

**PROJEKAT ARMIRANO BETONSKE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE STAMBENO-POSLOVNE ZGRADE U BANJOJ LUCI****DESIGN OF REINFORCED CONCRETE MULTI STOREY RESIDENTIAL AND COMERCIAL BUILDING IN BANJA LUKA**

Nada Pekeljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu je prikazan projekat višespratne armirano betonske zgrade, na području Banja Luke, prema Evrokod standardima. U drugom dijelu rada prikazana je uporedna analiza domaćih i evropskih standarda za stubove.

**Ključne reči:** Višespratna armirano betonska zgrada, uporedna naliza, Evrokod.

**Abstract** – In this paper the project of multy-storey reinforced concrete building in the area of Banja Luka, according to Eurocode standards is presented. In the second part comparative analysis of national and European standards for columns and walls is presented.

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

**1. UVOD**

Projektnim zadatkom je predviđena izgradnja armirano betonske zgrade spratnosti u Banjoj Luci prema zadatom arhitektonskom rješenju. Fundiranje je izvršeno na temeljnoj ploči ojačanoj gredama. Noseća konstrukcija objekta projektovana je kao armirano betonska konstrukcija, sa AB međuspratnim tavanicama, AB stepenicama za vertikalnu komunikaciju i zidovima za ukrućenje. Podaci o dejstvima uzeti su u skladu sa lokacijom i geografskim položajem datog objekta. Projektom su obuhvaćeni analiza opterećenja, proračun mjerodavnih uticaja, dimenzionisanje, neophodni konstrukcijski detalji kao i planovi armiranja. U istraživačkom radu sprovedena je uporedna analiza domaćih i evropskih standarda za stubove i zidove.

**2. OPIS PROJEKTA**

Objekat je petougaone osnove. U podrumu i prizemlju nalaze se garaže, u prizemlju se nalaze poslovni prostori, dok je ostali dio objekta predviđen za individualno stanovanje. Dvije različite tipske etaže predviđene su kao stambeni dio objekta. Za vertikalnu komunikaciju predviđeno je stepenište, koje se proteže od podruma pa do poslednje etaže. Kao krovno rješenje predviđen je ravan-neprohodan krov. Slika 1. prikazuje 3D izgled objekta, u render obliku, uvezen iz programa Tower 8.0 u kojem je konstrukcija proračunata i dimenzionisana.

**NAPOMENA:**

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

**2.1. Konstruktivni sistem**

Projektnim zadatkom predviđen je konstruktivni sistem kao armirano betonska zgrada, što znači da su noseći elementi ramovi (grede i stubovi) i međuspratne krstasto-armirane tavanice. Konstrukcija je dodatno ukrućena seizmičkim platnima, koja se nalaze u dva međusobno upravna pravca, debljine su 25cm, a širine saglasno arhitektonskom rješenju. Temelj je urađen kao temeljna ploča debljine 35cm, ojačan temeljnim gredama dimenzija poprečnog presjeka 50/100cm. Stubovi su različitih poprečnih presjeka, saglasno arhitektonskom rješenju. Dimenzije poprečnog presjeka greda su visine 55 cm a debljina prati debljinu stubova zbog lakšeg izvođenja, a debljina međuspratnih tavanica je 15cm. Armirano betonski dijelovi konstrukcije su izvedeni u klasi betona C30/37, a korišten je čelik za armiranje B500B.

