

## СЕИЗМИЧКА АНАЛИЗА АБ КОНСТРУКЦИЈЕ (Pr + 5) ПРЕМА ЕВРОКОДУ 8 SEISMIC ANALYSIS OF AN RC STRUCTURE (GF + 5) ACCORDING TO EUROCODE 8

Миодраг Ђурђевић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

**Кратак садржај** – Према пројектном задатку формиране су четири варијанте прорачунских модела на основу истог диспозиционог рјешења. Варијанте се међусобно разликују у положају и дужини сеизмичких зидова који су лоцирани у два „прстена“ у основи – спољни и унутрашњи. Фокус је на добијању резултата, за сваку варијанту посебно, који описују одговор конструкције на дејство земљотреса и њихово поређење. Разматрани параметри су период осциловања конструкције, релативна спратна помјерања, и количина потребне арматуре у сеизмичким зидовима за три различита пројектна убрзања тла. Прорачуни су спроведени у софтверу „Tower 8“.

**Кључне ријечи:** Сеизмички зидови, међуспратна помјерања, период осциловања, пројектно убрзање тла

**Abstract** – According to the project assignment, four variants of calculation models were formed based on the same layout solution. The variants differ in the position and length of the seismic walls, located in two "rings" at the base – outer and inner. The focus is on the calculated results, for each variant separately, that describe the structure's response to seismic action, and on their comparison. Important parameters are the response of a building, relative floor displacements, and required reinforcement area in seismic walls for three different design ground accelerations. The model was calculated using the "Tower 8" software.

**Keywords:** Seismic walls, Inter-story drifts, Natural period, Design ground acceleration

### 1. УВОД

Еврокод 8 (EN 1998-1:2004) прописује основне захтјеве који морају бити испуњени при пројектовању и извођењу конструкција у сеизмичким подручјима. Захтјеви подразумевају да након земљотреса објекти морају имати капацитет да се не сруше и да оштећења остану у оквиру предвиђених ограничења.

Приликом појаве земљотреса ослобађа се велика количина енергије која путем сеизмичких таласа, убрзањем тла, „напада“ конструкцију. Основна идеја је да се пројектом конструкције обезбједи одговарајући капацитет конструкције за расипање тј.

### НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била проф. др Анка Старчев-Ђурчин.

дисипацију енергије, али без преурањеног лома конструкције. Адекватним пројектним мјерама се обезбјеђује потребна дуктилност објекта и обезбјеђују се оштећења у унапријед дефинисаним зонама конструкције.

Методом програмираног понашања добијамо хијерархију носивости конструктивних дијелова и облика ломова преко којих се обезбјеђује одговарајући пластични механизам и избјегавају могући крти ломови.

Пројектни ниво конструкције се одређује фактором понашања ( $q$ ) који се користи за смањење сеизмичких сила добијених линеарном анализом, са намјером да се у обзир узме и нелинеарни одговор конструкције. Овим фактором се редукује еластични спектар одговора. Степен редукције расте са порастом класе дуктилности. Такође, вриједност фактора понашања зависи и од конструктивног система и регуларности конструкције по висини.

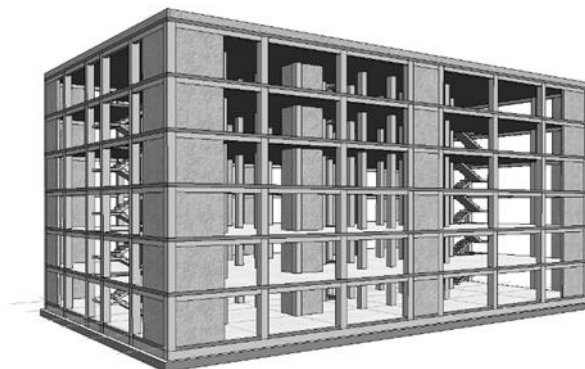
## 2. ПРЕДМЕТ РАДА И ОПИС КОНСТРУКЦИЈЕ

### 2.1 Предмет рада

Предмет рада је да се на једном диспозиционом рјешењу армиранобетонске (АБ) зграде анализирају четири варијанте положаја зидова за укрућење и упореде сеизмички утицаји на конструкцију према различитом параметру пројектног убрзања тла, конкретно:

- Периоди осциловања  $T$ ,
- Међуспратна релативна помјерања,
- Потребна арматура у зидовима за укрућење за  $a_g = 0,10 g$ ,  $a_g = 0,15 g$  и  $a_g = 0,20 g$ .

