

ANALIZA ARMIRANOBETONSKOG OKVIRA VISOKE KLASE DUKTILNOSTI

Aleksandra Radujković¹,
Andrija Rašeta²,
Anka Starčev-Ćurčin³,
Mira Petronijević⁴

UDK:

Rezime: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija podrazumeva primenu postupaka proračuna koji daju dovoljno dobar uvid u veličinu svih seizmičkih zahteva – krutost, nosivost, duktelnost i disipacija energije. Seizmička analiza konstrukcija koja uvodi u proračun nosivost i duktelnost se može sprovesti samo primenom nelinearnih metoda. U radu su prikazani rezultati analize višeprate armiranobetonske zgrade koja je dimenzionisana prema EN 1992-1-1, za klasu visoke duktelnosti (EN 1998-1). Procena ponašanja za zadato seizmičko dejstvo je sprovedena konvencionalnom statickom nelinearnom ("pushover") analizom. Materijalna nelinearnost je obuhvaćena preko vlaknastog modela ("fibre model").

Ključne reči: armirano betonski okvir, pushover analiza, vlaknasti model

1. UVOD

U zemljama koje se nalaze u seizmičkim aktivnim područjima, seizmička zaštita objekata se reguliše odgovarajućim tehničkim propisima. S obzirom da se seizmički rizik u urbanim sredinama tokom vremena povećava, u svetu je realizovan niz eksperimentalnih i teorijskih istraživanja u cilju proučavanja ponašanja konstrukcija za vreme zemljotresa, a i danas su određeni aspekti seizmičke zaštite predmet intenzivnih istraživanja. U našoj zemlji još uvek su na snazi, sada već uveliko zastareli, propisi iz 1981. godine, tako da sadašnji nivo seizmičke zaštite ne obezbeđuje adekvatnu zaštitu kako privrednih resursa, tako i ljudskih života. Katastrofalne posledice iz dogodenih zemljotresa ukazuju na potrebu za novim postupcima proračuna, kao i definisanje novih projektnih kriterijuma, koji bi obezbedili potrebnu bezbednost objekata i njihovih korisnika, ali i smanjila oštećenja objekata na prihvatljiv nivo. U našoj zemlji se uskoro očekuje uvodenje evropskim normi (Evrokodova) kao naših tehničkih propisa za projektovanje

¹ Mr Aleksandra Radujković, dipl inž grad., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, tel: 485-2614, e-mail: leksa@uns.ac.rs

² Mr Andrija Rašeta, dipl inž grad., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, tel: 485-2615, e-mail: araseta@uns.ac.rs

³ Anka Starčev-Ćurčin, dipl inž grad., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, tel: 485-2616, e-mail: astarcev@uns.ac.rs

⁴ Prof., dr Mira Petronijević, dipl inž grad., Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, tel: 011/32-18-552, e-mail: pmira@grf.bg.ac.rs

građevinskih konstrukcija, pri čemu treba istaći da se u praksi Evrokovim već primenjuju za objekte ili delove noseće konstrukcije za koje ne postoji odgovarajuća važeća srpska regulativa i standardi [1].

U seizmički aktivnim područjima ekonomski je neisplativo projektovati građevinske konstrukcije koje će u slučaju dejstva jakih zemljotresa imati linearno-elastično ponašanje, sem u slučaju objekata kod kojih bi pojava oštećenja izazvala katastrofalne posledice (npr. nuklearne elektrane i sl.). Aseizmičko projektovanje armiranobetonskih (AB) zgrada zasniva se na kontrolisanom dopuštanju pojave oštećenja u pojedinim nosećim elementima ("metoda programiranog ponašanja") pri umerenim i jakim zemljotresima ali bez rušenja konstrukcije, a u cilju disipacije seizmičke energije. Pojednostavljen način na koji se mogu uvesti nelinearni efekti u proračun je analiza na linearno-elastičnom modelu sa smanjenim seizmičkim silama. Ovakvom analizom se mogu dobro proceniti sile ali ne i pomeranja i deformacijske veličine [3]. Preseci u kojima se dopušta plastifikacija moraju da zadovolje potrebnu nosivost i duktelnost, odnosno kapacitet deformacija. Potrebna nosivost na savijanje i smicanje preseka mora biti zadovoljena i unutar i van zone plastifikacije, a postiže se odgovarajućom podužnom i poprečnom armaturom. Duktelnost unutar zone plastifikacije koju armiranobetonski presek mora da poseduje, tj. da pri pojavi plastifikacije ima potreban kapacitet deformacija bez značajnog gubitka nosivosti, postiže se konstrukcijskim oblikovanjem koje se prvenstveno odnosi na postavljanje utežuće armature u poprečnom preseku. Praćenje nelinearnih deformacija konstrukcije je kvalitativno i kvantitativno jedino moguće nelinearnom analizom kod koje su pored krutosti osnovni parametri i duktelnost i nosivost [4].

U radu su dati rezultati seizmičke analize AB višespratnog regularnog okvira visoke klase duktelnosti, u skladu sa EN 1998-1 [2]. Procena neelastičnog ponašanja razmatrane konstrukcije sprovedena je nelinearnom statičkom ("pushover") analizom.

2. ASEIZMIČKO PROJEKTOVANJE AB ZGRADA

Projektovanje građevinskih konstrukcija na dejstvo uobičajenih eksploracionih opterećenja i aseizmičko projektovanje u osnovi imaju potpuno različitu konцепцију. U prvom slučaju, uvedenjem koeficijenata sigurnosti pri dimenzionisanju poprečnih preseka elemenata konstrukcije, obezbeđuje se zaštita od dostizanja kapaciteta nosivosti. Nasuprot ovome, u drugom slučaju se kontrolisano dopušta dostizanje nosivosti ali uz obezbeđenje dovoljanog kapaciteta deformisanja, tj. duktelnosti [4].

