

Univerzitet u Nišu
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET



ZBORNIK
RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA

Niš | 2016 | broj 31

Univerzitet u Nišu
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET



ZBORNIK
RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA

Niš | 2016 | broj 31

ZBORNIK
RADOVA
GRAĐEVINSKO
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA
NIŠ

broj
31/2016

IZDAVAČ:

Građevinsko-arhitektonski fakultet
Univerziteta u Nišu,

Dekan: Prof. dr Petar Mitković

Tel: +38118 588-202
+38118 588-181
<http://www.gaf.ni.ac.rs/>

**UREDNICI:**

Prof. dr Dragoslav Stojić, glavni i odgovorni urednik,
Dr Radovan Cvetković, tehnički urednik.

REDAKCIJA:

Prof. dr Slaviša Trajković,
V. prof, dr Danica Stanković,
Prof. dr Zoran Grdić,
V. prof. dr Gordana Topličić-Ćurčić,
Doc. dr Vladan Nikolić.

LEKTOR ZA ENGLESKI JEZIK:

Goran Stevanović, dipl. fil.

Radovi su recenzirani.

ISSN 1452-2845

Tiraž: 250

PREDGOVOR

Poštovani čitaoci, podsećanja radi treba reći da je prvi broj Zbornika izdat 1980. godine. Uprkos najrazličitijim problemima na koje se u proteklom periodu nailazilo, publikovan je i ovaj 31. po redu Zbornik, čime se poštuje dinamika izdavanja jednog broja godišnje. Sadrži trinaest radova iz skoro svih oblasti građevinarstva i arhitekture. Svi radovi su recenzirani od strane dva priznata stručnjaka iz odgovarajuće naučne oblasti, odnosno discipline.

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

Zbornik je dostupan i putem prezentacije preko Interneta, u saradnji sa Narodnom bibliotekom Srbije u punom obimu. Prema kategorizaciji domaćih naučnih časopisa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Odbora za saobraćaj urbanizam i građevinarstvo, Zbornik je svrstan u kategoriju časopisa M52.

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

Glavni i odgovorni urednik,

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

Dekan,

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

SADRŽAJ

Nenad Stojković, Srđan Živković, Dragoslav Stojić, Nikola Velimirović, Nemanja Marković:	
POREĐENJE METODA ODREĐIVANJA S-N KRIVIH NA OSNOVU REZULTATA ISPITIVANJA NA ZAMOR ČELIČNIH KONSTRUKCIJA	
Metoda najmanjih kvadrata i metoda maksimalne verodostojnosti.....	1-9
Predrag Petronijević, Radomir Folić:	
ANALIZA EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA VEZNIH GREDA ZIDOVA I NJIHOV UTICAJ NA OBLIKOVANJE ARMATURE.....	10-20
Slavko Zdravković, Biljana Mladenović, Srđan Živković, Nikola Janković:	
ZNAČENJE TEORIJE POUZDANOSTI U NAUČNO-ISTRAŽIVAČKOM RADU U GRAĐEVINARSTVU.....	21-31
Ivana Bogdanović-Protić, Petar Mitković, Milena Dinić-Branković, Jelena Đekić, Mihailo Mitković:	
PARTICIPACIJA STANARA U REVITALIZACIJI SLOBODNIH PROSTORA U KOMPLEKSIMA SA VIŠESPRATNIM STANOVAЊEM NA PRIMERU GRADA NIŠA.....	32-38
Ana Momčilović-Petronijević, Aleksandra Mirić, Mila Cvetković:	
SAKRALNA ARHITEKTURA IZ DOBA OSMANSKE DOMINACIJE U NIŠU. DŽAMIJE-NEKAD I SAD.....	39-48
Duško Kuzović:	
ORGANIZACIJA STANA U OBJEKTIMA NA TRGU PARTIZANA U UŽICU.....	49-57
Dragan Kostić, Milan Gligorijević:	
ŠELTERI-OCENA STANJA ZAŠTITNIH KONSTRUKCIJA I NJIHOVIH EFEKATA NA POKRIVENE DELOVE ARHEOLOŠKIH LOKALITETA.....	58-68
Miloš Milić, Todor Vacev, Nikola Romić, Andrija Zorić, Stepa Paunović, Ivan Nešović:	
UPOREDNA ANALIZA PONAŠANJA ŠIPA KONAČNE KRUTOSTI NUMERIČKOM METODOM PO TEORIJI PRVOG I DRUGOG REDA.....	69-79
Slavko Zdravković, Dragan Zlatkov, Predrag Petronijević, Andrija Zorić:	
EKSPERIMENT I TEORIJA U NAUCI O GRAĐEVINARSTVU.....	80-91

Marko Milošević, Srđan Živković:	
REŠETKASTI NOSAČI BEZ ČVORNIH LIMOVA OD ŠUPLJIH ČELIČNIH PROFILA	92-110
Duško Kuzović:	
KONSTRUKTIVNO REŠENJE I PRIMENJENI MATERIJALI U PARTERU TRGA PARTIZANA U UŽICU (1961).....	111-120
Milena Dinić Branković, Ivana Bogdanović Protić, Jelena Đekić, Milica Igić, Petar Mitković:	
RESTRUKTURIRANJE URBANIH FUNKCIJA KAO PROCES POST-SOCIJALISTIČKE URBANE TRANSFORMACIJE - TEORIJSKI OKVIR.....	121-136
Aleksandra Mirić, Ana Momčilović Petronijević:	
GRADITELJSKO NASLEĐE IZ OSMANSKOG PERIODA UNUTAR URBANE STRUKTURE SAVREMENOGVRANJA.....	137-145

UDK : 624.014
519.654
519.226

POREĐENJE METODA ODREĐIVANJA S-N KRIVIH NA OSNOVU REZULTATA ISPITIVANJA NA ZAMOR ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

**Metoda najmanjih kvadrata i metoda maksimalne
verodostojnosti**

**Nenad Stojković¹, Srđan Živković², Dragoslav Stojić,³
Nikola Velimirović⁴, Nemanja Marković⁵**

Rezime

U radu je izvršeno poređenje S-N krivih dobijenih primenom različitih metoda za određivanje parametara modela kojima su one predstavljene. Primljene su metoda najmanjih kvadrata i metoda maksimalne verodostojnosti. Akcenat je stavljen na uključivanje podataka o "preživelim" uzorcima. Analiza je pokazala da, ukoliko se ovi podaci uključe u analizu, postoje određene razlike u krivima dobijenim primenom ovih metoda. To je posebno naglašeno pri nižim nivoima opterećenja.

Ključne reči: zamor, čelične konstrukcije, S-N kriva, metoda najmanjih kvadrata, metoda maksimalne verodostojnosti

1. UVOD

U inženjerskoj praksi, većina tipova konstrukcijskih elemenata izložena je opterećenjima promenljivog karaktera, usled čega dolazi do pojave zamora materijala. Analiza zamora, odnosno procena veka trajanja konstrukcija je najčešće podeljena na područja niskocikličnog (malociklusnog) i visokocikličnog (mnogociklusnog) zamora. U čeličnim konstrukcijama se smatra da pri visokocikličnom zamoru do loma dolazi

¹ Nenad Stojković, dipl. građ. inž., Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu

² Dr Srđan Živković, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

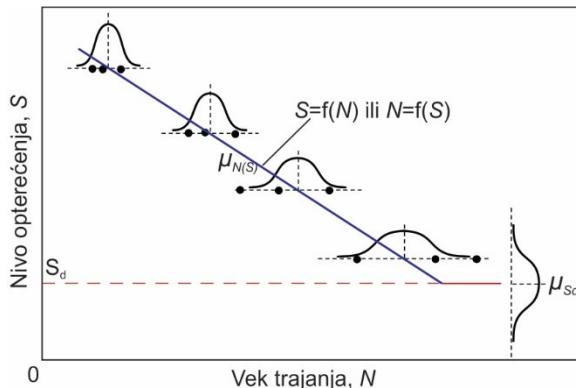
³ Dr Dragoslav Stojić, dipl. građ. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

⁴ Nikola Velimirović, dipl. grad. inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

⁵ Nemanja Marković, dipl. građ.inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

nakon više od 10^4 ciklusa opterećenja, što se najčešće i uzima za granicu između ova dva područja.

U slučaju visokocikličnog zamora, materijal se najčešće karakteriše pomoću S-N krivih, u literaturi često nazivanih Velerovim krivama [1]. One se dobijaju ispitivanjem određenog broja uzorka pri različitim nivoima cikličnog opterećenja. Nivo opterećenja je najčešće definisan maksimalnom silom (S_{max}), amplitudom sile (S_a) ili opsegom sile ($\Delta S = S_{max} - S_{min}$). Uzorci se ispituju do loma, pri čemu se beleži broj ciklusa pri kom se on dogodio (vek trajanja). Ukoliko pri određenom nivou opterećenja ne dolazi do loma nakon unapred određenog broja ciklusa, maksimalna sila tog nivoa opterećenja se naziva dinamička čvrstoća materijala, S_d . Iako je vek trajanja najčešće zavisna promenljiva S-N modela, eksperimentalni podaci se po pravilu prikazuju na grafikonima koji kao apscisu imaju vek trajanja (odnosno njegov logaritam), dok je na ordinati prikazan nivo opterećenja ili njegov logaritam. Tako prikazani eksperimentalni podaci se aproksimiraju krivom, konstruisanom prema nekom od postojećih matematičkih modela, koja na najbolji način reprezentuje zavisnost između opterećenja i veka trajanja. Tipična S-N kriva je prikazana na slici 1.



Slika 1. S-N kriva fitovana prema eksperimentalnim podacima

Kako je ilustrovano na slici 1, eksperimentalne rezultate ispitivanja veka trajanja po pravilu karakteriše visok stepen rasipanja. Grupama eksperimentalnih podataka u okviru jednog nivoa opterećenja se mogu odrediti srednja vrednost i standardna devijacija. Idealno, S-N kriva, predstavljena nekom od jednačina koje će biti prikazane u narednom poglavljju, prolazi kroz srednje vrednosti eksperimentalno utvrđenih vekova trajanja pri svakom ispitnom nivou opterećenja. Međutim, standardnim matematičkim modelima, koji najčešće podrazumevaju linearne zavisnosti između opterećenja i veka trajanja ili njihovih

logaritama, to se ne može postići. Stoga, ponašanje materijala pri zamornom opterećenju se najčešće karakteriše S-N krivom čiji parametri obezbeđuju najmanje odstupanje od eksperimentalnih rezultata. U skladu sa tim, od velike važnosti je pravilno definisanje kriterijuma na osnovu kog se određuju najbolje vrednosti parametara matematičkog S-N modela, kao i izbor metode za njihovo određivanje.

U ovom radu je prikazano poređenje S-N krivih, predstavljenih jednačinama čiji su parametri određeni primenom različitih metoda. Primenjene su metoda najmanjih kvadrata, koja predstavlja jednu od najstandardnijih metoda za određivanje parametara S-N modela, i metoda maksimalne verodostojnosti, za čiju primenu je razvijen poseban algoritam od strane autora. S obzirom da parametri koji se određuju definišu krive koje predstavljaju 50% verovatnoće preživljavanja uzorka, konstruisane su i upoređene i krive koje definišu 95% verovatnoće preživljavanja, što je inženjerski prihvatljivije i zahtevano različitim standardima, kao što su [2–4].

2. MATERIJAL I METOD RADA

2.1. Matematički modeli S-N krivih

U zavisnosti od karakteristika eksperimentalnih rezultata, kriva zavisnosti veka trajanja od maksimalne sile ili amplitude može imati različite oblike. Linearna zavisnost logaritma veka trajanja i sile može se opisati sledećom jednačinom:

$$\log N = a + bS , \quad (1)$$

gde je N vek trajanja (broj ciklusa do loma), S parametar opterećenja (maksimalna sila, ili amplituda), dok su a i b parametri modela koji se određuju fitovanjem prema eksperimentalnim podacima.

Ukoliko dobijeni rezultati pokazuju linearu zavisnost na grafiku logaritam veka trajanja – logaritam maksimalne sile, S-N kriva može biti predstavljena sledećom jednačinom:

$$\log N = a + b \log S , \quad (2)$$

ili, napisano u stepenom obliku,

$$N = cS^b , \quad (3)$$

gde se parametri b i c ($c=10^a$) određuju fitovanjem prema eksperimentalnim podacima. Matematički model, predstavljen jednačinom (3), poznatiji je pod nazivom Baskinov model (Basquin, [5]).

Prikazani modeli opisuju linearu zavisnost parametara opterećenja i veka trajanja u zoni visokocikličnog zamora ($\geq 10^4$ ciklusa), pri čemu je N manje od unapred određene granice N_d (obično između 10^6 i 10^8 ciklusa), koja se usvaja kao vek trajanja koji odgovara dinamičkoj čvrstoći materijala. S-N kriva se, ukoliko materijal ima dinamičku čvrstoću (što je slučaj kod čelika), lomi pri $N=N_d$ i nadalje predstavlja horizontalnom linijom. U novije vreme su razmatrani i različiti modeli kojima je moguće opisati postepeni prelaz iz zone konačnog u zonu beskonačnog veka trajanja [6,7].

2.2. Metode određivanja parametara S-N modela

S obzirom na probabilistički karakter eksperimentalnih podataka i uobičajenu ograničenost broja ispitanih uzoraka, veoma je važno ovladati različitim tehnikama i metodama određivanja parametara S-N modela da bi se dobole krive sa određenom statističkom značajnošću. Ove metode se po pravilu zasnivaju na nekoj od determinističkih jednačina, ali podrazumevaju da se veličine koje u njima figurišu, mogu predstaviti određenim statističkim raspodelama. One se u najvećem broju slučajeva predstavljaju normalnom, lognormalnom ili Vejbulovom (Weibull) raspodelom. U cilju povećavanja eksperimentalnog uzorka, uz određene pretpostavke, primenom posebnih metoda za određivanje parametara modela mogu se upotrebiti i podaci o uzorcima koji, nakon završetka ispitivanja, nisu doživeli lom. Ove uzorke koje nazivamo "preživelim" uzorcima (eng. runouts).

2.2.1. Metoda najmanjih kvadrata

Za S-N modele predstavljene jednačinama (1) i (2) se može formulisati regresioni model

$$y_i = a + b \cdot x_i + e_i, \quad (4)$$

gde y_i predstavlja vek trajanja (N ili $\log N$), x_i parametar opterećenja (S ili $\log S$), a e_i je proizvoljna greška modela.

Najčešće korišćen pristup za određivanje parametara a i b je metoda najmanjih kvadrata. Ova metoda je zasnovana na minimiziranju odstupanja krive definisane primenom pretpostavljenih parametara modela od eksperimentalnih podataka. Kao mera odstupanja odabranog empirijskog modela od eksperimentalnih podataka uzima se suma

kvadrata odstupanja eksperimentalnih od proračunskih podataka (engl. sum of squared errors SSE). Optimalne vrednosti parametara modela su one za koje SSE ima minimalnu vrednost. U [8] je prikazan postupak za direktno određivanje parametara S-N modela (2) koji daju minimalnu vrednost SSE. Pri tome, podrazumeva se da se greške mogu predstaviti normalnom raspodelom. Suma kvadrata odstupanja se može predstaviti sledećom jednačinom:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (5)$$

gde je y_i eksperimentalno opažanje, a \hat{y}_i vek trajanja koji odgovara opterećenju x_i i prepostavljenim parametrima \hat{a} i \hat{b} ($\hat{y}_i = \hat{a} + \hat{b} \cdot x_i$). Minimiziranjem SSE se, u ovom slučaju, mogu dobiti rešenja za parametre a i b u zatvorenom obliku:

$$\begin{aligned} \hat{b} &= \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (x_i)}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \left[\sum_{i=1}^n (x_i) \right]^2} \quad (6) \\ \hat{a} &= \mu_{y_i} - \hat{b} \mu_{x_i}, \end{aligned}$$

gde su μ_{x_i} i μ_{y_i} srednje vrednosti eksperimentalnih podataka x_i i y_i . Varijansa, odnosno kvadrat standardne devijacije veka trajanja (σ_{y_i}) se određuje sledećom jednakosti:

$$\sigma_{y_i}^2 = \frac{SSE}{n-2}. \quad (8)$$

2.2.2. Metoda maksimalne verodostojnosti

Za razliku od metode najmanjih kvadrata, gde je jasno da se parametri jednačine mogu odrediti isključivo pomoću parova podataka nivo opterećenja - vek trajanja, metodom maksimalne verodostojnosti se u obzir mogu uzeti i podaci o "preživelim" uzorcima. Ova metoda je zasnovana na maksimizovanju funkcije verodostojnosti skupa parametara modela (θ). Ona predstavlja zbir logaritama verovatnoća realizacije postojećeg skupa eksperimentalnih podataka za određene vrednosti parametara modela i standardne devijacije. U [9] je razvijen algoritam za računavanje parametara Baskinovog S-N modela (3). Pri tome se sabirci funkcije verodostojnosti (doprinosi) $L(\theta)_i$, za pret-

postavljene vrednosti parametara (θ) i standardnu devijaciju (σ), mogu izraziti posebno za polomljene i "preživele" uzorke, i to:

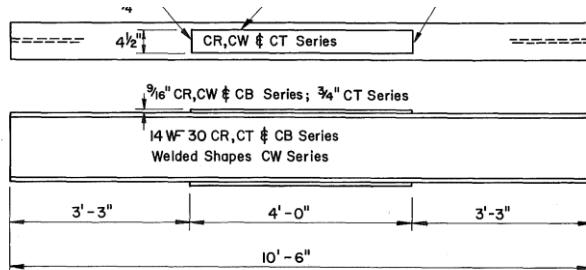
$$L(\theta)_i(\text{polomljen}) = -t^2 / 2 - \log \sigma, \quad (9)$$

$$L(\theta)_i(\text{preživeli}) = \log_e \left[\int_t^{\infty} (2\pi)^{0.5} \cdot \exp(-u^2 / 2) du \right], \quad (10)$$

gde je standardna devijacija pretpostavljena kao funkcija veka trajanja ($\log N$), a parametar t je izražen sledećom jednačinom

$$t_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{\sigma}. \quad (11)$$

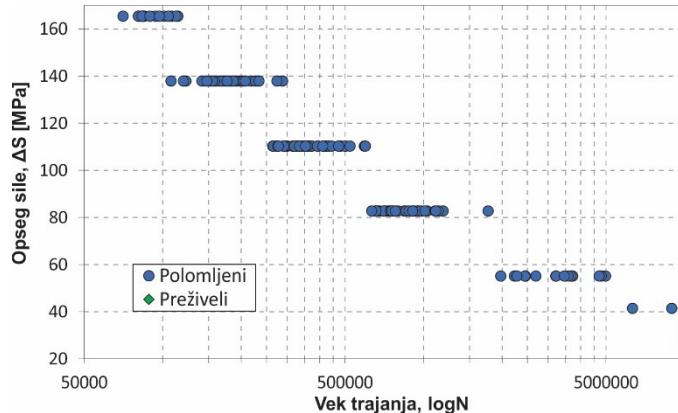
U jednačini (11) y_i eksperimentalno opažanje a \hat{y}_i vek trajanja sračunat pomoću pretpostavljenih parametara modela. Razvijenim algoritmom [9] se primenom iterativnog postupka određuje skup parametara i standardna devijacija koje odgovaraju maksimalnoj vrednosti funkcije verodostojnosti.



Slika 2. Profili ojačani dodatnom pojasmom lamelom [10]

2.3. Eksperimentalni rezultati

Eksperimentalni podaci koji su korišćeni za određivanje S-N krivih preuzeti su iz publikacije [10]. Oni predstavljaju rezultate ispitivanja valjanih i zavarenih I profila ojačanih dodatnim pojasmom lamelama sa obe strane nosača, zavarenih sa čeone strane (slika 2). Ispitivanje je sprovedeno primenom metode savijanja u četiri tačke. Nivoi opterećenja su izraženi kao opseg napona u zategnutoj nožici osnovnog nosača, na mestu varu (kraj pojasnog lima). Eksperimentalni podaci su u predstavljeni su na slici 3. Pri tome su u ovom radu, zbog svoje kompatibilnosti korišćeni rezultati prikazani u tabelama F1, F2 i F7-9. Uzorak se sastoji od 158 rezultata ispitivanja cikličkim opterećenjem do loma i 12 podataka o "preživelim" uzorcima 4 nivoa opterećenja.

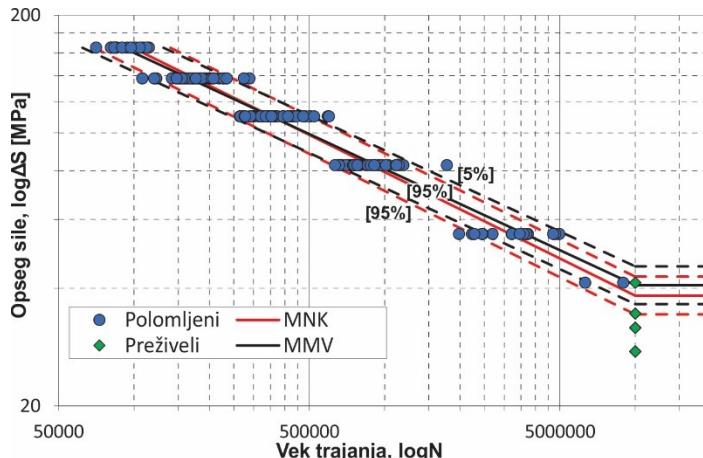


Slika 3. Prikaz eksperimentalnih podataka na S-logN dijagramu

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Određivanje S-N krivih koje predstavljaju eksperimentalne rezultate prikazane na slici 3. sprovedeno je prema metodama opisanim u poglavljima 2.2.1 i 2.2.2. Kako se sa slike jasno vidi, njih ne karakteriše linearna zavisnost $\log\Delta S$ i $\log N$. Međutim, na dijagramu $\log\Delta S$ - $\log N$ ovi podaci pokazuju linearnu zavisnost. Stoga je za određivanje vrednosti parametara modela primenom metode najmanjih kvadrata korišćena jednačina (2), dok algoritam razvijen u [9] primenjuje Baskinov model (3). Iterativni postupak primenjen u ovom algoritmu podrazumeva pretpostavku početnih vrednosti parametara, koje su u ovom slučaju usvojena identične onim koje se dobijaju primenom metode najmanjih kvadrata, koristeći isključivo podatke o polomljenim uzorcima. Određene S-N krive su prikazane na slici 4. Pored krivih koje predstavljaju granicu 50% verovatnoće preživljavanja uzorka, prikazane su i granice 95% i 5% verovatnoće preživljavanja. Vrednosti parametara modela, standardnih devijacija i dinamičkih čvrstoća koje njima odgovaraju su prikazane u tabeli 1. Usvojeni broj ciklusa koji odgovara dinamičkoj čvrstoći je 10^7 .

Može se primetiti da uključivanje podataka o "preživelim" uzorcima, korišćenjem metode maksimalne verodostojnosti, dovodi do smanjenja nagiba krive u odnosu na S-N krivu dobijenu metodom najmanjih kvadrata. To dovodi do povećanja procenjene dinamičke čvrstoće za oko 6% kako u slučaju krivih koje označavaju granicu 95%



Slika 4. Poređenje S-N krivih dobijenih različitim metodama

verovatnoće preživljavanja, tako i onih koje označavaju 50% verovatnoće preživljavanja, što ne predstavlja značajnu razliku. Razlika u standardnim devijacijama je takođe neznatna (<1%). Sa druge strane, značajnija razlika se može primetiti analizirajući procenjeni vek trajanja pri nižim nivoima opterećenja. Ona se ogleda u razlici u nagibu krive (parametar b). Ova razlika značajnije dolazi do izražaja pri nižim nivoima opterećenja. Tako, pri nivou opterećenja koji predstavlja dinamičku čvrstoću u slučaju metode maksimalne verodostojnosti, pri kome je procenjeni vek trajanja $\geq 10^7$ ciklusa, metodom najmanjih kvadrata se procenjuje za oko $2 \cdot 10^6$ ciklusa kraći vek trajanja.

Tabela 1. Rezultati analize eksperimentalnih podataka

	Parametri j-ne		$S_{d,95\%}$ $S_{d,50\%}$	$\sigma (\log N)$
	1	2		
MNK	$a=12,0087$	$b=-3,1632$	34,29 MPa	$9,28 \cdot 10^{-2}$
			38,32 MPa	
MMV	$c=10^a$ $=1,232 \cdot 10^{12}$ $\Rightarrow a=12,0906$	$b=-3,2028$	36,47 MPa	$9,24 \cdot 10^{-2}$
			40,78 MPa	

4. ZAKLJUČAK

U radu je izvršeno poređenje S-N krivih koje predstavljaju rezultate ispitivanja čeličnih I profila sa ojačanim obe strane pojasnim lamelama, koje su određene primenom metode najmanjih kvadrata i metode maksimalne verodostojnosti. Rezultati su pokazali da, iako značajnijih razlika u predviđenim dinamičkim čvrstoćama nije bilo, metodom

maksimalne verodostojnosti se, u slučaju postojanja podataka o preživelim uzorcima, može predvideti značajno duži vek trajanja pri nižim nivoima opterećenja. Ova činjenica nameće zaključak da se postojanje podataka o "preživelim" uzorcima ne treba zanemariti, već je potrebno uključiti ih pri određivanju parametara S-N modela, što se može sprovesti primenom metode maksimalne verodostojnosti.

7. LITERATURA

- [1] Wöhler, A.: *Über die FestigkeitsVersuche mit Eisen und Stahl (On Strength Tests of Iron and Steel)*. Zeitschrift Für Bauwesen, Vol.20; 1870: pp. 73–106.
- [2] AASHTO, *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires and Traffic Signals*. Washington D.C., 2013.
- [3] SRPS EN 1990:2012: *Evrokod - Osnove projektovanja konstrukcija*.
- [4] SRPS EN 1993-1-9:2012: *Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 1-9: Zamor*.
- [5] Basquin, O.H.: *The exponential law of endurance tests*, Proceedings - American Society for Testing Materials. Proceedings - American Society for Testing Materials, Vol.10; 1919: pp. 625–30.
- [6] Leonetti, D., Maljaars, J., Snijder, H.H.: *Fitting fatigue test data with a novel S-N curve using frequentist and Bayesian inference*. International Journal of Fatigue, Vol.105; 2017: pp. 128–43. doi:10.1016/j.ijfatigue.2017.08.024.
- [7] Ovuoba, B., Prinz, G.S.: *Fatigue Capacity of Headed Shear Studs in Composite Bridge Girders*. Journal of Bridge Engineering, Vol.21; 2016: pp. 1–9. doi:10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000915.
- [8] Sivák, P., Ostertagová, E.: *Evaluation of Fatigue Tests by Means of Mathematical Statistics*. Procedia Engineering, Vol.48; 2012: pp. 636–42. doi:10.1016/j.proeng.2012.09.564.
- [9] Stojković, N., Stojić, D., Živković, S., Topličić Ćurčić, G.: *Algorithm for determination of S-N curves of structural elements subjected to cyclic loading*. Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering, Vol.15; 2017, prihvaćen za objavljivanje.
- [10] Fisher, J., Frank, K., Hirt, M., McNamee, B.: *Effect of weldments on the fatigue strength of steel beams*, Tech rep. Fritz Engineering Laboratory Report; 1969.

UDK : 624.012.45:692.2|539.42

ANALIZA EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA VEZNIH GREDA ZIDOVA I NJIHOV UTICAJ NA OBLIKOVANJE ARMATURE

Predrag Petronijević¹
Radomir Folić²

Rezime

U radu su sažeto prikazani i analizirani rezultati eksperimentalnih istraživanja veznih greda armirano betonskih zidova. Proučen je efekat krutosti veznih greda na preraspodelu uticaja (efekat sprezanja) u sistemu povezanih zidova. Prikazan je poželjan mehanizam loma postupnim otkazom veznih greda, propagacijom pukotina usled savijanja u kritičnoj oblasti zida i lom zida smicanjem. Proučen je uticaj geometrijskih karakteristika veznih greda na njihov dominantan oblik deformacije. Analizirani su načini oblikovanja armature u funkciji geometrijskih karakteristika veznih greda. Istražen je uticaj oblikovanja armature na povećanje duktilnosti greda sa manjim odnosom raspon/visina. Istaknut je značaj dijagonalnog armiranja na povećanje duktilnosti i rasipanje energije u odnosu na konvencionalno armirane vezne grede.

Ključne reči: vezne grede, povezani AB zidovi, zidovi sa otvorima

1. UVOD

Sve do zemljotresa na Aljasci 1964. godine vezne grede (coupling beams) su armirane konvencionalnom armaturom. Tom prilikom vezne grede na mnogim zgradama pretrpele su značajna oštećenja iz razloga nedovoljnog kapaciteta smicanja. Generalno visoke grede teže dijagonalnom zatežućem lomu, koji deli gredu na dva trougla povezana uzengijama. Intenzivnija upotreba poprečne armature daje samo

¹ Petronijević Predrag, d.i.g., asistent, Univerziteta u Nišu, Građevinsko- arhitektonski fakultet

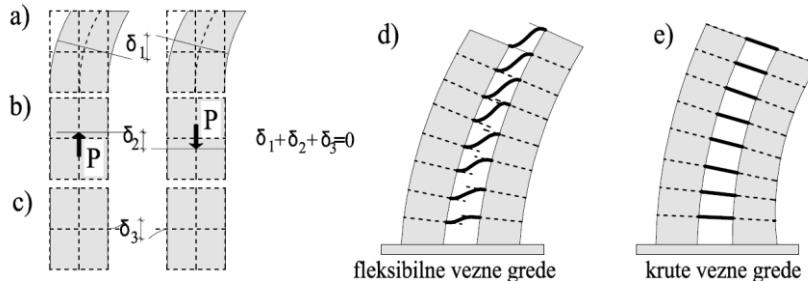
² Folić Radomir, Dr, d.i.g., profesor emeritus, Univerziteta u Novom Sadu, Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakulteta tehničkih nauka, Novi sad

ograničene rezultate. Tako se nametnula potreba za uvođenjem dijagonalnog armiranja čime je sprečen dijagonalni lom i ostvarena potrebna smičuća nosivost. Verifikaciju dijagonalnog armiranja ispitivanjem tri uzorka odnosa raspon/visina a/d od 1.0 do 1.3 realizovali su autori [16]. Nelinearno ponašanje ovako armiranih veznih greda se pokazalo znatno povoljnijim u odnosu na klasičan vid armiranja [2],[15]. Uz zadržavanje krutosti, nosivosti, znatno veću duktibilnost i sposobnost disipacije energije. Ipak, u većini starijih zgrada vezne grede imaju konvencionalnu podužnu armaturu (za prijem sila savijanja) i poprečnu armaturu (prijem smičućih sila). U novoizgrađenim i rehabilitovanim starim objektima vezne grede (sa odnosom $a/d \leq 2$) se primarno armiraju dijagonalno (sl. 1).



Slika 1. Dijagonalno armirane vezne grede [21]

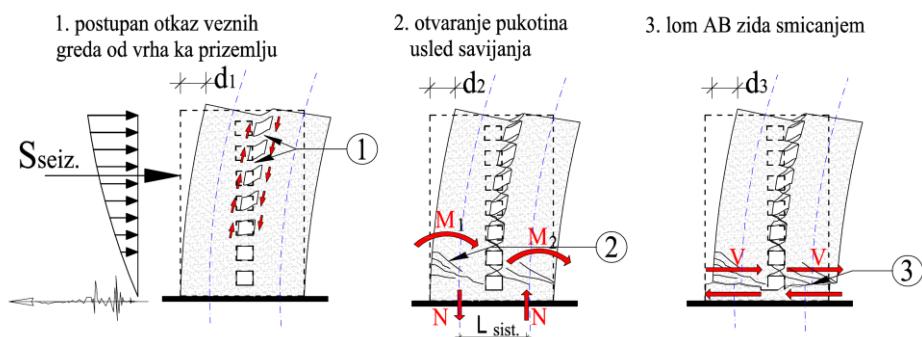
Prilikom deformacije povezanih zidova pri bočnom opterećenju dolazi do rotacije pojedinačnih zidova. Rotacija zidova usled savijanja izaziva relativno vertikalno pomeranje tačaka oslanjanja veznih greda. Ovo pomeranje je jednako zbiru deformacija: savijanja, smicanja veznih greda i aksijalne deformacije zidova usled normalne sile. Dominantan oblik deformacije direktno zavisi od geometrijskih odnosa veznih greda. Ukoliko su vezne grede fleksibilne (odnos $a/d > 3$) one se uglavnom deformišu savijanjem sa dvostrukom krivinom. Efekat sprezanja zidova je mali a zidovi se ponašaju kao pojedinačni. U slučaju krutih veznih greda, koje imaju mali raspon naspram visine tj. mali odnos $a/d \leq 2$ deformacija se dominantno ostvaruje smicanjem. Krutost greda je velika i uz njihovo adekvatno armiranje (dijagonalnom armaturom) pozitivni efekti sprezanja udvojenih zidova dolazi do punog izražaja [15],[16]. Dijagonalna armatura duž ukupnog raspona značajno povećava duktibilnost i kapacitet rasipanja energije u odnosu na konvencionalno armirane vezne grede.



Slika 2. Relativna pomeranja tačaka oslonaca veznih greda, prema [17]

2. STEPEN SPREZANJA POVEZANIH ZIDOVA

Kod udvojenih AB zidova izdvajaju se tri tipična radna područja pri seizmičkom dejstvu. Tokom jakih zemljotresa poželjan redosled loma je postupan otkaz veznih greda, propagacija pukotina usled savijanja u kritičnoj oblasti zida i lom zida smicanjem. Ukoliko su vezne grede adekvatno armirane one postupno otkazuju uz velike plastične deformacije (od vrha prema nižim etažama) do trenutka kada zidovi počinju da se ponašaju kao donekle nezavisni tj. nepovezani. Usled popuštanja međusobne sprege dolazi do povećanja momenta savijanja u pojedinačnim zidovima i nastaju pukotine usled savijanja. Sa propagacijom prslina smanjuje se efektivna smičuća površina zida. Povećanjem širine pukotina i broja ciklusa alternativnog opterećenja postupno se gubi efekat vezivanja (interlock) agregata i ostaje efekat trna vertikalne armature. Ovo rezultira lomom AB zida smicanjem (sl. 3).



Slika 3. Poželjan redosled otkaza elemenata kod udvojenih zidova

Stepen sprezanja (degree of coupling-DoC) se definije kao odnos momenta sprega sila na mestu ulještenja u trenutku loma koji se prenesi zidovima i ukupnog momenta savijanja celog sistema udvojenih zidova. Stepen sprezanja se iskazuje u procentima. Stepen

sprezanja udvojenih zidova direktno zavisi od karakteristika veznih greda [17]. Zidovi se smatraju povezanim ukoliko je udeo sprezanja veći od 25% ukupnog momenta tj. $DoC \geq 0.25$. Prema drugom kriterijumu zidovi se smatraju spregnutim ukoliko je momenat uklještenja zida nakon sprezanja manji za 25% u odnosu na momenat razdvojenog (pojedinačnog) zida.

$$DoC = \frac{N \cdot L_{sist.}}{N \cdot L_{sist.} + M_1 + M_2} \quad (1)$$

Normalne sile u zidovima koje čine spreg su posledica smicanja u veznim gredama. Sile smicanja u gredama nisu konstantne već rastu sa visinom zgrade. Bitan parametar efekta sprezanja zidova je odnos maksimalne smičuće sile u kritičnoj veznoj gredi i srednje vrednosti sile smicanja u gredama (peak shear demand-PSD). Metodologija klasifikacije udvojenih zidova kao i parametarske studije njihovog ponašanja u zavisnosti od karakteristika veznih greda date su u radovima [4], [7] i [18].

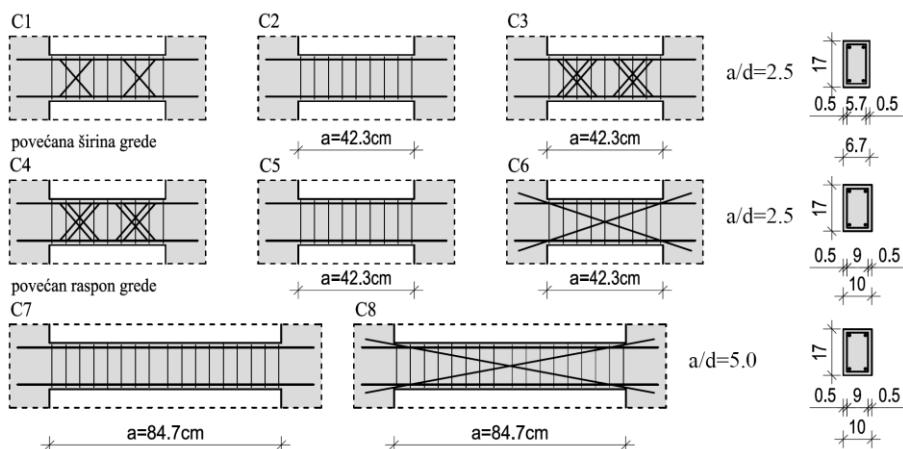
$$PSD = \frac{T_{vgr,max}}{T_{vgr,srednje}} \quad (2)$$

3. OBLIKOVANJE ARMATURE VEZNIH GREDA

Prva značajnija eksperimentalna istraživanja veznih greda realizovana su na Novom Zelandu [15], na klasično armiranim visokim gredama sa odnosom $a/d=0,9$ i naponom smicanja od $0.75\sqrt{f_c}$ do $1.16\sqrt{f_c}$ (MPa). Istaknuta je dominantna pojava smicanja veznih greda i neophodnost primene dijagonalne armature duž celog raspona. Primenom dijagonalne armature izmenjen je mehanizam prenosa opterećenja i značajno se povećava: kapacitet nosivosti, duktilnost i sposobnost disipiranja energije. Uslov duktilnog ponašanja dijagonalno armiranih veznih greda je poprečno utezanje dijagonala kako bi se izbegao lom izvijanjem armature pritisнуте dijagonale.

Istraživanjima [1] na gredama sa odnosom $a/d=3$ i naponom smicanja $0.5\sqrt{f_c}$ (MPa) zaključeno je da sposobnost greda za prijem opterećenja i disipaciju energije zavisi od razmaka uzengija i dijagonalne armature. Kombinacija ovakvog armiranja smanjuje pad krutosti i stabilizuje histerezisne petle pri daljem povećanju nivoa opterećenja. U SAD-u su realizovana obimna istraživanja zidova sa otvorima [2].

Varirani su: raspon, širina grede, način armiranja i količina armature veznih greda. Ispitivano je osam uzoraka armiranih na različite načine (klasično, dijagonalnom armaturom na krajevima i dijagonalnom armaturom duž čitavog raspona) pod alternativnim cikličnim opterećenjem (slika 4).

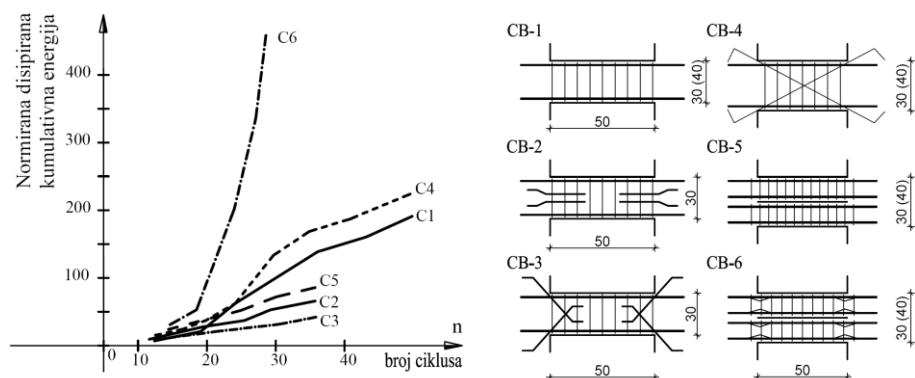


Slika 4. Uzorci ispitivani u laboratorijama "Skokie", Illinois, [2]

Na osnovu eksperimentalnih rezultata je zaključeno da je ponašanje dijagonalno armiranih greda povoljnije u odnosu na ostale vidove armiranja. Kod klasično armiranih greda bez koso armiranih krajeva (uzorci C1 i C5) nakon postizanja maksimalnog opterećenja došlo je do naglog pada nosivosti. Lom je nastao smicanjem na krajevima greda. Uzengije nisu mogle da spreče lom jer je smicanje nastajalo između uzengija. Kod dijagonalno armiranih uzoraka se nije javilo klizanje (kao kod klasično armiranih) i zabeležen je manji pad čvrstoće pri alternativnom opterećenju. Grede koso armirane na krajevima su i nakon dostizanja maksimalnog opterećenja postepeno gubile nosivost. Pri tome su svi uzorci pokazali tendenciju sužavanja histerezisnih petlji, tj. smanjenje kapaciteta disipacije energije. Dijagonalno armiranje krajeva greda (tzv. rombično armiranje zona plastičnih zglobova) (uzorci CB3 i CB4) može donekle sprečiti smicanje ali ne može značajnije poboljšati performanse. Zbog male apsorpcije energije i povećanja kompleksnosti armature i troškova izvođenja ovaj način armiranja nije šire primenjivan kod greda sa malim odnosom a/d . Generalno, zadovoljavajuće rezultate su pokazali uzorci C6 koji su se povoljnije ponašali od drugih. Dijagonalna armatura duž ukupnog raspona značajno je povećala duktilnost i žilavost greda sa manjim

odnosom a/d . Uticaj na poboljšanje histerezisnog odgovora grede sa odnosom $a/d=5$ je bio mali.

Paralelno sa istraživanjima u SAD-u vršena su istraživanja u Kini, N.Zelandu i Japanu. Na institutu Xi'an u Kini realizovan je niz eksperimentalnih ispitivanja kratkih veznih greda [22]. Varirani su: količina armature, načini armiranja (klasično, udvojeno po visini grede i dijagonalno), visina i raspon greda. Rezultati istraživanja su ukazali da duktilnost zidova bitno zavisi od duktilnosti veznih greda. Vertikalnom armaturom se ne može preduprediti krti lom smicanjem tj. njihovo angažovanje nije efikasno. Vertikalne uzengije povoljno utiču na oštećenja zategnute i pritisnute dijagonale, ali ne mogu da spreče lom klizanjem. Veći učinak poprečne armature se ostvaruje utezanjem dijagonalne armature nego utezanjem celokupnog preseka vezne grede. Vezne grede sa malim odnosom a/d i klasičnom armaturom ne utiču bitno na povećanje duktilnosti povezanih zidova. Upotreboom dijagonalnog armiranja veznih greda smanjuju se plastične deformacije udvojenih zidova. Mehanizam loma se menja, od krtog ka duktilno-plastičnom lomu. Kontrolisanim mehanizmom loma ostvaruje se povoljna hijerarhija plastičnih zglobova, poboljšava histerezisni odgovor, duktilnost i kapacitet disipacije energije.



Slika 5. Uzorci ispitivani u institutu Xi'an u Kini, [22]

Na ponašanje veznih greda utiču sledeći parametri: odnos a/d (parametar smicanja), nominalni smičući napon i izabrana vrsta armature za prijem savijanja i smicanja. Dosadašnja istraživanja veznih greda sa širokim opsegom parametra smicanja a/d su pokazala različita ponašanja i ostvarene mehanizme loma. Parametar a/d dominantno utiče na mehanizam loma. Ukoliko je odnos: $a/d \leq 1$ dominantna je deformacija smicanjem, $a/d > 3$ vezne grede se

deformišu fleksijom, za $1 < a/d \leq 3$ deformacija je mešovita. Ova podela nije striktna i kriterijumi oštećenja prema nekim autorima su: $a/d \leq 0.75$ oštećenja smicanjem, $0.75 < a/d \leq 1.75$ oštećenja smicanjem i savijanjem, $a/d > 1.75$ oštećenja usled savijanja. Kombinovano delovanje momenta savijanja i sila smicanja nepovoljno utiče na kapacitet rotacije veznih greda. Razvoj maksimalno moguće rotacije zavisi i od načina prijema sila smicanja (dijagonalnom podužnom ili poprečnom armaturom). Od odnosa a/d direktno zavisi nominalni smičući napon. Sa smanjenjem odnosa a/d raste smičući napon.

