

**PROJEKAT ARMIRANOBETONSKE VIŠESPRATNE ZGRADE U UGLJEVIKU
PREMA EVROKOPSKIM STANDARDIMA****THE PROJECT OF MULTI-STOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING IN
UGLJEVIK ACCORDING TO EUROPEAN STANDARDS**Slobodan Marković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U prvom dijelu rada prikazan je projekat armiranobetonske višespratne zgrade Po+Pr+4 a u drugom dijelu su uporedno analizirani propisi prema PBAB-u i Evrokodu.

Ključne reči: Armiranobetonska zgrada, Evropski standardi, Uporedna analiza propisa

Abstract – The first part of the work consist the project of multi-storey reinforced concrete building, basement + ground floor + 4 stories, and the second part consist comparative analysis between European standards and PBAB.

Keywords: Reinforced concrete building, European standards, Comparative analysis

1. UVOD

Projektnim zadatkom predviđeno je projektovanje armiranobetonske višespratne zgrade Po+Pr+4, skeletnog tipa sa platnima za ukrućenje, prema evropskim standardima na osnovu zadatog arhitektonskog plana. Lokacija objekta je Ugljevik.

2. OPIS PROJEKTA**2.1. Projektni zadatak i arhitektonsko rešenje**

Projektnim zadatkom predviđeno je projektovanje stambeno poslovne zgrade u Ugljeviku, spratnosti podrum + prizemlje + 4 sprata (Po+Pr+4). U podrumu se nalaze ostave za svaki od stanova. U prizemlju se nalazi 6 poslovnih prostora. Na svakom spratu je po 8 stanova, ukupno 32 stana, a spratovi su tipski (sl. 1).

Krov je ravan, neprohodan, a na krovu je ostvaren pad od 2 % za odvod vode.

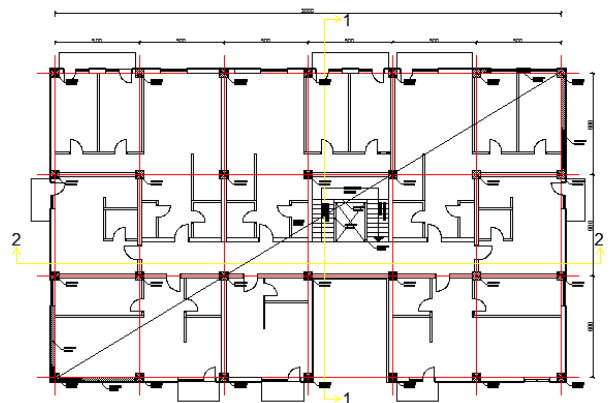
Vertikalna komunikacija se ostvaruje pomoću lifta, te dvokrakog stepeništa. Predviđena je debljina temeljne ploče od 30 cm, a ploče ostalih spratova 16 cm. Stubovi na prve tri etaže su 50/50 cm, na sljedeće dvije etaže 45/45 cm, a na posljednjoj etaži 40/40 cm. Temeljna ploča je ojačana gredama dimenzija 50/80 cm. Ostale grede na objektu su 35/60 cm i 25/30 cm.

NAPOMENA:

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

2.2. Konstruktivni sistem zgrade

Konstruktivni sistem zgrade je ukrućeni armiranobetonski (AB) skelet, sa pločama oslonjenim na grede dva upravna pravca, koje preuzimaju opterećenje od ploče i prenose ga na stubove i temeljnu ploču, koja opterećenje prenosi na tlo.



Slika 1. Osnova prizemlja

Objekat je ukrućen sa po dva zidna platna u dva ortogonalna pravca (sl. 1), čija je uloga da prime horizontalne sile od dejstva vetra i seizmičkog dejstva i prenesu ih do temelja, da smanje horizontalna pomjeranja, povećaju cjelokupnu krutost objekta i smanje periode oscilovanja.

Temeljna konstrukcija je prvobitno predviđena kao temeljna ploča, ali je statičkim proračunom utvrđeno da postoji problem sa probijanjem temeljne ploče, pa je usvojeno rešenje u vidu temeljne ploče koja je ojačana kontra gredama u dva upravna pravca. Vertikalna komunikacija je predviđena dvokrakim stepeništem i liftom.

Stubovi zajedno sa gredama čine višebrodne ramove, koji se pružaju u dva ortogonalna pravca. U x-pravcu postoji sedam ramova, a u y-pravcu četiri rama na rastojanjima od 6, odnosno 5 m.