U EN 1998-1 je propisan koncept projektovanja seizmički otpornih konstrukcija koji se zasniva na kontrolisanom smanjenju nosivosti, preko smanjenja seizmičkih sila, koje se postiže primenom faktora ponašanja koji praktično smanjuju vrednosti elastičnog spektra odgovora. Potrebna nosivost određuje se za projektni nivo seizmičkih uticaja, koji je višestruko manji u odnosu na vrednosti koje bi se javile pri elastičnom odgovoru. Time se za stvarno seizmičko dejstvo dopušta nelinearni odgovor, pri čemu će konstrukcije tokom zemljotresa biti izložena seizmičkim silama koje su približno jednake njenoj nominalnoj nosivosti [3]. Na ovaj način je konstrukcija zaštićena od nepotrebnog preopterećenja, ali će se javiti određeni stepen oštećenja jer je konstrukcija prinudena da pređe u neelastičnu fazu rada.

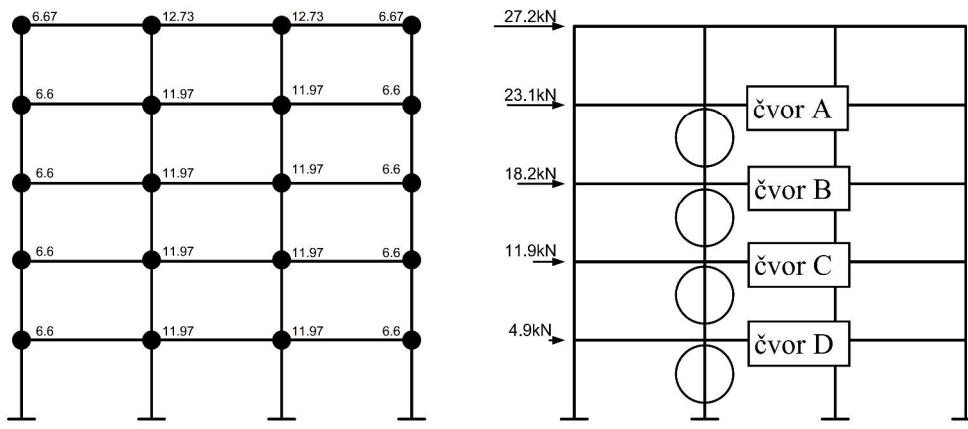
Prvi korak u seizmičkoj analizi je određivanje dinamičkih karakteristika konstrukcije, na osnovu kojih se za usvojeni seizmički hazard, važnost objekta i raspoloživu duktelnost,

određuju projektne seizmičke sile. U konstrukciji se zatim određuju uticaji usled dejstva ovih sila koje se nanose kao horizontalno staticko opterećenje prema odgovarajućoj raspodeli. Dimenzionisanje kritičnih preseka sprovodi se za merodavnu kombinaciju seizmičkog dejstva i ostalih opterećenja. Konstrukcija projektovana na ovakav način može da izdrži zemljotresno dejstvo bez rušenja, ali sa pojavom oštećenja na unapred definisanim mestima konstrukcijskih elemenata, pod uslovom da karakteristike stvarnog zemljotresa odgovaraju usvojenom seizmičkom hazardu. Nakon dimenzionisanja se sprovodi konstrukcijsko oblikovanje koje se prvenstveno odnosi na utezanje kritičnih poprečnih preseka uzengijama u cilju postizanja dovoljne duktilnosti. Nakon ovoga se može pristupiti nelinearnim analizama koje služe za procenu ponašanja konstrukcije nakon pojave oštećenja u pojedinim elementima, sa osnovnim ciljem da se utvrdi da li će doći do pojave mehanizma loma za usvojeni nivo seizmičkog hazarda.

3. NUMERIČKI PRIMER

Analizirana je petospratna armiranobetonska zgrada u skladu sa odredbama datim u EN 1992-1-1 [1] i EN 1998-1 [2]. Objekat ispunjava uslove regularnosti u osnovi i po visini, pa se proračun može sprovesti na ravanskom modelu sa zanemarenjem deformabilnosti temeljnog tla. Razmatrani petospratni armiranobetonski ram je regularna konstrukcija konstantne spratne visine $h = 3,0$ m, sa tri polja jednakih raspona $l = 5,0$ m. Dimenzije poprečnih preseka stubova su 40/40 cm, a greda 30/45 cm.