Smičući napon zavisi od količine podužne armature i njenog napona tečenja jer je sila smicanja u veznoj gredi izloženoj fleksiji direktna posledica kapaciteta savijanja. Eksperimentalnim istraži-vanjima klasično armiranih greda je pokazano da su naponi smicanja manji od $0.2\text{--}0.3\sqrt{f_c'}$ (MPa) uzrokuju simultani lom savijanjem i smicanjem.

Naponi smicanja od $0.3\text{--}0.5\sqrt{f_c'}$ (MPa) formiraju lom klizanjem uz značajan pad krutosti i ograničenu „sposobnost“ dissipacije energije. Vezne grede gube smičuću krutost već nakon prvih par ciklusa. Naponi smicanja veći od $0.5\sqrt{f_c'}$ (MPa) nepovoljno utiču na histerezisni odgovor veznih greda. Iz tog razloga je preporučljivo ograničenje kapaciteta nosivosti savijanjem, kako bi se postigao prihvatljiv nivo smičućih napona. Primenom alternativnih načina armiranja (dijagonalnom armaturom) može se poboljšati ponašanje pri lomu, a nominalni naponi smicanja povećati do $0.9\sqrt{f_c'}$ (MPa) [22].

Upotreba središnjih podužnih šipki kao smičuće armature (uzorak CB-2) ima ograničen uticaj na vrednosti napona smicanja do $0.25\sqrt{f_c'}$ (MPa). Pri većim naponima smicanja ovakav vid armiranja nema efekta. Upotreba dijagonalnih šipki na krajevima grede (uzorak CB-3) je iskazao povoljno ponašanje pri svim nivoima smičuće sile. Dijagonalna armatura duž ukupnog raspona (uzorak CB-4) omogućila je povoljno ponašanje. Histerezisne petlje su stabilne bez pada nosivosti sa naponima smicanja do $0.9\sqrt{f_c'}$ (MPa).

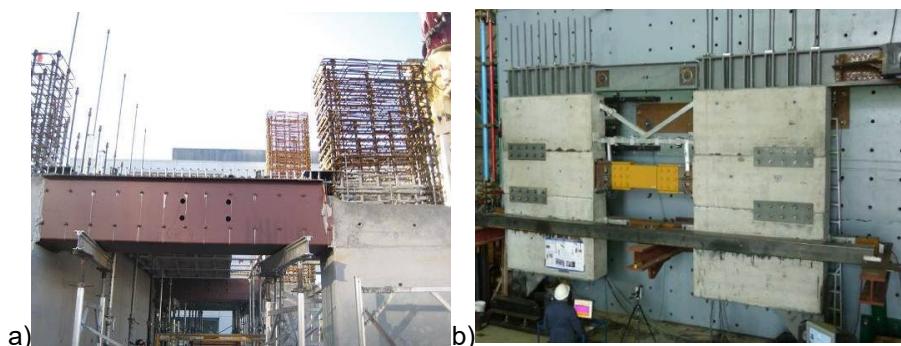
Dodatni pokušaj upotrebe rombične armature u sprečavanju smičućeg loma kod kratkih stubova i veznih greda izveli su i prikazali u [20]. Ispitali su dvadeset uzoraka sa odnosom $2 < a/d < 5$ pri monotonom i cikličnom opterećenju. Rezultati su pokazali zadovoljavajuće ponašanje rombično armiranih greda slično kao kod dijagonalnog armiranja.

Procena upotrebe alternativnih načina armiranja za sprečavanje smičućeg loma realizovana je u okviru eksperimentalnog programa deset uzoraka veznih greda sa odnosom $1 < a / d < 1.66$ u razmeri 1:2 [19]. Pored konvencionalnog, dijagonalnog i rombičnog armiranja ispitana je i moguća primena podužne armature distri-buirane po visini veznih greda. Poboljšanje smičuće nosivosti je bilo rezultat efekta trna armature postavljene duž ukupnog raspona ili samo u zoni oslonca. Ovim načinom armiranja se nije bitno doprinelo povećanju smičuće krutosti niti poboljšanju histerezisnog odgovora ispitanih uzoraka.

4. VEZNE GREDE VISOKIH PERFORMANSI

Poslednjih godina postoji tendencija istraživanja upotrebe hibridnih sistema i implementacije veznih greda visokih performansi. Istraživanja su usmerena ka eksperimentalnim ispitivnjima veznih greda od: čeličnih profila, pasivnih apsorbera, kompozitnih materijala, spregnutih greda beton-čelik, mikroarmiranog betona, i dr. Prednost čeličnih i kompozitnih veznih greda dolazi do izražaja u slučajevima ograničene visine i nemogućnosti upotrebe duboke AB grede ili gde zahtevana krutost i kapacitet nosivosti ne mogu biti ostvareni upotrebom konvencionalnih AB veznih greda.

Upotreba čeličnih veznih greda je podstaknuta velikom duktilnošću i disipacijom energije koja se lako može ostvariti. Mogućnost prefabrikacije, bolja kontrola kvaliteta i jednostavnija izrada su samo neki od razloga njihove upotrebe. Prva istraživanja upotrebe čeličnih veznih greda i prefabrikovanog načina ostvarenja veze čeličnih profila i AB realizovani su i analizirani u [5], [11] i [12]. Na McGill Univerzitetu u Montrealu su obavljena značajna istraživanja paralelnim ispitivanjima AB, čeličnih i spregnutih veznih greda [7], [9].



Slika 6. a) primer čelične vezne grede izvedene u praksi, b) test veznih greda sa pasivnim disipatorima u prirodnoj veličini [13]

Upotreba viskoelastičnih dampera na mestu veznih greda u visokim zgradama razvijanja je na Univerzitetu u Torontu. Poboljšanje performansi veznih zidova predloženo je u radovima [14] upotrebom montažno demontažnih viskoznih dampera Viscoelastic Coupling Damper (VCD) u sastavu veznih greda. Damperi su se sastojali iz više slojeva viskoelastičnog materijala postavljenog između čeličnih ploča. Istraživanja (zamenljivih) čeličnih smičućih "osigurača" izvršio je [6]. Za razliku od tipične aksijalne primene viskoelastičnih dampera u kojima relativna pomeranja nisu dovoljna za potpuno aktiviranje viskoelastičnosti materijala u veznim gredama VCD imaju značajnu smičuću deformaciju i dolaze do punog izražaja.

Istraživanja ponašanja prefabrikovanih veznih greda uz upotrebu mikroarmiranog betona visokih performansi (high-performance fiber reinforced concrete-HPFRC) predmet su radova [3], [10], [23], [24]. Cilj upotrebe mikroarmiranog betona je: smanjenje uzengija za utezanje glavne dijagonalne armature, povećanje žilavosti, očuvanje smičuće nosivosti betona pri većim nivoima deformacije smicanja, povećanje apsorpcije energije u veznim gredama, poboljšanje tolerancije na oštećenja kroz disperziju na veći broj manjih pukotina, smanjenje troškova sanacije i drugo.

5. ZAVRŠNE NAPOMENE

Primenom sprovedene sistematizacije geometrijskih karakteristika veznih greda može se efikasno razmotriti koji način oblikovanja armature je celishodno primeniti. Kod povezanih AB zidova globalna duktilnost direktno zavisi od duktilnosti veznih greda. Klasično armirane vezne grede (horizontalnom i vertikalnom armaturom) sa velikim odnosom a/d ne utiču značajno na povećanje globalne duktilnosti. Uzengije ne mogu uspešno da prihvate naprezanja usled smicanja.

Plastični zglobovi u veznim gredama pozitivno utiču na globalno ponašanje i ostvareni lom udvojenih AB zidova. Ponašanje veznih greda i ostvarenje različitih mehanizama loma dominantno zavisi od odnosa a/d . Smičući napon direktno zavisi od vrednosti a/d . Za manji odnos veći je smičući napon. Sa povećanjem podužne armature vezne grede raste i njen kapacitet za prijem momenta savijanja a time raste i smičući napon.

Na osnovu dosadašnjih eksperimentalnih istraživanja može se zaključiti da vezne grede zahtevaju veliku pažnju pri oblikovanju detalja armiranja. Ovo je naročito izraženo kod greda sa odnosom $a/d < 3$. Grede sa ovim geometriskim odnosom se armiraju dijagonalnom armaturom. Zategnute dijagonale u formiranom mehanizmu „rešetke“

prihvataju kompletну graničnu silu smicanja koju prenosi vezna greda. Primena dijagonalne armature duž cele grede omogućava njenu povoljno ponašanje bez suženja histerezisne petlje. Povoljno histerezisno ponašanje veznih greda nije ograničeno vrednošću napona smicanja. Dijagonalno armiranje je postalo dominantan vid armiranja veznih greda sa odnosom $a/d < 3$. Pokušaji da se ponašanje veznih greda poboljša primenom srednjih podužnih šipki kao i dijagonalnim šipkama pod 45° na krajevima greda nije dalo zadovoljavajuće rezultate.

6. LITERATURA

- [1] Atkan, E., Bertero, V.: *Seismic resistant design of RC coupled structural walls*, report No.UCB/PEER-81/07, 1981
- [2] Barney, B., Shiu, N., Rabbat, G., Fiorato, E., Russell, G., Corley, G.: *Earthquake Resistant Structural Walls - Tests of Coupling Beams*, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1978, 151.
- [3] Canbolat B. A., Parra-Montesinos J., G, Wight, K., J.: *Experimental Study on Seismic Behavior of High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composite Coupling Beams*, ACI Structural Journal/January-February 2005, pp. 159-166
- [4] Chaallal, O., Gauthier, D., Malenfant, P.: *Classification methodology for coupled shear walls*, ASCE J. Struct. Eng. 122(12):, 1996, pp. 1453–1458
- [5] Englekirk, E. R.: *Seismic design of reinforced and precast concrete buildings*, Inc. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 2003.
- [6] Fortney., P.J., Shahrooz, B.M., Rassati, G.A.: *Large-scale testing of a replaceable „fuse“ steel coupling beam*, Journal of Structural Engineering 133(12):, 2007, pp. 1801-1807
- [7] Harries, A, Moulton, D., Clemson, L.: *Parametric study of coupled wall behaviour – implications for the design of coupling beams*, ASCE J. Struct. Eng. 130(3):, 2004,pp. 480–488
- [8] Harries, A., Gong, B., Shahrooz, M.: *Behaviour and design of reinforced concrete, steel, and steel-concrete coupling beams*, Earthquake Spectra, 16 (4), 2000, pp. 775-799.
- [9] Harries, A.: *Seismic Design and Retrofit of Coupled Walls Using Structural Steel*, Ph.D. Thesis, McGill University, 1995, 229 pp.
- [10] Lequesne, D., R., *Behavior and Design of High - Performance Fiber -Reinforced Concrete Coupling Beams and Coupled-Wall Systems*, Ph.D thesis, The University of Michigan, 2011.
- [11] Malley, J.O., Popov, E.P., *Design Considerations for Shear Links in Eccentrically Braced Frames*, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley. Report No. UCB/EERC-83/24., 1983.

- [12] Marcakis, K., Mitchell, D.: *Precast concrete connections with embedded steel members*, PCI Journal. Vol 25, No. 4., 1980, pp. 88-116
- [13] Montgomery, M., Christopoulos, C.: *Experimental validation of viscoelastic coupling dampers for enhanced dynamic performance of high-rise buildings*, Journal of Structural Engineering, Vol. 141, 04014145:, 2015, pp.1-11.
- [14] Montgomery, M.: *Fork configuration dampers (FCDs) for enhanced dynamic performance of high-rise buildings* [Doctoral dissertation]. Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canada, 2011.
- [15] Paulay, T., Binney, J. R.: *Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls*, Shear in Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., vol. 2, no. 42, 1974, pp. 579-598.
- [16] Paulay, T., Santhakumar, A. R.: *Ductile Behavior of Coupled Shear Walls*, Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 102, 1976, pp. 93-108.
- [17] Smith, B.S., Coull, A., *Tall Building Structures*, John Wiley & Sons, New York., 1991.
- [18] Smith, S., Hoenderkamp J., Kuster, M.: *Generalized method for estimating the drift in high-rise structures*, ASCE J. Struct. Eng. 110(7);, 1984, 1549–1562
- [19] Tassios, T. P., Moretti, M., and Bezias A.: *On the Behavior and Ductility of Reinforced Concrete Coupling Beams of Shear Walls*, ACI Structural Journal, vol. 93, no. 6, 1996, pp. 711-720.
- [20] Tegos, A., Penelis, G.: *Seismic Resistance of Short Columns and Coupling Beams Reinforced with Inclined Bars*, ACI Structural Journal, 95(1), 1988, pp. 82-88.
- [21] Wallace, J.W.: *Modeling issues for tall reinforced concrete wall buildings*, The Structural Design of Tall and Special Buildings, vol. 16, 2007, pp. 615–632
- [22] Wang, C., Wang, Z.: *Controlled mechanism theory of earthquake resistant reinforced concrete elasto-plastic structures*, Proceeding of the 1st East Asian Conference of the structural eng. And construction., Bankok, Thailand, Vol.2, Pergamon, 1986, pp. 58-65
- [23] Yun, D., Kim, W., Jeon, E., Ji, K., Park, S.: *Seismic Performance of Shear Dominant Coupling Beams Using High-Performance Fiber-Reinforced Cement-Based Composites*, Conference Proceedings, 8th Pacific Conference on Earthquake Engineering, 2007, 9 pp.
- [24] Zhang, H., Zhang, R., and Huang, C.: *Experimental Study of Shear Resistance of Steel Fiber Reinforced High-Strength Concrete Coupling Beams*, Tumu Gongcheng Xuebao, 40 (11), 2007, pp. 15-22.

UDK : 624
550.348

ZNAČENJE TEORIJE POUZDANOSTI U NAUČNO – ISTRAŽIVAČKOM RADU U GRAĐEVINARSTVU

Slavko Zdravković¹
Biljana Mladenović²
Srđan Živković³
Nikola Janković⁴

Rezime

Može se postaviti pitanje „Zašto je teorija pouzdanosti uopšte potrebna građevinskim stručnjacima“. Ili šta je suština i bit građevinske delatnosti, kao i šta je svrha naučnog istraživanja u građevinarstvu. Pri svemu ovome treba imati u vidu da je graditeljska delatnost vezana uz izgradnju građevina, a da su one neprekidno izložene prirodnim nepogodama, od kojih je najopasnija dejstvo zemljotresa na objekat. Zemljotres je nemoguće predvideti prema mestu nastajanja, vremenu nastajanja i kakve će posledice iz toga proisteći jer smo suočeni sa mnogo nepouzdanim podacima, kao što je opterećenje, tlo na kome se fundira, materijal od koga se gradi i drugo, pa je onda jasno sa kakvom se pouzdanošću srećemo pri gradnji nekog objekta. Novi pristup primjenjuje način razmišljanja koji deterministički orientisane misli zamjenjuje probabilističkim. Na taj način treba obrazovati stručnjake-eksperte u graditeljstvu koji neće biti samo tumači iz normi, već će postati kreatori u postupku modeliranja i analize nosećeg sistema.

Ključne reči: gradjevinarstvo, pouzdanost, sigurnost, istraživanje, modeliranje

¹ Prof. dr Akademik Srpske Kraljevske asocijacije akademika, inovatora i naučnika SKAIN, Ekspert bivšeg Saveznog ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj u oblasti: 1221 građevinsko inženjerstvo, aseizmičko građevinarstvo, stabilnost mostova, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu ,ul. Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija

² dr Biljana Mladenović, doc. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu biljana.mladenovic@gaf.ni.ac.rs

³ dr Srđan Živković, doc. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu srdjan.zivkovic@gaf.ni.ac.rs

⁴ Nikola Janković, master inž. grad. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Da bi se uopšte moglo odrediti pravo mesto i značenje teorije pouzdanosti u naučno istraživačkom radu, trebalo bi najpre odgovoriti na sledeće pitanje: Zašto je teorija pouzdanosti uopšte potrebna građevinskim inženjerima? Kako to nije tako jednostavno objasniti u nekoliko rečenica, za celovit odgovor potrebno je prvo razjasniti sledeće:

- a) suštinu i bit **građevinske delatnosti**,
- b) svrhu **naučnog istraživanja** u građevinarstvu.

Građevinska delatnost vezana je uz izgradnju građevina. No, ono što mnogi sagledavaju pod pojmom *izgradnje* nije dovoljno sveobuhvatno, budući ovaj pojam uključuje sve faze od „poslova“ projektovanja, preko izrade i montaže konstrukcija, kontrola do svih ostalih aktivnosti koje vode potpunom dovršenju neke građevine. Unutar celokupne građevinske delatnosti ističe se jedan deo, koji se naziva *konstruktorskom delatnošću*, a koja se između ostalog bavi i analizom pouzdanosti konstrukcija. Pod pojmom *konstrukcije* podrazumeva se onaj deo građevine, koji je odgovoran za preuzimanje različitih delovanja, kojima je izložena.

Ukoliko se razmotre temeljni postulati građenja, može se uočiti da **širu zajednicu** posebno zanima aspekt pouzdanosti, budući je zainteresovana da svaka izgrađena konstrukcija ne ugrožava živote i zdravlje ljudi te da neće izazvati štete niti samoj zajednici niti tzv. trećim osobama. S druge strane, treba takođe reći da su **funkcionalnost i ekonomičnost** takođe faktori neposrednog interesa - funkcionalnost za korisnika građevine a ekonomičnost za vlasnika. Zato zajednica putem tehničkih propisa i normi za konstrukcije osigurava bitna svojstva građevine, između kojih je i bitno svojstvo pouzdanosti (ponekad se u praksi koristi pojam *mehanička otpornost i stabilnost*). U krajnjoj liniji, građevina može biti i neekonomična i relativno loše funkcionalno osmišljena, no zajednica će odmah intervenisati i pri najmanjoj sumnji da je ugrožena njena pouzdanost.

Pristup realizaciji nosivog dela građevine, koji se naziva *konstrukcija*, mora biti takav da pouzdanost ostaje „*conditio sine qua non*“. Sa druge strane, funkcionalnost, ekonomičnost i estetika poveravaju se iskusnim i stručnim inženjerima. Dakle, može se zaključiti da je suština građevinske delatnosti izgradnja građevina koje će biti, između ostalog, kao najvažnije *dovoljno pouzdane*.

2. SVRHA NAUČNOG ISTRAŽIVANJA U GRAĐEVINARSTVU

Naučno istraživanje u području građevinarstva može naći svoj sadržaj samo u istraživanju i pronalaženju načina izgradnje pouzdanijih, ekonomičnijih i funkcionalnijih građevina.

Danas se često može čuti da je gradjevinarstvo **kreativna delatnost**. Kreirati, znači nešto stvoriti, tj. iz nečega učiniti nešto, kako to kaže latinska poslovica: „*Ex nihilo aliquid facere*“. Ako se pojmu kreativnost oduzme njegovo istinsko teološko značenje, tada se taj pojam može definisati kao **iznalaženje novih rešenja**. Očito je da se prema ovoj novoj definiciji ne može smatrati kreacijom konstrukcija, koja je izgrađena prema kodificiranim i uhodanim postupcima i pravilima, bez obzira koliko se takva rešenja u postupku izgradnje mogu oceniti uspešnima.

Naučno-istraživački rad se odnosi na područje **građevinsko tehničkih saznanja**, koja nisu u celosti zaokružena kao tehničko rešenje odnosno nisu kodificirana u vidu tehničkih propisa. Kod primene takvih tehničkih saznanja ostaju nedorečenosti, neistraženosti pa i sumnje u dobijeno rešenje. Primenom kodificiranih pravila, obrađenih uputstava i uhodanih postupaka dobijaju se „prihvatljiva“ rešenja u građenju, a da se uopšte ne mora poznavati bit problematike. No, takva rešenja ne mogu dati ništa novo što bi vodilo napretku i prosperitetu građevinarstva odnosno konstrukterske delatnosti. Samo duboko i široko poznavanje određenog područja novih saznanja u konstrukterskoj delatnosti omogućuje pronalaženje novih rešenja. Posebno je važno poznavanje područja problematike po-uzdanosti konstrukcija.

Na primeru prikaza dokaza pouzdanosti, koji su svim konstrukterima vrlo bliski, ilustrativno će se pokazati mesto i značaj primene teorije pouzdanosti. Međutim, ukoliko se govori o postupku s dopuštenim naponima, koristi će se izraz **sigurnost** umesto pouzdanosti radi lakšeg snalaženja. Tako se dokaz pouzdanosti (sigurnosti) u postupku prema **dopuštenim naponima** temelji na sledećem izrazu:

$$\max \sigma \leq \sigma_{\text{dop}} \quad (1)$$

gde je:

$\max \sigma$ – najveći napon usled spoljašnjeg delovanja,

σ_{dop} – dopuštena granična vrednost napona.

Izraz (1) može se interpretirati na način da se smatra kako je element siguran, ako je svakom poprečnom preseku, kao i na celom elementu, zadovoljen uslov da je računski iskazan napon usled spoljašnjeg delovanja max σ manji ili jednak nekoj propisima utvrđenoj vrednosti σ_{dop} . Ta se vrednost naziva dopušteni napon, a dobijena je iz tehničke teorije napona:

$$\max \sigma = \frac{E}{A} \quad (2)$$

gde je:

- $\max \sigma$ – najveći napon usled spoljašnjeg delovanja,
- E – veličina unutrašnjih sila i momenata (funkcija naprezanja elementa),
- A – geometrijska karakteristika elementa (funkcija zakonitosti otpornosti elementa).

Vrednost σ_{dop} dobija se iz kritičnog napona σ_{krit} kod kojega se smatra da dolazi do otkazivanja tj.:

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{\sigma_{\text{krit}}}{\gamma} \quad (3)$$

gde je:

- σ_{dop} – dopuštena granična vrednost napona određena propisima,
- σ_{krit} – kritična vrednost napona (funkcija vezana uz otkazivanje),
- γ – globalni koeficijent sigurnosti (funkcija nepouzdanosti delovanja i otpornosti).

Prema tome, uvođenjem izraza (2) i (3) u izraz (1) dobija se format dokaza sigurnosti prema starom postupku:

$$\frac{E}{A} \leq \frac{\sigma_{\text{krit}}}{\gamma} \text{ odnosno } \gamma \cdot E \leq \sigma_{\text{krit}} \cdot A.$$

Definiciju sigurnosti konstrukcija dimenzionisanih prema starim propisima i normama, a koja glasi: „Konstrukcije dimenzionisane na temelju proračuna sa usvojenim veličinama koeficijenata sigurnosti γ pokazale su se dosta sigurnima.“

Očito je da ovakav pristup problemu pouzdanosti, koja je iskazana s izrazom *sigurnost*, nema naučnu podlogu, te se može reći i da je upravo to najslabija karika u lancu dokaza pouzdanosti. Naime stepen pouzdanosti konstrukcija na takav način ostaje potpuno kvantitativno nedefinisan. Ta nedefinisanost ima jedan možda još značajniji nedostatak koja se ogleda u vrlo velikoj neujednačenosti stepena pouzdanosti čak i kod konstrukcija iste namene, izrađene od istog materijala te između konstrukcijskih elemenata iste konstrukcije. Slikovito bi se ovaj problem mogao prikazati s jednim lancem kojem svaka karika ima drugačiju nosivost lanca se povećava tako da se za isti postotak poveća nosivost svake karike, bez obzira kolika je pojedinačno njihova čvrstoća.

Prema tome, ovakav pristup utvrđivanja pouzdanosti ne samo da nije naučni, nego i rezultuje neekonomičnošću izgrađenih konstrukcija. Izrada novih generacija propisa i normi utemljena je danas na naučnim istraživanjima, što rezultuje konstrukcijama ujednačenog stepena pouzdanosti bez obzira na namenu konstrukcije, materijal od kojih je izrađena i slično.

Da bi bilo koji naučno-istraživački rad bio opravдан i očekivano uspešan, potrebno je najpre definisati uočeni problem, odrediti metode naučno-istraživačkog rada i postaviti ciljeve tog rada s očekivanim rezultatima. Ukratko bi se moglo reći da bi pre započinjanja bilo kakvih opsežnih istraživanja trebalo dati objašnjenje prema sledećim smernicama:

- a) Stanje područja
- b) Cilj istraživanja
- c) Metoda istraživanja
- d) Sadržaj istraživanja
- e) Očekivani rezultati
- f) Značenje istraživanja

3. INŽENJERSKA PRAKSA

Iako mnogi na prvi pogled ne vide uticaj, a pogotovo široko značenje, teorije pouzdanosti u svakodnevnoj inženjerskoj praksi, ona je itekako prisutna. Već kroz primenu propisanih veličina parcijalnih faktora pouzdanosti, držeći se dopuštenih odstupanja kod izvođenja konstrukcija, kontrolom kvaliteta ugrađenih materijala u pogledu njihovih mehaničkih karakteristika itd. inženjeri često nesvesno koriste sve ono što je rezultat dugogodišnjeg naučno-istraživačkog rada u području pouzdanosti konstrukcija.

Međutim, javiće se i mnogi drugi problemi, gde će doći do izražaja interakcija inženjerske prakse i teorije pouzdanosti konstrukcija. Npr. problem optimizacije konstrukcija u pogledu pouzdanosti neće imati smisleno rešenje dok se ne razreši problem utvrđivanja kvantitativnog stepena pouzdanosti.

3.1 Sigurnost

Sigurnost je jedan od temeljnih postulata življenja. Čovek ne može biti sretan, ako se u svojoj kući ne oseća sigurnim.

Međutim u svemu tome postoji i problem. Sigurnost se ne može jednoznačno definisati. Tim se pojmom ne može obuhvatiti sve ono što ponekad pod tim pojmom smatramo. Dovoljno je samo spomenuti da se pojam sigurnosti koristi u različitim situacijama i različitim područjima. Tako se, na primer, sigurnost može zahtevati obzirom na:

- područje primene (građevinarstvo, mašinstvo, elektrotehnika itd.),
- principe u logici (induktivno, deduktivno, retrospektivno),
- stepen oštećenja sistema (*fail safe* i *non fail safe* pristup),
- vreme korišćenja sistema (privremeni sistem ili oni stalnog kataloga),
- postojeće sisteme ili planirane.

Interesantno je pogledati kako se na primer norma SIA 160 (1989. god.) definiše sigurnost:

Sigurnost obzirom na neku opasnost postoji tada, ako se ta opasnost pomoću odgovarajućih zahvata drži pod kontrolom ili ako se ograniči na prihvatljivo malu meru. Apsolutna sigurnost ne može se postići.

Pojam sigurnosti u SIA normama odnosi se u prvom redu na sigurnost osoba obzirom na posledice otkazivanja nosive konstrukcije.

3.2 Pouzdanost

Pouzdanost je svojstvo jednog događaja da zadovolji definisanu funkciju sa zadanom verovatnoćom pod unapred danim uslovima za vreme utvrđenog vremenskog razmaka. U domenu građevinarstva može se napisati da je:

DOGAĐAJ → KONSTRUKCIJA

DEFINISANA FUNKCIJA → SIGURNOST

UNAPRED DATI USLOVI → FUNKCIONALNOST

UTVRĐENI VREMENSKI RAZMAK → TRAJNOST

Prema tome, pouzdanost konstrukcije uključuje pojmove **sigurnost, funkcionalnost i trajnost**.

Ukoliko se sa P_f označi verovatnost otkazivanja konstrukcije, onda se pouzdanost može definisati kao komplement of P_f .

$Z = 1 - P_f$ ta operativna vrednost naziva se indeks pouzdanosti β .

Nasuprot sigurnosti, pojam pouzdanosti je merljiv tako da se može kvantifikovati.

3.3 Rizik

Rizik u opštem smislu predstavlja mogućnost da dođe do neke štete. Ta šteta može biti oštećenje konstrukcija, povređivanje ljudi... Može se reći da pojam rizika mera za **veličinu neke opasnosti**. Zato se rizik uvek pokušava kvantifikovati. Za određivanje rizika R potrebno je:

- **verovatnost** nastupanja nekog događaja A koja se označava sa $P(A)$ (vrednost između 1 i 0),
- **uslovno očekivanje** veličine oštećenja D pod uslovom da je nastupio događaj A . To se označava sa $E(D/A)$.

Rizici se trebaju od slučaja do slučaja bliže definisati. Zadatak teorije sigurnosti je da ih uvek objasni na način koji je primeren određenoj nastaloj situaciji. Tako se, na primer, govori o rizicima:

- prihvatljivi, dobrovoljni, prisilni,
- preostali,
- pojedinačni ili kolektivni,
- objektivni ili subjektivni.

Sa svim ovim dilemama potrebno je tražiti objašnjenja u teoriji sigurnosti konstrukcija.

3.4 Postupak optimiziranja

Dokaz pouzdanosti konstrukcije provodi se uzimajući u obzir ekonomski parametre kao i eventualne troškove mogućeg otkazivanja. Strategija problema optimizacije može biti vrlo različita. Ponekad

se zahteva da zbog svih troškova, uključujući i cenu otkazivanja, bude minimalna. S druge strane, moguće je maksimizirati korišćenje konstrukcije obzirom na opstanak objekta. Prema tome, podloga za odluku utvrđivanja optimalne pouzdanosti zavisi od izbora funkcije cilja.

Pouzdanost i sigurnost potpuno su različiti pojmovi, iako toga ponekad nismo svesni. Tradicionalno se u građevini govorilo o sigurnosti konstrukcija, koja se sada zamenjuje izrazom pouzdanost konstrukcija.

Sigurnost se ne može kvantifikovati, dok naprotiv pouzdanost ima svoju brojčanu vrednost i uglavnom veže uz čoveka, a pouzdanost uz konstrukciju. Uvođenjem pojma rizika objedinjuje se pojam sigurnosti i pouzdanosti, jer postoji rizik ugrožavanja života čoveka, a s druge strane govor se o riziku gubitka nivoa pouzdanosti konstrukcije. Upoređuje se sigurnost života čoveka sa pouzdanosti konstrukcije. Osnovna delatnost građevinskih inženjera veže se uz određivanje pouzdanosti konstrukcija. Probleme na koje su nailazili začetnici probabilističke teorije najbolje se mogu opisati u misli koju je izrekao A.M. Freudenthal: *Ukoliko sada govorim o probabilističkoj teoriji pouzdanosti, ljudi će govoriti da Freudenthal priča teoriju koja nije prihvatljiva i nije korisna. Nakon sledećih deset godina ljudi će govoriti da je teorija doduše tačna ali nije korisna. Kada će tu teoriju tumačiti još deset godina kasnije, ljudi će govoriti pa što to Freudenthal priča, to ionako već svaki inženjer zna*". I dogodilo se ono što je Freudenthal predvideo.

Danas je jasno da jedino probabilistički pristup realno odražava stvamo stanje u pogledu sigurnosti konstrukcija. Deterministički pristup zapravo nije imao naučno-tehničku podlogu, imao je samo pravno značenje. U slučaju rušenja konstrukcije postojala je mogućnost utvrđivanja pravne kategorije uzroka havarije. Pravni postupak dokaza krivice može se pokrenuti samo kroz nepridržavanja tehničkih propisa.

Pouzdanost građevina ne odnosi se samo na buduće još ne-izgrađene konstrukcije, nego se posebna pažnja mora posvetiti i postojećim građevinama. Zato se i kaže da su graditelji *custodes temporis acti i creatores temporis futuri*. Što znači oni se brinu o pouzdanosti građevina izgrađenih u prošlosti ali i o pouzdanosti građevina koje se kreiraju za budućnost.

U traženju odgovora na pitanje, zašto je potrebno izučavati metode inženjerstva pouzdanosti, možemo se s pravom upitati: „Da li su inženjeri konstruktori kreatori kod modeliranja i analiza konstrukcija ili su samo interpretatori normi?“ U mnogo slučajeva **norme** ne daju

odgovor na mnoga pitanja i probleme koji se javljaju u svakodnevnoj **praksi**. Zato inženjer mora ponekad sam doneti odluku o rešenju nekog problema, all naravno poštujući 'rules of the game'. Jedan od uzroka **manjka** kreativnosti je i edukacija studenata, koji se ne **usme ravaju na razmišljanje**. Drugi uzrok je svakako činjenica da savremene norme, uključujući i Eurocode, koriste metode statistike i verovatnoće, ali pri tome nije uzet u obzir razvoj **informatičke tehnologije**. Aktivnosti inženjera, čak ako koriste savremene norme, ograničavaju se na primenu kompjuterskih programa. Za njih su obično izlazne liste rezultati dobijeni iz 'black box-a'. Na kraju se može objasniti početna misao o tome zašto je teorija pouzdanosti bila pre-čutno zanemarena ill marginalizovana. U prvom redu smatralo se da je deterministički globalni koeficijent pouzdanosti sam po sebi toliko razumljiv da ne treba od toga stvarati visoku nauku. Uvažavao se pojам **skrivene pouzdanosti** jer se smatralo da su stvama delovanja manja od onih koji se usvajaju u dokazu pouzdanosti, a stvarna čvrstoća materijala veća je od one uzete u proračunu.

4. ZAKLJUČAK

Iz svega navedenog sledi da inženjerska profesija zahteva **novi pristup** ukoliko biti učinkovit servis društvenoj zajednici. Pri tome važnu ulogu ima promena načina razmišljana koji deterministički orientisane misli zamenjuje s probabiličkim. Studente treba pripremiti, ali isto tako i inženjere u praksi, na realne probleme koji proviđaju iz svakodnevne prakse. Na taj će način obrazovati stručnjake-eksperte u građevini, koji neće biti samo tumači formula iz normi, već de postati **kreatori u postupku modeliranja** i analiza nosivih sistema.

Sadašnje obrazovanje inženjera u suštini je **determinističko** i ne obraća pažnju na svojstva 'promenjivosti' (engl. variability). Osnovni parametri u građevini nikad nisu apsolutni odnosno nemaju deterministički karakter. Oni su podložni **promenjivostima** koje proizlaze iz različitih izvora. Pri tome neki parametri pokazuju veliku zavisnost o vremenu.

Može se rezimirati da je delatnost inženjera-graditelja podeljena na:

- stručni rad (primena normi),
- naučno-istraživački rad (primena naučnih metoda).

Naše okruženje ne možemo u potpunosti osloboditi od opasnosti kojima smo svakodnevno izloženi. Tako na primer izgradnja građevinskih objekata predstavlja veliki objektivni potencijal mogućih opasnosti. Čovek-graditelj često pogreši, što slobodno možemo reći, jer je ograničeno njegovo znanje i sposobnost da nešto besprekorno izvrši, kao i kapacitet njegovog učenja i mogućnost njegove spoznaje. Nema graditelja koji pri radu ne pogreši, pa pogreši čak i onda kada misli da je projektovao i sagradio posve pouzdanu konstrukciju, misleći pri tome kako je preduzeo sve da se otklone sve moguće opasnosti i rizici koji se tokom izgradnje i korišćenja mogu javiti.

U početku razvoja inženjerstva pouzdanosti konstrukcija smatralo se da rizik korišćenja konstrukcije treba biti otprilike istog nivoa kao što su rizici kojima smo izloženi u svakodnevnim životnim situacijama, kada se na primer vozimo autom, letimo avionom, putujemo vozom itd. Kasnije se uvidelo da treba razlikovati takve životne rizike koje pojedinac dobrovoljno prihvata, od rizika korišćenja konstrukcije na koji pojedinac ne može uticati. To je dovelo do filozofije pouzdanosti, da su rizici korišćenja konstrukcije u opšem slučaju niži od onih životnih koji se na neki način prihvataju dobrovoljno.

Društvo očekuje da građevine predstavljaju pouzdan *refugium* za ljudе koji u njima borave ili se nalaze u njihovoj blizini. Zato ljudi smatraju da su otkazivanja ekstremno retka, pa se u građevinama osećaju sigurno. Osećaj sigurnosti čoveka je jedan od temeljnih aspekata življenja, kao što je pouzdanost konstrukcije uslov bez kojeg se ne može u postupku građenja. Međutim, realnost je nešto drugačija. Mogućnost otkazivanja se nikada ne može potpuno isključiti. Iako je inženjerstvo postiglo zavidnu i visoki tehničku nivo, retko se može predvideti hoće li se otkazivanje dogoditi ili ne, kao i vreme kada će ono nastupiti. Zato se može reći da je pouzdanost jedan aspekt neizvesnosti u inženjerstvu. Pouzdanost se može takođe kvantifikovati kao broj otkazivanja tokom nekog razdoblja. Trajnost je jedan od aspekata pouzdanosti koji se tiče sposobnosti konstrukcije da se odupre učincima od vremenski zavisnih mehanizama, kao što su npr. umaranje materijala i konstrukcija, korozija, pojava i širenje pukotina itd. Uobičajeno je da se onda trajnost izražava kao najmanje vreme pre nego što se dogodi otkazivanje zbog „istrošenosti“ konstrukcije ili nekog njenog elementa, pa inženjeri rade sa puno većim stepenom neizvesnosti od drugih. Potrebno je uvesti jedan novi pojam, a to je pojam rizika. Rizik se može uopšteno definisati kao mera za veličinu opasnosti. Moderno inženjerstvo treba koristiti metode inženjerstva pouzdanosti. Osnovni parametri i proizvodi u inženjerstvu, a posebno u građevini, nikad nisu apsolutni ili bolje rečeno nemaju deterministički

karakter. Oni su podložni promenljivosti usled promena koje proizilaze iz različitih izvora. Pri tome, neki parametri pokazuju veliku zavisnost od vremena. Razumevanje zakonitosti „slučaja“, te uzroka i učinka promenljivosti, nužno je za stvaranje pouzdnih proizvoda i za rešavanje problema nepouzdanosti.

Acknowledgement:

This research is conducted at The Faculty of Civil Engineering and Architecture of University of Niš in the framework of the project in the field of technological development in the period 2011-2017, and titled „Experimental and theoretical investigation of frames and plates with semi-rigid connections from the view of the second order theory and stability analysis“ (TR 36016), financed by the Ministry of Education, Science and Technological development of the Republic of Serbia,

5. LITERATURA

- [1] Milčić, Vuk; Peroš Bernardin.: Uvod u teoriju sigurnosti nosivih konstrukcija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2003.
- [2] Andrić,B;Dujmović,D;Džeba.: Inženjerstvo pouzdanosti 1, Edukacija-praksa-nauka, Udžbenici siveučilišta u Zagrebu, „I.A. PROJEKTIRANJE“ Zagreb,2006.
- [3] Zdravković. S., Tončev. N., Igić, T., Mijalković,M.: The essence of philosophy of aseismic designing, 14th International Scientific Conference, „ VSU“ 2014, Sofia, Bulgaria, University of Structural engineering and architecture, ISSN 1314-071X, Vol.II, pp.322-326.
- [4] Pavićević,B.: Aseizmičko projektovanje i upravljanje zemljotresnim rizikom, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, 2000.
- [5] Šešić,B.: Naučne otkriće i naučno predviđanje, Prirodne nauke danas, Univerzitet u Nišu, Proredili: M.A, D.D.,K.S.H.,Niš, 1998, str. 288-292.

UDK : 712.25(497.11)
728.2(497.11)

PARTICIPACIJA STANARA U REVITALIZACIJI SLOBODNIH PROSTORA U KOMPLEKSIMA SA VIŠESPRATNIM STANOVANJEM NA PRIMERU GRADA NIŠA

Ivana Bogdanović Protić¹

Petar Mitković²

Milena Dinić Branković³

Jelena Đekić⁴

Mihailo Mitković⁵

Rezime

Slobodni prostori u kompleksima sa višespratnim stanovanjem često se mogu okarakterisati kao zapostavljeni prostori u kojima su narušeni osnovni indikatori kvaliteta života. U aktuelnim uslovima, u evropskim zemljama postoje raznovrsni modaliteti revitalizacije slobodnih prostora, a jedan od ključnih instrumenata jeste participacija stanara. Aktivnosti i modaliteti participacije mogu varirati, a ukazuju na značajan doprinos u postizanju kvalitetnih i efikasnih projekata. U ovom radu analiziran je primer participacije stanara u revitalizaciji jednog slobodnog prostora u Nišu. U radu se naglašavaju benefiti primene participacije stanara u ovom projektu, pre svega u kontekstu postizanja održivih rešenja u skladu sa potrebama stanara i ukazuje se na značaj podsticanja realizacije sličnih prorekata na nivou grada

Ključne reči: revitalizacija, slobodni prostori, kompleksi sa višespratnim stanovanjem, participacija stanara

¹ Ivana Bogdanović Protić, dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

² Petar Mitković, dr, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

³ Milena Dinić Branković, dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

⁴ Jelena Đekić, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

⁵ Mihailo Mitković, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

1. UVOD

Stvaranje prijatnog stambenog okruženja, koje može da zadovolji promenljive zahteve i želje stanara u dugoročnoj perspektivi, koje obezbeđuje adekvatne higijenske uslove i udobnost boravka, predstavlja jedan od najvećih izazova urabaničke prakse i istovremeno složeni i društveno značajni problem. To se posebno odnosi na stanovanje u kompleksima sa višespratnim stanovanjem, u kojima slobodni prostori neretko dobijaju negativne atribute, naročito u našoj zemlji.

Raznovrsni aktuelni procesi i promene u društvenom, političkom, ekološkom, kulturološkom domenu donose sa sobom i transformacije u domenu radnog i slobodnog vremena. Svakodnevne pojave novih tehnologija, koje se reflektuju nizom negativnih uticaja na sistem društvenih vrednosti i kvalitet života ljudi manifestuju se i u sferi kompleksa sa višespratnim stanovanjem, kako na stanje fizičkih struktura, tako i na stanje pripadajućih slobodnih prostora, koji čine važne prostorne i utilitarne elemente svakodnevnog života ljudi. U savremenim uslovima urbanog razvoja i promena u društveno-ekonomskoj sferi, dolazi i do promena potreba stanara. To, uz pomenute negativne tendencije, u prvi plan stavlja potrebu za prilagođavanjem slobodnih prostora kompleksa sa višespratnim stanovanjem novim zahtevima korisnika. U praksi razvijenih zemalja prisutan je trend reafirmacije slobodnih prostora i redefinisanja njihove uloge, kao značajnih pokazatelja kvaliteta života građana. Jedan od instrumenata za unapređenje slobodnih prostora, jeste participacija stanara, što predstavlja i okvir istraživanja ovog rada.

Participacija stanara, kao pravo na učešće u odlučivanju u upravljanju stambenom zajednicom, pripada grupi političkih ljudskih prava [2]. Brojna istraživanja pokazuju da participacija stanara doprinosi povećanju osećaja zajedništva, odgovornosti na individualnom nivou, smanjenju otuđenja i anonimnosti i poboljšavanju veština i znanja stanara [3]. Uvažavanje mišljenja stanara u pogledu sadržaja i urbanog dizajna slobodnih prostora podstiče odgovornost stanara nad tim prostorom i oni postaju motivisani da preduzmu aktivnosti koje mogu sprečiti dalju devastaciju. Modaliteti participacije stanara su raznovrsni, mogu biti direktni i indirektni. Neki od ključnih benefita su: ravoj osećaja ponosa stanara, povećanje osećaja zajedništva i bezbednosti, podsticanje teritorijalnosti i samoizražavanja, unapređenje mentalnog i fizičkog zdravlja i podsticanje dobrosusedskih odnosa. Participacija stanara u zajedničkim aktivnostima naročito je važna u kompleksima sa višespratnim stanovanjem u kontekstu podsticanja identifikacije i pripadnosti

stanara stambenoj sredini, a što se manifestuje se kroz osećaj prijatnosti boravka stanara na slobodnim prostoru i većoj frekvenciji boravka [4].

Za razliku od razvijenih zemalja, participacija stanara je u našoj zemlji znatno manje zastupljena, a u mnogim slučajevima i potpuno izostaje. U ovom radu analizira se primer participacije stanara u realizaciji projekta "Zelena oaza" u Nišu, koji je jedini sveobuvatni primer revitalizacije slobodnih prostora u okviru kompleksa sa višespratnim stanovanjem na nivou grada. Cilj rada je ukazivanje na uspešnost ovog projekta i izvođenje okvirnih preporuka, koje mogu poslužiti kao osnova za po-kretanje sličnih projekata revitalizacije slobodnih prostora u Nišu.

