

PROJEKAT AB SKELETNE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE ZGRADE PREMA EVROKODU I UPOREDNA ANALIZA USVOJENE ARMATURE**DESIGN OF MULTY-STOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING BY EUROPEAN STANDARDS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF APPLIED REINFORCEMENT**Đorđe Veselinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U prvom dijelu rada prikazan je projekat višespratne armiranobetonske zgrade spratnosti PO+PR(+0,90 m)+10 u Budvi, prema Evrokod standardima. U drugom dijelu rada prikazana je uporedna analiza usvojene armature karakterističnih ramova prema Evrokodu i domaćim standardima.

Gljučne riječi: Višespratna armiranobetonska zgrada, upredna analiza, Evrokod.

Abstract – The first part of the work represents the project of the multi-storey reinforced concrete building, basement + ground floor + 10 storeys in Budva, according to European standards. The second part of the work represents comparative analysis of reinforcement applied to characteristic frames according to European and national standards.

Keywords: Multy-storey reinforced concrete building, comparative analysis, Eurocode.

1. UVOD**1.1. Projektni zadatak**

Projektnim zadatkom predviđeno je projektovanje višespratne stambeno - poslovne zgrade spratnosti PO+PR(+0,90 m)+10 u Budvi, prema Evrokod standardu. Konstruktivni sistem objekta je ukrućeni skeletni sistem. Temeljna konstrukcija je formirana od temeljne ploče ojačane gredama. Krov je ravan, prohodan, predviđen za okupljanje ljudi. Nacrtati planove armiranja sledećih elemenata: temeljne ploče, ploče prizemlja, ploče tipskog sprata, krovne ploče, karakterističnih ramova u osama „3“ i „D“ kao i stepeništa. Potrebno je izvršiti uporednu analizu usvojene armature karakterističnih ramova u osama „3“ i „D“ za isti objekat projektovan po evropskim i domaćim propisima.

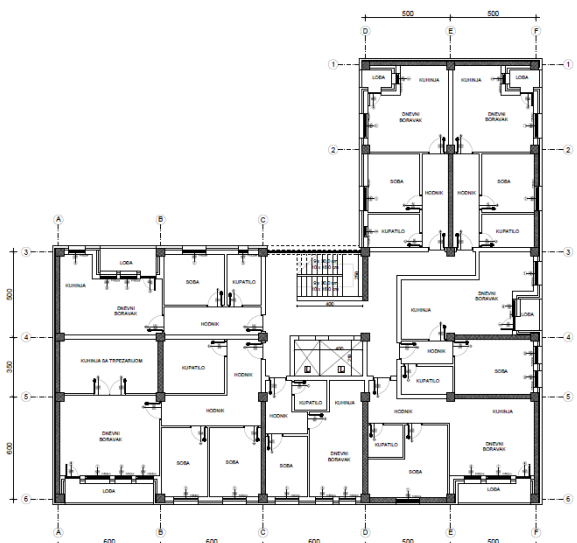
2. OPIS PROJEKTA**2.1 Arhitektonsko rješenje**

Arhitektonskim rješenjem je definisano da podrum i prizemlje budu poslovni dio objekta. Od prvog do desetog sprata je stambeni dio, sedam stanova po jednoj etaži. Projektnim zadatkom je predviđeno izvođenje krova kao ravnog i prohodnog. Po obodu zgrade izvodi se atika visine 80. Spratna visina tipskog sprata je 3,2 m, prizemlja 4,0 m i podruma 3,7 m.

NAPOMENA:

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

Za vertikalnu komunikaciju unutar objekta predviđeno je dvokrako stepenište (b/h = 30/16 cm – tipski sprat, b/h = 20/30 cm – prizemlje, b/h = 18,5/30 cm – podrum) i dva lifta, jedan teretni lift i jedan manji lift veće brzine. Dubina fundiranja objekta je 4,0 m. Fasadni zidovi su debljine 47 cm, sastoje se od pune zidne opeke 25 cm, stiropora 10 cm i fasadne opeke 12 cm. Pregradni zidovi između stambenih jedinica se izvode od pune opeke debljine 25 cm a unutar stambenih jedinica pregradni zidovi su debljine 12 cm (puna opeka). Prozori u svim stanovima i poslovnim prostorima su od crne aluminijumske stolarije a sva unutrašnja stolarija je od drveta.