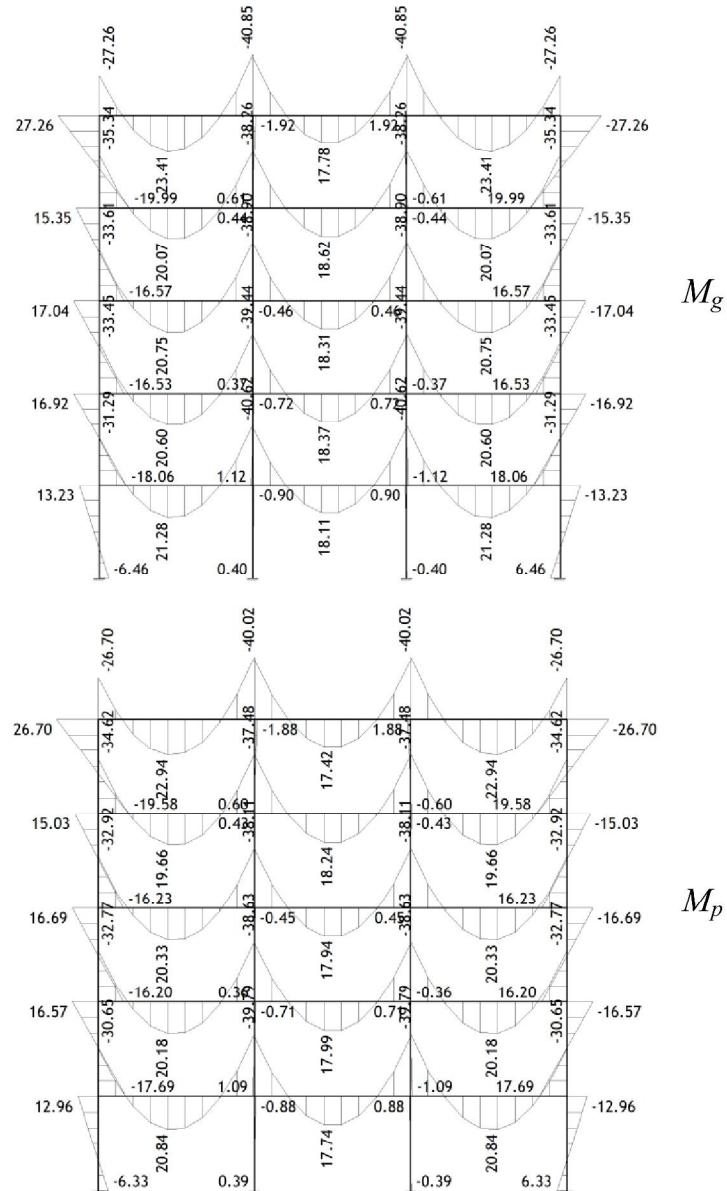
Pri analizi su razmatrani uticaji od seizmičkog dejstva i gravitacionog (stalnog i promenljivog) opterećenja. Radi uzimanja u obzir efekata prslina, izvršena je redukcija fleksionih i smičućih karakteristika poprečnih preseka, a usvojena je jedna polovina od vrednosti karakteristika homogenih (neisprskalih) preseka. Mase dinamičkog modela su određene iz ukupnog stalnog i verovatnog promenljivog opterećenja, koje je uzeto sa koeficijentom kombinacije 0,3 za krov i 0,15 za ostale spratove. Ukupna masa dinamičkog modela iznosi 187,4 tona (sl. 1a).



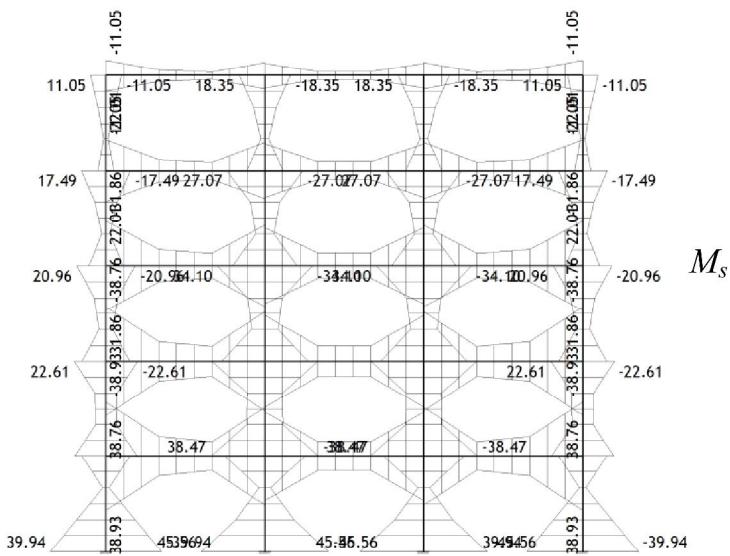
Slika 1. Raspored: a) masa dinamičkog modela; b) seizmičkih sila prvog tona

Seizmički uticaji su određeni multimodalnom analizom sa projektnim spektrom za horizontalan pravac. U EN 1998-1 je propisan elastični spektar odgovora za horizontalno

seizmičko dejstvo sa sledećim parametrima: tip 1 elastičnog spektra odgovora, B kategorija tla ($S = 1,20$, $T_b = 0,15$, $T_c = 0,5$ i $T_d = 2,0$ s), maksimalno ubrzanje tla $a_g = 0,2\text{g}$, faktor korekcije usled prigušenja $\eta = 1$ i faktor značaja zgrade $\gamma = 1$. Za analiziranu konstrukciju AB rama usvojena je visoka klasa duktilnosti DCH, za koju je određen ukupan faktor ponašanja $q = 5,85$. Pri određivanju seizmičkih sila uzeta su u obzir prva dva tona vibracija čiji je zbir efektivnih modalnih masa jednak 93% od ukupne mase konstrukcije. Prvi ton vibracija generiše 83%, a drugi 10% efektivne modalne mase. Periodi vibracija prvog i drugog tona iznose $T_1 = 0,93$ i $T_2 = 0,29$ s.

