

POREĐENJE ODGOVORA ZGRADE SA TAVANICAMA DIREKTNO OSLONJENIM NA STUBOVE ZA RAZLIČITE SEIZMIČKE ULAZE

A COMPARISON OF FLAT SLAB BUILDING RESPONSE FOR DIFFERENT SEISMIC INPUTS

Dragan Vasić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Predmet rada jeste upoređivanje rezultata i prikaz odgovora konstrukcije grednog oslanjanja ploča i direktno oslonjenih na stubove sa kapitelima. Fokus je na seizmičkom odgovoru konstrukcije za različite kategorije tla (A, B, C, D, E) i projektnog ubrzanja tla (0,05-0,20 g).

Ključne reči: višespratna AB zgrada, pečurkaste tavanice, seizmički odgovor konstrukcije

Abstract – The subject of the thesis is the comparison of results and review of the structural responses of systems with slabs supported by beams and directly supported by columns with drops. The focus is on the seismic response of the structure for different soil categories (A, B, C, D, E) and design soil acceleration (0.05-0.20 g).

Keywords: multistory RC building, flat slab with drops, seismic structural response

1. UVOD

Objekat sadrži podrumski deo, prizemlje i pet spratova. Debljina međuspratnih ploča je 25 cm osim krovne ploče koja je 20 cm, dimenzija greda su 40/65 cm, a seizmički zidovi su 25 cm. Stubovi su promenljivog poprečnog preseka: 60/60 cm, 60/55 cm u prizemlju i na prvom spratu, a na ostalim spratovima su od 50/50 cm do 40/40 cm. Obodni stubovi su 45/45 cm. Objekat je oslonjen na temeljnu ploču debljine 40 cm, ojačanu temeljnim gredama 60/120 cm.

Za dalji rad iz ovakve konstrukcije isključene su grede, koje su ostavljene samo po obodu objekta. Zbog drugačije preraspodele uticaja, očekivano je da tavanice sada imaju problem sa probijanjem, pa su na II, III i IV spratu povećani svi stubovi na 50/50 cm. Takođe je povećana debljina međuspratne ploče na 30 cm, ojačana pravugaonim kapitelom (eng. drop panel) širine 2,0x2,0 m, debljine 20 cm. Na krovnoj ploči debljina ploče je ostala 20 cm.

Obodni stubovi su povećani na 50/50 cm. Seizmički zidovi su smanjeni na 20 cm debljine.

Modeliranje i proračun izvršeno je u softveru „Tower 8.0”, prema Evropskim normativima. Usvojena je srednja klasa duktilnosti (DCM).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio vanr. prof. dr Vladimir Vukobratović.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. Razmatrana opterećenja

Kao opterećenja na konstrukciju analizirana su dejstva: stalna (sopstvena težina elemenata), promenljiva (korisno opterećenje, vetar, sneg), seizmičko.

Korisno opterećenje je usvojeno u zavisnosti od namene prostorija, a kako ovaj objekat sadrži prodajni prostor, kancelarije i restoran, usvojene su vrednosti za C, odnosno D kategoriju vrste opterećenja.

Seizmičko dejstvo je zadato prema projektnom ubrzanju tla od 0,05 do 0,2 g sa korakom od 0,05 g.

$$a_g = 0,05g * \gamma_I = 0,05 * 9,81 * 1,0 = 0,490 \text{ m/s}^2$$

$$a_g = 0,10g * \gamma_I = 0,10 * 9,81 * 1,0 = 0,981 \text{ m/s}^2$$

$$a_g = 0,15g * \gamma_I = 0,15 * 9,81 * 1,0 = 1,471 \text{ m/s}^2$$

$$a_g = 0,2g * \gamma_I = 0,20 * 9,81 * 1,0 = 1,962 \text{ m/s}^2$$

2.2. Kategorija tla i elastični spektar odgovora

Uticaji lokalnih uslova i prirode nosećeg tla utiču na seizmičko dejstvo, pa je u standardima određena klasifikacija tla na kategorije sa opisom geološkog profila. U Tabeli 1 su prikazane kategorije tla i njihov geološki profili. U ovom zadatku su korišćeni parametri kategorija A, B, C, D i E.

