Kalupi su zatim umotani u plastičnu foliju. Nakon 2 dana uzorci su izvađeni iz kalupa. Uzorci su do vremena ispitivanja čuvani na laboratorijskoj temperaturi od 20±2°C. Uzorci su bili umotani u plastičnu foliju kako bi se sprečio gubitak vlage.

Tabela 2 – Sastav geopolimernih mešavina

Mešavina	FA [g]	RM [g]	SH/SS	W/B	B/S	SP [%]	Voda [g]
0 RM	450	0	0,19	0,45	1:3	2	20
5 RM	427,5	22,5	0,19	0,45	1:3	0,5	20
10 RM	405	45	0,19	0,45	1:3	0,3	20
15 RM	382,5	67,5	0,19	0,45	1:3	0,1	20
20 RM	360	90	0,19	0,45	1:3	-	20

*FA – elektrofilterski pepeo, RM – crveni mulj, SS – natrijumsilikat, SH – natrijumhidroksid, B – vezivo, S – pesak, SP - superplastifikator

2.2. Ispitivanje maltera

Mehaničke karakteristike geopolimernih malterskih mešavina ispitivane su na uzorcima oblika prizme dimenzija 40 x 40 x 160 mm i starosti 3, 7, 28, 56 i 90 dana. Ispitivanje je vršeno prema standardu SRPS EN 196-1 [9]. Za svaku maltersku mešavinu napravljeno je ukupno petnaest prizmi. Ispitivanje savojne čvrstoće vršeno je na tri uzoraka pri svim starostima, a ispitivanje pritisne čvrstoće izvršeno na polovinama uzoraka dobijenih nakon ispitivanja savijanjem.

Za svaku maltersku mešavinu ispitana je i otpornost na dejstvo mraza. Ispitivanje je vršeno na malterskim epruvetama dimenzija 4 x 4 x 16 cm pri čemu je praćena promena pritisne i savojne čvrstoće. Za svaku mešavinu ispitivano je po šest prizmi. Tri malterske prizme izlagane su ciklusima smrzavanja i odmrzavanja, dok su ostale tri čuvane u ambijentalnim uslovima. Jedan ciklus ispitivanja sastoji se od naizmeničnog smrzavanja u komori i odmrzavanja uzoraka u vodi. Smrzavanje uzoraka vršeno je u trajanju od 4 sata na temperaturi od -20 ± 5 °C, nakon čega su uzorci potopljeni u vodu na temperaturi 20 ± 5 °C. Ciklus odmrzavanja trajao je 4 sata. Test je sproveden prema standardu SRPS EN 14617-5 [10] u trajanju od 25 ciklusa. Po sprovedenom testu ispitivanja otpornosti na dejstvo mraza na epruvetama je određena pritisna i savojna čvrstoća. Rezultati ispitivanja predstavljeni su koeficijentima KM_{f25} i KM_{c25} koji su sračunati prema sledećim izrazima:

$$KM_{f25} = \frac{RMf}{Rf} \quad (1)$$

$$KM_{c25} = \frac{RMc}{Rc} \quad (2)$$

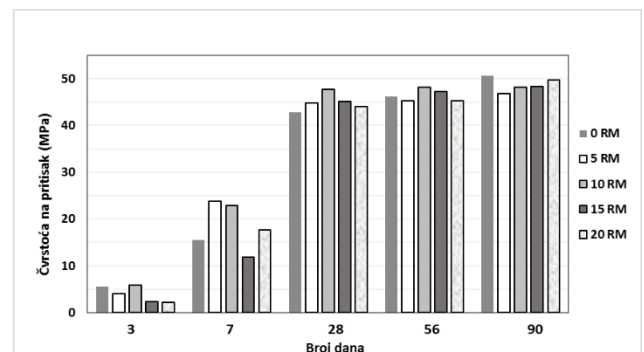
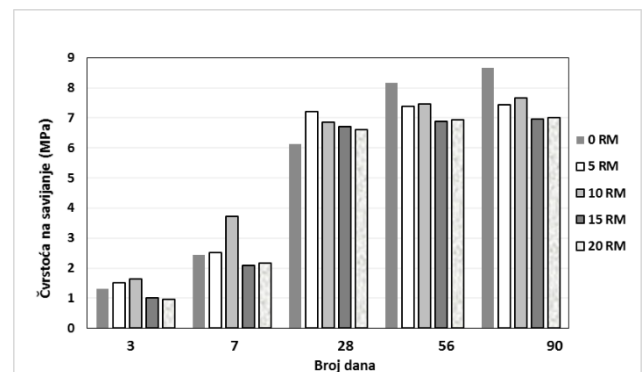
Gde je:

- KM_{f25} - Koeficijent otpornosti savojne čvrstoće nakon izlaganja uzoraka 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja (%)
- KM_{c25} - Koeficijent otpornosti pritisne čvrstoće nakon izlaganja uzoraka 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja (%)
- RMf - ostvarena savojna čvrstoća nakon izlaganja uzoraka 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja,
- Rf – ostvarena savojna čvrstoća etalon uzoraka mešavine istog sastava koje nisu izlagani ciklusima smrzavanja i odmrzavanja,
- RMc - ostvarena pritisna čvrstoća nakon izlaganja uzoraka 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja,
- Rc - ostvarena pritisna čvrstoća etalon uzoraka mešavine istog sastava koje nisu izlagani ciklusima smrzavanja i odmrzavanja.

3 REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA REZULTATA

Rezultati ispitivanja pritisne i savojne čvrstoće geopolimernih maltera pri starosti od 3, 7, 28, 56 i 90 dana prikazani su na Slici 3.

Može se zaključiti da se sa povećanjem starosti uzoraka povećavaju i čvrstoće geopolimernog maltera. Pri starosti uzoraka od 3 dana najveću savojnu čvrstoću imala je mešavina „10 RM“. Savojne čvrstoće pri starosti od 7 i 28 dana za mešavinu „10 RM“ iznosile su 3,73 MPa i 6,87 MPa, respektivno, dok su kod etalon mešavine „0 RM“ one iznosile 2,45 MPa i 6,13 MPa. Pri starosti uzoraka od 28 dana najveća vrednost savojne čvrstoće izmerena je kod mešavine „5 RM“ i iznosila je 7,2 MPa, dok je ona najniža bila kod mešavine „0 RM“. Pri starosti uzoraka od 56 i 90 dana, najveće vrednosti izmerena su kod mešavine „0 RM“ i iznosile su 8,16 MPa i 8,67 MPa, respektivno.



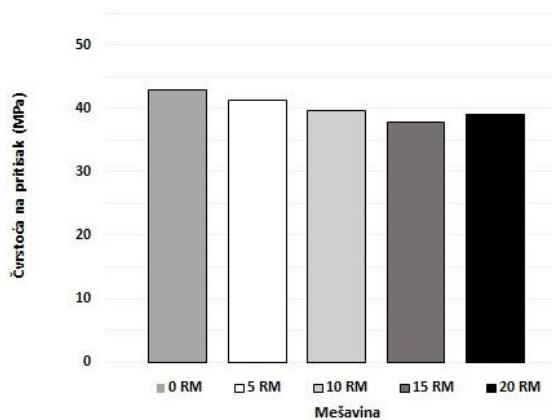
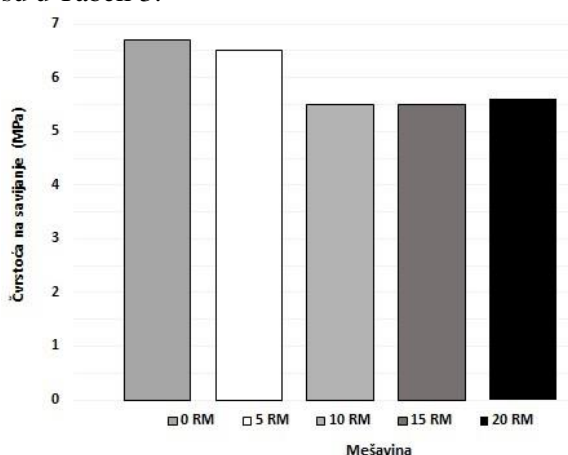
Slika 3 – Čvrstoća na savijanje (gore) i čvrstoća na pritisak (dole) geopolimernih mešavina na bazi elektrofilterskog pepela i sa dodatkom crvenog mulja pri starosti od 3, 7, 28, 56 i 90 dana

Prilikom ispitivanja pritisne čvrstoće pri starosti uzoraka od 3 dana najveća vrednost izmerena je kod mešavine „10 RM“ i iznosila je 5,79MPa, što je tek za 0,18 MPa više od etalona „0 RM“. Pri starosti epruveta od 28 dana najveća vrednost pritisne čvrstoće izmerena je kod mešavine „10 RM“ i iznosila je 47,82

MPa što je za oko 11 % više od etalona „0 RM“. Treba napomenuti da je oblik dijagrama pritisnih čvrstoća pri starosti uzoraka od 28 i 56 dana je sličan za mešavine koje sadrže RM. Takođe, kod mešavine „0 RM“ pri starosti od 56 dana zabeležen je prirast pritisne čvrstoće u odnosu na čvrstoću merenu pri starosti od 28 dana i iznosila je 46,27 MPa.

