



**PROJEKAT ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE ZGRADE
KONSTRUKTIVNOG SISTEMA DUKTILNIH ZIDOVA**

**PROJECT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF A MULTI-STOREY
BUILDING WITH A STRUCTURAL SYSTEM OF DUCTILE WALLS**

Stevo Lazić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Projektovana je armiranobetonska konstrukcija višespratne stambene zgrade, spratnosti Po+Pr+9, prema evropskim propisima za konstrukcije. Analizirana su sva mjerodavna dejstva na konstrukciju, sprovedeno je dimenzionisanje i dati su planovi armiranja karakterističnih konstruktivnih elemenata. Konstrukcija je projektovana za srednju klasu duktilnosti. Analizirani su projektni zahtjevi definisani Evrokodom 8 za zidove za ukrućenje i primarne seizmičke stubove, projektovane za srednju i visoku klasu duktilnosti. Karakteristični zid je dimenzionisan za srednju klasu duktilnosti dok su karakteristični stubovi dimenzionisani za srednju i visoku klasu duktilnosti. Usvojena količina armature je poređena sa količinama dobijenim primjenom domaćih propisa.

Ključne reči: AB višespratna zgrada, Evrokod 8, programirano ponašanje, duktilni zidovi, primarni seizmički stubovi, DCM, DCH, domaći propisi

Abstract – This paper presents the project of reinforced concrete structure of a multi-storey residential building (B+Gf+9), according to European standards for structures. Relevant actions on the structure are analysed, characteristic elements are designed and their reinforcement details are presented in this paper. The structure is designed for medium ductility class. The design requirements for ductile walls and primary seismic columns, designed for medium and high ductility class, defined by Eurocode 8, are analysed. The characteristic wall of the structure is design for medium ductility class while the characteristic columns are designed for both ductility classes. The results in the form of steel reinforcement are compared with the amounts required by the domestic regulations.

Keywords: RC multi-storey building, Eurocode 8, capacity design, ductile walls, primary seismic columns DCM, DCH, domestic regulations

1. UVOD

Predmet ovog rada jeste projekat armiranobetonske (AB) konstrukcije višespratne zgrade konstruktivnog sistema duktilnih zidova prema evropskim propisima. Posebna pažnja je posvećena analizi zahtjeva koje propisuje Evrokod 8 a koje se odnose na armiranobetonske konstrukcije projektovane u seizmički aktivnim prostorima i

NAPOMENA:

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

poređenje tih zahtjeva sa onim datim u Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmički aktivnim područjima („Službeni list SFRJ“ br. 31/81, 49/82, 29/83, 21/88 i 52/90).

Kroz rad su detaljno obrađeni zahtjevi koji se odnose na AB seizmičke zidove i stubove te su kasnije karakteristični zidovi i stubovi, koji su dio konstrukcije armiranobetonske višespratne zgrade, dimenzionisani u skladu sa njima. Izvršeno je i poređenje količina armature dobijenih prema Evrokodu 8 sa onim dobijenim dimenzionisanjem u skladu sa domaćim propisima za karakteristične elemente.

**2. PROJEKTOVANJE ARMIRANOBETONSKIH
ZIDOVA PREMA EVROKODU 8**

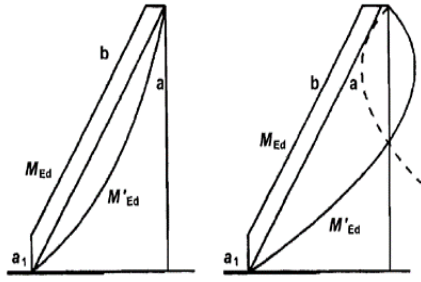
Zidovima se u Evrokodu smatraju vertikalni konstruktivni elementi, sa odnosom strana poprečnog presjeka većim ili jednakim 4. Zidovi se mogu posmatrati u statičkom smislu kao konzole ukrućene u temeljnu konstrukciju, dok se na nivou poprečnog presjeka može smatrati da ga čine ivični pojasevi povezani rebrom između. Savijanje se prihvata koncentrisanjem vertikalne armature u pojaseve zida, formiranjem ivičnih, elemenata (koji su jednake ili veće širine od širine rebra), dok se prijem smicanja povjerava rebro zida. Prema Evrokodu 8 (EN 1998-1) zidovi se klasifikuju na duktilne i velike lako armirane zidove, pri čemu duktilni zidovi mogu biti spojeni ili zasebni.