### 2.2 Опис конструкције



Слика 1 – Просторни приказ објекта

Анализирани објекат је вишеспратна АБ конструкција спратности Pr + 5, Слика 1. У основи, објекат је

димензија 39,50 x 23,50 m. Растер оса у Х-правцу је 3 x 6,00 + 3,00 + 3 x 6,00 m, а у Y-правцу је 2 x 5,00 + 3,00 + 2 x 5,00 m. Висина објекта је 18,45 m од коте подне плоче, а дубина фундирања је 1,20 m. Свијетла висина свих етажа је 2,80 m.

Конструктивни систем према облику и распореду главних носећих елемената класификује се као скелетни систем који се састоји од АБ рамова постављених у два ортогонална правца и АБ зидова за укрућење.

Објект је фундиран на пуној АБ плочи ојачаној гредама у два ортогонална правца. Дебљина темељне плоче је 50,0 cm. Плоча је препуштена са свих ободних страна по 30,0 cm у односу на темељне греде, а 55,0 cm у односу на ободне осе. Темелјне греде су димензија 50 x 100 cm, с тим да је у димензије темелјних греда урачунат и дио који улази у темелјну плочу.

Међуспратне плоче су пуне АБ плоче дебљине 20,0 cm. Директно се ослањају на стубове а по ободу на греде. Кровна плоча је такође дебљине 20,0 cm. Ободне греде су димензија 30,0 x 50,0 cm. Стубови су димензија 50,0 x 50,0 cm. Зидови за укрућење су дебљине 25,0 cm, а дужина сваког зида зависи од задате варијанте за анализу.

### 2.3 Варијанте за анализу

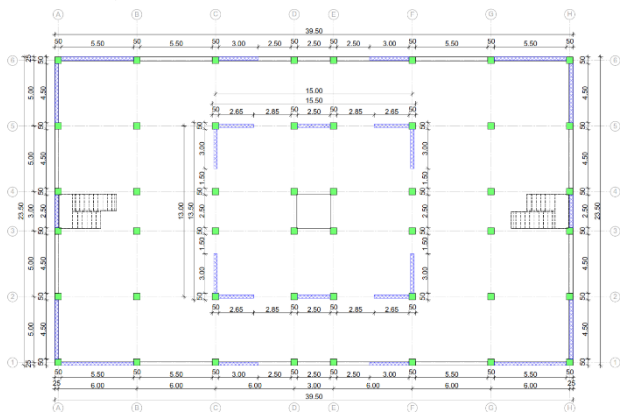
Анализиране су четири различите варијанте диспозиционог рјешења зидова за укрућење. Скелетни систем је идентичан за све варијанте.

Зидови за укрућење су лоцирани у два тзв. прстена – спољни по ободу зграде, у осама 1, 6, А и Н, и унутрашњи у осама 2, 5, С и Ф. С обзиром да одговор конструкције на сеизмичко дејство зависи од количине и распореда зидова за укрућење, формиране су четири варијанте и то тако да у наведена два положаја, прстена, дужина зидова варира од 100% (1,0L) до 50% (0,5L).

Анализирани прорачунски модели су:  
 В1 - сп1.0-ун1.0, В2 - сп1.0-ун0.5, В3 - сп0.5-ун1.0  
 В4 - сп0.5-ун0.5.