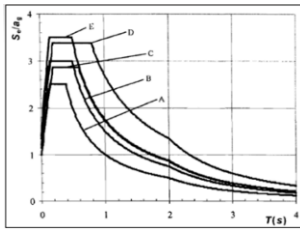
Tabela 1. Kategorije tla, karakteristike i parametri

Kategorija tla	Opis geološkog profila	Parametri		
		$V_{L,30}$ (m/s)	M_{arr} (udarci/30 cm)	C_u (kPa)
A	Stena ili stenska geološka formacija, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	> 800	-	-
B	Depoziti vrlo gustog peska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine barem nekoliko desetina metara, sa povećanjem mehaničkih osobina sa dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Duboki depoziti gustog ili srednje gustog peska, šljunka ili krute gline, sa debljinama od nekoliko desetina do više stotina metara	180 - 360	15 - 50	70-250
D	Depoziti slabo-do-srednje nekohezivnog tla (sa ili bez mekih kohezivnih slojeva) ili dominantno meko-do-čvrsto kohezivno tlo	< 180	< 15	< 70
E	Tlo čiji se profil sastoji iz aluvijalnog sloja sa vrednostima v_s za Tip C ili D i sa debljinom koja varira između oko 5m i 20m, ispod kojeg je kruto tlo sa $v_s > 800$ m/s			

Zemljotresno kretanje u datoj tački na površini tla prikazano je preko elastičnog spektra odgovora ubrzanja tla. Vrednosti perioda T_B , T_C , i T_D kao i faktor tla S definišu oblik elastičnog spektra odgovora, i zavise, od kategorije tla [1]. Na Slici 1 prikazani su oblici elastičnog spektra odgovara po kategorijama tla, a vrednosti kojima se opisuju oblici za svaku kategoriju prikazane u Tabeli 2.

3. MODEL KONSTRUKCIJE

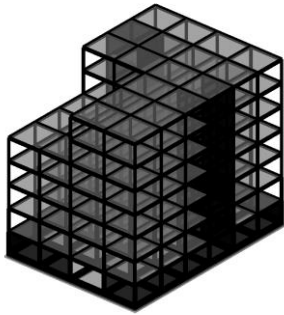
Numerički modeli konstrukcije sa i bez greda prikazani su na Slikama 2 i 3.



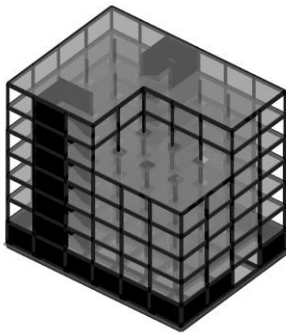
Slika 1. Oblici elastičnog spektra odgovora

Tabela 2. Parametri za elastični spektar odgovora

Elastični spektar odgovora tip 1				
Kat. tla	S	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



Slika 2. Model konstrukcije – skeletni sistem sa gredama



Slika 3. Model konstrukcije – pečurkaste tavanice

3.1. Elementi konstrukcije

Za horizontalne površinske elemente je redukovana krutost van ravni dok je kod seizmičkih zidova redukovana i u ravni ploče. Vrednost redukcije smičuće i savojne krutosti za seizmičke zidove je 50%. Prikazani su setovi ploča u Tabeli 3, koji su korišćeni u ovom modelu sa odgovarajućim karakteristikama. Temeljna ploča i kapitel (eng. drop panel) su klasifikovani kao debele ploče, a ostale ploče kao tanke ploče.

Tabela 3. Karakteristike pločastih elemenata

Setovi ploča								
No	d[m]	e[m]	Materijal	Tip proračuna	Orototropija	Ez[kN/m ²]	G[kN/m ²]	α
Temeljna ploča	0.400	0.200	1	Debela ploča	Izotropna			
Meduspratna ploča	0.300	0.150	1	Tanka ploča	Izotropna			
	ST: E _m x 0,5, E x 0,5, v x 1; SE: E _m x 0,5, E x 0,5, v x 1;							
Seizmički zidovi	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna			
	ST: E _m x 0,5, E x 0,5, v x 1; SE: E _m x 0,5, E x 0,5, v x 1;							
Podrumski zidovi	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna			
Stepenišna ploča	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna			
Krovna ploča	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna			
	ST: E _m x 0,5, E x 0,5, v x 1; SE: E _m x 0,5, E x 0,5, v x 1;							
DROP PANEL	0.500	0.150	1	Debela ploča	Izotropna			

Razlog redukcije krutosti je isprskalost preseka elemenata, koja je realna slika u konstrukciji tokom eksploatacije, te utiče na raspored uticaja i deformacija.

Za gredne elemente i stubove je redukovana savojna i smičuća krutost za 50%, dok je torziona krutost greda redukovana za 90%, što je prikazano u Tabeli 4.