**2.2. Analiza opterećenja**

Sopstvena težina konstruktivnih elemenata (grede, stubovi, zidovi, ploče) automatski je generisana prema zadatim geometrijskim i materijalnim karakteristikama. Sopstvena težina nekonstruktivnih elemenata koji imaju karakter stalnog opterećenja (podne obloge i podloge, krov, pregradni zidovi, instalacije, opterećenje od tla) imaju karakteristične vrijednosti usvojene u skladu sa EN 1991-1-1:2002 [2]. Korisna opterećenja, u zavisnosti od namjene objekta i njegovih dijelova, usvojena su prema EN 1991-1-1:2002 [2]. U ovom slučaju razmatrane su sledeće grupe prostorija: stambeni prostori, balkoni, stepeništa, hodnici, ostave, krovni prostor. Opterećenje snijegom je razmatrano za datu lokaciju (Banja Luka), čija je nadmorska visina oko 163mm. Opterećenje je usvojeno u skladu sa EN 1991-1-3:2003 [3], u iznosu od 1,0 kN/m<sup>2</sup>. Seizmičko opterećenje je generisano primjenom softvera Tower 8.0. a u skladu sa EN 1998-1-2004 [5]. Za izračunavanje seizmičkih sila primjenjena je multimodalna spektralna analiza. Ova vrsta analize se primjenjuje za sve vrste konstrukcija u zgradarstvu kod kojih postoji uticaj viših oblika oscilacija na odziv konstrukcije. Modalna analiza se ubraja u dinamičke metode, a proračun sistema se zasniva na:

- a) Određivanju dinamičkih karakteristika sistema,
- b) Određivanju seizmičkih sila,
- c) Određivanju uticaja u konstrukciji usljed seizmičkih sila.

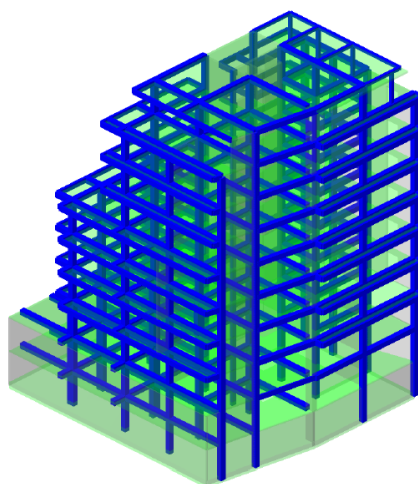
Dinamičke karakteristike konstrukcije (svojtvene vrijednosti i oblici oscilovanja), određuju se modalnom analizom. Modalnom analizom se sistem simultanih diferencijalnih jednačina, koje opisuju dinamičko ponašanje sistema sa više stepeni slobode, transformiše u sistem

međusobno nezavisnih diferencijalnih jednačina. Svaka od dobijene jednačine se rješava posebno, a superponiranjem tih rješenja dolazi se do dinamičkog odgovora konstrukcije. Primjena metode je zbog potrebe za superponiranjem ograničena na linearne sisteme.

### 2.3. Statički i dinamički proračun

Statički i dinamički proračun je izvršen primjenom softverskog paketa Tower 8.0, primjenom teorije prvog reda. Tlo je modelirano pomoću elastičnih međusobno nezavisnih opruga, koje omogućavaju rad konstrukcije koja odgovara približno realnim uslovima. Prilikom modalne analize usvojene su pretpostavke da je međuspratna tavanica kruta u svojoj ravni i da su mase koncentrisane u nivoima tavanica. Kao rezultat dinamičke analize modela dobijeni su periodi oscilovanja, koji su dalje u proračunu korišteni za dobijanje uticaja od seizmičkih kombinacija opterećenja. Za definisanje

koeficijenta učešća masa za modalnu analizu, korištene su odredbe EN 1991:2002. Za određivanje uticaja u nosećoj konstrukciji od dejstva seizmičkih sila, primjenjena je multimodalna spektralna analiza u saglasnosti sa odredbama EN 1998-1:2004, a proračun je sproveden primjenom softverskog paketa Tower 8.0. Prema seizmiološkoj karti za predmetnu lokaciju objekta, usvojeno je projektno ubrzanje tla u iznosu  $a_g=0,20g$ , a projektni elastični spektar je konstruisan za kategoriju tla tipa C i II kategoriju objekta. Za potrebe dimenzionisanja definisana su dva pravca djelovanja seizmičkih sila, u X i Y pravcu. Za seizmički proračun bitna su prva tri tona oscilovanja. U prva dva tona javlja se dominantna translacija konstrukcije oko X i Y ose, dok se u tećem tonu javlja torziranje zgrade oko osnove (što proračunski nije dozvoljeno).