#### 2.3.1 В1 - сп1.0-ун1.0

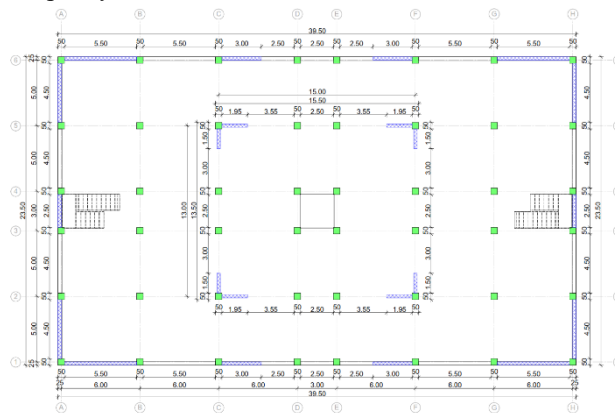
Варијанта 1 је јако укрућена конструкција и у ободном дијелу и у унутрашњем дијелу основе. Укупна дужина зидова за укрућење у Х-правцу износи 49,60 m, док у Y-правцу укупна дужина зидова износи 35,00 m, Слика 2.



Слика 2 – Основа В1

#### 2.3.2 В2 - сп1.0-ун0.5

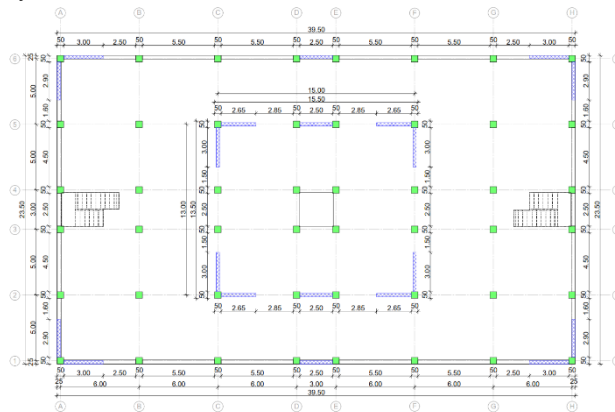
Варијанта 2 је јако укрућена конструкција у ободном дијелу основе објекта, док је унутрашњи дио зидова за укрућење редукован на 50%. Укупна дужина зидова за укрућење у Х-правцу износи 41,80 m, док у Y-правцу износи 29,00 m, Слика 3.



Слика 3 – Основа В2

#### 2.3.3 В3 – сп0.5-ун1.0

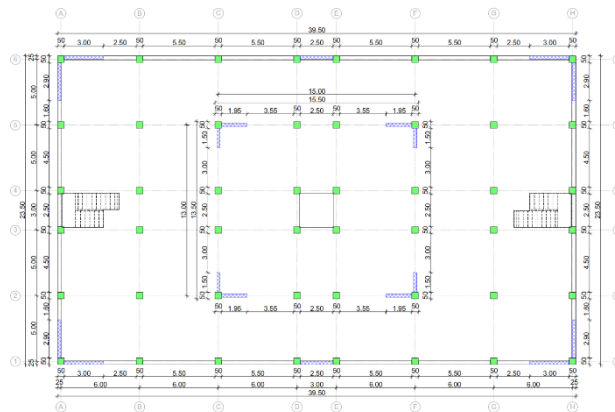
Код варијанте 3 дужина ободних зидова за укрућење је редукована на 50%, а унутрашњи зидови су дужине као у варијанти 1. Укупна дужина зидова за укрућење у Х-правцу износи 32,60 m, док у Y-правцу укупна дужина зидова износи 23,60 m, Слика 4.



Слика 4 – Основа В3

#### 2.3.4 В4 – сп0.5-ун0.5

Код варијанте 4 дужина и ободних зидова за укрућење и унутрашњих зидова редукована је на 50%. Укупна дужина зидова за укрућење у Х-правцу износи 24,80 m, док у Y-правцу укупна дужина зидова износи 17,60 m, Слика 5.



