

**NELINEARNA STATIČKA ANALIZA ZIDANE ZGRADE HOTELA SPRATNOSTI
Po+Pr+4 U BORU****NONLINEAR STATIC ANALYSIS OF A MASONRY HOTEL BUILDING BSMT+GF+4 IN
BOR**

Marijana Janićijević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je prikazan projekat višespratne zidane zgrade hotela spratnosti (Po+Pr+4) na području Bora, prema Evrokod standardima. Seizmički odgovor zidane zgrade je ocenjen sprovođenjem nelinearne statičke – pushover analize, na prostornom modelu formiranom od ekvivalentnih okvira. Vršeno je praćenje ponašanja objekta tokom postepenog povećavanja seizmičkog opterećenja (ubrzanja tla) uz primenu softvera „AmQuake“, u cilju utvrđivanja granične vrednosti ubrzanja za koje konstrukcija ima zadovoljavajući odgovor. Proračunate su vrednosti faktora prekoračenja (OSR), duktilnosti (μ) i faktora ponašanja (q) kako bi se uporedile sa vrednostima dobijenim u softveru i onima datim u Evrokodu.

Ključne reči: : višespratna zidana zgrada, model ekvivalentnog okvira, pushover analiza, OSR faktor.

Abstract – The paper contains the design project of multi-storey masonry hotel building (Bsmt+GF+4) in Bor, according to Eurocode standards. The seismic response of a masonry building was assessed by conducting a nonlinear static- pushover analysis, on a spatial model formed of equivalent frames. The behaviour of the object was monitored during the gradual increase of seismic load (soil acceleration) with the use of „AmQuake“ software, in order to determine the limit value of acceleration for which the structure has a satisfactory response. Overstrength factor (OSR), ductility (μ) and behaviour factor (q) values were calculated and compared with values obtained in the software and with those given in Eurocode.

Keywords: multi-storey masonry building, equivalent frame model, pushover analysis, OSR factor

1. UVOD

Aktuelnost zidanih elemenata je zadržana u dugom graditeljskom razdoblju zahvaljujući osobinama kao što su: jeftina i jednostavna proizvodnja, ekološki materijal, jednostavna gradnja i dobre toplotne karakteristike. Međutim, zidane konstrukcije su nepovoljne sa aspekta seizmičke otpornosti, jer se odlikuju veoma nepovoljnim karakteristikama kao što su velika masa, velika krutost, mala zatezna čvrstoća i niska duktilnost.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Vladimir Vukobratović.

Kada je u pitanju seizmička otpornost zidanih konstrukcija, ona se u najvećoj meri postiže upotrebom armiranobetonskih elemenata u okviru zidanih zidova.

Evrokod 6 daje opšta pravila za projektovanje nearmiranih i armiranih zidanih zgrada, dok se u Evrokodu 8 nalaze dodatna pravila koja se odnose na projektovanje zidanih zgrada u seizmički aktivnim područjima [1-2].

2. OPIS OBJEKTA

Objekat je u osnovi dimenzija 19,55x15,25 m i visine 16,2 m. U konstruktivnom smislu objekat je masivnog sistema, izrađen od zidanih zidova koji su ukrućeni horizontalnim i vertikalnim serklažima. Zidovi u prizemlju su debljine 38 cm, a na ostalim etažama su 25 cm.

Kao elementi za zidanje upotrebljeni su POROTHERM 25 S P+E i POROTHERM 38 S blokovi, koji prema Evrokodu 6 spadaju u drugu kategoriju. Blokovi su u sklop zida povezani malterom opšte namene M10 (čvrstoća 10MPa) preko horizontalnih i vertikalnih spojnika. Vrednost savojne i poprečne krutosti zidova i armiranog betona je uzeta kao 1/2 stvarne, kako bi se simulirala isprskalost preseka.

Svi armiranobetonski elementi u konstrukciji su betonirani betonom klase C 25/30. Vertikalni serklaži su dimenzija 38x38 cm (u prizemlju) i 25x25 cm (ostale etaže).

Horizontalni serklaži se oslanjaju na noseće zidove a njihova visina odgovara visinama tavanica. Dimenzije horizontalnih serklaža su 38x20 cm, odnosno 25x20 cm. Serklaži su armirani sa 4Ø14 i UØ8/15 cm.