Može se zaključiti da su sve geopolimerne malterske mešavine imale male rane čvrstoće. Najveći prirast čvrstoća je zabeležen između 7. i 28. dana. Postoji prirast čvrstoća i pri većim starostima, ali je on najdominantniji kod etalon mešavine „0 RM“ spravljene samo sa FA. Generalno, u pogledu savojnih i pritisnih čvrstoća, sve geopolimerne malterske mešavine ispunjavaju propisane zahteve za klasu čvrstoće 42,5 prema SRPE EN 197-1 [11].

Rezultati ispitivanja savojne i pritisne čvrstoće nakon 25 ciklusa smrzavanja prikazani su Slici 4. Nakon merenja čvrstoće vršeno je i računanje koeficijenta otpornosti na dejstvo mraza u pogledu savojne i pritisne čvrstoće, a njihovi rezultati prikazani su u Tabeli 3.



Slika 4. Čvrstoća na savijanje i čvrstoća na pritisak geopolimernog maltera nakon izlaganja dejstvu mraza

Vrednosti koeficijenta otpornosti na dejstvo mraza u pogledu čvrstoće na savijanje kod svih malterskih mešavina sa dodatkom RM su manji u odnosu na etalon mešavinu. Najveći koeficijent, odnosno najbolju otpornost na dejstvo mraza od mešavina sa RM imala je mešavina „RM5“ (91%), dok je najmanju otpornost imala mešavina „RM10“ (80%). Generalno, koeficijenti otpornosti za sve mešavine su veće od 75% što znači da su svi ispitani uzorci otporni na dejstvo mraza.

Etalon mešavina „0RM“ i mešavina „5RM“ imale su iste vrednosti koeficijenta otpornosti na dejstvo mraza u pogledu čvrstoće na pritisak (92%), dok su koeficijenti otpornosti za ostale mešavine sa RM bile manje od etalona. Najmanju vrednost koeficijenta otpornosti (83%) imala je mešavina „10RM“. Kako su koeficijenti otpornosti za sve malterske mešavine veći od 75%, to znači da su svi uzorci otporni na 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja.

Tabela 3. Koeficijenti rezistentnosti geopolimernog maltera nakon izlaganja 25 ciklusa dejstva mraza

Parametar	0 RM	5 RM	10 RM	15 RM	20 RM
KM_{f25}	109	91	80	82	85
KM_{c25}	92	92	83	84	89

Generalno, može se zaključiti da su ispitivani uzorci geopolimernog maltera spravljani na bazi FA i sa dodatkom RM otporni na dejstvo mraza tj. na smrzavanje i odmrzavanje u trajanju od 25 ciklusa. Izgled uzoraka nakon izlaganja cikličnom dejstvu mraza prikazani su na Slici 5.

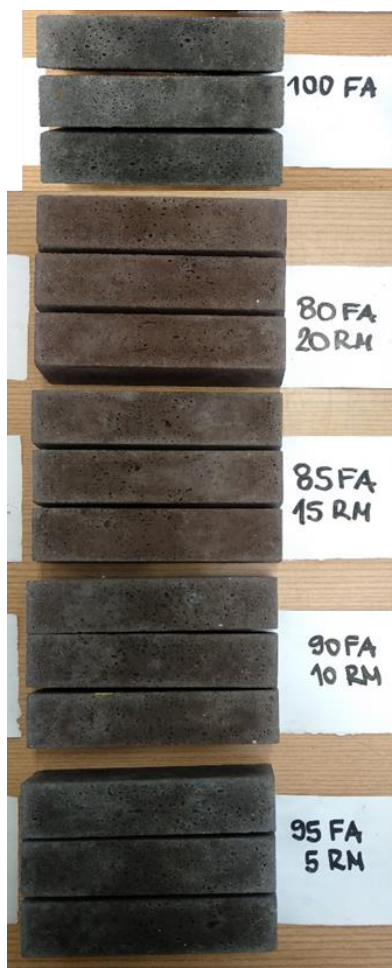
4 ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja, može se zaključiti sledeće:

- Sve malterske mešavine imale su male vrednosti savojne i pritisne čvrstoće pri starosti od 3 dana.
- Pri starosti uzoraka od 28 dana svi ispitivani uzorci imali su pritisnu čvrstoću veću od 42,81 MPa, odnosno veću od 46,81 MPa pri starosti od 90 dana.
- Sve geopolimerne malterske mešavine ispunjavaju kriterijum za klasu čvrstoće 42,5 prema standardu SRPS EN 197-1.
- Koeficijent otpornosti na dejstvo mraza u pogledu savojnih čvrstoća veći je od 75 % kod

svih ispitivanih uzoraka nakon 25 cikusa smrzavanja i odmrzavanja.

- Koeficijent otpornosti na dejstvo mraza u pogledu pritisknih čvrstoća veći je od 75 % kod svih ispitivanih uzoraka nakon 25 cikusa smrzavanja i odmrzavanja.
- Ekološke i ekonomske prednosti korišćenja geopolimernih materijala ogledaju se u iskorišćenju otpada, kod kojeg je emisija CO₂ prilikom njegovog prevođenja iz nusproizvoda u vezivni materijal mala.
- Generalno, geopolimerni malteri na bazi elektrofilterskog pepela i sa dodatkom crvenog mulja mogu biti adekvatna zamena tradicionalnim cementnim mešavinama.
- Dalja istraživanja treba usmeriti na ispitivanje drugih osobina trajnosti geopolimernih maltera na bazi elektrofilterskog pepela, kao što je skupljanje usled sušenja, sulfatna otpornost itd.



Slika 5: Uzorci geopolimernog maltera nakon 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja

ZAHVALNOST

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja obavljenog u okviru projekta TR 36017 – „Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji”, koji je podržalo Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije. Duboko smo zahvalni zbog te podrške.

LITERATURA

- [1] Gokhan Gorhan, Gokhan Kurkiu: The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolymer mortar cured at different temperatures, *Composites: Part B*, Vol. 58, 2013, str. 371-377.
- [2] Sathonsaowaphak Apha, Chindaprasirt Prinya, Pimraksa Kedsarin: Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar, *Journal of hazardous materials*, Vol. 168, 2009, str. 44-50.
- [3] He Jian, Zhang Jianhong, Yu Yuzhen, Zhang Guoping: Strength and microstructure of two geopolymers derived from metakaolin and red mud-fly ash admixture: A comparative study, *Construction and building materials*, Vol. 30, 2012, str. 80-91.
- [4] Zhang Mo, El-Korchi Tahar, Zhang Guoping, Liang Jianyu, Tao Mingjang: Synthesis factors affecting mechanical properties, microstructure and chemical composition of red mud-fly ash based geopolymers, *Fuel*, Vol. 134, 2014, str. 315-325.
- [5] Kaya Kardelen, Soyer – Uzun Sezen: Evolution of structural characteristics and compressive strength in red mud-metakaolin based geopolymer systems, *Ceramics international*, Vol. 42, 2016, str. 7406-7413.
- [6] Pan Zhihua, Li Dongxu, Yu Jian, Yang Nanru: Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material, *Cement and concrete research*, Vol. 33, 2003, str. 1437-1441.
- [7] F. N. Degirmenci, Freeze-thaw and fire resistance of geopolymer mortar based on natural and waste pozzolans, *Ceramics-Silikáty*, Vo. 62, No. 1, 2018, str. 41-49
- [8] ASTM C618-19: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- [9] SRPS EN 196-1:2018, Metode ispitivanja cementa – Deo 1: Određivanje čvrstoće.
- [10] SRPS EN 14617-5:2008, Veštački kamen - Metode ispitivanja - Deo 5: Određivanje otpornosti prema zamrzavanju i odmrzavanju
- [11] SRPS EN 197-1:2013 Cement — Deo 1: Sastav, specifikacije i kriterijumi usaglašenosti za obične cimente

SIMULACIONI MODELI SAOBRAĆAJA PRI PLANIRANJU SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

UDK: 656.01:004.94

Srdan Živković¹, Sandra Šaković², Slavko Zdravković³

Rezime: U ovom radu prikazani su novi simulacioni softveri i trendovi u izgradnji simulacionih modela koji omogućavaju praćenje odnosa saobraćaja i saobraćajne infrastrukture po kojoj se on odvija. Osnovni cilj planiranja saobraćajne infrastrukture je da se za utvrđene saobraćajne parametre izradi optimalan plan infrastrukturnih kapaciteta i elemenata koji će u funkcionalnom smislu moći da podrže saobraćajne zahteve za planirani period. Savremeni pristup planiranja saobraćaja i saobraćajne infrastrukture zasnovan je na primeni mikro-simulacionih modela.