2.1. Posebni zahtjevi za zidove

U zavisnosti od odabrane klase duktilnosti Evrokodom 8 se definiše i niz zahtjeva koji treba da budu ispunjeni a koji se odnose na materijal, geometriju elementa, proračun uticaja i oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost. Za klasu duktilnosti DCM najniža dopuštena klasa betona je C16/20 dok je za klasu duktilnosti DCH to beton klase C20/25. Dozvoljeno je korišćenje čelika klase B i C za klasu duktilnosti DCM, dok se za klasu duktilnosti DCH dozvoljava samo primjena čelika klase C.

U pogledu geometrijskih karakteristika definisana je minimalna debljina rebra duktilnog zida kao i širine i dužine ivičnih elemenata. Kod duktilnih zidova potrebno je proračunom obuhvatiti post-elastične dinamičke efekte i nepouzdanosti proračunskih modela. Za slučaj vitkih duktilnih zidova, koji se u ovom radu analiziraju, propisana je proračunska anvelopa dijagrama momenata savijanja po visini zida, određena prema skici u prilogu. Ova anvelopa se, kod konstrukcija bez bitnih diskon-

tinuteta u masi u vertikalnom pravcu, može predstaviti pravom linijom (b) koja se od proračunske vrijednosti pomijera za iznos $a_1 = 0.50 \cdot z \cdot \cot \theta$, gdje je z krak unutrašnjih sila, a θ ugao nagiba pritisnutih štapova, korišćen u analizi smicanja.



- a dijagram momenata iz analize
b proračunska anvelopa
a₁ pomeranje zatezanja

Slika 1. Proračunska anvelopa momenata savijanja vitkih zidova [1]

Relativna aksijalna sila u zidovima je ograničena na sljedeće vrijednosti:

$$\bullet v_d = \frac{N_{Ed}}{b_{w0} \cdot l_w \cdot f_{cd}} < 0.40, \quad \text{za DCM}; \quad (1)$$

$$\bullet v_d = \frac{N_{Ed}}{b_{w0} \cdot l_w \cdot f_{cd}} < 0.35, \quad \text{za DCH}; \quad (2)$$

gdje je b_{w0} – širina rebra zida.

Nosivost na smicanje zidova klase DCM je određena propisima Evokoda 2, dok je za klasu DCH potrebno zid obezbijediti od:

- loma pritisnute dijagonale u rebu usljed smicanja,
- zatežućeg loma rebra usljed smicanja i
- loma smicanjem usljed klizanja.

2.2. Definisanje kritičnih zona, faktora duktilnosti krivine i njegovo obezbjeđenje

U kritičnoj oblasti zida potrebno je ispuniti zahtjeve lokalne duktilnosti predstavljene redukovanim koeficijentom lokalne duktilnosti μ_φ , čija je vrijednost najmanje jednaka:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} - 1, \quad \text{za } T_1 \geq T_c \quad (3)$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} - 1) \cdot T_c / T_1, \quad \text{za } T_1 < T_c \quad (4)$$

Osnovna vrijednost faktora ponašanja q_0 , redukuje se odnosom projektnog momenta savijanja i proračunskog momenta nosivosti M_{Ed}/M_{Rd} . Ako se za armiranje koristi armaturni čelik klase B koeficijent lokalne duktilnosti treba uvećati za 50%.

Zahtijevana lokalna duktilnost se obezbjeđuje utezanjem ivičnih zona zida uzengijama.