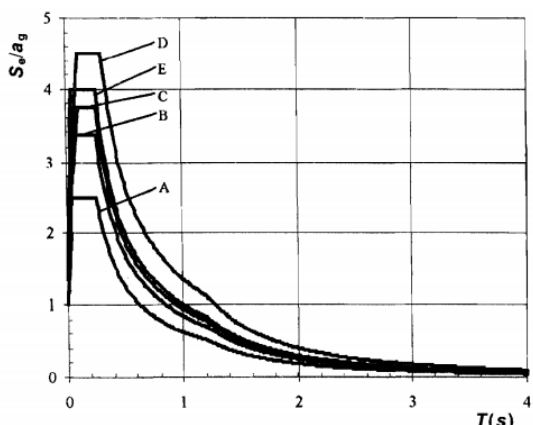
Armiranobetonske ploče su debljine 20 cm na svim etažama, uključujući i krov. Ploče su modelirane kao krute dijfragme.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Pored sopstvene težine zgrade, na konstrukciju deluju i: dodatno stalno opterećenje, promenljivo opterećenje, kao i sneg i seizmičko opterećenje. Intenzitet dodatnog stalnog opterećenja je 2,265 kN/m², dok promenljivo opterećenje na svim tavanicama (osim na krovu) iznosi 2,5 kN/m².

Opterećenje snegom na krovu iznosi 1,6 kN/m². Seizmičko opterećenje je u proračun uvedeno preko spektra odgovora.

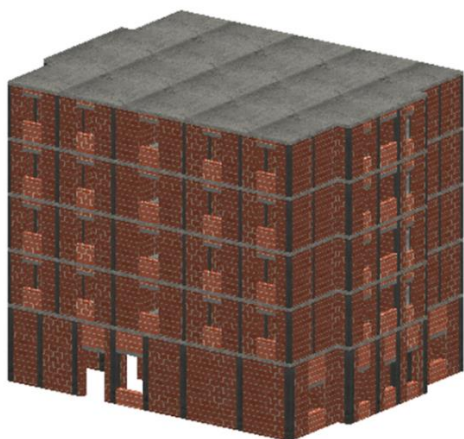
Usvojen tip tla jeste TIP D, i tip spektra 2 (Slika 1).



Slika 1. Preporučeni tip 2 elastičnog spektra odgovora za kategorije tla A do E (5% prigušenja) [1]

4. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE I OPTEREĆENJA

U modelu ekvivalentnog okvira konstrukcija je predstavljena 1D elementima postavljenim u težišnu liniju zidova, serklaža i nadvoja (Slika 2), odnosno mogu biti uzeti u obzir svi konstrukcijski elementi koji utiču na ponašanje celokupne zidane konstrukcije. Ovakvim načinom modeliranja se dolazi do sadejstva između zidova, a samim tim i do varijacije intenziteta aksijalnih sila [3].



Slika 2. 3D model zgrade

Opterećenje je moguće naneti pojedinačno po zidovima ili program na osnovu površine pojedinog zida, dodeljuje opterećenje na čvorove.

U kartici *opterećenje tavanica* je moguće definisati navedena opterećenja i omogućeno je modifikovanje parcijalnih koeficijenata za kombinaciju opterećenja. Opterećenje se zadaje za svaku međuspratnu konstrukciju posebno.

Na modelu je varirano ubrzanje sa hodom od 0,02 g, i vršena je provera za koje maksimalno ubrzanje bi zgrada imala zadovoljavajući odgovor. Klasa značaja objekta je II (obične zgrade) i faktor $\gamma_I = 1$.

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I \quad (1)$$

$$a_{g,ULS} = 0,10 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,0 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,12 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,2 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,14 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,4 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,16 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,6 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,18 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,8 \frac{m}{s^2}$$

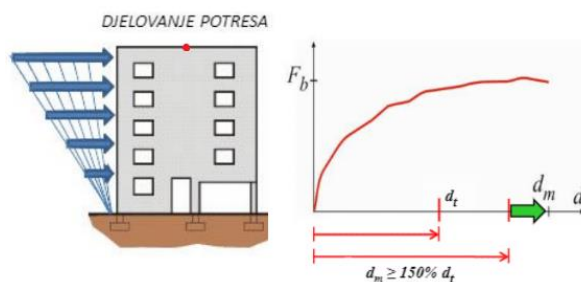
$$a_{g,ULS} = 0,20 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 2,0 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,21 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 2,1 \frac{m}{s^2}$$