Slika 1. Render prikaz objekta

### 2.4. Proračunske kontrole

Sprovedene su proračunske kontrole u cilju potvrde kvaliteta odabranog koncepta konstrukcije. Prema pravilniku EN 1998-1:2004 [5], neophodno je kontrolisati normalizovane aksijalne sile u primarnim seizmičkim elementima, odnosno stubovima, zidnim platnima i gredama. Normalizovana aksijalna sila se dobija iz seizmičke proračunske kombinacije prema graničnom stanju nosivosti, što znači da se koriste koeficijenti sigurnosti za opterećenja i materijale. Maksimalne vrijednosti normalnih sila se javljaju u nivou prizemlja, pa su i njihove vrijednosti date u tom presjeku za anvelopu graničnih seizmičkih kombinacija. Aksijalna sila za zidove je dobijena sabiranjem aksijalne sile u stubovima i aksijalne sile u zidnom platnu za anvelopu graničnih seizmičkih kombinacija. Kontrolom napona u tlu se došlo do podatka da je usvojeno adekvatno temeljenje objekta. Kontrola je urađena za anvelopu uticaja eksploatacionih neseizmičkih kombinacija opterećenja i eksploatacionih seizmičkih kombinacija opterećenja. Došlo se do zaključka da su naponi u tlu ispod dopuštenih, a da su diferencijalna slijeganja minimalna.

### 2.5. Dimenzionisanje elemenata

Primjenom softverskog paketa izvršeno je dimenzionisanje prema kompletnoj šemi opterećenja, a mjerodavne kombinacije opterećenja su automatski

odabrane. Dimenzionisanje i armiranje elemenata je izvedeno prema EN 1992-1-1:2004 [4]. Zaštitni slojevi su definisani prema klasama izloženosti. Dimenzionisani su svi AB elementi: ploče, stubovi, grede i seizmička platna. Poštujući sve odredbe i preporuke Evrokoda, izrađeni su planovi armature za temeljnu ploču, ploču tipskog sprata, i dva karakteristična rama. Temeljna ploča je dimenzionisana kao "debela" ploča, uticaji transverzalnih sila na proračun ne mogu biti zanemareni. Ploče tipskih spratova su dimenzionisane kao "tanke" ploče, gdje je uticaj transverzalnih sila na proračun zanemaren.

## 3. UPOREDNA ANALIZA

### 3.1 Usporedna analiza stubova

U okviru istraživačkog dijela master rada, zadatak je da se izvrši usporedna analiza domaćih i evropskih standarda za stubove. Poređenje je sprovedeno teoretski. Usporednom analizom trebalo je da se dođe do zaključka koje su to razlike između domaćih (PBAB) i evropskih (Evrokod) propisa.

Prema Pravilniku za beton i armirani beton, stubom podrazumijevamo linijski element koji je pretežno izložen naponu pritiska usljed djelovanja dominantnih aksijalnih sila od spoljnih dejstava. Stub se u betonskim konstrukcijama pojavljuje kao samostalan ili kao dio

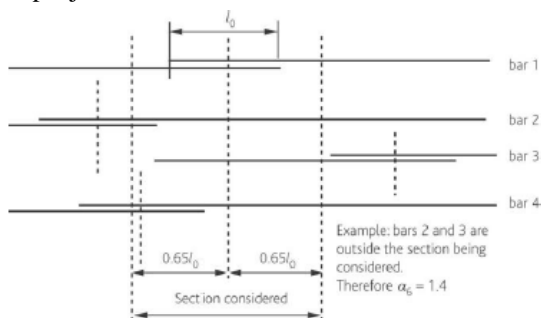
složenih elemenata, najčešće skeletnih sistema. Kod stubova se uvijek pojavljuju momenti savijanja i transversalne sile koje imaju sekundarni karakter. Vertikalni element konstrukcije tretiramo kao stub kada je presjek elementa pravougaonog oblika, sa odnosom strana  $b/d < 5$ .

