

doi: 10.67563/ASESCONF2026054M

Luka Manojlović¹, Jana Pudar², Ivan Milićević³, Vedran Carević³

SEISMIC ANALYSIS OF THE RC STRUCTURE WITH SHEAR WALLS ACCORDING TO THE NEW GENERATION OF EUROCODE 8

Summary: Within this paper, in a simple and reviewed way, through a specific example, a comparison of seismic design using the valid and the draft of the new set of Eurocodes is shown, in order to analyse the changes in the design and their real impact on the final results. Such a comparison can be useful in getting acquainted with the essential changes that follow in the near future. The goal of the paper is to enable a better understanding of the changes and easier adaptation to the new set of standards. Although the draft of the new Eurocode 8 brings a number of changes, the essence of the structural calculation has not been significantly changed. However, there have been changes in the design procedure that rationalize the design and simplify the details, which represents the main qualitative shift in relation to the current standards.

Keywords: RC structures, new Eurocode 8, detailing for local ductility

SEIZMIČKA ANALIZA AB KONSTRUKCIJE SA ZIDOVIMA PREMA NOVOJ GENERACIJI EVROKODA 8

Rezime: U okviru ovog rada na jednostavan i pregledan način, kroz konkretan primer, prikazano je poređenje seizmičkog proračuna primenom važećeg i nacрта novog seta Evrokodova 2027, kako bi se jasno uočile izmene u projektovanju i njihov stvarni uticaj na obim proračuna i na krajnje rezultate dimenzionisanja. Ovakvo poređenje može biti korisno u upoznavanju sa suštinskim promenama koje slede u skorijoj budućnosti. Cilj rada je da omogućiti bolje razumevanje promena i lakše prilagođavanje novom setu standarda. Iako nacrt novog Evrokoda 8 donosi niz promena u formulacijama, suština proračuna konstrukcija nije značajno izmenjena. Međutim, došlo je do promena u postupku projektovanja koji racionalizuje proračun i pojednostavljuje detalje, što predstavlja glavni kvalitativni pomak u odnosu na važeći Evrokod.

Ključne reči: AB konstrukcije, novi Evrokod 8, oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost

¹ AS Commerce Stan, Beograd, Srbija, luka.manojlovic.7@icloud.com

² Bekament, Beograd, Srbija

³ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. Kralja Aleksandra 73, Beograd, Srbija

1. UVOD

Nova generacija Evrokoda 8 predstavlja značajnu reviziju evropskog okvira za seizmičko projektovanje konstrukcija, kojom se postojeći Evrokod 8-1 iz 2004. godine [1] deli na dva odvojena dela: EN 1998-1-1 [2] i EN 1998-1-2 [3]. Prvi deo obuhvata opšta pravila seizmičkog projektovanja i definiciju seizmičkog dejstva, dok se drugi deo odnosi isključivo na projektovanje novih zgrada. Na taj način, novi koncept donosi jasniju strukturu i razgraničenje između opštih načela i specifičnih pravila za različite tipove konstrukcija.

Jedna od najvećih konceptualnih izmena odnosi se na osnovu proračuna (Basis of Design) i način na koji se definišu seizmički zahtevi i granična stanja konstrukcije. Dok je u važećem standardu postojala podela samo na dva granična stanja - granično stanje nosivosti (ULS) i granično stanje upotrebljivosti (SLS) - novi Evrokod 8 uvodi četiri jasno definisana nivoa performansi konstrukcije (tj. granična stanja):

- OP (Operational) - potpuno operativan objekat nakon zemljotresa
- DL (Damage Limitation) - ograničenje oštećenja bez ugrožavanja upotrebljivosti
- SD (Significant Damage) - značajna oštećenja uz očuvanje stabilnosti konstrukcije
- NC (Near Collapse) - pred rušenje, pri čemu konstrukcija zadržava minimalnu nosivost

Prema novim kriterijumima usaglašenosti za nove konstrukcije, osnovni proračunski zahtev za sve nove objekte definiše se upravo kao nepremašivanje graničnog stanja SD (Significant Damage). Ovo stanje predstavlja centralnu tačku projektovanja, dok se ostala granična stanja (DL, OP i NC) koriste po potrebi, zavisno od važnosti objekta i zahtevanog nivoa performansi. Kako je u napomeni standarda navedeno, ispunjavanje uslova za SD stanje u većini slučajeva podrazumeva da će konstrukcija prirodno ispuniti i strožije kriterijume za DL i OP stanja pri manjim zemljotresima, kao i da neće dostići NC stanje ni pri znatno većim dejstvima od proračunskog. Na taj način, Evrokod 8 [2] uspostavlja jedinstvenu logiku projektovanja zasnovanu na performansama, gde se proverom SD graničnog stanja postiže sveobuhvatna sigurnost konstrukcije.