2. REVITALIZACIJA SLOBODNOG PROSTORA UZ KEJ REKE NIŠAVE- PROJEKAT "ZELENA OAZA"

2.1 Opis lokacije i uvid u probleme

Park "Zelena oaza" nalazi se uz kej reke Nišave, u naselju Krive Livade, u Gradskoj opštini Medijana. Neposredno uz ovo područje nalazi se više lamela sa višeporodičnim stanovanjem. Zgrade su građene u slobodnom sistemu izgradnje, u različitim vremenskim periodima - od 1970-ih do 1980-ih godina. Spratnost zgrada je od od P+5 do P+9, a nekoliko je nadograđeno.

Prostor na kojem je danas park "Zelena oaza" godinama je bio zapušten, bez upotrebe vrednosti i sadržaja. Usled gomilanja građevinskog otpada, tokom i posle izgradnje pešačkog mosta na Nišavi u blizini, higijenski nivo prostora je bio dodatno narušen. Osim toga, prostor se koristio i za parkiranje velikog broja vozila. Degradacija se odvijala postepeno godinama, a kulminirala je 2005. godine [1]. To je doprinelo da ovaj prostor, uprkos velikim potencijala u smislu veličine i orientacije prema reci, postane devastirano područje bez upotrebe vrednosti, što se naročito nepovoljno odražavalо na kvalitet života stanara okolnih stambenih zgrada.

Osim neadekvatnog održavanja, usled smanjenja budžeta za održavanje javnih zelenih gradskih površina, kao i različitih oblika antisocijalnog ponašanja, ovaj prostor je postao nepovoljno područje sa sledećim problemima: 1. prostor je postao mini deponija stanara i prolaznika (slika 1); 2. postao je nebezbedan za omladinu i decu koja su ovde provodila slobodno vreme; 3. narušena je ekološka vrednost prostora pored reke, kao i stambenih blokova oslonjenih na ovaj potez; 4. narušena je osnovna funkcija ovog poteza-zaštitno zelenilo [5]. Navedeni problemi ugrožavali su prvenstveno stanare zgrada u

neposrednom okruženju, kao i prolaznike koji su preko novoizgrađenog pešačkog mosta dolazili u ovaj deo grada.



Slika 1: Prikaz prostora pre revitalizacije Izvor: [1], [5]

2.2 Projekat revitalizacije – participativni pristup

Unapređenje ovog devastiranog prostora je primer participativnog pristupa u revitalizaciji slobodnog prostora u Nišu, gde se mogu prepoznati raznovrsni vidovi uključivanja stanara. Ovaj projekat je reprezent uspešne saradnje između stanara i lokalnih vlasti i inicijative stanara da unaprede svoje stambeno okruženje. Gradskoj opštini Medijana obratilo se zajedničkim zahtevom 13 skupština stanara. Inicijativa je pokrenuta od strane stanara i rukovodstva opštine i opštinske administracije. Prve aktivne mere, kao odgovor na inicijativu stanara, preduzela je opštinska administracija, u smislu preuzimanja odgovornosti za koordinaciju, organizaciju i izvršenju aktivnosti.

Osnovni elementi projekta revitalizacije ovog prostora Sistematisovani su u tabeli 1. Glavni strateški ciljevi projekta su bili: unapređenje urbanog standarda i kvaliteta svakodnevnog života stanara okolnih zgrada, uz omogućavanje aktivnog odmora u ekološki zdravoj sredini, optimalno sa aspekta ekonomičnosti i efikasnosti, uz učešće građana, radi efikasnijeg obezbeđivanja održivosti projekta.

Tabela 37: Projekat "Zelena oaza"

Ključni akteri i partneri	<ul style="list-style-type: none"> • građani-stanari stambenih zgrada u neposrednom okruženju • Gradska opština Medijana • COOPI - italijanska nevladina organizacija • JKP Medijana • 211. oklopna brigada
Finansiranje	<ul style="list-style-type: none"> • COOPI - italijanska nevladina organizacija – 3000000din • budžet Gradske opštine Medijana - 670000 dinara • vojna jedinica - 100000 dinara - u radu • građani - 150000 dinara - u radu
Socijalne mere	<ul style="list-style-type: none"> • unapređenje bezbednosti područja • unapređenje dobrosusedskih odnosa • uključivanje stanara u revitalizaciju neposrednog okruženja
Fizičke mere	<ul style="list-style-type: none"> • ozelenjavanje • uređenje prilaznih puteva i parking prostora • postavljanje prepreka za sprečavanje narušavanja novouređenih površina • postaljavanje urbanog mobilijara
Nadležnost partnera	<ul style="list-style-type: none"> • COOPI – italijanska organizacija - 24.000 evra • pomoć u realizaciji (radna snaga) – građani i zaposleni u opštinskoj upravi • pomoć u realizaciji (radna snaga i oprema) – vojska i JKP "Medijana" • stručno tehnička pomoć-resorne službe JKP "Medijana"

Izvor: zvanična web prezentacija grada Niša, Bogdanović (2008)

Projekat unapređenja ovog područja je zasnovan na godišnjem programu urbano-ekoloških akcija Gradske opštine Medijana. Stručni tim Odeljenja za razvoj opštine Medijana razradio je strategiju revitalizacije područja, uz pomoć JKP "Medijana". Realizacijom ovog projekta ostvareni su fizički, socijalni i edukacioni efekti, a pozitivni rezultati projekta su se odrazili na različite interesne grupe. Ključni fizički efekti su: 1. transformacija devastiranog slobodnog prostora u uređeni zaštitni pojas pored reke, sa sadžajima namenjem svim starosnim kategorijama korisnika: stariji, deca, omladina, građani koji dolaze na rekreaciju 2. povećane su mogućnosti za korišćenje zelenog pojasa za aktivan i pasivan odmor 3. unapređenje kvaliteta stanovanja stanara iz neposrednog okruženja 4. unapređenje ambijentalne vrednosti (sl. 2).

Socijalni efekti projekta su veoma raznovrsni: unapređenje bezbednosti prostora, direktna participacija stanara, bolja komunikacija između stanara i razvoj dobrosusedskih odnosa, povećanje nivoa kulture stanovanja i osećaj pripadnosti zajednici. Osim toga, od posebnog

značaja je povećan broj registrovanih skupština zainteresovanih za uređenje prostora u svom okruženju, zatim sticanje poverenja stanara da lokalna uprava vodi računa o kvalitetu njihovog života. Sa aspekta participativnog pristupa treba istaći da je stanarima pružena mogućnost da prepoznaju snagu i značaj sopstvene inicijative, na koju dobijaju konkretni programski, akcioni i finansijski odgovor. Uključivanjem drugih grupacija u aktivnosti, uspostavljen je bliži kontakt lokalne uprave sa stanarima i omogućena saradnja na konkretnim životnim pitanjima. Od naročitog značaja je da bi se putem koordinacije i komunikacije uspostavljenih na ovaj način, mogli pokrenuti slični projekti i na okolnim slobodnim prostorima.



Slika 2: Prikaz prostora nakon revitalizacije - park "Zelena oaza" Izvor: [1], [5]

3. ZAKLJUČAK

Participacija stanara je veoma značajan instrument u revitalizaciji slobodnih prostora, čijom se primenom može ostvariti harmonizacija različitih mišljenja, ideja i znanja raznovrsnih aktera i realizacija uspešnih i održivih projekata unapređenja u skladu sa potrebama i zahtevima stanara kompleksa sa višespratnim tanovanjem. Analizirani projekat "Zelena oaza" je primer efikasne participacije stanara. Poseban značaj ovoj projekta je to što je participacija stanara primenjena i kao pokretač za mobilizaciju resursa u samoj stambenoj zajednici, kao i za implementaciju aktivnosti kroz sopstvene potencijale. Dakle, zastupljen je bio direktni vid participacije stanara, što u našoj zemlji često izostaje.

Primenom analiziranih mera je stvoren atraktivni park susedstva, koji svakodnevno koriste i stanari obližnjih stambenih zgrada, ali i građani iz neposrednog okruženja područja. Nažalost, ovaj projekat je jedini primer participacije stanara u unapređenju slobodnih prostora u kompleksima sa višespratnim stanovanjem u Nišu. Imajući u vidu uspešnost analiziranog projekta, može se konstatovati da on može poslužiti kao primer dobre prakse koji bi se mogao primenjivati i na mnogim drugim lokacijama u Nišu. Preduslov za to je podsticanje participacije stanara od strane tela lokalnih vlasti, edukacija i promocija značaja unapređenja slobodnih prostora, ukazivanje na to da građani mogu uticati na menjanje i unapređenje stambenog okruženja. Na taj način doprinelo bi se većoj saradnji između stanara i različitih aktera, jačanju lokalne demokratije, edukaciji i razvijanju novih veština građana, unapređenju kulture stanovanja i jačanju svesti stanara.

Potreban uslov za primenu participativnog pristupa je uspostavljanje integrisanog pristupa unapređanju slobodnih prostora na legalnom i strateškom nivou, usmeravanje programa revitalizacije slobodnih prostora kroz donošenje adekvatnih zakona, normi i standarda, kao i uspostavljanje adekvatne saradnje i koordinacije između stanara, javnih preduzeća i lokalnih vlasti u sferi održavanja i upravljanja slobodnim prostorima. To može biti predmet istraživanja nekog šireg i sveobuhvatnijeg istraživanja, u kontekstu unapređenja života u kompleksima sa višespratnim stanovanjem na nivou grada.

4. LITERATURA

- [1] Bogdanović Protić, I.: *Unapređenje višespratnog stanovanja metodom urbane regeneracije sa posebnim osvrtom na grad Niš*, magistarska teza, Građevinsko–arhitektonski fakultet u Nišu, 2008.
- [2] Čolić, R.: *Participativno planiranje*, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2006.
- [3] Soaita, A.: *Beyond the blocks of flats, the potential for community participation in owner-built housing*, ENHR International Conference "Sustainable Urban Areas, Rotterdam", 2007.
- [4] Van der Graaf, P.: *Emotional Ties to the Neighbourhood in Urban Renewal in the Netherlands and the United Kingdom*, Amsterdam University Press, 2009.
- [5] *zvanična web prezentacija grada Niša*

UDK : 726.2(497.11)

SAKRALNA ARHITEKTURA IZ DOBA OSMANSKE DOMINACIJE U NIŠU. DŽAMIJE – NEKAD I SAD

Ana Momčilović - Petronijević¹

Aleksandra Mirić²

Mila Cvetković³

Rezime

Svest o važnosti očuvanja graditeljske baštine je u današnjem društvu sve više prisutna. Zaostavštine pojedinih istorijskih perioda su, na žalost, u lošjem položaju u odnosu na baštinu drugih epoha. Graditeljska baština iz perioda osmanske dominacije je nepravedno zapostavljena i stavljena u drugi plan. U radu su analizirani ostaci islamske verske arhitekture na prostoru savremenog Niša. Iako je za vreme osmanske vladavine u Nišu postojalo oko dvadeset džamija, danas su očuvane samo dve, Bali begova i Islam agina, dok su ostaci Hasan begove džamije u stanju potpune ruiniranosti. Uz istorijski kontekst usled kog su razmatrani objekti građeni, u radu su predstavljene njihove osnovne arhitektonske karakteristike. Posebna pažnja je posvećena analizi trenutnog stanja očuvanosti i konzervacije. Kvalitet prezentacije raz-matran je kroz parametre fizičke i intelektualne pristupačnosti, uz osvrt na postojanje mehanizama upravljanja spomenicima i njihove zastupljenosti u aktuelnim kulturnim politikama.

Ključne reči: džamija, kulturno nasleđe, islamska arhitektura, proce-na stanja, konzervacija, Qualicities

¹ Momčilović – Petronijević Ana, Dr, arhitekta –konzervator, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu,

² Mirić Aleksandra, Dr, arhitekta –konzervator, pridruženi istraživač Institut de recherche sur l'architecture antique, France

³Mila Cvetković, master arhitekture, Građevinsko – arhitektonski fakultet Niš

1. UVOD

Dolazak Osmanskog carstva je na Balkan doneo brojne promene. Pored onih društveno političkih, koje su bile najizraženije, brojne transformacije su se desile i u urbanizmu i arhitekturi tadašnjih naselja. Proces orijentalizacije gradova koji su pre toga bili naseljeni pretežno slovenskim stanovništvom tekao je nejednakim intenzitetom. Nosioci orijentalizacije na čitavom oslobođenom prostoru, uključujući i jugoistočnu Srbiju, bili su zadužbinari koji su prvenstveno podizali džamije i prateće verske objekte [9]. Evlija Čelebija u svom putopisu navodi da su "u Nišu, kao značajnom strateškom i upravnom centru, tokom Osmanskog perioda podignute brojne džamije" [2]. O niškim džamijama postoje zabeleške u delima mnogih putopisaca koji su u tom period prolazili kroz Niš. Sem verskih, građeni su i ostali tipovi objekata karakteristični za islamsku arhitekturu: hamami, hanovi, karavansaraji, tekije, turbeta...

Varoši su za vreme osmanske dominacije dobine potpuno istočnjački izgled. Sasvim je razumljivo što je nakon oslobođenja stanovništvo nastojalo da gradovima vrati srpski duh. Graditeljska zaostavština sa karakteristikama orijentalne arhitekture bila je izložena besu tek oslobođenog naroda. Počelo se sa rušenjem džamija i drugih Osmanskih građevina. Neke su u potpunosti uništene, neke su održavane u minimalnoj meri. Objekti islamske arhitekture su, usled napuštenosti i ratnih razaranja, a i usled neinteresovanja za njih, gotovo potpuno pali u zaborav na duži vremenski period. Otuda u Nišu od dvadesetak džamija, koliko ih je pre oslobođenja bilo, danas postoje samo dve, i delimični ostaci treće.

Uz pregled istorijskih prilika usled kojih su razmatrani objekti nastali, u radu je dat popis islamskih bogomolja koje su u doba osmanske dominacije sagrađene u Nišu. Posebna pažnja posvećena je arhitektonskim karakteristikama tri džamije koje i danas postoje, njihovom stepenu očuvanosti, konzervacije i prezentacije. Presek stanja izvršen je u skladu sa kriterijumima evropske metodologije za održivu valorizaciju kulturnih dobara Qualicities [7].

2. ISTORIJSKE PRILIKE

Osmanska vladavina na Balkanu traje od XIV do XX veka. U nekim regionima ona traje kontinuirano, u drugima ne, dok pojedine delove Balkanskog poluostrva uopšte i ne zahvata. Srbija je pod vlast Turaka dospela posle poraza, najpre u bici na Marici (1371. godine), a zatim i

boju na Kosovu (1389. godine). Čitava teritorija srpske despotovine bila je osvojena do 1459 godine kada je osvojeno Smederevo.

1878. godina se smatra godinom oslobođenja Srbije od Osmanskog carstva. Srbija tada širi svoju teritoriju na deo današnje jugoistočne Srbije [13]. Posle Balkanskih ratova iz 1912. i 1913. godine i novog teritorijalnog proširenja Srbije, turska uprava je prestala na celom prostoru današnje Srbije.

Za ovaj veoma dug period vladavine na teritoriji Srbije je podignut veliki broj spomenika islamske arhitekture, kako verskih tako i onih profanog karaktera. Varoši su dobile potpuno orijentalni izgled. U delima tadašnjih putopisaca se mogu naći opisi mesta iznad čijih su krovova dominirali minareti i kupole džamija i medresa.

3. ISLAMSKE BOGOMOLJE SAGRAĐENE U NIŠU U PERIODU OSMANSKE DOMINACIJE

Od celokupnog korpusa javnih objekata otomanskog perioda koji su građeni širom carstva, najzačajnije mesto zauzima svakako religiozna arhitektura.

Arhitektura i religija su oduvek bile veoma tesno povezane. Objekti sakralne arhitekture za vernike imaju posebnu vrednost, oni predstavljaju mesto molitve i sveti prostor [3]. Počeci islamske umetnosti su u najvećoj meri povezani sa džamijom. Ona čini osnovni izraz islamske kulture. U džamiji je ostvareno jedinstvo sakralnog i profanog fenomena, jer prostor džamije istovremeno služi za obavljanje molitava i za društvene skupove vernika [9] [11].

Iz dokumenata iz perioda turske vladavine se može zaključiti o velikom broju džamija u gradovima čitave Srbije, pa i na jugoistoku zemlje. U Nišu je bilo za vreme turske vladavine oko dvadeset džamija. U Tvrđavi ih je bilo deset: Hunkjar (carska) džamija, dva mesdžida Abdi dede i hadži Balabana, džamija hadži Durmuša, Bali begova džamija, Piri begova, Hamza begova, džamija "mesdžid–crkva", dža-mija kod Pašinog konaka i kod Vodene kapije [1]. Sem džamija u Tvrđavi postojala je jedna u Beograd malo, Arabadži džamija, i osam na levoj obali Nišave: na trgu Oslobođenja-Hazir begova, obnovljena od Osman paše, nazvana Velika ili Paša džamija; zatim kod pozorišta Aladži–Šarena ili Fukara–Siromašna; Fehtija–Pobednička, preobraćena od crkve Sv. Nikole na Paliluli, zatim džamija Hadži Ebubekira, tri iz starih planova Niša iz 1878. i Islam agina džamija u ulici Milojka Lešjanina [1].

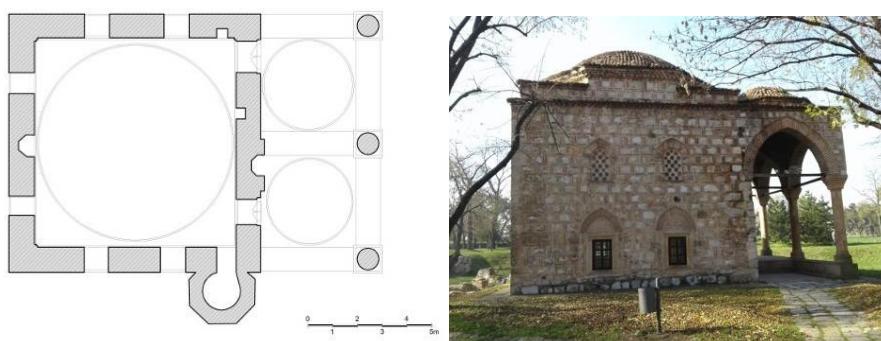
Danas su u Nišu očuvane samo dve džamije, Bali begova i Islam agina, dok su ostaci Hasan begove džamija vidljivi kao ruina. One su značajni svedoci prošlih vremena, dokaz da je graditelj prioritet davao funkcionalnosti i prostornom uređenju, stavljajući dekoraciju u drugi plan. Zbog njihovog kulturološkog i arhitektonskog značaja, u delu koji sledi osvrnućemo se na njihove najznačajnije karakteristike.

3.1. Bali begova džamija u Tvrđavi

Bali begova džamija (Sl.1) se nalazi u centralnom delu Tvrđave u Nišu. Poznata je i kao Reis-efendijina i Burmala- džamija [12]. Jedina je sačuvana od deset, koliko ih je bilo u Tvrđavi. Između 1521. i 1523. godine je upisana u Smederevski popisni defter kao mesdžid, mala islamska bogomolja, da bi tek 1710. godine u popisu Niša evidentirana kao džamija [1].

Građevina je zadužbin Bali-bega. Kvadratne je osnove. Mirhab je okrenut prema Meki. Zasvedena je polukalotom. Na ulazu je obnovljen trem. Između tri masivna stuba su dva luka na šiljak, koja formiraju prednju stranu trema. Na ova, i tri poprečna luka se oslanjaju dve kupole od opeke kojima je trem natkriven. Postoje podaci da je uz severni zid džamije, na mestu ulaznog trema, nekada postojala prva javna biblioteka u osmanlijskom Nišu [1]. Minaret je dograđen u XVII veku. Isti je porušen, a danas postoje samo ostaci u visini od par metara.

Džamija je zidana kamenom i opekom. Opeka se pojavljuje u horizontalnim i vertikalnim redovima, uokvirujući tesanike u čelijastom slogu. Nad prozorskim otvorima su prelomljeni lukovi od opeke. Zidovi su ojačani drvenim santračima, koji su imali ulogu serklaža. Kao i na drugim objektima sličnog tipa, krovni pokrivač je čeramida.

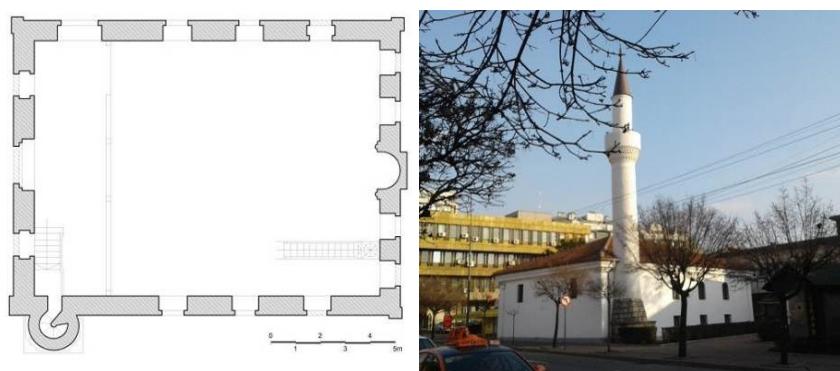


Slika 1. Osnova džamije i njen izgled. Crtež A.M.Petronijević, prema[4], foto A.M.Petronijević

3.2. Islam agina džamija u ulici Milojka Lešjanina

Nekada u podgrađu, a danas u najužem centru grada, Islam agina zadužbina (Sl.2) je jedina u potpunosti očuvana džamija u Nišu [6]. Obnovljena je 1870. na ostacima stare, podignute oko 1720. godine [1].

Ova džamija je poslednji izgrađeni javni osmanlijski arhitektonski objekat u Nišu [1]. Reč je o pravougaonoj građevini, sa ravnom drvenom tavanicom i galerijom na stubovima. Sa ove galerije se dolazi do kružnih stepenica minareta. Zidovi su joj od neobrađenog, oblog kamena, pa su zato malterisani. Četvorovodni krov je pokriven čeramidom. Glavni ulaz je nekada bio sa ulice, danas je sa boka zgrade. Bez značajnijih arhitektonskih vrednosti, ona je karakterističan primer objekata iz perioda turskog ekonomskog i vojnog opadanja.



Slika 2. Osnova džamije i njen izgled. Crtež A.M.Petronijević, prema [14], foto A.M.Petronijević

3.3. Hasan begova džamija u Šumatovačkoj ulici

U Šumatovačkoj ulici u Nišu se nalaze ostaci još jedne džamije. Podignuta je 1737. godine nakon povlačenja austrijske vojske iz Niša kao zadužbina Hasan bega (Sl.3). Poznata je i pod nazivom Krnja džamija i Stara džamija. Oštećena je najpre 1896. godine u velikoj poplavi. U toku bombardovanja 1944. godine je izgorela do temelja, ostao je samo minaret bez vrha. Zbog opasnosti od urušavanja, nakon Drugog svetskog rata je napuštena od strane islamske zajednice [4]. Kao dominantan graditeljski materijal je korišćena opeka. Kuća koja se nalazila na parceli, u kojoj su se okupljali vernici se urušila devedesetih godina dvadesetog veka.



Slika 3. Pogled na minare Hasan begove džamije, foto A.Mirić

4. PREGLED STANJA SAKRALNIH KULTURNIH DOBARA IZ DOBA OSMANSKE VLADAVINE U NIŠU

Graditeljska baština Niša prepoznata je od strane domaćih i stranih stručnjaka kao potencijalni resurs lokalnog ekonomskog, kulturnog i društvenog razvoja. Učlanjenjem u Alijansu evropskih gradova kulture AVEC i potpisivanjem Evropske povelje gradova i područja kulture i baštine, grad Niš je iskazao inicijativu dugoročnog angažovanja na zaštiti graditeljskog nasledja sa ciljem prezervacije spomeničkih vrednosti objekata ne samo zarad njihove održive eksploracije, već i zarad obaveze da se graditeljska baština kao kulturološko svedočanstvo prošlosti ostavi u nasledje budućim generacijama. Prilikom učlanjenja u AVEC, grad Niš je stekao pravo korišćenja metodologije za održivu valorizaciju spomenika kulture, Qualicities. Ovaj alat je nastao kao rezultat saradnje i višedecenijske razmene iskustava gradova članica mreže. Jedan od strateških ciljeva, usvojen na Skupštini Grada Niša početkom 2012. godine je implementacija Lokalnog plana napretka Qualicities i integrisanje kriterijuma standarda Qualicities u sve akcije zalaganja grada u implementaciji lokalne Agende 21 [7].

Ovde prikazan presek stanja građevina islamske sakralne arhitekture je izvršen za svaki objekat pojedinačno, prema kriterijumima Qualicities standarda, korišćenjem precizno definisanog formulara za evaluaciju [8].

Uz pravni status kulturnih dobara, opšte stanje očuvanosti i konzervacije, kroz parametre fizičke i intelektualne pristupačnosti razmatrano je stanje prezentacije. Takođe, dat je i osvrt na postojanje mehanizama upravljanja spomenikom i njegove zastupljenosti u

aktuuelnim kulturnim politikama, postojanja strategije animacije lokalnog stanovništva, marginalizovanih grupa itd.

4.1. Bali begova džamija

Bali begova džamija se nalazi u okviru zidina Niške tvrđave i kao deo celine Tvrđave je proglašena je za kulturno dobro 1948. godine. Kategorisana je kao kulturno dobro od velikog značaja 1979. godine [5].

Zavod za zaštitu spomenika kulture Niš je vršio konzervatorske radove na džamiji tokom 1972. godine, kao i u period od 1976. do 1978. godine. Radovi su vršeni na obnovi centralnog potkupolnog prostora, sa kompletnom rekonstrukcijom srušenog severozapadnog trema, i delimično minareta [4].

Objekat je u dobro očuvanom stanju. Glavni problem fizičkoj strukturi objekta nanosi vlaga. Oštećenja od vlage su manifestovana na opeci, kamenu i malteru.

Konstatovano je i mestimično isoljavanje na licu zidova i formiranje mineralnih slojeva uz kolorizaciju zidne površine. Usled apsorpcije vlage i bubreњa soli mestimično je došlo do odvajanja maltera. Stoga su mestimično vidljiva potklobućenja maltera i osipanje spojnica. Na opekama je takođe vidljivo isoljavanje. Prisutan je i određen stepen biodegradacije, u vidu buđi koja se u velikoj meri javlja i u unutrašnjosti objekta. Na krovu, usled teške dostupnosti i nere-dovnog čišćenja, se formirao debiji sloj biološkog materijala (nastalog od opalog lišća okolnog drveća) iz koga raste divlje rastinje (Sl. 4).

Objekat je bezbedan za posetioce i istima pristupačan. Delimično je pristupačan osobama sa invaliditetom, jer do njega postoji staza popločana kamenom u blagom nagibu. Fizičku barijeru predstavlja prag na ulazu u objekat, koji je moguće savladati postavljanjem montažno-demontažne rampe, bez narušavanja spomeničkih svojstava objekta.

U neposrednoj blizini džamije se nalazi info-tabla sa najbitnijim podacima o spomeniku. Tabla je dvojezična i postavljena na visini takvoj da bude dostupna korisnicima invalidskih kolica. Ipak, za korisnike sa drugim vidovima invaliditeta nema adekvatno prikazanih informacija o objektu. Takođe, nema savremenih vidova prezentacije.

Danas objekat ima namenu izložbenog prostora, u njemu je galerija "Salon 77". Tarifnom politikom Galerije savremenih likovnih umetnosti iz Niša, koja je korisnik ovog prostora, posetiocima je obezbeđen besplatan ulaz u objekat svakog dana, od 16 do 20h. S obzirom na kvalitet i posećenost programa koje Galerija prezentuje u džamiji, ali i korišćenja najbliže okoline građevine kao scene za bine koje se tu postavljaju u tokom gradskih festivala, poput Nišvila, može se reći da

džamija služi kao mesto okupljanja i susreta građana tokom većeg dela godine.

Kao jedna od 40 građevina koja su procenjene kao najznačajnije za lokalni društveni i ekonomski razvoj, Bali begova džamija je unutar Lokanog plana napretka za održivu valorizaciju spomenika kulture [7] razmatrana kao jedan od prioriteta.



Slika 4. Divlje rastinje na krovu trema (levo), i oštećenja nastala od vlage (desno) . Foto A.Mirić, sept.2017

4.2. Islam agina džamija

Islam agina džamija je proglašena spomenikom kulture 1954. godine, kao jedina očuvana turska bogomolja u Nišu [5].

Marta 2004. godine, kao reakcija huligana na nemire na Kosovu i paljenje srpskih bogomolja od strane ekstremista, ova džamija je zapaljena, kada je pretrpela znatna oštećenja. Kompletna krovna konstrukcija i deo minareta su nestali u požaru. Objekat je u skorije vreme obnavljan i danas je u veoma dobrom stanju konzervacije.

Kao jedina islamska bogomolja čija je namena očuvana, često je mesto ispisivanja nacionalističkih i verskom netrpeljivošću inspirisanih grafita. Zbog toga se zidovi ove zgrade s vremena na vreme prekreče ili čak i premalterišu. Sem mestimično oguljenog završnog sloja maltera, na objektu nema vidljivih oštećenja. Klima uređaj postavljen sa zadnje strane objekta naružuje izgled istog (Sl. 5).

Ispred džamije ne postoje informacije koje bi posetioce informisale o značaju ovog dobra. Na samoj zgradi, iznad ulaza je tabla na kojoj je navedeno da je objekat pod zaštitom.



Slika 5. Detalji sa prednje i zadnje fasade građevine, foto A.Mirić

4.3. Hasan begova džamija

Hasan begova džamija u Šumatovačkoj ulici je potpuno ruinirana. Sem oštećenja koja je pretrpela nakon poplave, a zatim i tokom Drugog svetskog rata, tokom NATO agresije na Srbiju 1999. godine ovaj prostor je zasut kasetnim bombama. Dugo nakon ovog događaja je parcela bila potpuno zapuštena. Tek nakon detaljne provere terena od strane deminera, 2009. godine, i proglašavanja ovog terena bezbednim, moglo se pristupiti čišćenju parcele koja je bila zarasla u korov i služila kao divlja deponija (Sl.3).

Jedini delimično očuvani prostorni element je do značajne visine sačuvani minaret. Mala količina originalne opeke je uskladištena na parceli, njom je, kao sekundarno upotrebljenim graditeljskim materijalom improvizovana ograda. Ne postoji nikakvo obaveštenje sa podacima o objektu, parcela je zapuštena i nebezbedna za posetioce.

5. ZAKLJUČAK

Na prostoru grada Niša, bez obzira na dug period pod osmanskom okupacijom i značajno veliki broj tada izgrađenih objekata, postoji veoma mali broj očuvanih građevina. Samim tim što arhitektonskih svedočanstava iz ove epohe ima malo, na njih bi trebalo obratiti posebnu pažnju.

Od nekada postojećih 20 džamija do danas su sačuvane samo tri, od kojih je jedna u veoma lošem stanju. Za džamiju u Tvrđavi bi se moglo reći da je uključena u tokove kulturnog života Niša. Džamija u ulici Milojka Lešjanina je još uvek aktivan verski objekat, dok džamija u Šumatovačkoj ulici, prepuštena zebu vremena, rapidno propada. Nestajanje objekata vodi ka gubitku svedočanstva o jednoj epohi, koja je, iako bolno sećanje na period potlačenosti, uticala na formiranje kulturnog identiteta našeg naroda.

Zanemarivanje arhitektonske baštine iz doba osmanske dominacije, bez obzira koliko ona u istorijskom smislu bila teška i bolna, nije dobar

izbor i ne bi trebalo biti praksa. Kulturni diverzitet je značajna karakteristika Niša i njegovog identiteta. Neselektivni pristup zaštiti spomeničkog nasleđa svih epoha je odraz prihvatanja prošlosti, sopstvene kulture, ali i tolerancije verskih i kulturno-različitosti.

6. LITERATURA

- [1] Andrejević, B.: Spomenici Niša, zaštićena kulturna dobra od izuzetnog i od velikog značaja, Prosveta Niš, 1996. str 288
- [2] Čelebija E.: Putopis, Odlomci o jugoslavenskim zemljama. Preveo i komentar napisao Hazim Šabanović, Sarajevo 1954..
- [3] Debevc S.: Islamska arhitektura na Balkanu. Magistarski rad, Fakulteta za družbene vede, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 2015. Dostupno na http://dk.fdv.unilj.si/magistrska_dela_2/pdfs/mb22_debevc-sabina.pdf
- [4] Dokumentacija Zavoda za zaštitu spomenika kulture Niš
- [5] Grupa autora: Spomeničko nasleđe Srbije. Nepokretna kulturna dobra od izuzetnog i velikog značaja, Grupa autora, odg. Urednik Gordana Marković, RZZSK Beograd 2007, 215
- [6] Grupa autora Enciklopedija Niša – Istorija, urednik Simonović Dragoljub, Gradina Niš, 1995, 313
- [7] Mirić A.: Iskustva i rezultati u primeni evropskog standarda kvaliteta QUALICITIES na primeru grada Niša, Zbornik radova Naučno stručnog skupa Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja, Asocijacija prostornih planera Srbije, Beograd , 2012, 485-490
- [8] Mirić A., Kurtović – Folić N.: Evaluation method for valorization level of historical monuments–Qualicities. International Conference VSU 2015, Vol 1, Sofia, 58-67
- [9] Milosavljević G.: Niške džamije u osmanskim popisima i delima putopisaca - pet vekova dominacije islama. Zbornik narodnog muzeja Niš br 22, 2013., 105-118;
- [10] Redžić H.: Umjetnost na tlu Jugoslavije: Islamska umjetnost; Izdavački zavod Jugoslavija, 1982., 34.
- [11] Redžić H.: Studije o islamskoj arhitektonskoj baštini, Veselin Masleša, Sarajevo, 1983., 409.
- [12] <http://spomenicikulture.mi.sanu.ac.rs>, pristupljeno sept. 2017
- [13] Stojančević V.: Jugoistočna Srbija u XIX veku (1804-1878), Prosveta, Niš, 1996.
- [14] Zdravković I.: Izbor građe za proučavanje spomenika islamske arhitekture u Jugoslaviji. Jugoslovenski institut za zaštitu spomenika kulture. Beograd, 1964. 155

UDK : 728(1-21)(497.11)
711.61(497.11)

ORGANIZACIJA STANA U OBJEKTIMA NA TRGU PARTIZANA U UŽICU (1961)

Duško Kuzović

Abstrakt:

Trg partizana u Užicu je važno arhitektonsko i urbanističko ostvarenje arhitekture Moderne u Srbiji. Kvalitetima oblikovanja je uticao na razvoj gradova, arhitekture ali i stanovanja na prostoru centralnog Balkana. Posebna novina, primenjena u projektu je organizacija stana. Novo rešenje stanova je zasnovano na Odluci lokalne uprave da se primene novi standardi u stanovanju. Zahvaljujući tome stanovi na Trgu partizana sadrže novi način organizacije, nove materijale i nov način klasifikacije stanova. Naime, stanovi se više nisu klasificovali prema broju soba već prema broju ležajeva koje je moguće ostvariti u stanu. Objekti koji sadrže stanove se nalaze u južnom delu Trga partizana u dva trakta: istočni (arh. Milorad Pantović) i zapadni (arh. Stanko Mandić). Rad analizira koncepciju stambenog objekta, organizaciju stana i primenjene materijale.

Ključne reči: Trg partizana u Užicu, Stanko Mandić, Milorad Pantović, organizacija stana, stanovanje u Srbiji.

1. UVOD

Trg partizana u Užicu je sagrađen u periodu od 1958. do 1961. godine prema projektima arhitekata Stanka Mandića i Milorada Pantovića povodom 20 godina od antifašističkog ustanka u Srbiji.

U okviru Trga sagrađen je veliki broj stambenih jedinica koje su organizacijom i materijalizacijom pretstavljale novinu u stanogradnji u Srbiji i Jugoslaviji. Stoga je potrebno analizirati elemente stana i arhitektonska rešenja sa ciljem boljeg razumevanja uticaja i značaja arhitekture Moderne za kulturu u Srbiji i Jugoslaviji.

Literatura koje tretira Trg partizana u Užicu je relativno oskudna. Za ovaj rad je korištena dokumentacija koja se nalazi u Istoriskom arhivu u Užicu, i pisani materijal Stanka Mandića, [1] Alekseja Brkića [2] i Živote Markovića [3].

Cilj rada je analiza organizacije stanobenih objekata na Trgu partizana u Užicu u pogledu koncepcije ulaza, brja stambenih jedinica

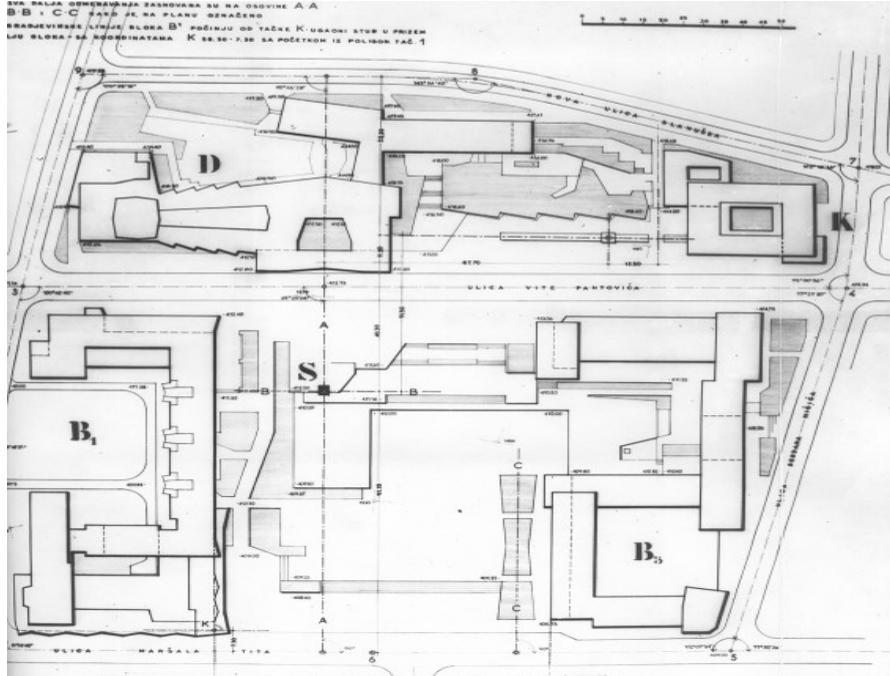
na podestu kao i organizacije stana. Rezultati rada treba da doprinesu boljem poznavanju stanogradnje polovinom 20. veka u Srbiji i Jugoslaviji, kao i većoj svesti o komponenti organizacije stana u zaštiti arhitektonskog nasleđa Moderne.

2. DOKUMENTACIJA

2.1. Urbanističko rešenje

Objekti koji sadrže stambene jedinice se nalaze u južnoj polovini Trga odnosno ulice Kralja Petra Prvog koja deli prostor na dve celine: celinu sa javnim objektima (severno) i celinu sa poslovnim i stambenim sadržajima (južno). Na ovakav način je izvršena podela prostora kao što je učinjeno u Agori u antičkom gradu Prijeni.

Objekti koji sadrže stambene jedinice su locirani na istočnom i zapadnom delu Trga. Objekte na istočnom delu je projektovao arhitekta Milorad Pantović a objekte na zapadnom delu arhitekta Stanko Mandić. Različit arhitektonski rečnik, u navedena dva slučaja, je manifestovan ne samo u oblikovanju objekata već i u njihovoј unutrašnjoj koncepciji i organizaciji stana.



Slika 1. Trg Partizana, Istočni (desno) i Zapadni trakt (levo) (1961)

2. UNAPREĐEN KVALITET STANOVA

Zahvaljujući Rešenju Narodnog odbora Titovog Užica broj 05-6624/1 od 10. jula 1958. godine veličina i oprema stanova u objektima na Trgu partizana je mogla biti iznad uobičajenih standarda. Ova odluka se posebno odnosila na veličinu stana jer se nije obračunavao broj soba već mogućnost postavljanja broja ležajeva. Rešenje Narodnog odbora je omogućilo slobodniju organizaciju stanova, njihov sadržaj i unutrašnju obradu u odnosu na građevinske standarde korišćene u prethodnom periodu. Rešenje u delu koje se odnosi na obradu stanova glasi:

„Odobrava se investitorima na izgradnji stambeno-poslovnih objekata u okviru užeg centra-trga u Titovom Užicu, da mogu izvršiti povećanje troškova izgradnje, površine stanova, obrade fasada i opreme stanova zbog posebni urbanističkih uslova izgradnje objekata u okviru trga...“.

3. STAMBENI OBJEKTI U ISTOČNOM DELU TRGA PARTIZANA

Istočni trakt Trga se pruža na severu od objekta Kule, preko bloka „Istok“, potom Gradske kafane i Bloka koji sadrži bioskop u prizemlju i stambeni prostor na spratu do trakta „Jug“ koji prati građe-vinsku liniju ulice Dimitrija Tucovića na jugu. Spratnost objekata se kreće od Pr+Me+11 (objekat „Kula“), Pr+me+5 spratova (blok „Istok“, „Biskop“ i „Jug“).

Stanovi su grupisani oko stepenišnih vertikala sa po 3 stana na podestu (blok „Istok“, „Biskop“ i „Jug“) ili 5 stanova na podestu (objekat „Kula“). Stanovi su rešeni na sličan način u svim objektima istočnog dela Trga uz minimalne izmene koje prate promenu geometriju osnove. U objektu „Kula“ komunikacionu vertikalnu čine stepenište, teretni i osobni lift. Na tipskoj etaži je izgrađen hodnik i tri stana. Osnova sprata je simetrična u odnosu na poprečnu osovinu objekta. Severnu i južnu stranu osnove zauzimaju stanovi identične organizacije sa dve ili tri orijentacije dok središnji deo osnove zauzima jedan stan orijentacije ka zapadu.

Stanovi orijentisani ka jugu i severu su organizovani oko centralnog hodnika iz koga se pristupa u kupatilo, kuhinju sa ostavom, dnevnu i spavaću sobu. Na terasu dubine 1,0 metar, koja se pruža celom širinom severne i južne fasade se pristupa iz kuhinje sa trpezarijom kao i iz dnevne i spavaće sobe. Stan u centru orijentisan ka zapadu se nalazi u središtu osnove. Organizovan je oko pretsoblja iz koga se bočno pristupa u dnevnu sobu, spavaću sobu, u kupatilo i kuhinju sa trpezarijom.



Slika 2. Kula i blokovi „Istok“ i „Bioskop“, zapadni izgled(1961)

Ovaj stan, celom širinom, ima terasu dubine 100 cm preko koje je moguće ostvariti komunikaciju između svih prostorija u stanu.

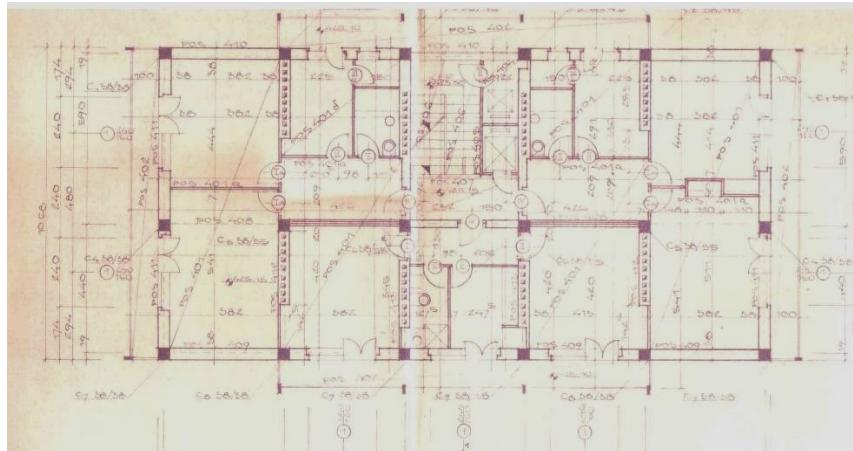
U objektu „Bioskop“ se nalazi složen program stambenih i poslovnih sadržaja. Stanovanje je projektovano u pet etaža koje se nalaze iznad prizemlja i mezanina. U bloku se nalaze dve lamele (severna i južna) sa tri stana na podestu.