Rezultati simulacije koriste se kao dodatni elementi pomoću kojih planeri saobraćaja i projektanti saobraćajne infrastrukture mogu lakše i argumentovanije da donose odluke u procesu planiranja.

Ključne reči: simulacija, saobraćaj, infrastruktura, planiranje.

Summary: The modern approach in planning of both traffic and traffic infrastructure is based on application of micro-simulation models. The paper herein will show new simulation software and trends in development of simulation models that enable monitoring of correlations between traffic and related infrastructure.

The main purpose of traffic infrastructure planning is development of an optimum plan for infrastructure capacities and related elements that in functional aspect could support traffic demands required for the planned period. Simulation results will be further used by traffic planners and design engineers responsible for infrastructure as an additional element in the decision making process.

Keywords: simulation, traffic, infrastructure, planning.

1 UVOD

Ključna aktivnost za istraživanje neke pojave metodom simulacije je kreiranje modela koji predstavlja „skup logičkih relacija, bilo kvalitativnih bilo kvantitativnih, koje će zajedno povezati relevantne karakteristike stvarnosti bitne za problem koji se rešava“ [1].

Simulacija je naučna metoda koja se zasniva na eksperimentisanju na modelu koji oponaša realni

sistem. Primenjuje se u slučajevima kada su eksperimenti u realnom sistemu ili na objektu skupi ili nemogući i kada su iscrpljene mogućnosti analitičkih, grafičkih i drugih metoda. Modeli, kao sintetska apstrakcija stvarnosti, su veoma korišćeno sredstvo za opis, objašnjenje, predviđanje i upravljanje pojavama u realnom svetu. Spektar složenosti modela se kreće od vrlo jednostavnih do izuzetno složenih, a zajednička karakteristika im je da nikada ne mogu biti potpuno verna slika realnosti (poput slike u ogledalu), već samo bliska slika realnog ili željenog sistema

¹Docent, dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet, email: srdjanzivkovic@gaf.ni.ac.rs

²Diplomirani inženjer Saobraćaja, Građevinsko-arhitektonski fakultet, email: sandrasakovic@hotmail.com

³Prof/, dr Ekspert bivšeg Saveznog Ministarstva za nauku, tehnologiju i tehnološki razvoj (rešenje br:EXP 2/0-09-001/94-9) email: slavko.zdravkovic@gaf.ni.ac.rs

(determinističkog ili stohastičkog). U procesu istraživanja neke pojave faza modelovanja, tj. izgradnje modela, predstavlja kritičnu tačku.

U okviru raznih istraživanja, planerskih i operativnih aktivnosti, ubrzano se razvijaju raznovrsni modeli odlučivanja i sistemi za podršku odlučivanju zasnovani na simulacionim modelima.

Kako se rezultati simulacije koriste kao dodatni argumenti za donošenje raznih odluka, to se uspešnim modelovanjem drastično smanjuje rizik od donošenja pogrešne odluke. Modeli moraju da obuhvataju samo bitne osobine pojave koju predstavljaju, a da pri tome zanemare čitav niz detalja te iste pojave, tj. treba da obuhvate samo veličine koje su bitne za dati nivo apstrakcije pojave koja se istražuje. Na modelu se rade eksperimenti tako što se ispituje ponašanje posmatranih veličina u odnosu na kontrolisane promene zavisnih parametara.

Osnovne koristi od upotrebe modela su:

- Mogućnost analize i eksperimentisanja sa složenim problemima,
- Ekonomisanje resursima koji se koriste za analizu date pojave,
- Značajno smanjenje vremena za analizu date pojave.

2 RAČUNARSKA SIMULACIJA U OBLASTI SAOBRAĆAJA I TRANSPORTA

Računarska simulacija u oblasti saobraćaja i transporta počela je da se primenjuje pre više od pedeset godina i danas predstavlja posebnu disciplinu u okviru planiranja saobraćaja i transporta i planiranja saobraćajne infrastrukture. Na modelu saobraćajnog/transportnog sistema istražuje se i analizira rad sistema koji je previše komplikovan za analitička i/ili numerička istraživanja, sa ciljem da se obezbedi podrška donošenju odluka u planiranju, projektovanju i operativnom radu posmatranog transportnog sistema.

Na početku su se simulacioni modeli izrađivali kao integralni modeli u nekom od dostupnih programskih jezika i/ili simulacionih jezika. Ove modele karakterisao je visok nivo uopštavanja i mali broj realnih ograničenja. Za analizu parametara od značaja za unapređenje funkcionisanja saobraćaja, u modelima su se koristile različite matematičke teorije, teorija matematičke statistike, teorija verovatnoće, diferencijalne jednačine i numeričke metode.

Stanja saobraćanih i transportnih sistema mogu da budu diskretna ili kontinualna u vremenu i prostoru. Modeli za simulaciju diskretnih događaja mogu da

budu stohastički (slučajne promenljive) i dinamički modeli (kod kojih se vreme posmatra kao promenljiva).

Jedna od najstarijih metoda simulacije diskretnih događaja je metoda Monte Karlo koje je praćena modelom za generisanje slučajnih brojeva sa ciljem izbora determinističkih pravila. Noviji modeli su rađeni za simulacije diskretnih događaja (diskretna simulacija) i/ili simulacije događaja kontinualnih u vremenu (kontinualna simulacija). Nakon 90. godina prošlog veka simulacioni modeli su se izrađivali i razvijali pomoću namenskih interaktivnih simulacionih softvera koji su zasnovani na specijalnim simulacionim jezicima i alatima. Intenzivan razvoj simulacionih softvera nakon 2000. godine omogućilo je da simulacioni modeli složenih sistema u sebi sadrže brojne mikro-simulacione modele kojima se rešavaju manji ili pojedinačni problemi koji postoje u okviru složenih problema. Tehnike koje se danas najčešće primenjuju u programiranju i modelovanju mikro-simulacionih modela u oblasti saobraćaja su razne analize.

Danas se uz pomoć simulacionog softvera modeluju:

-infrastrukturni kapaciteti i opremu kako pojedinačnih saobraćajnica tako i celokupne saobraćajne mreže (drumske saobraćajnice od nivoa ulične mreže do nivoa cele mreže, železnička mreža, mreža plovnih puteva, mreža avio saobraćaja sa aerodromskim kapacitetima, mreža gasovoda, vodovodna mreža itd.), multimodalni transportni čvorovi, terminali (aerodromski terminali, železničke stanice, luke i pristaništa, autobuske stanice) i dr.

Simulacija saobraćaja na modelu omogućuje eksperimentisanje radi istraživanja i proučavanja detaljnog odnosa između infrastrukturnih kapaciteta i objekata i aktivnosti koje se na njima odvijaju, te analizu sadašnjih i raznih scenarija aktivnosti u perspektivi. Simulacioni modeli za primenu u oblasti saobraćaja i transporta uglavnom se izrađuju kao mikro-simulacioni modeli, a dosta često i kao meso-simulacioni modeli.

Simulacija saobraćaja može da se podeli na simulaciju sa ciljem:

- planiranja saobraćaja i transporta,
- projektovanja saobraćajnica i
- planiranja transportnih operacija.