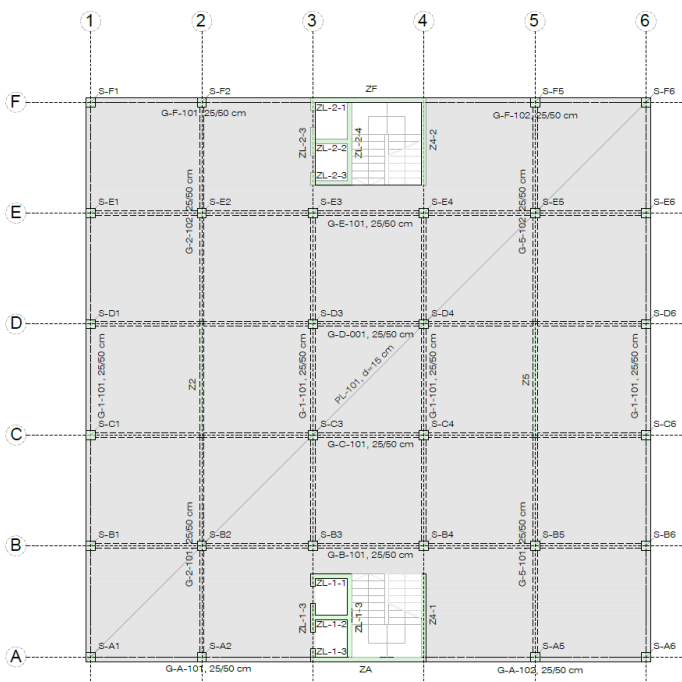
Pored toga, novi Evrokod uvodi i drugačiji način definisanja seizmičkog opterećenja, koji se zasniva na parametrima seizmičkog hazarda i povratnim periodima zemljotresa. Posebna novina je i način tretiranja klasa posledica (CC1-CC3), preuzetih iz Evrokoda 0 [4]. Iako postoje i u važećem standardu, pri seizmičkom proračunu Evrokod 8 se oslanjao na klase značaja zgrada (I-IV), koje približno odgovaraju klasama posledica i javljale su se tek u delu o projektovanju novih zgrada, dok novi Evrokod 8 [2] klase posledica uvodi kao osnovu već u uvodnom poglavlju Evrokoda 8-1-1, uz ukidanje klasa značaja. Seizmičko opterećenje sada se definiše kombinacijom klase posledica (CC) i graničnog stanja (LS), pomoću odgovarajućih povratnih perioda zemljotresa $T_{LS,CC}$ ili faktora performansi $\gamma_{LS,CC}$, čime se izborom odgovarajućeg zemljotresa obezbeđuje zahtevani nivo performansi objekta. Na taj način seizmičko opterećenje više nije vezano za dva unapred definisana elastična spektra kao u važećem standardu, već se spektar formira posebno za izabrano granično stanje i klasu posledica.

Konačno, značajne razlike između trenutne i nove generacije Evrokoda 8 ogledaju se u pojednostavljenijim zahtevima za ostvarenivanje lokalne duktilnosti vertikalnih AB elemenata, koji zahtevaju značajno manju količinu armature za utezanje elemenata u kritičnim oblastima.

Cilj ovog rada je da se na konkretnom primeru armirano-betonske stambene zgrade AB zidovima i AB ramovima izvrši uporedna analiza seizmičkog proračuna prema važećim i budućim standardima i identifikuju ključne razlike u postupku projektovanja. U radu je prikazan postupak proračuna prema novom standardu i upoređen sa proračunom po važećem standardu radi uočavanja ključnih razlika u pristupu i rezultatima dimenzionisanja. Pri tome, konstrukcija je projektovana prema srednjoj klasi duktilnosti – DCM, prema trenutno važećem Evrokodu 8, i klasi duktilnosti DC2 prema novoj generaciji Evrokoda 8.

2. OPIS KONSTRUKCIJE

Analiza je sprovedena na modelu armirano-betonske stambene zgrade koja se nalazi u Paraćinu, Srbija. Objekat je kvadratne osnove dimenzija 30x30 m i sastoji se od podruma, prizemlja i šest spratova, pri čemu visina podruma i prizemlja iznosi 3,6 m, a visina ostalih spratova 3,3 m. Ukupna visina objekta iznosi približno 23,45 m. Međuspratne konstrukcije su armirano-betonske ploče debljine 15 cm, dok je ploča prizemlja debljine 22 cm. Ploče su oslonjene na grede dimenzija 25x50 cm, koje se dalje oslanjaju na stubove dimenzija 50x50 cm. Pored stubova postoje i dva AB jezgra, kao i dva pravougaona zida u Y pravcu debljine 25 cm. Usvojeni kvalitet materijala je C30/37 i B500B. Objekat je fundiran na temeljnoj ploči debljine 60 cm. Tlo je modelirano pomoću elastičnih opruga krutosti 10 000 kN/m³. Osnova tipskog sprata je prikazana na slici 1.



Slika 1: Osnova tipskog sprata [5]

3. DINAMIČKE KARAKTERISTIKE I KLASIFIKACIJA PRIMARNOG SEIZMIČKOG SISTEMA

Jedna od prvih faza seizmičkog proračuna predstavlja određivanje dinamičkih karakteristika konstrukcije, pre svega oscilujuće mase, efektivne krutosti i osnovnih perioda oscilovanja. U Evrokodu oscilujuća masa konstrukcije određuje se pomoću koeficijenta kombinacije promenljivih opterećenja ψ_{Et} . U važećem standardu njegova vrednost iznosi 0,24 (EN 1998-1:4.2.4(4.2)). U novoj generaciji Evrokoda 8 vrednost ovog koeficijenta je smanjena i iznosi 0,15 (prEN1998-1-2: 5.1.2(5.1)). Kao posledica toga dobija se nešto manja oscilujuća masa konstrukcije (u konkretnom slučaju 7486 t, u odnosu na 7581 t). S obzirom da je razlika u masama cca. 1,5%, kao i da obe verzije standarda podrazumevaju da se efektivna krutost, odnosno krutost isprskalnih preseka može usvojiti kao polovina krutosti neisprskalnih preseka, dobijeni periodi oscilovanja su približno isti ($T_1 \cong 0,75s$, $T_2 \cong 0,75s$, $T_3 \cong 0,58s$).

