

**PROJEKAT AB VIŠESPRATNE STAMBENO – POSLOVNE ZGRADE PREMA EVROKODU I UPOREDNA ANALIZA KOLIČINE ARMATURE KARAKTERISTIČNIH ELEMENATA PREMA EC8 I BAB87****PROJECT OF AN RC MULTI-STOREY RESIDENTIAL AND COMMERCIAL BUILDING ACCORDING TO EUROCODE AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE AMOUNT OF REINFORCEMENT OF CHARACTERISTIC ELEMENTS ACCORDING TO EC8 AND BAB 87**Dragan Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – SEIZMIČKA ANALIZA KONSTRUKCIJA**

**Kratak sadržaj** – Ovim radom predstavljena je analiza opterećenja i statičko-dinamički proračun armiranobetonske konstrukcije sa dimenzionisanjem elemenata prema Evrokodu i uporedna analiza po domaćim standardima. Izvršeno je i upoređivanje količine armature karakterističnih elemenata ploče i rama prema BAB87 i Evrokodu.

**Ključne reči:** AB zgrada, Evrokod 8, Uporedna analiza

**Abstract** – This work presents load analysis and static-dynamic calculation of a reinforced concrete structure with sizing of elements according to Eurocode and comparative analysis according to domestic standards. A comparison of the amount of reinforcement of the characteristic panel and frame elements according to BAB87 and Eurocode was also performed.

**Keywords:** RC building, Eurocode 8, Comparative analysis

**1. UVOD**

Odredbe Evrokodova za beton i seizmička dejstva imaju dosta sličnosti sa prethodnim standardima korišćenim u domaćoj praksi, koji su temeljili na graničnim stanjima i tretirali su seizmičko dejstvo kao jedno od najvažnijih za AB konstrukcije.

Kao dominantno dejstvo, zbog mase betona koja utiče na konstrukciju pri zemljotresu, seizmici je data posebna pažnja u ovom radu.

Odredbe EC8 se odnose kako na samo seizmičko dejstvo, tako i na princip projektovanja seizmički aktivnim oblastima.

Olakšanje u analizi konstrukcije čini upotreba softvera za statičko-dinamičku analizu i dimenzionisanje elemenata, kao i za izradu detalja armiranja.

U radu je korišćen softver domaćeg proizvođača Radimpex Tower 7 kod koga se koristi metoda konačnih elemenata. Programirano ponašanje se izvršava dimenzionisanjem u nekoliko koraka, naizmeničnim proračunom i usvajanjem armature. Proračun uparen sa uputstvima i zahtevima za detalje elemenata i čvorova, daje sigurnost konstrukcije.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Andrija Rašeta.

**2. PODACI O OBJEKTU**

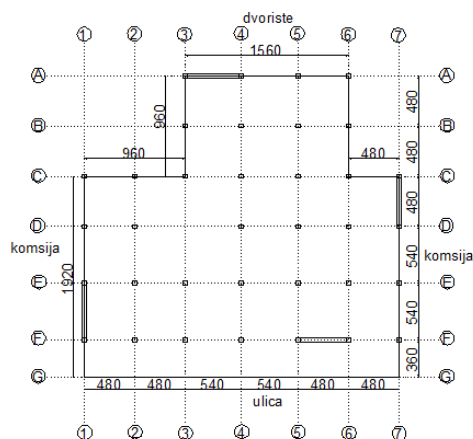
Posmatrani objekat je višespratna stambeno-poslovna zgrada čiji su okviri pridržani po obodu objekta sa po dva zida u oba pravca okvira. Spratnost je Po+P+5, visine 20,0 m, a lokacija je Novom Sadu.

**2.1. Arhitektonsko rešenje**

Objekat je u osnovi oblika slova T, pri čemu je gabarit zgrade sačinjen od dva pravougaonika čije su dimenzije u osnovi 19,2 x 30,0 m + 9,6 x 15,6 m posmatrajući karakteristični sprat zajedno sa balkonskim ispustima od 3,6 m.