U osnovi objekat je pravougaonog oblika, sa jednim uvučenim poljem. Dužina objekta je 30, a širina 18 m. Visina objekta je 15,50 m.

2.3. Analiza opterećenja

Konstrukcije armiranobetonskih višespratnih zgrada je neophodno projektovati tako da, od svih relevantnih opterećenja i njihovih kombinacija, mogu da prihvate i preko temelja prenesu uticaje na tlo. Za zadataku armiranobetonsku konstrukciju stambene zgrade definisane su sljedeće vrste opterećenja:

- stalno opterećenje;
- korisno opterećenje;
- opterećenje od snijega;
- opterećenje od vjetrova;
- seizmičko opterećenje.

Stalna opterećenja su ona koja potiču od sopstvene težine konstruktivnih elemenata i nekonstruktivnih dijelova zgrade. Korisno opterećenje definisano je standardom Evrokod 1 EN 1991-1-1:2002 [1], na osnovu kategorije upotrebe prostorija u stambenim zgradama.

Opterećenje snijegom u proračun je uzeto prema evropskim standardima EN 1991-1-3:2003 [2] 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 1991-1-4:2005 [3] i nanešeno je na konstrukciju kao površinsko opterećenje, nakon čega je konvertovano u linijsko opterećenje.

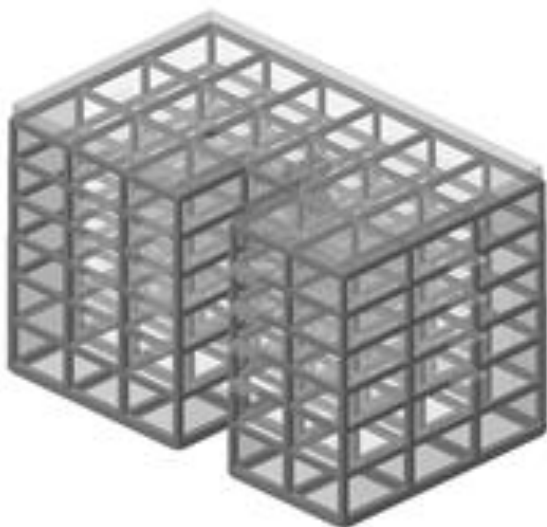
Za analizu uticaja od seizmičkog dejstva izabrana je metoda ekvivalentnih bočnih sila koja nije implementirana u softverskom paketu Tower [referenca] poput multimodalne analize. Seizmičko opterećenje je proračunato za svaku etažu i zatim unijeto u program kao i druga opterećenja statičkog karaktera. Osnovni parametri za određivanje uticaja od seizmičkog dejstva su:

- objekat se nalazi na tlu kategorije B;
- odnos a_g/g jednak je 0,20;
- koeficijent prigušenja jednak je 0,05.

2.4. Modeliranje konstrukcije

Konstrukcija je modelirana u programskom softveru Tower 6, koji je baziran na metodi konačnih elemenata.

Svi uticaji u konstrukciji određeni su na osnovu prostornom (3D) proračunskog modela (sl. 2) koji dovoljno realno predstavlja stvarnu konstrukciju i njeno ponašanje pod dejstvom opterećenja. Ovim paketom omogućeno je prostorno modeliranje konstrukcije primenom površinskih i linijskih konačnih elemenata.



Slika 2. 3D proračunski model konstrukcije

Međuspratne tavanice, temeljna i krovna ploča, kao i armiranobetonska zidna platna su modelirana površinskim konačnim elementima, dok su grede i stubovi modelirani kao linijski elementi. Svi elementi su modelirani tako da njihove geometrijske i mehaničke karakteristike odgovaraju zadatim projektom. Mehaničke karakteristike, kao što su računski čvrstoća betona na pritisak, modul elastičnosti, Poasonov koeficijent i koeficijent temperaturnog širenja određeni su klasom betona. Geometrijske karakteristike su pridružene elementima usvajajući bruto betonske preseke, zanemarujući doprinos armature.

Međuspratne tavanice (ploče) su noseći elementi koji su dominantno opterećeni na savijanje od opterećenja koje deluje normalno na srednju ravan ploče. Usled deformisanja ploče pod dejstvom opterećenja, u njoj se javljaju presečne sile: momenti savijanja (M), momenti torzije (M_t), i transverzalne sile (T). Realno, u ploči se javljaju i aksijalne sile usled opterećenja u srednjoj ravni ploče, ali je prilikom proračuna smatrano da će veći deo tog opterećenja da preuzmu zidovi.