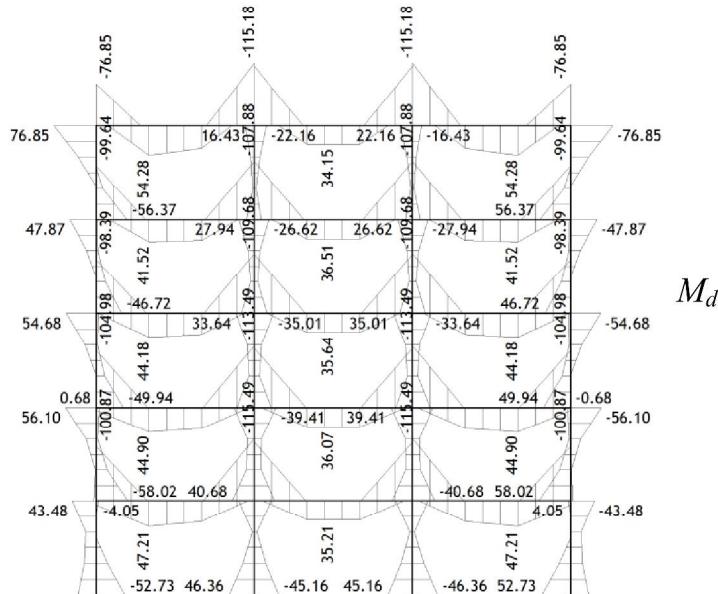


Slika 2. Dijagrami momenata savijanja od stalnog i promenljivog opterećenja



Slika 3. Dijagram momenata savijanja od seizmičkog dejstva

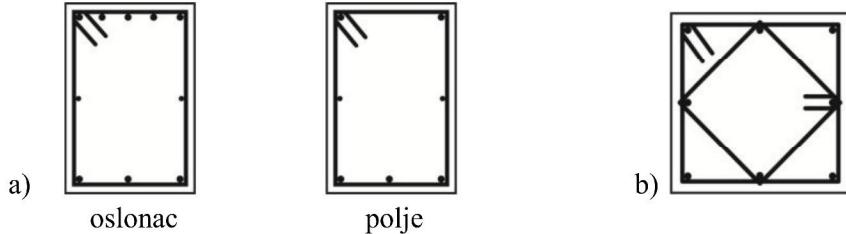
Ukupna vrednost projektne seizmičke sile iznosi $F_b = 87,4$ kN. Na slici 1b prikazan je raspodela seizmičkih sila osnovnog tona čija je ukupna vrednost $F_{b1} = 85,2$ kN. Uticaji u konstrukciji (momenti savijanja) od gravitacionog opterećenja prikazani su na slici 2, a od seizmičkog dejstva na slici 3.



Slika 4. Anvelopa momenata savijanja merodavnih kombinacija dejstava

Dimenzionisanje elemenata konstrukcije je sprovedeno na osnovu merodavnih kombinacija dejstava (sl. 4). Za dimenzionisanje nosećih elemenata su korišćeni beton C25/30 i armatura S500 klase C, a usvojena količina i raspored armature u gredama i stubovima prikazani su na slici 5. Stubovi su armirani sa $8\varnothing 16$ i utegnuti četvorosečnim uzengijama

U \varnothing 10/7,5cm na dužini kritične oblasti, a na ostaloj dužini U \varnothing 10/15cm. Grede su kod oslonaca armirane u gornjoj zoni sa 5 \varnothing 14 i donjoj zoni sa 3 \varnothing 14, a u polju u donjoj zoni sa 3 \varnothing 14 i u gornjoj zoni sa 2 \varnothing 14 (sl. 5). Usvojene su uzengije u oslonačkoj zoni greda U \varnothing 8/7,5cm, a u polju U \varnothing 8/20cm.



Slika 5. Usvojena armatura: a) greda, b) stub

Pored potrebne nosivosti, u kritičnim presecima su zadovoljeni i uslovi lokalne duktilnosti (tabela 1). Sume momenata nosivosti za stubove i grede u čvorovima rama za merodavnu seizmičku kombinaciju su prikazane u tabeli 2.

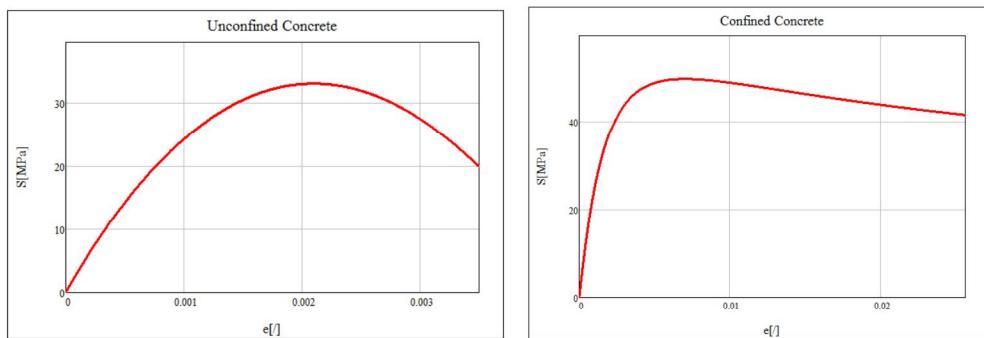
Tabela 1. Zadovoljenje uslova lokalne duktilnosti (EN 1998-1)

Grede (oslonac)	Stubovi
Koeficijent armiranja zategnute zone $\rho = 0,6335\% \leq \rho_{\max} = 0,677\%$ Koeficijent armiranja pritisnute zone $\rho' = 0,3801\% \geq \rho_{zat}/2$ Dužina kritične oblasti $l_{cr,usv} = 1,0 \text{ m} \geq l_{cr,rač} = 0,675 \text{ m}$	Ukupni koeficijent armiranja $\rho_{\min} = 0,01 \leq \rho = 0,01 \leq \rho_{\max} = 0,04$ Dužina kritične oblasti $(l_{cr}/h_c = 2,55/0,4 = 6 > 3 \Rightarrow l_{cr} = 0,6 \text{ m})$ Ispunjeno zahteva za adekvatno utezanje preseka $\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \epsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$ $(0,311 \geq 0,283)$