Za zidove pravougaonog presjeka, bez ivičnih proširenja, potrebno je da bude zadovoljeno sljedeće:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0.035, \quad (5)$$

gdje su:

α – faktor globalne efikasnosti utezanja,

ω_{wd} – mehanički zapreminski koeficijent armiranja uzengijama za utezanje presjeka u kritičnoj oblasti

μ_φ – zahtijevana vrijednost faktora duktilnosti krivine,

v_d – proračunska normalizovana aksijalna sila,

ω_v – mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom rebra ($\omega_v = \rho_v \cdot f_{yv,d} / f_{cd}$),

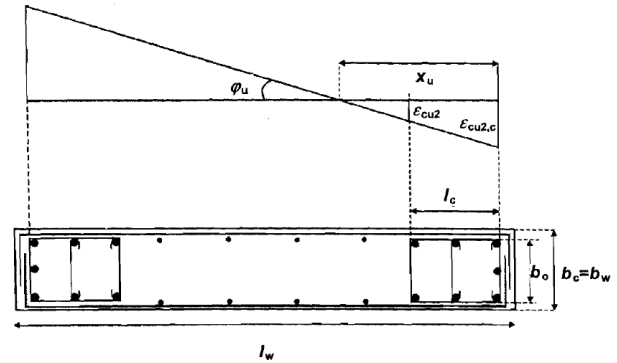
$\varepsilon_{sy,d}$ – proračunska dilatacija na granici razvlačenja čelika (2.17 ‰ za parcijalni koeficijent za čelik od 1.15),

b_c – ukupna širina poprečnog presjeka,

b_0 – širina utegnuto jezgra (mjereno od osa uzegija).

Minimalna dužina ivičnog elementa koju treba utegnuti (l_c) je dio dužine zida u kojem je dilatacija u betonu veća od ε_{cu2} .

Ova dilatacija, pri kojoj se očekuje odvajanje neutegnuto betona, naziva se karakteristična dilatacija neutegnuto betona i može se uzeti jednakom 3.5‰ (za klase betona do C50).



Slika 2. Utezanje ivičnog elementa za zidove pravougaonog presjeka [1]

2.3. Armiranje

Koeficijent armiranja ivičnih elemenata je definisan kao minimalno 0.5% a maksimalno 4%.

Rastojanje između dvije susjedne podužne šipke pridržane uzengijama mora biti manje od 200 mm (za DCM) odnosno 150 mm (za DCH). Preklap uzengija treba da bude takav da svaka šipka podužne armature bude obuhvaćena (pridržana). Minimalan prečnik uzengija treba da zadovolji uslov:

$$d_{bw} \geq 6 \text{ mm} \quad \text{za DCM}; \quad (6)$$

$$d_{bw} \geq 0.4 \cdot d_{bL,max} \cdot \sqrt{f_{ydL} / f_{ydw}} \quad \text{za DCH}. \quad (7)$$

Razmak uzengija u kritičnim zonama nije veći od (b_0 – minimalna dimenzija utegnuto jezgra preseka, d_{bL} – najmanji prečnik šipki podužne armature):

$$s \leq \min \left\{ \frac{b_0}{2}; 175 \text{ mm}; 8.5 \cdot d_{bL} \right\} \quad \text{za DCM}; \quad (8)$$

$$s \leq \min \left\{ \frac{b_0}{3}; 125 \text{ mm}; 6.0 \cdot d_{bL} \right\} \quad \text{za DCH}. \quad (9)$$

Minimalne vrijednosti mehaničkog zapreminskog koeficijenta armiranja u kritičnim oblastima iznose:

$$\min \omega_{wd} = 0.08 \quad \text{za DCM}; \quad (10)$$

$$\min \omega_{wd} = 0.12 \quad \text{za DCH}; \quad (11)$$

Dijelovi zida van kritične oblasti armiraju se u skladu sa odredbama Evrokoda 2. Izuzetak su zone zida iznad kritične oblasti u kojima su, u seizmičkoj proračunskoj situaciji, dilatacije u betonu veće od 2‰, kada je i u ovim zonama neophodno obezbijediti minimalni procenat armiranja vertikalnom armaturom od 0.5%.

3. PROJEKTOVANJE ARMIRANOBETONSKIH STUBOVA PREMA EVROKODU 8

Stubovima se, prema Evrokodu smatraju linijski elementi čiji odnos stranica poprečnog presjeka nije veći od 4 i u kojima se, pri seizmičkim proračunskim situacijama, razvijaju aksijalne sile veće od 0,1 postavljeno po relativnoj aksijalnoj sili.

