

**PROJEKAT AB ZGRADE SA UPOREDNOM ANALIZOM PRORAČUNSKIH
KONTROLA PREMA EVROPSKIM I SRPSKIM PROPISIMA****PROJECT OF RC BUILDING AND COMPARISON ANALYSIS OF DESIGN
CONTROL ACCORDING TO EUROPEAN AND SERBIAN STANDARDS**Ivan Pijanić, Đorđe Ladinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je prikazan projekat armiranobetonske konstrukcije višespratnog stambenog objekta, spratnosti (Po+Pr+5) na području Novog Sada, proračunat prema Evrokod pravilnicima. Na kraju rada prikazana je uporedna analiza proračunskih kontrola prema Evropskim i Srpskim standardima.

Ključne reči: AB konstrukcija, uporedna analiza, Evrokod 1, Evrokod 2, Evrokod 8.

Abstract – The paper contains the design project of reinforced concrete structure of building (basement + ground floor + 5 stories) in Novi Sad according to Eurocode standards. In the end, the paper contains comparative analysis of design control according to European and Serbian standards.

Keywords: RC structure, Comparative analysis, Eurocode 1, Eurocode 2, Eurocode 8.

1. UVOD

Projektom zadatkom je predviđeno projektovanje armiranobetonskog stambenog objekta spratnosti Po+Pr+5, trapezastog oblika u osnovi, prema zadatom arhitektonskom rešenju. Fundiranje objekta izvršiti putem temeljne ploče. Noseću konstrukciju objekta projektovati kao armiranobetonsku konstrukciju bezgrednog sistema, gde su ploče direktno oslonjene na stubove a kompletna konstrukcija je ukrućena seizmičkim platnima.

Podaci o dejstvima i tlu su uzeti za lokaciju: Novi Sad. Dati konstrukcijske detalje i planove armiranja za izabrane elemente. U istraživačkom delu rada sprovedena je uporedna analiza proračuna konstrukcije prema Evropskim i Srpskim standardima [1, 2, 3].

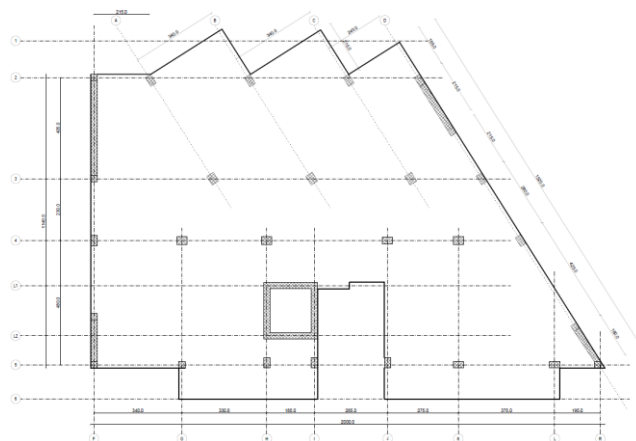
2. OPIS PROJEKTA**2.1. Arhitektonsko rešenje**

Osnova zgrade je nepravilnog trapeznog oblika, dimenzija (20,0x11,4x12,8x15,2) m. Od prvog sprata pa na više, postoje konzolni ispusti na fasadi - u osi 2, što geometrijski oblik ploča spratova čini različitim od temeljne ploče i ploče prizemlja. Visina objekta iznad terena je 17,1m. Podrumski etaža ima svrhu ostave i skloništa za stanare zgrade. Spratna visina podrumski etaže iznosi

2,85 m. Vertikalna komunikacija između podruma i prizemlja omogućena je sa dvokrakim stepeništem i nalazi se pored liftovskog okna, kojim su povezane sve etaže.

U prizemlju su smeštena dva stana koja su sa podrumom povezana sopstvenim stepeništem.

Visina prizemlja je 2,85 m. Prizemlje se nalazi na koti terena ±0,00 m. Tipska etaža je visine 2,85 m. Površina je uvećana u odnosu na prizemlje za konzolne ispuste – terase. Sadrži četiri stambena prostora. Izlaz na krov objekta omogućen je pomoću stepeništa koje vodi sa prethodne etaže. Ravan krov po svom obodu ima ogradu, visine h=1,3m.