Kriterijumi za regularnost konstrukcije u osnovi i po visini su ostali isti, samo su premešteni u Aneks A novog Evrokoda 8, a razmatrana konstrukcija je regularna i po visini i u osnovi.

Način određivanja faktora ponašanja konstrukcije q je u novom standardu promenjen. Faktor ponašanja je sada proizvod tri svoje komponente (prEN1998-1-1: 6.4.1 (6.2)):

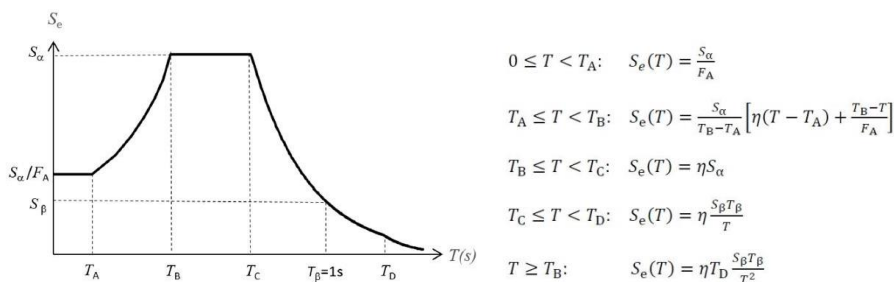
- q_R – komponenta faktora ponašanja koja uzima u obzir predimenzionisanje usled preraspodele efekata seizmičkog dejstva
- q_S – komponenta faktora ponašanja koja uzima u obzir predimenzionisanje iz svih drugih razloga
- q_D – komponenta faktora ponašanja koja uzima u obzir kapacitet deformacije i disipacije energije

Pravila za nove zgrade se nalaze u drugom delu Evrokoda 8 tj. prEN 1998-1-2 [3], a konkretno za armiranobetonske zgrade u Tabeli 10.1: Uobičajene vrednosti faktora ponašanja, u kojoj su definisane tri klase duktilnosti: DC1, DC2 i DC3. Za razliku od trenutnog standarda, prema kome je u seizmički aktivnim područjima moguće usvojiti srednju (DCM) ili visoku (DCH) klasu duktilnosti bez obzira na ubrzanje tla a_g , u novom Evrokodu 8 klase duktilnosti z određene tipove konstruktivnih sistema se usvaja u zavisnosti od spektralnog ubrzanja. Međutim, u slučaju sistema nepovezanih zidova, moguće je usvojiti DC2 ili DC3, bez obzira na spektralno ubrzanje. U ovom primeru, usvojena je klasa duktilnosti DC2.

S obzirom na to da za posmatranu konstrukciju, koja je klasifikovana kao sistem nevezanih zidova, faktor ponašanja po važećem standardu iznosi $q = 3,0$ (DCM), a po novom standardu $q = q_R \cdot q_S \cdot q_D = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,3 = 2,0$ (DC2).

4. ODREĐIVANJE SEIZMIČKOG OPTEREĆENJA - METOD BOČNIH SILA

Novi Evrokod 8 je zadržao iste kriterijume za primenu metode bočnih sila za proračun seizmičkog opterećenja. Razlika u standardima postaje jasna već na projektnom spektru, koji se sada formira na potpuno drugačiji način. Više nema dva uobičajena tipa elastičnog horizontalnog spektra (EN1998-1: 3.2.2.2) [1], već se elastični spektar formira za svaki projektni zadatak, a zatim se iz njega dobija projektni spektar preko faktora ponašanja. Takođe, projektni spektar je dobio novi naziv: „redukovani spektar“. Oblik elastičnog spektra odgovora je dat u prEN1998-1-1: 5.2.2.2 i prikazan je na slici 2, a jednačine za njegov proračun su date formulama (5.6)-(5.10) u samom standardu [2].



Slika 2: Oblik elastičnog spektra odgovora [2]

Vrednosti dodatnih parametara koji su potrebni za formule (5.6)-(5.10) mogu se dobiti iz posebnih studija seizmičkog hazarda i mogu biti date u obliku lokalnih ili regionalnih seizmičkih karti. Ukoliko ne postoje takve studije, vrednosti se mogu uzeti iz standarda [2]. Spektralna ubrzanja se računaju iz:

$$S_\alpha = F_T F_\alpha S_{\alpha,RP} \quad (1)$$

$$S_\beta = F_T F_\beta S_{\beta,RP} \quad (2)$$

gde je:

F_α - faktor amplifikacije tla za kratke periode,

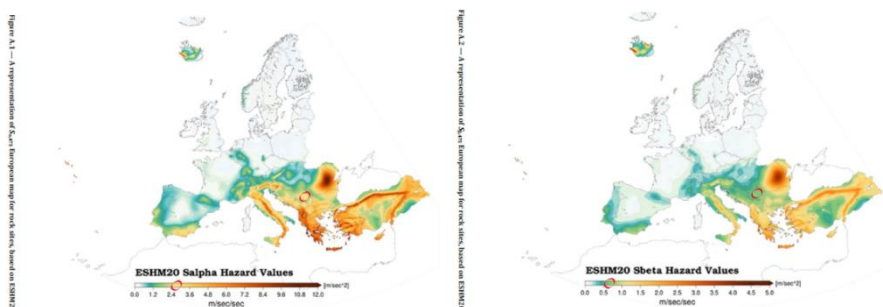
F_β - faktor amplifikacije tla za srednje periode ($T = T_\beta$),

F_T - faktor amplifikacije zbog topografije,

$S_{\alpha,RP}$ i $S_{\beta,RP}$ – spektralni parametri definisani u odredbi 5.2.1(7).

Za povratne periode različite od referentnog T_{ref} , koji su povezani sa određenim graničnim stanjem, klasom posledica zgrade ili određenim trajanjem izgradnje, odgovarajuće vrednosti spektralnih parametara $S_{\alpha,RP}$ i $S_{\beta,RP}$ na tlu kategorije A mogu se odrediti iz: (1) mapa spektralnih ubrzanja za odabrani skup povratnih perioda, ili (2) preko faktora $\gamma_{LS,CC}$ koji su predstavljeni u 4.3(4) i koriste se kao alternativa povratnim periodima i primenjuju se kao množilac referentnih spektralnih parametara datih u formulama (5.4) i (5.5): $S_{\alpha,RP} = \gamma_{LS,CC} S_{\alpha,ref}$; $S_{\beta,RP} = \gamma_{LS,CC} S_{\beta,ref}$.

S obzirom da je proračun urađen za zemljotres sa povratnim periodom od 475 godina (RP = 475 god. $\rightarrow S_{\alpha,475}$ i $S_{\beta,475}$), ovi spektralni parametri se mogu očitati sa Evropske mape hazarda koja je data u Aneksu A Evrokoda 8 [2] u vidu karata A.1 i A.2: $S_{\alpha,475} = 2.6 \frac{m}{s^2}$ i $S_{\beta,RP} = 0.6 \frac{m}{s^2}$ (slika 3).



Slika 3: Evropske mape hazarda [2]

Za proračun spektralnih ubrzanja S_α , S_β još su preostali parametri F_α , F_β i F_T . Parametar amplifikacije zbog topografije se očitava iz Tabele 5.5 [2]: $F_T = 1$, dok se faktori amplifikacije terena, za standardne kategorije tla, očitavaju iz Tabele 5.4 [2].

Iako je faktor ponašanja prema budućem standardu oko 30% manji, što bi trebalo da rezultira većim seizmičkim silama, seizmičko opterećenje određeno metodom bočnih sila u konkretnom slučaju je 25% manje u odnosu na trenutni Evrokod 8 ($F_{b,y} = 6258$ kN i $F_{b,x} = 6308$ kN prema važećem, naspram $F_{b,y} = 4723$ kN i $F_{b,x} = 4761$ kN prema novom standardu).

5. KONTROLA GLOBALNE STABILNOSTI KONSTRUKCIJE ZA DEJSTVO ZEMLJOTRESA

5.1. KONTROLA GLOBALNIH EFEKATA DRUGOG REDA

Nova generacija standarda na sličan način kontroliše da li je neophodno uzeti u obzir globalne efekte drugog reda tj. $P-\Delta$ efekte pri proračunu: pomoću koeficijenta osetljivosti međuspratnog pomeranja θ . Granična vrednost θ za sve spratove je ostala 0,10, a formula za njegov proračun je zadržala istu formu, s tim što se u nju sada unosi i proizvod komponenata faktora ponašanja q_R i q_S , koje uzimaju u obzir predimenzionisanje konstrukcije, i u ovom primeru iznosi $q_R \cdot q_S = 1,50$.

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_{r,SD}}{q_R \cdot q_S \cdot V_{tot} \cdot h_s} \quad (3)$$

S obzirom da se komponente faktora ponašanja uvršćuju u delilac, ovima se dobijaju još blaži uslovi za kontrolu efekata drugog reda u odnosu na trenutni standard, odnosno manji koeficijenti osetljivosti θ . Poređenja radi, za razmatranu konstrukciju, maksimalni koeficijent osetljivosti prema novoj generaciji Evrokoda 8 iznosi $\theta_{\max} = 0,014$ dok prema trenutnom Evrokodu 8 iznosi $\theta_{\max} = 0,03$.

5.2. KONTROLA RELATIVNIH MEĐUSPRATNIH POMERANJA

Postupak se i dalje zasniva na kontroli odnosa relativnog međuspratnog pomeranja i spratne visine, s tim da se zahtevi novog Evrokoda odnose i na ograničenja pomeranja u graničnom stanju nosivosti (za SD granično stanje) i na ograničenja pomeranja u graničnom stanju upotrebljivosti (za DL granično stanje). Ovo donekle komplikuje proračun jer zahteva formiranje novog spektra odgovora konstrukcije za zemljotres kraćeg povratnog perioda pri kontroli DL, čime je izbačen koeficijent ν koji je u važećem Evrokodu uzimao u obzir kraće povratne periode i omogućavao da se pomoću spektra formiranog za zemljotres sa povratnim periodom od 475 godina redukuju dobijena pomeranja za kontrolu graničnog stanja upotrebljivosti.