Na etaži karakterističnog sprata nalazi se osam stanova, od kojih je jedan sa kvadraturom od 88 m<sup>2</sup>, drugi sa kvadraturom od 77 m<sup>2</sup>, dok ostali imaju 70 m<sup>2</sup>, 66 m<sup>2</sup> i 50 m<sup>2</sup>.

Na slici 1 se može videti sve navedeno kao i raspored i numeracija ramova, te mesta seizmičkih zidova.



Slika 1. Arhitektonsko rešenje

**2.2. Noseći elementi**

Konstruktivski sistem zgrade je ukrućeni skeletni sistem koji se sastoji od 7 ramova u podužnom pravcu (x pravac) i 7 ramova u poprečnom pravcu (y pravac). Dimenzije ramova u podužnom pravcu su za 2 rama 15,6 m i za 5 ramova 30 m, a dimenzije ramova u poprečnom pravcu su za 3 rama 19,2 m i za 4 rama 25,2 m.

Armiranobetonska konstrukcija je skeletnog tipa sa zidovima za ukrućenje. Okviri sadrže grede i stubove, sledećih dimenzija:

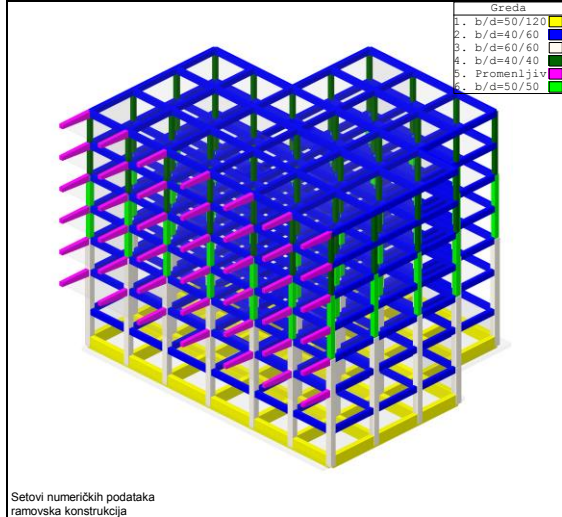
Stubovi

- $b/h = 60/60$  cm u podrumu, prizemlju i I spratu,
- $b/h = 50/50$  cm u II i III spratu i
- $b/h = 40/40$  cm u IV i V spratu.

Grede:

- $b/h=40/60$  cm sve etaže,
- $b/h=50/120$  cm temeljne grede i
- $b/h=40/100$  (60) cm balkonske grede.

Međuspratne kosntrukcije su debljine 20 cm, a temeljna ploča 40 cm. Zidovi su debljine 20 cm. Cela konstrukcija je rađena u klasi beona C30/37 i armatura B500B po Evrokodu, a po domaćem propisu MB40 i armatura RA400/500.



Slika 2. Prikaz modeliranih greda

### 3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Analiza opterećenja izvedena je primenom Evrokoda 0 i 1, seizmičko dejstvo je razmatrano prema Evrokodu 8, dok je uporedna analiza sprovedena i prema domaćim odgovarajućim tehničkim propisima.

Evrokodom kao i domaćim pravilnikom su definisana stalna, promenljiva, incidentna i seizmička dejstva.

U stalna je ubrojana sopstvena težina generisana programski, težina obloga, pregradnih i punih zidova. Stalna opterećenja praktično ostaju ista i po domaćem pravilniku.

Promenljiva opterećenja delimo na: korisno, sneg i vetar.

Opterećenje snegom po evrokodu je  $1,20 \text{ kN/m}^2$ , dok prema domaćem pravilniku iznosi  $0,75 \text{ kN/m}^2$ .