Severna lamela sadrži karakterističnu prvu etažu koja sadrži dva stana na podestu i na ovo etaži nema terasa (za razliku od etaža koje se nalaze iznad). U severnoj lameli se nalaze tri stana na podestu i sadrži po jedan stan orijentisan ka severu, jugu i zapadu.

Severno lociran stan ima dvostranu orijentaciju. U središnjem delu stana se nalazi hodnik iz koga se pristupa u sobu (orijentisanu ka Trgu), kuhinju sa ostavom i kupatilo (orjenitsani ka dvorištu objekta). Garsonjera sadrži ulazni hodnik iz koga se pristupa u sobu i kupatilo. Južno lociran stan sadrži centralno postavljen hodnik iz koga se, prema dvorištu, pristupa u kuhinju sa ostavom, kupatilo i jednu sobu dok se prema ulici nalazi druga soba.

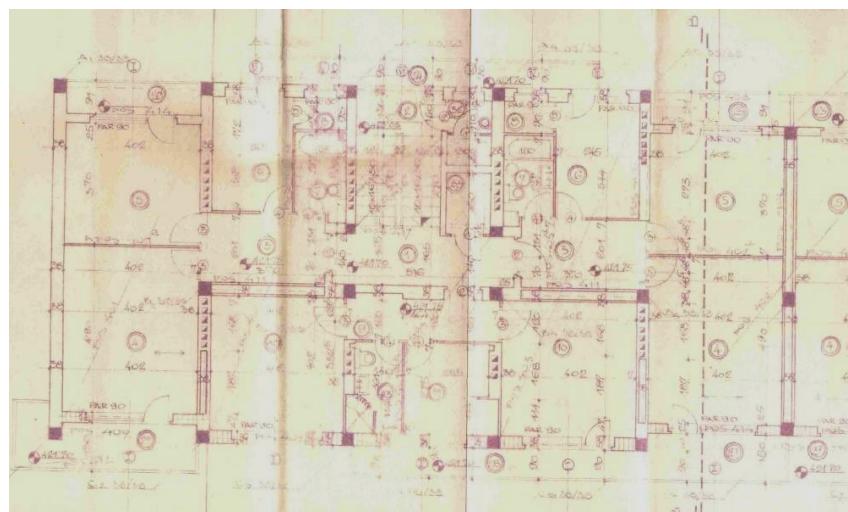
Južna lamela, je identične organizacije kao i severna. U njoj se nalaze stanovi neznatno veće površine nego oni u severnoj lameli.

Severni stan ima dvostranu orijentaciju. U središtu sadrži hodnik iz koga se pristupa u kuhinju sa ostavom, sobu i kupatilo (orijentisani ka dvorištu) i jednu sobu (orijentisanu ka trgu).



Slika 3. Trg partizana, Objekat Kula, karakteristična osnova sa stanovima

Središnje locirani stan ima jednostranu orijentaciju (ka zapadu) i sadrži hodnik iz koga se (pravo) pristupa u kupatilo, i sobe (desno i levo). Južno locirani stan ima trostranu orijentaciju i organizovan je oko centralno postavljenog hodnika iz koga se pristupa u kuhinju sa ostavom (ka dvorištu), dve sobe (ka ulici) i sobi (ka trgu).



Slika 4. Trg partizana, Objekat Bioskop, karakteristična osnova sa stanovima

Od drugog do petog sprata je zadržana slična organizacija kao na prvom spratu. Duž celokupne fasade prema Trgu i prema ulici Dimitrija Tucovića je projektovana terasa dubine 1 metar. U severnom delu bloka je formirana terasa dubine 1,5 metara tako što je ispred fasadne ravni terasa 1 metar a ostatak je obezbeđen povlačenjem fasadne ravni za 0,5 metara. Na južnoj fasadi objekta je celom njegovom širinom formirana terasa dubine 1,0 metara.

2. STAMBENI OBJEKTI U ZAPADNOM DELU TRGA PARTIZANA

Drugi do šesti sprat sadrži stambeni prostor koji zahvaljujući pravilno odabranom konstruktivnom sistemu, grupisanjem stanova, razuđenošću i dubini osnove je dobijen veliki broj stanova veoma široke strukture.

U potkovlju se nalaze uglavnom jednosobni stanovi i garsonjere. Projektom je predviđena izgradnja jednog umetničkog ateljea sa stambenim prostorijama.



Slika 5. Trg partizana, Zapadni trakt, jugoistočni izgled,(1961)

Krov na delom „B“ je rešen kao krovna terasa za potrebe stanara koja sadrži prostor za igru dece, prostor za hortikultурно rešenje, tuševe, prostor za sunčanje itd. Radi bezbednosti ovaj deo ima povišen ogradni parapet.

Struktura stanova je sledeća: garsonjera 28 (17,5%), jednosobnih 39 (24,2%), dvosobnih 83 (52,0%), trosobnih stanova 9 (5,7%) i ateljea ima 1 (0,6%). Ukupno 160 stambenih jedinica.

Organizacija stana u zavisnosti od strukture je sledeća:

Garsonjera se sastoji od prostranog dnevnog boravka i kupatila. Moguće je formirati nišu za spavanje i nišu za kuhinju.

Jednosoban stan je rešen u dve varijante.

Prva varijanta se sastoji od sobe za spavanje i kupatila. U pojedinim stanovima dnevni boravak je u formi „prolazne sobe“, (definisao Stanko Mandić).

Druga varijanta sadrži nišu za spavanje ali nema prolaznu sobu za dnevni boravak.

Dvosoban stan je dat u dve varijante. Većina stanova ove grupe je dvostrano orijentisana (dvorištu i glavnoj fasadi). Sadrže po jednu lođu koja je povezana sa dve prostorije stana.

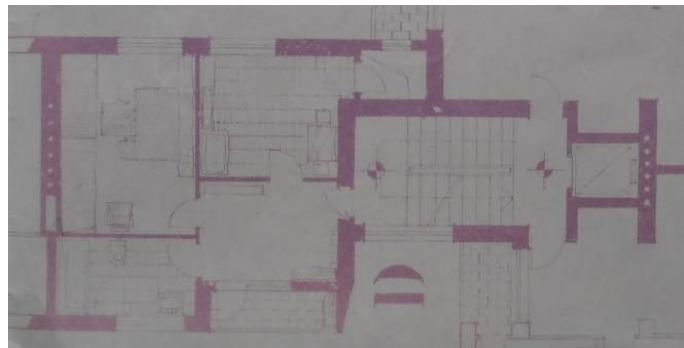
Varijanta 1 sadrži ulazni hodnik iz koga se dalje pristupa kuhinju, kupatilo i dve sobe.

Varijanta 2 sadrži dve sobe u koje se pristupa preko prostorije koja može da služi kao dnevna soba. Ekonomski deo stana (kuhinja, ostava i kupatilo) su grupisani u jednu celinu u koju se pristupa preko malog hodnika i time su odvojeni od ostatka stana.

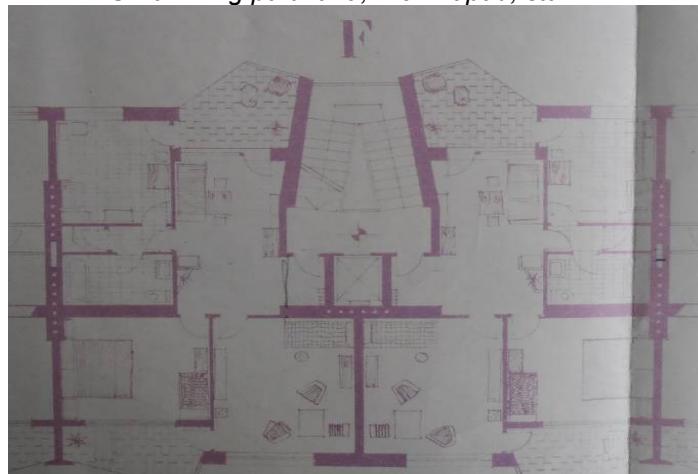
Trosoban stan se sastoji od tri sobe i jedne prostorije koja služi kao dnevni boravak ali je prolazna radi pristupa u ostale sobe u stanu.



Slika 6. Trg partizana, Blok Zapad, stan A



Slika 7. Trg partizana, Blok Zapad, stan D



Slika 8. Trg partizana, Blok Zapad, stan F



Slika 9. Trg partizana, Blok Zapad, stan C

3. ZAKLJUČAK

Trg partizana u Užicu, sagrađen 1961. godine, je uticao na razvoj gradova, arhitekture i stanovanja na prostoru Jugoslavije i Balkana u drugoj polovini 20. veka. Posebna pažnja je posvećena organizaciji stana. Zahvaljujući Rešenju Narodnog odbora Titovog Užica broj 05-6624/1 od 10. jula 1958. godine veličina i oprema stanova u objektima na Trgu partizana je podignuta na viši nivo u odnosu na građevinsku praksu. Pored toga, nova klasifikacija stanova se više nije zasnivala na broju soba već broju ležajeva koje je moguće ostvariti u stanu. Objekti koji sadrže stanove se nalaze u južnom delu Trga partizana pozicionirani u dva trakta: istočni (arh. Milorad Pantović) i zapadni (arh. Stanko Mandić). Istočni trakt sadrži generički oblikovane osnove stanova koje su modifikovane prema geometriji osnove. Zapadni blok sadrži veliki dijapazon organizacije stana kako u pogledu površine tako i u pogledu organizacije unutar slične površine.

LITERATURA

- [1] Mandić, S., (1959) Gradske trge u Titovom Užicu, Funkcija i kompozicija arhitekture prostora–razmatranja, paralele, ogledi, Beograd.
- [2] Brkić, A, (1992) Znakovi u kamenu, srpska moderna arhitektura 1930-1980, Savez arhitekata Srbije, Beograd.
- [3] Marković, Ž., Stanimirović, A., (1990) Kulturno-istorijsko spomeničko nasleđe Titovog Užica, Užički zbornik, broj 19, Titovo Užice, str. 67.

UDK: 711.52:902
351.853

ŠELTERI-OCENA STANJA ZAŠTITNIH KONSTRUKCIJA I NJIHOVIH EFEKATA NA POKRIVENE DELOVE ARHEOLOŠKIH LOKALITETA

Dragan Kostić¹,
Milan Gligorijević²

Rezime

Zaštita najbitnijih delova arheoloških lokaliteta u svetu i Evropi postala je neminovnost. Postiže se "šelterima" (shelter-eng)-najčešće lakin konstruktivnim sistemima srednjih i velikih raspona. Cilj pokrivanja je sprečavanje devastacije spomenika, stvaranje uslova za rad na konzervaciji spomenika i prezentacija iskopina. U poslednjih četrnaest godina šelteri su primenjeni na pet arheoloških lokaliteta u Srbiji. Primena zaštitnih konstrukcija proizvodi određene efekte na spomenike. U radu je data metodologija za procenu efikasnosti postojećih zaštitnih konstrukcija u odnosu na stanje pre pokrivanja. Pri tome su sagledavani i analizirani uslovi prisustva vode u različitim agregatnim stanjima, nestabilnost mikroklimatskih uslova, kao i biološki uticaji.

Cilj rada je prikaz metode za ocenu stanja i uticaja zaštitnih konstrukcija na spomenike koji se štite, uspostavljanje baze podataka o njima, kao i aktivnog sistema praćenja promena radi efikasnijeg očuvanja kulturno-istorijskog nasleđa (Shelter Management System).

Ključne reči: Arheološki lokalitet, Metoda procene, Odgovarajuća baza podataka, Shelter Management System, Zaštitne konstrukcije

1. UVOD

Stotine arheoloških lokaliteta u svetu pokriveno je savremenim strukturama koje pružaju zaštitu iskopina od uticaja sunca, kiše, vatra i snega, ali istovremeno štite i posetioce. U našoj stručnoj javnosti ovakve strukture nazivaju se „šelterima“ (eng. shelter-zaklon). Primenjene geometrijske forme, konstruktivni sistemi i materijali za izradu šeltera, raznovrsni su u odnosu na tradicionalna rešenja (masivni opekarski zidovi, drvene ili metalne krovne konstrukcije...). Često se sreću i različite kombinacije tradicionalnih i savremenih materijala, sve

¹ Dr Dragan Kostić, v.prof., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

² Dr Milan Gligorijević, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

do savremenih high-tech dostignuća (čelični nosači, lamelirano drvo, čelična užad, tekstilne membrane, polikarbonati...).

Takođe, arheološke iskopine koje su zaštićene šelterima, različite su i datiraju od paleolita do vizantijskih ostataka, od zemljanih struktura, preko ostataka zidina od opekarskih i kamenih elemenata, pa do mozaika koji preovlađuju (iz antičkog, rimske i vizantijskog perioda). Trend prezentacije mozaika intenzivno se razvija 90-tih godina prošlog veka sa prvenstvenim ciljem prezentacije sveobuhvatnog arhitektonsko-graditeljskog konteksta i autentičnog umetničkog shvatanja onog vremena [7, 9]. Početkom novog milenijuma intenzivno se razvijaju strategije zaštite arheoloških lokaliteta i formiranje šeltera nad njima.

Šelter na arheološkom lokalitetu predstavlja strukturu koja treba da zadovolji osnovne, ali i složene zahteve konzervacije iskopina, njihove interpretacije i prezentacije „in situ“ [2]. Obzirom da se radi o međusobno oprečnim projektnim uslovima, očigledna je složenost postavljenog zadatka. Uputstva kako planirati šelter na arheološkom lokalitetu sa mozaicima, uradile su kolege sa Conservation Department of the Israel Antiquities Authority u saradnji sa Getty Conservation Institute i English Heritage [9]. Metodologija koja je razvijena kroz zajednički projekat podrazumeva „rapid assesment“ (brzu procenu) stanja mozaika i uticaj konstrukcije na mozaike kroz kontinuirano praćenje [1, 2, 7, 9]. Pri tome je ustanovljen standardni upitnik - anketa o stanju lokaliteta, na osnovu koga se dolazi do relevantnih podataka [2].

U radu je korišćen upitnik-anketa o stanju lokaliteta [2], pri čemu su elementi iskazani u odgovorima upitnika korišćeni u metodi za procenu efikasnosti postojećih zaštitnih konstrukcija u odnosu na ocenu promenjenih uslova na samom lokalitetu. Cilj rada je evaluacija efikasnosti šeltera na objektima u Srbiji primenom novog pristupa.

2. ZAŠTITNA KONSTRUKCIJA I OCENA NJENOG UTICAJA NA ISKOPINE

Osnovni uslovi od značaja koje treba da zadovolje zaštitne konstrukcije pre svega su saglasnost sa karakteristikama samog lokaliteta (istorijski period arheoloških ostataka, karakteristike materijala i strukture koje treba zaštititi, optimalni mikroklimatski uslovi za rad na konzervaciji i očuvanju iskopina), geomorfološke karakteristike bliže okoline lokaliteta (reljef, pošumljenost, blizina rečnih tokova/mora/jezera), koncept prezentacije lokaliteta široj javnosti (eduaktivni, naučno-istraživački, turistički, marketinški), vreme trajanja zaštitne konstrukcije.

Još uvek ne postoji definisane smernice za usvajanje određenog konstruktivnog koncepta u zavisnosti od prethodno pomenutih najbitnijih

uticajnih faktora [2, 6, 7 ,8]. Arhitekti imaju slobodu izbora u konstruktivnom pogledu zavisno od raspona zaštitne konstrukcije, dok se u pogledu pokrивnih materijala nameću dve oprečne mogućnosti koje su neraskidivo povezane sa usvojenim sistemom noseće konstrukcije: tradicionalni i inovativni.

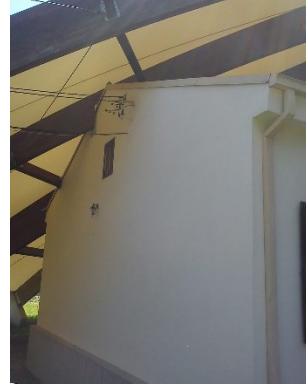
Ove konstrukcije treba da zadovolje stroge zahteve zaštite lokaliteta od destruktivnih meteoroloških uticaja za duži niz godina. Direktni kontakt otkrivenih arheoloških ostataka sa kiseonikom, sunčevom radijacijom i novonastalim - promenjenim uslovima vlažnosti može izazvati raznovrsna oštećenja. Meteorološki uzroci koji mogu dovesti do oštećenja su: kiša (mehanički udar kapljica i hemijsko rastvaranje materijala na iskopinama), vetar (mehanički pritisak i abrazija površina), sunčevi zraci (termičko širenje i razlika u dilatacijama osunčanih i neosunčanih delova u senci), ultravioletno zračenje sunca (oštećenja boja i pigmenata), učestali ciklusi isparavanja/kondenzacije (kristalizacija soli u materijalu i njihovo delovanje na površine iskopina), mraz (razaranje skupljanjem i kravljenjem naročito vlažnih i vodom zasićenih površina). Tipična patologija oštećenja povezana je sa prisustvom vode od padavina ili kondenzata u kojoj se rastvaraju agresivne materije, pre svega soli koje hemijski razaraju materijale.

Uslovi projektnog zadatka treba da sadrže i kriterijume koje moraju da zadovolje ove strukture u pogledu ventilacije koja će sprečiti kondenzaciju u periodu oktobar-maj i snižavanje zagrevanja usled sunčeve radijacije u periodu maj-oktobar, kao i prirodno osvetljenje koje ne menja sunčev spektar. U konstruktivnom smislu ove strukture moraju biti stabilne za sva poznata opterećenja i spoljašnje uticaje, što manje težine, da se jednostavno održavaju, uz primenu savremenih i unapređenih materijala, sa mogućnošću demontaže i ponovne montaže na drugoj lokaciji, kao i da omogućuju adaptabilnost funkcionalog rasporeda, uz neophodan uslov da je budžet za njihovu izgradnju u složenim uslovima što niži.

Nakon izrade projekta neophodna je i procena uticaja zaštitne konstrukcije na okolinu i objekte na samom lokalitetu kako bi se izbegli negativni uticaji i oštećenja od povećane vlažnosti, termičkih dilatacija i kondenzacije, zagrevanja radijacijom, smrzavanja kao i fotometrijski aspekt, što se čini ocenom stanja-popunjavanjem upitnika. Trenutno, instrumentalno praćenje najbitnijih faktora uticaja na istorijske ostatke vrši se jedino u šelteru na lokalitetu Drenovac kod Paraćina (meteorološka stanica sa data logerom koja prati i beleži temperature i vlažnost vazduha na lokalitetu u nekoliko visinskih zona). Ocena stanja se u suštini oslanja na objektivnost i sposobnost zapažanja i komparacije makroskopski uočenih promena u odnosu na prethodno opaženo stanje, što u metodama evaluacije ne mogu biti apsolutno verodostojni podaci.

3. ZAŠITNE KONSTRUKCIJE NA LOKALITETIMA U SRBIJI

Tabela 1. Identifikaciona karta "Vila sa peristilom" na Medijani

ARHEOLOŠKI OSTACI	<u>Arheološki lokalitet</u> Medijana kod Niša, Srbija	 Fotografija.1 Unutrašnji izgled  Fotografija 2. Spoljašnji izgled
	<u>Karakteristike lokaliteta</u> Antičko naselje podignuto u blizini Niša prvi put se pominje u IV veku n.e. proglašeno je za nepokretno kulturno dobro izuzetnog značaja. Najveći procvat doživelja je u vreme imperatora Konstantina Velikog. Naselje je poznato po rezidencijalnim objektima, a u sklopu kompleksa su i terme, kao i prateći objekti sa garnizonom, poslugom...	
	<u>Identifikacija arheoloških ostataka</u> Najznačajniji objekat na lokalitetu Medijana je Vila sa peristilom, koja je u toku 2014.godine većim delom pokrivena zaštitnom konstrukcijom.	
	<u>Period</u> Kraj III i IV vek n.e.	
ZAŠTITNA KONSTRUKCIJA	<u>Iskopavanja i radovi na konzervaciji</u> Prvi registrovani podaci o ostacima mozaika i zgrada potiču od Feliksa Kanica sa kraja XIX veka, a prva sistematska iskopavanja započeta su 30-ih godina XX veka Sistematska iskopavanja nastavljena 1959., 1979., 2011., završena 2015.	 Fotografija 3. Preklapanje dveju konstrukcija ("stare" i "nove")
	<u>Tip</u> Šelter-Hibridna zaštitna konstrukcija Izgrađen iznad arheoloških ostataka.	
	<u>Arhitekta / Projektantska kuća</u> Mile Veljković, dipl. inž. arh. /Zavod za zaštitu spomenika kulture Niš (faza arhitekture), Mr Dragan Zlatkov, dipl. inž. građ. /ProjektInženjering Niš (faza konstrukcije).	
	<u>Godina gradnje</u> Započeto 2013. godine, nedovršeno	<u>Raspon i pokrivena površina</u> $L=72,5m, P=10.000m^2$
<u>Namena i svrha</u> Zaštita od atmosferskih uticaja (sunce, kiša, sneg). Nastavak radova na konzervaciji mozaika, prezentacija javnosti.		
<u>Principi i projektni zadatak</u>		

	<p>Projektni zadatak zasnovan je na ideji primene vrlo plitke lučne konstrukcije od lepljenog lameliranog drveta sa pokrivačem od tekstilne membrane i otvorenim bočnim stranama zbog prirodnog provetrvanja.</p> <p><u>Konstruktivni sistem i materijal</u> Plitak lučni sistem raspona 72,5m sa lukovima na rastojanju e=5m, b/h=18/150cm Lepljeno-lamelirano drvo sa segmentima povezivanim metalnim konektorima - papučama u trećinama raspona. Pokrivač poliesterska membrana sa PVC zaštitnim slojevima d=1mm. Severni i južni kupolasti delovi nezavršeni, nenatkriveni. Konstruktivno povezani polulukovi u kalotu severnog dela preko metalnih spojnica-konektora u temenu prvog luka.</p>
	<p><u>Projektni zahtevi za kontrolu mikroklimatskih parametara</u> Nema podataka.</p>
	<p><u>Praćenje unutrašnjih / spoljašnjih mikroklimatskih parametara</u> Pilot projekat Centralni institut za konzervaciju iz Beograda od jula 2016. prati temperature i vlažnost zemljišta u sondi neposredno ispod mozaika u severo-zapadnom delu Vile.</p>
	<p><u>Problemi konzervacije i mogući uzroci</u> Prezentacija mozaika nije dopuštena od strane Republičkog zavoda za zaštitu spomenika kulture dok se ne stvore uslovi za to: izmeštanje ventilacionih otvora sa kojih se dešava da voda kaplje na mozaike u peristilu Vile, pokrivanje severnog dela kupole i njene čeone severne fasade, čime se štite mozaici svečane dvorane i bočnih sala za gozbe i sprečavanje prodora atmosferilija izradom bočnog severo-zapadnog zida. Inspekcijom uticaja došlo se do osmotrenih štetnih uticaja (vetra, prokapavanja sa ventilacionih otvora i kondenza sa membrane i metalnih delova na konstrukciji, kao i navejavanja i naduvavanja kiše i snega kroz bočne i čeone strane). Nabrojani štetni uticaji moraju biti otklonjeni da ne bi došlo do devastacije mozaika i freski i da bi mogli biti dostupni javnosti. Do konačnog završetka konstrukcije, mozaici ostaju pokriveni peskom.</p>
	<p><u>Modifikacije zaštitne structure da ublaži problem</u> Nije planirana modifikacija</p>
	<p><u>Klimatski uslovi na lokalitetu [5]</u> Niš je u području kontinentalne klime (izražena sva četiri godišnja doba) sa tendencijom rasta srednje godišnje temperature i izraženim ekstremnim temperturnim razlikama, kao i izraženim padavinama u kratkom vremenskom periodu, što je posledica globalnih klimatskih promena. Hidrometeorološka statistika je na osnovu merenja na stanicu u Tvrđavi između 1951-2014. i biće prikazani podaci za 2014. godinu: srednja godišnja temperatura bila je 13,0°C, što predstavlja ekstremno toplu kategoriju. Najniža srednja temperatura zabeležena je u decembru 2,8°C (hladno), a najviša srednja mesečna temperatura bila je u julu 22,3°C (toplo). Vrednost sunčevog zračenja je 91-100% normalnog zračenja i to 1900-2000 sati osunčanja godišnje. Osrednjene godišnje količine padavina u Nišu su 2014. bile ekstremno visoke 950,2mm (lit/m²), dok je najsušniji period zabeležen u februaru 6,5 mm (ekstremno sušno), a najviše kišnog taloga zabeleženo je u maju (177,1mm-ekstremno kišno). Najveća zabeležena brzina vетра bila je 23,1 m/s a najveća osrednjena brzina veta za Niš je 19m/s. (Godišnji bilten RHMZ).</p>

U Srbiji postoji veliki broj arheoloških nalazišta (189) koja su proglašena za nepokretna kulturna dobra. Kulturnim dobrom od izuzetnog značaja proglašeno je 19 lokaliteta, a samo 25 ima status kulturnog dobra velikog značaja [8]. Zatvorene zaštitne strukture trajnog karaktera, izgrađene su na samo pet lokaliteta u poslednjih četrnaest godina: Lepenski Vir kod Majdanpeka, Drenovac kod Paraćina, Sirmijum kod Sremske Mitrovice, Viminacijum kod Starog Kostolca i Medijana kod Niša [6].

Na osnovu odgovora iz standardnog anketnog upitnika [2] sastavljene su identifikacione karte zaštitnih konstrukcija pomenutih lokaliteta, a u Tabeli 1 data je Identifikaciona karta za lokalitet Medijana kod Niša.

Iz dostupnih podataka za šelttere u Srbiji dati su orijentacioni podaci u Tabeli 2 [6].

Tabela 2. Protective structures of arheological sites and their budget for roof-bearing structure and completed structure

Site	Year of construction	Covered Protected Area	Maximal span	Price for completed construction	Price of a load-bearing roof structure without roof covering ³	Approximate price per m ² for completed construction
		m ²	m	Euro	E/m ²	E/m ²
Lepenski vir	2011	3500	50	3,500,000		1000
Carska palata Sremska Mitrovica	2006	2350	26	1,204,819	50	513
Viminacijum - Mauzolej	2004	900			47	783
Terme Stari Kostolac	2004	1750		1,369,863	25	
Medijana Niš	2014	10000	72.5	1,358,333	105	136

³ Podaci dobijeni od izvođača radova „Piramida“ iz Sremske Mitrovice za izrađenu krovnu konstrukciju bez zaštitnih premaza i krovnog pokrivača

4. EVALUACIJA ZAŠTITNIH KONSTRUKCIJA

U saradnji sa arheologima, arhitektima, konzervatorima i inženjerima drugih oblasti, građevinski inženjeri osiguravaju izgradnju zaštitnih konstrukcija koje treba da budu funkcionalne, sigurne za upotrebu i održive. Uobičajeni očekivani upotrebni vek zaštitnih konstrukcija je 50 godina što je daleko ispod traženog nivoa. Promena u pristupu projektovanja, građenja i održavanja zaštitnih konstrukcija je neophodna.

Planski i sistematski pristup u procesu zaštite arheoloških lokaliteta u svetu postaje sve značajniji. Zbog toga adekvatna procena aktuelnog stanja uspostavlja neophodne zahteve evaluacije arheoloških nalazišta i njihovih zaštitnih konstrukcija.

Empirijski modeli i ekspertsко prosuđivanje (Rapid Assessment Metod [1,2,7,8,9]), osnova su za većinu dosadašnjih analiza u fazi do-nošenja odluka, što u metodama evaluacije zaštitnih konstrukcija ne mogu biti apsolutno verodostojni podaci. Iz tog razloga razvijen je koncept novog pristupa primenom teorije verovatnoće, modifikovane stohastičke metode [3,4], kojom se kvantifikuje evaluacija zaštitnih konstrukcija i njihovog uticaja na iskopine, što je prezentovano u ovom radu.

Metoda klasificiše dva različita skupa elemenata koji se vrednuju.

Prvi skup čine elementi zaštitne konstrukcije, postojanje i efikasnost drenažnih sistema (krovne, površinske i drenaže loka-liteta), efikasnost toplotne izolacije, tip i prikladnost ventilacionog sistema. Elementi ovih grupa, kvantifikuju se odgovarajućom ocenom sa trostepene stale, a ukoliko ih nema ili su suvišni vrednuju se ocenom 0. Stanje konstitutivnih materijala zaštitne konstrukcije ocenjuje se petostepenom skalom (u dobrom stanju, izložen, napadnut, oštećen i stradao od starosti). Takođe, u prvom skupu vrednuje se da li postoji povišena vlažnost unutar zaštitne strukture i koji su izvori te povišene vlažnosti, kao i da li je klima stabilna u zaštitnoj konstrukciji. Uticaji koji se ocenjuju su: Prodor kišnice (curenje u krovu, neadekvatne bočne strane-fasade), Povećana vlažnost (neadekvatna drenaža lo-kaliteta), Prodor vlage iz zemlje, Površinska kondenzacija (hlađenje noću zbog nedostatka izolacije), Apsorpcija vlage od strane hidroskognog materijala, Oticanje vode u donje slojeve tla (čupanje drveća-bubrenje gline zbog natapanja), Solarna radijacija (transparentne fasade ili odsustvo bočnih strana), Povišena toplota u zaštitnoj konstrukciji-nedostatak toplotne izolacije, Oscilacije temperature i relativne vlažnosti, Ciklusi vlaženja i sušenja, Smrzavanje (nema izolacije ili je loša), Kristalizacija rastvorljivih soli, Preterano jak protok vazduha (brzo isparavanje), Nedovoljna ventilacija / ustajao vazduh, Aktivna prinudna - mehanička ventilacija.

Ocenjuje se i da li zaštitna konstrukcija strada od upada ptica, insekata (osa, paukova, glodara (miševa, pacova, jazavaca), ljudi, mikrobiološke vegetacije (alge, plesni, lišajevi, mahovine) i vegetacije (trave, druge drvenaste biljke). Takođe vrednuje se da li postoji monitoring zaštitnog učinka strukture praćenjem unutrašnje sredine, spoljašnjeg okruženja, ispitivanja stanja istorijskih ostataka i poređenje trenutnog stanja sa stanjem na istorijskim (ranijim) fotografijama, kao i merenje vlažnosti i temperature vazduha i zemljišta. Ovi uticaji ocenjuju se petostepenom skalom (nikad, retko, ponekad, vrlo često i uvek). Takođe, petostepenom skalom vrednuje se procena efikasnosti zaštitne konstrukcije u zaštiti istorijskih ostataka i ublažavanja rizika iz životne sredine.

Drugi skup elemenata koji se vrednuju je stanje iskopina pod zaštitnom konstrukcijom. Šta su istorijski ostaci ispod zaštitne zatvorene konstrukcije i koja je njihova učestalost kvantifikuje se faktorom učešća zavisno od procenta zastupljenosti mozaika, fresaka, maltera, kamenih, zemljanih (tugla, opeka) i urušenih struktura na lokalitetu. Stanje pokrivenih ostataka - ruina ocenjuje se petostepenom skalom (u dobrom stanju, izložen, napadnut, oštećen i stradao). Za mozaike, freske i ostale strukture fenomen pogoršanja stanja (deterioracije) i ozbiljnost pogoršanja ocenjuje se petostepenom skalom (veoma ozbiljan, ozbiljan, umereno ozbiljan, blago pogoršanje i veoma blago pogoršanje, a ako ne postoji ocena je 0).

Kod mozaika ocenjuju se pogoršanja čiji je uzrok: Odvajanje (otpadanje) i ispupčenost tessellatum-a, Depresija tessellatum-a, Pukotine, Odvajanje-otpadanje tessarae, Oštećenje tesserae (polomljene, sljuštene...), Izbijanje sonih kristala na površini (eflorescencija), Vegetacija, Mikrobiološki organizmi, Promena boje, Depozit.

Kod fresaka se ocenjuju pogoršanja čiji je uzrok: Gubitak slojeva maltera, Dezintegracija slojeva maltera, Pukotine/naprslne, Gubitak slojeva boje, stvaranje mehura i ljuštenje (Inkrustacija), Izbijanje sonih kristala na površini (eflorescencija), Kristalizacija soli u unutrašnjosti materijala (subflorescence), Unakaženost i gubitak boje, Razvoj gljivica i plesni, Taloženje karbonatnog depozita, Erozija površine, Prisustvo praznina.

Kod ostalih struktura ocenjuje se: Erozija tla ispod temelja, Površinska erozija, Gubitak blatnog maltera, Formiranje strukturnih pukotina, Formiranje pukotina, Izbijanje sonih kristala na površini (eflorescencija), Kristalizacija soli u unutrašnjosti materijala (subflorescence), Prisustvo praznina, Razvoj gljivica i plesni, Formiranje glinene kore, Otpadanje slojeva maltera, Gubitak slojeva maltera.

Vizuelnim pregledima identifikuju se oštećenja i na osnovu utvrđenog stanja inspekcijskim pregledom određuje se ocena stanja koja se unosi u formiranu bazu podataka. Ocena stanja opisuje ozbiljnost i stepen oštećenja. Svaka od navedenih opisnih ocena kvantifikovana je odgovarajućom numeričkom vrednošću.

Inspekcijski pregledi obavljaju se na 5 godina, mada u nekim slučajevima mogu biti potrebni pregledi i u kraćem vremenskom periodu. Za novoizgrađene objekte interval između puštanja u rad i prvog pregleda može biti i 10 godina [3,4].

Inspekcijski podaci kao što je klasa stanja, preporučena intervencija, obim oštećenja, detalji pojedinačnih oštećenja sakupljaju se za svaki nivo hijerarhije, a inspekcijski izveštaji se generišu za sve obavljene pregledе.

Prognoza utvrđivanja stanja proračunava se u okviru teorije verovatnoće uz pomoć Markovljevih lanaca, koji su definisani za svaki tip elemenata i vrstu oštećenja. Delovi istog elementa koji su podvrgnuti istom procesu pogoršanja stanja mogu se ponašati različito. U cilju sagledavanja ove razlike, svakom segmentu se pripisuje "indikator uticaja" (povoljan, prosečan i nepovoljan na skali od 1 do 5), zavisno da li segment ima sporo, umereno ili brzo pogoršanje stanja. Efekat indikatora uticaja uvodi se dodavanjem tzv. "matrice uticaja" u matricama verovatnoće prelaza Markovljevog lanca [3, 4].

Teorija stohastičkih procesa sve više se koristi u primjenjenom inženjerstvu i drugim primjenjenim naukama. Upotreba stohastičkih modela značajno doprinosi na polju modeliranja pogoršanja stanja infrastrukture, zbog izuzetno visoke neizvesnosti i slučajnosti koje karakterišu proces pogoršanja stanja konstrukcija. Najčešće korišćena tehnika za predviđanje stanja infrastrukture je model Markovljevih lanaca⁴.

Jedna od najpopularnijih stohastičkih tehniki dobijenih iz operacionih istraživanja je Markovljev proces odlučivanja, koja se danas uspešno primenjuje u proceni stanja mostovskih konstrukcija (2). Ovaj proces koristi se za razvijanje stohastičkih modela utvrđivanja stanja za različite infrastrukturne objekte. Primenom ove metode izvršena je procena uticaja zaštitnih konstrukcija na arheološki lokalitet na kome je podignuta i evaluacija poboljšanja uslova na očuvanju iskopina, stvaranju uslova za njihovu bolju prezentaciju stručnoj i širokoj javnosti, kao i radova na njihovoj konzervaciji. U Tabeli 2 dati su preliminarni rezultati na osnovu dva inspekcijska pregleda :

⁴ Андрей Андреевич Марков (14. 06. 1856. –20. 07. 1922.) bio je Ruski matematičar i član Ruske akademije nauka. Najpoznatiji je po svojim istražvanjima u teoriji stohastičkih procesa, koja su posle postala poznata kao Markovljevi procesi

Tabela 3 Preliminarni rezultati ocene stanja arheoloških lokaliteta u Srbiji sa zaštitnim konstrukcijama (bezdimenzionalni indeks - veći broj=lošije stanje)

	Lokalitet-Shelter	Archeological Site Health Index
1	Mediana -Vila sa peristilom	157
2	Drenovac-Slatina Turska česma	110
3	Viminacijum-Severna kapija	65
4	Viminacijum-Terme	65
5	Viminacijum-Mauzolej	64

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu predložene metode, formirana je precizna baza podataka koja se može učiniti dostupnom projektantima i investitorima. Na taj način unapređuje se njihova obostrana pozicija u pogledu funkcionalnog i konstrukcijskog oblikovanja, primene odgovarajućih materijala, kao i daljeg praćenja efekata na spomenike koji se štite. Rezultati evaluacije ukazuju na šeltore čiji uticaj na zaštitu kulturno-istorijsog nasleđa treba poboljšati preduzimanjem odgovarajućih mera zavisno od analiza sadržanih u novoformiranim bazama podataka.

6. LITERATURA

- [1] Briones Cabello: *A Methodological Approach to Evaluate Shelter Effectivness For The Conservation of Archeological Sites*, 2013 Taylor&Frencis Group London, ISBN 978-1-138-00009-4, p.41-44
- [2] Cetin Yaka: *"Architectural design characteristics of protective structures at archaeological sites and their impact on conservation of remains"*, PhD tezis, Izmir Institute of Technology, Izmir 2013
- [3] Collines, L.: *"An introduction to Markov Chain Analysis"*, CATMOG, Geo Abstracts Ltd. University of East Anglia, Norwich, 1972.
- [4] Gligorijević M. Milan: *"Optimization of Bridge Management Sistem"*, doctoral dissertation, University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Niš 2016.
- [5] Godišnji bilten za Srbiju 2014., RHMZ Srbije, 2015.
- [6] Kostić D, Milošević V, Đurić-Mijović D, Cilić A: Modern Fabric Structures for Protection of Archeological Sites, MASE Simpozijum 2015.

- [7] Stewart J, Neguer J, and Demas M: *Assessing the Protective Function of Shelters over Mosaics*, IX conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics, Tunisia, 2005.
- [8] Vasić-Petrović E, Momčilović-Petronijević A: *Shelters For Archaeological Sites In Serbia: A Research Aiming To Develop Guidelines For Future Design And Construction*, Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering, Vol.13, No.2015, pp.113-121
- [9] Yael Alef: *A Guide to Planning Shelters Over Archaeological Sites and Over Mosaics*, Conservation Department of the Israel Antiquities Authority, 2013.

UPOREDNA ANALIZA PONAŠANJA ŠIPA KONAČNE KRUTOSTI NUMERIČKOM METODOM PO TEORIJI PRVOG I DRUGOG REDA

Miloš Milić¹, Todor Vacev², Nikola Romić²⁴,
Andrija Zorić²⁴, Stepa Paunović²⁴, Ivan Nešović²⁴

Rezime

U slučajevima kada plitko fundiranje nije moguće, upotrebljavaju se drugi oblici fundiranja od kojih je jedan od najefikasnijih temeljenje na šipovima. Šipovi su se pokazali kao dobro rešenje i za prijem poprečnih opterećenja, što je veoma značajno kod izgradnje mostova. U radu je obrađen slučaj stojećeg šipa velike dužine, opterećenog vertikalnom i horizontalnom silom i momentom savijanja, sa uvođenjem povećanja bočnih pomeranja usled podužnih opterećenja, odnosno efekta drugog reda. Uticaj okolnog tla na šip je uzet u obzir usvajanjem odgovarajućeg koeficijenta reakcije tla.

Ključne reči: numeričko modeliranje, poprečno opterećeni šipovi, teorija drugog reda, Winkler-ov model tla.

1. UVOD

Šipovi su jednodimenzionalni elementi koji mogu biti izrađeni u tlu ili se kao gotovi elementi ugrađuju u tlo. Temelji na šipovima su vrsta dubokih temelja čija je svrha prenos opterećenja u dublje slojeve tla, kada tlo na maloj dubini nema dovoljnu nosivost.

Posmatrano sa strane modeliranja i proračuna, šip je element u sistemu konstrukcija – tlo. Najstariji način opisivanja ponašanja tla je modeliranje tla nezavisnim oprugama konstantne krutosti (*Winkler*). Ovaj model je do sada najprimenjiviji u praksi zbog svoje jednostavnosti i velikog iskustva u primeni modela na različitim inženjerskim problemima [1].

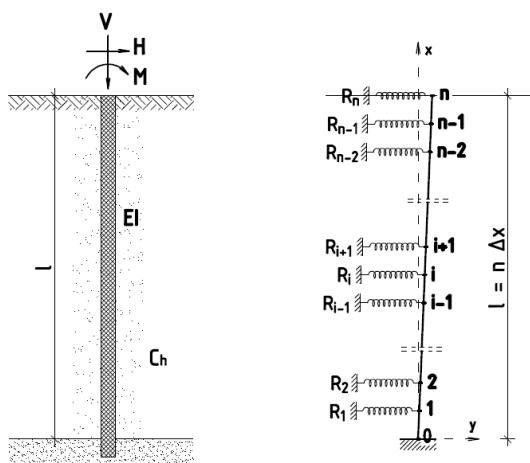
¹ Master inž. građ, PhD student, Građevinsko – arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija

² PhD, vanredni profesor, Građevinsko – arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija

U opštem slučaju, šip može biti opterećen kosom silom i momentom. Rastavljanjem sile na komponente se u praksi analiza svodi na odvojene probleme poduzno i poprečno opterećenog šipa. Međutim, ako se u proračun poprečne deformacije šipa uvrsti i uticaj poduzne komponente sile, dobija se proračun po teoriji drugog reda koji je za stepen složeniji.

2. MATEMATIČKI MODEL SISTEMA ŠIP-TLO

Posmatra se šip krutosti EI , koji prolazi kroz sloj stišljivog tla debeline l , koeficijenta stišljivosti C_h i odstupa od vertikale za vrednost y_{max}^{imp} u najvišoj tački. Vrh šipa se nalazi u steni i za nju je čvrsto vezan (slika 1). Za proračun deformacije se uzima samo uticaj momenta savijanja.



Slika 1 – Diskretizacija modela i uvođenje zamenjujućih opruga

Proračun numeričkom metodom zahteva podelu šipa na n jednakih delova. U zavisnosti od toga kolika se tačnost rezultata želi postići, odabira se njihov broj. Na osnovu prethodnih uslova za primer u radu uzeto $n = 500$.

Usled grešaka u izvođenju šipova nastaje odstupanje osovine šipa sa teorijskom osovinom (vertikalnom). Kako bi se na što jednostavniji način ove nesavršenosti uzele u proračun uvodi se dozvoljeno početno odstupanje vrha u odnosu na vertikalu koja prolazi kroz glavu šipa (y_{max}^{imp}). Pod prepostavkom da osovina štapa prati pravu liniju, i da je

argument funkcije celobrojni umnožak dužine segmenta, mogu se pisati jednačine:

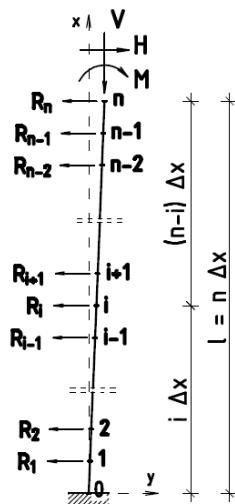
$$x = i \Delta x = i \frac{l}{n} \quad (1)$$

$$y^{imp}(x) = p x. \quad (2)$$

Korišćenjem graničnih uslova $y^{imp}(0) = 0$ i $y^{imp}(l) = y_{max}^{imp}$ određuje se nepoznati parametar p i dobija veličina odstupanja i -tog čvora:

$$y^{imp}(x) = y_{max}^{imp} \frac{x}{l} = y_{max}^{imp} \frac{i \Delta x}{n \Delta x} = y_{max}^{imp} \frac{i}{n}. \quad (3)$$

3. IZVOĐENJE OSNOVNE JEDNAČINE



Slika 2 - Statički sistem sa opterećenjem

Posmatrajući konzolu sa spoljnim i reaktivnim opterećenjem može se napisati jednačina za moment u čvoru i redukcijom odozgo:

$$M_i = M + H \Delta x (n - i) + V (y_n^{ukup} - y_i^{ukup}) - \sum_{m=i}^n R_m \Delta x (m - i) \quad (4)$$

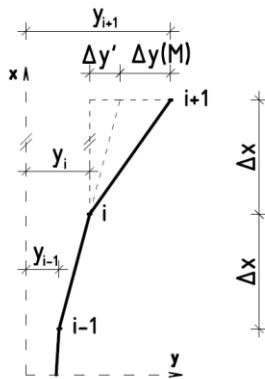
U jednačini su:

- y_n^{ukup} , y_i^{ukup} ukupna odstupanja čvorova n i i od pravca x ;
- $\sum_{m=i}^n R_m \Delta x (m - i)$ moment usled reakcije tla iznad čvora i ;
- $R_m = C_h d \Delta x y_m$ reaktivna sila po *Winkler*-ovom modelu;
- d prečnik šipa.