Sada se pomeranja za SLS dobijaju direktno iz modela proračunatog pomoću spektra za DL, dok je kontrola pomeranja za SD uvedena kao obavezna za sve klase duktilnosti i pristupe proračunu. Potreba za kontrolom međuspratnih pomeranja prema DL-u određuje se od strane nadležne institucije ili projektnog zadatka, jer novi Evrokod 8 polazi od toga da je kontrola pomeranja za SD granično stanje u većini slučajeva dovoljna i da se kroz nju može smatrati zadovoljenim i DL stanje. Relativna međuspratna pomeranja treba da budu ograničena na svakom spratu zgrade tako da zadovoljavaju uslov:

$$d_{r,SD} \leq \lambda_s h_s \quad (4)$$

gde je:

$d_{r,SD}$ - projektno međuspratno pomeranje definisano u 6.2.4(1), koje predstavlja razliku prosečnih horizontalnih pomeranja d_s na vrhu i dnu posmatranog sprata, određenih u skladu sa [2], $d_s = q_{disp} d_r$, za proračun zasnovan na silama i analizom za granično stanje SD,

d_s - pomeranje tačke konstrukcije

d_r - pomeranje iste tačke proračunskog modela izračunato za redukovani spektar koji odgovara projektnom seizmičkom dejstvu; $q_{disp} = q$, ako $T_1 \geq T_c$

h_s - definisano u 6.2.4(1) [2],

λ_s - koeficijent kojim se uzima u obzir ograničenje međuspratnog pomeranja, dat u 10.4.4.

Za tipove konstrukcijskih sistema datih u 10.4.1(1) [2], međuspratna pomeranja za SD granično stanje prema 6.2.5(1) treba da budu ograničena na: $d_{r,SD} \leq 0,02 h_s$.

Kao što je gore objašnjeno, proračun relativnih međuspratnih pomeranja za granično stanje upotrebljivosti tj. DL, koje je uporedivo sa proračunom relativnih međuspratnih pomeranja prema važećem Evrokodu 8, nije neophodno prema novoj generaciji standarda, međutim ono može biti zahtevano. Za potrebe ovog proračuna neophodno je ponovno formiranje elastičnog spektra odgovora za DL granično stanje. Definisana su dva načina određivanja seizmičkog opterećenja - pomoću odgovarajućih povratnih perioda za razmatrano granično stanje i klasu posledica $T_{LS,CC}$ (u ovom slučaju to je $T_{DL,2} = 60$ godina) ili pomoću faktora performansi $\gamma_{LS,CC}$ (u ovom slučaju $\gamma_{DL,2} = 0,5$) koji redukuju spektralna ubrzanja očitana sa karti za zemljotres sa povratnim periodom od 475 godina. S obzirom da nemamo na raspolaganju kartu za zemljotres sa povratnim periodom od 60 godina, koristimo se drugom metodom.

$$\rightarrow S_{\alpha,60} = \gamma_{DL,2} S_{\alpha,475} = 0,5 \cdot 2,60 = 1,30 \frac{m}{s^2}; S_{\beta,60} = \gamma_{DL,2} S_{\beta,475} = 0,5 \cdot 0,60 = 0,30 \frac{m}{s^2}$$

Oblik elastičnog spektra odgovora za DL granično stanje:

$$\rightarrow T_A = 0,02 \text{ s} ; T_B = 0,0175 \text{ s} ; T_C = 0,286 \text{ s} ; T_D = 1,00 \text{ s} ; T_D = 2,00 \text{ s}$$

Prema ovakvom modelu konstrukcije, koji predstavlja granično stanje DL, urađena je kontrola relativnih međuspratnih pomeranja, sa maksimalnom vrednošću $d_{r,DL} = 4,90 \text{ mm} < 0,045 \cdot 3300 = 14,85 \text{ mm}$. Poređenja radi, prema trenutnom Evrokodu 8, maksimalno relativno međuspratno pomeranje iznosi $v \cdot d_r = 5,25 \text{ mm} < 0,005 \cdot 3300 = 16,50 \text{ mm}$.

6. PRORAČUN AB STUBOVA

6.1. KONTROLA DUKTILNOSTI

Novi Evrokod uvodi koeficijent Ω koji povećava proračunsku aksijalnu silu za koju se kontroliše nivo normalizovane aksijalne sile u stubu (za seizmičku proračunsku kombinaciju), tako što multiplikuje silu nastalu od seizmičkog opterećenja, tj. njen udeo u ukupnoj aksijalnoj sili. Koeficijent Ω se naziva faktor amplifikacije aksijalne sile u stubu i za njega se može uzeti da je jednak 2,0. Gornja granica normalizovane aksijalne sile ostaje 0,65. U slučaju nove generacije Evrokoda 8, normalizovana aksijalna sila jednaka je $v_{Ed} = 0,646$ dok u slučaju trenutnog Evrokoda 8 normalizovana sila jednaka je $v_{Ed} = 0,636$, što je manje od 0,65.