Slika 1. Osnova sprata

Fasadni zidovi objekta su projektovani sa širinom od d=25 cm, a kao termo-izolacija sa spoljne strane predviđena je demit fasada, dok su pregradni zidovi širine d=12 cm.

2.2. Konstruktivni sistem

Osnovni noseći konstruktivni sistem predmetnog objekta je takozvani skeletni bezgredni sistem, odnosno sistem koji se sastoji od stubova i ploča, direktno oslonjenih na stubove, gde se vertikalno i horizontalno opterećenje prihvata i prenosi krutim tavanicama, dalje se prenosi na stubove do temelja [6, 7, 8]. Ukidanjem greda je takođe omogućena neprekidnost AB ploče po celoj etaži, a time i jednostavno i brzo primena armaturnih šipki pri armiranju.

Stubovi u objektu su predviđeni promenljivog poprečnog preseka po visini, vodeći računa o intenzitetu opterećenja koje oni nose, pa su ivični stubovi u odnosu na unutrašnje

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Ladinović, red. prof.

stubove manjeg poprečnog preseka. Projektom je predviđeno da se seizmičkom opterećenju suprotstavljaju lift okno i seizmička platna (zidovi). Položaj i dimenzije seizmičkih zidova kao i stubova su određeni arhitektonskim rešenjem. Međuspratne tavanice projektovane su kao kontinualne krstasto armirane ploče sa radom u oba pravca. Konstrukcija stepeništa je formirana od dve kose stepenišne ploče širine 1,4m i debljine 14,00cm sa međupodestom na sredini spratne visine, debljine 14,00cm. Prilikom modeliranja kosih stepenišnih ploča, opcija „ortotropija“ je postavljen na uključeno stanje, čime se ove ploče modeliraju da rade u jednom pravcu. Objekat je fundiran na temeljnoj armiranobetonskoj punoj ploči, debljine $d=50$ cm, koja je ujedno i podrumka etaža. Dubina fundiranja je $D = 3,1$ m. Temeljna ploča je površinski nepokretno oslonjena na tlo. Celokupna konstrukcija objekta je izvedena u klasi betona C 30/37, korišćen je čelik za armiranje kvaliteta B500B.

2.3. Analiza opterećenja

Stalno opterećenje konstrukcije se sastoji od sopstvene težine konstruktivnih elemenata i sopstvene težine nekonstruktivnih elemenata (dodatno stalno opterećenje). Sopstvena težina konstruktivnih elemenata se računa softverskim automatizmom dok se dodatno stalno određuje prema Evrokodu 1 - EN 1991-1-1:2002 i potom aplicira na model konstrukcije kao linijsko ili površinsko opterećenje.

U zavisnosti od kategorije, odnosno namene određenog prostora, usvojeno je i korisno opterećenje konstrukcije, takođe prema standardu EN 1991-1-1:2002.

Opterećenje vetrom je dobijeno korišćenjem evropskog standarda EN 1991-1-1:2005. Na konstrukciju je nanoseno kao linijsko.

Opterećenje snegom deluje kao površinsko, po horizontalnoj projekciji krova i na terasama a po karakteru je promenljivo. Pretpostavljaju se padavine bez snežnih smetova – ravnomerno taloženje snega (A). Analiza se sprovodi u skladu sa propisom EN 1991-1-3.

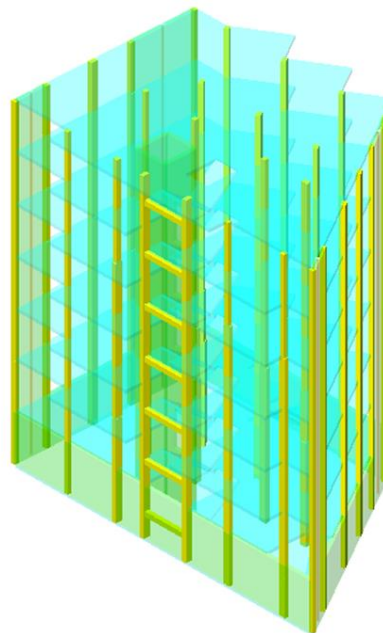
Seizmičko opterećenje je izračunato i aplicirano na objekat automatski, u okviru softvera Tower 8.0, prema odgovarajućem EN 1998-1-2004 standardu. Za izračunavanje seizmičkih sila primenjena je multimodalna spektralna analiza [6, 7].