Jednačina deformacije štapa se dobija računanjem pomeranja čvora $i + 1$, znajući pomeranje, nagib tangente elastične linije i veličinu momenta u čvoru i . Ako su pomeranja čvorova $i - 1$ i i poznata i iznose redom y_{i-1} i y_i , moguće je napisati relaciju za pomeranje y_{i+1} (slika 3):

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y'_{i+1} + \Delta y_{i+1}(M). \quad (5)$$

Priraštaj pomeranja je jednak zbiru prethodnog priraštaja i dodatnog priraštaja od momenta. Ukoliko je moment u čvoru i jednak nuli, to mesto će biti prevojna tačka.



Slika 3 – Određivanje priraštaja pomeranja za čvor $i + 1$

Vrednost $\Delta y'_{i+1}$ se može odrediti kao razlika dva prethodna poznata pomeranja, odnosno:

$$\Delta y'_i = y_i - y_{i-1}. \quad (6)$$

Dodatni priraštaj je u ovom izvođenja razmatran samo pod uticajem momenta savijanja. Za tačnije analize je potrebno uračunati i uticaj transverzalne sile. Kod štapova opterećenih pretežno na savijanje, deformacija od momenta čini najveći deo ukupne poprečne deformacije, tako da je zanemarivanje ostalih uticaja opravdano.

Ukoliko se posmatra i -ta elementarna konzola dužine Δx , opterećena momentom M_{i+1} na slobodnom kraju, koristeći princip virtualnih sila i princip superpozicije, može se dobiti ugao obrtanja slobodnog kraja, odnosno priraštaj ugla između čvorova i i $i + 1$:

$$\Delta\varphi_{i+1} = \frac{M_{i+1} \Delta x}{EI}. \quad (7)$$

Pod pretpostavkom o malim uglovima ($\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi = \varphi$), dodatni priraštaj $\Delta y_{i+1}(M)$ je moguće dobiti množenjem prethodnog izraza sa Δx :

$$\Delta y_{i+1}(M) = \Delta\varphi_{i+1} \Delta x = \frac{M_{i+1} \Delta x^2}{EI}. \quad (8)$$

Zamenom jednačina (6) i (8) u jednačinu (5) izvodi se veza između pomeranja tri uzastopna čvora:

$$y_{i+1} - 2 y_i + y_{i-1} - \frac{M_{i+1} \Delta x^2}{EI} = 0. \quad (9)$$

Jednačinu je, uz uvrštenje relacija (4) i (3) i vodeći računa o numeraciji čvorova, potrebno napisati u obliku koji je pogodan za građenje matrica, tako da relacija (9) postaje:

$$\begin{aligned} & y_{i+1} - 2 y_i + y_{i-1} + \frac{\Delta x^2}{EI} V y_{i+1} - \frac{\Delta x^2}{EI} V y_n + \\ & + \frac{C_h d \Delta x^4}{EI} \sum_{m=i+1}^n y_m (m - i - 1) + y_{i+1} - 2 y_i + y_{i-1} + \\ & + \frac{\Delta x^2}{EI} V y_{i+1} - \frac{\Delta x^2}{EI} V y_n + \frac{C_h d \Delta x^4}{EI} \sum_{m=i+1}^n y_m (m - i - 1) - \end{aligned}$$

$$-\frac{\Delta x^2}{EI} \left[M + H \Delta x (n - i - 1) + V y_{max}^{imp} \left(1 - \frac{i+1}{n} \right) \right] = 0 \quad (10)$$

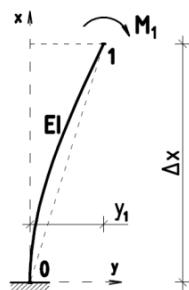
Ako se konstanta uz y_{i+1} i y_n označi sa a , konstanta uz sumu sa b , a slobodan član sa g_{i+1} , prethodna jednačina prelazi u oblik:

$$y_{i+1} - 2 y_i + y_{i-1} + a y_{i+1} - a y_n + \\ + b \sum_{m=i+1}^n y_m (m - i - 1) + g_{i+1} = 0 \quad (11)$$

Jednačina se može napisati za $i = 1, n - 1$, dok je za $i = 0$ i $i = n$ to nemoguće, jer ne postoji prethodni, odnosno sledeći čvor.

4. GRANIČNI USLOV I MATRIČNA JEDNAČINA

Uslovna jednačina za $i = 0$ se može napisati posmatrajući prvu konzolu ($0 - 1$). Pomeranje y_1 se dobija kao ugib slobodnog kraja, ukoliko je konzola opterećena samo momentom savijanja na tom mestu.



Slika 4 - Prva konzola ($0 - 1$)

Koristeći princip virtualnih sila za određivanje ugiba, i uslov da je čvor $i = 0$ nepomerljiv ($y_0 = 0$) dobija se:

$$y_1 = \frac{M_1 \Delta x^2}{2 EI} \quad (12)$$

odnosno, kada se jednačine (4) i (3) uvrste u jednačinu (12), izvodi se izraz:

$$y_1 + \frac{\Delta x^2}{2EI} V y_1 - \frac{\Delta x^2}{2EI} V y_n + \frac{C_h d \Delta x^4}{2EI} \sum_{m=1}^n y_m (m-1) - \\ - \frac{\Delta x^2}{2EI} \left[M + H \Delta x (n-1) + V y_{max}^{imp} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right] = 0 \quad (13)$$

Kao i kod osnovne jednačine, članove uz nepoznate i sloboden član je potrebno obeležiti radi skraćenog pisanja. Može se primetiti da se za razliku od jednačine (10), u jednačini (13) umesto konstanti a i b i slobodnog člana g_{i+1} javljaju njihove polovine. Stoga, relacija (13) postaje:

$$y_1 + \frac{a}{2} y_1 - \frac{a}{2} y_n + \frac{b}{2} \sum_{m=1}^n y_m (m-1) + \frac{g_1}{2} = 0 \quad (14)$$

Sistem jednačina (11) i (14) se može napisati u matričnom obliku za $i = 0, n-1$, s tim da je članove uz nepoznate pogodno razvrstati u četiri matrice, tako da se njihovim sabiranjem dobija matrica sistema. Za primer je uzet slučaj $n = 10$.

U prvu komponentalnu matricu (osnovna matrica deformacije) se mogu uvrstiti koeficijenti prva tri člana osnovne jednačine (11):

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & & & \\ -2 & 1 & & & & & & & & & & \\ 1 & -2 & 1 & & & & & & & & & \\ & 1 & -2 & 1 & & & & & & & & \\ & & 1 & -2 & 1 & & & & & & & \\ & & & 1 & -2 & 1 & & & & & & \\ & & & & 1 & -2 & 1 & & & & & \\ & & & & & 1 & -2 & 1 & & & & \\ & & & & & & 1 & -2 & 1 & & & \\ & & & & & & & 1 & -2 & 1 & & \\ & & & & & & & & 1 & -2 & 1 & \\ & & & & & & & & & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Druga i treća matrica treba da sadrže koeficijente koji uvode uticaj vertikalne sile na poprečnu deformaciju (matrice drugog reda):

$$[\mathbf{B}] = \begin{bmatrix} 0.5 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & \\ & & 1 & & & & & \\ & & & 1 & & & & \\ & & & & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & \\ & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \alpha \quad (16)$$

$$[\mathbf{C}] = \begin{bmatrix} -0.5 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & \end{bmatrix} \alpha \quad (17)$$

Četvrta matrica je sagrađena od članova koji opisuju reakciju tla usled poprečnog pomeranja čvorova (matrica reakcije tla):

$$[\mathbf{D}] = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1.5 & 2 & 2.5 & 3 & 3.5 & 4 & 4.5 \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ & & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ & & & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & & & & & 1 & 2 & 3 & 4 \\ & & & & & & 1 & 2 & 3 \\ & & & & & & & 1 & 2 \\ & & & & & & & & 1 \end{bmatrix} b \quad (18)$$

Sabiranjem komponentalnih matrica sistema i formiranjem matrične jednačine dobija se sistem reda n :

$$([\mathbf{A}] + [\mathbf{B}] + [\mathbf{C}] + [\mathbf{D}]) \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ \vdots \\ y_{n-2} \\ y_{n-1} \\ y_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{g_1}{2} \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \\ \vdots \\ g_{n-1} \\ g_n \end{Bmatrix} = 0 \quad (19)$$

Ako se vektor nepoznatih pomeranja obeleži sa $\{\mathbf{y}\}$, a vektor slobodnih članova sa $\{\mathbf{g}\}$, sistem (19) se može predstaviti u jednostavnijem obliku:

$$([\mathbf{A}] + [\mathbf{B}] + [\mathbf{C}] + [\mathbf{D}]) \{\mathbf{y}\} + \{\mathbf{g}\} = 0 \quad (20)$$

Rešavanjem jednačine (20) dobija se n nepoznatih pomeranja.

Zamenom sračunatih pomeranja u relaciju (4) mogu se dobiti vrednosti momenata savijanja u čvorovima potrebnih za dalje dimenzionisanje šipa. Pomeranje $y_0 = 0$ nije ovim proračunom uvršteno u vektor $\{\mathbf{y}\}$, tako da ga treba naknadno dodati. Time se dobija niz veličina pomeranja čvorova od $n + 1$ članova ($i = 0, n$).

5. NUMERIČKI PRIMER

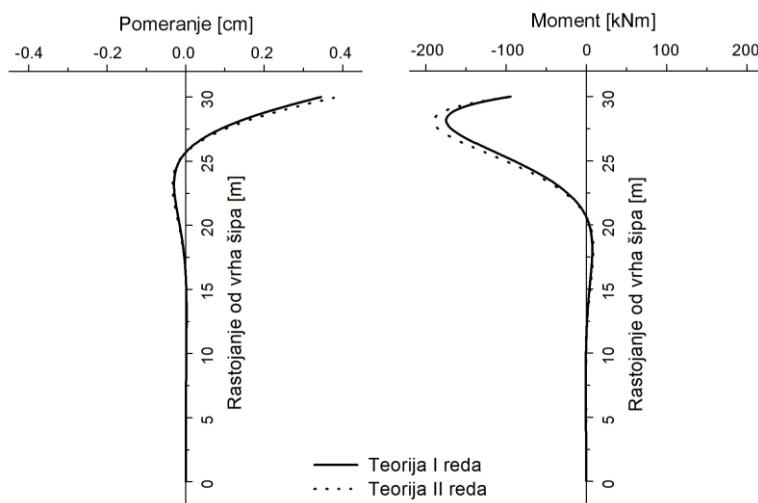
Za građenje i rešavanje matrične jednačine napisan je program u softveru *Mathematica 10.0*. Kao ulazne veličine su uzete sledeće vrednosti:

- dužina šipa od površine tla do uklještenja: $l = 30.0 \text{ m}$
- prečnik šipa: $d = 80 \text{ cm}$
- modul elastičnosti betona (MB 30): $E = 31.5 \text{ GPa}$
- odstupanje vrha (imperfekcija): $y_{max}^{imp} = l/200 = 15 \text{ cm}$
- broj segmenata: $n = 500$
- koeficijent reakcije tla (peskovita glina) [2]:
 $C_h = 2 \text{ m} (d + 1.0 \text{ m}) = 2 * 8000 * 1.80 = 28800 \text{ kN/m}^3$
- horizontalna sila u glavi šipa: 100 kN
- moment savijanja u glavi šipa: 100 kNm

Veličine pomeranja glave šipa i momenata savijanja su praćene u zavisnosti od vertikalne sile koja je intenziteta u opsegu $V = 0 \div 2500 \text{ kN}$. Rezultati su prikazani tabelarno i grafički. Za vrednost $V = 0$ proračun se poistovećuje sa teorijom prvog reda.

Tabela 1 – Pomeranja i momenti u šipu u zavisnosti od vertikalne sile

$V [\text{kN}]$	$M_{max} [\text{kNm}]$	$y_{max} [\text{cm}]$
0	174.4	0.345
500	177.4	0.353
1000	180.6	0.361
1500	183.7	0.369
2000	186.9	0.376
2500	190.1	0.384



Slika 5 – Veličine pomeranja i momenata u šipu za slučajeve $V = 0$ i $V = 2500 \text{ kN}$

6. ZAKLJUČAK

Pri proračunu šipa po teoriji drugog reda uočava se povećanje pomeranja i momenata. Najveće povećanje momenta iznosi:

$$\frac{M_{max}^{V=2 \text{ } 500} - M_{max}^{V=0}}{M_{max}^{V=0}} = \frac{190.1 - 174.4}{174.4} * 100 \% = 9.0 \% \quad (21)$$

U slučajevima kada je reč o jednostavnijim problemima zadatak je moguće rešiti analitičkim metodama. Međutim, ukoliko se u proračun uključi drugačija raspodela koeficijenta reakcije ili uzme u obzir složeniji model ponašanja tla, problem se do izvesne mere komplikuje što iziskuje upotrebu numeričkih metoda. Predloženi numerički postupak bi, uz dalja istraživanja, omogućio potpuno proizvoljno definisanje veličina kao što su krutost šipa, koeficijent reakcije i funkcija imperfekcije. Ovakve mogućnosti bi pružile projektantima konstrukciju bolju procenu statičkih veličina što bi dovelo do povećane sigurnosti i ekonomičnosti.

7. LITERATURA

- [1] M. Kaniški: *Proračun poprečno opterećenih pilota – završni rad*, Varaždin, 2010.
- [2] V. Prolović, S. Milošević: *Zbirka zadataka iz fundiranja*, Niš, 1994.

UDK: 624:001.89.5
624:001.89.3

EKSPEKIMENT I TEORIJA U NAUCI O GRAĐEVINARSTVU

Slavko Zdravković¹
Dragan Zlatkov²
Predrag Petronijević³
Andrija Zorić⁴

Rezime

U radu se ukazuje na primenu dve metode kojima se nauka služi: eksperimentalnom metodom se do rezultata dolazi eksperimentima, a teorijskom metodom korišćenjem teorije. Zakon prirode koji predstavlja posebni zaključak kvantitativne prirode izražava se posebnim brojem. Pojmovi se uvođe definicijama, kojima se ti pojmovi objašnjavaju pomoću ranije uvedenih pojmoveva. Skup aksioma mora biti dovoljan broj da bi se mogla izgraditi cela teorija. U okviru jedne teorije, neke teoreme se mogu svrstati u aksiome pa se moraju dokazati. Poređenjem eksperimentalnih sa teorijskim rezultatima može se doći samo do jednog od dva zaključka: 1) da se rezultati ne slažu, 2) da teorija nije primenljiva na prirodu pa nismo u mogućnosti da tvrdimo da je teorija važeća. Pri proračunu građevinskih konstrukcija Njutnovi zakoni kretanja razvijeni su do matematičkog savršenstva.

Ključne reči: građevinarstvo, nauka, eksperiment, teorija.

1. UVOD

Dva su zadatka nauke: jedan je rešavanje praktičnih problema, a drugi je opisivanje prirode pronalaženjem zakona koji vladaju u njoj i kroz njih sticanje slike o prirodi.

Dve su metode kojima se nauka služi: eksperimentalna i teorijska. Eksperimentalnom metodom se do rezultata dolazi eksperimentima, a teorijskom metodom – korišćenjem teorije. Da bismo razumeli koje su

¹ Prof. dr Slavko Zdravković, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

² dr Dragan Zlatkov, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

³ dr Predrag Petronijević, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

⁴ Andrija Zorić, mast. inž. građ, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu

mogućnosti eksperimenta i teorije u otkrivanju zakona prirode moramo, pre svega, objasniti šta je to zakon prirode, šta eksperiment, a šta teorija.

Zakon prirode je svaki zaključak o nekom zbivanju u prirodi na osnovu raspoloživih podataka. Zakon je prirode da se razlaganjem vode na elemente dobijaju vodonik i kiseonik. Zakon prirode je i da se razlaganjem jednog molekula vode dobijaju dva atoma vodonika i jedan atom kiseonika. Ali zakon prirode je i da je molekul sastavljen od atoma. Zakon prirode je da telo na koje dejstvuje samo jedna spoljašnja sila mora menjati svoje stanje kretanja, ali je zakon prirode i da translatorno pokretno telo mase 2 kg na koje stalno dejstvuje stalna sila od 6 N ima ubrzanje 3 m/s^2 . Zakon prirode je i da translatorno pokretno telo mase m na koje stalno dejstvuje stalna sila F ima ubrzanje F/m , što je od posebnog značaja u građevinarstvu.

Iz ovih primera se vidi da postoje zakoni prirode koji predstavljaju neki kvalitativni zaključak, ali i oni koji predstavljaju kvantitativni zaključak. Najzad, zakon prirode je i apstraktni zaključak koji ne predstavlja nikakvu posebnu činjenicu nego je zaključak koji se odnosi na neki skup srodnih činjenica, bile te činjenice kvalitativne ili kvantitativne prirode.

Zakon prirode koji predstavlja apstraktни zaključak kvantitativne prirode može se izraziti matematičkim obrascem. Zakon prirode koji predstavlja poseban zaključak kvantitativne prirode izražava se posebnim brojem. Do tog broja se može doći eksperimentalnim putem (merenjem), ali i kombinovano – merenjem i računom, ako postoji obrazac koji se odnosi na pojavu koja se ispituje. Do apstraktног zaključka izraženog obrascem može se doći uopštavanjem rezultata velikog broja merenja izvršenih na mnogim srodnim pojavama koje su obuhvaćene tim apstraktним zaključkom (tada je to empirijski zakon), ali se može doći i matematičkim putem ako postoje neki ranije poznati apstraktni zaključci, izraženi obrascima, iz kojih se on može računom izvesti (tada je taj zakon – zakon odgovarajuće teorije).

Eksperiment je postupak namenjen zapažanju ili merenju jedne ili više veličina. Da bi se to postiglo potrebno je imati instrument kojim se to može postići. Merenje je poređenje ispitivane veličine sa unapred dogovorenom veličinom iste prirode, tzv. jedinicom te veličine, i izražava se brojem tih jedinica. Instrumentom namenjenim merenju određuje se taj broj, što je u inženjerskoj seismologiji i zemljotresnom inženjerstvu od posebnog značaja u pogledu bezbednosti konstrukcije i ekonomskih aspekta kao najvažnijih podataka pri projektovanju i izgradnji građevinskih objekata u kojima ljudi žive i rade, pa njihova sigurnost i pri dejstvu zemljotresa treba biti na prihvatljivom nivou bezbednosti, tj. da ne dođe do ljudskih žrtava i ako se objekat i zaruši [1].

Na primer, dužina je veličina. Jedna od jedinica te veličine je 1 cm. Jedan od instrumenata kojim se može meriti dužina zove se metar i on je tako podešen da se može izvršiti poređenje te dužine sa 1 cm i rezultat tog poređenja (merenja) izraziti brojem koji kazuje koliko izabranih jedinica sadrži ispitivana dužina.

Pod teorijom podrazumevamo deduktivni način zaključivanja i skup tako dobijenih rezultata i polaznih postavki. Za izgrađivanje teorije potrebni su pojmovi i veze među njima.

Pojmovi se uvode definicijama, kojima se ti pojmovi objašnjavaju pomoću ranije uvedenih pojmoveva. Posledica toga je da u skupu svih pojmoveva koje koristi neka teorija mora postojati jedan ili više pojmoveva od kojih se polazi, kojima ne prethode nikakvi ranije uvedeni pojmovi i koji se, prema tome, ne mogu objašnjavati. Ti pojmovi, koji se ne definišu, zovu se osnovnim pojmovima. Oni koji se definišu zovu se izvedenim pojmovima.

Na primer, u euklidskoj geometriji osnovni pojmovi, pojmovi koji se ne definišu i od kojih se u teoriji polazi, su tačka, prava, ravan i prostor. Primer izvedenog pojma je pojam paralelnih pravih (odn. pojam prave paralelne drugoj pravoj). Po definiciji, to su prave koje leže u jednoj ravni i nemaju nijednu zajedničku tačku. Po toj definiciji pojam paralelnih pravih je objašnjen pomoću pojma prave, pojma ravni i pojma tačke.

2. EKSPERIMENTALNI METODI UOPŠTE

Veze među pojmovima se dokazuju na osnovu ranije utvrđenih veza. Posledica toga je da u skupu svih veza neke teorije mora postojati jedna ili više veza od kojih se polazi, kojima u teoriji ne prethode nikakve ranije veze i koje se, prema tome, ne mogu dokazati. Takve veze koje se ne mogu dokazati (i koje teorija i ne traži da se dokažu) zovu se aksiomama. One koje se mogu dokazati (i koje se u teoriji i dokazuju) zovu se teoremmama (stavovima).

U euklidskoj geometriji primer aksiome je iskaz: kroz svaku tačku van prave može se povući jedna i samo jedna njoj paralelna prava. Taj iskaz je veza među pojmovima prave, tačke i prave paralelne drugoj. Primer teoreme je: zbir uglova trouglova je jednak ravnom uglu (180^0). Ovaj iskaz je veza među pojmovima ugla, trougla i ravnog ugla, ali se ta veza, za razliku od prethodne, dokazuje.

Da bi se neka teorija mogla izgraditi i predstavljati logičnu celinu neophodno je, pored usvajanja osnovnih pojmoveva, usvojiti takav skup aksioma koji zadovoljava sledeće zahteve: 1) aksiome ne smeju biti protivrečne, 2) mora ih biti dovoljan broj da bi se mogla izgraditi cela

teorija, i 3) poželjno je da ih ne bude više nego što je neophodno, jer bi u protivnom bar neka od njih bila posledica preostalih, pa može predstavljati teoremu, a ne aksiomu. Inače, poštujući navedene zahteve, moguće je, u okviru jedne teorije, neke teoreme proglašiti aksiomima, ali zato neke od veza koje su pre toga bile aksiome svrstati u teoreme, koje se, prema tome, moraju dokazati. Ne ograničavajući se na neku posebnu teoriju, moguće je, poštujući gore navedene zahteve, izabrati ma koji skup aksioma. Moguće je, prema tome, konstruisati neograničeno mnogo teorija. Njihov broj zavisi samo od mašte koja izmišlja skupove aksioma kao osnove teorija. Besmisleno je govoriti da neka teorija ne valja. Svaka je teorija dobra. Izabравши neki skup aksioma, poštujući gore navedene zahteve, odgovarajuća će teorija biti izvrsna logična celina. Makar tako izabrane aksiome i ne bile prirodne, odn. makar se očigledno protivile prirodi (među laicima nije redak slučaj da se čuje da je takva aksioma nelogična), teorija zasnovana na njima je savršena logična celina.

Sasvim je drugo pitanje primenjivosti takve teorije na prirodu, bilo u smislu rešavanja praktičnih problema, bilo kao slike prirode. Iako je besmisleno reći da neka teorija ne valja, može se, i potrebno je, govoriti o njenoj primenjivosti na prirodu ili o njenoj neprimenjivosti, tj. o tome da li se u prirodi procesi zbivaju onako kako ta teorija predviđa ili ne. Da bi teorija bila primenjiva na prirodu iskaz aksiome treba da je u saglasnosti s prirodom. Da li je teorija primenjiva na prirodu, teorijski se ne može dokazati. Odgovor može dati samo eksperiment, što je u građevinskoj nauci skoro neminovno jer se samo tako dolazi do pouzdanih podataka pri konstruisanju.

Dakle, prirodu je nemoguće proučavati samo teorijskim metodom. Eksperimenti, iz kojih teorija koja je primenjiva na prirodu uzima svoje aksiome, moraju biti ishodište svake naučne teorije (tj. teorije u službi nauke). Nema naučne teorije bez eksperimentata, što se najbolje može potvrditi (prema autoru) u građevinskoj struci.

Obrnuto, služiti se samo eksperimentalnom metodom – moguće je. Ali je činjenica da bi nauka bez teorije bila užasno siromašna. Dovoljno je zamisliti čovečanstvo koje ne zna ni za kakvu teoriju i njegov pokušaj izgradnje oblakodera. Građen bez ikakvih prethodnih proračuna može se desiti da se oblakoder održi, ali se može desiti, što je mnogo verovatnije, i da se sruši. Pri ponovnoj gradnji koristi se iskustvo iz prve gradnje, ali se opet može desiti da se gradnja sruši, što je, takođe, najverovatnije. Definitivan uspeh se ipak, pri upornom ponavljanju pokušaja (eksperimenata) može očekivati. Ali, nije teško zamisliti koliko bi jadna bila ta nauka bez teorije. Posedovanje teorije je jedna od karakteristika koja čoveka razlikuje od životinja, koje se služe samo

eksperimentom. Iz napred rečenog jasno je da se građevinska nauka mora služiti i teorijom i eksperimentom, što ona i čini poslednjeg veka.

Dakle, čovek, po definiciji teorije, ne može proučavati prirodu samo pomoću teorije (bez eksperimenta), a proučavati je samo pomoću eksperimenta (bez teorije) nije nauka nego nagađanje [2].

S obzirom da je eksperiment namenjen zapažanju ili merenju i da, stoga, predstavlja konstataciju, i s obzirom da naučna teorija ishodi iz eksperimenta, zadatak nauke nije da odgovara na pitanje: zašto?, nego da odgovara na pitanje: kako? Zadatak nauke nije, kao što mnogi misle, da objasni prirodu, nego da je opiše. Cilj tog opisa je da o prirodi steknemo sliku i da ovladamo sposobnošću rešavanja praktičnih problema, a u građevinarstvu to je izgradnja objekata po ekonomski prihvatljivim cenama i prihvatljivog nivoa sigurnosti i bezbednosti.

Posebno je pitanje da li je slika koju nam nauka pruža o prirodi verna, odn. da li eksperimenti, pa i teorije koje iz njih ishode, daju pouzdane podatke i pouzdanu sliku prirode.

Šta priroda, posredstvom eksperimenta, saopštava kao podatak? Šta znači „merenjem je konstantovano da je ova ulica široka sedam metara?“ Nijedan do danas poznati merni instrument, u ovom slučaju instrument za merenje dužine, ne jemči apsolutnu tačnost, nego samo jemči da ako postoji greška u merenju ta greška nije veća od izvesnog poznatog iznosa.

Poređenjem eksperimentalnih s teorijskim rezultatima može se doći samo do jednog od ova dva zaključka:

- 1) Ti rezultati se ne slažu. To je slučaj kada eksperimentom određeni interval ne sadrži teorijski predviđen rezultat. Tada se teorija ne slaže s eksperimentom, pa teorija nije primenjiva na prirodu.
- 2) Ne znamo da prava vrednost nije ona koju predviđa teorija. To je slučaj kada interval određen izvršenim eksperimentom sadrži odgovarajući teorijski rezultat. Na osnovu tog eksperimenta ne možemo konstantovati neslaganje teorije i eksperimenta, pa ne možemo reći da teorija nije primenjiva na prirodu, ali nismo u mogućnosti ni da tvrdimo da je primenjiva. Smemo reći, samo, da takva teorija daje bolju sliku prirode nego što je daje teorija za koju znamo da je neprimenjiva. Za nju kažemo da je važeća teorija.

Skup svih eksperimentalnih rezultata je skup intervala u kojima se nalaze prave, nama nepoznate, vrednosti. Sve teorije čiji bi svi rezultati koji se tiču svih izvršenih eksperimenata bili sadržani u odgovarajućim intervalima bile bi važeće teorije. Prema tome, u datom trenutku moguće je postojanje beskonačno mnogo važećih teorija.

Međutim, cilj nauke nije da izmišlja teorije. Smislivši jednu važeću teoriju, čovek nema nikakvog razloga da je napušta sve dok se ne pojavi neki eksperimentalni podatak (interval) koji bi je, umesto u važeću, svrstao u teoriju neprimenjivu na prirodu. Sve dok je ona važeća, svaka druga važeća teorija bi davala rezultate koji bi se od rezultata prve teorije razlikovali za vrednosti koje se eksperimentima ne bi mogle konstatovati. Razlika između rezultata takve dve teorije ne bi ni praktično mogla biti iskoristiva, niti bi različite slike koje bi takve dve teorije davale o prirodi doprinosile našem poznavanju prirode.

Može, sada, izgledati da je situacija očajna. Ako nauka nije u mogućnosti, ili ako, čak, nikada ne bude ni bila u mogućnosti da eksperimentalnim putem dobije tačne rezultate, onda čemu služi nauka? Čemu nauka u čije eksperimentalne, pa samim tim i teorijske, rezultate ne možemo biti sigurni?

Međutim, ni najgori pesimista nema prava da iz tih razloga negira potrebu čovečanstva za naukom. Situacija ne samo da nije očajna, nego je, naprotiv, izvanredno ohrabrujuća. Treba se samo setiti zadataka nauke. Članak time i počinje: zadaci nauke su rešavanje praktičnih problema i sticanje slike o prirodi.

Što se tiče rešavanja praktičnih problema nauci se ne mogu osporiti uspesi: oblakoderi stoje, avioni lete, pravimo razne sintetičke materijale, zamenjujemo ljudima srce, razbijamo atome, letimo na Mesec,... Zar sve to nije trijumf nauke?

Kako to uspevamo pomoći nauke koja nije sigurna u svoje eksperimentalne podatke?

Razlog je u tome što nema nijednog problema u kojem je potreban neki precizni podatak, nego interval u kojem se podatak nalazi i koji je određen tzv. tolerancijom. Kada fotografišemo uz korišćenje blica potrebno je da vremenski interval tokom kojeg je blenda otvorena (1/30 sekunde) sadži vremenski interval tokom kojeg blic osvetljava predmet koji se slika (1/1000 sekunde). Važno je, dakle, samo da trenutak otvaranja blende ne nastupi ni suviše rano ni suviše kasno, odn. da taj trenutak bude u određenom vremenskom intervalu [3].

Shvativši da se eksperimentom dobijaju samo intervali u kojima se nalaze prave vrednosti i da nema problema u kojem je potreban neki apsolutno tačan podatak, jasno je da se mogu izvanredno lepo koristiti rezultati teorije, iako nemamo mogućnosti da dokažemo da ona verno prikazuje prirodu, ako se njeni rezultati razlikuju od nama nepoznate vrednosti za veličinu koja je manja od greške koju dopušta eksperiment. I još više, ako se rezultati dveju teorija razlikuju za veličinu koja je manja

od greške koju dopušta eksperiment, tada je, u rešavanju praktičnog problema, svejedno koju ćemo teoriju koristiti. Tako se zgrada može zidati na osnovu proračuna zasnovanog i na klasičnoj teoriji (za koju znamo da nije primenjiva na prirodu) i na teoriji relativnosti (koja je, za sada, važeća teorija). Ali je, baš zato, bez ikakve koristi mučiti se računom koji zahteva teorija relativnosti. Stoga se klasična teorija i danas uči i učiće se uvek, i zato će se ona u svim problemima u kojima daje rezultate koji su obuhvaćeni eksperimentalnim intervalima, odn. koji su dovoljne tačnosti, uvek koristiti. Po klasičnoj teoriji se zidaju kuće, konstruišu avioni, pa čak i proračunavaju današnji vasionski letovi.

Što se tiče drugog zadatka nauke: sticanje slike o prirodi, stvar stoji drukčije. Sigurni smo da se klasični rezultati ne slažu sa prirodom. Relativistički rezultati se s njom sigurno bolje slažu (možda se i slažu).

Moramo priznati da nemamo teoriju za koju smo sigurni da opisuje prirodu. Moramo priznati, čak, da dosadašnji razvoj nauke ukazuje da je verovatno da takvu teoriju nikada nećemo ni dobiti, jer nam, za sada, ništa ne ukazuje na mogućnost da će se jednog dana veličine moći meriti s apsolutnom tačnošću.

Ali, usavršavanje eksperimentalne tehnike nas nagoni na stvaranje teorija koje sve bolje opisuju prirodu. Nekada je klasična teorija bila važeća. Danas je ona neprimenjiva, a teorija relativnosti je važeća. Slika koju o prirodi daje klasična teorija, iako netačna, slika je koja prirodu bar približno opisuje. Slika koju daje teorija relativnosti je još bliža stvarnosti (možda je to baš i prava slika). Smenujući, pod pritiskom eksperimenata, neprimenjivu teoriju važećom, dobijaćemo niz teorija koje vode sve boljem opisu prirode. Može se desiti da se taj niz završi nekom primenjivom teorijom, ali o njenoj primenjivosti nećemo nikada imati dokaza.

3. ZAKONOMERNOST PRIRODNIH PRINCIPA

Na današnjem stepenu razvitka čovekovog saznanja o prirodi i njenim zakonomernostima u mogućnosti smo da svet vidimo u postojanju, kretanju i menjanju tog kretanja, u nestajanju jednih oblika materije da bi se javljali drugi. Svakim danom čovek sve više prodire u tajne elementarnih čestica materije i još nepoznata kretanja milijardama svetlosnih godina udaljenih kvazara. Čovek se našao realno prisutnim i na nebu kao što je juče i danas na Zemlji. Saznao je i to da naučni pogled na svet nije onaj pogled koji izvire samo iz pojedinih prirodnih nauka.

Na osnovu zakona dinamike i zakona gravitacije nebeska mehanika je u mogućnosti da skoro sa neverovatnom tačnošću utvrdi kretanje planeta, ali ta ista nauka nije bila u mogućnosti da objasni, na primer,

obrtno kretanje nebeskih tela, pa nije ni sada, ukoliko se ne prihvate prilozi naših savremenih naučnika. Tako u osnovi razvoja mehaničkih i fizičkih opšte filozofskih predstava o svetu – prirodi, društvu i mišljenju – mi, u stvari, nalazimo razvoj teorije u tim oblastima nauke, kao na primer:

- Galilejeva i Njutnova mehanika;
- Maksvelova elektrodinamika i njena završna Ajnštajnova teorija relativnosti;
- Šredinger-Hajzenbergova kvantna teorija.

Sve te teorije građene su na osnovu principa i zakona nauke, a ovi, od ljudi izrečenih, na osnovu logičkih modela prirodnih objekata, kao: „materijalna tačka“, „kruto telo“, „apsolutni prostor“, „apsolutno vreme“, „kretanje“, „telo“ bez njegovih promena; „najmanja“ čestica – molekula, pa atom, pa oko dvesta drugih „elementarnih“ čestica ili nekih tragova tih čestica; polje, talas, energija,... Ovi logički modeli kao trajni i invarijantni pojmovi za objekte u konkretnoj realnoj pojavi materije su u svom neprekidnom menjanju. Logičkim modelom „materijalna tačka“ mehanika nekad oslikava lokomotivu, može i čoveka, nekad Sunce, a drugi put to isto Sunce ne može biti ni „materijalna tačka“, ni „apsolutno kruto telo“ [4]. Ipak ti pojmovi su u svakom konkretno-promenljivom slučaju konkretni i realni, isto onako kao što, na primer, pojam „životinja“ u čovekovoj svesti istovremeno održava „iste“ osobine miliona različitih stvari u kretanju i menjanju, nastajanju i nestajanju. Naučni racionalni model – logički pojam za sve približno iste ili slične objekte ili njihove osobine – je predmet zakona nauke i teorije uopšte, kao što su pojedini objektivni i realni vidovi materije sastavni i, u neograničenom materijalnom spletu, ograničeni objekti zakona prirode. Zakoni posebnih nauka, ma kako da su opšti i sveobuhvatni, opet su samo odeljci u opštem čovekovom saznanju koje se neprekidno razvija, proširuje, preinačuje i menja, jer se menjaju i oblici materije dati ili održani u čovekovoj svesti [5].

Reći da se *obrazovanje naučne teorije sastoji u donošenju sistema naučnih postavki, tj. stavova i sudova o određenoj vrsti pojava*. Kako se naučna teorija uvek odnosi na čitavu vrstu, ili bar na deo vrste određenih pojava, to svaka naučna teorija sadrži uvek i neke opšte stavove, to jest neki princip ili neki zakon ili bar hipotezu zakona ili principa. Ali naučna teorija sadrži uvek i posebnije stavove pa i klasu individualnih stavova, preko kojih je naučna teorija neposredno povezana sa svojim predmetom, tj. sa određenim prirodnim, društvenim ili duhovnim pojavama.

Razume se, učešće svakog od pomenutih oblika, procesa i metoda saznanja nije jednako u postavljanju svih naučnih teorija. Zato, s

obzirom na ulogu pojedinih oblika i metoda saznanja u obrazovanju naučnih teorija, tj. s obzirom na poreklo naučnih teorija, razlikujemo sledeća naučna izvođenja naučnih teorija: (1) analitičko-deduktivno izvođenje naučne teorije; (2) empirijsko analitičko generalizatorsko izvođenje naučne teorije; (3) empirijsko induktivno izvođenje naučne teorije; (4) hipotetičko deduktivno izvođenje naučne teorije; (5) složeni načini izvođenja odnosno postavljanja naučnih teorija [6].

Nauka je otišla daleko u razjašnjenju „čuda“ prirode, ali ne i dotle da da konačan sud, konačnu istinu o mikro i makro-svetu ujedno, o atomu i galaksijama, o još neizbrojanim vrstama biljnog i životinjskog sveta, čiji broj nije jednak u dva bliska trenutka, o čoveku i svim njegovim raznovrsnostima.

1. ZAKONI MEHANIKE U PRORAČUNIMA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

Radi tačnijeg formulisanja zakona čitamo dobar prevod jednog univerzitetskog udžbenika i prigovaramo:

„Ubrzanje tela je upravo srazmerno rezultanti spoljašnjih sila koje dejstvuju na telo i ima isti pravac i smer kao rezultanta sila“ („Drugi Njutnov zakon kretanja“). I Njutn je drukčije formulisao drugi osnovni zakon kretanja. Raketu silu ne možemo da kvalifikujemo spoljašnjom silom, te ne bismo mogli tvrditi da se raketa „ubrzava“ shodno ovako preformulisanom Njutnovom zakonu.

„Putanja svake planete je elipsa, sa Suncem u jednoj od njenih žiža“ (Drugi Keplerov zakon). Nebeska mehanika matematičko-analitičkom tačnošću pokazuje da putanje planeta nisu elipse nego spirale, jer se i Sunce kao „žiža“ kreće.

„Ukupna mehanička energija čestice je konstantna“ („zakon održanja mehaničke energije čestice“). Sam autor citirane knjige dodaje: „Zakon ima vrlo ograničen domen važnosti i ispravno opisuje ponašanje jedne čestice samo pod vrlo specijalnim uslovima...“.

Kod elastičnih tela sretamo se sa Hukovim zakonom, koji tvrdi da je napon proporcionalan relativnoj deformaciji tela. Ali i kod ove tvrdnje odmah dodajemo objašnjenje da zakon važi samo do izvesne granice deformisanja tela. Još je veće ograničenje kod Kulonovih zakona trenja, od kojih jedan tvrdi da je sila trenja klizanja jednaka proizvodu statičkog koeficijenta trenja i normalnog pritiska. Za ove

zakone trenja sretamo ograničenja, kao „oni nisu osnovni zakoni kao Njutnovi“.

Takve i slične prigovore možemo da damo i za druge poznate naučne zakone. Svako jutro radio izveštava o trajanju obdanice uz tačnu konstataciju: „Sunce 'izlazi' u NN časova i MM minuta, a 'zalazi'...“ pri istovremenom znanju da se Sunce objektivno pojavilo i isčešlo sa horizonta približno 8 minuta ranije, kao i to da izlazak Sunca nije isti za istočnu, zapadnu, južnu i severnu stranu zemlje slušaoca kojima je obaveštenje namenjeno [7].

Tih nekoliko rečenica o široko znanom objektivnom stanju stvari ne navode li nas na sumnju: zar zakoni mehanike ili zakoni prirodnih nauka ne odražavaju stanje kretanja objekata u prirodi? Šta su, onda, to zakoni u nauci? Šta je istina o svetu ako ne naučne tvrdnje koje nazivamo naučnim zakonima? Ako se zakon iskazuje i matematičkom relacijom, da li može biti odstupanja od tako opisanih kretanja? Zar matematika ne utvrđuje naučne istine, a nauka istine o stanju objektivnog i realnog sveta? Umesto odgovora koji će slediti kasnije, podstaknimo još više naša razmišljanja o jednoj od navedenih konstatacija o kretanju tela. U bilo kom udžbeniku mehanike ili fizike (sporedno kojeg autora) učimo prvi Njutnov, a ne bismo pogrešili ako bismo rekli Dekartov zakon dinamike, koji glasi:

„*Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog pravolinijskog kretanja dok pod dejstvom sile ne bude prinuđeno da to svoje stanje promeni*“.

Za mehaniku kao prirodnu i matematičku nauku svakako je važna svaka reč kojom se iskazuje zakon, pa naglasimo da prevodu izvorne Njutnove formulacije teško da se može ovde prigovoriti.

To je osnova-temelj te klasične oblasti nauke: za mehaniku, fiziku, za tehniku koja se bazira na dinamici, tela se kreću prema ovom zakonu. Osnovni stav statike koja leži u svim proračunima građevinskih konstrukcija nije ništa drugo nego posledica ovog citiranog zakona, tj. da telo miruje ako na njega ne dejstvuju sile ili, matematički rečeno, ako su sile jednakе nuli, $F=0$. Kraće rečeno, a i ponovljeno, za mehniku iznikla iz Njutnovih „leges motus“ (zakoni kretanja) razvijenu do matematičkog savršenstva, potvrđenu u tehničkoj praksi do mera da ta praksa bez nje ne bi ni postojala ovaj zakon je jedan od temeljnih stubova cele teorije: ne podvodi se sumnji kao ni cela mehanika [8].

2. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da bismo razumeli koje su mogućnosti eksperimenta i teorije u otkrivanju zakona prirode moramo, pre svega, objasniti šta je zakon prirode, šta eksperiment, a šta teorija. Zakon prirode je svaki zaključak o nekom zbivanju u prirodi na osnovu raspoloživih podataka. Zakon prirode koji se izražava posebnim brojem do koga se može doći eksperimentalnim putem (merenjem), ali i kombinovano – merenjem i računom; ako postoji obrazac koji se odnosi na pojavu koja se ispituje. Pojmovi koji se ne definišu zovu se osnovnim pojmovima, oni koji se definišu zovu se izvedenim pojmovima. Da bi se neka teorija mogla izgraditi i predstavljati logičnu celinu neophodno je, pored usvajanja osnovnih pojmoveva, usvojiti takav skup aksioma koje zadovoljavaju određene zahteve: 1) aksiome ne smeju biti protivrečne, 2) mora ih biti dovoljan broj da bi se mogla izgraditi cela teorija, i 3) poželjno je da ih ne bude više nego što je neophodno. Svaka teorija je dobra koja zadovoljava ove zahteve. Zadatak nauke nije, kao što mnogi misle, da objasni prirodu, nego da odgovara na pitanje: kako? tj. da ovladamo sposobnošću rešavanja praktičnih problema. Posebno je pitanje da li je slika koju nam nauka pruža o prirodi verna, odnosno da li eksperiment, pa i teorije koje iz njih ishode, daju pouzdane podatke i pouzdanu sliku prirode. Iz napred rečenog sledi da eksperimentalni i teorijski rezultati, mogu da se ne slažu ili da ne znamo da prava vrednost nije ona koju teorija predviđa.