Simulacioni modeli za planiranje saobraćaja i transporta razvijaju i prate uticaj razvoja socio-demografskih parametara na karakteristike postojeće saobraćane infrastrukture. Institucije koje se bave regionalnim planiranjem koriste ove modele za procenu „šta-ako“ scenarija razvoja saobraćaja u

regionu (eng. "what-if" scenarios"), zatim procene zagađenja vazduha sa ciljem donošenja planova za korišćenje zemljišta i planova održivog prevoza. Simulacioni modeli za projektovanje, praćenje i analizu rada transportnih sistema bave se saobraćajnim koridorima sa ciljem poboljšanja efektivnosti i efikasnosti njihovog rada. Na ovim modelima se istražuje odnos obima saobraćaja i karakteristika (tip i vrsta) saobraćajnica, signalizacije i druge saobraćajne opreme. Određeni simulacioni modeli su specijalizovani ili za modelovanje saobraćajnih i transportnih operacija ili za planiranje i projektovanje saobraćajnog sistema, a postoje i oni koji mogu da se koriste i za jedno i za drugo.

Danas se u svetu za probleme u oblasti saobraćaja i transporta koriste brojni komercijalni i nekomercijalni mikro-simulacioni modeli, te simulacioni softveri zasnovani na mikro – simulacionim modelima. Najviše modela rađeno je za primenu u oblasti drumskog saobraćaja i transporta (preko 200 komercijalnih softvera), a zatim za primenu u oblasti avio i železničkog saobraćaja (uglavnom su to simulacioni modeli za individualnu upotrebu, a u manjoj meri komercijalni simulacioni softveri). Modeli se uglavnom razvijaju u okviru istraživačkih instituta, na Univerzitetima, u okviru posebnih odeljenja za simulaciju velikih kompanija prevoznika i proizvođača opreme (posebni instituti za simulaciju, laboratorije i odeljenja za simulaciju). Procenjuje se da u svetu danas preko milion istraživača, planera i analitičara saobraćaja/transporta, pri svojim planerskim i analitičkim poslovima, direktno koriste neki simulacioni softver i primenjuju metodu simulacije na modelu, dok broj onih koji koriste rezultate simulacionih eksperimenata ne može precizno da se utvrdi, ali se procenjuje da je on bar deset puta veći od broja onih koji ih direktno koriste u radu.

Stručnjaci za oblast saobraćaja iskazuju sve veću potrebu za primenom mikro-simulacionih modela kao neophodnih i korisnih alata za analizu stanja u saobraćaju i transportu, te za kratkoročne prognoze događaja kod on-line aplikacija za operativno planiranje, upravljanje i kontrolu. Uz to, postoji jasna i nedvosmislena saglasnost o značaju primene mikro-simulacionih modela kao komplementarnih delova sistema za podršku odlučivanju u procesu donošenja odluka kod taktičkog i strateškog planiranja saobraćaja, saobraćajne opreme i infrastrukture.

Prvo istraživanje i pregled performansi mikro-simulacionih modela rađeno je u okviru Projekta SMARTTEST (Simulation – Modelling – Applied – to – Road- Transport – European – Scheme – Test) još 1997. godine [3].

Nakon 2000. godine unapređenje kompjuterskog hardvera obezbeđuje sve bolje uslove za razvijanje korisnički orijentisanih softvera i modela, sa sve više detalja, mogućnost modelovanja većih mreža i bolju vizualizaciju rezultata, te za brojnije simulacione eksperimente u kratkom vremenskom periodu. Tako je u poslednjih deset godina u razvoju simulacionih softvera akcenat stavljen na stvaranju uslova za izradu modela koji obuhvataju različite klase vozila i interakcije sa pešacima i vozilima javnog prevoza, zatim modela koji u okviru iste simulacije uključuju saobraćajna sredstva različitih vidova transporta, mada još uvek nije rešen i uključen problem modal splita. Uvedeni su moduli za simulaciju koji se oslanjaju na tehničke performanse vozila, koji obezbeđuju indikatore potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova. Ugrađeni su moduli koji u obzir uzimaju uticaj vremenskih uslova i drugih pojava. Postoji težnja da se postigne i automatizacija izrade mreže itd.

Mikro – simulacija može da bude nepotrebna kod jednostavnijih slučajeva gde nije neophodna primena aplikacija visokog nivoa detaljnosti kako bi se analiziralo stanje i donela odluka (u slučaju kada je nivo detaljnosti visok u poređenju sa onim što neko želi da sazna kako bi doneo odluku o aktivnosti).

Rezultati simulacije mogu biti prikazani putem animacije, preko grafičkih i numeričkih pokazatelja u tabelarnim i tekstualnim datotekama. Animacija omogućuje analitičaru da brzo proceni performanse, ali nije pogodna za kvalitativna i kvantitativna poređenja. Kod numeričkih izlaznih rezultata, veoma je važno da se do detalja zna i razume na koji način softver akumulira i sažima rezultate, jer jedino tako može da se spreči njihovo pogrešno tumačenje.

3 KARAKTERISTIKE NOVIJIH SIMULACIONIH SOFTVERA I MODELA

3.1 Drumski saobraćaj

U oblasti drumskog saobraćaja i transporta simulira se saobraćaj na urbanoj uličnoj mreži, koridorima, transportnoj mreži, itd. sa ciljem dobijanja parametara za planiranje i projektovanje saobraćaja i saobraćajne infrastrukture, te za praćenje i analizu saobraćajnih parametara kao što su: kašnjenja, zagušenja, zagađenja itd. Ovi simulacioni modeli mogu da obuhvate sve tipove vozila za prevoz putnika i transport robe (kamioni, autobusi, automobili, motorcikli, bicikli) kao i kretanje pešaka. U novijim mikro-simulacionim modelima uključeni su karakteristike mreže i ponašanja vozača, tako da danas može lakše i preciznije da se

istražuje i analizira kompleksan saobraćajni problem u okviru inteligentnog transportnog sistema.

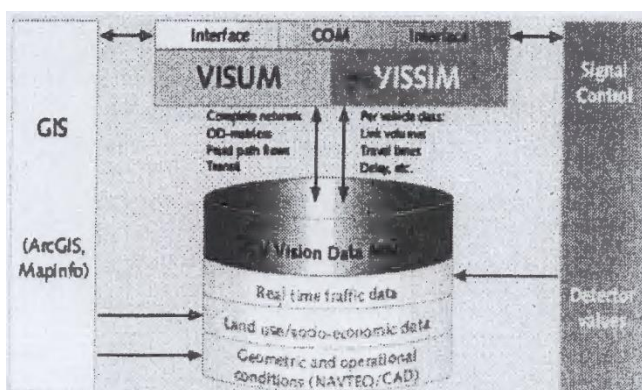
Za simulaciju u oblasti drumskog transporta najpoznatiji i najčešće korišćeni softveri za:

-makro-simulacione modele su: Emme/2, OREMS, TransCAD, DYNEV, OmniTRANS i VISUM;

- meso-simulacione modele su: Cube, DYNASMART, TRANSIMS i TransModeler;

- mikro-simulacione modele su: Aimsun, CORSIM, DRACULA, DYNASIM, MATSim, Quadstone, Paramics, SimTraffic, VISSIM UAF i dr.

Vodeći softverski paket za simulacije u oblasti drumskog saobraćaja i transporta je „PTV Vision“ koji koristi više od 2000 institucija i pojedinaca u 90 zemalja sveta [4]. U okviru ovog softverskog paketa integrisani su svi razvijeni alati za oblasti drumskog saobraćaja i transporta sa ciljem povećanja efikasnosti u radu stručnjaka koji se bave, pre svega strateškim i operativnim planiranjem mreže i saobraćaja na mreži, analizom rada čvorova i raskrsnica, te analizom i planiranjem saobraćaja na bazi modelovanja zahteva za prevozom itd. Softverska arhitektura (slika 1) omogućuje planiranje na nekoliko nivoa.



Slika 1. Arhitektura „PTV Vision“ [4]

Usled svoje fleksibilnosti ovaj softverski paket je pogodan i primenljiv kod izrade studija za potrebe regionalnog planiranja, operativnih istraživanja i analizu gradskih puteva i raskrsnica na kojima su primenjeni inovativni koncepti upravljanja i kontrole saobraćaja.

PRV je razvio i softverska rešenja i inteligentne platforme koje omogućuju prikupljanje i objedinjavanje podataka iz različitih izvora. Među najznačajnijima su saobraćajna platforma „PTV Traffic Platform“, koja obezbeđuje inteligentne metode za analize i prognoze u saobraćaju i platforma za brojanje, profesionalnu analizu i upravljanje saobraćajem „PTV Traffic Count Management“. Stoga je VISUM veoma

efikasan alat čija primena je značajna kod projekata planiranja saobraćajne infrastrukture i velikih investicionih studija u oblasti saobraćaja (Major Investment Studies – MIS).