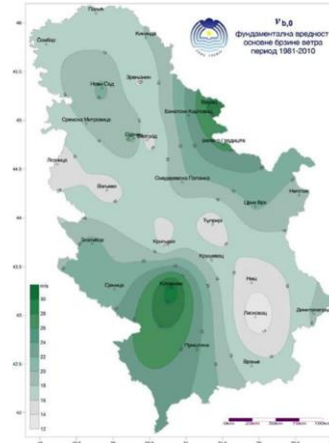
Opterećenje vetrom je detaljno urađeno prema Evrokodu, dok je po domaćem pravilniku izostavljena analiza iz razloga što opterećenje vetrom nije merodavno za dimenzionisanje betonske konstrukcije.

Kat.	Namena	Primer/pod-kategorija	qk	Qk
A	Stambene površine	Sobe u stambenim zgradama i kućama, spavaće sobe i odeljenja u bolnicama, spavaće sobe u hotelima i prenoćištima, kuhinje i toaleti.	Podovi 1,5-2,0	2,0-3,0
		Stepeništa	2,0-4,0	2,0-4,0
		Balkoni	2,5-4,0	2,0-3,0
B	Kancelarijske površine	Kancelarije.	2,0-3,0	1,5-4,5
C	Površine na kojima je moguće okupljanje ljudi	C1: Površine sa stolovima (u školama, čitaonicama, trpezarijama...)	2,0-3,0	3,0-4,0
		C2: Površine s nepokretnim stepeništima (u crkvama, pozorištima, bioskopima, učionicama, čekaonicama...)	3,0-4,0	2,5-7,0 (4,0)
		C3: Površine bez prepreka za kretanje (u muzejima, izložbenim prostorima, površine u javnim i administrativnim zgradama, hotelima, bolnicama...)	3,0-5,0	4,0-7,0
		C4: Površine sa mogućim fizičkim aktivnostima (plesne dvorane, gimnastičke sale, pozornice...)	4,0-5,0	3,5-7,0
		C5: Površine osetljive na veliko okupljanje (zgrade za javne događaje, koncertne, sportske dvorane uključujući tribine, terase; železničke platforme)	5,0-7,5	3,5-4,5
D	Prodajne površine	D1: Površine u maloprodajnim radnjama	4,0-5,0	3,5-7,0
		D2: Površine u robnim kućama	4,0-5,0	3,5-7,0

Slika 3. Preporučene vrednosti korisnih opterećenja - Evrokod.

Korisna vertikalna opterećenja, prema našim propisima	p [kN/m <sup>2</sup> ]
Prostorije za stanovanje i sporedne prostorije sa dužinom otvora do 4.5m	1.25
Prostorije za stanovanje i sporedne prostorije sa dužinom otvora 4.5-5.5m	1.50
Velike stambene, trgovačke, službene prostorije, bolničke prostorije, prohodne terase	2.00
Stepeništa u stambenim zgradama, balkoni, školske prostorije	3.00
Čekaonice, prodavnice, hodnici i stepeništa u javnim trgovačkim zgradama	4.00
Prostorije za skupljanje ljudi (pozorišta, bioskopi, gimnastičke sale), tribine sa stalnim sedištima, staje za krupnu stoku	4.50
Tribine bez stalnih sedišta	6.50
Prostorije za ostavljanje prtljaga	5.00
Biblioteke, arhive, knjižare	≥ 5.00
Opterećenja kod fabrika i radionica	≥ 3.00
Garáže putničkih automobila	2.50
Korisna horizontalna opterećenja, prema našim propisima	p [kN/m]
Horizontalni pritisak na ručicu stepenišne ograde i ograde balkona	0.40
Horizontalni pritisak na ručicu ograde u pozorištima, bioskopima, školama, salama za skupove, sportskim objektima i tribinama	1.00