Za rad o kome se govori teorija relativnosti, može se reći, nije od posebnog interesa za nauku o građevinarstvu. Zato što se zida na osnovu proračuna zasnovanog i na klasičnoj teoriji (za koju znamo da nije primenjiva na prirodu) i na teoriji relativnosti (koja je, za sada, važeća teorija). Međutim, moramo priznati da nemamo teoriju za koju smo sigurni da opisuje prirodu, a verovatno takvu teoriju nikada nećemo ni dobiti, jer nam za sada ništa ne ukazuje na mogućnost da će se jednoga dana veličine moći meriti sa apsolutnom tačnošću. Slika koju o prirodi daje klasična teorija, iako netačna, slika je koja prirodu bar približno opisuje. Slika koju daje teorija relativnosti je još bliža stvarnosti (možda je to i prava slika, što će nama ostati nepoznato).

Zahvalnica: Ovo istraživanje je sprovedeno na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu u okviru projekta iz oblasti tehnološkog razvoja u periodu 2011-2017. 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.

3. LITERATURA

- 1) S. Zdravković, D. Zlatkov, B. Mladenović, S. Šaković, M. Keković.: *Zaštita objekata od dejstva zemljotresa*, IX Naučno-stručno međunarodno savetovanje Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja, UDC 624.042.7; UDC: 699.841, Zlatibor, pp. 563 - 568, Srbija, 2015.
- 2) O.M. Raspopović: *Društvo, nauka, tehnika*, stručna knjiga, Beograd, 1987.
- 3) M. Leko: *Hemski pregled*, 3-4/1975, Beograd, str. 83-87.
- 4) L.P. Kapica: *Eksperiment, teorija i praksa*, RU „Radivoj Ćipranov“, Novi Sad, 1980.
- 5) M. Koen, E. Nejgel: *Priroda logičkog i matematičkog sistema, Uvod u logiku i naučni rad*, Zavod za izdavanje udžbenika SRS, Beograd, 1977, str. 153-171.
- 6) B. Šešić: *Osnovi metodologije društvenih nauka*, Naučna knjiga, Beograd, 1973, str. 291-298.
- 7) V. Vujičić: *Zakoni u prirodnim naukama; „Dijalektika“*, br. 1-4/1981, Beograd, str. 19-41.
- 8) M. Bertolino: *Dijalektika i savremena matematika*, Izdavačko preduzeće „Rad“, Beograd 1976.

REŠETKASTI NOSAČI BEZ ČVORNIH LIMOVA OD ŠUPLJIH ČELIČNIH PROFILA

Marko Milošević¹
Srđan Živković²

Rezime:

Primena šupljih profila za noseće čelične konstrukcije u građevinarstvu je novijeg datuma. Proizvodnja šupljih čeličnih profila kvadratnog i pravougaonog poprečnog preseka, započinje u drugoj polovini XX veka. Polja napona i deformacija na mestu priključaka su nelinearna i veoma složena. Ovakve veze nisu tretirane u dosadašnjoj domaćoj tehničkoj regulativi.

Ključne reči: čelik, rešetkasti nosači, šuplji profili, EC 3.

1. UVOD

Primena šupljih profila za noseće čelične konstrukcije u građevinarstvu je relativno novijeg datuma. Za razliku od šupljih profila kružnog preseka, proizvodnja šupljih čeličnih profila kvadratnog i pravougaonog poprečnog preseka, započinje tek u drugoj polovini dvadesetog veka, 1959. godine u Engleskoj od strane Stewart&Lloyds-a i 1962. godine u Nemačkoj od strane Mannesmann-a, i to preoblikovanjem kružnih bešavnih cevi u vrućem stanju. Otprilike u isto vreme su kvadratni i pravougaoni šuplji profili proizvedeni i hladnim postupkom.

U periodu između dva svetska rata, najveći broj čeličnih rešetkastih konstrukcija od šupljih profila bio je izведен sa montažnim vezama elemenata, zakivcima i čvornim limovima. Činjenica da je u industrijski razvijenim zemljama sveta u toku proteklih tridesetak godina značajno uvećan odnos cene radnog sata i cene utrošenog materijala, doprinela je izradi jednostavnijih, direktno zavarenih veza elemenata, bez primene čvornih limova ili drugih dodatnih elemenata.

¹ Mast. inž. grad., doktorand, Građevinsko-arkitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Inovacioni centar Univerziteta u Nišu, marko.milosevic.mat@gmail.com

² Dr, docent, Građevinsko-arkitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, srdjan.zivkovic@gaf.ni.ac.rs.

Konstruisanje i dimenzionisanje veza kod čeličnih rešetkastih nosača od šupljih profila bez čvornih limova ostvarenih direktnim zavarivanjem elemenata, zahtevaju specifičan pristup u odnosu na tradicionalne veze ostvarene posredstvom čvornih limova. Polja napona i lokalnih deformacija na mestu priključaka su nelinearna i veoma složena pa analiza ponašanja ovakvih veza pri graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju upotrebljivosti ne može biti određena samo na osnovu analitičkih postavki. Zbog toga je poslednjih četrdesetak godina u svetu sproveden veliki broj eksperimentalnih i numeričkih istraživanja u cilju određivanja teorijskih osnova i proračunskih modela kojima se određuje nosivost ovakvih veza. Dobijeni rezultati bazirani na teoriji graničnih stanja, pokazali su da ponašanje ovakvih veza u trenutku loma, zavise ne samo od geometrijskih karakteristika elemenata u vezi i kvaliteta osnovnog materijala, već i od konfiguracije odnosno oblika veze i vrste i nivoa opterećenja u pojasmnim štapovima nosača. Treba napomenuti da ovakve veze nisu tretirane u dosadašnjoj domaćoj tehničkoj regulativi, i nema mnogo publikovanih radova iz ove oblasti kod nas.

U čeličnim konstrukcijama rešetkasti nosači od šupljih profila veoma se često koriste i to, kako u zgradarstvu, tako i u mostogradnji. Brojni su primeri primene rešetkastih nosača od šupljih profila. U zgradarstvu se koriste kao: rožnjače, krovni nosači, podvlake, podni nosači, kranski nosači u industrijskim halama, spregovi itd. Krovni nosači u rešetkastoj izradi primenjuju se u gotovo svim tipovima objekata od industrijskih hala, preko objekata visokogradnje do sportskih i kongresnih dvorana i izložbenih paviljona. Izborom oblika rešetkaste strukture mogu se dobiti nosači veoma atraktivnog izgleda, tako da čelična konstrukcija postaje sastavni deo enterijera, a da ni na koji način ne narušava arhitektonsku celinu.

Rešetkasti nosači, ravanski ili prostorni, od šupljih čeličnih profila (*HSS – Hollow Section Structure*) – kružnog (*CHS – Circular Hollow Section*), kvadratnog ili pravougaonog (*RHS – Rectangular Hollow Section*) poprečnog preseka, imaju poslednjih godina veliku primenu u savremenom građevinskom konstrukterstvu u odnosu na tradicionalne rešetkaste nosače od toplo valjanih profila. U poređenju sa njima, kao osnovne prednosti primene šupljih profila mogu se istaći [1]:

- *nosivost* – zbog ujednačenih geometrijskih karakteristika za obe glavne centralne ose inercije, šuplji profili kružnog (CHS) i kvadratnog (RHS) poprečnog preseka imaju znatno veću nosivost na dejstvo aksijalne sile pritiska u odnosu na uobičajene profile otvorenog poprečnog preseka. Slično važi i za elemente izložene kosom savijanju, torziji i bočnotorzionom izvijanju;

- *ekonomičnost* – zbog ravnomernijeg rasporeda mase čelika po površini poprečnog preseka, uštede u materijalu se kreću i do 25% u zavisnosti od tipa konstrukcije, što je od naročitog značaja kod elemenata napregnutih na pritisak i torziju. Glavni poluprečnici inercije znatno su veći nego kod profila otvorenog poprečnog preseka, što za iste granične uslove daje manje vitkosti elemenata, pa samim tim i manju težinu. Takođe, šupljii profili, pogotovo kružnog preseka, zbog uniformne raspodele materijala oko polarnih osa inercije, imaju čak 200 – 300 puta veću vrednost torzione krutosti od valjanih profila otvorenog poprečnog preseka. Kod rešetkastih nosača, u proseku se oko 50% ukupne težine materijala utroši na pritisnute pojase elemente, oko 30% na pojase elemente opterećene na zatezanje i oko 20% na elemente ispune. Imajući ovo u vidu, pritisnute pojase elemente treba optimizovati izborom tankozidnih šupljih profila. Međutim, treba znati da je nosivost međusobne veze elemenata rešetkastog nosača direktna funkcija debljine zida poprečnog preseka pojasa, pa je krajnji rezultat zapravo kompromis između uslova nosivosti i stabilnosti samog elementa;
- *mali aerodinamični koeficijent* – zbog oblika poprečnog preseka šupljih profila, pre svega kružnog poprečnog preseka, kod rešetkastih konstrukcija na otvorenom prostoru značajno su manji uticaji usled dejstva vetra, vode ili talasa, što ih čini pogodnim za konstrukcije kao što su antenski stubovi, jarboli, transmisioni mostovi, ofšor platforme i sl. Tako je, za isti pravac vetra, kod valjanih I profila aerodinamički koeficijent jednak 2,0 dok je kod CHS profila četiri puta manji;
- *korišćenje unutrašnjeg prostora* – povećanje nosivosti elemenata ili zahtevana vatrootpornost može se postići ispunjavanjem unutrašnjeg prostora profila betonom. Takođe, u nekim slučajevima moguće je kroz unutrašnjost profila postaviti instalacije i/ili ventilacione vodove;
- *jeftina antikorozivna zaštita* – obim poprečnog preseka šupljih profila je i do 2/3 manji u odnosu na klasične valjane profile, pa je samim tim manja i površina izložena uticajima od korozije (30-40%). Osim toga, zbog odsustva oštrih ivica kao i jednostavnih konstruisanih zavarenih veza konstruktivnih elemenata, bez primene čvornih ili nekih drugih dodatnih limova, manje je zadržavanje vlage, vode ili snega;

- *brza i laka montaža* – rešetkaste konstrukcije od šupljih profila imaju manju težinu u odnosu na klasične rešetkaste konstrukcije, te su kao takve lakše za transport i montažu;
- *velike mogućnosti konstruktivnog i arhitektonskog oblikovanja* – šuplji profili pružaju mogućnosti oblikovanja rešetkastih nosača raznovrsne geometrije koji su sa estetskog stanovišta prihvatljiviji od klasičnih rešetkastih nosača izrađenih od valjanih ili zavarenih profila otvorenog poprečnog preseka.

U nedostatke primene šupljih profila spadaju:

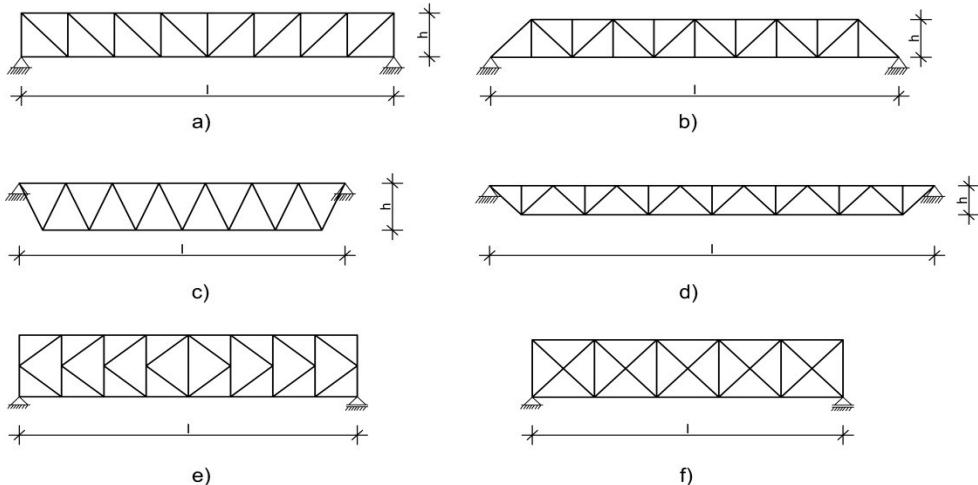
- *viša jedinična cena* u odnosu na vruće valjane profile;
- *dodatna obrada* – u slučaju primene direktno zavarenih veza kod nosača od šupljih profila kružnog poprečnog preseka (CHS), kao i u slučaju direktno zavarenih veza sa delimičnim preklopom elemenata ispune, neophodna je posebna obrada krajeva elemenata što poskupljuje izradu ovakvih nosača.

2. STATIČKI SISTEMI I OBLICI REŠETKASTIH NOSAČA OD ŠUPLJIH PROFILA

2.1 Ravanski rešetkasti nosači

Statički sistemi rešetkastih nosača u ravni uglavnom su isti kao i kod punih nosača. Najčešći statički sistemi su proste grede i kontinualni nosači. U zavisnosti od statičkog sistema, funkcije nosača, tipa konstrukcije i intenziteta opterećenja, rešetkasti nosači mogu imati različite oblike i dimenzije. Njihov oblik definisan je geometrijom pojasnih elemenata, odnosno spoljašnjom konturom nosača. Visina rešetkastih nosača određuje se u funkciji raspona, opterećenja, maksimalno dopuštenih deformacija i sl. Povećanjem visine nosača redukuju se intenziteti sila u pojasevima a povećavaju dužine elemenata ispune. Optimalan odnos raspona i visine nosača je između 10 i 15. Najčešći oblici rešetkastih nosača od šupljih profila su:

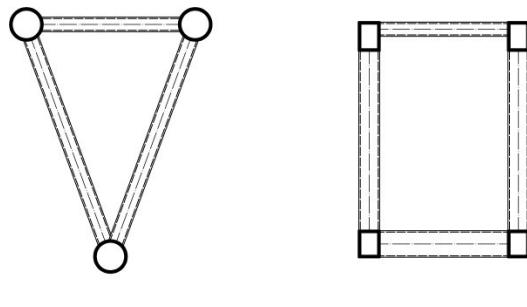
- rešetkasti nosači sa prostom trougaonom ispunom (sl. 1c));
- rešetkasti nosači sa ispunom od dijagonalala i vertikala (sl. 1a), b), d));
- rešetkasti nosači sa ukrštenim dijagonalama (sl. 1f)) i
- rešetkasti nosači sa K ispunom (sl. 1e)).



Slika 1. Najčešći oblici ravanskih rešetkastih nosača od šupljih profila

2.2 Prostorni rešetkasti nosači

Prostorni rešetkasti nosači su oni kod kojih sistemne linije elemenata ne leže u jednoj ravni, već formiraju prostornu strukturu. Sa statičkog stanovišta prostorni nosači se mogu podeliti na linijske i površinske. Linijski prostorni rešetkasti nosači imaju jasno izražen pravac pružanja, odnosno jednu dimenziju (dužinu) koja je dominantna u odnosu na druge dve. Ovakvi nosači imaju više od dva pojasna elementa. Najčešću primenu imaju tropojasni i četvoropojasni rešetkasti nosači. Tropojasni nosači (slika 2. a)) imaju trougaoni poprečni presek, odnosno udvojen gornji ili donji pojaz. Elementi ispune su u dve kose ravni, kao i u ravni udvojenih pojaseva. Četvoropojasni rešetkasti nosači (slika 2. b)) su uglavnom kvadratnog, rombičnog ili trapezastog poprečnog preseka, pa elementi ispune leže u četiri ravni.



Slika 2. Prostorni linijski rešetkasti nosači

3. OSNOVNA PRAVILA ZA KONSTRUISANJE REŠETKASTIH NOSAČA OD ŠUPLJIH PROFILA

Pri projektovanju rešetkastih nosača od šupljih profila [2], [3], odnosno prilikom definisanja geometrije elemenata rešetkaste strukture, treba se pridržavati sledećih pravila:

1. *Spoljašnje opterećenje treba da se unosi u rešetkasti nosač po pravilu u čvorovima.* Na taj način se izbegava lokalno savijanje pojasnih elemenata, pa su svi elementi izloženi samo dejstvu aksijalnih sila. Međutim, kod nekih tipova rešetkastih nosača, kao što su na primer rožnjače, podni i kranski nosači, ovo pravilo ne može da se ispoštuje. Opterećenje se kod ovih nosača ne unosi posredno preko čvorova, već direktno savijanjem pojasnih elemenata, pa su usled lokalnog savijanja pojasci elementi izloženi istovremenom dejstvu aksijalne sile i momenta savijanja. Stoga, u ovakvim slučajevima, pojascne elemente preko kojih se unosi opterećenje treba dimenzionisati prema pravilima za ekscentrično pritisnute odnosno zategnute elemente.
2. *Dužina pritisnutih štapova treba da bude što manja.* Na ovaj način se povećava otpornost pritisnutih elemenata na izvijanje, jer kao što je poznato, kritična sila izvijanja je obrnuto proporcionalna kvadratu dužine. Smanjenje dužine pritisnutog pojasa može da se ostvari progušćavanjem mreže rešetkastog nosača odnosno umetanjem vertikala i obrazovanjem novih čvorova.
3. *Uglovi pod kojima se sustiću elementi rešetkastih nosača treba da budu veći od 30° .* U suprotnom, dobijaju se dugačke i nepristupačne veze između elemenata ispune i pojaseva kao i veći procenat mogućih grešaka u zavarivanju (teoretski koren sučeonog šava sa punim provarom ne može se izvesti kada je $\theta < 30^\circ$). Kod rešetkastih nosača sa prostom dijagonalnom ispunom najpovoljnije je da dijagonale sa pojasmnim elementima zaklapaju ugao od 60° . U slučaju rešetkastih nosača sa vertikalama i dijagonalama, ugao od 45° predstavlja optimalno rešenje.
4. *Elementi rešetkastih nosača treba da budu pravi između čvorova.* Zakrivljene elemente treba izbegavati jer se kod njih zbog odstupanja od zamišljene prave linije koja spaja susedne čvorove, javljaju lokalni momenti savijanja.
5. *Montažne nastavke pojasnih elemenata treba predvideti neposredno uz čvorove, na strani manje napregnutog elementa.* Na ovaj način montažni nastavci su oslobođeni eventualnih

sekundarnih uticaja od izvijanja elemenata i opterećeni su manjim silama, pa se postiže ušteda na spojnim sredstvima i dodatnim materijalom. Postavljanje montažnog nastavka tačno na mestu preseka sistemnih linija elemenata znatno komplikuje i poskupljuje njegovu izradu.

6. *Pojasni elementi treba da budu pravi u okviru jednog montažnog komada.* Na ovaj način se izbegavaju relativno skupi radionički nastavci. Ukoliko je pak neophodna promena pravca u okviru jednog montažnog segmenta, ona treba da se ostvari u čvoru kako bi elementi ispune prihvatali skretne sile.

4. PRORAČUN ELEMENATA REŠETKASTIH NOSAČA OD ŠUPLJIH PROFILA

Pri određivanju uticaja u elementima rešetkastih nosača, čija je ispuna realizovana dijagonalama i vertikalama, može se koristi proračunski model [3], prema teoriji elastičnosti, zasnovan na sledećim prepostavkama:

- elementi nosača su na svojim krajevima idealno zglobno oslonjeni;
- spoljašnje opterećenje deluje u čvorovima;
- ose elemenata su prave i centrisane.

Primenom ovakvog proračunskog modela znatno se pojednostavljuje postupak proračuna, jer su elementi izloženi samo dejству aksijalnih sila. Sa druge strane, svako odstupanje od njega, kao što je postojanje ekscentriciteta veze ili postojanje opterećenja koje deluje van čvorova nosača, izazivaju pojavu dodatnih, sekundarnih uticaja, koji se moraju uzeti u obzir prilikom proračuna.

Ukoliko se opterećenje unosi izvan čvorova rešetkastog nosača, ono izaziva lokalno savijanje pojasa duž kojeg deluje. Momenti savijanja koji su posledica ovakvog savijanja između čvorova ne mogu se zanemariti, već treba da se tretiraju kao primarni uticaji. U tom slučaju pojasne elemente treba dimenzionisati na kombinovano dejstvo aksijalne sile i momenta savijanja.

5. DIREKTNO ZAVARENE VEZE ELEMENATA REŠETKASTIH NOSAČA OD ŠUPLJIH PROFILA

5.1 Opšte karakteristike

Pri projektovanju rešetkastih nosača od šupljih profila treba imati u vidu da izbor konstrukcijskih elemenata – pojaseva i elemenata ispune, ne zavisi samo od uslova njihove nosivosti i stabilnosti već i od kompleksnosti njihove međusobne veze. U nekim slučajevima, u zavisnosti od dimenzija elemenata nosača, moguće je da se njihova međusobna veza ostvari direktnim zavarivanjem, a u nekim slučajevima za isti nivo opterećenja zahteva se formiranje ojačane veze primenom dodatnih čeličnih elemenata.

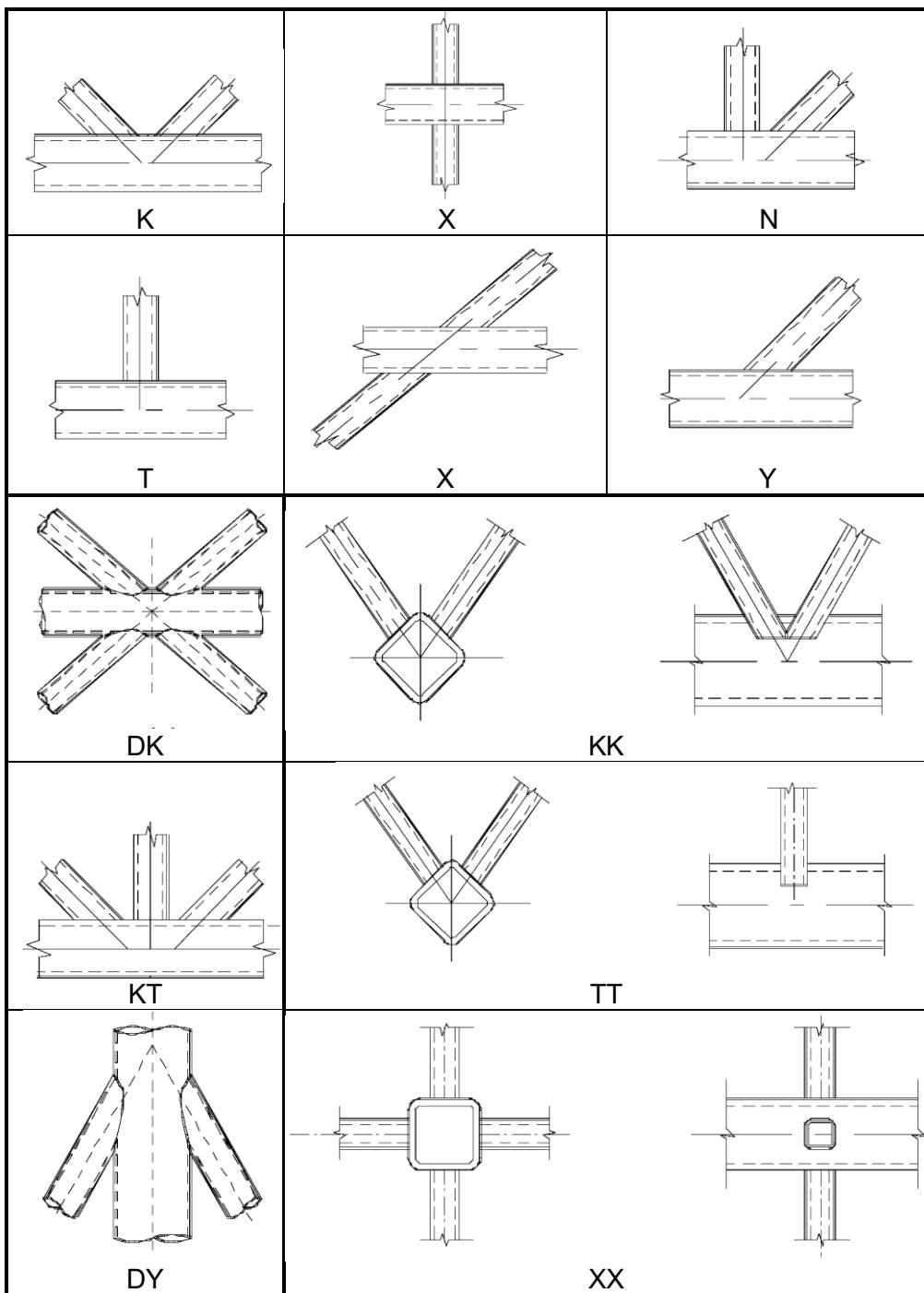
U opštem slučaju, veza elemenata rešetkastog nosača od šupljih profila može biti:

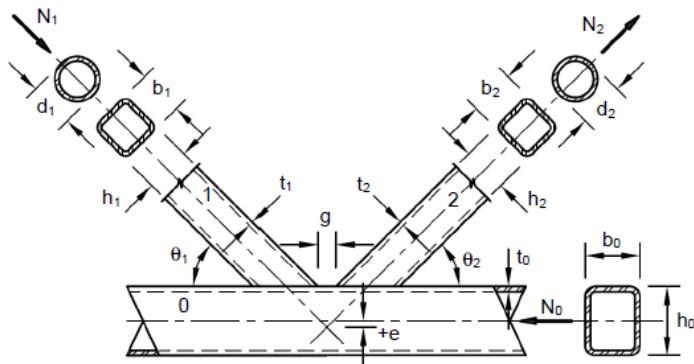
- *direktna*, neojačana i ojačana, kada su elementi ispune direktno zavareni za pojasnii element;
- *indirektna*, kada su pojasnii elementi i elementi ispune međusobno povezani posredno preko čvornog lima, zavrtnjevima, zakivcima ili zavarivanjem.

Kod veze ostvarene direktnim zavarivanjem, krajevi elemenata koji se sustiću u vezi treba da budu pripremljeni na takav način da oblik njihovog poprečnog preseka ne bude promenjen. Ovakve veze imaju primarnu poziciju, u odnosu na ostale tehnike spajanja, jer je konstruktivni integritet kao i tehnička sigurnost konstrukcije veća. Kod direktnih veza prenos sila je direkstan sa jednog elementa na drugi, dok je u slučaju indirektnih veza, dvostruk: najpre od jednog elementa do čvornog lima, a zatim od čvornog lima do drugog elementa. Otuda su statistički gledano moguće greške u projektovanju dva puta češće kod indirektnih nego kod direktnih veza. Osim toga, uvođenjem opterećenja iz ispune preko čvor-nog lima u pojasnii element dolazi do lokalnog savijanja flanše poprečnog preseka pojasa na mestu veze, čemu treba posvetiti posebnu pažnju.

Različite forme rešetkastih nosača od šupljih profila [4], [5], uslovjavaju različite oblike veze konstruktivnih elemenata kao što su ravanske: X, T, Y, N i K veze, zatim specijalne kakve su: KT, DK, DY veze, ili prostorne XX, TT, KK veze, (tabela 1.). Konfiguracija veze zavisi od razmaka ($+g$), preklopa ($\lambda = -g$), ekscentriciteta ($\pm e$), kao i ugla nagiba elemenata ispune θ_i (slika 3.)

Tabela 1. Tipovi veza rešetkastih nosača od šupljih profila prema EC3

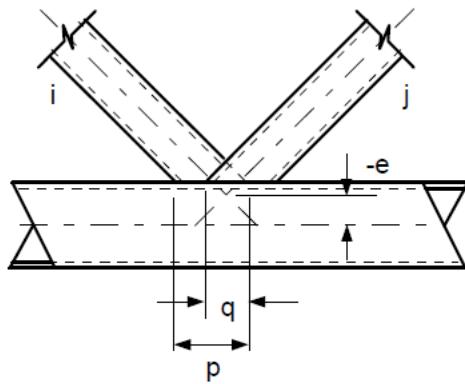




Slika 3. Osnovne karakteristike veze

Preklop elementa ispune (slika 4.) može biti pun ili delimičan. Definiše se kao negativna vrednost razmaka g ($\lambda = -g$), i izražava u procentima. Preklop treba da bude dovoljno veliki da bi se obezbedila međusobna veza elemenata ispune za prenošenje sile smicanja sa jednog na drugi element ispune.

Ekscentricitet veze ($\pm e$), je posledica formiranja razmaka između susednih elemenata ispune ili pak njihovog preklopa, u cilju povećanja nosivosti veze ili zadovoljenja proizvodnih uslova (ravno sečenje). Ekscentricitet je pozitivan ($+e$), (slika 3.) kada se sistemne linije elemenata ispune sekut ispod težišne linije pojasa, a u suprotnom, kada se sistemne linije elemenata ispune sekut iznad težišne ose pojasnog elementa, ekscentricitet je negativan ($-e$), (slika 4.).



Slika 4. Veza sa preklopom

Uglovi θ_i između pojaseva i elemenata ispune kao i između susednih elemenata ispune moraju biti veći od 30° .

5.2 Troškovi izrade veza

Troškovi izrade veza rešetkastih nosača [3], zavise od tipa veze, usvojenih profila za elemente ispune, odnosno pojaseve (CHS, RHS, valjani I, H ili U profili) kao i primenjenih metoda sečenja krajeva elemenata (ravno ili profilisano sečenje).

Izrade veza sa razmakom je znatno jednostavnija u odnosu na veze sa preklopom, kod kojih se opet, mogu preferirati veze sa punim u odnosu na one sa delimičnim preklopom. Veze šupljih profila pravougaonog poprečnog preseka (RHS) sa razmakom zahtevaju jednostavne ravne krajeve elemenata ispune sa istim uglom sečenja za sve četiri strane, za razliku od veza sa delimičnim preklopom kod koji jedan od elementa ispune ima dve ravni sečenja na kraju. Veze sa punim preklopom zahtevaju ravne krajeve oba elementa ispune, ali sa različitim uglovima sečenja. Izrada veza sa punim preklopom je komplikovanija u odnosu na veze sa razmakom. Dozvoljene tolerancije su manje: ukoliko dužine elementa ispune nisu tačne, nagomilana nepreciznost može dovesti do dislokacije veza. Preciznost u izradi veza sa delimičnim preklopom je znatno veća nego kod veza sa punim preklopom, pa je samim tim i izrada nosača sa ovakvima vezama kompleksnija i skuplja.

Veze šupljih profila kružnog poprečnog preseka skoro uvek zahtevaju profilisano sečenje, izuzev u slučajevima kada je prečnik elemenata ispune manji od trećine prečnika pojasa kada se može primeniti ravno odsecanje krajeva ispune.

Prema istraživanjima [1], prikazan je redosled različitih veza prema relativnim troškovima izrade:

1. najjeftinije: veze šupljih profila sa razmakom sa RHS pojasnim elementima i RHS ili CHS elementima ispune;
2. veze šupljih profila sa punim preklopom sa RHS pojasnim elementom i elementima ispune;
3. veze šupljih profila sa razmakom sa CHS pojasnim elementom i elementima ispune;
4. veze šupljih profila sa delimičnim preklopom sa RHS pojasnim elementom i elementima ispune;
5. veze šupljih profila sa punim preklopom sa CHS pojasnim elementom i elementima ispune;
6. najskuplje: veze šupljih profila sa delimičnim preklopom sa CHS pojasnim elementom i elementima ispune.

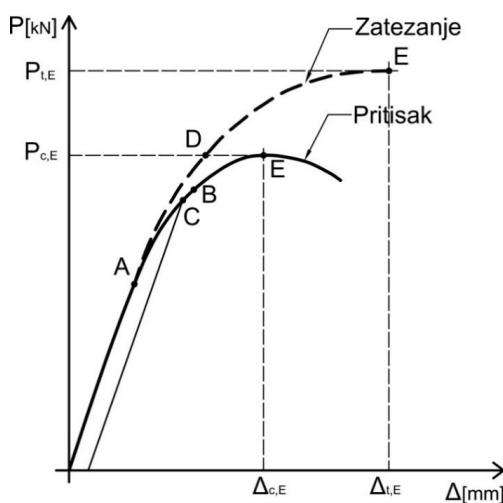
5.3 Neophodni uslovi za primenu šupljih profila prema EC3

Prema preporukama CIDECT i EN 1993-1-8 pri projektovanju ovakvih veza moraju biti ispunjeni sledeći uslovi [5]:

- dimenzije šupljih profila ispunjavaju zahteve za toplo *oblikovane šuplje profile prema EN 10210, i hladno oblikovane šuplje profile prema EN 10219*;
- *nominalna debљina zida šupljeg profila ne treba da bude manja od 2,5 mm*;
- *nominalna debљina zida šupljeg profila pojasnog elementa ne treba da bude veća od 25 mm, osim ako nisu preduzete posebne mere kojima se osigurava da će svojstva materijala biti odgovarajuća po čitavoj debљini*;
- kod vruće valjanih i hladno oblikovanih šupljih profila nominalna granica razvlačenja finalnog proizvoda ne treba da prelazi 46 kN/cm^2 . Kod proizvoda sa nominalnom granicom razvlačenja većom od $35,5 \text{ kN/cm}^2$ statička proračunska nosivost veze treba da se redukuje koeficijentom 0,9;
- mora biti ispunjen uslov da pritisnuti elementi veze ispunjavaju zahteve za klasu 1 ili klasu 2 za slučaj čistog savijanja, koji su dati u EN 1993-1-1.

6. GRANIČNA STANJA VEZA

Proračunske preporuke i jednačine kojima se određuje nosivost veze definisane su na osnovama teorije graničnih stanja [1], [4], [5]. .



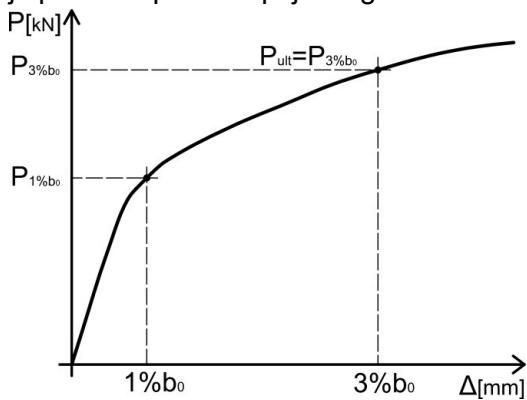
Slika 5. Kriva nosivost veze-deformacija kod pritisnute i zategnute veze od šupljih profila (A-granica elastičnosti, B-granica deformacije, C-granica zaostalih deformacija, D-pojava prsline, E-granično opterećenje)

Potrebno je dokazati da ni jedno od mogućih stanja nije prekoračeno:

- granično stanje nosivosti;
- granično stanje deformacija ili vizuelna pojava prslina.

Krive nosivost veze – deformacija prikazane na slici 5. pokazuju da je granična nosivost veze na pritisak (tačka E) znatno manja u odnosu na zatezanje. Takođe se uočava da kriva u slučaju aksijalnog pritiska ima maksimum (tačka E) pri otprilike istom nivou opterećenja pri kojem dolazi do inicijalne pojave prslina u slučaju opterećenja na zatezanje (tačka D). Kako je granična vrednost opterećenja na zatezanje u trenutku loma praćena pojavom velikih deformacija, da bi se postigla dodatna sigurnost kod veza sa malim kapacitetom deformacija, usvojena je primena graničnog opterećenja na pritisak kao osnova za proračun veza od šupljeg profila opterećenih kako na pritisak tako i na zatezanje. Osim toga, potrebno je ograničiti i maksimalne vrednosti deformacija usled eksploatacionog opterećenja. U proračunskim preporukama većine zemalja, konveksna ili konkavna deformacija površine preseka pojasa na mestu veze sa ispunom u iznosu od 1% do 3% od širine b_0 , u slučaju RHS profila, ili prečnika d_0 , u slučaju CHS profila, usvojena je kao maksimalna vrednost deformacije koja se može tolerisati u toku eksploatacije konstrukcije [1].

Da bi se definisala granična nosivost veza od šupljih RHS ili CHS profila, kod kojih kriva napon-deformacija, odnosno moment-rotacija ne pokazuje izraženu vrednost opterećenja, kao i da bi se izbegla istovremena kontrola nosivosti veze i za granično stanje nosivosti i za stanje upotrebljivosti, kao rezultat brojnih analiza, definisan je kriterijum loma zasnovan na graničnoj vrednosti deformacije. Zapaženo je da do iscrpljenja nosivosti najvećeg broja različitih veza dolazi usled lokalne plastifikacije površine preseka pojasnog elementa



Slika 6. Pojam granične deformacije veze

[6], a ukoliko je veza proračunata tako da do loma elementa ispune ne dođe pre loma same veze. Zbog toga je, kriterijum granične deformacije zasnovan na lokalnoj deformaciji površine pojasnog elementa, na mestu spoja sa elementom ispune. U preporukama IIW3 usvojena je granična vrednost deformacije u iznosu od 3% od b_0 (d_0) koja odgovara graničnoj nosivosti veze (slika 6.). Ova vrednost rezultat je eksperimentalnih ispitivanja i zasnovana je na činjenici da granično stanje upotrebljivosti nije merodavno u kontroli nosivosti veze, odnosno da neće doći do pojave prsline u toku eksploatacije konstrukcije [5].

Međutim, treba istaći da se najveći broj analiza nosivosti veze zasniva na graničnoj vrednosti opterećenja kao krajnjem rezultatu ispitivanja, kao i na kontroli maksimalnih deformacija u toku eksploatacije konstrukcije.

6.1 Osnovni oblici loma

Eksperimentalna istraživanja ponašanja zavarenih veza rešetkastih nosača od šupljih profila (Wardenier, Stark 1978, Kurobane 1980/81.) pokazala su da, u zavisnosti od oblika veze, oblika i dimenzija poprečnog preseka pojasnog elementa i elementa ispune, geometrijskih parametara veze ($\beta, \gamma, \tau, g, \lambda_{ov}, \theta$), vrste i nivoa opterećenja u pojusu i kvaliteta čeličnog materijala, do iscrpljenja nosivosti veze može doći usled [5]:

1. loma plastifikacijom površine pojasa ili njegovog čitavog poprečnog preseka (chord face failure or chord plastification) odnosno plastični lom površine pojasa ili plastični lom poprečnog preseka pojasa;
2. loma bočnih zidova pojasa ili loma rebra pojasa (chord side wall failure or chord web failure) usled plastifikacije, gnječenja ili nestabilnosti (ulubljenje ili lokalno izbočavanje bočnih zidova pojasa ili rebra pojasa) ispod pritisnutog elementa ispune;
3. loma smicanjem pojasa (chord shear failure);
4. loma usled kidanja (proboja) smicanjem (punching shear failure) zida šupljeg profila pojasa (pojava prsline koja dovodi do odvajanja elementa ispune od pojasa);
5. loma elementa ispune (brace failure) sa redukovanim efektivnom širinom (prsline u šavovima ili u elementima ispune);
6. loma lokalnim izbočavanjem (local buckling failure) elementa ispune ili šupljeg profila pojasnog elementa na mestu veze.

³IIW – Međunarodni institut za zavarivanje.

Na ovim oblicima loma zasnovane su proračunske nosivosti veza međusobno spojenih šupljih profila i međusobno spojenih šupljih i otvorenih profila.

6.2 Određivanje proračunske nosivosti veze

Proračun nosivosti zavarenih veza između elemenata od šupljih profila zasniva se na poluempijskim metodama koje predstavljaju kombinaciju teorijskih, numeričkih i eksperimentalnih analiza. To znači da su vrednosti parametara nosivosti veza određene primenom pojednostavljenih analitičkih modela, a da je konačan oblik proračunskih jednačina definisan statističkim procenama rezultata eksperimentalnih ispitivanja.

Primenom probablističke metode, vrši se analiza ponašanja veze, odnosno njeno dimenzionisanje prema graničnim stanjima nosivosti i graničnim stanjima upotrebljivosti. Treba istaći, da su proračunske jednačine nosivosti veze koje figurišu u savremenim propisima, definisane u odnosu na granično stanje nosivosti uz zadovoljenje određenih opsega važenja u pogledu geometrijskih parametara i konfiguracije veze, čime se u stvari indirektno zadovoljavaju uslovi graničnih deformacija.

U metodi graničnih stanja [4], od svih parametara koji utiču na proračun, samo su svojstva materijala i opterećenja obrađeni u statističkom smislu. Oni se u proračun uvode preko karakteristične vrednosti, koja zapravo određuje veličinu koja sa određenim stepenom verovatnoće neće biti prekoračena ili potcenjena, u nekoj najnepovoljnijoj situaciji. Dokaz graničnog stanja nosivosti na nivou unutrašnjih sila ili momenata, može se simbolički formulisati na sledeći način:

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

gde su:

S_d - proračunska vrednost unutrašnje aksijalne sile ili momenta u elementu ispune,
 R_d - proračunska nosivost veze.

Svaka od ovih veličina predstavlja statistički skup koji obuhvata različite faktore neizvesnosti kao što su: rasipanje rezultata ispitivanja u pogledu nepouzdanosti u modeliranju dejstava, modeliranju same veze, kao i različita mehanička, dimenzionala i proizvodna odstupanja. Ove nepouzdanosti obuhvataju se transformisanjem karakterističnih vrednosti u proračunske preko parcijalnih koeficijenata sigurnosti:

$$\gamma_F \cdot S_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2)$$

gde su:

S_k - karakteristična vrednost unutrašnje aksijalne sile ili momenta u elementu ispune,

R_k - karakteristična nosivost veze,

γ_F - parcijalni koeficijent sigurnosti za opterećenje,

γ_M - parcijalni koeficijent sigurnosti za materijal (nosivost veze).

Prema EC 3 [5], parcijalni koeficijent sigurnosti za veze kod rešetkastih nosača od šupljih profila iznosi

$$\gamma_M = \gamma_{M5} = 1,0 \quad (3)$$

6.3 Šavovi

Šavovi koji spajaju elemente ispune sa pojasevima treba da budu projektovani tako da imaju dovoljnu nosivost, da uzmu u obzir neuniformnu raspodelu napona i dovoljan kapacitet deformacije kao i preraspodelu momenta savijanja [5].

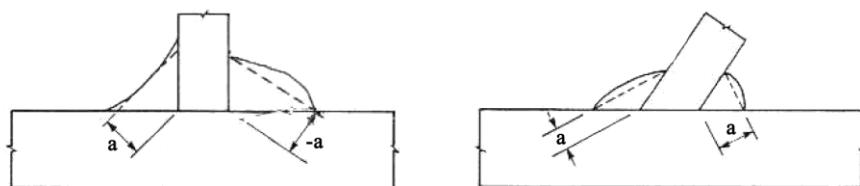
Proračunska nosivost šavova [3], po jedinici dužine obima elementa ispune, po pravilu ne treba da bude manja od proračunske nosivosti poprečnog preseka tog elementa. Od ovog kriterijuma se može odustati kada je manja dimenzija šava opravdana i u pogledu nosivosti u pogledu deformacionog ili rotacionog kapaciteta, uzimajući u obzir mogućnost da je samo deo njegove dužine efektivan.

Međusobna veza elemenata rešetkastih nosača od šupljih profila može se ostvariti direktnim međusobnom zavarivanjem ugaonim ili sučeonim šavovima sa punim ili delimičnim provarom. Izbor vrste šava zavisi od ugla nagiba θ_i , kao i od deblijine zida elementa ispune t_i , koja je u skladu sa proračunskim preporukama uobičajeno manja ili jednaka debeljini zida pojasa t_0 .

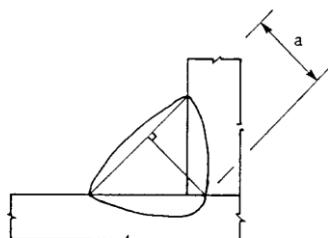
Najčešće se primenjuju ugaoni šavovi. Dodatni materijal se deponuje u korito obrazovanom između ivica elemenata koji se spajaju i u kojem se formira šav. Dimenzija koja određuje nosivost šava je debeljina šava a . Ona je jednaka visini najvećeg jednakokrakog trougla koji se može upisati u poprečni presek šava (slike 7. i 8.), [3]. Minimalna efektivna debeljina ugaonog šava prema EC 3 iznosi 3 mm. Prema preporukama IIW za kvalitet osnovnog materijala S235 i S275 može se usvojiti $a/t_{min} \geq 1,0$. Ugao između elemenata koji se spajaju kreće se u rasponu od $60^\circ - 120^\circ$. Ukoliko je ugao veći od 120° , ugaoni šavovi se ne smatraju pogodnim za prenošenje sila. Na slici 9. prikazani su oblici ugaonih i sučeonih šavova kod veza rešetkastih nosača od RHS profila, kod kojih je debeljina zida elementa ispune $t < 8 \text{ mm}$ [3].