Tabela 4. Karakteristike linijskih elemenata

Setovi gredni	Materijal					
Set 1. Presak: GREDA b=400/120, Fikivna ekscentričnost	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C50/37	2 - B308-1	3 - B308-1	1 - B308-1	2 - B308-2	3 - B308-3
	ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
	SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
Set 2. Presak: STUB b=400/55, Fikivna ekscentričnost	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C50/37	2 - B308-1	3 - B308-1	1 - B308-1	2 - B308-2	3 - B308-3
	ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
	SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
Set 3. Presak: STUB b=400/50, Fikivna ekscentričnost	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C50/37	2 - B308-1	3 - B308-1	1 - B308-1	2 - B308-2	3 - B308-3
	ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
	SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
Set 4. Presak: STUB b=400/40, Fikivna ekscentričnost	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C50/37	2 - B308-1	3 - B308-1	1 - B308-1	2 - B308-2	3 - B308-3
	ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
	SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
Set 5. Presak: GREDA b=400/55, Fikivna ekscentričnost	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C50/37	2 - B308-1	3 - B308-1	1 - B308-1	2 - B308-2	3 - B308-3
	ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
	SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
Set 6. Presak: STUB b=400/50, Fikivna ekscentričnost	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - C50/37	2 - B308-1	3 - B308-1	1 - B308-1	2 - B308-2	3 - B308-3
	ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					
	SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, v x 1;					

3.2. Modalna analiza i konstruktivni sistem

U Tabeli 5 prikazani su periodi oscilovanja konstrukcije za gredni i bezgredni sistem. Primećuje se da je bezgredni sistem krući.

Na osnovu rasporeda horizontalnog opterećenja moguće je odrediti konstruktivni sistem i ući u dalju analizu faktora ponašanja. U Tabelama 6 i 7 su prikazane procentualne vrednosti učešća zidova u prenosu opterećenja za gredni i bezgredni sistem.

Tabela 5. Periodi oscilovanja

Periodi oscilovanja konstrukcije			Periodi oscilovanja konstrukcije		
No	T [s]	f [Hz]	No	T [s]	f [Hz]
1	1.2687	0.7862	1	1.1785	0.8485
2	0.9638	1.0376	2	0.8893	1.1245
3	0.7768	1.2874	3	0.7250	1.3794
4	0.2874	3.4790	4	0.2718	3.6792
5	0.2345	4.2649	5	0.2214	4.5175
6	0.1994	5.0143	6	0.1916	5.2200

Tabela 6. Učešće zidova u prenosu sile gredni sistem

Položaj zida u konstrukciji	procent učešća	Položaj zida u konstrukciji	procent učešća
Osa E	36.83	Osa 4	32.72
Osa B	20.58	Osa 5	17.8
Osa A	22.74	Osa 6	25.69
ukupno	80.15	ukupno	76.21

Tabela 7. Učešće zidova u prenosu sile bezgredni sistem

Položaj zida u konstrukciji	procent učešća	Položaj zida u konstrukciji	procent učešća
Osa E	40.50	Osa 4	35.70
Osa B	11.18	Osa 5	16.56
Osa A	21.86	Osa 6	23.91
Ukupno	73.54	Ukupno	76.17

Sa prenosom preko 65% horizontalne sile u oba pravca konstruktivni sistem je zidni u oba slučaja.

3.3. Faktor ponašanja konstrukcije

Faktor ponašanja konstrukcije (q) predstavlja vrednost kojom se elastični spektar odgovora konstrukcije redukuje na projektni spektar. Ovaj faktor redukcije sila zavisi od tipa konstrukcije, a u Tabeli 8 su prikazani parametri za određivanje njegove vrednosti [1].

$$q = q_0 \times kw \geq 1,5 \quad (1)$$

Rezultati su prikazani u Tabelama 15, i 16. Crvenom bojom naglašena su nedozvoljena pomeranja.