Slika 1. Arhitektonsko rješenje tipskog sprata

2.2. Konstruktivni sistem

Osnovni konstruktivni sistem je skeletni, formiran od šest podužnih i šest poprečnih ramova. Sistem je ukrućen seizmičkim zidovima debljine 25 cm i 30 cm. Podrumski zidovi su debljine 25 cm po čitavom obodu objekta koji formiraju prostorno krutu cjelinu.

Poprečni presjeci stubova variraju u zavisnosti od vrijednosti normalizovane aksijalne sile koja prema Evrokod pravilniku za primarne seizmičke stubove projektovane na klasu duktilnosti M, ne smije biti veća od 0,65. Dimenzije fasadnih stubova su: b/d=50/50 cm, b/d=50/60 cm, b/d=50/70 cm, a centralnih: b/d=50/50 cm, b/d=55/55 cm, b/d=65/65 cm. Redukcija dimenzija se vrši u nivou međuspratne tavanice drugog i petog sprata. Usvojene dimenzije grednih elemenata u oba pravca su b/d=35/60 cm. Međuspratne tavanice tipskog sprata i krovna ploča su projektovani kao puna AB ploča debljine

15 cm. Ploča prizemlja je debljine 18 cm. Stepenišna konstrukcija je takođe puna AB ploča debljine 15 cm, statičkog sistema koljenaste ploče. Temeljna ploča je debljine 40 cm, ojačana temeljnim gredama dimenzija $b/d=50/120$ cm i $b/d=65/120$ cm.

Svi vertikalni i horizontalni konstruktivni elementi su od betona kvaliteta C30/37. Korišćena armatura je S500 prema Evrokod standardu.

2.3. Analiza opterećenja

Analiziraju se sledeća opterećenja: stalno opterećenje, korisno opterećenje, opterećenje od snijega, opterećenje od vjetrova, seizmičko opterećenje.

Stalno opterećenje obuhvata: sopstvenu težinu konstruktivnih AB elemenata skeletnog konstruktivnog sistema; dodatno stalno opterećenje od nekonstruktivnih elemenata; pritisak tla na AB zidove temelja. Korisno opterećenje definisano je standardom Evrokod 1 EN 1991-1-1-1:2002, na osnovu kategorije upotrebe prostorija u stambenim zgradama. Opterećenje snijegom u proračunu je uzeto prema evropskim standardima EN 1991-1-3:2003, za krovne nagibe između 0° i 30° i aplicirano je na konstrukciju u vidu jednako podijeljenog površinskog opterećenja.

Opterećenje vjetrom je analizirano prema Evrokod standardu EN 1991-4:2005 i nanoseno je na konstrukciju kao površinsko opterećenje, nakon čega je konvertovano u linijsko opterećenje. Seizmičko opterećenje je izračunato i aplicirano na objekat automatski u okviru softvera Tower 6.0, prema odgovarajućem EN 1998-1-2004 standardu. Za izračunavanje seizmičkih sila primjenjena je multimodalna spektralna analiza.

2.4. Modeliranje konstrukcije, 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 0,4 m. Stubovi su modelirani kao linijski elementi, dok su temeljna ploča, ploča prizemlja, tipskog sprata, krovna kao i seizmička platna modelirani kao površinski elementi. Model konstrukcije je napravljen u softverskom paketu Tower 6.0, a proračun je izvršen prema linearnoj teoriji prvog reda.

Modeliranje tla je izvršeno pomoću Winkler-ovog modela, koji predstavlja jednoparametarski model tla, gdje se tlo zamjenjuje beskonačnom serijom elastičnih opruga i definiše preko koeficijenta posteljice (koeficijent krutosti podloge).