Kod rešetkastih nosača kod kojih su pojasnii elementi valjani I ili U profili, a elementi ispune šuplji RHS ili CHS profili, važe ista pravila.

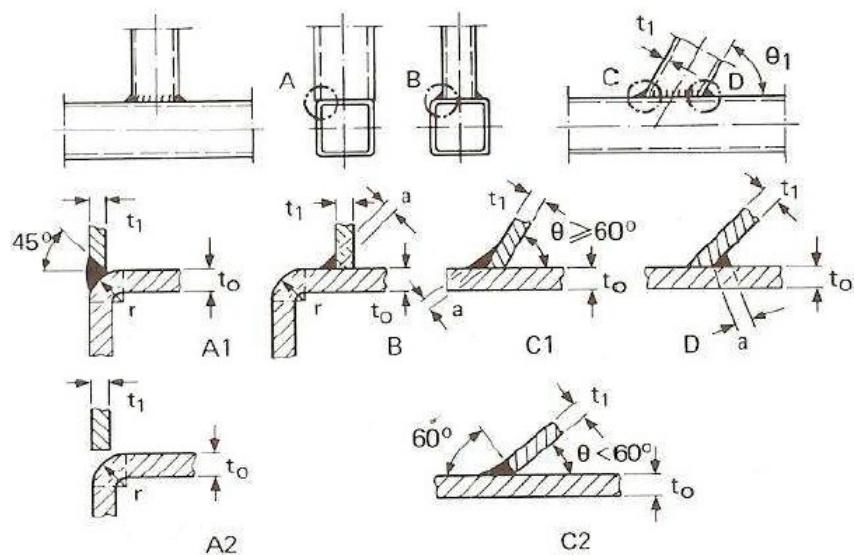
Kod veza od RHS profila kod kojih je širina elementa ispune jednaka širini pojasa ($b_1 = b_0$), primenjuju se takozvani užlebljeni šavovi. U ovim slučajevima, površina poprečnog preseka šava zavisi od ugla zaobljenja poprečnog preseka pojasnog elementa (slika 9. A1, A2 i slika 10.), [3].



Slika 7. Debljina ugaonog šava



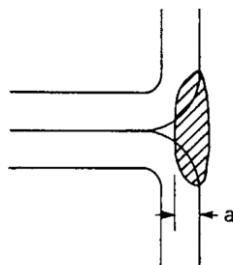
Slika 8. Debljina ugaonog šava sa dubokim provarom



Slika 9. Detalji šavova kod veza RHS profila (debljine profila $t < 8 \text{ mm}$).

Ugao nagiba elementa ispune θ_1 ne sme biti manji od 30° .

U slučaju kada je $\theta_1 < 60^\circ$ primenjuje se sučevi šav (detalj C2)



Slika 10. Debljina užlebljenih šavova kod šupljih profila kvadratnog/pravougaonog poprečnog preseka

Usled lokalnog zagrevanja materijala pri zavarivanju dolazi do nejednakih termičkih dilatacija pojedinih delova veze. Pri zagrevanju dolazi do izduženja elemenata koji se spajaju, a pri hlađenju do njihovog skupljanja. Kako se zone koje su udaljenije od šava brže hlađe i dostižu prvobitnu krutost, one sprečavaju slobodno skupljanje delova uz sam šav, pa se zbog toga javljaju i zaostali naponi. Deformacije elemenata, kao i zaostali naponi značajno smanjuju statički i funkcionalni kvalitet veze. Oni se ne mogu eliminisati, ali se njihov intenzitet može smanjiti pravilnim izborom redosleda zavarivanja, u cilju stvaranja deformacija suprotnog smera (pred deformaciju) ili sprečavanja njihovog slobodnog formiranja.

7. ZAKJUČAK

Primena šupljih profila za noseće čelične konstrukcije u građevinarstvu je novijeg datuma. Treba napomenuti da ovakve veze nisu tretirane u dosadašnjoj domaćoj tehničkoj regulativi i nema mnogo publikovanih radova iz ove oblasti kod nas. Pri projektovanju rešetkastih nosača od šupljih profila treba imati u vidu da izbor konstrukcijskih elemenata – pojaseva i elemenata ispune, ne zavisi samo od uslova njihove nosivosti i stabilnosti već i od kompleksnosti njihove međusobne veze. Proračun nosivosti ovakvih veza zasniva se na poluempirijskim metodama koje predstavljaju kombinaciju teorijskih, numeričkih i eksperimentalnih

analiza. To znači da su vrednosti parametara nosivosti veza određene primenom pojednostavljenih analitičkih modela, a da je konačan oblik proračunskih jednačina definisan statističkim procenama rezultata eksperimentalnih ispitivanja. Treba istaći, da su proračunske jednačine nosivosti veze koje figurišu u savremenim propisima EC 3, definisane u odnosu na granično stanje nosivosti uz zadovoljenje određenih opsega važenja u pogledu geometrijskih parametara i konfiguracije veze, čime se u stvari indirektno zadovoljavaju uslovi graničnih deformacija.

8. LITERATURA

- [1] Zhao X.-L., Herion S., Packer J. A., Puthil R. S., Sedlacek G., Wardenier J., Weynand K., Van Wingerde A. M., Yeomans N. F.: *Design Guide for Circular and Rectangular Hollow Section Welded Joints Under Fatigue Loading*, The International Committee for the Study and Development of Tubular Structures, Köln, Germany 2001.
- [2] Wardenier J., Packer J. A., Zhao X.-L., Van der Vegte G. J.: *Hollow Sections in Structural Applications*, CIDECT, Geneva, Switzerland, 2010.
- [3] Dutta D., Wardenier J., Zeomans N., Sakae K., Bucak Ö., Packer J. A.: *Design Guide for Fabrication, Assembly and Erection of Hollow Section Structures*, The International Committee for the Study and Development of Tubular Structures, Köln, Germany 1998.
- [4] EN 1993-1-1, 2005: *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [5] EN 1993-1-8, 2005: *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [6] S. Živković: *Doprinos proračunu direktno zavarenih veza elemenata rešetkastih nosača od šupljih čeličnih profila pravougaonog i kvadratnog poprečnog preseka*, Doktorska disertacija, Građevinsko-arkitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, Niš 2015.

UDK : : 72(497.11)"19"

711.61(497.11)

69(497.11)

KONSTRUKTIVNO REŠENJE I PRIMENJENI MATERIJALI U PARTERU TRGA PARTIZANA U UŽICU (1961)

Duško Kuzović¹

Abstrakt:

Trg partizana u Užicu je jedno od najvažnijih ostvarenja perioda Moderne u Jugoslaviji. Posebno je kvalitetno oblikovan parter. Primenjeni materijal je u potpunosti proizведен u domaćim firmama. Parter je obrađen u kamenu iz lokalnih kamenoloma. Konstruktivno rešenje partera je posebno mudro osmišljeno. O kvalitetu konstrukcije govori da se parter intenzivno koristi preko 50 godina bez većih problema. Znanje primenjeno na ovom objektu može biti korisno u savremenoj praksi. Ovaj rad analizira primenjena konstruktivna rešenja i materijale u parteru Trga partizana.

Ključne reči:

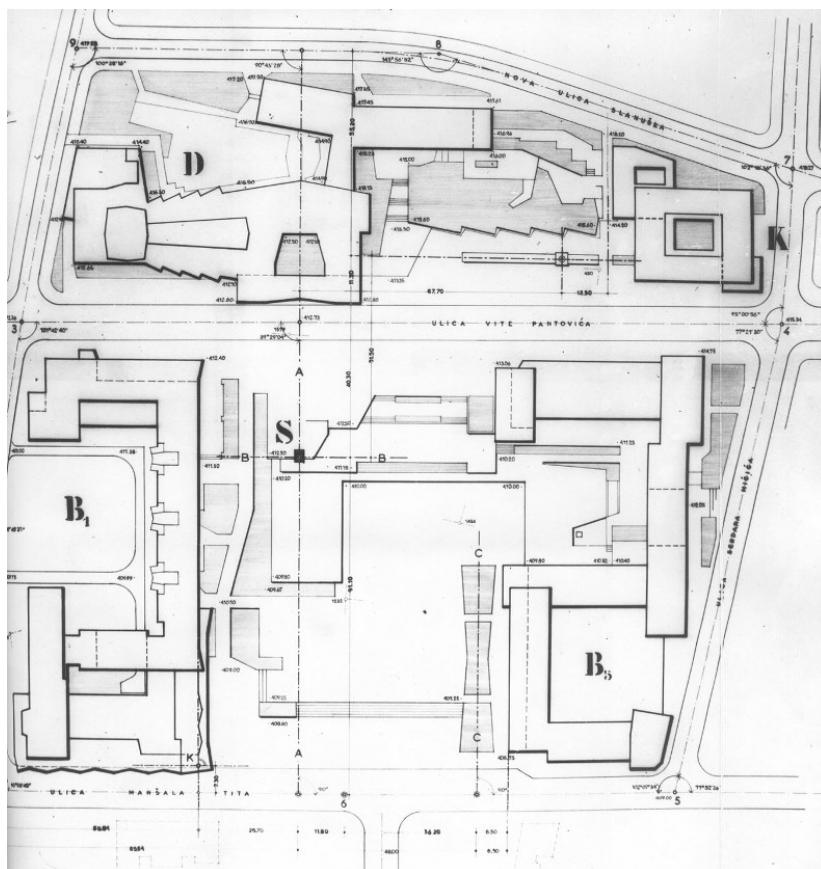
Trg partizana u Užicu, Stanko Mandić, Parter Trga partizana u Užicu, Arhitektura Moderne u Srbiji.

1. UVOD

Parter Trga partizana u Užicu pleni ne samo svojom formom i oblikovanjem već i primenjenim konstruktivnim rešenjima i odabranim materijalom. Materijal je korišćen pretežno iz lokalnih kamenoloma (jevtiniji i jednostavniji transport, lokalna radna snaga, očuvanje lokalnog karaktera i kulturnog lika prostora) dok se za ukrasne aplikacije koristio kamen koji je dovezen iz bliže okoline Užica (Maće kod Ivanjice) ili dalje okoline (Aranđelovac).

¹ Assist.Prof.Dr. Duško Kuzović dipl.eng.arch.
Faculty of Architecture, Eastern Mediterranean University, TRN Cyprus

Kvalitet konstruktivnog rešenja se proverava više od 50 godine kroz intenzivnu upotrebu i tradicionalno loše održavanje. Takođe, mada je površina dimenzionisana za pešački saobraćaj, u zoni partera se veoma često nalaze mala teretna vozila (prevoz peska i scenske opreme).



Slika 1. Trg Partizana, situacija (1961)

Pored toga već dugi niz godina se primjenjuje i neadekvatna namena prostora (klizalište) koja zahteva veliki sloj peska, rashaldne uređaje i instalacije koje značajno opterećuju površinu i menjaju temperaturnu zonu prihvatljivu za materijal kojim je popločana površina. Povremeno su se na parteru nalazila i teška vojna vozila (kao prilikom vojne parade). Međutim, parter i dalje pokazuje vitalnost i otpornost na sve nepogode prirodnog ili veštačkog porekla.

Osnov za ovaj rad je tehnička dokumentacija koja se nalazi u Istorijском arhivu u Užicu, tekstovi arhitekte Stanka Mandića [1], publikovani radovi [2,3] i privatne arhive izvođača i istoričara iz Užica.



Slika 2. Trg partizana, parter

2. DOKUMENTACIJA I DISKUSIJA

2.1 Organizacija partera

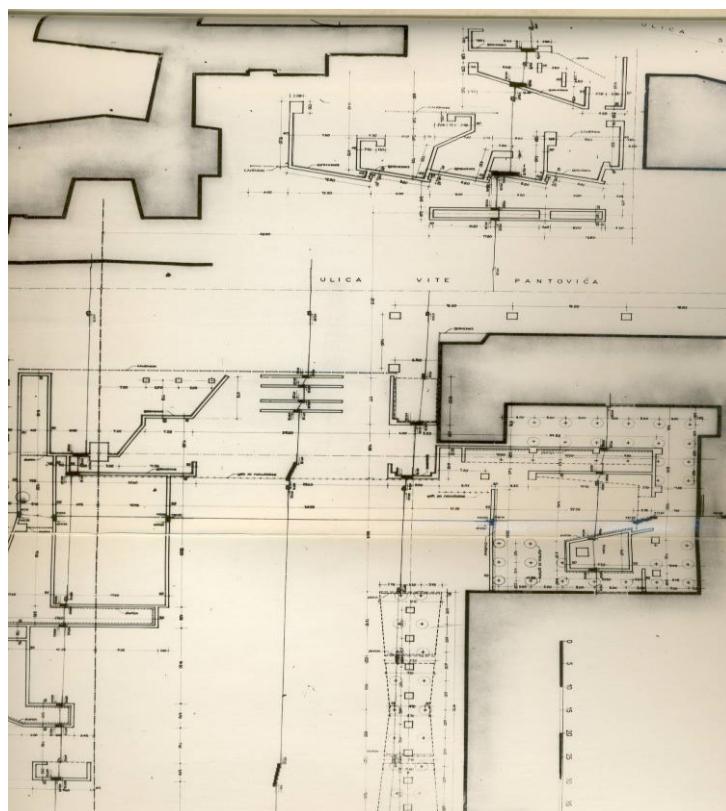
Platoi su oblikovani tako da istovremeno zadovoljavaju više funkcija: pristup u objekte, za potrebe javnih svečanosti i manifestacija, raznorodno korišćenje stanovnika tokom dana, potrebe turističkih poseta. Takođe, potrebno je obezbediti pristup u svaku tačku trga kako za pešake tako i za dečija kolica i invalide.

Pešački tokovi koji prelaze preko trga su skoro u potpunosti zadržani iz perioda prethodnog javnog prostora na mestu Trga partizana - Žitne pijace. Parter na Trgu partizana se sastoji od četiri platoa koji se sukcesivno nižu jedan za drugim između dve ulice: Dimitrija Tucovića i Kralja Petra. Platoi su međusobno povezani stepenicama ili kosom rampom za pristup dečijim i invalidskim kolicima. Na mestima razdvajanja primenjeni su potporni zidovi obrađeni u kamenu na specifičan način.

2.2 Ulice koje tangiraju ili presecaju Trg partizana

Niveleta ulice Dimitrija Tucovića i Kralja Petra Prvog prema projektu su 418,27 i 412,85 mm i visinska razlika iznosi od 4,58 do 4,94 metara. Podužni pad ulice Kralja Petra Prvog iznosi 0,5%, ulice Strahinjića Bana 4,04% i 7,07%, i ulice Petra Ćelovića 8,47%.

Poprečni nagibi saobraćajica su definisani na sledeći način: ulica Dimitrija Tucovića 3,6%, ulica Strahinjića Bana 3,43%, ulica Kralja Petra 2,68%, ulica Slanuška 2,80%.



Slika 3. Trg partizana, projekat partera 1961

Ulice koje tangiraju ili presecaju trg su obrađene u skladu sa obradom Trga partizana i zastrte su u skladu sa nagibom i intenzitetom saobraćaja: ulice Dimitrija Tucovića i Kralja Petra - asfalt a ulice Strahinjića Bana i Petra Ćelovića - kamena kocka.

Kako je prilikom izrade projekta procenjeno zastor na ulicima je predviđen za srednji saobraćaj. Kao zastor za ulice koje su pod nagibom je opredeljena kamena kocka debljine 10 cm u sloju peska od 3 cm koji se nalazi na podlozi od tucanika debljine 20+5 cm.

Na ulicama koje nisu pod nagibom predviđen je zastor od asvalta debljine 3 cm na podlozi od agregata 20+10 cm i podložnom sloju debljine 10 cm. Ivičnjaci su od (po površini sitno špicovanog) kamena dimenzija 18/24 cm.

2.3 Parter Trga partizana

Trg je javna površina pa je time opredeljena materijalizacija površina: sve pešačke površine su obrađene u kamenu.

Padovi koji su primjenjeni na platoima iznose: 1,48%, 1,26%, 1,47% i 1,32%.

Popločavanje je rešeno od kamenih ploča dimenzija 50/50 cm i 50/25 cm debljine 10 cm položenih u sloj nabijenog peska debljine 20 cm.

2.4 Materijal za obradu javnih površina

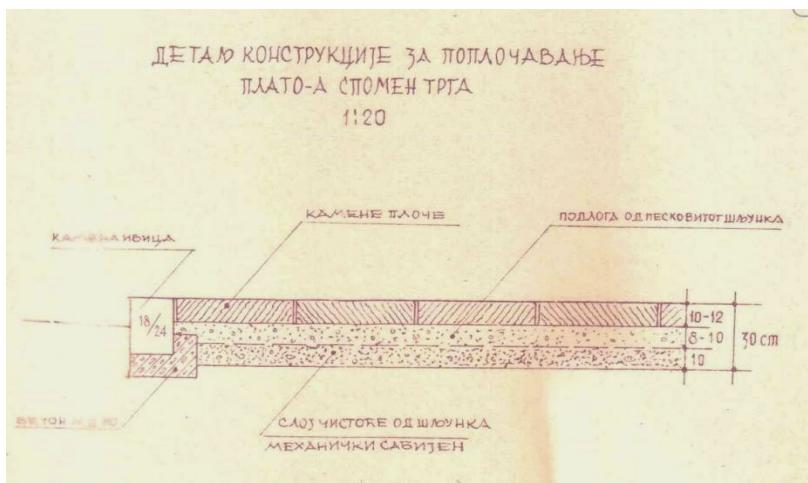
Priminjeni kameni materijal karakterišu tri grupe: kamene ploče iz kamenoloma Sirogojno, kamene ploče iz Aranđelovca, i kamene ploče iz kamenoloma Maće kod Ivanjice (korišten za inkrustaciju i borduru oko svečanog platoa ispred bronzane figure).

Kamene ploče primjenjene za popločavanje glavne površine partera su dimenzija 50/50 odnosno 50/25 cm i debljine 10 cm. Složene su u sloju peska debljine 20 cm, fugna na fugnu, bez smicanja, i bez spojnica.

Slog kamenih ploča je komponovan tako da se preko celokupne površine trga diskretno provlači pravougaoni raster koji se u nekim delovima površine gradi kroz naglašene spojnice između ploča a u nekim delovima kroz materijal koji je u kontrastu sa bojom osnovnih ploča. Na najnižem i najvišem platou, karakteristične su ploče koje su slagane u ritmu 7 redova ploča dimenzija 50/50 cm i jedan red ploča sa dimenzijama 50/25 cm (paralelno sa širinom trga) i tri reda ploča dimenzija 50/50 pa nakon toga jedan red ploča 50/25 cm u pravcu dužine trga. Tako su stvorena polja dimenzija 7x3 modula ploča 50/50 koja su oivičena rasterom širine 25cm od ploča dimenzija 50/25 cm.



Slika 4. Trg partizana, na fotografiji je naglašen raster koji je primenjen na glavnom platou partera



Slika 5. Trg partizana, detalj projekta popločavanja

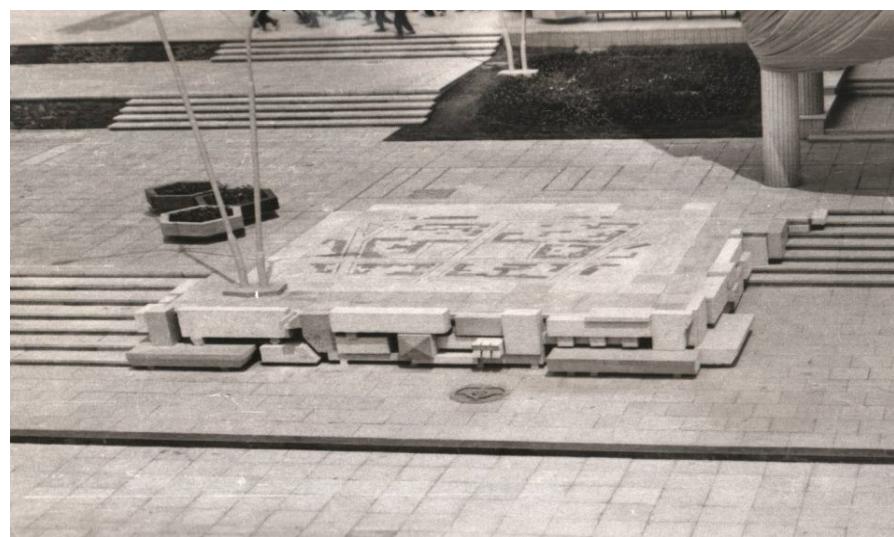
Mada su obe dimenzije ploča načinjene od istog materijala površinskom obradom je stvorena tekstura tako da je naglašen raster u odnosu na osnovnu boju i teksturu platoa. Srednji plato je obrađen od aranđelovačkog kamena u pravilnom slogu fugna na fugnu ali bez dodatnih modifikacija promenom dimenzije ploča.

Plato ispred bronzane skulpture je pravougaone osnove koja je na jugoistočnoj strani blago zalomljena. Plato je obrađen od aranđelovačkog kamena: paralelno sa širinom platoa složeno je 10 redova s

pločama širine 50 cm. Nakon toga umetnuta je bordura od istog kamena koja se sastoji od redova ploča 20 cm, 50 cm i ponovo 20 cm. Plato je postavljen u okviru od kamena crne boje iz sela Maće.



Slika 6. Pošta, detalja popločavanja i zelenila u parteru



Slika 7. Trg partizana, mapa Žitne pijace koja se nalazila na mestu današnjeg Trga

Plato ispred pozorišta je urađen od aranđelovačkog mermerra složenog u sloju peska. Kamene ploče su dimenzija 50/50 cm i složene su bez spojnica. Prostiru se od potpornog zida do kolovoza ulice Kralja Petra.

Slog partera kod Pošte se sastoji od kamenih ploča dimenzija 50/25 cm koje su složene u ritmu: dva reda ploča širine trake 50 cm a zatim jedan red ploča širine 25cm.

2.5 Obrada ivičnih zona platoa

Ivična zona platoa sastoji se od nekoliko rešenja: zona prema travnatim površinama je sagrađena od kamena granita koji je pritesan u nepravilnom slogu sa spojnicama od cementnom malteru.

Ivična zona prema stepenicama je obrađena u kombinaciji crnog škriljca iz sela Maće i belog krečnjaka iz sela Sirogojno.

Ivična zona platoa ispred bronzane figure je obrađena od kamena iz sela Maće. Kamen je postavljen u cementnom malteru jer je za 10 cm nadvišen u odnosu na donji plato trga te je bila potrebno obezbediti dodatnu stabilnost. Ploče su dimenzija 50/50 cm i složene su fugna na fugnu bez spojnica.

Tako je stvorena monolitna površina koja je u kontrastnoj poziciji u odnosu na ravan platoa koji uokviruje i najniži plato trga. Sa druge strane visina kojom je izdvojen plato u odnosu na osnovnu ravan partera daje diskretan utisak pijedestala celoj kompoziciji ispred bronzane figure. Ivična linija zelenih rundela na platou ispred Pozorišta je izrađena od granita koji je pritesan i složen u cementnom malteru. Iznad osnovne ravni platoa nadvišen je za 10 cm.

Ivičnjaci od jablaničkog granita u crnoj boji su primjenjeni na delu granice trga prema ulici Dimitrija Tucovića, zatim u delu gornjeg platoa i pozorišnog platoa prema ulici Kralja Petra i tako dalje.

2.6 Inkrustacija i dekoracija u ravni platoa

Pozorišni plato se zasniva na izostavljanju kamenih ploča u parteru i umesto njih postavljanju busena sa travom. Trava se kosi nekoliko centimetara iznad kote platoa.

Plato kod Kule sadrži geometrijsku predstavu koja se zasniva na skraćivanju kamenih ploča bele boje u parteru i u tako formiran prostor ubacivanju kamenih ploča od crnog škriljca.

Kompozicija se sastoji od paralelnih geometrijskih oblika koji prate raster osnovnih ploča. Pojedini delovi u zapadnom delu platoa su u celosti pokriveni crnim kamenom iz sela Maće. Donji plato ima najsloženiju kompoziciju. Pretežni pravac koji dominira kompozicijom

je dužina (sever-jug) i u tom pravcu su postavljene trake koje su šire u odnosu na trake koje se pružaju po-prečno. Rešenje se zasniva na primeni dvostrukih redova ploča crnog kamena a u poprečnom pravcu jednostrukog reda ploča. Na mestima suticanja pravaca naglašen je dodir uvođenjem kvadrata u crnom kamenu. Trake u pravcu sever-jug se pružaju i preko stepeništa prema ulici Dimitrija Tucovića.

2.7 Urbani mobilijar

Na Trgu su primenjene dve grupe mobilijara: ugrađen i ne-ugrađen. Ugrađen mobilijar čine kamene klupe ispred potpornih zido-vaa kod pozorišta i pošte (jedna grupa) i kod objekta Kule (druga gru-pa). Klupe su izrađene od kamenih komada koji su strugani, polirani i oblikovani u jednostavnim geometrijskim formama. Slobodan mobilijar čine jednostavne šestougaone žardinjere sa zarubljenim osloncem obložene keramičkim pločicama. Korpe za otpatke su izrađene u sličnoj geometrijskoj formi kao i žardinjere ali imaju metalne umetke.

Klupe su jednostavne sa sedištima od drveta koje su vijcima pričvršćene na okvir od savijenih metalnih cevi



Slika 8. Trg partizana, detalji partera pored Kule



Slika 9. Trg partizana, detalji mobilijara



Slika 10. Trg partizana, detalji mobilijara

3. ZAKLJUČAK

Trg partizana u Užicu je jedno od najvažnijih ostvarenja perioda Moderne u Jugoslaviji. Posebno je kvalitetno oblikovan parter. Primjenjeni materijal je u potpunosti proizведен u domaćim firmama. Parter je obrađen u kamenu iz lokalnih kamenoloma. Konstruktivno rešenje partera je posebno mudro osmišljeno. O kvalitetu konstrukcije govori da se parter intenzivno koristi preko 50 godina bez većih problema. Znanje primjeno na ovom objektu može biti korisno u savremenoj praksi. Ovaj rad analizira primjena konstruktivna rešenja i materijale u parteru Trga partizana.

LITERATURA

- [1] Mandić, S., (1959) Gradske trge u Titovom Užicu, Funkcija i kompozicija arhitekture prostora – razmatranja, paralele, ogledi, Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [2] Brkić, A, (1992) Znakovi u kamenu, srpska moderna arhitektura 1930-1980, Beograd: Savez arhitekata Srbije.
- [3] Marković, Ž., Stanimirović, A., (1990) Kulturno-istorijsko spomeničko nasleđe Titovog Užica, Užički zbornik, broj 19, Titovo Užice: Narodni muzej Užice, str. 67.

UDK: 711.4-122

316.334.56

RESTRUKTURIRANJE URBANIH FUNKCIJA KAO PROCES POST-SOCIJALISTIČKE URBANE TRANSFORMACIJE - TEORIJSKI OKVIR

Milena Dinić Branković¹

Ivana Bogdanović Protić²

Jelena Đekić³

Milica Igić⁴

Petar Mitković⁵

Rezime

U post-socijalističkom gradu dolazi do dramatične transformacije urbanog pejzaža, kako fizičke, tako i socio-ekonomске i funkcionalne strukture. Veoma kompleksan proces funkcionalnog restrukturiranja odvija se u čitavom urbanom tkivu. Rad ustanavljuje tipične razvojne obrasce u funkcionalnoj strukturi koji karakterišu post-socijalistički urbani pejzaž većine gradova centralne i istočne Evrope. Posledice procesa restrukturiranja urbanih funkcija su najvidljivije u tri prostorna formata: (1) centralnoj gradskoj zoni, koja se modifikuje prema modelu poslovne četvrti kapitalističkog grada, (2) velikim socijalističkim stambenim kompleksima, koji trpe velike prostorno-funkcionalne transformacije ili nastavljaju propadanje i (3) suburbanoj periferiji, gde se nova stambeno-komercijalna izgradnja sukobljava sa postojećim urbanim tkivom i otežava definisanje jasne urbane granice.

Ključne reči: stanovanje, komercijalni sadžaji, decentralizacija, urbana struktura, tranzicija

¹ Milena Dinić Branković, Dr, docent, Građevinsko-architektonski fakultet Niš

² Ivana Bogdanović Protić, Dr, docent, Građevinsko-architektonski fakultet Niš

³ Jelena Đekić, asistent, Građevinsko-architektonski fakultet Niš

⁴ Milica Igić, asistent, Građevinsko-architektonski fakultet Niš

⁵ Petar Mitković, Dr, redovni profesor, Građevinsko-architektonski fakultet Niš

1. UVOD

Nakon kolapsa socijalizma u Evropi, dotadašnje komunističke zemlje centralne i istočne Evrope (CEE) započele su mukotrpan proces tranzicije ka demokratskom društvu i tržišno orijentisanoj privredi. Radikalne političke i ekonomski reforme odvijale su se različitom brzinom u različitim državama. Transformacija urbane forme u ovom kontekstu bila je samo jedna od mnogih posledica socijalnog restrukturiranja [17], sa neznatnim uticajem na uspeh političkih i socio-ekonomskih reformi. Prostorni obrasci razvoja jesu bili uspostavljeni u kratkom vremenskom okviru, ali imaju dugoročne efekte na budući razvoj. Glavne karakteristike post-socijalističke transformacije urbanog prostora su reurbanizacija pojedinih delova centralne zone, kriza velikih socijalističkih kompleksa i pojava novog stambenog prstena male gustine naseljenosti na gradskoj periferiji [8]. Kako država nema tolike površine raspoloživog zemljišta kao u socijalizmu, niti pak dovoljno sredstava za realizaciju velikih projekata, post-socijalistički format izgradnje je manjih razmera, humaniji, izrazito privatnog karaktera i sa većim diverzitetom funkcija. Značajnu transformaciju su pretrpele sve urbane funkcije.

Stanilov opisuje post-socijalističke reforme u CEE regionu kao „pokušaj da se napravi očajnički skok od totalitarne egzistencije do kapitalizma u svega nekoliko godina“ [17]. Od monocentričnih naselja velikih gustina u kojima dominira socijalno stanovanje i javni prevoz, CEE gradovi se transformišu u razvučena metropolitenska područja sa više centara, gde privatizacija dostiže zabrinjavajući stepen [17]. Međutim, postoje određene razlike u odnosu na kapitalističke modele urbanizacije, gde su se slični procesi urbanog razvoja odvijali mnogo sporije, tokom čitave druge polovine 20. veka, što je ostavilo dovoljno vremena da se uoče negativni efekti i donesu odgovarajući zakoni.

S obzirom na varijetet političkih, ekonomskih i socijalnih reformi koje ga odlikuju, tranzicioni period u razvoju CEE gradova predstavlja dobar vremenski i metodološki okvir za istraživanje restrukturiranja urbanih funkcija. U ovom radu analiziraju se promene u urbanom tkivu koje su se u velikim gradovima odigravale nakon pada socijalističkog sistema 1989. godine, posebno sa aspekta njihovog uticaja na strukturu i distribuciju urbanih funkcija. Osnovni cilj rada je da, koristeći pregled relevantne literature, ustanovi tipične razvojne obrasce u funkcionalnoj strukturi, koji karakterišu post-socijalistički urbani pejzaž većine gradova centralne i istočne Evrope.

2. TRANZICIONI KONTEKST RESTRUKTURIRANJA – REGULATORNI OKVIR I ULOGA PRIVATIZACIJE

U periodu socijalizma jedino je država imala ovlašćenja nad građevinskim zemljištem, i pojavljivala se u projektima izgradnje u višestrukoj ulozi, kao vlasnik, investitor i izvođač [18]. Urbani razvoj odvijao se u skladu sa planskim dokumentima koje je donosila i odobravala centralizovana državna uprava, dok su je lokalne gradske vlasti samo implementirale, bez ikakvih ingerencija u odlučivanju. Razvoj gradova usmeravan je u skladu sa nacionalnim ekonomskim razvojem, bez razmatranja troškova zemljišta, kapitala, usluga i radne snage [18].

Nakon pada socijalizma, prelazak na tržišno orijentisano demokratsko društvo bio je običajen pokušajima da se umanji uloga države i omogući delovanje zakona tržišta kako bi se pokrenula posrnula ekonomija [17]. Slobodno tržište imalo je veliki uticaj na restrukturiranje socijalističke privrede i društva. S druge strane, državna uprava je osim privlačenja kapitala i kontrole novčanih tokova u državnoj ekonomiji imala zadatku i da propiše adekvatnu regulativu koja će propratiti prelazak na tržišni sistem i omogućiti implementaciju zakona. Kako nasledeni zakonski okvir iz perioda socijalizma uopšte nije odgovarao izmenjenim tržišnim okolnostima perioda tranzicije, u kojima se kontinuirano odigravao sukob privatnog i javnog interesa, bila je neophodna njegova izmena. Proces uspostavljanja adekvatne regulative u CEE zemljama odvijao se sporo i nije uvek bio javan i demokratski [18]. Kao rezultat zakonodavnih aktivnosti u periodu tranzicije dolazi do značajnih promena u imovinskim odnosima (zemljište, objekti, usluge).

U ovakvim okolnostima, u urbanističkoj delatnosti nastupa dramatična promena - od centralizovanog planiranja i stroge kontrole urbanog razvoja u socijalističkom gradu, u post-socijalizmu se omogućava razvoj grada deo po deo, shodno trenutnoj ponudi na tržištu a u cilju sticanja profita. Nastaje tzv. „opportunity-led planning“, odnosno planiranje koje se prilagođava trenutnim razvojnim šansama i potrebama [26], umesto da usmerava urbani razvoj kroz osmišljene strategije i kontroliše ga. Primat u definisanju urbanog razvoja preuzimaju privatni investitori, a gradskim vlastima preostaje samo da usvoje fleksibilne strategije bez gotovo ikakvih ograničenja u veličini, funkciji ili lokaciji projekta. Planska regulativa jeste postojala, ali se slabo primenjivala, uz česte manipulacije. Već usvojeni planovi su naknadno menjani kako bi inkorporirali željene projekte po svaku cenu. Projekti su dobijali odobrenje bez obzira na to da li su kompatibilni sa

tradicionalnim razvojnim obrascima i važećim planom, kako bi se uđovoljilo inostranim investitorima. Evidentno je da je jačanja uloge privatnog sektora direktno zavisno od slabljenja državne kontrole u sektoru prostornog razvoja [26]. Tasan-Kok na primeru Budimpešte i Varšave konstatiše da se iza navodne fleksibilnosti u planiranju zapravo krije nedostatak prave državne strategije urbanog razvoja i nepostojanje implementacije planova [26]. Nažalost, "oportunističko planiranje" je često privatnim investitorima omogućavalo da maksimiziraju profit i potpuno zapostavljaljavni interes. U većini slučajeva planiranje se svodilo na pregovore između investitora, vlasnika zemljišta i gradskih zvaničnika [26], a dugoročni efekti ovakvih projekata nisu uopšte razmatrani. Popustljiv stav lokalnih vlasti prema novim projektima bio je odraz nacionalne politike da se nove investicije ohrabre po svaku cenu. Podržavan je svaki vid urbanog rasta koji je donosio investicije i nova radna mesta, što je najlakše bilo ostvariti na suburbanoj periferiji [20]. Ovakav koncept doveo je do prostorne fragmentacije urbanog tkiva, tako da danas u planskim dokumentima nema mnogo mogućnosti za inovaciju, već samo za korekciju onoga što je tada učinjeno.

U tranzicionom periodu izuzetno značajnu ulogu u procesu urbanog restrukturiranja CEE gradova odigrala je privatizacija [1]. Nivo privatizovanja razlikovalo se od države do države, što je direktno bilo uzrokovano političkim odlukama. Transfer državnog u privatno vlasništvo otežao je lokalnoj vlasti kontrolu nad zemljištem, a državni propisi za kontrolu urbanog razvoja koji su pokrenuli privatizaciju pogodovali su bujanju suburbije [18]. Za vreme socijalizma ekspanzija gradova odvijala se pod patronatom države, u vidu velikih stambenih ili industrijskih kompleksa. Nakon pada režima, privatizacija zemljišta na urbanoj periferiji izazvala je ogromno interesovanje za izgradnju na tim parcelama. Realizacija poduhvata međutim nije bila moguća bez izmene zakona, čija je ubrzana revizija u periodu tranzicije ostavila je mnoge nedoslednosti i nedorečenosti u urbanističkoj regulativi. Konverzija poljoprivrednog zemljišta u građevinsko dovela je do toga da je suburbanizacija postala dominantni vid urbanog razvoja velikih CEE gradova, iako su ove gradove nekada karakterisale strogo ustanovljene granice. Stanilov navodi da iako je većina zakona o urbanom razvoju eksplicitno zahtevala da se gradnja odvija u skladu sa usvojenim generalnim planom ili tek kada se područje opremi neophodnom infrastrukturom, to nije uvek bio slučaj jer je zakon dozvoljavao i izgradnju u skladu sa planovima pojedinačnih područja, koji nisu bili usklađeni sa planom višeg reda i koji su omogućavali manipulacije [18]. U većini CEE država izgradnja prema parcijalnim planovima postala je masovna praksa, što je dovelo do nipodaštavanja

planskog razvoja i nasumične izgradnje, preopterećenja postojeće infrastrukture i konflikata između postojećih i novih sadržaja. Proces privatizacije stanovanja se ponekad odvijao paralelno sa urbanom obnovom. Sve ovo je stvorilo uslove za promenu namene prostora u naseljima i implementaciju novih funkcija i sadržaja. U tom smislu, pitanje urbanog razvoja u CEE gradovima vezuje se u velikoj meri za privatizaciju i inostrane investicije.

Opšte popuštanje mehanizama kontrole urbanog razvoja dovelo je do bujanja divlje gradnje. Vremenom je ovaj društveni fenomen poprimio tolike razmere da je doneto više zakona kojima je legalizovana ogromna većina bespravno podignutih objekata. Ovaj građevinski fond će nažalost trajno ostati deo urbanog tkiva kao legat jednog haotičnog perioda. Uprkos naporima u poslednjih nekoliko godina da se divlja gradnja stavi pod kontrolu doslednom primenom zakonskih instrumenata, u CEE državama još uvek preovladava mišljenje da će vremenom svi bespravno podignuti objekti ipak naći načina da budu legalizovani. Nažalost, i žitelji CEE gradova takođe su razvili specifičan nehajan stav prema zakonu. Nepoverenje u državnu upravu i dugogodišnja evidentna korupcija u oblasti urbanizma doveli su do toga da i građani teže da zaobiđu i zloupotrebe propise kad god je to moguće.

Može se konstatovati da je u postupku donošenja i implementacije zakona koji su regulisali aktivnosti u urbanističkoj delatnosti u post-socijalističkom periodu dolazilo do brojnih propusta. Kasnijim revizijama zakona činjeni su pokušaji ublažavanja tih nedostataka, ali su problemi uprkos tome stalno bili prisutni [7,13]. Implementacija zakona je nakon trnovitog početka vremenom unapređivana, ali nedovoljno da bi ostvarila dobar rezultat. Tek bi jačanje institucija trebalo da vremenom dovede do potpune demokratizacije društva i vladavine prava. Tranzicioni period, svejedno da li se radilo o legalnoj ili bespravnoj gradnji, ostavio je snažan pečat na urbani pejzaž CEE gradova. Savremena politika planiranja i regulativa imaju dobro formulisane ciljeve i razvojne pravce, ali i dalje nedostaje zakonska podrška u implementaciji, razrađene strategije i odgovarajuće finansiranje.

3. RESTRUKTURIRANJE URBANIH FUNKCIJA

Post-socijalistički period je bio obeležen disperzijom svih urbanih funkcija, kako stambene, tako i komercijalnih namena: poslovanja, trgovine i industrije. Proces funkcionalnog restrukturiranja odvijao se u čitavom urbanom tkivu, a njegove posledice su najvidljivije u tri pro-

storna formata: (1) centralna gradska zona, (2) veliki socijalistički stambeni kompleksi i (3) suburbana periferija. Restrukturiranje je obuhvatilo čitav dijapazon različitih urbanih intervencija [2,9]. Nastankom novih poslovnih i komercijalnih zona, naročito velikih trgovinskih formata, pojavila su se nova čvorišta aktivnosti, od kojih se većina locira u i oko socijalističkih stambenih naselja i u novonastaloj suburbiji. Gradski centar se komercijalizuje i počinje da liči na centre kapitalističkih gradova. Obnavljaju se napuštene industrijske lokacije. Izgradnjom luksuznih vidova porodičnog stanovanja malih gustina nekadašnja oštra ivica koja je razgraničavala gusto urbano tkivo od svog okruženja postala je nejasna. Grade se moderne višeporodične stambene zgrade na atraktivnim lokacijama.

3.1 Transformacija funkcije stanovanja

Post-socijalistički period karakteriše značajna transformacija funkcije stanovanja. Dolazi do prostorne decentralizacije, što je za posledicu imalo ujednačavanje stambenih gustina. Prostornu distribuciju stanovništva u post-socijalističkom gradu karakterišu tri glavna procesa [19]:

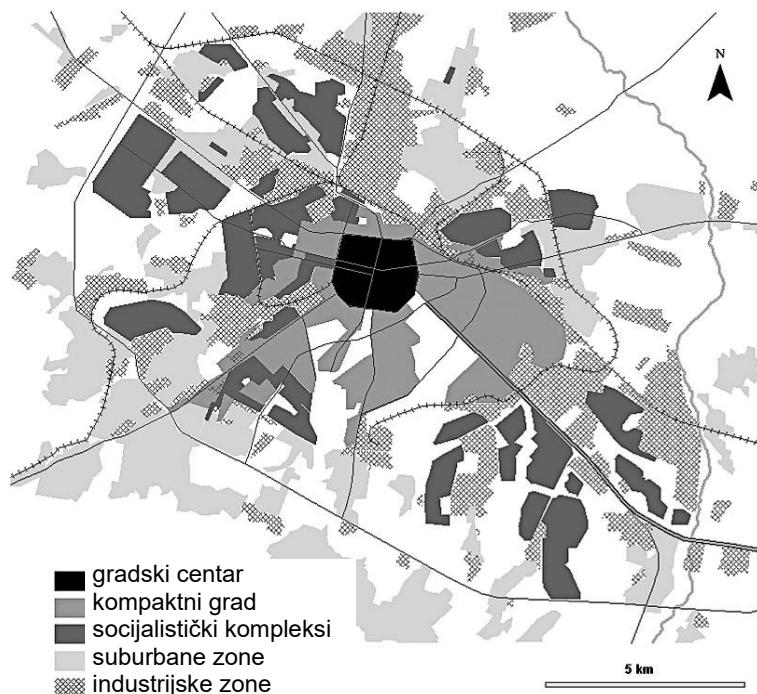
1. *Smanjenje stambene funkcije u gradskom jezgru* i njeno potiskivanje ka periferiji, zbog porasta komercijalnih sadržaja koji su u mogućnosti da plate visoke cene centralnog zemljišta i rente;
2. *Porast stepena suburbanizacije stambene funkcije*, koji je rezultat i prethodno navedenog procesa ali i delovanja drugih činilaca (restitucija, slabija kontrola u upravljanju zemljištem, uspostavljanje slobodnog tržišta i diverziteta stambenih opcija);
3. *Socijalno-prostorno raslojavanje stanovništva*, kao važna karakteristika u transformaciji urbane strukture post-socijalističkih gradova, i posledica raseljavanja i suburbanizacije.

Sa socio-ekonomskog stanovništa, razvoj stanovanja u post-socijalističkom gradu doveo je do kontradikcija [19]. Iako se tržište diverzifikovalo, opcije za potencijalne kupce su se smanjile. Izuzetno visoke cene stanova u gradskom centru, potpomognute gentrifikacijom i širenjem komercijalnih sadržaja, u kombinaciji sa pogoršanim stambenim uslovima u starim četvrtima i naseljima, pospešili su odseljavanje srednje klase u predgrađa. Najbogatiji društveni slojevi opredelili su se za skupe luksuzne stanove u centru, kao i za rezidencijalno stanovanje na ivici grada. Tako je post-socijalistički razvoj funkcije stanovanja produbio socio-prostorne razlike u CEE gradovima.