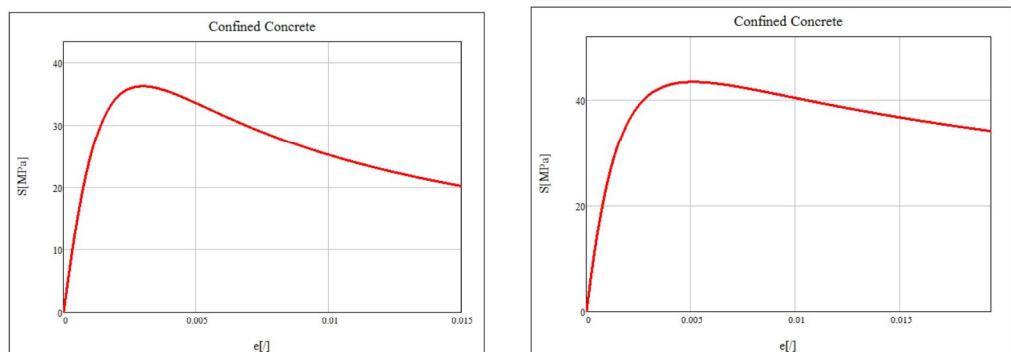
Tabela 2. Odnos momenata nosivosti stubova i greda u unutrašnjim čvorovima rama

Čvor	Stubovi	Grede	$\Sigma M_{Rc} / \Sigma M_{Rb}$
A	$N = -106 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 140 \text{ kNm}$ $N = -200 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 152 \text{ kNm}$	$N \approx 0; M_{Rb} = +87 \text{ kNm}$ $N \approx 0; M_{Rb} = -145 \text{ kNm}$	$(140+152)/(87+145) = 1,3$
B	$N = -210 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 153 \text{ kNm}$ $N = -303 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 165 \text{ kNm}$	$N \approx 0; M_{Rb} = +87 \text{ kNm}$ $N \approx 0; M_{Rb} = -145 \text{ kNm}$	$(153+165)/(87+145) = 1,4$
C	$N = -313 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 166 \text{ kNm}$ $N = -406 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 178 \text{ kNm}$	$N \approx 0; M_{Rb} = +87 \text{ kNm}$ $N \approx 0; M_{Rb} = -145 \text{ kNm}$	$(166+178)/(87+145) = 1,5$
D	$N = -416 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 179 \text{ kNm}$ $N = -510 \text{ kN}; M_{Rc} = \pm 189 \text{ kNm}$	$N \approx 0; M_{Rb} = +87 \text{ kNm}$ $N \approx 0; M_{Rb} = -145 \text{ kNm}$	$(179+189)/(87+145) = 1,6$

Nakon definisanja svih geometrijskih i mehaničkih karakteristika rama, sprovedena je nekinearna statička ("pushover") analiza. Materijalna nelinearnost je uvedena u proračun preko vlaknastog modela plastičnog zgloba [7]. Poprečni presek je definisan preko tri vrste vlakana: utegnuti deo preseka (jezgro), neutegnuti deo preseka (zaštitni sloj betona do armature) i armatura. Veza napon-dilatacija za neutegnuti i utegnuti deo poprečnog preseka stuba je prikazana na slici 6, a za utegnuti deo poprečnog preseka grede u polju i kod oslonca na slici 7.

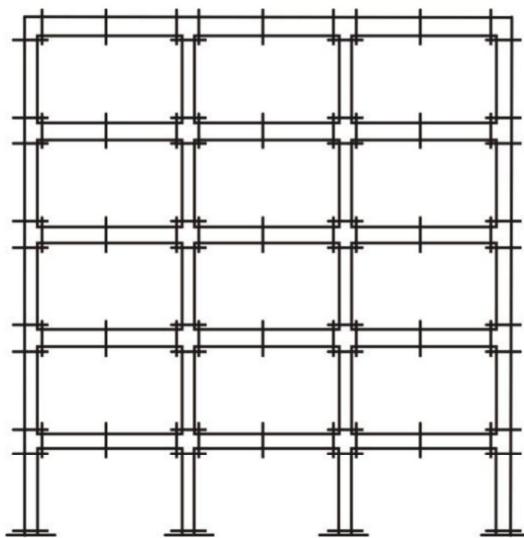


Slika 6. Veza napon – dilatacija (levo – neuteguti beton; desno – utegnuti beton stuba)



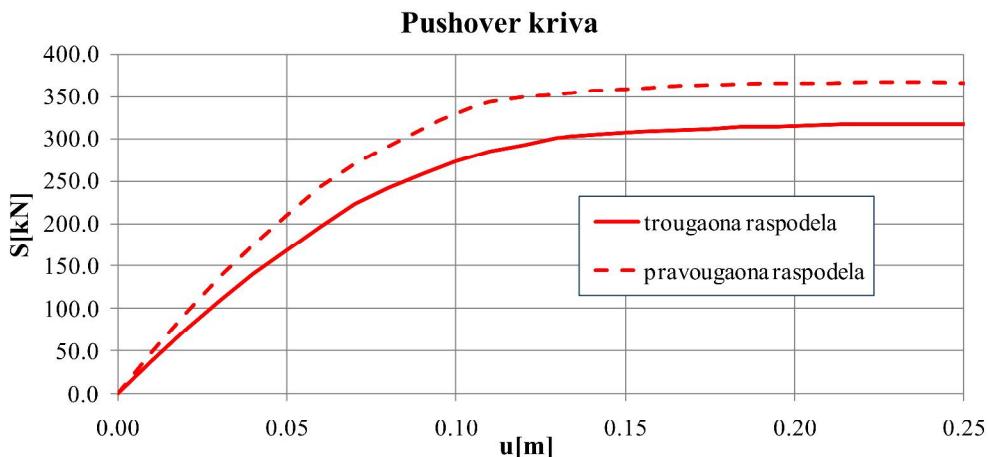
Slika 7. Veza napon – dilatacija za utegnuti beton grede (levo – presek u polju; desno – presek kod oslonca)

Plastični zglobovi su modelirani na krajevima stubova i na krajevima i u sredinama greda armiranobetonskog rama (sl. 8). Dužina zone plastičnog zgloba je usvojena da je jednaka visini odgovarajućeg poprečnog preseka.