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

Po završetku modalne analize, mogu se definisati parametri za proračun seizmičkih sila, pri čemu je korištena 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 vrijednost faktora ponašanja $q = 3,9$.

Tlo na kome će se graditi objekat je A kategorije, što je definisano u EN 1998-1:2004. Tlo kategorije A - stijena ili stjenka geološka formacija, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini. Kategorija značaja objekta je II, a za odnos ubrzanja je zadata vrijednost $ag/g = 0,35$.

2.5. Proračunske kontrole

Prema evropskom pravilniku neophodno je bilo uraditi sledeće kontrole konstrukcije:

- kontrola napona u stubovima;
- kontrola napona u zidovima;
- ograničenje relativnog spratnog pomjeranja;
- kontrola napona u tlu.

Nakon sprovedenih numeričkih analiza zaključeno je da konstrukcija zadovoljava uslove svih prethodno nabrojanih kontrola.

2.5. Dimenzionisanje elemenata

Dimenzionisanje elemenata konstrukcije je izvršeno prema graničnom stanju nosivosti, prema kompletnoj šemi opterećenja u okviru softverskog paketa Tower 6.0. Zaštitni sloj betona do armature je usvojen na osnovu definisanih klasa izloženosti prema Evrokod pravilniku. Izvršeno je dimenzionisanje odabranih ploča: temeljne ploče, ploče prizemlja, ploče tipskog sprata i krovne ploče. Osim karakterističnih ploča, dimenzionisane su i kose stepenišne ploče i ploče međupodesta. Ploče prenose opterećenje u dva pravca, te su s toga armirane proračunskom armaturom u dva pravca i vođeno je računa o pravilima za armiranje.

Projektnim zadatkom predviđeno je da se dimenzioniše po jedan ram u oba pravca, i to ram u osi „3“ i ram u osi „D“. Dimenzionisanje i armiranje je izvršeno saglasno Evrokod pravilniku, prema uticajima mjerodavnih graničnih kombinacija. Za sve elemente konstrukcije predviđena je klasa betona C30/37, dok su svi elementi armirani rebrastom armaturom S500.

3. UPOREDNA ANALIZA USVOJENE ARMATURE KARAKTERISTIČNIH RAMOVA U OSAMA „3“ I „D“ (EVROKOD – PBAB 87)

U slopu istraživačkog dijela rada, izvršena je i uporedna analiza važećih propisa kod nas koji su bazirani na odredbama Pravilnika BAB 87 i evropskih, odnosno članova iz Evrokoda koji su korišćeni u prethodnom dijelu rada, a što je usko vezano za poređenje usvojene armature u karakterističnim ramovima u osama „3“ i „D“ za isti objekat projektovan prema domaćim i evropskim propisima. U nastavku će objekat projektovan prema Evrokodu biti označen sa „Evrokod“ a po domaćim propisima sa „PBAB 87“.

3.1. Analiza materijala

Evrokod: Svi konstruktivni elementi su izrađeni od betona C30/37 i armirani su rebrastom armaturom S500.

PBAB 87: Gredni elementi su izrađeni od betona MB30 a stubovi i seizmički zidovi od MB40 i svi su armirani rebrastom armaturom RA400/500.

3.2. Analiza opterećenja

Prema Evrokodu, kao i prema domaćim propisima postoji pet grupa eksploatacionih opterećenja: stalno, korisno, vjetar, snijeg i seizmičko opterećenje.

Stalno opterećenje prema oba standarda je identično, obuhvata konstruktivne elemente, obloge i nekonstruktivne elemente na objektu.

Opterećenje snijegom, za predmetni objekat koji je rađen prema odredbama iz Evrokoda, uzeto je kao 1 kN/m^2 i aplicirano po krovnoj ravni. Prema domaćim propisima je nanijeto u vrijednosti od $0,75 \text{ kN/m}^2$.