3.2 Železnički saobraćaj

U domenu železničkog saobraćaja vrši se simulacija kontinualnih (napajanja vučnih vozila) i diskretnih procesa (saobraćaj vozova, i dr.). Simulacija procesa u železničkom saobraćaju pruža mogućnost preciznije analize odnosa između stabilnih kapaciteta i saobraćaja koji se po njima odvija. Ova analiza se, prevashodno, radi sa ciljem praćenja i utvrđivanja „konflikata“ u saobraćaju i identifikacije „uskih grla“, tj. kritičnih mesta na infrastrukturi koja predstavljaju ograničenja za uspostavljanje i odvijanje definisane organizacije saobraćaja, zatim da se utvrdi efikasnost pojedinih operacija sa vozovima, da se racionalizuje planiranje i donošenje raznih odluka u oblasti planiranja obima i strukture saobraćaja, planiranja trasa, putničkih i robnih tokova, planiranja kapaciteta pruga i stanica (koridora i železničke mreže u celini), voznih sredstava, utvrđivanje transportne sposobnosti mreže, prognoza zahteva za prevozom i transportom. Rezultati simulacije se koriste kao dodatni elementi u procesu donošenja operativnih, taktičkih i strateških odluka.

Jedan od novijih softvera za simulaciju železničkog saobraćaja je OpenTrack. Ovaj softver je vrlo brzo po pojavljivanju na tržištu, pre 10 godina, naišao na prihvatanje od strane velikog broja stručnjaka iz Evrope koji se bave rešavanjem raznorodnih problema u železničkom saobraćaju, tako da ga danas koriste stručnjaci u preko 120 instituta, fakulteta, železničkih kompanija širom sveta. OpenTrack je razvijen kao deo istraživačkog projekta Švajcarskog federalnog Tehnološkog Instituta, Instituta za transportne sistema i planiranje (ETH IVT) [5].

OpenTrack omogućuje predstavljanje toka simulacije primenom animacije. Korisnik može da vidi kretanje vozova, zauzete i slobodne delove koloseka kao i stanje signala na mreži pruga. Rezultati simulacije mogu da se prikažu na nekoliko različitih načina, najčešći prikaz je po vozu, ruti ili stanici. U toku simulacije za svaki voz registruje se virtuelni tahograf (izlazna datoteka), u kojem se nalaze podaci kao što su ubrzanje, brzina i pređeni put.

Pored OpenTrack softvera na tržištu su zapaženi nemački RAILSys simulacioni softver i američki RAILSIM® softverski paket za simulaciju železničkog saobraćaja koji primenjuje preko 70 kompanija. Zatim, ROMAN Simulation za optimizaciju kapaciteta železničke mreže pomoću simulacije saobraćaja, a koji

je jedan od 12 softverskih paketa u okviru ROMAN sistema kompanije Siemens, prevashodno namenjenog za analizu, planiranje i projektovanje reda vožnje i pripadajućih aktivnosti. Međutim, za ovu namenu postoje i koriste su mnogi nekomercijalni softveri.

3.3 Vazdušni saobraćaj

Simulacija vazdušnog saobraćaja odnosi se, pre svega, na simulaciju poletanja i sletanja aviona na aerodromske poletno/sletne staze i transportne operacije sa letelicama na aerodromskom prostoru, simulaciju leta i kontrolu leta, zatim simulaciju operacija u okviru aerodromskog terminala (aerodromske zgrade) kao što su: kretanje putnika i prtljaga, opsluživanje klijenata, bezbednosti itd.

Kako su aerodromi i aerodromski terminali kompleksni sistemi koji funkcionišu u okviru još većih regionalnih, nacionalnih i međunarodnih sistema, njihov razvoj podrazumeva dug i skup ciklus planiranja koji uključuje veliki broj podataka koje karakteriše neizvesnost. Na razvoj aerodromskih kapaciteta, te planiranje i projektovanje aerodromskih kapaciteta, te planiranje i projektovanje aerodromske opreme od velikog značaja su istraživanja kao što su: analiza i prognoza tražnje za avio saobraćajem, procena uticaja na životnu sredinu, te ekonomska i finansijska analiza sprovođenja plana razvoja aerodroma. Simulacijom se omogućuje izrada plana leta, procena raspoloživosti kapaciteta za letenje i kontrolu letanja.

Jedan od najpoznatijih simulacionih softvera za olbast avio saobraćaja, TARGETS (Terminal Area Route Generation, Evaluation and Traffic Simulation), razvio je Centar za razvoj naprednih sistema u vazduhoplovstvu (CAASD – Center for Advanced Aviation System Development) američke neprofitne korporacije od javnog interesa za unapređenje sistema sigurnosti, bezbednosti i performansi u avio saobraćaju – MITRE Corporation's, a koja je osnovana i finansirana od strane američkog ministarstva za avio saobraćaj (FAA – Federal Aviation Administration) [6].

3.4. Vodni saobraćaj

U oblasti vodnog saobraćaja simulacija na modelu primenjuje se više od pola veka. Dugo godina najpopularniji simulacioni modeli za oblast vodnog saobraćaja bili su UNCTAD simulacioni model za luke, PORTSIM i MIT simulator luke. UNCTAD simulacioni model za luke je primarno razvijen 1969. godine i korišćen je za analizu poslovanja luka koje se bave konvencionalnim teretima. PORTSIM je razvijen 1970. godine od strane Svetske banke (eng. World

Bank) kao sredstvo za ocenu projekata i procenu troškova i koristi (eng. costs and benefits) u slučaju promene konfiguracije luke [8]. MIT simulator luka je razvijen početkom 1980-tih godina (u programskom jeziku Fortran) za analizu višenamenskih lučkih kapaciteta i to za rasute i komadne terete, smrznutu robu i kontenere. U literaturi se pominju brojni primeri razvoja simulacionih modela za potrebe razvoja eksploatacije luka i pristaništa, pa između ostalih i ARENA simulacionog modela za tehnologiju rada terminala [9].

Među brojnim proizvođačima softvera za modelovanje i simulaciju rada kontenerskih terminala, internodalne opreme i objekata, kao i operacija u pomorskom saobraćaju nalazi se i kompanija TBA, Delft, Zuid Holland koja je osnovana 1996. i specijalizovana za projektovanje novih objekata i postrojenja, posebno automatizovanih. TBA razvija i koristi sofisticirane alate za simulaciju (eng. state-of-the-art simulation tools) kao što su: Softver za planiranje u oblasti robnog saobraćaja (FPS – Freight Planning Software), Objedinjeni softver za kontrolu rada kontenerskog terminala CONTROLS (CONTROLS – CONTainer TeRminal Optimised Logistics Simulation – Emulation of Container Terminal Control Software), Operativni sistem terminala TOS (TOS – The Terminal Operating System), OptimiCONTROLS softver se primenjuje za testiranje softvera za simulaciju rada terminala TOS koji je najvažniji deo upravljačkog alata za rad terminala [10].

TOS prati rad terminala i sve pozicije kontenera u okviru aktivnosti prijema, otpreme i odlaganja na skladišni prostor, te obrađuje velike količine informacija. Služi kao sistem za podršku odlučivanju, ali i za samo donošenje odluka, jer koristi veliki broj kontrolnih strategija koje se odnose na lokacije kontenera u okviru manipulativnog prostora. CONTROLS pomaže da se na modelu testira i potvrdi funkcionalnost TOS u složenim uslovima čime se obezbeđuje rad bez grešaka u realnom sistemu.

4 AMBIJENT I SIMULACIJA SAOBRAĆAJA U SRBIJI

Izgradnja simulacionih modela zahteva veliki broj podataka i informacija iz različitih izvora i to kako internih (podaci preduzeća koja se bave saobraćajem i transportom o infrastrukturnim kapacitetima, voznim sredstvima, obimu i strukturi saobraćaja, redovima vožnje, tehnologiji i organizaciji saobraćaja i dr.), tako eksternih podataka (podaci iz okruženja kao što su zahtevi za prevozom, strategije i planovi razvoja,

saobraćajne statistike, podaci brojanja saobraćaja i putnika i dr).

Primena kako inteligentnih transportnih sistema tako i informacionih sistema je u našem saobraćajnom ambijentu skromna. Mali broj podataka nalazi se u elektronskim bazama podataka, dok se veći broj podataka nalazi pohranjen u papirnoj dokumentaciji. Podaci o zahtevima korisnika prikupljaju se ciljanim anketama na terenu u realnom sistemu. Sve ovo ukazuje da je samo pripremanje dokumentacione baze za izgradnju modela veliki i ozbiljan istraživački poduhvat.