5. PUSHOVER ANALIZA

Metoda postupnog guranja, odnosno pushover metoda, je nelinearna statička metoda proračuna novih ili postojećih objekata. Glavni princip metode je praćenje odgovora konstrukcije za rastuću horizontalnu silu uz konstantno vertikalno opterećenje. Iz dobijenog odnosa horizontalne sile i referentnog pomeranja može se odrediti seizmička otpornost konstrukcije. Seizmičko opterećenje se inkrementalno nanosi na konstrukciju koja je prethodno u potpunosti opterećena vertikalnim opterećenjem. Na ovaj način, simuliraju se inercijalne sile koje se javljaju u konstrukciji prilikom zemljotresa. Inkrementalnim povećavanjem opterećenja dolazi do otkazivanja pojedinih elemenata konstrukcije, što uzrokuje smanjenje krutosti.

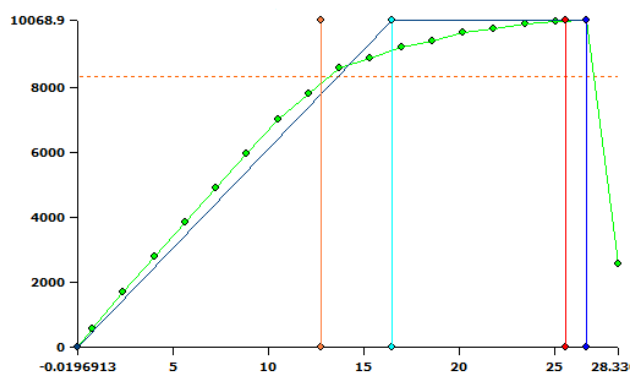
Ocena otpornosti na zemljotres se daje na temelju praćenja jednog karakterističnog čvora – kontrolnog čvora (Slika 3). Kontrolni čvor je najčešće centar masa najvišeg sprata. Na osnovu putanje kontrolnog čvora konstruiše se kriva nosivosti iz koje se može oceniti seizmička otpornost konstrukcije.



Slika 3. Kontrolno pomeranje vrha zgrade [4]

6. REZULTATI PRORAČUNA

Postupno guranje je vršeno na prostornom modelu konstrukcije u dva pravca (X, Y) za dva tipa raspodele opterećenja: ravnomernu raspodelu, gde su bočne sile proporcionalne masama bez obzira na visinski položaj i modalnu raspodelu gde su bočne sile u skladu sa raspodelom sila pri elastičnoj analizi.



Slika 4. Slučaj opterećenja koji daje najmanju rezervu nosivosti (Y-, uniformna raspodela)

U skladu sa Slikom 4, vrednosti dt_{dls} i dt_{uls} padaju na delove krive povezane sa nelinearnim odgovorom. U Tabeli 1 je dat prikaz rezultata pushover analize (prikazane Slikom 4) za slučaj opterećenja koji daje najmanju rezervu nosivosti.

Tabela 1. Tabelarni prikaz rezultata pushover analize, Y-, uniformna raspodela opterećenja

Ciljno pomeranje za GSU - dt_{dls} (mm)	12,806
Kapacitet za GSU - dc_{dls} (mm)	26,71
Ciljno pomeranje za GSN - dt_{uls} (mm)	25,613
Kapacitet za GSN - dc_{uls} (mm)	26,71
Period - T (s)	0,305
Maksimalno referentno ubrzanje tla a_g (m/s^2)	2,19
Duktilnost - μ	1,894
Faktor prekoračenja - OSR	6,055
Elastično pomeranje - dy (mm)	16,491

7. RUČNA VERIFIKACIJA REZULTATA

Izvršena je „ručna“ provera rezultata dobijenih softverom.

7.1 Ciljna pomeranja i odgovarajući kapaciteti za ULS i DLS

Ciljno pomeranje se definiše kao seizmički zahtev određen iz elastičnog spektra odgovora, preko pomeranja ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode kretanja. AmQuake koristi N2 metodu za određivanje ciljnog pomeranja.