U domenu postorno-funkcionalnog reskruktuiranja gradova, nakon 1989. godine nekadašnja vikend i seoska naselja se postepeno pretvaraju u prava predgrađa sa stalnim stanovnicima, i zavisna su od grada za zaposlenje i usluge [10]. Dolazi do masovne nove stambene izgradnje, ponajviše individualnih objekata u zoni između grada i seoskih naselja. Većina nekadašnjih vikendica pretvorena je u trajne stambene kuće. Ovaj proces javlja se kao odgovor na rastuću potrebu stanovništva da stanuje u individualnim stambenim objektima sa svojim dvorištem [10]. Prenamena vikend naselja u predgrađa omogućila je veća opštinska ulaganja u infrastrukturu i povećanje stambenih gustina. Postojeća mreža seoskih naselja u blizini gradova se navodi kao najvažniji istorijski i kulturološki razlog suburbanizacije i urbanog rasplinjanja velikih post-socijalističkih gradova [4]. To se zapravo odnosi na veliki broj malih seoskih naselja i ideo nepoljoprivrednog stanovništva koji u njima živi. Ovo stanovništvo živi u individualnim kućama na sopstvenom zemljištu, uglavnom je zapošljeno u obližnjem gradu i svakodnevno putuje na posao.

Sykora i Ouredniček navode primer Češke gde suburbanizacija stanovanja nije bila uzrokovana velikim migracijama stanovništva iz centra u metropolitenska područja, niti pak brzom izgradnjom novih domova na gradskoj periferiji [24]. Naprotiv, broj stanovnika je stagnirao, a došlo je jedino do redistribucije stanovništva. Ovo je karakteristika svih post-socijalističkih gradova Evrope, za razliku od zapadne Evrope ili severne Amerike. Na primeru Sofije mogu se uočiti četiri karakteristične stambene zone u urbanoj strukturi tipičnog post-socijalističkog grada [10] (Slika 1):

1. Gradski centar sa stambenim fondom nastalim krajem 19. i početkom 20. veka, gde preovladavaju antropometrijske urbane forme i mešovite funkcije;
2. Kompaktni grad koji karakterišu tradicionalne četvrti nastale do prve polovine 20. veka, gde dominiraju stambeni objekti srednjih visina pozicionirani u okviru uličnog niza;
3. Veliki socijalistički stambeni kompleksi nastali u periodu 1960.-1980. godine, koje karakterišu višespratnice u duhu moderne u superblokovima;
4. Suburbana periferija koja se trenutno razvija, i obuhvata stambene zone malih gustina sa dominantnim stanovanjem u individualnim kućama.



Slika 1. Prostorna struktura Sofije. Izvor: Hirt i Stanilov, 2007.

3.1. Decentralizacija komercijalnih namena

Nakon pada socijalističkog sistema dolazi do izrazite komercijalizacije prostora, što je bila očekivana i neizbežna posledica pojave privatnog preduzetništva. Za mnoge stanovnike post-socijalističkih gradova, koji su u periodu tranzicije ostali bez posla, započinjanje sopstvenog malog biznisa bila je jedina šansa za ostvarivanje nekakvog prihoda. Najpre je naglo je kreiran veliki broj malih poslovanja za koje je bilo potrebno iznaći adekvatan prostor. To se odvijalo kroz improvizovanu transformaciju stanova, podruma i garaža u kancelarije i prodavnice, odnosno tzv. „garažni kapitalizam“ [27]. Diverzitet sadržaja jeste doveo do porasta aktivnosti i vitaliteta prostora u nekadašnjim monofunkcionalnim naseljima, ali je privatizacija javnog prostora uzrokovala i brojne druge probleme.

Proces komercijalizacije stambene funkcije u periodu tranzicije zajednička je karakteristika svih CEE gradova [20]. Za razliku od adaptacija stambenog prostora koje su se odvijale podjednakom učestalošću na teritoriji čitavog stambenog naselja, konverzija stambenih u komercijalne sadržaje propratila je svakodnevne navike

stanara. Tako se komercijalni sadržaji pojavljuju na mestima najintenzivnijih socijalnih interakcija, odnosno na najprometnijim lokacijama.

Sykora i Ouredniček navode da je proces suburbanizacije metropolitenskih područja u Češkoj u drugoj polovini devedesetih bio naročito prisutan u oblasti nestambenih sadržaja, i mnogo intenzivniji od dekoncentracije stambene funkcije [24]. Dekoncentracija radnih mesta predstavljala je potpuno nov fenomen. Ubrzano raste nivo ekonomskog aktivnosti i broj radnih mesta u zoni suburbije (trgovina na veliko i malo, skladišta), dok u gradskom centru opada. Suburbanizacija sadržaja trgovine je promenila navike potrošača, pa se veliki deo potrošnje realizuje u suburbanim hipermarketima i šoping molovima, koji često nisu opsluženi javnim transportom. U distribuciji radnih mesta u metropolitenskom području pojavljuje se još jedan značajan problem - prostorno neslaganje stanovanja i mesta rada [24]. Naime, suburbana zaposlenja su uglavnom u sektoru trgovine, skladištenja i distribucije i skromno su plaćena, a radnici dolaze iz gradskog centra ili okruženja. S druge strane, stanari suburbije su imućniji društveni slojevi koji pak putuju u centar grada do svojih poslovnih prostorija. Sve ovo znatno povećava broj putovanja i time utiče na životnu sredinu i kvalitet života uopšte.

Iako je do 2001. godine najveći deo finansijskih transakcija na tržištu nekretnina u zemljama centralne i istočne Evrope bio namenjen poslovnom prostoru u glavnim gradovima, otada se značajno povećao udeo kapitala koji je bio uložen u sektor maloprodaje (prvenstveno u velike šoping centre), premašivši nivo ulaganja u sektor poslovanja [20]. Povećano interesovanje za gradnju šoping centara u post-socijalističkim zemljama odvijalo se uporedo sa opštim porastom investiranja u trgovinski sektor na području čitave Evrope [3], što je bila posledica porasta kupovne moći stanovništva u CEE metropolitenskim područjima. U nekoliko narednih godina na tržištu nekretnina bio je primetan i porast ulaganja u industriju, hotelijerstvo i stanovanje.

Investiranje u komercijalno tržište nekretnina u CEE gradovima dvojako se odrazilo na prostornu distribuciju nestambenih aktivnosti [20]. Prvi razvojni trend je podrazumevao formiranje novih centralnih poslovnih četvrti u kojima dominiraju komercijalne namene, po ugledu na zapadnoevropske modele [16]. Iako su centri CEE gradova i tokom socijalističkog perioda predstavljali fokalne tačke administrativnih i komercijalnih funkcija, ovakva postavka je više bila posledica nasleđene urbane tradicije i refleksija centralizovanog sistema upravljanja, nego rezultat tržišnih okolnosti [20]. Za razliku od kapitalističkih gradova, gde je prostorna distribucija urbanih funkcija zavisila od

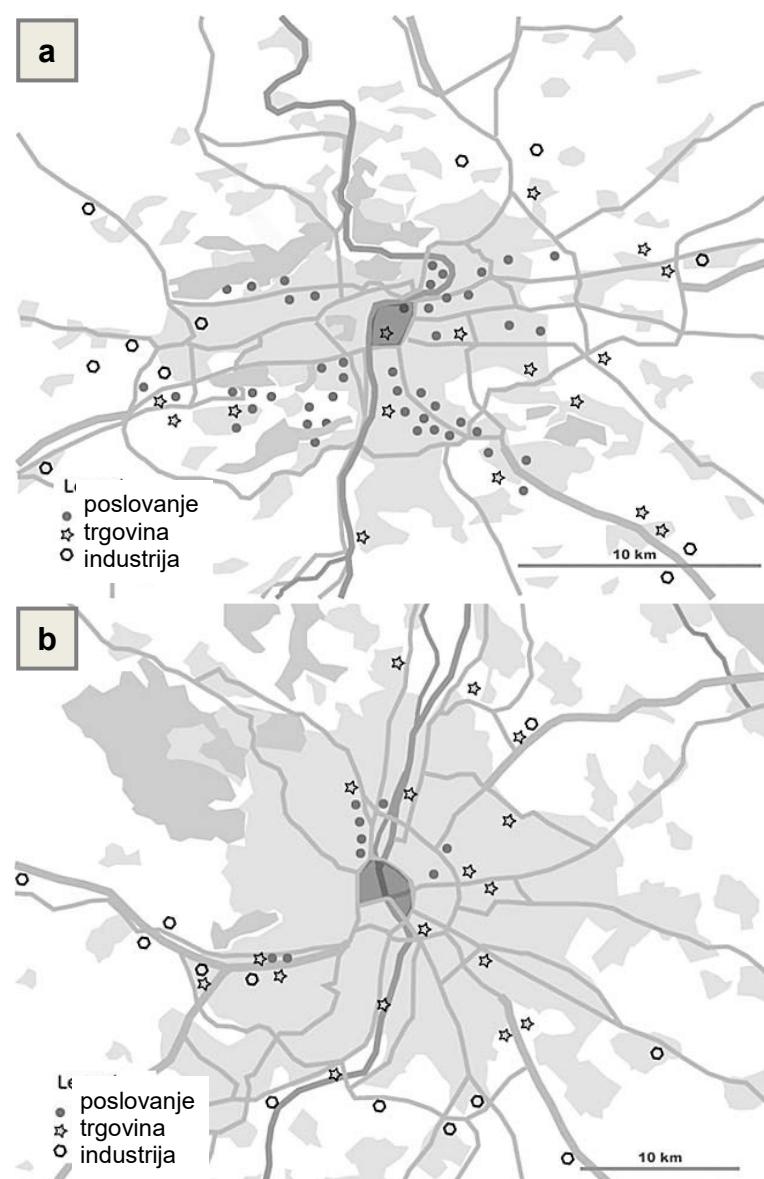
ekonomске moći pojedine funkcije da priušti određenu lokaciju, u socijalističkom miljeu funkcije su bile pod čvrstom kontrolom državne uprave i nezavisne od tržišnih zahteva. Poslovanje i trgovina bili su pozicionirani u gradskom centru jer ih je uprava tako najbolje kontrolisala. Komercijalne namene su u socijalističkom gradu bile redukovane do minimalnog nivoa nužnog za funkcionisanje, a sadržaji su bili grupisani u nekoliko velikih poslovnih i trgovačkih objekata u centralnoj zoni. Početak tržišno orijentisanih principa poslovanja u tranzisionom periodu doveo je do porasta cene zemljišta i nekretnina u gradskom centru, što je dovelo do promena u strukturi funkcija. Za mnoge stanovnike i neke usluge više nije bilo mesta u gradskom jezgru, zamenile su ih prestižne poslovnice, banke, osiguravajuće kompanije, galerije, specijalizovane prodavnice, klubovi i restorani [20].

Drugi razvojni trend u distribuciji komercijalnih sadržaja posle 1989. godine je bila decentralizacija komercijalnih funkcija [22,26] (Slika 2). Decentralizacija poslovnih, trgovinskih i industrijskih namena je imala snažniji uticaj na prostornu organizaciju metropolitenskih područja centralne i istočne Evrope nego proces dekoncentracije stambene funkcije [24,14,12]. Prostorni obrazac suburbanizacije post-socijalističkog grada se razlikuje od onog u kapitalističkim gradovima po tome što dekoncentracija stanovanja nije bila uzrok disperzije ostalih urbanih funkcija i njihovog izmeštanja iz gradskog jezgra [20]. Tokom poslednjih decenija socijalizma proces suburbanizacije u CEE gradovima se odvijao relativno sporo, tako da je decentralizacija funkcije stanovanja u tranzisionom periodu bila očekivana. Međutim, ubrzana suburbanizacija poslovne, a posebno trgovačke funkcije, predstavljala je dramatičnu promenu u obrascima urbanog razvoja.

Značajnu ulogu u procesu decentralizacije komercijalnih sadržaja imao je kapital stranih investitora koji postaje dominantan na tržištu nekretnina. Pristup lokalnom tržištu je inostranim investitorima bio relativno lako omogućen, što je donelo znatne investicije u urbana područja. Većina ulaganja je usmeravana ka gradskoj periferiji, suprotno dotadašnjem socijalističkom modelu koncentracije nestambenih sadržaja u gradskom centru [11]. Ovakvi projekti bili su podržani i od strane gradskih vlasti i politički i infrastrukturno. Novoformirani poslovni i trgovinski objekti često su postajali suburbani centri oko kojih su se razvijale nove stambene zajednice [20].

Decentralizacija i širenje nestambenih sadržaja imali su i pozitivne i negativne implikacije po urbano tkivo socijalističkih gradova [20,23,6]. U većini slučajeva pokrenuta je zapuštena ekonomija, povećane su mogućnosti zapošljavanja stanovnika nekadašnjih monofunkcionalnih

„naselja-spavaonica“ i značajno unapređen stepen dostupnosti usluga i servisa.



Slika 2. Dispozicija nedavnih komercijalnih investicija u Pragu (a) i Budimpešti (b). Izvor: Annual reports by DTZ, JL LaSalle, Colliers International, i CBRE, u: Stanilov, 2007d.

S druge strane, decentralizacija je generisala urbano rasplinjavanje i brojne urbane probleme: (1) porast automobilskog saobraćaja jer se nova izgradnja odvijala na delovima gradske teritorije koja nije bila dobro opslužena gradskim prevozom, (2) značajan porast nivoa zagadenja i buke, (3) otežanu pristupačnost poslu za deo populacije koji ne poseduje sopstveno vozilo, (4) nestanak otvorenih prostora na periferiji, (5) porast troškova za obezbeđivanje infrastrukture i servisa u udaljenim područjima nove izgradnje, i (6) iseljavanje stanovnika iz centralnih gradskih područja kao rezultat formiranja poslovnih četvrti po kapitalističkom modelu [20].

5. ZAKLJUČAK–POSLEDICE PROCESA RESTUKTURIRANJA

Posledice prostorno-funkcionalnog restrukturiranja CEE gradova su danas evidentne u njihovoј urbanoj strukturi. Nakon što je vlasta značajan deo svojih ingerencija u upravljanju resursima prebacila na lokalne uprave, došlo je do razvoja privatnog preduzetništva i jačanja uloge stranog kapitala u urbanističkom razvoju. Krah sveobuhvatnog planiranja koji je nastupio sa nestajanjem mehanizma centralizovane državne uprave, nedostatak finansijskih sredstava za planerske aktivnosti, kao i slaba koordinacija između različitih planerskih tela doprineli su kreiranju negativnog imidža urbanog planiranja kao neefikasnog instrumenta iz prethodnog perioda [17].

Rezultat turbulentnog post-socijalističkog razvojnog perioda je preoblikovanje urbanog prostora nasumično i bez sagledavanja konteksta celine, a često i bez odobrenja nadležnih planerskih institucija. Brojne izolovane intervencije u fizičkoj strukturi postepeno su menjale nekada strogo definisano urbano tkivo socijalističkih gradova – od monocentričnog ka policentričnom i od kompaktne forme ka razvučenim suburbanim naseljima [17]. Restukturiranje urbanih funkcija je najvidljivije u tri prostorne celine grada. Centralna gradska zona modifikuje se od gradskog centra sa visokom koncentracijom stanovanja i niskom koncentracijom centralnih aktivnosti ka onom sa isključivo centralnom poslovnom zonom (CBD). Pažnja investitora se fokusira na suburbiju, gde je nova stambeno-komercijalna izgradnja narušila urbani pejzaž i poremetila nekada jasne granice urbano-ruralno. Velika stambena naselja kao legati komunizma zarobljena su u prstenu između tradicionalnog gradskog jezgra i nove post-socijalističke gradnje. U jednom delu CEE zemalja ova naselja nastavila su svoje propadanje, dok su u drugom još uvek vitalna iako su pretrpela velike prostorno-funkcionalne transformacije.

I dok su obogaćene mogućnosti izbora različitih tipova stanovanja, radnog okruženja, mogućnosti za šoping i rekreaciju, paralelno su nestajali javni sadržaji i servisi i javni otvoreni/ zeleni prostori [21]. Drastična smanjenja u izgradnji socijalnih stanova dovela su do porasta cena stanova. Sa aspekta transporta, povećala se mobilnost stanovništva zahvaljujući povećanoj upotrebi automobila, ali je opao kvalitet gradskog prevoza a porastao nivo zagađenja životne sredine. Od „društva jednakih“ iz perioda komunizma, tranzicija i uspostavljanje tržišne privrede doveli su do prostorne redistribucije stanovništva i socijalne segregacije.

Buduće transformacije funkcionalne strukture postsocijalističkih gradova centralne i istočne Evrope nije lako predvideti. Stanić navodi sa sigurnošću da će veća uloga tržišta u struktuiranju postsocijalističkih gradova biti upravo ono što će ih približiti gradovima koji su nastali prema kapitalističkom modelu [17], i to podjednako sa aspekata pozicije u globalnom sistemu gradova [25] i kvaliteta urbane forme. Ipak, čini se malo verovatnim da će proces suburbanizacije eskalirati u CEE gradovima kao što je to bio slučaj u zemljama zapadne Evrope i severne Amerike. Ovo stanovište bazira se na činjenicama da urbanistički zakoni nekadašnjih socijalističkih zemalja ne omogućavaju da suburbana naselja dobiju svoju autonomiju i nadležnosti, niti dozvoljavaju izgradnju isključivo jednoporodičnih kuća na izuzetno velikim parcelama. Tradicionalne parcele nekadašnjih seoskih naselja koje su okruživale grad su bile relativno male, a taj obrazac zadržan je i u kasnijim zemljilišnim transformacijama, kako u periodu socijalističke vladavine, tako i nakon njenog kraha. Danas planska dokumenta ohrabruju mešovite funkcije, stanovanje na parcelama umerenih formata i predviđaju lokalne centre [5]. Sve to, uz relativno velike gustine stanovanja, post-socijalističkoj suburbiji daje vitalitet i razlikuje je od mono-funkcionalnih suburbanih zona kapitalističkih gradova.

6. ZAHVALNOST

Ovaj rad je rađen u okviru projekta *Unapređenje energetskih karakteristika i kvaliteta unutrašnjeg prostora u zgradama obrazovnih ustanova u Srbiji sa uticajem na zdravlje* (evidencijski broj: III 42008) koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

5. LITERATURA

- [1] Bodnar, J.: *Fin De Millenaire Budapest: Lessons from a Post Socialist City, Metamorphoses of Urban Life*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 2001.
- [2] Cavrić, B.; Nedović-Budić, Z.: *Urban development, legislation, and planning in post-socialist Zagreb*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007, 385-410.
- [3] CBRE: *Market view: European investment*, H1 2005, CB Richard Ellis, 2005.
- [4] Couch, C.; Petschel-Held, G.; Leontidou, L. (editors): *Urban Sprawl in Europe: Landscape, Land-Use Change and Policy*, Wiley-Blackwell, Oxford, 2007.
- [5] Dinić, M.; Mitković, P.: *Suburban design: from “bedroom communities” to sustainable neighborhoods*, Geodetski Vestnik 60(1), 98-113, 2016.
- [6] Garb, J.; Dybicz, T.: *The retail revolution in post-socialist Central Europe and its lessons*, u: Tsenkova, S.; Nedović-Budić, Z. (editors): *The urban mosaic of post-socialist Europe: space, institutions and policy*, Physica-Verlag HD, New York, 2006, 231-252.
- [7] Golubchikov, O.: *Urban planning in Russia: Towards the market*, European Planning Studies 12(2): 230–247, 2004.
- [8] Hirt, S.: *From public to private: spatial structure and built forms in post-socialist Sofia*, http://www-etsav.upc.es/personals/iphis2004/pdf/086_p.pdf.
- [9] Hirt, S.; Kovachev, A.: *The changing spatial structure of post-socialist Sofia*, u: Tsenkova, S.; Nedović-Budić, Z. (editors): *The urban mosaic of post-socialist Europe: space, institutions and policy*, Physica-Verlag HD, New York, 2006, 113-130.
- [10] Hirt, S.; Stanilov, K.: *The perils of post-socialist transformation: Residential development in Sofia*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007, 215-244.
- [11] Keivani, R.; Parsa, A.; McGreal, S.: *Globalisation, institutional structures and real estate markets in Central European cities*, Urban Studies 38(13): 2457–2476, 2001.

- [12] Lisowski, A.; Wilk, W.: *The changing spatial distribution of services in Warsaw*, European Urban and Regional Studies 9(1): 81–89, 2002.
- [13] Nedović-Budić, Z.: *Adjustment of planning practice to the new eastern and central European context*, Journal of the American Planning Association 67(1): 38–52, 2001.
- [14] Nuissl, H.; Rink, D.: *Urban sprawl and post-socialist transformation: The case of Leipzig (Germany)*, UFZ-Bericht Nr. 4/2003, 2003.
- [15] Reiner, T.; Strong, A. L.: *Formation of land and housing markets in the Czech Republic*, Journal of the American Planning Association 61(2): 200–209, 1995.
- [16] Sailer-Fliege, U.: *Characteristics of post-socialist urban transformation in East Central Europe*, GeoJournal 49: 7–16, 1999.
- [17] Stanilov, K.: *Taking stock of post-socialist urban development: A recapitulation*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007a, 3-17.
- [18] Stanilov, K.: *Urban development policies in Central and Eastern Europe during the transition period and their impact on urban form*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007b, 347-359.
- [19] Stanilov, K.: *Housing trends in Central and Eastern European cities during and after the period of transition*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007c, 173-190.
- [20] Stanilov, K.: *The restructuring of non-residential uses in the post-socialist metropolis*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007d, 73-99.
- [21] Stanilov, K.: *Democracy, markets, and public space in the transitional societies of Central and Eastern Europe*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007e, 269-283.
- [22] Sykora, L.: *Changes in the internal spatial structure of post-communist Prague*, GeoJournal 49: 79–89, 1999.
- [23] Sykora, L.: *Office development and post-communist city formation: The case of Prague*, u: Stanilov, K. (editor): *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in*

- Central and Eastern Europe after Socialism*, Springer, Dordrecht, 2007, 117-145.
- [24] Sykora, L.; Ouredniček, M.: *Sprawling post-communist metropolis: commercial and residential suburbanisation in Prague and Brno, the Czech Republic*, u: Razin, E.; Dijst, M. J.; Vázquez, C. (editors): *Employment deconcentration in European metropolitan areas: market forces versus planning regulations*, Springer, Dordrecht, 2007, 209-233.
- [25] Szelenyi, I.: *Cities under socialism – and after*, u: Andrusz, G.; Harloe, M.; Szelenyi, I. (editors): *Cities After Socialism: Urban and Regional Change and Conflict in Post-Socialist Societies*, Blackwell Publishers, Oxford, 1996, 286-317.
- [26] Tasan-Kok, T.: *Institutional and spatial change*, u: Tsenkova, S.; Nedović-Budić, Z. (editors): *The urban mosaic of post-socialist Europe: space, institutions and policy*, Physica-Verlag HD, New York, 2006, 51-70.
- [27] Vasilevska, Lj.; Milanović, D.; Nikolić, M.; Vranić, P.; Milojković, A.: “*Garage capitalism* as a form and process of post-socialist urban changes: Its pace, intensity and structural characteristics. A case study of Niš, Serbia, *Habitat International* 48: 149-158, 2015.

UDK : 711.435:7.033.3(497.11)

GRADITELJSKO NASLEĐE IZ OSMANSKOG PERIODA UNUTAR URBANE STRUKTURE SAVREMENOG VRANJA

Aleksandra Mirić¹
Ana Momčilović Petronijević²

Rezime

Vranje, nekada kasaba čije je urbanističko uređenje nosilo sve karakteristike orijentalne varošice, izmenjeno je u periodu posle oslobođenja od osmanske vlasti do neprepoznatljivosti. Savremeni urbani identitet, uslovljen industrijalizacijom i demografskim rastom, se formirao tako da je mogućnost koegzistencije istorijskog jezgra i modernog grada bila isključena. U ovom radu su razmatrani preostali tragovi graditeljskog nasledja iz perioda osmanske dominacije. Primarni izvori- tekstovi putopisaca, izvodi iz knjiga osmanske administracije i autentični planski dokumenti su, kao najznačajnija svedočanstva o urbanom razvoju Vranja analizirani u radu. Uz kratak pregled istorijskih uslova nastajanja graditeljskih svedočanstava javnih i stambenih objekata iz pomenutog perioda, dat je osvrt na njihove najznačajnije arhitektonske karakteristike, stanje očuvanosti i zaštite.

Ključne reči: balkanska arhitektura orijentalnog tipa, kulturno dobro, urbani razvoj, Vranje

¹ dr Aleksandra Mirić, arhitekta konzervator, pridruženi istraživač Institut de recherche sur l'architecture antique, France

² dr Ana Momčilović Petronijević, arhitekta konzervator, docent Građevinsko arhitektonskog fakulteta, Univerzitet u Nišu

1. UVOD

Specifičan geografski položaj grada, kao i povoljna umereno kontinentalna klima, bitno su uticali na istorijski, ekonomski i sveukupni razvoj Vranja. I pored toga što je nemoguće dokazati da nekoliko obližnjih arheoloških nalazišta iz perioda praistorije i antike, predstavljaju urbani začetak sadašnjeg Vranja, ona svedoče o civilizacijskom kontinuitetu naseljavanja pomenute teritorije. [11] Ovo potvrđuju i rezultati istraživanja arheoloških ostataka na Markovom kalu. Kao tvrđava koja je služila nadgledanju druma ili odbrani grada ova je građevina korišćena u doba Vizantinaca, zatim u najstarije slovensko-srpsko doba, da bi je od Srba nasledile i njome stolećima vladale Osmanlije. [17, 19] Vranje je pod osmanskom vlašću bilo od 1455. do 1878. godine. Na Berlinskom kongresu odlučeno je da Vranje, ekonomski oslabljen gradić na periferiji male države, pripadne Srbiji. I upravo zbog takvog položaja, ono je uskoro postalo pogranično mesto od naročitog strateškog i političkog značaja.

2. URBANI RAZVOJ VRANJA U PERIODU OSMANSKE VLADAVINE

Uz sačuvane elemente graditeljskog nasleđa, koji su uglavnom vezani za vreme osmanske vladavine, većinu primarnih izvora o urbanoj fizionomiji čine izvodi iz beležaka putopisaca, koji su Vranje posećivali tokom dalje i bliže prošlosti. Uz poznavanje istorijskih prilika i opštih pravaca razvoja grada, ovi podaci u mnogome doprinose stvaranju slike o strukturi varoši i svakodnevnom životu u njoj. Još 1530.god, B. Kuripešić navodi u svom putopisu kroz Bosnu, Srbiju, Bugarsku i Rumeliju, da se Vranje sastojalo iz „grada“ (tvrđave, verovatno Markovog kaleta) i „varoši“. Po Vukanoviću, Vranje je u srednjem veku bilo selo, da bi se njegova fizionomija krajem srednjevekovne epohe razvila u podgrađe srednjevekovne tvrđave. [16]

Godine 1673, doktor Edvard Braun, član Kraljevskog engleskog društva koji je bio u poslanstvu koje je išlo osmanskom Sultanu, objavio je opis u kome pominje Vranje, „ispod samog visa, do kog se silazilo uskim kamenim putem“, [20] što služi u prilog tumačenju da je postojao grad i podgrađe.

Od vremena kada jeпало под османску власт, још крајем 15. века, Vranje је постало kasaba (varošica) и седиште vilajeta. [12] Tokom vremena, razvilo се у varošicu istočnjačko-balkanskog tipa и постало

sedište vranjskog kadijuka, zatim pašaluka, odnosno kajmakamluka. Kao i kod ostalih varošica iz perioda poslednjeg stoljeća osmanske vladavine, glavni deo Vranja činila je čaršija sa nizom dućana sa čepencima od drveta. Na osnovu turskih izvora, a pre svega godišnjaka, sagledava se broj dućana u vranjskoj čarsiji koja je po veličini bila odmah iza niške, a ispred leskovačke. Ovim je Vranje moglo da se svrsta među najrazvijenije zanatlijsko-trgovačke centre. [1] Podatak da je Vranje 1865.god. imalo oko 8000 stanovnika zapisao je ruski diplomata E. Timajev, koji je jašući na putu kroz Beograd prošao kroz vranjanski kraj. [1]

U istoriji Vranja i njegove okoline prelomna je 1878.god. kada ga je od osmanlijske vlasti oslobođila srpska vojska. Do ovog trenutka, pa i kasnije, sve do kraja 19.veka, kada je postalo središte vranjanskog okruga, ovo je naselje imalo urbanističku fisionomiju orijentalne kasabe. Po prvom popisu posle oslobođenja, već 1879.god. Vranje je imalo 8291 stanovnika, čime se potvrđuje Timajevov zapis. Prema podacima A. S. Jovanovića iz iste godine i beleškama sa proputovanja Pomoravljem M. Đ. Miličevića, koji o Vranju govori kao o kasabi, može se zaključiti da je Vranje imalo jedanaest mahala. [16] Prema T. P. Vukanoviću, to su bile: Ambarska, Varoška, Durmiš-beg mahala, Jedik-pašina mahala, Jedik-pašina verum mahala („Grčka mahala“), Jerebakan („gleda u zemlju“) mahala, Klise („Crkvena“) mahala, Kovačka mahala, Kurtoglija, Panađurište, Pop-Nikolina mahala, Sefer-Čelebijina mahala (koja se delila na hrišćansku i muslimansku), i na kraju Tibahaha mahala. [16] Kasnije je analizom mlađih dokumenata [9] i istraživanjem na terenu spisak mahala proširen i uobličen. Najznačajniji dokument za istraživanje prostornog oblikovanja varošice iz tog perioda je Plan varoši Vranje sa regulacionim pravcima iz 1881.godine, urađen prema svim urbanističkim zahtevima 19.veka, a 1883.god. odobren od strane tadašnjeg ministra građevina.[15] Karakteriše ga princip prilagođavanja nove regulacije postojećoj, već zatećenoj strukturi ulične mreže, po sistemu konzervativne rekonstrukcije. Glavne saobraćajnice iz pravca juga prema severu, odnosno istoka prema zapadu, planom su zadržane uz izvesna manja ispravljanja, sa formiranjem gradskog centra za potrebe trga baš tamo gde se one međusobno seku. Analizom položaja i rasporeda ulica u odnosu na strane sveta, stiče se utisak da se Vranje formiralo kao jedinstveno gradsko naselje čija je organizacija određena klimatskim uslovima. Prema B.Kojiću, rezultati analize Plana varoši Vranje uklapaju se u sliku gradova koji su ostali iza Osmanlija (Sl.1).[3] Značajnije promene u oblikovanju prostora grada nastale su tek u sklopu urbanizacije moravskih naselja jugoistočne Srbije početkom 20.veka kada je

intenzivna industrijalizacija u znatnoj meri oblikovala današnji izgled grada.



Sl. 1, Panorama Vranja, Vladislav Titelbah oko 1895. Istorijski arhiv „31. januar“, Vranje, preuzeto aprila 2011.

3. TRGOVI STAMBENE ARHITEKTURE IZ OSMANSKOG PERIODA NA TERITORIJI VRANJA

Očuvani delovi stambenih celina, kuća i okućnica, nalikuju svojim orijentalnim uzorima u kojima vegetacija zauzuma posebno mesto. Ovo se pre svega odnosi na kompleks Pašinih konaka, ali i objekte iz Baba Zlatine ulice i ulica Donje čaršije.

Kuće po mahalama su uglavnom bile prizemne i jednospratne. U centralnom gradskom jezgru kuće su bile zbijene, prislonjene jedna uz drugu sa dvorištem iza njih. Princip funkcionalne organizacije bio je zasnovan na potrebi da se zaštiti privatnost porodičnog života i omogući nesmetano kretanje ukućana dvorištem, tako da se obično prema ulici nalazila prostorija za goste ili letnja kuhinja. Oko svih osmanskih kuća postojao je ogradni zid. Ovo pravilo potvrđuje i najbolje očuvani primer stambene balkanske arhitekture orijentalnog tipa, dve zgrade iz ograđenog kompleksa Pašinih konaka, Selamluk i Haremluk (Sl.4, 5). Selamluk, namenjen stanovanju muških članova porodice, obavljanju administrativnih obaveza osmanskog paše bio je drvenim mostom povezan sa Haremlukom u kome su boravile žene i deca osmanskog velikodostojnika. [18] U prostorijama Selamluka, izvanredno očuvani dekorativni elementi enterijera čine deo izlagačke postavke Narodnog Muzeja, koji ovi zgradu danas koristi kao izlagački, skladišteni i administrativni prostor. Zgrada Haremluka, na žalost, od

trenutka kada se iz nje iselio poslovni klub Simpa, nema svog korisnika. [4, 6]

U kontekstu izučavanja objekata balkanske arhitekture orijentalnog tipa, analogija vranjanskih građevina narodne arhitekture iz 18. i 19. veka može se postaviti u odnosu na primere iz Makedonije, Kosova i južne Srbije. Stojan Novaković o vranjskoj stambenoj arhitekturi govori u svom delu „Balkanska pitanja“: „Tip kuća iz Vranja čini mi se da je nešto drugačiji od niških, i mada i jedno i drugo čine staru balkansku arhitekturu, koja svoje poreklo vodi barem od Vizantinaca, opet je vranjski oblik jednak više sa onim u Skoplju i Solunu. To je na toj strani od staroga vremena...“ [10]. Pašin konak potvrđuje ovu tvrdnju, neosporiva analogija u funkcionalnom i prostornom oblikovanju prepoznaje se sa Konakom u Bardovcima, Makedonija. [5]

Lošije očuvani primeri stambene arhitekture orijentalnog tipa mogu se videti i unutar prostorne celine Baba Zlatine ulice (Sl.3). Najstarije kuće sagrađene su u duhu osmanske stambene arhitekture u periodu pre oslobođenja. U pitanju su skromni objekti simetričnih osnova, čijim se dvorištima sakrivenim iza visokih ogradićnih zidova pristupalo prolaskom kroz kapidžik. Bez ikakvog konzervatorskog tretmana, one su danas prepuštene zubu vremena. [13]

Svakodnevni problem stanovnika Vranja i ostalih varošica iz ovog dela Srbije bilo je vodosnabdevanje. Glavnim kanalima-jazovima, a zatim sistemom manjih kanala koji su nazivani potocima dovođena je tekuća voda u blokove kuća. Ovi plitki kanali, dubine oko 20 centimetara a širine oko 50 bili su po dnu i sa strane obloženi kamenom, pa se voda nije rasipala i bila je čista. U svakom dvorištu postojalo je manje proširenje u samom kanalu, a često i lepo ozidan omanji bazen ili čak i korito isklesano u kamenu iz kog se zahvatala voda. [9]

Nedostatak ili loš kanalizacioni sistem takođe je predstavlja problem. Nužnici su se gradili uz kuću, a iza kuće se kopala septička jama. Kod manjih kuća nužnici su bili uz kapiju zbog lakšeg povezivanja sa kanalima koji su otpadne vode odvodili najkraćim putem- gravitacijom u reku ili van grada. U Vranju se i danas mogu videti ostaci osmanske kanalizacije.

4. TRAGOVI JAVNE ARHITEKTURE IZ OSMANSKOG PERIODA NA TERITORIJI VRANJA

Po svom izgledu i živopisnosti, jedini sačuvani autentični kutak nekadašnje stare zanatsko-trgovinske čaršije su čepenci na uglu bivše

ul. Maršala Tita i Baba Zlatine. Dućani su istovremeno bili i radionice, tako da su zanatlije radile takoreći na ulici. U centru se nalazio omanji trg gde su seljaci iz okoline donosili svoje proizvode. Na tom mestu u Gornjoj mahali krajem 18.veka je podignuta i kula sa časovnikom. Zbog visokog stepena ruiniranosti i sklonosti padu ona je porušena 1925.godine. Ipak, mnogi javni objekti nastali u perodu pod Osmanlijama i danas postoje.

Među najznačajnijima je jednodelni Hamam koji su muškarci i žene koristili odvojeno, u različitim periodima dana (Sl.7). Njegova prostorna organizacija je veoma jednostavna- iz svlačionice se ulazilo u mesto za kupanje, a voda je skladištena u rezervoaru. Poput većine istodobnih kupatila sa teritorije južne i jugoistočne Srbije, ovaj objekat od tesanog kamena i opeke je natkriven kupolama sa čeramidom kao prekrivačem. Prirodno svetlo u enterijeru obezbeđuju stakleni okulusi kupola.[18] Iako obnovljeno za potrebe formiranja arheološke sale Narodnog Muzeja u Vranju, kupatilo je danas zatvoreno za javnost. [19]

O česmi Čerenki danas se zna veoma malo (Sl.6). Za njeno građenje vezana je legenda da je "...nekada, u blizini Krstate Džamije, u malenoj kući sa senovitom baštom, živila crnopurasta lepotica, kara-devojka, kako su ih Turci nazivali. Svakog jutra je odlazila do dubokog kladenca, iz kojeg se voda vadila pomoću derma. Nju je spazio Turčin Čerđelez, koga su ljudi od milošte zvali Čera. Ja sam Čera, a ona će biti Čerenka! - govorio je Čerđelez. Jednog dana dok se devojka vraćala kući noseći krčage vode, Čera se prikrao i uhvatio je oko pasa. Devojka se izvila, i pobegla. Čera je stajao nepomično, slušajući meko šuštanje šalvara, dok je iz slomljenog krčaga curila voda".[14] Iako prepoznatljiv simbol grada, čvrsto utkan u lokalna predanja i folklor, ovaj spomenik je danas zapušten i na neodgovarajući način prezentovan.

Pod Osmanlijama je izgrađen i Sulejman-begov saraj (u kome je bila Okružna bolnica) i Krstasta džamija- najmarkantnija od svih muslimanskih bogomolja u Vranju, jedna od pet džamija pobrojanih osmanskim popisom iz 1873.god, a jedina neporušena posle oslobođenja. Bes razaranja oslobođenog stanovništva mimošao je mostove koji su bili neophodni radi ustaljenog funkcionisanja grada. [2] Među njima je bio i Beli most, zadužbina Salim bega iz 1844.god, za koji je, kao i za česmu Čerenku, vezana legenda o zabranjenoj i tragičnoj ljubavi između Srbina i Osmanlije (Sl.2). [14] Kao i većina ovde predstavljenih građevina iz osmanskog perioda, Beli most je oronuo i prepušten zubu vremena.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Pod uticajem galopirajuće urbanizacije, kulturni pejzaž gradova južne Srbije se tokom poslednja dva veka promenio do neprepoznatljivosti. Osim mnogih udobnosti koje je ovakva promena, uzrokovana potrebom za stalnim poboljšanjem životnog standarda donela, ona je, usled stihijskih procesa intenzivnog preoblikovanja starih gradskih jezgara za posledicu imala njihovo skoro potpuno nestajanje.

U tom je smislu i Vranje, nekada tipična osmanlijska kasaba autentičnog šarma, u procesu potrage za motorima lokalnog ekonomskog razvoja platilo cenu promene urbanog identiteta na način koji isključuje mogućnost koegzistencije istorijskog jezgra i modernog grada. Očekivani rast Vranja prema spoljašnosti koja je prostorno oblikovana u skladu sa savremenim potrebama, ni na jedan način ne bi ugrozio rekonstrukciju i prilagođavanje njegove unutrašnje izgrađene supstance da je ona prikladno- sistematično i sveobuhvatno osmišljena. Intenzivna industrijalizacija i nestrateško oblikovanje centra grada, uz karakteristični nemar u odnosu na nasleđene vrednosti, posebno one iz doba osmanske vladavine, rezultirali su kreiranjem slike sredine koja skoro da ni po čemu ne podseća na varošku atmosferu koja je ovaj grad činila posebnom. Promena prostorne koncepcije i nasilna smena skoro svega starog modernim rezultirala je nestajanjem ili ugrožavanjem autentičnosti vrednih primera graditeljske baštine ovog kraja.

Tokom vremena su u Vranju malobrojni očuvani primeri graditeljstva prošlosti, iako većinom utvrđeni za spomenike kulture, sistematski zanemarivani što je dovelo do njihovog nezavidnog stanja danas. I pored toga što je smislena prenamena većine građevina njih stavila u upotrebnu funkciju, stihische intervencije na njihovoj zaštićenoj okolini rezultirale su nepovratnom izmenom originalnih konteksta ovih objekata.



Sl.2, Beli most, 1844.god.



Sl.3, Baba Zlatina ulica, 19. vek



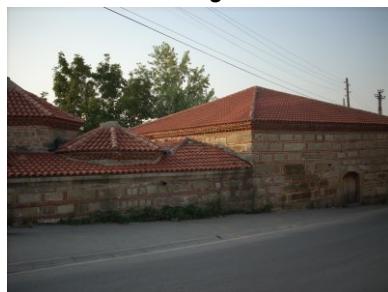
Sl.4, Pašini konaci, Selamluk,
1765.god.



Sl.5, Pašini konaci, Haremluk,
1765.god



Sl.6, Česma Đerenka,
period osmanske vladavine



Sl.7, Stari Hamam,
kraj 17.veka

Sl. 2-7, Amblematični spomenici kulture građeni tokom perioda
osmaske vladavine, foto: www.tovranje.rs

6. LITERATURA

- [1] Andrejević, B. Osnovne karakteristike razvoja Vranja krajem 18.i tokom 19.veka, *Arhitektonска баština Vranja*, Prilozi i građa Vranjskog glasnika.
- [2] Kanic, F. *Srbija-zemlja i stanovništvo, od rimskog doba do kraja 19.veka*, Beograd, 1985, 259.
- [3] Kojić, B. *Stara gradska i seoska arhitektura u Srbiji*, Beograd, 1949, 46.
- [4] Miric, A, Jovanovic, G, Kurtovic Folic, N, The Selamluk in Vranje, Part I, Architectonic form development based on historical sources, *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, Vol. 14, No 3, 2016, 367-375

- [5] Mirić, A, *Revitalizacija Selamluka u Vranju*, mentor N. Kurtović Folić, konzervatorski ispit, odbranjen 2010, Republički zavod za zaštitu spomenika kulture Beograd, nepublikovani tekst
- [6] Miric, A. Kurtovic Folic, N. Jovanovic, G. The Selamluk in Vranje, Part II, Architectonic characteristics of structural and decorative elements, *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, Vol. 15, No 1, 2017, 179-188
- [7] Momčilović Petronijević, A, Vasić Petrović, E, Turkish baths“ in Serbia – The influence of transformations in form and function on their future preservation, *Proceedings of The 3rd International Conference “The Importance of Place”*, 21.-24. October 2015. in Sarajevo (Editor: Maja Roso Popovac), CICOPBH, Sarajevo, Vol. 3 No. 1, 2015, ISSN 2232-965X, pp. 21-32
- [8] Narodni Muzej Vranje, <http://muzejvranje.rs>, Hamam u Vranju, posećeno 19.09.2017
- [9] Nikolić, V. Vrangska i grdelička naselja i njihovo stanovništvo, *Leskovački zbornik*, knj.5, 1965
- [10] Novaković, S. *Balkanska pitanja*, Beograd 1906, 3-4
- [11] Pešić Maksimović, N. *Vranje*, Vranje, 1975, 103
- [12] Rizaj, S. Ubiranje džizije od hrišćanskog stanovništva u vilajetima Vranja i Preševa krajem 15.stoleća, *Vranjanski glasnik*, knj.2, 1966, 258.
- [13] SANU, spomenicikulture.mi.sanu.ac.rs, Kulturna dobra u Srbiji, posećeno 19.09.2017.
- [14] Turistička organizacija Vranje, <http://www.tovranje.rs/>, Česma Đerenka, posećeno 19.09.2017
- [15] *Urbanistički plan Vranja* nalazi se u Narodnom muzeju u Vranju
- [16] Vukanović, T. P. Urbanistički plan Vranja iz 1883.god, *Vranjanski glasnik*, knj.4, 1968,430
- [17] Vukanović, T. *Vranje*, Vranje, 1978, 12.
- [18] Zdravković, I. *Dokumenti narodnog stvaralaštva u prošlosti*, Beograd, 1990, 16
- [19] Zirojević, O. Markovo kale kod Vranja, *Vranjski glasnik*, knj.7, 287-289
- [20] Zlatanović, M. Uvodne napomene u Tomić, D, *Vranje kroz vekove*, izbor radova, Vranje 1993, 6.