U analizi korisnog opterećenja postoje razlike. Korisno opterećenje potiče od namjene projektovanog prostora, odnosno iz njegove upotrebe na predmetnom objektu. Prema PBAB 87, na jednostavan način je definisano korisno opterećenje kao jedna vrsta opterećenja. Nema podjele na kategorije, date su preporučene vrijednosti za sve namjene prostorija. Prema Evrokodu, opterećenja su podijeljena u više kategorija zavisno od vrste/namjene prostora. Za kategoriju stambene, društvene, trgovačke i administrativne zgrade postoje i potkategorije.

3.3. Seizmička analiza

U seizmičkoj analizi, glavna razlika u propisima jeste u korišćenju metodi proračuna.

Evrokod insistira na primjeni multimodalne spektralne analize.

Domaći pravilnik za objekte koji se projektuju u seizmičkim područjima propisuje primjenu statički ekvivalentne metode.

3.4. Parcijalni koeficijenti sigurnosti i kombinacije opterećenja

Evrokod: Uz parcijalne koeficijente za dejstva propisuju se i parcijalni koeficijenti za nosivost materijala (redukcija mehaničkih karakteristika materijala).

PBAB 87: Parcijalni koeficijenti sigurnosti implementirani u smislu uvećanja dejstava.

3.5. Modeliranje konstrukcije

Ovde je razlika u smanjenju torzione krutosti, kao i korišćenom betonu i armaturi, a to je obrađeno u dijelu analiza materijala.

Evrokod propisuje smanjenje savojne i torzione krutosti kod grednih nosača, kao i savojne krutosti kod stubova i platana, da bi se uzela u obzir isprskalost poprečnog presjeka uslijed apliciranih opterećenja, posebno od seizmičkog.

Pravilnik BAB 87 predviđa smanjivanje samo torzione krutosti kod greda.

3.6. Proračunske kontrole

-Kontrola napona u stubovima i seizmičkim zidovima-

Evrokod: Pravilnik EN 1998-1:2004. Kontrola se vrši tako što se računa vrijednost normalizovane aksijalne sile u stubovima i zidovima, za seizmičku proračunsku situaciju. Primjenjuju se parcijalni koeficijenti sigurnosti i za opterećenje i za materijal. Dobijena vrijednost se upoređi sa dozvoljenom, koja zavisi od odabrane klase duktilnosti. Ovaj uslov je po pravilu lakše zadovoljiti za srednju klasu duktilnosti, odnosno DCM.

PBAB 87: Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmički aktivnim područjima. Kontrola se vrši tako što se prosječni normalni napon u stubovima ili zidovima uslijed eksploatacionih gravitacionih opterećenja poredi sa dozvoljenim naponima. Dozvoljeni napon iznosi 35%

čvrstoće betonske prizme (čvrstoća betonske prizme = $0,7$ čvrstoće betonske kocke) za stubove, a 20% za zidove.

3.7. Dimenzionisanje elemenata

- Zaštitni sloj betona -

Evrokod: Debljina zaštitnog sloja ne zavisi od oblika elementa, već od prečnika usvojene armature i posebno od agresivnosti sredine. Uslovi sredine definisani su kao klase izloženosti.

PBAB 87: Debljina zaštitnog sloja usvaja se na osnovu vrste elementa i stepena agresivnosti sredine (slabo, srednje i jako agresivna sredina).

- Oblikovanje detalja -

Oba pravilnika imaju za ideju da obezbjede objektu dovoljnu seizmičku otpornost, u smislu pojave oštećenja na očekivanim mjestima, koja se lako saniraju, a da ne dođe do ozbiljnih oštećenja ili rušenja konstrukcije. To se naziva koncept programiranog ponašanja i predstavlja niz konstruktivnih mjera koje je neophodno preduzeti.