Evrokod se primjenjuje u projektovanju konstrukcijskih elemenata u seizmičkim područjima, pri čemu se nastoji obezbjeđenju sledećeg:

- Zaštiti ljudskih života,
- Ograničenju oštećenja,
- Ne narušavanju upotrebljivosti objekta za zaštitu ljudi.

Treba naglasiti da je apsolutno ispunjenje postavljenih ciljeva nemoguće, kako zbog nepredvidljive prirode zemljotresa, tako i zbog veličine oslobođene zemljotresne energije. Projekat betonske zgrade otporne na zemljotres treba da obezbijedi odgovarajući kapacitet za disipaciju energije, bez značajnog umanjenja ukupne nosivosti konstrukcije na horizontalna i vertikalna opterećenja. Globalno duktilno ponašanje konstrukcije je obezbijeđeno ukoliko je zahtijevana duktilnost raspodijeljena na veliki broj elemenata i u više zone jednog elementa. Građevinske konstrukcije moraju biti projektovane i građene da izdrže seizmičko dejstvo bez globalnog ili lokalnog rušenja, a pri prestanku seizmičkog dejstva moraju izdržati integritet i dovoljan kapacitet nosivosti. Međutim, usljed velike dužine referentnog povratnog perioda seizmičkog opterećenja, u normalnim uslovima se može dozvoliti pojava oštećenja, čak i djelimična razaranja nekonstrukcijskih elemenata.

U zavisnosti od stepena oštećenja konstrukcije, razlikuju se tri klase duktilnosti. Da bi se obezbijedila zahtijevana duktilnost konstrukcije, potrebno je da je u svim kritičnim oblastima uključujući i krajeve stuba, obezbijeđena dovoljna duktilnost krivine. Za svaku klasu duktilnosti za stubove je definisana minimalna vrijednost konvencionalnog koeficijenta duktilnosti, kako bi se ispunili zahtjevi plastične rotacije, saglasno usvojenim vrijednostima faktora ponašanja. Pri sidrenju armature u okviru čvora greda-stub, ne uzima se u obzir tečenje čelika usljed cikličnih postelastičnih deformacija, te se dužina sidrenja mjeri od ivice grede. Nastavljanje zavarivanjem nije dozvoljeno u kritičnim oblastima konstrukcijskih elemenata. Nastavljanje armature se vrši preklapanjem. Potrebna poprečna armatura elemenata na dužini nastavljanja se računa stavovima Evrokoda 2. Pri proračunu poprečne armature za dispoziciju nastavaka preklapanjem, mora se koristiti zbir površina svih šipki koje se nastavljaju, kao i površina veće podužne šipke koja se nastavlja preklapanjem.



Slika 2. Procenat šipki nastavljenih u istom presjeku [4]

### 3.2 Usporedna analiza zidova

Seizmička platna imaju ulogu ukrućenja skeletne konstrukcije, s obzirom na mnogo veće savojne krutosti u odnosu na stubove primaju najveći deo horizontalnih sila. Upotrebom seizmičkih platana postiže se sledeće: smanjuje se velika fleksibilnost skeleta što u velikoj mjeri smanjuje oštećenja na nenosivim elementima, prije svega na pregradnim zidovima.

- smanjuju se efekti drugog reda
- smanjuje se ukupan utrošak betona i armature
- dimenzije skeleta ostaju i kod visokih zgrada zadovoljavajuće male tako da ne ometaju funkciju same zgrade

Prema nacionalnim propisima, kod seizmičkih platana se zahtjeva da intezitet aksijalne sile (maksimalna eksploataciona vrijednost usljed gravitacionih opterećenja) bude manja od one koja prosječni normalni napon čini jednakim 20% čvrstoće betonske prizme. Razlog ovome je sprečavanje preopterećenja betona prilikom jakih zemljotresnih dejstava:

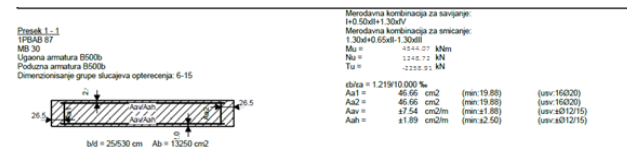
$$\sigma_0 \leq 0.2 * \beta_B = 0.20 * 0.7 * f_{bk}$$

Prema EN standardima, aksijalno opterećenje se ograničava sledećim vrijednostima relativne aksijalne sile u zavisnosti od izabrane klase duktilnosti :

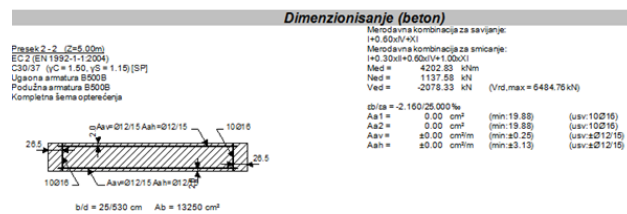
$$V_d = N_{Ed} / (b_w * l_w * f_{cd}) \leq 0.40 \text{ za DCM}$$

$$V_d = N_{Ed} / (b_w * l_w * f_{cd}) \leq 0.35 \text{ za DCH}$$

Pri formiranju kombinacije dejstava, kako prema domaćim ta i prema EN standardima razmatra se parcijalni koeficijent sigurnosti kao i faktor kombinacije pojedinih slučajeva dejstava, te u zavisnosti od proračuna usvaja se preporučena kombinacija opterećenja. Domaćom regulativom dati su veći parcijalni koeficijenti sigurnosti za dejstva, dok za materijale se ne primjenjuju za razliku od EN koji propisuju primjenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti i za materijale čime se redukuju njegove mehaničke osobine. Na sledećim slikama prikazani su proračuni poprečnog presjeka seizmičkog zida u Tower-u 8 prema domaćim standardima i prema Evrokodu.

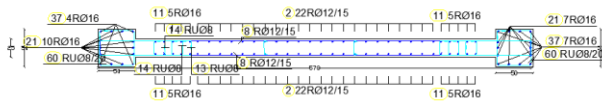


Slika 3. Usvojena armatura seizmičkog platna prema domaćim propisima



Slika 4. Usvojena armatura seizmičkog platna prema Evrokodu

Prilikom dimenzionisanja ustanovljeno je da je potrebna ista količina armature bez obzira na prikazane razlike. Na slici 6. prikazan je armirani poprečni presjek seizmičkog platna

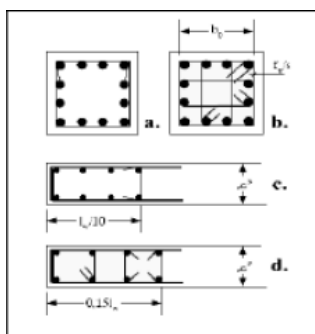


Slika 5. Poprečni presjek seizmičkog zida

#### 4. ZAKLJUČAK

Pri obezbjeđenju određene klase duktilnosti, konstrukciju treba pripremiti za očekivana pomjeranja. Tako Evrokod postavlja određene zahtjeve koji se odnose na armiranje presjeka, minimalne i maksimalne procente armiranja, utezanje presjeka uzengijama, nastavljavanje armature. Za svaku klasu duktilnosti, za stubove je definisana zahtjevana minimalna vrijednost konvencionalnog faktora duktilnosti krivine. Umjesto dokaza ovog faktora, Evrokod dozvoljava da se prethodni zahtjev smatra zadovoljenim ukoliko se obezbijedi odgovarajuća vrijednost mehaničkog zapreminskog procenta armiranja. Zavisno od usvojene klase duktilnosti, projektovano seizmičko opterećenje prema Evrokodu je dva do četiri puta veće nego prema domaćim standardima. Niži nivo projektovanog opterećenja prema domaćim standardima, podrazumijeva visoku duktilnost konstrukcije.

