

**PROJEKAT KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE AB ZGRADE I UPOREDNA ANALIZA PRSLINA PREMA „EN 1992“ I „PBAB '87“****THE PROJECT OF MULTISTORY RC BUILDING WITH COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CRACKS ACCORDING TO „EN 1992“ AND „PBAB '87“**Marko Filipović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratka sadržaj** – Rad se sastoji iz dve celine. Prvi deo se sastoji iz kompletnog projekta konstrukcije u svemu sprovedenog prema „EN 1992“ standardu, a drugi, istraživački deo, sadrži uporednu analizu prslina prema „EN 1992“ i „PBAB '87“.

**Ključne reči:** armiranobetonska konstrukcija, skeletni sistem, statički proračun, prslina

**Abstract** – Thesis consists of two parts. The first one consists of a integral building design project completely performed in accordance with „EN 1992“ standard, and the second one, the research part, contains comparative analysis of the cracks according to „EN 1992“ and „PBAB '87“.

**Keywords:** reinforced concrete structure, frame construction, statical design, crack

**1. UVOD**

Projektnim zadatkom su definisani ulazni podaci potrebni za projektovanje stambeno-poslovnog objekta na teritoriji opštine Novi Sad spratnosti Po+Pr+5. Nadzemni deo objekta čine prizemlje i 5 etaža. U podrumu se nalazi prostor namenjen za parkiranje putničkih automobila, prizemlje je predviđeno za poslovne kancelarije i lokale, dok su ostale etaže stambene.

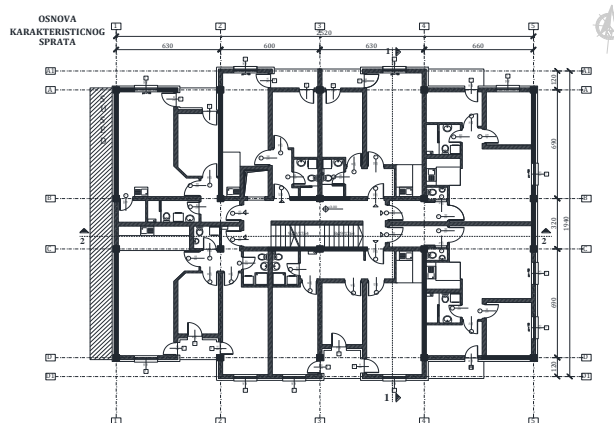
**2. OPIS PROJEKTA****2.1. Konstruktivni sistem objekta**

Konstrukcija objekta je ukrućeni armiranobetonski skelet sa punim međuspratnim armiranobetonskim pločama oslonjenim na grede koje se pružaju u dva međusobno upravna pravca. Za krovnu konstrukciju je predviđen ravan neprohodan krov. Objekat se temelji na punoj armiranobetonskoj ploči na dubini od 2.5 m ispod kote terena. Vertikalna komunikacija u objektu je obezbeđena liftom i jednokrakim stepeništem. Objekat je ukrućen zidovima za ukrućenje koji se nalaze u okviru određenih ramova. Spratna visina podruma je 3.5 m, dok ostale etaže imaju spratnu visinu od 3.0 m.

Objekat je pravougaonog oblika u osnovi, dimenzija 17.0 m sa 25.2 m, što daje ukupnu površinu od 428.4 m<sup>2</sup>, osnova karakteristične etaže je prikazana na slici 1.

**NAPOMENA:**

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



Slika 1. Osnova karakteristične etaže

Svi armiranobetonski konstruktivni elementi se izvode u klasi betona C30/37 i marke armature B500B.