3.8. Analiza elemenata konstrukcije

- Grede -

Evrokod i PBAB 87: Za ulazne podatke pri modeliranju greda, korištene su osnovne konstruktorske preporuke po pitanju visine grednog elementa, koja se kreće u rasponu od $l/12$ do $l/8$ raspona. Najveći raspon u oba pravca iznosi 6,0 m. Prema tome, usvojena visina grednog elementa je 60 cm, dok je usvojena širina 35 cm.

- Stubovi -

Evrokod: Dimenzije stubova su određene iz uslova dopuštene nosivosti, na osnovu kontrole normalizovane aksijalne sile prema Evrokod pravilniku. Usvojene dimenzije stubova su sljedeće:

Fasadni stubovi: $b/d=50/50 \text{ cm}$, $b/d=50/60 \text{ cm}$, $b/d=50/70 \text{ cm}$.

Centralni stubovi: $b/d=50/50 \text{ cm}$, $b/d=55/55 \text{ cm}$, $b/d=65/65 \text{ cm}$.

PBAB 87: Dimenzije stubova su određene iz naponskog kriterijuma, koji propisuje domaći Pravilnik. Usvojene dimenzije stubova su sljedeće:

Fasadni stubovi: $b/d=40/40 \text{ cm}$, $b/d=40/50 \text{ cm}$, $b/d=40/60 \text{ cm}$.

Centralni stubovi: $b/d=40/40 \text{ cm}$, $b/d=45/45 \text{ cm}$, $b/d=55/55 \text{ cm}$.

Redukcija dimenzija stubova se vrši u nivou međuspratne tavanice drugog i petog sprata u oba slučaja.

- Zidovi za ukrućenje -

Evrokod i PBAB 87: Dimenzije su usvojene na osnovu kontrole normalizovane aksijalne sile u zidovima za ukrućenje prema Evrokod pravilniku, odnosno dopuštenih napona prema domaći propisima. Modelirani su kao tanke ploče debljine 25 cm i 30 cm.

- Temeljna ploča ojačana gredama -

Evrokod i PBAB 87: Temeljna ploča u ovom slučaju, zbog velikog gravitacionog opterećenja, i nemogućnosti racionalnog obezbjeđenja ploče od proboja, je ojačana gredama u dva ortogonalna pravca, koji prate osnovne osovinske rastere.

Evrokod: Usvojene dimenzije su sljedeće:

Temeljna ploča: $d_p=40 \text{ cm}$,

Temeljne grede: $b/d=50/120$ cm, $b/d=65/120$ cm.

PBAB 87: Usvojene dimenzije su sljedeće:

Temeljna ploča: $d_p=40$ cm,

Temeljne grede: $b/d=40/120$ cm, $b/d=55/120$ cm.

3.9. Potrebne količine armature karakterističnih ramova u osama „3“ i „D“ za isti objekat projektovan prema evropskim i domaćim propisima

Kako je prethodno prikazano, pomenuti ramovi se razlikuju kako u pogledu svojstava materijala (beton, čelik za armiranje), tako i u pogledu usvojenih dimenzija konstruktivnih elemenata (stubova i zidova za ukrućenje). Izveštaji koji su dobijeni iz planova armiranja pokazuju da je količina potrebne armature za ispitivane ramove sljedeća:

Evrokod:

Ram u osi „3“: 16.971,46 kg

Ram u osi „D“: 20.843,68 kg

PBAB87:

Ram u osi „3“: 19.370,39 kg

Ram u osi „D“: 25.547,93 kg

Prikazani rezultati ukazuju na to da je količina armature potrebna za armiranje rama u osi „3“ veća u slučaju objekta koji je projektovan po domaćim propisima u odnosu na objekat projektovan po evropskim propisima. Isti je slučaj i kod rama u osi „D“.

Ako pojedinačno gledamo konstruktivne elemente, u gredama je dobijena značajno veća potrebna količina armature u objektu koji je projektovan po domaćim propisima u odnosu na Evrokod, dok je u slučaju stubova i seizmičkih zidova dobijena potrebna količina armature veća u objektu koji je projektovan po evropskim propisima u odnosu na objekat projektovan po Pravilniku BAB 87.