Sve ploče su tretirane kao tanke, jer im je odnos debljine i kraćeg raspona manji od 0,20. Minimalna debljina ploča prema propisima iznosi 7 cm za ploče opterećene jednako podeljenim opterećenjem, odnosno 10 cm ako je reč o pločama po kojima se kreću putnička vozila.

Ploče se tretiraju kao slobodno oslonjene na gredne nosače, međutim u realnosti je ta veza ipak elastično ukleštenje (veličina ukleštenja zavisi od krutosti same grede). Ovakvim proračunom ostaje se na strani sigurnosti, jer se dobijaju veći momenti u polju. Ipak, povijanjem pojedinih šipki armature u gornjem polju, iznad oslonaca, prihvataju se eventualni negativni momenti koji se tu mogu javiti. Ploče su dimenzionisane prema momentima savijanja u dva ortogonalna pravca, dok je uticaj momenata torzije zanemaren.

Zidni nosači (AB platna za bočno ukrućenje zgrade) su u statičkom smislu površinski nosači dominantno opterećeni u svojoj ravni, što izaziva normalne i smičuće napone. Zbog svoje mnogo veće savojne krutosti u odnosu na stubove, AB zidovi prihvataju najveći dio horizontalnog opterećenja. Njihova uloga je da prime seizmičke sile, ali i eventualne momente torzije koji se mogu pojaviti - usljed pojave prslina svakako dolazi do promjene krutosti elemenata, pa je i poklapanje centra mase i centra krutosti praktično nemoguće, što neminovno dovodi do pojave torziranja zgrade u osnovi. Aksijalno opterećenje povoljno utiče na rad ovih zidova. Modelirani su kao površinski elementi debljine $I = 25$ cm.

Stepenišni kraci su modelirani kao kosi površinski elementi u sklopu celokupnog proračunskog modela zgrade.

Stubovi pretežno primaju i prenose gravitaciono opterećenje do temelja. Dominantno su opterećeni na pritisak, ali zbog činjenice da u ramovskom sistemu stubovi rade zajedno sa gredama, isti će biti opterećeni i momentom savijanja, i to u dva pravca, čime postaju dvoosno savijani. Razmatrana zgrada u konstruktivnom smislu predstavlja ukrućeni skeletni sistem.

U tom slučaju veliki dio horizontalnog opterećenja primaju zidovi za ukrućenje, zbog neuporedivo veće krutosti, ali se ne smije zanemariti doprinos ramova pri prijemu ovog opterećenja. Međutim, stubovima, kao elementima dominantno opterećenim na pritisak, nije redukovana torziona krutost pri modeliranju. Zbog alternativnog dejstva horizontalnih sila, usvojeno je simetrično armiranje stubova.

Prilikom zadavanja geometrijskih karakteristika poprečnih presjeka, gredama je smanjena torziona krutost 10 puta, zbog primjene linearne teorije elastičnosti i neminovne preraspodjele uticaja, kao posljedice realnih karakteristika ponašanja materijala i elemenata. Pri graničnom stanju nosivosti, već nakon pojave prvih prslina, krutost greda se značajno redukuje.

Uticaj tla na konstrukciju je modeliran kao Vinklerova podloga. Vinklerov model je jednoparametarski model tla kojim se tlo tretira kao elastična podloga, a zasniva se na proporcionalnosti između pritiska i slijeganja. Ovim modelom tlo je zamjenjeno serijom elastičnih, međusobno nezavisnih opruga. Krutost opruge predstavlja proizvod koeficijenta podloge i pripadajuće površine opruge.

Osnovni nedostaci ovog modela su to što pritisak u nekoj tački nije funkcija sleganja samo te tačke, a tlo se ne sleže samo ispod temelja, nego i izvan njega. Takođe, u kontaktnoj površini nije moguće prenijeti napone zatezanja, što ovaj model omogućava.

Koeficijent podloge je uzet kao konstanta tla, međutim on realno zavisi i od oblika i veličine kontaktne površine bloka kojim se određuje. Ipak, primjenom Vinklerovog modela omogućeno je obuhvatanje interakcije temelj-tlo. Primjena višeparametarskih modela je mnogo komplikovanija, a takođe predstavlja samo grubu aproksimaciju realnog ponašanja tla, tako da Vinklerov model predstavlja optimalno rešenje po pitanju tačnosti rezultata proračuna i jednostavnosti primene modela.