Za sada je mali broj preduzeća i organizacija u Srbiji iskazao spremnost da pristupi zahtevnom i multidisciplinarnom poslu obezbeđenja podataka i izgradnji simulacionih modela u oblasti saobraćaja. Jedna od retkih istraživačkih i projektantskih organizacija koja je u svoje planerske postupke uvela simulaciju saobraćaja kao savremeni pristup planiranju saobraćaja i saobraćajne infrastrukture je i Saobraćajni institut CIP. U okviru istraživačkih, planerskih i projektnih aktivnosti Saobraćajnog instituta CIP primena softverskih paketa VISSIM i VISUM uvedena je 2004., dok je primena OpenTrack simulacionog softvera za simulaciju saobraćaja na železničkoj mreži uvedena 2009. godine. Do sada je simulacija na modelu primenjena kod preko 12 projekata u oblasti drumskog saobraćaja, dok je samo u 2010. godini, simulacija saobraćaja na simulacionim modelima delova železničke mreže primenjena kod izrade 7 projekata i to kao podrška odlučivanju u planiranju železničkog saobraćaja i železničke infrastrukture.

LITERATURA

- [1] *Priručnik za primenu Pravilnika BAB 87*, Jugoslovensko društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija, 1989, Beograd.
- [2] *Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*, British standard, BS EN 1992-1-1:2004 E, ICS 91.010.30; 91.080.40.
- [3] *Armironi beton 1*, Ž. Radosavljević, IRO "Građevniska knjiga", 1985, Beograd.
- [4] *Armironi beton 2*, Ž. Radosavljević, IRO "Građevniska knjiga", 1986, Beograd.
- [5] *Armironi beton 3*, Ž. Radosavljević, IRO "Građevniska knjiga", 1989, Beograd.
- [6] *Ansys Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications*, April 2009.
- [7] *Matematičko modeliranje veza u konstrukcijama – autorizovana predavanja*, T. Vacev, 2016.
- [8] *Crack Identification in Reinforced Concrete Beams Using ANSYS Software*, L. Dahmani, A. Khennane, *Strength of Materials*, Vol. 42, No 2, 2010, str. 232-240.
- [9] *Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures Subjected to Impact Loads*, C. Neriman, Master Thesis, 2010, Izmir.
- [10] *Parametric study on Nonlinear Finite Element Analysis on flexural behaviour of RC beams using ANSYS*, G. Vasudevan, S. Kothandaraman, *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Volume 2, No 1, 2011, str. 98-111.
- [11] *Flexural Behavior of Reinforced and Prestressed Concrete Beams using Finite Element Analysis*, J. Wolanski, Master Thesis, Milwaukee, Wisconsin, 2004.

5 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Simulacija na modelu omogućuje brže i efikasnije planiranje saobraćaja i saobraćajne infrastrukture. Brojni simulacioni softveri i modeli naišli su na veliko prihvatanje od strane stručnjaka iz oblasti saobraćaja. Istraživanjima na modelu obezbeđuju se podaci i informacije od značaja za donošenje raznih doluka operativnog, taktičkog i strateškog karaktera. Simulacijom saobraćaja i tehnoloških operacija identifikuju se uska grla na postojećoj ili planiranoj infrastrukturi i na osnovu toga mogu da se donose odluke o raznim tehnološkim i tehničkim merama koje treba preduzeti kako bi postavljeni ciljevi planiranja mogli da se realizuju. Simulacija je danas standardni postupak koji primenjuju istraživačke, planerske i projektantske organizacije na svim nivoima na kojima se donose odluke vezane za saobraćaj i saobraćajnu infrastrukturu.

Zahvalnica

Ovo istraživanje je sprovedeno na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu u okviru projekta iz oblasti tehnološkog razvoja u periodu 2011.-2019. god. pod nazivom „Eksperimentalna i teorijska istraživanja linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije II reda i stabilnosti“ (TR 36016), finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

REKONSTRUKCIJA LETNJKOVCA KRALJA ALEKSANDRA PRVOG U NERESNICI KOD KUČEVA

UDK : 728.84:69.059.7(497.11)

Dragan Kostić¹, Milan Gligorijević², Natalija Kostić³, Katarina Knezević⁴

Rezime: Kompleks letnjikovca dinastije Karađorđević u selu Neresnica izgrađen je 1930. godine, a pored kuće za odmor imao je i ulogu kontrole ispiranja zlata iz reke Pek u neposrednoj blizini. Sama Letnja kuća izgrađena je u karakterističnom stilu srpske narodne arhitekture, sa odlikama građanskih kuća sa boljim komforom. Istorijski značaj zgrade Letnje kuće i arhitektonske i građevinske vrednosti čitavog kompleksa doprinele su zakonskom rešenju problema zbrinjavanja ovog jedinstvenog kompleksa. Oštećenja, kolaps i nestabilnost pojedinih delova Letnjikovca pretili su potpunom devastacijom i kolapsom. Projektom sanacije i rekonstrukcije predviđene su mere za vraćanje stabilnosti zgrade i rekonstrukcije u novoplaniranim okolnostima sa funkcijom centra za posetioce, muzejske izložbe i sala za projekcije i edukaciju. U radu su predstavljene primenjene mere za sanaciju konstrukcije sa aspekta očuvanja arhitektonskih i građevinskih vrednosti zgrade iz perioda izgradnje.

Ključne reči: Kablovska rešetka, viseće konstrukcije,

RECONSTRUCTION OF THE KING ALEXANDER I KARADJORDJEVIC SUMMER HOUSE IN NERESNICA NEAR KUČEVO

Abstract: The summer house complex of the Karadjordjevic dynasty in the village of Neresnica was built in 1930, and in addition to the holiday home, it also had the role of controlling the leaching of gold from the Pek River in the immediate vicinity. The Summer House itself was built in the characteristic style of Serbian folk architecture, with the features of civic houses with better comfort. The historical significance of the Summer House building and the architectural and construction values of the entire complex have contributed to the legal solution of the problem of taking care of this unique complex. Damage, collapse and instability of certain parts of the Summer House threatened complete devastation and collapse. The project of rehabilitation and reconstruction envisages measures for restoring the stability of the building and reconstruction in the newly planned circumstances with the function of a visitor center, a museum exhibition and halls for projections and education. The paper presents the applied measures for the rehabilitation of the structure from the aspect of preserving the architectural and construction values of the building from the period of construction.

Key words: Structural improvement, Practical techniques, Masonry, Residential heritage

¹ Vanredni profesor, dr, dipl.inž.gradj, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, dragan.kostic@gaf.ni.ac.rs

² Asistent, dr, dipl.inž.grad., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, milan.gligorijevic@gaf.ni.ac.rs

³ Dipl.inž.arh., Data Investment, Novi Sad

⁴ Master inž.arh.

1. UVOD

Letnjikovac kralja Aleksandra I Karadorđevića nalazi se u selu Neresnica, između Kučeva i Majdanpeka. Smešten je u veoma lepom okruženju - u podnožju severnih obronaka Homoljskih planina, nekoliko stotina metara od reke Pek koja je poznata kao zlatonosna. Početkom 1930-ih, kralj Aleksandar je postao većinski suvlasnik akcionarskog društva, koje je planiralo intenzivnu eksploataciju zlata iz reke Pek. Da bi nadgledao radove, ali i zbog odmora, u kompleksu se gradi letnjikovac (slika 1) sa

pomoćnim objektima u kojima je kraljevska porodica boravila tokom njegovog boravka u Neresnici.