4. ZAKLJUČAK

Kao što je prikazano u poglavlju 3.9, veća količina potrebne armature je dobijena u ramovima objekta projektovanog po Pravilniku BAB 87, u odnosu na ramove objekta projektovanog po Evrokodu. Razliku u količini armature prave gredni elementi, s obzirom da je potrebna količina armature u stubovima i seizmičkim zidovima veća kod objekta projektovanog po Evrokodu u odnosu na objekat projektovan po domaćim propisima.

Razlozi za dobijanje ovakvih rezultata su, po mom mišljenju, različita svojstva materijala (beton i čelik za armiranje), različite dimenzije vertikalnih konstruktivnih elemenata koje su posledica proračunskih kontrola, parcijalni koeficijenti sigurnosti i kombinacije opterećenja kao i oblikovanje detalja.

Gredni elementi su izrađeni od betona marke MB30 (Pravilnik BAB 87) i klase C30/37 (Evrokod) odnosno armirani čelikom RA 400/500 (Pravilnik BAB 87) i S500 (Evrokod). Materijali korišteni za projektovanje objekta po Evrokodu su kvalitetniji u smislu veće čvrstoće na pritisak odnosno na zatezanje, što može uticati na to da je potreba za armaturom nešto manja za objekat projektovan po evropskim propisima.

Dimenzije stubova i seizmičkih zidova određene su iz uslova dopuštene nosivosti napona (Pravilnik BAB 87) odnosno normalizovane aksijalne sile (Evrokod).

Proračunske kontrole su uzrokovale veće dimenzije stubova i seizmičkih zidova u objektu koji je projektovan po Evrokodu. U oba slučaja (Evrokod i Pravilnik BAB 87), potreba za armaturom u ovim konstruktivnim elementima je minimalna. Iz tog razloga, usvojena količina armature je veća u slučaju objekta projektovanog po evropskim propisima.

Parcijalni koeficijenti sigurnosti prema Evrokodu su manji, a kombinacije realnije. To rezultira manjim statičkim uticajima a samim tim i manjom potrebom za armaturom. Kod oblikovanja detalja bih izdvojio armiranje greda u osloncima u obje zone, tako da je $\mu' \geq \mu$ (PBAB 87). To znači da je neophodno usvojiti povoljan odnos armature u donjoj i gornjoj zoni, tj. da u pritisnutoj zoni bude minimum 50% armature u odnosu na armaturu u zategnutoj zoni. To u određenoj mjeri može dodatno povećati količinu armature u grednim elementima.

5. LITERATURA

- [1] Evrokod 0: Osnove proračuna konstrukcija, Beograd, februar 2006.
- [2] Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije, Beograd, novembar 2009.
- [3] Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija, Beograd, februar 2006.
- [4] Evrokod 8: Poračun seizmički otpornih konstrukcija, Beograd, novembar 2009.
- [5] Grupa autora, Beton i armirani beton (PBAB 87), knjiga 1, Univerzitetska štampa, Beograd 2000.
- [6] Grupa autora, Beton i armirani beton (PBAB 87), knjiga 2, Univerzitetska štampa, Beograd 2000.
- [7] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmički aktivnim područjima, Službeni list SFRJ br. 31/81
- [8] Dr. Zoran Brujić: "Materijal za predavanja iz predmeta Betonske konstrukcije", Novi Sad 2015.
- [9] Dr. Zoran Brujić: "Betonske konstrukcije u zgradarstvu (prema Evrokodu)", Novi Sad 2018.

Kratka biografija:



Đorđe Veselinović rođen je u Goraždu 1991. godine. Master rad na Fakultetu Tehničkih Nauka iz oblasti Seizmička analiza konstrukcija odbranio je u septembru 2021. godine pod mentorstvom prof. dr Đorđa Ladinovića.

Kontakt: djordjeveselinovic91@gmail.com