2.5. Dimenzionisanje i armiranje nosećih elemenata konstrukcije

U softverskom paketu Tower 6 izvršeno je dimenzionisanje odabranih ploča: temeljne ploče, ploče prizemlja i ploče tipskog sprata. Ploče prenose opterećenje u dva pravca, te su s toga armirane proračunskom armaturom u dva pravca i vođeno je računa o pravilima za armiranje.

Projektom zadatkom predviđeno je da se dimenzioniše po jedan ram u oba pravca, i to ram u osi D i ram u osi 2. Dimenzionisanje i armiranje je izvršeno saglasno evropskom pravilniku, prema uticajima mjerodavnih graničnih kombinacija. Za sve elemente konstrukcije predviđena je klasa betona C30/37, dok su svi elementi armirani rebrastom armaturom B500.

2.6. 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.

3. UPOREDNA ANALIZA DOMAĆIH I EVROPSKIH PROPISA ZA PRORAČUN ARMIRANO-BETONSKIH KONSTRUKCIJA

3.1. Svojstva materijala

Prema PBAB 87 [referenca], korišten je čelik za armiranje sa manjom granicom razvlačenja, dok je od 2009. godine i kod nas u upotrebi uvedena armatura sa granicom razvlačenja od 500 MPa, kao i prema evropskim propisima, tj. B500A, B500B, B500C.

Statistički reprezentivi čvrstoće betone pri pritisku se razlikuju. To je prema Evrokodu klasa betona, dok je prema našim propisima marka betona.

3.2. Dejstva i parcijalni koeficijenti sigurnosti

Klasifikacija dejstava je skoro ista prema domaćim i prema evropskim propisima. Evropski propisi nalažu upotrebu manjih koeficijenata sigurnosti, što rezultira manjim statičkim uticajima i realnijim rezultatima, jer su evropski propisi bazirani na teoriji graničnih stanja, tj. zasnivaju se na prihvatljivoj vjerovatnoći da projektovana konstrukcija neće biti nepodobna za primjenu u određenom vremenskom periodu-vijeku eksploatacije konstrukcije.

3.3. Proračun noseće konstrukcije

3.3.1. Analiza opterećenja

Oba propisa predviđaju za proračun pet istih grupa opterećenja: stalno, korisno, snijeg, vjetar i seizmiku.

Kod stalnog opterećenja ne postoji razlika, ono obuhvata sve konstruktivne i nekonstruktivne elemente.

Korisno je prema Evrokodu podijeljeno na više podvrsta, dok je prema domaćim propisima svrstano u jedno. Prema oba propisa se iskazuje tablično i zavisi od namjene prostorije. Opterećenje od snijega se zadaje u većem intenzitetu prema Evrokodu, iako se preporučuje da se i kod nas uzima $1,0 \text{ kN/m}^2$.

Proračun za seizmiku i vjetar se razlikuje, iako vjetar za konkretni objekat nije mjerodavan za dimenzionisanje. Prema domaćim propisima se predviđa korišćenje statički ekvivalentne metode, koja uzima u obzir samo prvi ton oscilovanja, dok Evrokod predviđa upotrebu multimodalne spektralne analize, koja uzima u obzir više tonova oscilovanja.

Evropski propisi su pogodniji kada se projektuju objekti veće spratnosti. Prije seizmičkog proračuna neophodno je odraditi modalnu analizu da bi se odredile svojstvene vrijednosti konstrukcije. Zbog što boljeg prihvatanja seizmičkih sila neophodno je predvidjeti i dobro rasporediti seizmička platna kako bi se što bolje i efikasnije primile i do temelja sprovele seizmičke sile.

Za dinamički proračun se mase grupišu u nivoima tavanica. Razlikuju se faktori učešća masa prema domaćim i evropskim propisima.

3.3.2. Modeliranje konstrukcije

Modeliranje noseće konstrukcije u inženjerskoj praksi se sprovodi u nekom od softvera, a preporučljivo je prostorno modeliranje zbog što realnijeg matematičkog predstavljanja konstrukcije. Sprovodi se prema linearnoj teoriji, jer je prema nelinearnoj teoriji to znatno komplikovanije, te takav proračun nije neophodan.

Evrokod, za razliku od domaćih propisa, zahtijeva da se smanji savojna i torziona krutost greda, kao i savojna krutost stubova i seizmičkih zidova, kako bi se uzela u obzir isprskalost poprečnih presjeka usljed apliciranih opterećenja. Domaći propisi predviđaju smanjenje torziona krutosti greda.