Stubovi na etažama su istih dimenzija i kvadratnog poprečnog preseka ali su promenljivi po visini, pa su tako u podrumu i prizemlju 60/60 cm, na sledeće dve etaže 50/50 cm i na preostalim 40/40 cm. Grede zajedno sa stubovima čine deo ramovske konstrukcije i konstantnih su dimenzija u poprečnom preseku 40/60 cm, osim konzolnih greda u vidu ispusta koje su promenljive visine (od 60 cm do 20 cm) i koje su pozicionirane tako da im je gornja ivica u ravni sa gornjom ravni međuspratne tavanice. Temeljna konstrukcija je formirana od pune armiranobetonske ploče debljine 80 cm, koja je proširena van gabarita objekta za 120 cm kako bi se povećala kontaktna površina i samim tim umanjile vrednosti napona u tlu. Međuspratna konstrukcija je projektovana kao ortotropna puna armiranobetonska ploča debljine 20 cm na svim etažama. Za prijem horizontalnog pritiska od tla su zaduženi zidovi u podrumu debljine 25 cm i pozicionirani su po obodu podrumске etaže, dok su zidovi za ukrućenje iste debljine ali se pružaju celom visinom objekta. Stepenište je formirano kao jednokrako i sastoji se od dve kose ploče i ploče međupodesta. Širina stepenišnog kraka je 140 cm a debljine ploča iznose 18 cm. Dimenzije stepenika na svim etažama su iste 29/17.64 cm.

**2.2. Modeliranje konstrukcije**

Konstrukcija je modelirana kao prostorni model u programskom paketu Tower 7.0 tako što su u modelu definisane mehaničke i geometrijske karakteristike elemenata konstrukcije. Proračun se sprovodi metodom konačnih elemenata koji se zasniva na diskretizaciji, te realnu konstrukciju opisuje elementima konačnih dimenzija.

Statički proračun uticaja se zasniva na linearnoj teoriji elastičnosti (teorija prvog reda). Geometrijske karakteristike elementima se pridružuju zanemarujući doprinos čelika, te se svi armiranobetonski elementi modeliraju usvajanjem bruto betonskog preseka. Kako je težnja, pri modeliranju, postizanje što realnijeg stanja konstrukcije, to su redukovanjem modula elastičnosti za 50%, obuhvaćeni efekti isprskalosti betonskog preseka i efekti tečenja.

Mreža konačnih elemenata kod površinskih elemenata formirana je automatski, uglavnom od četvorougaoih konačnih elemenata, sa veličinom konačnog elementa od 0.3 m. Kod površinskih elemenata (ploča) postoji mogućnost izbora tipa proračuna u zavisnosti da li se uzimaju u obzir uticaji smicanja (klizanja) kod deformacija. Imajući ovo na umu, svi površinski elementi sa debljinom manjom od 25 cm su računati po teoriji tankih ploča, dok je temeljna ploča debljine 80 cm računata po teoriji debelih ploča, gde se ovi uticaji uzimaju u obzir. Minimalna debljina međuspratnih tavanica je određena iz graničnog stanja ugiba preko graničnog odnosa  $l/d$ , prema izrazu (1).

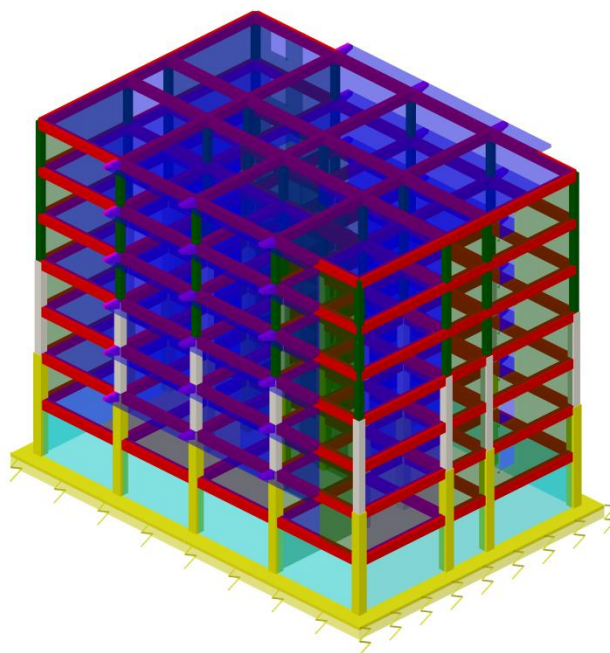
$$\frac{l}{d} = \begin{cases} K * \left[ 11 + 1,5 * \sqrt{f_{ck}} * \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 * \sqrt{f_{ck}} * \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right] \\ \quad \text{za } \rho \leq \rho_0 = \sqrt{f_{ck}} * 10^{-3} \\ K * \left[ 11 + 1,5 * \sqrt{f_{ck}} * \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} * \sqrt{f_{ck}} * \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \\ \quad \text{za } \rho > \rho_0 = \sqrt{f_{ck}} * 10^{-3} \end{cases} \quad (1)$$