3.1. Posebni zahtjevi za stubove

U primarnim seizmičkim stubovima, vrijednost normalizovane aksijalne sile v_d ne smije biti veća od:

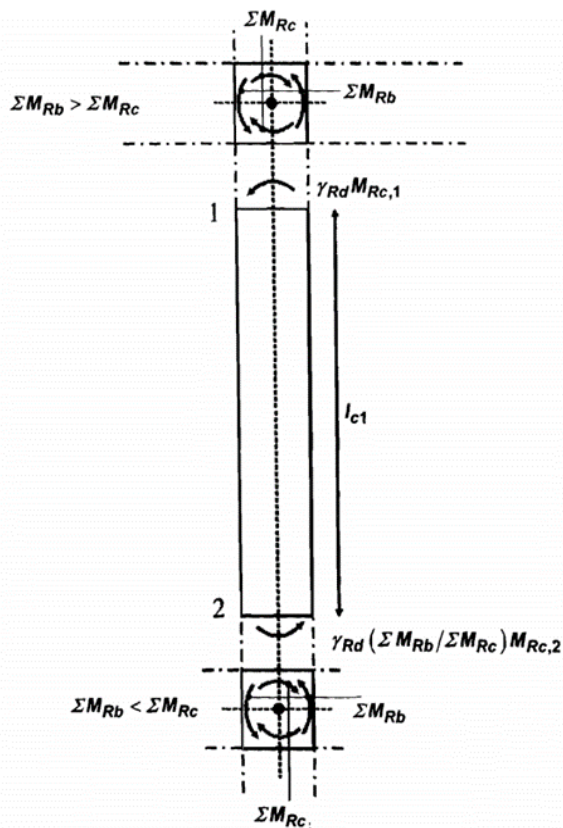
0,65 za DCM;

0,55 za DCH

Pri čemu je normalizovana aksijalna sila

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} \quad (12)$$

Proračunske vrednosti transverzalnih sila u primarnim seizmičkim stubovima moraju biti određene prema pravilima programiranog ponašanja sa aspekta kapaciteta, na osnovu uslova ravnoteže stuba pod momentima na krajevima $M_{i,d}$ (sa $i = 1, 2$ su označeni krajnji presjeci stuba), saglasno formiranju plastičnih zglobova za pozitivne i negativne pravce seizmičkog opterećenja.



Slika 3. Proračunski momenti savijanja na krajevima stuba [1]

Momenti na krajevima $M_{i,d}$ mogu se odrediti koristeći sljedeći izraz:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} * M_{Rc,i} * \min \left(1, \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}} \right) \quad (13)$$

Gdje je:

γ_{Rd} – faktor kojim se uvodi povećanje nominalne vrijednosti usljed očvršćavanja čelika i utezanja betona pritisnute zone presjeka, koji se uzima da je jednak 1,1;

$M_{Rc,i}$ – proračunska vrijednost momenta nosivosti grede na kraju i u smjeru seizmičkog momenta savijanja za razmatrani smjer seizmičkog dejstva;

ΣM_{Rc} i ΣM_{Rb} – zbir proračunskih momenata nosivosti stubova i zbir proračunskih momenata nosivosti gređa koje se susište u čvoru.

3.2 Definisane kritične zone i faktora duktilnosti krivine

Oblasti na rastojanju l_{cr} od oba kraja primarnog seizmičkog stuba moraju se razmatrati kao kritične oblasti i njihove dužine su definisane sljedećim izrazima:

$$l_{cr} = \max \left\{ h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 0,45 \right\} \quad \text{za DCM;} \quad (14)$$

$$l_{cr} = \max \left\{ 1,5h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 0,60 \right\} \quad \text{za DCH} \quad (15)$$

gdje je:

h_c – veća dimenzija poprečnog presjeka stuba;

l_{cl} – čista dužina stuba.

Ako je odnos l_{cl}/h_c manji od 3, kritičnom oblašću se smatra ukupna visina stuba. U kritičnoj oblasti u osnovi (na spoju sa temeljem) primarnih seizmičkih stubova, vrednost duktilnosti krivine μ_ϕ mora biti najmanje jednaka:

$$\mu_\phi = 2q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_c \quad (16)$$

$$\mu_\phi = 2 + 2(q_0 - 1)T_c/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_c \quad (17)$$

gdje je q_0 odgovarajuća osnovna vrijednost faktora ponašanja, T_1 osnovni period slobodnih vibracija zgrade, obje vrijednosti uzete za ravan savijanja, dok je T_c period na gornjoj granici oblasti konstantnog ubrzanja elastičnog spektra.