2.4. Statički i dinamički proračun

Prilikom modeliranja objekta vođeno je računa o postizanju jednostavnosti modela, kao i što realnijem predstavljanju konstrukcije. Proračun se sprovodi metodom konačnih elemenata (MKE), koji se zasniva na fizičkoj diskretizaciji, tako da realnu konstrukciju opisuje elementima konačnih dimenzija veličine 0,4m. Ovim paketom omogućeno je prostorno modeliranje konstrukcije površinskim i linijskim elementima. Stubovi su modelirani kao linijski elementi, dok su međuspratne tavanice, krovna i temeljna ploča, kao i seizmička platna modelirani kao površinski elementi. Model konstrukcije je napravljen u softverskom paketu Tower 8.0 (Slika 2. *3D model konstrukcije*), a proračun je izvršen prema linearnoj teoriji prvog reda.

Oslanjanje konstrukcije je modelirano kao serija elastičnih opruga, u saglasnosti sa Vinklerovim modelom tla. Prilikom modalne analize pretpostavljeno je da su

međuspratne tavanice apsolutno krute u svojoj ravni i da su mase koncentrisane u nivoima tavanica.



Slika 2. *3D model konstrukcije*

Za definisanje koeficijenta učešća masa za modalnu analizu, korišćene su odredbe pravilnika Evrokod 0 – EN 1991:2002.

Po završetku modalne analize, mogu se definisati parametri za proračun seizmičkih sila, pri čemu je korišćena multimodalna spektralna analiza, koja spada u grupu linearno-elastičnih analiza. Kompletan proračun seizmičkih sila je urađen u okviru softvera, u saglasnosti sa pravilnikom EN 1998-1:2004 koji sadrži opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade.

Kao klasa duktilnosti objekta izabrana je srednja klasa duktilnosti – DCM i prilikom proračuna je dobijena vrednost faktora ponašanja $q = 2,4$.

Tlo na kome će se graditi objekat je C kategorije, što je definisano u EN 1998-1:2004. Tlo kategorije C predstavlja duboki sloj gustog ili srednje gustog peska, šljunka ili vrlo tvrde gline, sa debljinama slojeva od nekoliko desetina metara, kategorija značaja objekta je II a za odnos ubrzanja je zadata vrednost $a_g/g = 0,2$.

2.5. Proračunske kontrole

Prema pravilniku EN 1998-1:2004, obavezno je izvršiti kontrolu normalnih napona u primarnim seizmičkim elementima (platna i stubovi). Za razliku od domaćih PBAB 87 propisa, u Evrokodu se umesto termina „napon u stubu“ koristi termin „normalizovana aksijalna sila u stubu“, koji predstavlja bezdimenzionalnu relativizovanu vrednost. Kontrola normalizovane aksijalne sile u primarnim seizmičkim elementima se sprovodi za anvelopu kombinacija opterećenja koja je nazvana „seizmička proračunska situacija“, u kojoj su sadržane sve kombinacije relevantne za analiziranje duktilnosti primarnih seizmičkih elemenata [10,11].

Izvršena je i kontrola napona u tlu, za anvelopu eksploatacionih seizmičkih, odnosno neseizmičkih kombinacija opterećenja. Za anvelopu seizmičkih kombinacija je dozvoljeni napon u tlu veći za 20%.

Kontrola potrebe obuhvatanja efekata drugog reda je izvršena, i u okviru nje je definisan koeficijent osetljivosti

naspram kog se utvrđuje da li se efekti drugog reda mogu zanemariti ili pak analizirati. Softverom je dokazano da obuhvatanje efekata drugog reda nije potrebno.

Kod ploča koje se neposredno oslanjaju na stubove bez kapitela, lako se stiču uslovi za probijanje ploče. Zbog toga je izvršena provera ploča u kritičnim preseccima kao i obezbeđivanje od probijanja.

Kontrola dopuštenih međuspratnih pomeranja, tj ograničenja se odnose na seizmička dejstva manjih povratnih perioda.

Pomoću softvera, upoređivanjem proračunskih i dozvoljenih međuspratnih pomeranja, utvrđeno je da su vrednosti međuspratnih pomeranja u granicama dozvoljenih za sve etaže predmetnog objekta.