Ploče međuspratnih tavanica, kao i temeljna ploča, opterećenje prenose u dva pravca pa su u skladu sa tim modelirane kao izotropne, za razliku od ploča stepeništa koje opterećenje prenose u jednom pravcu gde je, pri modeliranju, potrebno izabrati pravac prenosa opterećenja.

Linijski elementi (stubovi i grede) su modelirani linijskim konačnim elementima. Kako je za granično stanje nosivosti, ono koje se analizira, torziona krutost greda, zbog pojave prsline, 10 puta manja od torziona krutosti homogenog betonskog preseka, grede su modelirane sa 10 puta manjim momentom inercije oko ose 1. Visine greda su pretpostavljene iz graničnog stanja upotrebljivosti konstrukcije, gde se preporučuju vrednosti u intervalu  $L/12 \div L/8$ . Stubovi su pozicionirani na mestima ukrštanja greda, sa visinama u podrumu od 3.5 m, a na ostalim etažama 3.0 m. Dimenzije poprečnih preseka su pretpostavljene analizom pripadajućeg opterećenja koje dati stub prihvata sa odgovarajuće međuspratne tavanice.

Interakcija konstrukcije i tla implementirana je modeliranjem tla Vinklerovim modelom, koji tlo tretira kao elastičnu podlogu i zasniva se na proporcionalnosti između pritiska i sleganja. Sam model podrazumeva predstavljanje tla pomoću elastičnih međusobno nezavisnih opruga određene krutosti, obično krutosti koja odgovara koeficijentu reakcije tla (modul posteljice), u konkretnom slučaju on iznosi  $20000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ , što ga čini jednodimenzionalnim modelom tla. Kako su opruge međusobno nezavisne, pritisak u određenoj tački je posledica sleganja samo te tačke.

Na slici 2 je prikazan 3D model predmetne konstrukcije.



Slika 2. 3D model konstrukcije

### 2.3. Analiza opterećenja

Analizom opterećenja se određuju vrednosti opterećenja merodavne za modeliranje konstrukcije. Razmatrana opterećenja koja deluju na predmetnu konstrukciju su: stalno opterećenje, promenljiva opterećenja (korisno, sneg, vetar), seizmička opterećenja.

Pod stalnim opterećenjem se podrazumeva sopstvena težina konstrukcije, koja je automatski generisana softverom, težina nekonstruktivnih elemenata, gde spadaju težine podova i plafona, kao i pregradnih i fasadnih zidova koje se „ručno“ računaju i nanose na model i pritisak tla.

Korisna opterećenja proizilaze od korišćenja objekta, odnosno namene prostora. Prema Evrokodu 1 [1], na razmatranu konstrukciju deluju 4 različite kategorije korisnog opterećenja, a to su A (stambeni), D (poslovni), F (garažni) i H (krovni). Na konstrukciju se nanose kao površinska sa preporučenim intenzitetima. Opterećenje snegom definisano Evrokodom 1 [2], za krovove nagiba između  $0^\circ$  i  $30^\circ$  sa preporukama intenziteta opterećenja u zavisnosti od lokacije objekta aplicira se kao ravnomerno površinsko opterećenje. Opterećenje vetrom je takođe analizirano prema Evrokodu 1 [3]. Na konstrukciju se nanosi kao površinsko prema definisanim zonama, s tim da horizontalna opterećenja treba konvertovati na linijska, koja deluju po stubovima i gredama.