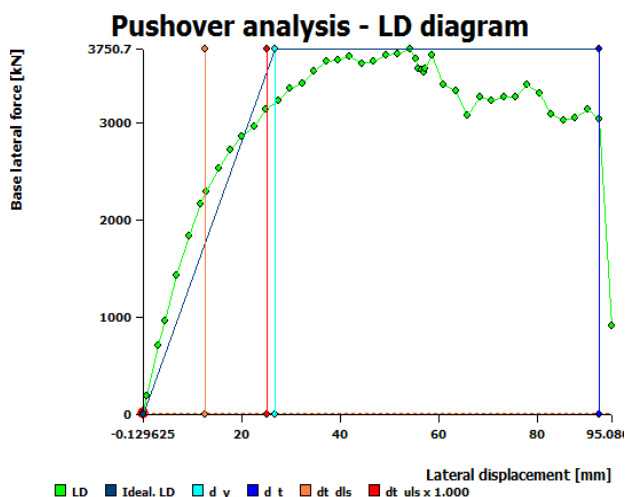
Kapacitetom konstrukcije se smatra pomeranje pri kome je prekoračen kriterijum:

$$F_{b,i} \leq 0,8 \cdot F_{b,max} \quad (2)$$

$F_{b,i}$ - smičuća sila u osnovi zgrade pri kojoj dolazi do progresivnog oštećenja i loma pojedinih elemenata sistema za prijem bočnog opterećenja;

$F_{b,max}$ - maksimalna nosivost zgrade.

Za pomeranje $d_{max} = 90,08 \text{ mm}$ (Slika 5) sila $F_{b,i}$ ima vrednost od $900,725 \text{ kN}$ a $F_{b,max}$ ima vrednost od $3750,7 \text{ kN}$, tako da je traženi uslov zadovoljen.



Slika 5. LD dijagram za slučaj opterećenja X^+ , modalna raspodela (maksimalno pomeranje)

7.2 Određivanje maksimalnog mogućeg ubrzanja a_g

Maksimalna moguća ubrzanja imaju veće vrednosti u X pravcu (Tabela 2).

Tabela 2. Vrednosti ubrzanja

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	a_g [m/s^2]
Uniformni raspored	X+	3,441
	X-	3,031
	Y+	2,894
	Y-	2,25
Modalni raspored	X+	3,993
	X-	3,022
	Y+	2,377
	Y-	3,092

7.3 Duktilnost μ

Duktilnost se računa prema sledećem izrazu:

$$\mu = \frac{d_{max}}{d_y} \quad (3)$$

d_{max} - kapacitet konstrukcije za MDOF sistem

d_y - pomeranje na granici tečenja za MDOF sistem.

Dobijene vrednosti duktilnosti su prikazane u Tabeli 3.

Tabela 3. Vrednosti duktilnosti

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	μ	AmQuake
Uniformni raspored	X+	2,93	2,931
	X-	2,34	2,34
	Y+	1,919	1,92
	Y-	1,66	1,661
Modalni raspored	X+	3,467	3,467
	X-	2,655	2,655
	Y+	1,762	1,762
	Y-	1,956	1,956

7.4 Faktor prekoračenja OSR

Faktor prekoračenja OSR se izražava preko odnosa F_y/F_{el} ili a_u/a_1 .

$$OSR = \frac{F_y}{F_{el}} \quad (4)$$

F_y - granična smičuća sila na idealizovanoj bilineralnoj krivi;

F_{el} - smičuća sila pri kojoj se formira prvi plastični zglobov. Kada se faktor prekoračenja određuje primenom pushover analize, treba koristiti nižu vrednost faktora prekoračenja dobijenih od dve raspodele bočnih sila.

U ovom slučaju, merodavna je uniformna raspodela opterećenja.

Plastični mehanizam mora biti određen za dve primenjene raspodele bočnih sila i on treba da bude u skladu sa

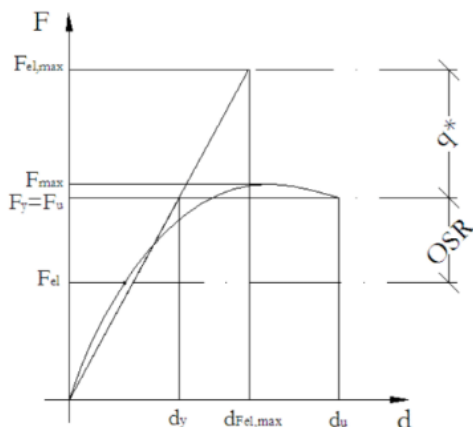
mehanizmima na kojim je zasnovan faktor ponašanja q koji se koristi u analizi.