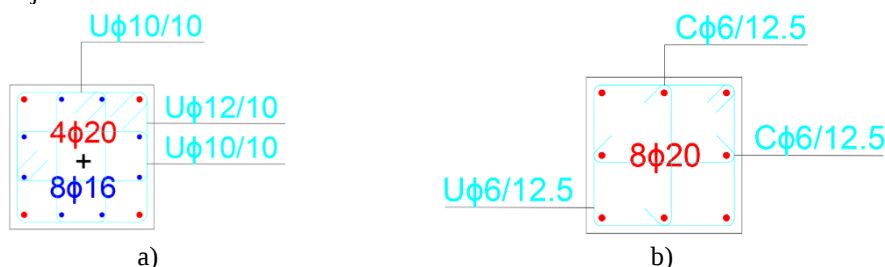
6.2. DIMENZIONISANJE

6.2.1. Kontrola zahteva programiranog ponašanja

Za klasu duktilnosti DC2, novi Evrokod 8 ne zahteva da suma nosivosti stubova u čvoru greda-stub ima 30% veću nosivost u odnosu na sumu nosivosti greda, čak ni za ramovske sisteme pod određenim uslovima, a naročito za razmatranu konstrukciju koja je klasifikovana kao sistem nevezanih zidova. Za ramovske sisteme i ekvivalente ramovske sisteme to je prethodni uslov neophodno je kontrolisati za klasu duktilnosti DC3. Merodavna smičuća sila za dimenzionisanje stubova se dobija iz uslova programiranog ponašanja, definisanog u odredbi 5.4.2.3 (2) u trenutno važećem standardu [1] i u odredbi 10.6.2 (2) u novom standardu [3].

6.2.2. Dimenzionisanje na savijanje

Rezultati dimenzionisanja karakterističnog AB stuba prema oba standarda pokazali su da je potrebno usvojiti minimalnu armaturu koja iznosi $0,01A_c$, gde je A_c površina poprečnog preseka stuba (članovi 5.3.2.2(1) [1], odnosno 10.6.3.2(1) [3]). Usvojena armatura stuba u uklještenju prikazana je na slici 4.



Slika 4: Oblikovanje armature AB stuba u uklještenju: a) prema trenutno važećem Evrokodu 8, b) prema novoj generaciji Evrokoda 8

Usvojena armatura po važećem standardu je $4\phi 20 + 8\phi 16$ ($28,64 \text{ cm}^2$), dok je po novoj generaciji standarda jednaka $8\phi 20$ ($25,2 \text{ cm}^2$). Relativno mala razlika u usvojenoj armaturi je

napravljena jer novi Evrokod 8 dozvoljava da razmak između dve pridržane šipke bude 25 cm (član 10.6.3.2 (8) [3]), u odnosu na 20 cm po trenutnom standardu (član 5.4.3.2.2 (11) [1]).

6.2.3. Oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost

U novom Evrokodu 8 više se ne koristi faktor duktilnosti krivine za određivanje potrebnog nivoa utezanja preseka stuba (prEN 1998-1-2: 10.6.3.2), što predstavlja značajnu razliku u odnosu na trenutnu verziju Evrokoda 8. Dakle, oblikovanje preseka dosta jednostavnije i zasnovano je u potpunosti na uslovima razmaka i prečnika šipki, pa se zatim kontroliše samo mehanički zapreminski procenat armiranja uzengijama za utezanje preseka.

Za presek AB stuba prikazan na slici 4 b), dimenzije utegnuto g preseka stuba b_0/h_0 iznose:

$$b_0 = h_0 = b - 2c_{nom} - 2\frac{\phi_u}{2} = 50 - 5 - 0,8 = 44,2 \text{ cm}$$

Dužina kritične oblasti l_{cr} iznosi:

$$l_{cr} = \max \left\{ b_{max} = 50 \text{ cm}, \frac{l_{cl}}{6} = \frac{310 \text{ cm}}{6} = 51,7 \text{ cm}, 0,45m \right\} = 51,7 \text{ cm}$$

U kritičnoj dužini primarnog seizmičkog stuba, treba postaviti poprečnu armaturu prečnika najmanje 6 mm ili $d_{bl,min}/4$ u rasporedu takvom da doprinosi utezanju poprečnog preseka. Međusobno rastojanje s , poprečne armature za DC2 ne sme da prekorači:

$$s = 12,5 \text{ cm} \leq \min \left\{ \frac{b_{oc}}{2} = \frac{44,2}{2} = 22,1 \text{ cm}; 200 \text{ mm}; 9d_{bl,min} = 14,4 \text{ cm} \right\} = 14,4 \text{ cm}$$

Minimalna vrednost mehaničkog zapreminskog odnosa uzengija za utezanje unutar kritične visine, koja treba da bude obezbeđena u svim kritičnim visinama primarnih seizmičkih stubova za klasu duktilnosti DC2 iznosi:

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{co} \cdot f_{cd}} > 0,05$$

U prethodnom izrazu, V_{sw} predstavlja zapreminu uzengija na razmaku usengija s , V_{co} zapreminu utegnuto g betona na razmaku uzengija s , f_{ywd} proračunsku vrednost granice razvlačenja armaturnog čelika za uzengija a f_{cd} proračunsku vrednost čvrstoće betona pri pritisku.