Seizmička analiza je sprovedena u softveru Tower 7.0 koji nudi opciju seizmičkog proračuna prema Evrokodu 8 [6], primenom multimodalne spektralne analize. Ulazni podaci kojima se raspolaže su sledeći:

- Objekat se nalazi na tlu B kategorije
- Maksimalno referentno ubrzanje tla  $a_{gR} = 0.15 \text{ g}$
- Koeficijent prigušenja 5%

## 2.4. Statički proračun i proračunske kontrole

Statički proračun je sproveden pomoću programa Tower 7.0 prema teoriji prvog reda. Kombinovanjem prethodno definisanih opterećenja na način definisan Evrokodom tj. primenom parcijalnih koeficijenata sigurnosti, formiraju se kombinacije za stalne i prolazne proračunske situacije i seizmičke proračunske situacije opterećenja. Softver automatski generiše ove kombinacije, pri čemu ih u konkretnom slučaju ima 626, i za merodavnu kombinaciju daje uticaje na osnovu kojih se dimenzionišu elementi.

Kontrole koje je neophodno sprovesti prema Evrokod normama su:

- Kontrola napona u tlu
- Kontrola normalnih napona u stubovima
- Kontrola napona u zidovima za ukrućenje
- Kontrola pomeranja i obuhvatanje uticaja drugog reda
- Kontrola međuspratnih pomeranja
- Kontrola probijanja temeljne ploče

Kada je ustanovljeno da konstrukcija ispunjava sve uslove prethodno nabrojanih kontrola prelazi se na dimenzionisanje i usvajanje armature u elementima.

## 2.5. Dimenzionisanje i armiranje elemenata

U softverskom paketu su dimenzionisani elementi konstrukcije, prema Evrokodu 2 [4], shodno graničnim stanjima (GSN i GSU).

Ploče koje se dimenzionišu su: krovna, ploča tipske etaže, ploča prizemlja kao i temeljna ploča. Sve ploče su armirane da prenose opterećenje u dva pravca. Pri samom usvajanju armature potrebno je obratiti pažnju na minimalne i maksimalne procenat armiranja (0.15÷4.0%) i na maksimalne razmace između šipki glavne i podeone armature. Širine prslina u pločama treba zadržati manjim od  $w_{max} = 0.40$  mm.

Projektom zadatkom je predviđeno dimenzionisanje po jednog rama iz svakog pravca. Dimenzionisanje linijskih elemenata, greda i stubova, prema Evrokodu je međusobno zavisno, tako da se mora poštovati redosled dimenzionisanja i usvajanja armature [7]. Kao prvo, dimenzionišu se grede i usvaja se njihova podužna armatura, nakon čega se usvaja podužna armatura u stubovima, i na kraju poprečna armatura ovih elemenata.

Seizmički zidovi su pretežno napregnuti na složeno savijanje u samoj ravni zida, te se dimenzionišu za odgovarajući pravougaoni presek, zanemarujući proširenja na mestima stubova.

## 3. KONTROLA PRSLINA

Pojava prslina je normalna u armiranobetonskim konstrukcijama izloženim savijanju, torziji ili zatezanju, bilo od direktnih opterećenja ili sprečenih ili prinudnih deformacija. Mogu se pojaviti već tokom očvršćavanja betona (plastično sleganje, plastično skupljanje, hidratacija cementa, sprečeno slobodno dilatiranje...), kao i kasnije u eksploataciji (spoljašnja dejstva, nejednaka sleganja, korozija armature...).

### 3.1. Kontrola prslina prema „EN 1992“

Graničnim stanjem prslina se analiziraju one prsline koje su posledica proračunskih dejstava i sprečenog deformisanja, dok se prsline ostalih uzroka sprečavaju (ili se njihovi efekti ublažavaju) konstruktivnim merama, pravilnim detaljisanjem i negom betona...