Letnjikovac je bio u vlasništvu kraljevske porodice Karadorđević do 1947. godine, kada je i ova, kao i ostala imovina, ukazom oduzeta. U međuvremenu nije bilo odgovarajućeg održavanja, zbog čega je čitav kompleks bio vidno oštećen (sl. 2 i 3). Zakonom o restituciji rešen je pravni status kompleksa letnjikovca, koji je dat na korišćenje Opštini Kučevo, koja je preduzela mere da se ovaj kompleks proglasi kulturnim dobrom i stavi pod zaštitu države



a)



b)

Slika 1. Originalni izgled Kraljeve vile u Neresnici: a) Jugo-zapadni izgled, b) Zapadni izgled (fotografija iz arhiva Opštine Kučevo [1])

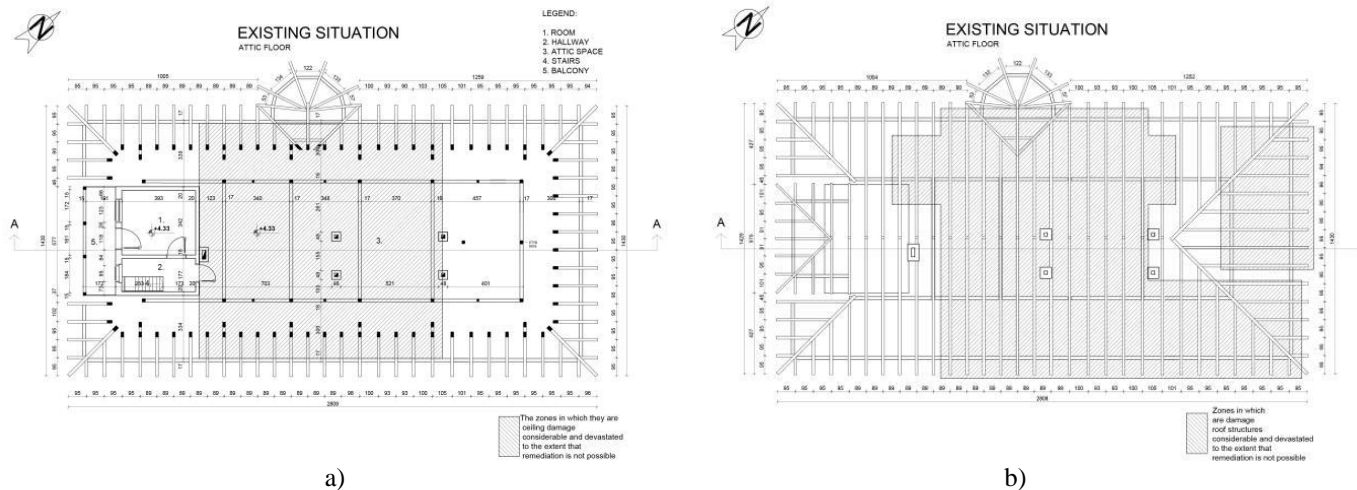


a)



b)

Slika 2. Devastirano stanje Kraljeve vile u Neresnici: a) i b) Deo SZ fasade, (fotografija iz arhiva Opštine Kučevo [1])



Slika 3. Devastirano stanje pojedinih sklopova: a) Tavanični i plafonski sklop b) Krovna konstrukcija, (crteži iz projekta rekonstrukcije [2])

Zgrada Kraljeve vile temeljno je rekonstruisana 2015. godine, sa namerom da se u sledećoj fazi obnove sve originalne arhitektonske vrednosti zgrade kako bi se izgled zgrade što manje promenio i zadržao duh vremena kada je izgrađena. Nova funkcija objekta je kulturna, izložbena i turistička, a projekat obnove ovog kompleksa je u skladu s tim.

2. ORIGINALNA ARHITEKTONSKA I KONSTRUKTIVNA KONCEPCIJA KRALJEVE VILE

Kompleks Letnjikovca Kraljeve vile sa pratećim zgradama tipičan je primer arhitekture stambenog stanovanja bogatijeg sloja građanskog društva u Srbiji u to vreme. Glavne karakteristike ove stambene zgrade u funkcionalnom smislu su život u prizemlju (prostorije za članove porodice i goste) sa odvojenom sobom za rad i prijem (radna soba-biblioteka) (slika 4), dok je u potkrovlju bio prostorija za posluđu u funkciji čišćenja, sređivanja i organizovanja drugih aktivnosti tokom boravka domaćina). Tavan je zauzimao jugozapadni deo (jedna prostorija). Vila je imala i vinski podrum, koji se takođe nalazio na jugozapadnom delu, a bio je uslovljen konfiguracijom terena. Udobnost korisnicima vile pružaju dimenzije soba i visina plafona, uz individualno grejanje svake sobe pećima na čvrsto gorivo, dok je tekuća voda bila dostupna samo u zajedničkom toaletu (jedan ženski i jedan muški toalet i jedno kupatilo).

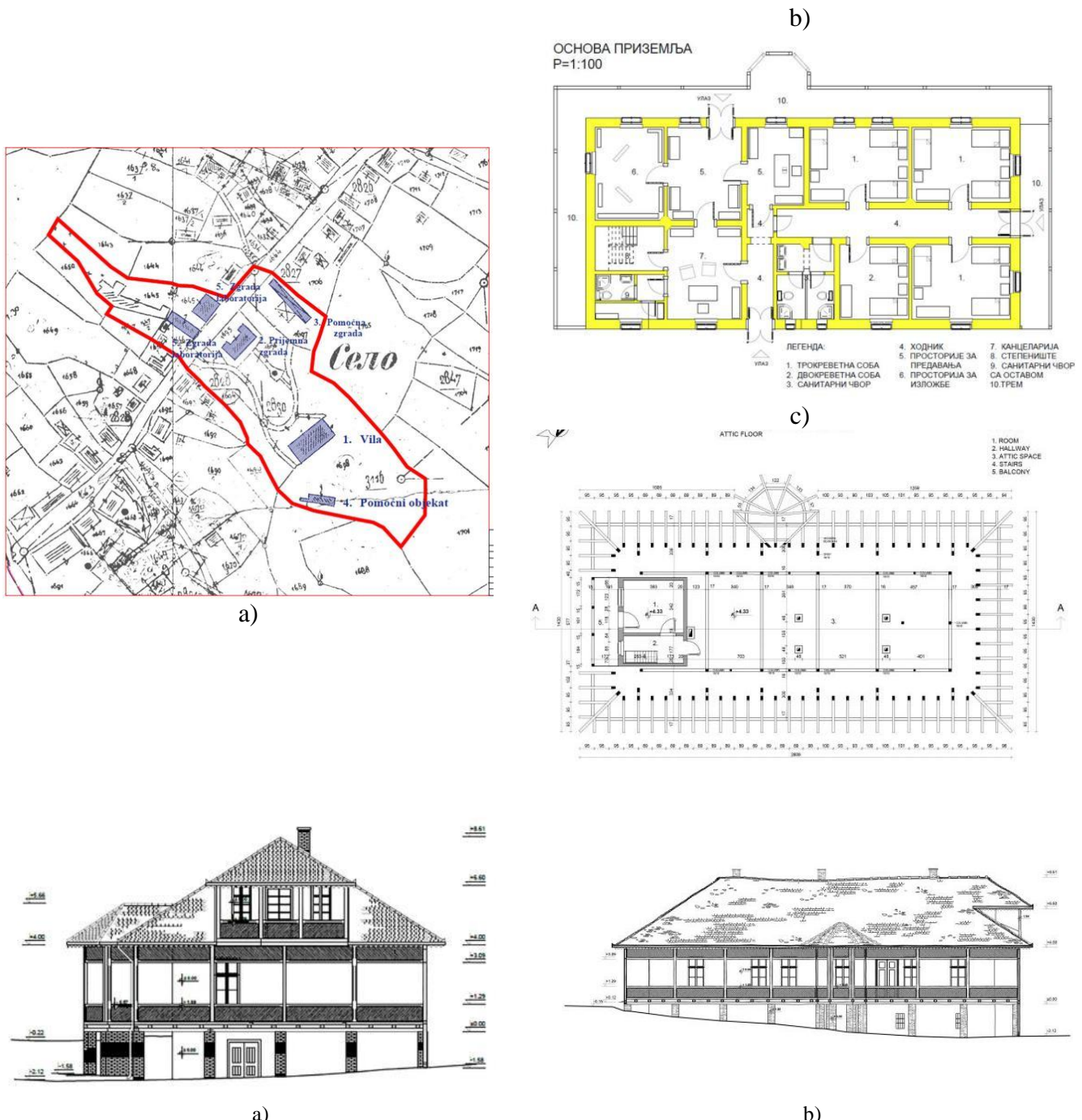
Srpska seoska kuća odlikovala se jednostavnim linijama, bez nepotrebnih kitnjastih detalja, sa

obaveznim tremom orijentisanim na osunčane fasade i vezom trema sa sobama. Tipični ukrasni elementi trema izrađeni su od drveta u obliku delimično prozirnih ograda sa karakterističnim detaljima u obliku čipke sa ukrštenim letvicama (slika 5). Pored Vile, kompleks ima i uslužne objekte, pomoćni objekat za čuvanje i pripremu hrane, prijemnu zgradu i laboratorije u funkciji ispiranja zlata.