Za usvojenu spoljašnju uzengiju i dve „S“ šipke koje povezuju vertikalnu armaturu duž ivice preseka, prečnika 6 mm, ostvareni mehanički zapreminski procenat armiranja iznosi:

$$V_{sw} = 0,283 \cdot (4 \cdot 44,2) + 2 \cdot 0,283 \cdot 44,2 = 75,02 \text{ cm}^3$$

$$V_{co} = 44,2 \cdot 44,2 \cdot 12,5 = 24420,5 \text{ cm}^3$$

$$\omega_{wd} = \frac{75,02 \cdot 43,5}{24420,5 \cdot 1,7} = 0,0786 > 0,05$$

Potrebne uzengije za utezanje prema članu 5.4.3.2.2 (8) u trenutnom Evrokodu 8 [1] prikazane su na slici 4 a), koje sa sastoje od spoljašnje uzengije prečnika 12 mm dva unutrašnje uzengije prečnika 10 mm, na razmaku od 10 cm. Kao što se može videti, armatura potrebna za utezanje prema novom Evrokodu 8 je značajno manja.

7. PRORAČUN PRAVOUGAONIH AB ZIDOVA

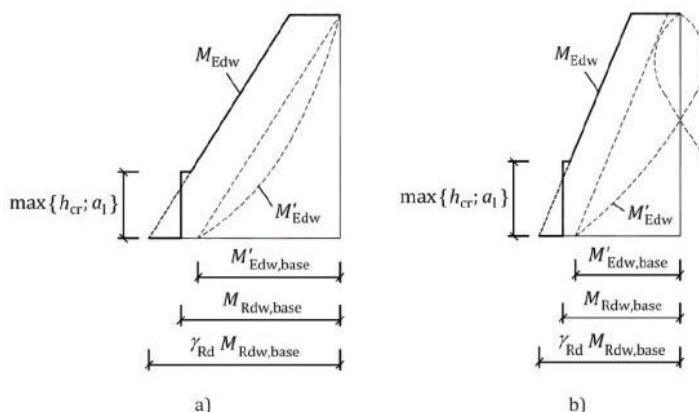
7.1. GEOMETRIJSKA OGRANIČENJA I KONTROLA NIVOA DUKTILNOSTI

Geometrijska ograničenja vezana za debljinu rebra i ivičnih elemenata zida ostala su jako slična uz neka dodatna ograničenja, koja u ovom slučaju nisu promenila rezultat u odnosu na trenutni standard (prEN 1998-1-2: 10.8.1 (3) $\rightarrow b_{wo} \geq 17,25 \text{ cm}$; 10.8.3.2 (5) $\rightarrow b_w \geq 23 \text{ cm}$, usv. $b_{wo} = b_w = 25 \text{ cm}$). Kontrola nivoa aksijalne sile je ostala identična (nema uvećanja kao kod stubova), a i uslov je zadržan $v_{Ed} < 0,4$. U konkretnom slučaju, normalizovana aksijalna sila jednaka je $v_{Ed} = 0,277 < 0,4$.

7.2. DIMENZIONISANJE

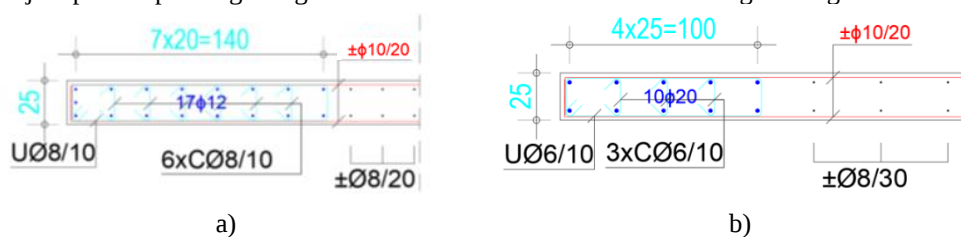
7.2.1. Savijanje

Nosivost zida na savijanje na koti uklještenja ne sme biti manja od proračunskog momenta savijanja $M'_{Edw,base}$ dobijenog iz analize. Na drugim mestima duž visine zida, proračunski moment M_{Edw} se određuje kao vertikalno pomerena anvelopa dijagrama momenata savijanja dobijena proračunom konstrukcije, pri čemu se vrednost na koti uklještenja menja sa predimensionisanim momentom savijanja $\gamma_{Rd} M_{Rdw,base}$, gde je $\gamma_{Rd} = 1,2$, a $M_{Rdw,base}$ moment nosivosti zida na koti uklještenja, kao što je prikazano na slici 5. Na kritičnoj visini zida h_{cr} (član 10.8.3.2(1) [3]), proračunska vrednost momenta se uzima da je jednaka $M_{Rdw,base}$.



Slika 5: Anvelopa uticaja u zidovima a) sistemi zidova, b) dvojni sistemi [3]

Novim standardom se predviđaju dva uslova za minimalnu vertikalnu armaturu ivičnog elementa zida. Jedan uslov je iz Evrokoda 8 - za ukupnu površinu vertikalne armature celog zida, koji je strožiji unutar kritične visine zida u odnosu na uslov iz Evrokoda 2 (povećanje sa $0,002A_c$ na $0,0025A_c$). Drugi uslov se direktno odnosi na ivični element površine A_c prema kom je minimalna vertikalna armatura jednaka $0,01A_c$. Dozvoljen razmak šipki je povećan sa 20 cm na 25 cm u ivičnom elementu, dok u rebru zida može biti 30 cm. Na slici 6 prikazani su usvojeni preseći pravougaonog AB zida u skladu sa zahtevima trenutnog i novog Evrokoda 8.