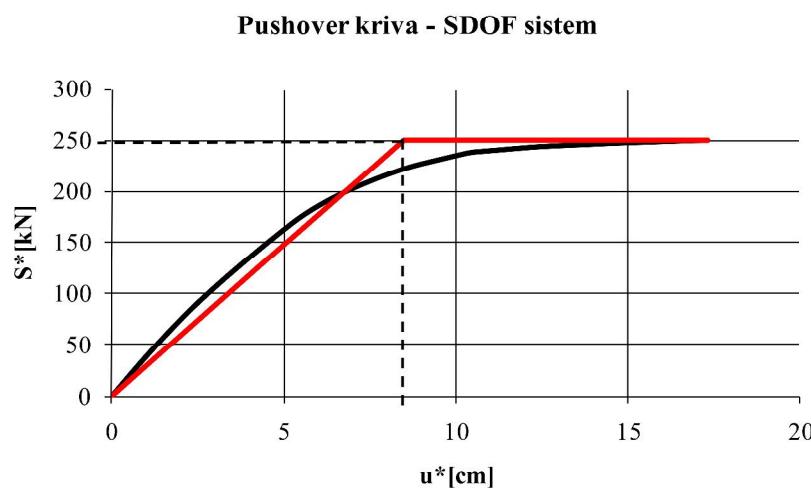
Slika 8. Mesto mogućih plastičnih zglobova – vlaknasti model

Nelinearnom statičkom analizom određene su "pushover" krive za uniformnu i trougaonu raspodelu bočnog opterećenja po visini zgrade (sl. 9). Na osnovu dobijenih rezultata proračuna za dve različite raspodele bočnog opterećenja, primetan je veoma sličan oblik zavisnosti sila-pomeranje, kao i da razlike između vrednosti baznih sila pri istoj vrednosti horizontalnog pomeranja ne prelaze približno 10%. Sve ovo ukazuje na regularnost konstrukcije i ostvarenu ujednačenost krutosti i nosivosti po visini zgrade. Za sve dalje analize u ovom radu korišćena trougaona raspodela bočnih sila, koja više odgovara obliku vibracija osnovnog tona razmatranog rama.



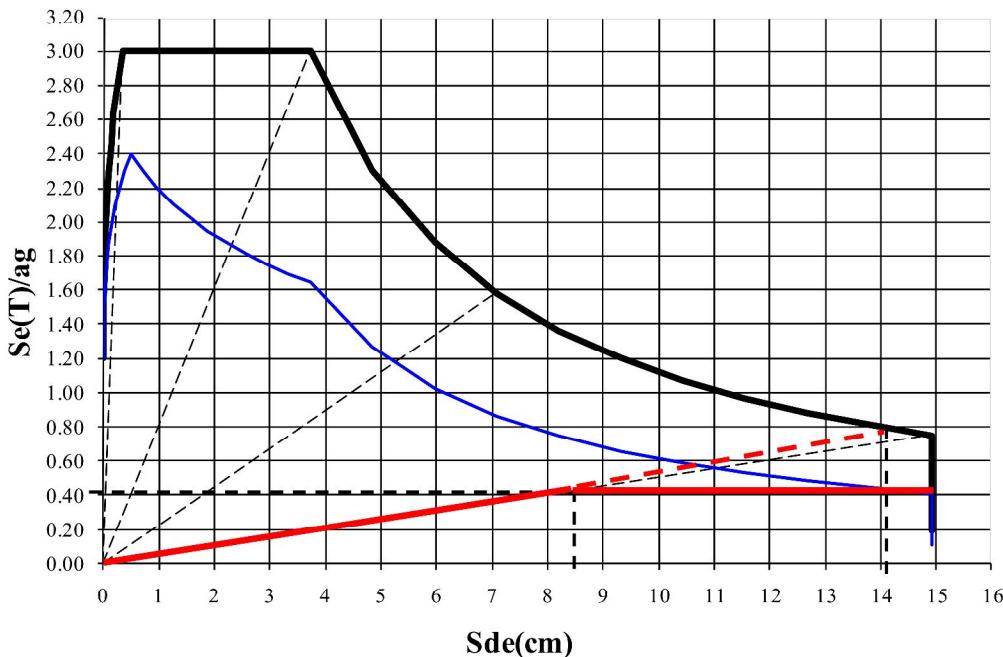
Slika 9. Pushover krive višaspratne konstrukcije – vlaknasti model

Ciljno pomeranje je određeno N2 metodom [6], na osnovu "pushover" krive dobijene analizom sistema sa više stepeni slobode pomeranja ($V_{max} = 317 \text{ kN}$ pri $d = 22 \text{ cm}$; $\Gamma = 1,27$). Transformacija "pushover" krive na krivu kapaciteta i njena bilinearizacija (sl. 10), omogućuju da se odrede karakteristike ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode: $F_y = 249,6 \text{ kN}$; $T^* = 1,86 \text{ s}$; $m^* = 123 \text{ t}$; $S_{ae}/a_g = 0,75$; $S_{ay}/a_g = 0,41$.