2.6. Dimenzionisanje elemenata

U opštem slučaju, postupak dimenzionisanja armirano-betonskih elemenata, svodi se na proračun statičkih uticaja u merodavnim preseccima elemenata konstrukcije od osnovnih opterećenja. Zatim određivanju merodavne tj. najnepovoljnije kombinacije ovih uticaja u posmatranim preseccima, te određivanju dimenzija preseka i površine potrebne armature.

Dimenzionisanje elemenata konstrukcije je izvršeno prema graničnom stanju nosivosti, prema kompletnoj šemi opterećenja u okviru softverskog paketa.

Prilikom kombinovanja opterećenja korišćeni su odgovarajući parcijalni koeficijenti uz slučajevne opterećenja, a vođeno je i računa o obaveznom kombinovanju/nekombinovanju određenih slučajeva opterećenja.

Zaštitni sloj betona do armature je usvojen na osnovu definisanih klasa izloženosti prema Evrokod pravilniku, pri čemu je za sve elemente usvojena klasa izloženosti XC, dok se stepen izloženosti razlikuje od elementa do elementa. Za pojedine vrste elemenata debljina zaštitnog sloja iznosi:

- Temeljna ploča – 40,00mm
- Međuspratne ploče – 25,00mm
- Stepnišne ploče – 20,00mm
- Stubovi – 30,00mm
- Seizmička platna – 25,00mm

Dimenzionisanje ploča je izvršeno za karakteristične ploče: temeljnu ploču, ploču prizemlja, ploču tipskog sprata i ploču krovnu ploču.

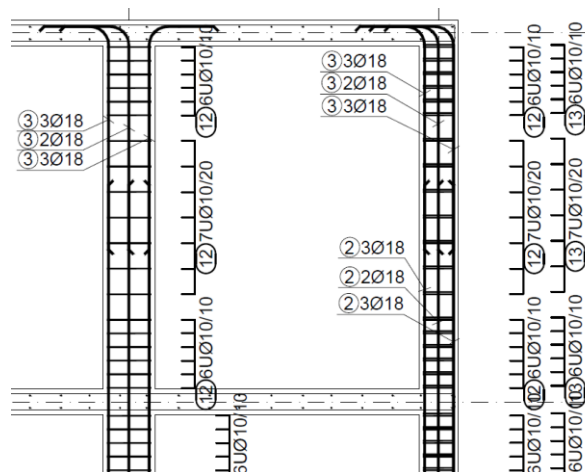
Osim međuspratnih tavanica, dimenzionisane su i kose stepenišne ploče i ploče međupodesta.

Svakom elementu mora biti obezbeđena potrebna količina pravilno raspoređene armature kako bi zadovoljio granična stanja nosivosti i upotrebljivosti.

Na osnovu rezultata dobijenih dimenzionisanjem, odnosno dobijene potrebne količine armature i kontrole stabilnosti, usvojena je armatura u svim gore pomenutim elementima.

Armatura se usvaja tako da po vrsti, količini i položaju u svakom preseku odgovara statičkom proračunu.

Za sve elemente konstrukcije izrađeni su planovi armiranja (npr. slika 3. *Detalj armature stubova u osi 4*), poštujući odredbe Evrokoda koje se odnose na pravila armiranja [3].



Slika 3. Detalj armature stubova u osi 4

3. UPOREDNA ANALIZA PRORAČUNSKIH KONTROLA OBJEKTA PREMA EVROPSKIM I SRPSKIM PROPISIMA

Uporedna analiza je sprovedena za elemente jednakih dimenzija pri jednakim uslovima.

• Kontrola napona u tlu

Evropski propis: $\sigma = 467,83 \text{ kPa} > \sigma_{dop} = 350 \text{ kPa}$

Srpski propis: $\sigma = 188,66 \text{ kPa} < \sigma_{dop} = 350 \text{ kPa}$

Iz priloženih rezultata može se uočiti da je zahtev prema domaćim propisima ispoštovan, dok rezultati dobijeni prema evropskim propisima ne zadovoljavaju usvojene dopuštene napone u tlu.

• Kontrola normalizovne aksijalne sile / dozvoljenih napona u stubovima

Rezultati proračuna prikazani su tabeli 1:

b/d = 25/25cm	Stvarna vrednost	Dopuštena vrednost	Zadovoljava
N. aksijalna sila	1027.87 kN	690.63 kN	Ne
Normalni napon	3.94 MPa	9.8 MPa	Da

Tabela 1. Stvarne i dopuštene vrednosti u stubu

Nakon sprovedenog proračuna, može se uočiti da je uslov dopuštenih napona (proračun po srpskim propisima) zadovoljen, dok u drugom slučaju može da se uoči prekoračenje dozvoljene aksijalne sile za skoro 50%.