Слика 5 – Основа В4

### 3. АНАЛИЗА ОПТЕРЕЂЕЊА

Сопствена тежина конструктивних елемената аутоматски се генерише у софтверу. Интензитет овог оптерећења зависи искључиво од задате геометрије елемената и вриједности запреминске тежине.

Сопствена тежина неконструктивних елемената на објекту представља тежину облога подова, плафона, зидова, фасадне облоге, лаких преградних зидова, и нанијета је као једнакоподјелено површинско оптерећење интензитета  $3,0 \text{ kN/m}^2$  по свим међуспратним таваницама.

На кровну плочу нанијето је једнакоподјелено површинско оптерећење, као додатно стално, интензитета  $5,0 \text{ kN/m}^2$  због урачунатих слојева за непроходни кров.

Намјена објекта је пословна зграда, и према стандарду сврстава се у “Б” категорију – канцеларијске површине. На свим међуспратним конструкцијама аплицирано је једнакоподјелено површинско интензитета  $3,0 \text{ kN/m}^2$ . Кровна плоча није предвиђена за кориштење. Интензитет корисног оптерећења на кровну плочу износи  $1,0 \text{ kN/m}^2$ .

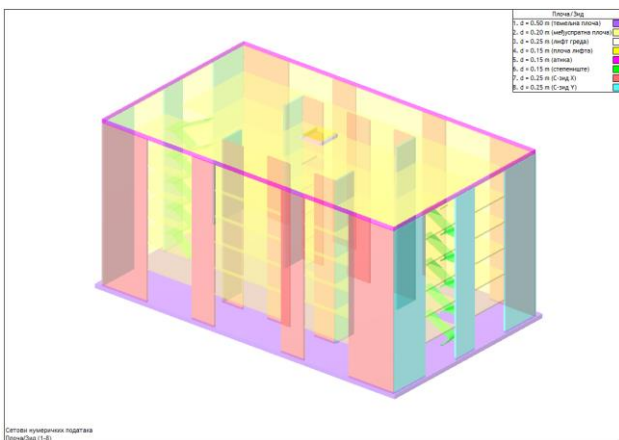
За предметни објекат усвојена надморска висина је  $< 1500 \text{ m}$ , и локација на којој није вјероватна појава изузетних сњежних падавина. Усвојена прорачунска вриједност је  $s = 1,0 \text{ kN/m}^2$ .

Сва четири модела су анализирана на три вриједности референтног максималног убрзања тла  $a_{gR}$ :  $a_{gR,1} = 0,10 \text{ g}$ ,  $a_{gR,2} = 0,15 \text{ g}$ ,  $a_{gR,3} = 0,20 \text{ g}$ ,

### 4. МОДЕЛИРАЊЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

За формирање модела кориштен је софтвер “Tower - 3D Model Builder 8.4 [8459]”, Слика 6.

Материјал кориштен за све елементе конструкције је бетон С35/45. Плоче и зидови представљени су површинским коначним елементима величине стране  $0,50 \text{ m}$ . Савојна, смичућа и торзиона крутост елемената (плоча, зидова, греда и стубова) редуковане су према захтевима EN 1998-1.



Слика 6 – Просторни приказ модела

Интеракција између објекта и тла је моделирана преко еластичних опруга по Винклеровом моделу, гдје је тло описано преко коефицијента постелице.

Спријечена су помјерања у сва три правца. Задате вриједности крутости ослонаца на помјерање су  $15.000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$  за вертикални правац, и по  $7.500 \text{ kN/m}^2/\text{m}$  за хоризонталне правце.

### 5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

1) Периоди осциловања конструкције су јасан показатељ да сва четири прорачунска модела су јако укрупњена зидним платнима у прве две варијанте.

Резултати показују да варијанта В1 има најмањи период осциловања што значи да распоред сеизмичких зидова и дужина истих имају велики утицај на укрупњење конструкције, Табела 1.