Slika 4. Preporučene vrednosti korisnih opterećenja - domaći pravilnik



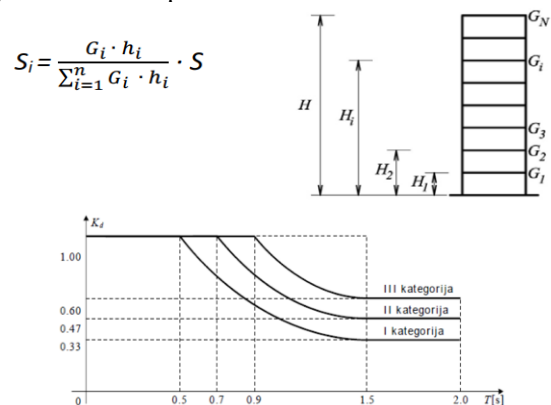
Slika 5. Karta osnovne brzine vetra

#### 3.1 Seizmička analiza po Evrokodu

Seizmički proračun je izvršen pomoću softverskog paketa Tower 7.0. Kao metoda za proračun seizmičkih sila korišćena je multimodalna spektralna analiza za čiju primenu je neophodno poznavanje dinamičkih karakteristika sistema, koje su određene modalnom analizom. Sam proračun je izvršen za dva upravna pravca seizmičkog delovanja, X i Y.

#### 3.2 Seizmička analiza po domaćem pravilniku

Primenjena je ekvivalentna statička metoda koja je približnija metoda kojom se izračunava ukupna horizontalna sila koja deluje na objekat. Ona preko upunog seizmičkog koeficijenata  $K$  uzima u obzir samo prvi ton oscilovanja. Zbog toga, ova metoda nije pogodna za proračun zgrada veće spratnosti. Nedostatak doprinosa ostatka tonova može se delimično nadoknaditi koncentracijom 15% ukupne seizmičke sile u nivou najviše tavanice za objekte više od 5 spratova.



Slika 6. Koeficijent dinamičnosti - domaći pravilnik

#### 4. DIMENZIONISANJE ELEMENATA

Dimenzionisanje elemenata konstrukcije je izvršeno prema граничном stanju nosivosti, prema kompletnoj šemi opterećenja u okviru softverskog paketa Tower 7.

Izvršeno je dimenzionisanje karakterističnih elemenata:

- ploče: temeljna ploča i krovna ploča i ramovi: ram u osi 5 i osi B.

#### 5. UPOREDNA ANALIZA

Projektom zadatkom je previđeno poređenje količine armature višespratnog objekta koji je projektovan po evropskim i domaćim propisima kako bi se mogla videti razlika u koracima prilikom projektovanja.

Kako je prethodno prikazano, pomenuti elementi prilikom modeliranja razlikuju se u pogledu svojstva materijala (beton, čelik za armiranje).

Dakle, konstrukcija je dimenzionisana prema граничном stanju nosivosti prema metodi ekvivalentnih bočnih sila za domaće propisa, dok je za evropske propise rađena multimodalna analiza za određivanje seizmičkog uticaja.

Kako je za objekat projektovan prema evropskim propisima usvojen beton klase C30/37, u proračunu prema evropskim propisima je usvojen beton najslabijih mehaničkih karakteristika – MB40.

Za evropske propise korišćena je armature B500B sa granicom razvlačenja 500 MPa, dok je za domaće propise korišćen je čelik RA400/500 sa granicom razvlačenja 400 MPa.

Pritom treba imati na umu da Evrokod uvodi i parcijalne koeficijente za materijal, koji su za bezon 1,5 i za armaturu 1,15.

Parcijalni koeficijenti sigurnosti za **PBAB 87**:

- 1,6 za nepovoljno delovanje stalnog opterećenja
- 1,8 za sva povremena opterećenja istovremeno (korisno, sneg i vetar)
- 1,3 za sva opterećenja (samo 0,65 za korisno) u kombinaciji sa seizmičkim opterećenjem.