Tabela 4. Vrednosti faktora prekoračenja OSR

X+	3,088
X-	5,750
Y+	4,966
Y-	4,598

7.5 Faktor ponašanja q

Faktor ponašanja q je aproksimacija odnosa seizmičkih sila koje bi delovale na konstrukciju u slučaju da je njen odgovor u potpunosti elastičan ($F_{el,max}$) sa 5% relativnog viskoznog prigušenja i sila koje mogu da se koriste u analizi (F_{el}) sa uobičajenim linearno-elastičnim modelom, a da se pri tome obezbeđuje zadovoljavajući odgovor konstrukcije (Slika 6). Vrednost faktora ponašanja može da bude različita za različite horizontalne pravce konstrukcije, iako će klasifikacija duktilnosti da bude ista za sve pravce.



Slika 4. Parametri za definiciju faktora ponašanja q (F - bazna smičuća sila, d - pomeranje kontrolne tačke)

Za zidane konstrukcije, kao što je to slučaj i kod drugih tipova konstrukcija (armiranobetske i čelične konstrukcije), u definiciji faktora ponašanja q potrebno je uzeti u obzir ojačanje konstrukcije preko odnosa prekoračenja (OSR). Faktor ponašanja q se tada može definisati na sledeći način:

$$q = \frac{F_{el,max}}{F_{el}} = \frac{F_{el,max}}{F_y} \cdot \frac{F_y}{F_{el}} = q^* \cdot OSR \quad (5)$$

q^* - osnovna vrednost faktora ponašanja koja uzima u obzir disipativnu sposobnost konstrukcije pomnožena sa koeficijentom prekoračenja OSR .

Tabela 5. Vrednosti faktora ponašanja q

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	q
Uniformni raspored	X+	9,048
	X-	13,46
	Y+	9,532
	Y-	7,633
Modalni raspored	X+	18,56
	X-	15,2
	Y+	8,808
	Y-	19,4

Vrednosti faktora ponašanja se kreću u intervalu od 8,8 do 19,4. Najveća vrednost je dobijena za negativni Y pravac delovanja opterećenja. Dobijene vrednosti su znatno veće od vrednosti datih u EC8-1. Naime, radi se o tome da su način modeliranja konstrukcije i obrada rezultata ključni činioci koji utiču na vrednosti faktora ponašanja.

Tabela 6. Vrednosti faktora ponašanja prema EC

Način građenja	q
Nearmirani zidovi prema EC6, slučaj niske seizmičnosti	1.5
Nearmirani zidovi prema EC8	1.5 – 2.5
Zidovi sa serklažima	2.0 – 3.0
Armirani zidovi	2.5 – 3.0

8. ZAKLJUČAK

Nakon odrađenog proračuna konstrukcije prema odredbama Evrokoda utvrđeno je da svi elementi zadovoljavaju kriterijume u pogledu nosivosti. Kao što je rečeno na početku rada, jedan od glavnih problema zidanih konstrukcija je mala seizmička otpornost. Ovaj problem se jedino može rešiti pažljivim projektovanjem, uz poštovanje svih propisa. Pored razvoja i unapređenja tehnologije proizvodnje materijala i elemenata za zidanje, adekvatnu primenu zidanih konstrukcija mora da prati i odgovarajući - savremeni koncept proračuna.

Prikazanom analizom u ovom radu, dobijaju se veće vrednosti q faktora u poređenju sa onima koje su propisane u EC8-1. Zbog upotrebe glinenih proizvoda, koji imaju visok kapacitet disipacije energije, nearmirani zidani zidovi pokazuju značajno nelinearno ponašanje. Procenjene vrednosti q faktora, primenom sprovedene *pushover* analize, predstavljaju granične vrednosti (gornju granicu q faktora), gde se sa velikom sigurnošću može predvideti adekvatno ponašanje zidane konstrukcije za projektno seizmičko dejstvo.

9. LITERATURA

- [1] EN 1996-1-1 : 2005– Evrokod 6 „Proračun zidanih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009
- [2] EN 1998-1 : 2004 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009
- [3] Vukobratović Vladimir: „Materijal za predavanja iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”
- [4] Manojlović Dragan: „Materijal za vežbe iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”

Kratka biografija:



Marijana Janićijević rođena je u Kraljevu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo –Zidane konstrukcije odbranila je 2021.god. kontakt: ivana.marija99@gmail.com