Slika 6: Oblikovanje armature AB zida u uklještenju: a) prema trenutno važećem Evrokodu 8, b) prema novoj generaciji Evrokoda 8

7.2.2. Smicanje

Uvodi se koeficijent $\varepsilon(z)$ za uvećanje smičuće sile dobijene proračunom, koje se trenutno uvek uvećava za 50% (5.4.2.4 (7) [1]), dok sada ovo uvećanje zavisi od faktora ponašanja konstrukcije (10.8.2 (3) [3]), i u ovom primeru iznosi 100% čime se faktički zid dimenzioniše na elastičnu smičuću silu:

$$V_{Edw} = \varepsilon(z) \cdot V'_{Edw,1}(z) \leq q \cdot V'_{Edw}(z), \text{ za DC2: } \varepsilon(z) = q$$

Međutim, u ovom primeru, kako je proračunsko seizmičko opterećenje prema trenutnom Evrokodu 8 približno 35% veće od proračunskog seizmičkog opterećenja prema novom Evrokodu 8 (videti poglavlje 4), konačne vrednosti smičućih sila u zidu su približno iste ($1,35 \cdot 1,5 \approx 2,0$), pa je usvojena ista horizontalna armatura (slika 6).

7.2.3. Oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost

Oblikovanje lokalne duktilnosti zidova je takođe dosta pojednostavljeno u smislu njegove proračunske verifikacije. Pravila se primenjuju na ivične elemente zida koji se rasprostiru vertikalno u kritičnoj visini h_{cr} zida i horizontalno na dužini ivičnog elementa l_c , mereno od najudaljenijeg vlakna u zoni pritiska u utegnutom delu zida, ne manjoj od $0,15l_w$ i $1,5b_w$. Kao i u slučaju stubova, usvojena armatura za utezanje ivičnih elemenata treba da ispunji samo zahtev minimalnog mehaničkog zapreminskog procenta armiranja $\omega_{wd} > 0,05$ (član 10.8.3.2 [3]). U konkretnom slučaju, za utezanje ivičnog elementa zida prema novom Evrokodu 8, dovoljne su bile uzengije i “S” šipke prečnika 6 mm na razmaku od 10 cm i dužina ivičnog elementa od 100 cm. Prema odredbi 5.4.3.4.2 u trenutnom Evrokodu 8 [1] potrebna armatura za utezanje bila prečnika 8 mm na razmaku 10 cm, na dužini ivičnog elementa od 140 cm, što je značajno više.

8. ZAKLJUČAK

Promene koje novi Evrokod 8 uvodi prvenstveno su usmerene na pojednostavljivanje primene i smanjenje broja nacionalnih parametara, čime se postiže ujednačenja primena u različitim zemljama. Formulisan je sistem sa četiri nivoa performansi konstrukcije, uz uvođenje klasa posledica, što omogućava preciznije definisanje zahteva u odnosu na značaj samog objekta. Novi pristup definisanju faktora ponašanja omogućava detaljnije razlaganje uticaja predimenzionisanja i duktilnosti.

Pri kontroli globalne stabilnosti i efekata drugog reda, postupak je u osnovi ostao identičan, ali je formula proširena uvođenjem komponenti faktora ponašanja, čime se verovatnoća za uzimanje P- Δ efekata dodatno smanjuje. Novi Evrokod kontrolu spratnih pomeranja primarno sprovodi za granično stanje nosivosti (SD), a po potrebi uvodi i kontrolu relativnih spratnih pomeranja za granično stanje upotrebljivosti (DL), što ranije nije bio slučaj. Takođe, kontrole lokalne duktilnosti vertikalnih AB elemenata su značajno pojednostavljene a rezultat je manja potrebna armatura.

Sveukupno, rad pokazuje da nova generacija Evrokoda 8 zadržava istu filozofiju projektovanja, ali uvodi sistematičniji, pregledniji i inženjerski racionalniji pristup. Dobijene konstrukcije bi trebalo da budu ekonomičnije, jednostavnije za proračun i oblikovanje, a pritom da zadržavaju nivo sigurnosti koji je u skladu sa savremenim inženjerskim standardima.

REFERENCE

- [1] SRPS EN 1998-1:2015, Evrokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, 2015
- [2] draft prEN_1998-1-1_2021_ENQ – Design of structures for earthquake resistance – Part 1-1: General rules and seismic action
- [3] draft prEN1998-1-2_version_10-07-202-Design of structures for earthquake resistance – Part 1-2: Buildings
- [4] SRPS EN 1990:2012, Evrokod — Osnove projektovanja konstrukcija, 2012
- [5] Luka Manojlović. Seizmička analiza konstrukcije prema novoj generaciji Evrokoda 8 na primeru stambene zgrade. Građevinski Fakultet Univerziteta u Beogradu, Master rad, 2025.
- [6] draft prEN 1992-1-1 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules-Rules for buildings, bridges, and civil engineering structures.