Tabela 15. *Međuspratna pomeranja – bezgredni sistem*

Kategorija tla	g	I sprat +4.50			II sprat +9.0			III sprat +13.5			IV sprat +18.0			V sprat +22.50			Krov +27.0		
		dr (0°) [mm]	dr.k [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr (0°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr (0°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr (0°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr (0°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr (0°) [mm]	dr.k (90°) [mm]	dr.k (90°) [mm]
A	0.05	3	3	4	3	3	4	3	4	5	3	3	4	3	3	4	3	3	4
	0.1	5	7	9	5	7	9	6	7	9	6	7	9	6	5	8	5	6	8
	0.2	8	10	13	8	10	13	9	11	14	9	10	13	9	8	12	8	10	13
	0.2	10	14	17	11	14	17	11	14	18	11	14	18	12	11	16	11	13	17
B	0.05	4	5	6	4	5	7	4	5	7	4	5	7	5	4	6	4	5	6
	0.1	8	10	13	8	10	13	8	10	13	8	10	13	9	8	12	8	9	12
	0.2	11	15	19	12	15	20	13	16	20	13	15	20	14	12	18	12	14	19
	0.2	15	20	25	16	21	26	17	21	27	17	20	26	19	16	24	16	19	25
C	0.05	4	6	7	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	4	7	5	5	7
	0.1	9	12	15	9	12	15	10	12	15	10	12	15	11	9	14	6	11	14
	0.2	13	18	22	14	18	23	15	18	23	15	17	23	15	17	23	15	17	22
	0.2	17	24	29	19	24	30	19	24	31	19	23	30	21	18	28	18	22	28
D	0.05	8	9	11	7	9	12	8	9	12	8	7	12	8	7	11	7	8	11
	0.1	13	18	23	14	19	24	15	19	24	15	18	23	16	14	21	14	17	22
	0.2	20	28	34	22	28	35	23	28	36	23	27	35	25	21	32	21	25	33
	0.2	29	37	45	29	37	47	30	38	48	30	36	47	33	28	43	29	34	44
E	0.1	4	6	7	5	6	8	5	6	8	5	6	8	5	5	7	5	6	7
	0.1	9	12	15	9	12	15	10	12	16	10	12	15	11	9	14	9	11	15
	0.2	13	18	22	14	18	23	15	18	24	16	18	23	16	14	21	14	17	22
	0.2	18	24	30	19	24	31	20	24	32	20	23	31	22	18	28	19	22	29

Tabela 16. *Međuspratna pomeranja – gredni sistem*

Nivo	Z[m]	h[m]	drx[mm]	dry[mm]	dr[mm]	dr im[mm]
Krov	27.00	4.50	17.71	19.96	26.68	45.00
V sprat	22.50	4.50	19.96	16.35	25.80	45.00
IV sprat	18.00	4.50	19.07	22.60	29.57	45.00
III sprat	13.50	4.50	18.25	22.25	28.77	45.00
II sprat	9.00	4.50	17.00	21.71	27.57	45.00
I sprat	4.50	4.50	15.37	21.31	26.28	45.00
Prizemlje(+0.00)	0.00	4.63	4.18	10.48	11.28	46.30

4.3. Kontrola probijanja ploča

Kontrolom ploča na probijanje ustanovljeno je da sa usvojenim kapitelima zahtevi ispunjavaju, sa pojedinačnim slučajevima osiguranja dodatnom armaturom, za sve kategorije osim za kategoriju tla D, gde je napon smicanja prekoračen. U Tabeli 17 prikazan je proračun [2,3] za ovu kategoriju za 8 tačaka u konstrukciji.

Tabela 17. *Kontrola probijanja ploča, kategorija tla D*

Kontrola preseka uz ivicu stuba									
presek	V _{ed} [Mpa]	d _{pl} [m]	h ₁ [m]	f _{ck} [Mpa]	f _{ctd} [Mpa]	v	V _{rd,max} [Mpa]	uslov V _{ed} ≤ V _{rd,max}	
Tačka 1	1.54	0.5	0.45	30	17	0.53	3.59	da	
Tačka 2	2.96							da	
Tačka 3	0.96							da	
Tačka 4	2.26							da	
Tačka 5	3.97							ne	
Tačka 6	2.68							da	
Tačka 7	1.28							da	
Tačka 8	0.78							da	
Kontrola kritičnog preseka 2xhs									
presek	V _{ed} [Mpa]	d _{pl} [m]	h ₁ [m]	f _{ck} [Mpa]	f _{ctd} [Mpa]	v	V _{rd,max} [Mpa]	uslov V _{ed} ≤ V _{rd,max}	
Tačka 1	0.65	0.3	0.25	30	17	0.53	3.59	da	
Tačka 2	1.18							da	
Tačka 3	0.51							da	
Tačka 4	0.8							da	
Tačka 5	1.14							da	
Tačka 6	1.07							da	
Tačka 7	1.13							da	
Tačka 8	0.91							da	
Potrebna armatura za obezbeđenje od probijanja									
presek	V _{rdc} [Mpa]	ρ [%]	C _{rdc} [m]	K1	K _{min} [Mpa]	v _{min}	σ _{rdc} [Mpa]	uslov V _{ed} ≤ V _{rdc}	ASW _{pot}
Tačka 1	0.7	1.0	0.12	0.1	0.035	0.5	-0.06	da	ne
Tačka 2	0.52	2.0					-3.70	ne	/
Tačka 3	0.45	2.0					-4.43	da	6.04 cm ²
Tačka 4	0.80	1.4					0.06	da	ne
Tačka 5	0.74	2.0					-1.45	da	/
Tačka 6	1.04	2.0					-1.50	da	9.17 cm ²
Tačka 7	1.04	2.0					0.12	da	6.78 cm ²
Tačka 8	0.91	1.8					0.05	da	ne