3.3.3. Proračunske kontrole

I jedan i drugi pravilnik zahtijevaju proračunske kontrole prije dimenzionisanja i armiranja. Kontrole, koje je neophodno sprovesti su iste za oba pravilnika. Kontrolišu se naponi u stubovima, seizmičkim platnima i u tlu, te pomjeranje po spratovima, a dobijene vrijednosti se porede sa dopuštenima.

Načini na koji se kontrole sprovode se razlikuju. Provjera napona u stubovima se vrši tako što se usljed eksploatacionih gravitacionih opterećenja računa napon, koji se upoređuje sa dopuštenim, dok se prema evropskim propisima računa vrijednost aksijalne sile za seizmičku proračunsku situaciju, i ona se upoređuje sa dopuštenom. Takvo poređenje se vrši i za seizmičke zidove za ukrućenje zgrade.

Naponi u tlu se kontrolišu tako što se porede dobijeni naponi sa dozvoljenim. Oni se dobijaju korišćenjem eksploatacionih opterećenja.

Spratna pomjeranja se kontrolišu za eksploatacionu seizmičku kombinaciju opterećenja. Provjerava se pomjeranje u visini tavanica, a u krajnjem izrazu se dobija ukupno pomjeranje konstrukcije, koje mora biti manje od dopuštenog.

3.3.4. Dimenzionisanje i armiranje

Određivanje debljine zaštitnog sloja se razlikuje. Prema domaćim propisima ona zavisi od vrste elementa i stepena agresivnosti sredine, dok prema Evrokodu to zavisi od prečnika usvojene armature i agresivnosti sredine.

Kada je riječ o usvajanju poprečnog presjeka elemenata, propisi na to gledaju slično. U oba propisa minimalna debljina ploče je 7 cm, iako se to najčešće uzima kao 10 cm. Dimenzije stubova se usvajaju u zavisnosti od napona. Visina greda zavisi od raspona koji premošćuje, a širina od napona zatezanja koji greda treba da primi.

Postupak proračuna armature se razlikuje u ova dva propisa, dok je njeno raspoređivanje i rastojanje među šipkama veoma slično. Armatura se usvaja u zavisnosti od mjerodavne kombinacije. Ploče se armiraju mrežama (u najvećem broju slučajeva), dok se linijski elementi armiraju šipkama. Armatura u gredama mora biti raspoređena tako da zadovoljava torziona uticaje. Razmaci šipki u armiranim elementima ne smije biti veći od 30 cm (u vertikalnom), tj. 15 cm (u horizontalnom pravcu). Ne preporučuje se da minimalni razmaci budu manji od 3 cm prema domaćim propisima, tj. manji od 4-5 cm prema Evrokodu (sve zbog bolje ugradljivosti betona). Uzengije se postavljaju kao vertikalne, a rjeđe kao kosa gvožđa, a izvode se preklapljene preko kraće strane ili oko ugaone šipke.

4. ZAKLJUČAK

Poređenjem propisa je ustanovljeno da postoji znatan broj sličnosti, ali isto tako i razlika. Oznake betona i armature se razlikuju, takođe, granica razvlačenja za armaturu po Evrokodu je veća.

Koriste se iste grupe opterećenja za proračun, s tim što po Evrokodu postoji više kategorija korisnog opterećenja. Za vjetar i seizmiku proračun je dosta kompleksniji prema Evrokodu, ali i daju tačnije rezultate.

Vrste proračunskih kontrola koje zahtijevaju oba propisa su iste, samo se razlikuje njihov proračun. Prema evropskim propisima, kontrola pomjeranja je tačnija, jer sprečava upotrebu tzv. mekog sprata.

Prema Evrokodu, postoje 3 klase duktilnosti: niska, srednja i visoka, te je oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost dosta komplikovanije.

Usvajanje dimenzija elemenata je dosta slično, kao i način armiranja, postoje razlike u proračunu armature. Raspored šipki armature, kao i razmak između šipki je sličan prema u oba propisa.

5. LITERATURA

- [1] Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije, Beograd, 2009.
- [2] Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija, Beograd, 2009.
- [3] Evrokod 8: Proračun seizmički otpornih konstrukcija, Beograd 2009.
- [4] Dr. Zoran Brujić: "Materijal sa predavanja iz predmeta Betonske konstrukcije", Novi Sad 2015.
- [5] S. Stefanović: Fundiranje, Naučna knjiga, Beograd 1989.
- [6] PBAB 87, Beograd 1987.

Kratka biografija:



Slobodan Marković, rođen u Bijeljini 1993. godine. Master rad na departmanu za građevinarstvo je odbranio 2019. godine iz oblasti Seizmičke analize konstrukcija.