Parcijalni koeficijenti sigurnosti prema **Evrokodovima**:

- 1,35 za nepovoljno delovanje stalnog opterećenja
- 1,5 za vetar kao glavno opterećenje, pri čemu je sneg 0,75 a korisno 1,05
- 1,5 za sneg kao glavno opterećenje, pri čemu je vetar 0,9 a korisno 1,05
- 1,5 za korisno kao glavno opterećenje, pri čemu je vetar 0,9 a sneg 1,05
- Seizmičko opterećenje 1,0, kao i stalno, a korisno 0,30

Iz datog se može zaključiti da su koeficijenti sigurnosti prema evropskim propisima manji uz realnije kombinovanje, što se rezultuje manjim statičkim uticajima.

Prilikom modeliranja konstrukcije prema evropskim normama da bi se obuhvatio efekat isprskalosti betonskog preseka, kao i efekat tečenja betona na globalnom nivou, modul elastičnosti E je redukovano na polovinu, dok je prema domaćem pravilniku torziona krutost redukovana 10 puta za statiku kao i za seizmiku, i na taj način postignut je efekat isprskalosti preseka.

Prilikom seizmičke analize razlika se ogleda u korišćenju različitih metoda u okviru proračuna.

Pravilnik BAB 87 propisuje primenu ekvivalentnu statičku metodu, dok evrokod insistira na primeni multimodalne spektralne analize. Proračunske kontrole su slične i odnose se na kontrolu napona u stubovima, zidovima, i kontrolu spratnih pomeranja.

U konkretnom slučaju, sve proračunske kontrole su ispoštovane, tako da dimenzionalno konstrukcija odgovara prilikom modeliranja korišćenjem pravila oba pravilnika.

Oblikovanje detalja kod oba pravilnika ima za ideju da obezbedi objektu dovoljnu seizmičku otpornost u smislu pojave oštećenja na očekivanim mestima, koja se lako saniraju, a da ne dođe do ozbiljnih oštećenja ili rušenja konstrukcije. Ovo se naziva koncept programiranog ponašanja i predstavlja niz konstruktivnih mera koja se moraju preduzeti.

Više poprečne armature se dobija prema Evrokodu 8. Uzrok se ogleda u tome da domaći propisi prepuštaju deo smučućih napona betonu, dok ostatak napona beton koji ne može da primi predaje se armaturi. U evrokodu kompletna smičuća sila se predaje armaturi.

Obe analize su dale slične količine potrebne armature u stubovima.

Za armiranje greda u osloncima evrokod propisuje maksimalnu dozvoljenu količinu usvojene armature i nalaže da se iskontroliše moment nosivosti greda u odnosu na stubove, kako bi se obezbedilo sigurno formiranje plastičnih zglobova na krajevima greda.

Kod armiranja greda prema domaćem pravilniku u osloncima potrebno je usvojiti povoljan odnos armature u donjoj i gornjoj zoni, tako da u pritisnutoj zoni bude minimum 50% armature u odnosu na armature u zategnutoj zoni. Na ovaj način se povećava duktilnost potencijalnih plastičnih zglobova u sistemu.

Potrebne količine armature su uz pomoć programskog paketa ArmCAD6 određene i date su ispod.

Temeljna ploča:

PBAB 87

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lg [m]	Jedinična težina [kg/m]	Težina [kg]
RA1			
8	9964.51	0.41	4075.48
10	10170.22	0.65	6600.47
12	1253.01	0.92	1152.77
14	3281.51	1.25	4108.45
16	1597.91	1.62	2590.21
18	688.46	2.05	1411.38
Ukupno (RA1)			19938.77
Ukupno			19938.77

Evrokod

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lg [m]	Jedinična težina [kg/m]	Težina [kg]
B500A			
8	1020.40	0.40	403.06
10	301.40	0.62	185.96
12	15377.04	0.89	13654.81
16	961.00	1.58	1518.38
20	167.20	2.47	412.98
Ukupno (B500A)			16175.20
Ukupno			16175.20

Prikazani rezultati ukazuju na to da je količina armature koja je potrebna za armiranje temeljne ploče u slučaju objekta koji je projektovan po domaćim propisima veća u odnosu na objekat koji je projektovan evropskim propisima.