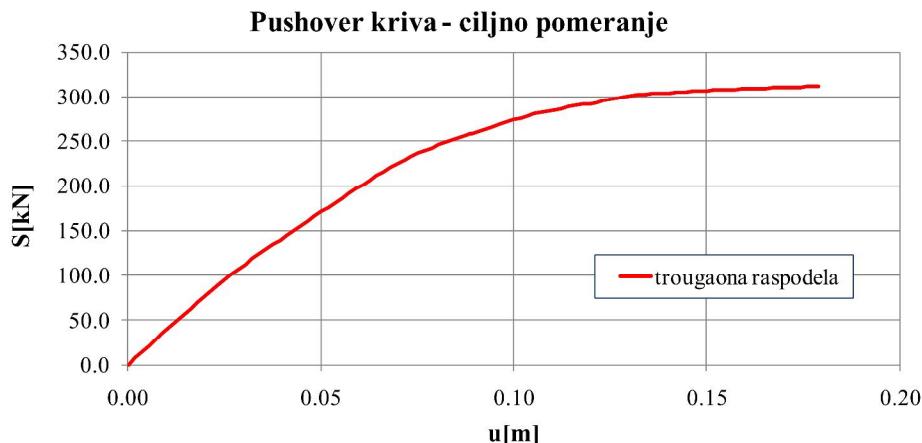
Slika 10. N2 metoda – SDOF sistem – vlaknasti model

Nakon što se odrede karakteristike ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode, potrebno je konstruisati krive seizmičkih zahteva i krivu kapaciteta za razmatranu konstrukciju na istom dijagramu (sl. 11), što omogućuje da se odredi ciljno pomeranje ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom – za zadato seizmičko dejstvo i usvojene karakteristike konstrukcije dobijeno je ciljno pomeranje u iznosu $d_t = S_{dt} = 14,1$ cm.



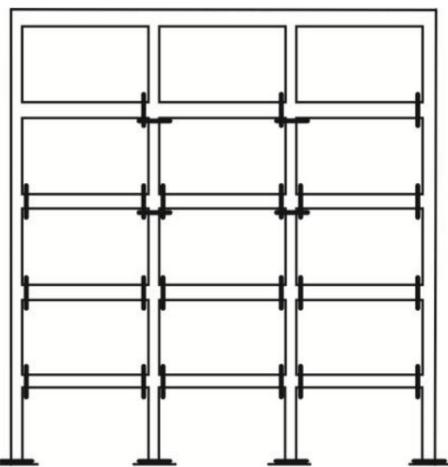
Slika 11. N2 metoda – određivanje ciljnog pomeranja SDOF sistema

Na osnovu vrednosti ciljnog pomeranja ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode $d_t = 14,1$ cm, određeno je ciljno pomeranje sistema sa više stepeni slobode pomeranja $u_t = 17,9$ cm, tj. pomeranje vrha zgrade koje odgovara projektnom nivou seizmičkog dejstva. Nakon toga, ponovnom primenom nelinearne statičke analize, odredena je "pushover" kriva pri ostvarenom ciljnem pomeranju u_t (sl. 12).



Slika 12. Pushover kriva pri ostvarenom ciljnem pomeranju – vlaknasti model

Na osnovu veze moment-rotacija u pojedinim plastičnim zglobovima pri dostignutom ciljnom pomeranju vrha zgrade, formirana je šema plastičnih zglobova (sl. 13).



Slika 13. Raspored plastičnih zglobova pri ostvarenom ciljnom pomeranju

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je došlo do plastifikacije u pojedinim poprečnim preseцима i stubova i greda, ali bez formiranja potpunog mehanizma loma. Nelinerne deformacije (a samim tim i oštećenja) dominantno su se javila na krajevima greda, što je u skladu sa konceptom projektovanja armiranobetonskih konstrukcija zgrada u seizmički aktivnim područjima.

4. ZAVRŠNE NAPOMENE

Ponašanje konstrukcija za vreme jakih zemljotresa je veoma teško pouzdano predvideti. Ovo je posledica stohastičke prirode zemljotresa, nedovoljnog poznavanja parametara lokacije i ponašanja konstrukcije u nelinearnom području. Određivanje dinamičkih uticaja u konstrukciji usled dejstva zemljotresa zasnovano je na teoriji vibracija. Međutim, u praktičnim proračunima seizmička analiza uobičajeno se sprovodi primenom ekvivalentne statičke metode, naročito za jednostavne konstrukcije. Time se, za praktično rešavanje problema seizmičke zaštite, zadatak svodi na statički problem. Kako na osnovu statičke teorije nije moguće odrediti realnu vrednost seizmičkog dejstva i stvarni raspored inercijalnih sila za vreme zemljotresa, to se u seizmičkoj analizi moraju uzeti u obzir i dinamičke karakteristike konstrukcije – svojstvene vrednosti i svojstveni oblici vibracija. Za analizu uticaja zemljotresa potrebno je usvojiti odgovarajući dinamički model i definisati pobudu u zavisnosti od načina prikazivanja seizmičkog dejstva. Stvarno ponašanje građevinskih konstrukcija pri dejstvu jakih zemljotresa, moguće je proceniti samo primenom nelinearnih metoda analize.

U radu su prikazani rezultati analize višesprate armiranobetonske zgrade koja je dimenzionisana prema EN 1992-1-1, za klasu visoke duktilnosti u skladu sa EN 1998-1. Procena ponašanja za zadato seizmičko dejstvo je sprovedena konvencionalnom nelinearnom statičkom ("pushover") analizom. Materijalna nelinearnost je obuhvaćena primenom vlaknastog modela ("fibre model"). Za nelinearnu analizu su korišćena dva matematička

modela – prvi je sistem sa više stepeni slobode (MDOF), a drugi sistem sa jednim stepenom slobode (SDOF). Za određivanje uticaja u MDOF modelu koristi se nelinearna statička analiza da bi se odredila "pushover" kriva, koja se zatim idealizuje da bi se odredile karakteristike ekvivalentnog SDOF sistema i konvertuje u krivu kapaciteta. Komparacijom krive kapaciteta i spektralnih krivi pobude, utvrđuje se odnos kapaciteta sistema i veličine seizmičkih zahteva – potrebne nosivosti i ciljnog pomeranja.