### Ograničenje širine prslina

Najvažniji razlozi zbog kojih se širine prslina ograničavaju su:

- Zaštita armature od korozije
- Obezbeđenje vodonepropusnosti
- Vizuelna „sigurnost“

Kontrolom graničnog stanja prslina, izraz (2), dokazuje se da proračunska širina prslina,  $w_k$ , nije veća od granične vrednosti,  $w_{max}$ , koja se usvaja u funkciji klase izloženosti i namene konstrukcije.

$$w_k \leq w_{max} \quad (2)$$

### Minimalna količina armature

Određuje se iz uslova ravnoteže sile zatezanja u betonu neposredno pred pojavu prslina i sile zatezanja u armaturi nakon formirane prslina.

$$A_{s,min} * f_{yk} = k_c * k * f_{ctm} * A_{ct} \quad (3)$$

### Kontrola prslina bez direktnog proračuna

Kada je obezbeđena minimalna površina armature, prema izrazu (3), može se očekivati da za maksimalne prečnike, odnosno maksimalna rastojanja granične širine prslina, naponi u zategnutoj armaturi ostanu u granicama prema tabeli 1.

Tabela 1. Maksimalni prečnici i razmaci između šipki

Napon $\sigma_s$ [MPa]	Maks. prečnik / Maks. Razmak [mm / mm]		
	$w_k=0.4$ mm	$w_k=0.3$ mm	$w_k=0.2$ mm
160	40 / 300	32 / 300	25 / 200
200	32 / 300	25 / 250	16 / 150
240	20 / 250	16 / 200	12 / 100
280	16 / 200	12 / 150	8 / 50
320	12 / 150	10 / 100	6 / -
360	10 / 100	8 / 50	5 / -
400	8 / -	6 / -	4 / -
450	6 / -	5 / -	- / -

### Proračun širine prslina

Karakteristična širina prslina  $w_k$ , koja se upoređuje sa graničnim širinama, se određuje kao proizvod maksimalnog razmaka između prslina,  $S_{r,max}$ , i prosečne relativne dilatacije na dužini poremećaja,  $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ . Relativna dilatacija je predstavljena kao razlika srednje vrednosti dilatacije armature i srednje vrednosti dilatacije u betonu između prslina, izraz (4).

$$w_k = S_{r,max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad (4)$$

### 3.2. Kontrola graničnog stanja prslina „PBAB '87“

#### Ograničenje širine prslina

Proračunski se dokazuje da karakteristična širina prslina,  $a_k(t)$ , usled najnepovoljnije kombinacije dejstva u toku eksploatacije, u proizvoljnom trenutku vremena, nije veća od granične vrednosti širine prslina,  $a_u$ , izraz (5):

$$a_k(t) \leq a_u \quad (5)$$

Najveće širine prslina definisane su Pravilnikom za beton i armirani beton [5] u funkciji dugotrajnosti opterećenja i agresivnosti sredine, prema tabeli 2.



Tabela 2. Najveće vrednosti graničnih širina prslina

Agresivnost sredine	Trajanje uticaja	
	stalno i dugotrajno promenljivo	stalno, dugotrajno i kratkotrajno promenljivo
Slaba	0,2	0,4
Srednja	0,1	0,2
Jaka	0,05	0,1

### Širine prslina

Pod karakterističnom širinom prslina se smatra vrednost koja je za 70% veća od srednje širine prslina, prema izrazu (6):

$$a_k(t) = 1.7 * a_s(t) \quad (6)$$

Srednja širina prslina definisana je relativnim izduženjem armature, razmakom između prslina i slobodnom dilatacijom skupljanja betona, izraz (7):

$$a_s(t) = l_{ps} * (-\varepsilon_{a1s,R}(t) + \varepsilon_s(t, t_0)) \quad (7)$$