Ako je za određenu vrijednost faktora duktilnosti krivine μ_ϕ , dilatacija betona veća od $\epsilon_{cu} = 0,0035$ potrebna na bilo kom mjestu u poprečnom presjeku, nadoknada za gubitak nosivosti usljed odvajanja betona postiže se adekvatnim utezanjem jezgra presjeka, na osnovu svojstava utegnutoг betona datih u EN 1992-1-1:2004, 3.1.9.

Za klasu duktilnosti DCH potrebno je ispuniti bar relaksirane zahtjeve lokalne duktilnosti (u vrednosti $(2/3) * \mu_\phi$) u svim ostalim kritičnim oblastima iznad najniže, dok za klasu duktilnosti DCM to nije potrebno.

3.3. Armiranje

Ukupni koeficijent armiranja podužnom armaturom ρ ne smije biti manji od 0,01 niti veći od 0,04. U simetričnim poprečnim presjecima stubova potrebno je obezbijediti simetrično armiranje ($\rho = \rho'$). Da bi se obezbijedio integritet čvora gređa-stub, mora se najmanje jedna šipka postaviti između ivičnih šipki duž svih strana stuba.

Da bi se osigurala minimalna duktilnost i spriječilo lokalno izvijanje podužnih šipki u primarnim seizmičkim stubovima, moraju se upotrijebiti uzengije prečnika ne manjeg od:

6 mm na razmaku ne većem od

$$s = \min \left\{ \frac{b_o}{2}; 175 \text{ mm}; 8,5 * d_{bL} \right\} \quad \text{za DCM;} \quad (18)$$

$$0,4 * d_{bL,max} * \sqrt{f_{ydL}/f_{ydw}} \quad \text{na razmaku ne većem od} \quad (19)$$

$$s = \min \left\{ \frac{b_o}{3}; 125 \text{ mm}; 6,0 * d_{bL} \right\} \quad \text{za DCH} \quad (20)$$

gdje je:

b_o – najmanja dimenzija betonskog jezgra (u težišnoj liniji uzengija),

d_{bL} – najmanji prečnik podužnih šipki armature,

$d_{bL,max}$ – najveći prečnik podužnih šipki armature.

Rastojanje između dvije susjedne podužne šipke, pridržane poprečnim vezama ili uzengijama, nije veće od 200 mm za DCM, odnosno 150 mm za DCH. Dodatno, za konstrukcije klase duktilnosti DCH se zahtijeva i da u najniže dvije etaže, zahtjevi koji se odnose na prečnik šipki uzengija, na njihov razmak, te na razmak između pridržanih šipki podužne armature u kritičnim oblastima, budu zadovoljeni i u dijelu koji za jednu polovinu nastavlja dužine kritičnih zona.

Poprečna armatura u kritičnim oblastima u osnovi primarnih seizmičkih stubova može se odrediti prema uslovima iz EN 1992-1-1:2004, pod uslovom da noramlizovano aksijalno opterećenje u seizmičkoj proračunskoj situaciji bude manje od 0,2 i da vrijednost faktora ponašanja q koji se koristi u proračunu ne bude veći od 2,0.

4. ZAKLJUČAK

Dva standarda, Evrokod 8 i Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, suštinski imaju isti koncept na kom se zasniva projektovanje i proračun seizmičkih platana (zidova za ukrućenje) kod višespratnih armiranobetonskih zgrada. Uloga seizmičkih platana jeste da ukrute konstrukciju, ograniče pomijeranja objekta, prihvate i prenesu sile od seizmičkog dejstva srazmjerno svojoj krutosti. Kruća konstrukcija vodi ka kraćim periodima oscilovanja svojstvenih tonova što za rezultat ima i više vrijednosti uticaja od seizmičkog dejstva koje treba prihvatiti ali su pomijeranja manja. Sa druge strane, fleksibilnije konstrukcije će imati duže periode oscilovanja što rezultuje i nižim seizmičkim silama ali će pomijeranja biti veća.