• Kontrola normalizovne aksijalne sile / dozvoljenih napona u seizmičkim zidovima

- Rezultati proračuna prema evropskim propisima prikazani su tabeli 2:

Zid	Dimenzije	N_{Ed}	max N	Zadovoljava
POS PL 1 (osa V6)	300/25 cm	1241,31 kN	5100,00 kN	Da
POS PL2 (osa V6)	400/25 cm	1333,96 kN	6800,00 kN	Da
POS PL3 (osa K1)	350/25 cm	1194,00 kN	5950,00 kN	Da
POS PL4 (osa K1)	400/25 cm	1364,92 kN	6800,00 kN	Da

Tabela 2. Maksimalna i dopuštena aks. sila u platnima

- Rezultati proračuna prema srpskim propisima prikazani su u tabeli 3:

Zid	Dimenzije	σ_0	$\sigma_{0,dop}$	Zadovoljava
POS PL 1 (osa V6)	300/25 cm	1.2 MPa	5.6 MPa	Da
POS PL2 (osa V6)	400/25 cm	1.27 MPa		Da
POS PL3 (osa K1)	350/25 cm	1.18 MPa		Da
POS PL4 (osa K1)	400/25 cm	0.76 MPa		Da

Tabela 3. Maksimalni i dopušteni naponi u platnima

Prema dobijenim rezultatima proračuna može se uočiti da su zahtevani uslovi zadovoljeni u oba slučaja. Takođe, može se konstatovati da je iskorišćenost preseka za dva posmatrana slučaja proračuna približno jednaka.

Kontrola ploča na probijanje

Nakon sprovedenih proračuna utvrđeno je da je jedna od osnovnih razlika u načinu proračuna ova dva propisa taj što se proračun po PBAB '87 sprovodi prema teoriji dopuštenih napona dok EC2 vrši proveru prema teoriji graničnih stanja.

Prema domaćim propisima proračunom za proveru ploče protiv probijanja se obuhvata jedan, kritičan, presek koji se od centra stuba nalazi na udaljenosti $(d+h)/2$, dok se nosivost pri smicanju prema evropskim propisima proverava u dva preseka, na ivici stuba i na kontrolnom obimu (dužina kontrolnog obima). Ukoliko kontrola u kontrolnom obimu pokaže potrebu za dodatnom armaturom za obezbeđenje od proboja, proračunom se obuhvata sledeći kontrolni obim u kome dodatna armatura nije potrebna.

Pravilnik BAB '87 propisuje da bez obzira na poprečni presek stuba, smičuća površ ima konični oblik, pri čemu se radi jednostavnosti proračuna aproksimira kao cilindrična. U slučaju pravougaonog poprečnog preseka stuba uvodi se ekvivalentan kružni presek. Proračunom prema EC2 za osiguranje od smičućih napona u obzir se uzima oblik poprečnog preseka stuba.

Još jedna od razlika koja se javlja u dva posmatrana načina proračuna jeste da se proračunom prema evrokodu vrši povećanje smičućeg napona usled ekscentriciteta normalne sile preko koeficijenta β , dok domaći pravilnik za ugaone i ivične stubove ovaj efekat u obzir uzima grubo, povećanjem poprečne sile po jedinici dužine obima za unutrašnje stubove potpuno ignoriše ovu vrstu proračuna.

- Kontrola horizontalnog pomeranja konstrukcije u vrhu/ kontrola dozvoljenih međuspratnih pomeranja

Prema domaćim propisima proverava se, za najnepovoljniju kombinaciju, pomeranje vrha konstrukcije u dva međusobno upravna pravca:

$$U_x = 15.11 \text{ mm} < U_{dop} = 28.5 \text{ mm}$$

$$U_y = 12.69 \text{ mm} < U_{dop} = 28.5 \text{ mm}$$

Rezultati prema evropskim propisima dati su u tabeli 4:

Međuspratna pomeranja - 12. SRSS: MAX(VIII, IX)+MAX(X, XI)							
Nivo	Z[m]	Visina[m]	$d_x(0^\circ)$ [mm]	$d_x(90^\circ)$ [mm]	d_y [mm]	d_{z1} [mm]	d_{z2} [mm]
Krov	17.10	2.81	13.33	11.21	17.41	28.10	28.10
V Sprat	14.29	2.89	14.67	11.85	18.86	28.90	28.90
IV Sprat	11.40	2.89	14.86	11.75	18.95	28.90	28.90
III Sprat	8.51	2.89	14.48	11.31	18.37	28.90	28.90
II Sprat	5.62	2.77	12.34	9.99	15.88	27.70	27.70
I Sprat	2.85	2.85	11.11	8.95	14.27	28.90	28.90
Prizemlje	0.00	2.87	2.86	6.76	7.34	28.70	28.70

Uslov ograničenja međuspratnog pomeranja je ispunjen.

Tabela 4. Pomeranja spratova prema EC

Uslov je ispunjen u oba slučaja.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega priloženog, može se reći da se uporedni rezultati drastično razlikuju za neke od proračunskih kontrola dok su za neke približno jednaki.

Kao jedan od razloga zbog kojeg se rezultati razlikuju jesu kombinacije opterećenja sa kojima su se vršile proračunske analize. Prema domaćim propisima, proračun se sprovodio za eksploatacionu kombinaciju opterećenja u kojoj se sva osnovna opterećenja uzimaju sa parcijalnim koeficijentom 1.0 (teorija dopuštenih napona), dok se prema evropskim propisima proračun vršio korišćenjem karakterističnih kombinacija opterećenja pretpostavljajući nepovratno granično stanje (teorija graničnih stanja). Ova razlika u načinu proračuna se najbolje uočava kod elemenata koji su dimenzionisani sa približno maksimalnom iskorišćenošću preseka, što može da se

uoči kod provere stubova. Slična situacija se javila i kod provere dopuštenih napona u tlu.

U slučaju kontrole ploča na probijanje, osim razlike u kombinacijama koje se koriste za proračun, uočljiv je drastičan napredak u proračunu evropskih propisa u odnosu na srpske (PBAB '87). Dakle, način proračuna evropskih propisa za kontrolu ploča na probijanje neprestano je usavršavan do danas, dok je proračun prema domaćim propisima usvojen iz DIN-a i nije menjan više desetina godina. Prema tome, to je glavni razlog zbog kojeg ima toliko razlika u proračunu.

Prema svemu do sada iznešenom u uporednoj metodi kontrolnih proračuna, može se reći da su kriterijumi koje zahtevaju proračuni prema evrokodu detaljniji i strožiji od kriterijuma koje zahteva proračun prema domaćem propisu, te su objekti (proračunati prema evropskim propisima) zaštićeniji od uticaja kojima su izloženi tokom eksploatacionog perioda.

5. LITERATURA

1. Brujić Zoran - „Betonske konstrukcije u zgradarstvu prema Evrokodu“, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, januar 2018.
2. Evrokod 1 „Dejstva na konstrukcije“, Beograd, novembar 2009.
3. Evrokod 2 „Proračun betonskih konstrukcija“, Beograd, februar 2006.
4. Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija“, Beograd, novembar 2009.
5. Anka Starčev-Ćurčin, Drago Žarković - „Materijali za vežbe iz predmeta teorije betonskih konstrukcija 1 i 2“, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
6. „Tower 8“ - uputstvo za rad sa programom
7. „Armad 6.0“ - uputstvo za rad sa programom
8. Proračun betonskih zgrada, Evrokod 2osnova i primene, Beograd 2019.
9. Grupa autora: „Beton i armirani beton - Tom 1“, Univerzitetska štampa, Beograd 2000.
10. Grupa autora: „Beton i armirani beton - Tom 2“, Univerzitetska štampa, Beograd 2000.
11. Pravilnik za objekte visokogradnje u seizmički aktivnim područjima

Kratka biografija:



Ivan Pijanić rođen je u Novom Sadu 1993. godine. Osnovne akademske studije upisuje 2012. godine a diplomski rad iz predmeta Betonske konstrukcije brani u oktobru 2017. godine i upisuje master studije – smer konstrukcije. Master rad na Fakultetu Tehničkih Nauka iz oblasti Seizmička analiza konstrukcija odbranio je u septembru 2020. godine.