Količina potrebne armature za stub, prema Evrokodu, je veća nego minimalna količina armature po našim propisima. Veća količina potrebne vertikalne armature u stubovima javlja se kao posljedica većih seizmičkih uticaja. Smatra se da horizontalne komponente seizmičkog opterećenja djeluju istovremeno, tako da se ukupni uticaji dobijaju kao kombinacija maksimalnog dejstva u jednom pravcu sa 30% istovremenog dejstva iz upravnog pravca. Kombinovanje uticaja iz dva međusobno upravna pravca daje veće uticaje mjerodavne za dimenzionisanje presjeka stuba. Na slici 6. presjek stuba i kraja zida je prema Evrokodu neutegnut, neduktilan, jer su uzengije usidrene u zaštitnom sloju betona koji ima tendenciju otpadanja. Prema domaćim propisima, ovaj presjek zadovoljava sve kriterijume.



Slika 6. Utezanje kraja stuba i zida

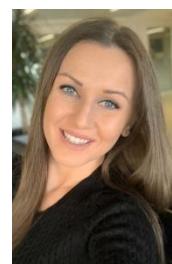
Pored navedenih kombinovanja uticaja iz dva upravna pravca djelovanja zemljotresa, do dodatnog povećanja uticaja u stubovima dolazi usljed određivanja mjerodavnih uticaja po metodi programiranog ponašanja. Prema ovoj metodi mjerodavni momenti savijanja stuba određuju se iz uslova ravnoteže čvora greda-stub, koji je izložen najnepovoljnijoj kombinaciji momenata nosivosti poprečnih presjeka na krajevima stuba. Momenti u stubu određeni prema metodi programiranog ponašanja su nešto

veći u odnosu na momente uticaja iz dva međusobno upravna pravca. Evrokod dozvoljava nešto veće vrijednosti normalnih napona u seizmičkim platnima, u zavisnosti od odabrane klase duktilnosti. Takođe kontrola graničnog stanja upotrebljivosti se razlikuje. Prema domaćim propisima posmatra se samo pomjeranje vrha objekta dok je prema evrokodu od interesa i relativno spratno pomjeranje. Domaći propisi dozvoljavaju veća pomjeranja od evropskih propisa. Bez obzira na date razlike, na primjeru dimenzionisanja seizmičkog platna u ramu H\_4 prema nacionilanim propisima i prema evrokodu, utvrđeno je da je dobijena ista količina armature.

#### 5. LITERATURA

- [1] Betonske konstrukcije u zgradarstvu prema Evrokodu, Zoran Brujić, Novi Sad, 2021.
- [2] Materijal sa predavanja i vežbi iz predmeta "Seizmička analiza konstrukcija", Đorđe Lađinović, Andrija Rašeta, Igor Džolev, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet Novi Sad, 2021.
- [3] Najdanović Dušan, "EN 1991-1-1:2002", *Dejstva na konstrukcije-zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja na zgrade*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [4] Najdanović Dušan, "EN 1991-1-3:2003", *Dejstva na konstrukcije-dejstva snega*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2006.
- [5] Najdanović Dušan, "EN 1991-1-4:2003", *Dejstva na konstrukcije-dejstva vetra*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2006.
- [6] Perišić Života, Ačić Mirko, Pavkor Aleksandar, "EN 1992-1-1:2006", *Proračun betonskih konstrukcija*.
- [7] Đorđe Lađinović, "EN 1998-1:2004", *Proračun seizmički otpornih konstrukcija, dio 1*". Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [8] EN 1990: Eurocode - Basis of Structural Design, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2002.
- [9] EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2004.
- [10] EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical Design, Part 1: General Rules, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2004.
- [11] EN 1998-1: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard

#### Kratka biografija:



**Nada Pekeljević** rođena je u Doboju 1996. godine. Osnovne akademske studije završila je 2020. godine, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad iz oblasti Seizmička analiza konstrukcija odbranila je 2022. godine, pod mentorstvom dr Đorđa Lađinovića, red.prof.  
Kontakt: [nada.pekeljevic@gmail.com](mailto:nada.pekeljevic@gmail.com)