## RAM U OSI 5

### PBAB 87

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lg [m]	Jedinična težina [kg/m]	Težina [kg]
RA1			
8	4540.54	0.41	1857.08
10	868.46	0.65	563.63
12	367.10	0.92	337.73
14	158.10	1.25	197.94
16	2468.68	1.62	4001.73
19	1302.49	2.29	2980.10
22	400.30	3.06	1224.12
25	335.90	3.95	1327.14
Ukupno (RA1)			12489.47
Ukupno			12489.47

### Evrokod

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lg [m]	Jedinična težina [kg/m]	Težina [kg]
B500A			
8	7984.16	0.40	3153.74
10	446.74	0.62	275.64
12	222.00	0.89	197.14
16	1917.70	1.58	3029.97
20	1559.74	2.47	3852.56
25	546.30	3.85	2103.26
Ukupno (B500A)			12612.30
Ukupno			12612.30

Prikazani rezultati karakterističnih ramova pokazuju da je veća količina potrebe za armiranjem po domaćim propisima u odnosu na isti objekat koji je projektovan prema evropskim propisima.

Ukupna količina armature u temeljnoj ploči prema domaćim propisima iznosi 19938,80 kg, što iznosi približno 68,7 kg/m<sup>3</sup> odnosno 27,47 kg/m<sup>2</sup>, dok prema evropskim propisima ukupna količina usvojene armature iznosi 16175,2 kg, što iznosi približno 55,7 kg/m<sup>3</sup> odnosno 22,28 kg/m<sup>2</sup>.

Iz datog sledi da je veća količina armature u temeljnoj ploči dobijena prema domaćim propisima.. Maksimalna potrebna armatura iznad oslonaca temeljne ploče prema domaćem pravilniku iznosi 21,04 cm<sup>2</sup>, a prema evropskim normama 15,46 cm<sup>2</sup> što predstavlja odnos od 1,36x (36,09% više potrebno primenom domaćeg pravilnika).

Što se tiče karakterističnih ramova može se reći da je količina usvojene armature praktično slična za ram u osi 5. Prema domaćem pravilniku ukupna armatura je 12489,5 kg dok je primenom evropskih normi dobijeno nešto više, u iznosu 12612,3 kg.

Nakon usvajanja armature evropski standardi definišu strožije konstrukcijske zahteve koji obezbeđuju lokalnu duktilnost i omogućavaju stvaranje plastičnih zglobova na povoljnim mestima.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je zaključeno da se prilikom dimenzionisanja zgrade prema domaćim propisima i prema evrokodu dobijaju približne količine potrebne armature. Glavna razlika je u tome što se nakon usvajanja armature evropski standardi definišu strožije konstrukcijske zahteve koji obezbeđuju lokalnu duktilnost i omogućavaju stvaranje plastičnih zglobova na povoljnim mestima.

## 7. LITERATURA

- [1] Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije
- [2] Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija
- [3] Evrokod 8: Proračun seizmički otpornih konstrukcija
- [4] Zoran Brujić: Betonske konstrukcije prema Evrokodu
- [5] Grupa autora. Beton i armirani beton (PBAB 87). Knjiga 2, Univerzitetska štampa, Beograd 2000
- [6] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmički aktivnim područjima. Službeni list SFRJ br. 31/81

### Kratka biografija:



**Dragan Jovanović** rođen je u Kragujevcu 1994. god. Osnovne akademske studije završio je 2018. god. na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Seizmička analiza konstrukcije odbranio je 2022. god pod mentorstvom prof. dr. Andrije Rašete.  
Kontakt: [draganjovanovicc.13@gmail.com](mailto:draganjovanovicc.13@gmail.com)