Zgrada Kraljevske vile u konstruktivnom smislu je masivna zidana konstrukcija od pune opeke sa karakterističnim zidarskim vezama. Funkcionalno rešenje prizemlja uslovlilo je i konstruktivni sistem zgrade. Primenjen je sistem uzdužnih nosivih zidova sa dva trakta (4,9 + 4,9 m) i tri trakta (4,0 + 1,5 + 4,0 m). Fasadni zidovi su debljine 50 cm, dok su unutrašnji 30 cm. Tavanski deo je iznad dela sa dva trakta.

Krovna konstrukcija je klasična drvena sa pokrivačem od biber crepa i opšivima i olucima od pocinkovanog lima. Sistem krovne konstrukcije zasnovan je na kombinaciji dvostruke „stolice“ i vešaljke na slemenu. Stubovi stolice počivali su na unutrašnjim veznim zidovima (poprečno). Tavan je bio izrađen od drvenih greda sa daskama i zemljanim nasipom, dok je plafon bio malterisan preko trske.

Vremenom su drvene grede zbog štetočina i truljenja izgubile nosivost i delimično se urušile, što je dovelo do brzog propadanja ostalih drvenih elemenata, unutrašnjosti i urušavanja malterisanih obloga i oštećenja spojnice maltera u nosivim zidovima, što je dovelo do nestabilnost pojedinih zidova.



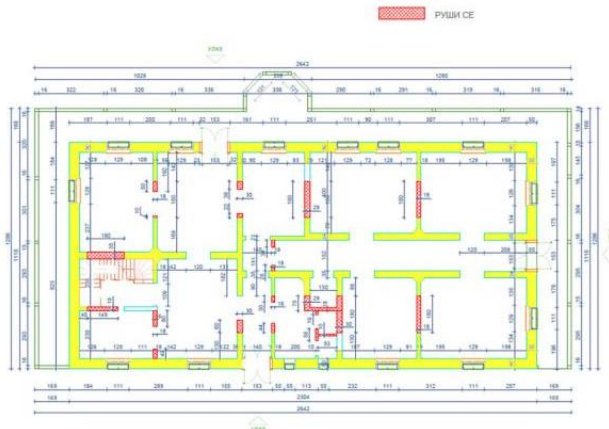
Slika 5. Originalno stanje Komplexa Kraljeve vile u Neresnici: a) SZ fasada б) JZ fasada (iz Projekta za rekonstrukciju [2])

3. REKONSTRUISANO STANJE

Stavljanjem pod zaštitu, kompleks Kraljeve vile u Neresnici dodeljen je na staranje Opštini Kučevo. Preduzete su aktivnosti na utvrđivanju postojećeg stanja, proceni štete i izradi projekta sanacije i rekonstrukcije čitavog kompleksa. Angažovan je Regionalni zavod za zaštitu spomenika kulture Smederevo, koji je 2009. godine završio projekat sanacije i rekonstrukcije. Zbog nedostatka sredstava projekat

je realizovan krajem 2015. godine. Projektom su predviđene mere za sanaciju nosivih delova konstrukcije (zidovi, plafoni, krov). Prva faza popravke sastojala se od uklanjanja svih srušenih i oštećenih elemenata (u potpunosti krovna konstrukcija, deo trema, pojedinačni noseći zidovi) Nestabilni i popucali noseći zidovi obnovljeni su (slika 6b) na isti način kao u originalnom projektu. Na ovaj način je vraćena vertikalna nosivost masivnih zidova, ali je zbog poboljšanja stabilnosti napravljen horizontalni serklaž (slika

6a) koji povezuje sve noseće zidove, visina serklaža je 25 cm i širina je jednaka širini zidova (50 cm i 30 cm). Glavne poprečne drvene grede koje su podupirale krov i strehu



Slika 6. Rekonstruisano stanje Kraljeve vile: Dispozicija AB greda

trema zamenjene su betonskim gredama (slika 6a, slika 7a). Betonske grede oslanjaju se na horizontalne serklaže - oni su „nasadeni“ preko AB serklaža i uzdužnog unutrašnjeg nosećeg zida. Dizajnirani su na međusobnoj udaljenosti od 1,6 m do 3,0 m. Njihov raspored u osnovi delimično prati položaj poprečnih unutrašnjih nosećih zidova, a delimično se oslanjaju na armirano-betonske grede iz drugog ortogonalnog pravca [3, 4, 5] (slika 6a).

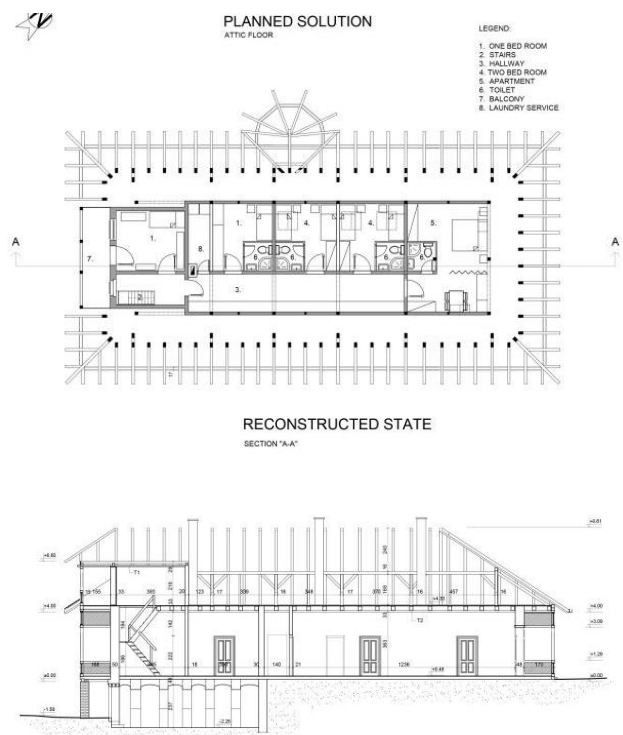
Na taj način su dobijeni oslonci za drvenu krovnu konstrukciju, što je u velikoj meri racionalizovano (umesto dve rožnjače i slemenjača, krovna konstrukcija je rešena samo sa dvema rožnjačama). Takođe, betonska konstrukcija je dizajnirana da nosi drveni plafon kakav je bio u svom izvornom stanju.

Novo planirana namena ove zgrade je centar za posetioce sa izložbom muzejskih eksponata iz perioda dinastije Karađorđević, umetničkih predmeta iz tog perioda i salom za predavanja i projekcije u prizemlju (slika 8), dok je u u potkrovlju postoje sobe za konzervatore i predavače.

Do danas je projekat sanacije i rekonstrukcije vile Karađorđević u Neresnici realizovan samo u delu sanacije zidova i rekonstrukcije krovne konstrukcije.



Slika 6. Rekonstruisano stanje Kraljeve vile: Osnova saniranih i rekonstruisanih zidova prizemlja



Slika 7. Rekonstruisano stanje Kraljeve vile: a) Podužni presek, b) Osnova potkrovlja (Iz Projekta rekonstrukcije [2])



*Slika 8. Hol za prezentacije u Letnjikovcu:
(iz projekta Aneks rekonstrukcije Kraljeve vile 2017 [6])*

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen način sanacije oštećenih konstruktivnih elemenata, načini izvođenja i implementacije na ovom objektu.

Sa namerom da se kompleksu vrati bivša arhitektonska slava i aktivira nova funkcija, neophodno je sprovesti mere rekonstrukcije u skladu sa predviđenom namenom i važećim zakonodavstvom u oblasti zaštite kulturnog nasleđa. Na osnovu iskustva iz predstavljenog projekta, preporučuje se dalji razvoj i optimizacija primenjene tehnike .

Acknowledgement

Ova studija je realizovana kroz poslovnu i tehničku saradnju između opštine Kučevo i Građevinsko-arhitektonskog fakulteta

LITERATURA

- [1] Archive documentation from Municipality of Kučevo
- [2] Project for reconstruction developed by Regional Institute For Protection Cultural Monuments Smederevo 2015
- [3] Penelis, G. G., “Structural restoration of historical buildings in seismic areas”, Prog. Struct. Engng Mater., 2012, 4, pp. 64–73.
- [4] Petzet, Michael (2004) Principles of preservation: An introduction to the International Charters for Conservation and Restoration 40 years after the Venice Charter. In: International Charters for Conservation and Restoration. Monuments & Sites, I . ICOMOS, München, pp. 7-29.
- [5] Savic, J., “Revitalization of residential buildings in structural context”, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Nis, Serbia, doctoral dissertation, 2016
- [6] Project aneks for reconstruction, Faculty of Civil Engineering and Architecture in Niš