Za razmatrani nivo seizmičkog dejstva i date karakteristike noseće konstrukcije, zbog usvojene visoke klase duktilnosti (DCH), kombinacija opterećenja koja sadrži seizmičko dejstvo nije bila merodavna za dimenzionisanje poprečnih preseka, odnosno efekti zemljotresa nisu dovoljno izraženi u odnosu na uticaje gravitacionog opterećenja. Takođe, usvojena visoka klasa duktilnosti ima strožije zahteve za konstrukcijsko oblikovanje detalja armature.

Uslov $\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \Sigma M_{Rb}$, potreban da se spreči formiranje plastičnog mehanizma u vidu fleksibilnog sprata, zadovoljen je u svim čvorovima (tabela 2). Međutim, do plastifikacije poprečnih preseka stubova (sl. 13) je došlo u čvorovima kod kojih je odnos zbiru proračunskih vrednosti momenata nosivosti stubova i greda blizak graničnoj vrednosti. Iako je došlo do nelinearnih deformacija poprečnih preseka na krajevima srednjih stubova trećeg i četvrtog sprata (u veoma malom iznosu), raspored plastičnih zglobova pri cilnjom pomeranju pokazuje da nije došlo do formiranja potpunog mehanizma loma.

Primenom nelinearne ("pushover") analize može se proceniti stvarno (očekivano) ponašanje konstrukcije pri dejstvu jakih zemljotresa. Na osnovu rezultata "pushover" analize može se proceniti da li neka određena konstrukcija poseduje potrebnu nosivost i dovoljan kapacitet deformisanja za projektno seizmičko dejstvo. "Pushover" analizom se mogu proveriti ili korigovati vrednosti faktora multiplikacije α_u/α_l , koji se koristi pri određivanju ukupnog faktora ponašanja q . Za razmatranu konstrukciju faktor ponašanja je određen sa preporučenom vrednošću faktora u iznosu $\alpha_u/\alpha_l = 1,3$. Stvarna vrednost ovog faktora, tj. rezerva nosivosti, određena na osnovu "pushover" krive za trougaonu raspodelu seizmičkih sila po visini zgrade iznosi $\alpha_u/\alpha_l = 1,52$ (sl. 9).

Za razmatranu konstrukciju i seizmičko dejstvo dobijene su zadovoljavajuće vrednosti nosivosti, krutosti i duktilnosti. Ovo ukazuje da regularni AB okvir, kod kojih su noseći elementi dimenzionisani u saglasnosti sa EN 1998-1 a seizmički uticaji određeni primenom uprošćenih postupaka, mogu da razviju povoljne plastične mehanizme i time omoguće prihvatanje seizmičkih sila i disipaciju energije pri cikličnim deformacijama.

Zahvalnost: Rad je urađen u okviru naučno-istraživačkog projekta TR 36043 "Razvoj i primena sveobuhvatnog pristupa projektovanju novih i proceni sigurnosti postojećih konstrukcija za smanjenje seizmičkog rizika u Srbiji" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Bešević M., Landović A., Kukaras D., Trujić T.: Analiza nosivosti spregnutih AB okruglih stubova sa krutim čeličnim pofilima, Zbornik radova Građevinskog fakulteta, Subotica, br. 19, str. 79-91, **2010**.
- [2] EN1992-1-1, Design of Concrete Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, **2004**.

- [3] EN1998-1, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, **2004**.
- [4] Lađinović Đ., Radujković A., Rašeta A.: Procena duktilnosti armiranobetonskih konstrukcija. Savez građevinskih inženjera i tehničara, Zbornik radova sa prvog naučno – stručnog savetovanja "Zemljotresno inženjerstvo i inženjerska seizmologija", Sokobanja, maj **2008.**, str. 121-126.
- [5] Lađinović Đ.: Savremene metode seizmičke analize konstrukcija zgrada. Materijali i konstrukcije, **2008**, Vol. **51** (2), str. 25-40.
- [6] Radujković A., Rašeta A., Lađinović Đ.: Mogući mehanizmi loma petospratne ramovske konstrukcije. JDGK, 12. kongres, Vrnjačka Banja, 26.-29. septembar **2006**, Zbornik radova, Knjiga 2, T-6, str. 47-52.
- [7] Radujković A., Rašeta A., Lađinović Đ.: Seizmička analiza AB okvirne konstrukcije primenom nelinearne metode N2, DGKS, Simpozijum 2008, Zlatibor, 24.-26. septembar **2008.**, Zbornik radova, str. 391-398.
- [8] Rašeta A., Radujković A., Lađinović Đ.: Modeliranje plastičnih zglobova za "pushover" analizu višespratnih okvira, iNDiS (5; Novi Sad), Novi Sad, **2009.**, Zbornik radova, str. 369-376.

ANALYSIS OF A REINFORCED CONCRETE HIGH DUCTILITY CLASS FRAME

Summary: *A design on a seismically resistant construction involves the usage of design procedures that provide a sufficient insight into the size of all seismic requirements - stiffness, load capacity, ductility and energy dissipation. Seismic Analysis of Structures, which introduces the design capacity and ductility, can be carried out only by applying nonlinear methods. The paper presents the results of the analysis on a multi-storey reinforced concrete building that is dimensioned according to the EN 1992-1-1, for a class of high ductility (EN 1998-1). The evaluation of behavior for a given seismic action is carried out by a conventional nonlinear static ("pushover") analysis. The material nonlinearity is covered by the fiber model.*

Key words: reinforced concrete frame, pushover analysis, fiber model