### Uprošćeni metod kontrole prslina

Ukoliko se potpuno zanemari sadejstvo zategnutog betona, uticaj skupljanja, kao i ako se uvede da najveći napon zatezanja u zategnutoj armaturi, za stanje nakon pojave prslina, nije veći od 1/1.7 granice razvlačenja, konkretan proračun širine prslina može da izostane, izraz (8).

$$\zeta = 1, (-\sigma_{a1}^{II})_{max} \approx \frac{\sigma_v}{1.7} \Rightarrow l_{ps} \leq \frac{E_a}{\sigma_v} * a_u \quad (8)$$

### 3.2. Analiza rezultata

Kao što se sa grafikona na slici 3 može zapaziti, dobijaju se različite vrednosti rastojanja između prslina primenom EN i SRB standarda. Iz izraza po kojima se dolazi do razmaka između prslina prema oba standarda zapaža se da se oni sastoje iz dva sabirka, gde u prvom učestvuje zaštitni sloj betona sa određenim koeficijentima, a u drugom vrsta armature, vrsta napreznjanja, prečnik podužne armature i koeficijent armiranja efektivne zategnute zone. Sama razlika se može opravdati različitim prečnicima šipki i različitim koeficijentima armiranja koji su usvojeni u ovim standardima.



Slika 3. Rastojanje između prslina

Karakteristične širine prslina se, takođe, razlikuju, s tim da su kod greda razlike znatno manje nego kod stubova. Kada se uporede izrazi dati u dva standarda, vidi se da se prema EN propisima širina dobija kao proizvod maksimalnog razmaka između prslina i razlike srednjih dilatacija u armaturi i betonu, a prema SRB se ona definiše kao vrednost koja je 70% veća od proizvoda srednjeg rastojanja prslina i razlike dilatacija u armaturi i betonu. Uporedni prikaz vrednosti širina prslina je dat na slici 4.



Slika 4. Širina prslina

### 4. ZAKLJUČAK

Iz svega prethodno prikazanog, dolazi se do zaključka da evropski standard „EN 1992“ daje veće razmake između prslina od srpskog propisa „PBAB '87“, a same širine prslina su, u većini slučajeva (oko 90%), veće prema „PBAB '87“ od onih dobijenih prema „EN 1992“.

Ova dva standarda (pravilnika) su u načelu veoma slična, shvatanja i razumevanja prslina su praktično identična, ali na drugačiji način koncipirana. Suštinska razlika je u pristupu i pristupačnosti.

„PBAB '87“ je koncipiran sa veoma kompleksnom i opširnom analizom stanja prslina, što se ogleda kako u opisu samih prslina, tako i u numeričkom procesu kojim se izračunavaju svi potrebni faktori i rezultati za analizu stanja prslina.

„EN 1992“ teži jednostavnijem pristupu, kako u proračunu, tako i u nekim osnovnim informacijama. Poenta je što lakšeg i kraćeg proračuna, sa zadovoljavajućom tačnošću.

### 5. LITERATURA

- [1] EN 1991-1-1:2002-Evrokod 1 „Dejstva na konstrukcije“, Beograd, novembar 2009.
- [2] EN 1991-1-3:2003-Evrokod 1 „Dejstva na konstrukcije“, Beograd, novembar 2009.
- [3] EN 1991-1-4:2005-Evrokod 1 „Dejstva na konstrukcije“, Beograd, novembar 2009.
- [4] EN 1992-1-1:2004-Evrokod 2 „Proračun betonskih konstrukcija“, Beograd, februar 2006.
- [5] SRB - PBAB: Beton i armirani beton, Knjiga 1 “Osnove proračuna i konstruisanja“, Beograd, 2000.
- [6] EN 1998-1:2004-Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija“, Beograd, novembar 2009.
- [7] Zoran Brujić: “Betonske konstrukcije u zgradarstvu (prema Evrokodu) - skripta“, Novi Sad, 2018.

### Kratka biografija:



**Marko Filipović** rođen je u Ljuboviji 1994. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Seizmička analiza konstrukcija, odbranio je 2018. godine.