Seizmičko platno možemo posmatrati kao element koji se u svom poprečnom presjeku sastoji iz ivičnih elemenata i rebra koje ih povezuje. Domaćim propisima je određivanje ivičnog elementa jednostavno postavljeno kroz odredbu da platna imaju ivične elemente dimenzija najviše 1/10 dužine poprečnog presjeka zida koje treba armirati najmanje minimalnim koeficijentom armiranja od 0,15% površine poprečnog presjeka zida. Debljina zida će biti rezultat ispunjavanja uslova po dopuštenim naponima ali ne smije biti manja od 15 cm. Uz propisane minimalne koeficijente armiranja rebra zida horizontalnom i vertikalnom armaturom domaći pravilnik zaokružuje priču dimenzionisanja i armiranja seizmičkih platana.

Evrokodom 8 se proces dimenzionisanja i armiranja usložnjava na samom startu, uvođenjem različitih klasa duktilnosti koje sa sobom nose i različite zahtjeve koje je potrebno ispuniti. Zahtjevi koji se najviše razlikuju u odnosu na one iz domaćih propisa su vezani za definisanje i armiranje ivičnih elemenata zidova kojima se pridaje posebna pažnja. Postupak određivanja dužine ivičnog elementa je iterativan, na početku je potrebno pretpostaviti dužinu i armaturu elementa a onda se provjerava da li takav element ispunjava uslove utegnutosti i dilatacije pritisnutog betona. Evrokod 8 daje i minimalne dimenzije ivičnih elemenata koje zavise samo od geometrijskih karakteristika tako da su one dobra polazna tačka za proračun. Treba primijetiti da se Evrokodom 8 definiše minimalna dužina ivičnog elementa dok se domaćim standardima definiše maksimalna. Rezultat su značajne razlike u dužinama ivičnih elemenata.

Dimenzionisanje stubova i njihovo armiranje primjenom Evrokoda 8 predstavlja u mnogome komplikovaniji i kompleksniji postupak od onog kojim se poštuju domaći propisi. Posebna pažnja se pridaje definisanju zona disipacije seizmičke energije (kritičnih zona) u kojima se post-elastični rad očekuje i obezbjeđuje. Treba istaći da se o duktilnom ponašanju konstrukcije i utegnutosti presjeka vodi računa i u domaćem seizmičkom pravilniku samo ne na tako direktan i detaljan način. Koncept „jakih stubova i slabih greda“ se podrazumijeva i u našim propisima ali je jedan značajan dio odredbi ostao nedorečen u smislu definisanja koraka za njihovo praktično ispunjenje. Na primer, postoji odredba kojom se zahtijeva utegnutost zona u stubu iznad i ispod greda (ili međuspratnih konstrukcija) ali nije propisano do koje mjere niti su dati konkretniji zahtjevi kojima će se ovo smatrati ispunjeno. Umjesto toga, većina zahtjeva se smatra ispunjenim ako se ispoštuju propisi maksimalnog razmaka uzengija u stubu koji zavisi isključivo od geometrije stuba.

Činjenica je da Evrokod 8 pruža mogućnost projektantima da uz jasno i detaljno definisane odredbe projektuju konstrukcije različitih nivoa duktilnosti ali se sam proračun time dosta usložnjava i iziskuje više vremena i pažnje a kao rezultat se dobijaju AB elementi sa većim količinama armature od onih proračunatih prema domaćim propisima.

5. LITERATURA

- [1] Betonske konstrukcije u zgradarstvu prema Evrokodu, Zoran Brujić, Novi Sad, 2021.
- [2] Materijal sa predavanja i vježbi iz predmeta „Seizmička analiza konstrukcija“, Đorđe Lađinović, Andrija Rašeta, Igor Džolev, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet Novi Sad, 2021.
- [3] Pravilnik za građevinske konstrukcije, Službeni glasnik RS, br. 89/2019, 52/2020 i 122/2020
- [4] 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.
- [5] EN 1998-1: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2004.

Kratka biografija:



Stevo Lazić rođen je u Bijeljini 1991. god. Oktobra 2016. god. stiče zvanje diplomiranog inženjera građevinarstva. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Seizmička analiza konstrukcija odbranio je 2021. godine.
kontakt: stevolazic@hotmail.com