4.4. Kontrola ugiba i prslina

Ovim radom nije detaljno razmatrano granično stanje upotrebljivosti. Ugibi ploča uglavnom su istih vrednosti kod svih kategorija, a najveći se pojavljuju na ivičnim delovima kapitela. Proračunom je dobijen najveći ugib od 1,96 mm za najveći raspon od 720 cm i očekivano je manji od osnovnog limita od L/250=28,8 mm do L/500=14,4 mm. Najveće vrednosti prslina se javljaju u zonama oko kapitela i iznose 0,21 mm, pa kako je ovaj objekat klase izloženosti X0 za sve elemente konstrukcije, kontrola prslina je zadovoljena za granicu 0,4 mm [2,3].

5. ZAKLJUČAK

Zadatak rada bio je da se kroz proračunske kontrole standarda prikaže odgovor konstrukcije, kada se radi o konstrukciji čije se tavanice oslanjaju na grede, odnosno kada se tavanice oslanjaju direktno na stubove. Evrokodom 8 [1] sistemi ploča direktno oslonjenih na stubove se dopuštaju u slučaju da seizmički zidovi prihvate najveći deo horizontalnog opterećenja, tj. 85% u odnosu na stubove.

Ovaj odnos kod konstrukcije sa gredama iznosi po pravcima, x-80,15%, y-76,21%, a kod bezgrednog sistema iznosi x-73,54%, y-76,17%. Prenos opterećenja se nije značajno promenio u odnosu na gredni sistem, ali ostaje ispod granice koja se ograničava standardom. U nastavku su vršene kontrole, da li elementi zadovoljavaju ostale zahteve sa ovakvom raspodelom prenosa sile. Kako su dimenzije stubova povećane, konstrukcija bez greda postaje neznatno kruća.

Kontrolom napona pritiska u stubovima i zidovima primećuje se drugačija preraspodela kod bezgrednog i grednog sistema. Naponi su manji u stubovima i zidovima bezgrednog sistema, ali se u ivičnim stubovima koji su sastavni deo zidova naponi povećavaju. Ovo je posledica ukidanja greda. Za različite kategorije tla u bezgrednom sistemu najveće vrednosti napona dobijene su za kategoriju tla D zatim C, pa redom za E, B i A. Primećena se prekoračenja napona u pojedinim stubovima kategorije tla D, C i E i projektnog ubrzanja od 0,15 i 0,2 g.

Međuspratna pomeranja su povoljnija za konstrukciju sa sistemom bez greda. Prekoračenja dozvoljenih pomeranja uočena su samo za kategoriju tla D za nivo seizmičkog ulaza od 0,2 g.

Pri kontroli probijanja, promenom kategorije i projektnog ubrzanja uslovi su zadovoljeni sa pojedinačnim osiguranjem dodatnom armaturom za smicanje, kod svih kategorija osim kategorije D, gde postoji prekoračenje dozvoljenih napona smicanja.

Kod kontrole ugiba i prslina nisu primećena prekoračenja dozvoljenih granica.

Iako je prenos horizontalnog opterećenja zidova manji od 85%, povećanjem dimenzija elemenata i klase betona, kao i rasporedom seizmičkih zidova, moguće je dovesti elemente konstrukcije u zahtevane limite i postići njeno duktilno ponašanje za sve kategorije ubrzanja i tla.

6. LITERATURA

- [1] EN 1998-1:2004 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija“; Beograd, novembar 2009
- [2] EN 1992-1-1:2004 – Evrokod 2 „Proračun betonskih konstrukcija“; Beograd, februar 2006
- [3] Zoran Brujić: „Betonske konstrukcije u zgradarstvu (prema Evrokodu)“

Kratka biografija:



Dragan Vasić rođen je u Peći 1989. godine. Diplomirao je iz predmeta Betonske konstrukcije 2020. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Betonske konstrukcije odbranio je u junu 2022. godine.
Kontakt: vaske89pe@gmail.com