Табела 1 – Периоди осциловања конструкција

[s]	B1	B2	B3	B4
T1	0.3640	0.3751	0.5067	0.6492
T2	0.3068	0.3156	0.4553	0.5721
T3	0.1990	0.1993	0.3499	0.3788

Варијанта В4 има највишу вриједност периода осциловања због намјене дужине сеизмичких зидова у односу на остале три прорачунске варијанте. Међутим, положај и дужина ових зидова су довољни да, више него задовољавајуће, укрупне конструкцију.

Варијанте В2 и В3 су најинтересантније за упоређивање јер се разликују по дужини сеизмичких зидова у спољном и унутрашњем “прстену”. Резултати јасно показују да је динамички одговор конструкције бољи уколико су јача сеизмичка платна на већем растојању од центра крутости конструкције.

2) Међуспратна помјерања су приказана у наредним табелама. Вриједности помјерања су приказане за све четири варијанте у односу на вриједност пројектног убрзања тла  $a_g$ , Табеле 2-4.

Табела 2 – Међуспратна помјерања за  $a_g = 0,10 \text{ g}$

Ниво	Z[m]	$h_{sp}[m]$	B1	B2	B3	B4	$d_{lim}[mm]$
кота плоче 5. спрата	18.00	3.00	2.61	2.62	4.63	5.85	60.00
кота плоче 4. спрата	15.00	3.00	2.70	2.80	4.97	6.33	60.00
кота плоче 3. спрата	12.00	3.00	2.65	2.79	5.03	6.46	60.00
кота плоче 2. спрата	9.00	3.00	2.43	2.60	4.75	6.15	60.00
кота плоче 1. спрата	6.00	3.00	2.00	2.19	3.98	5.20	60.00
кота плоче приземља	3.00	3.85	1.46	1.65	2.92	3.69	77.00

Табела 3 – Међуспратна помјерања за  $a_g = 0,15 \text{ g}$

Ниво	Z[m]	$h_{sp}[m]$	B1	B2	B3	B4	$d_{lim}[mm]$
кота плоче 5. спрата	18.00	3.00	3.91	3.93	6.94	8.77	60.00
кота плоче 4. спрата	15.00	3.00	4.05	4.20	7.45	9.49	60.00
кота плоче 3. спрата	12.00	3.00	3.98	4.18	7.54	9.69	60.00
кота плоче 2. спрата	9.00	3.00	3.65	3.90	7.13	9.22	60.00
кота плоче 1. спрата	6.00	3.00	3.00	3.29	5.97	7.80	60.00
кота плоче приземља	3.00	3.85	2.20	2.47	4.38	5.53	77.00

Табела 4 – Међуспратна помјерања за  $a_g = 0,20 g$ 

Ниво	Z[m]	$h_{sp}$ [m]	B1	B2	B3	B4	$d_{lim}$ [mm]
кота плоче 5. спрата	18.00	3.00	5.22	5.24	9.26	11.70	60.00
кота плоче 4. спрата	15.00	3.00	5.40	5.60	9.93	12.66	60.00
кота плоче 3. спрата	12.00	3.00	5.30	5.58	10.06	12.92	60.00
кота плоче 2. спрата	9.00	3.00	4.87	5.20	9.50	12.29	60.00
кота плоче 1. спрата	6.00	3.00	4.00	4.39	7.96	10.40	60.00
кота плоче приземља	3.00	3.85	2.93	3.30	5.84	7.38	77.00

Резултати показују да су намјање вриједности међуспратних помјерања код конструкција са највише сеизмичких зидова, без обзира на вриједност пројектног убрзања тла.

Најповољније варијанте су оне код којих су јачи сеизмички зидови на већој удаљености од центра крутости конструкције.

3) Потребна арматура је срачуната само за сеизмичке зидове, са припадајућим ивичним елементима, за сеизмичку комбинацију оптерећења, за сваку варијанту посебно.

Табела 5 – Укупна потребна арматура

	$\Sigma A_a$ [cm <sup>2</sup> ]		
	$a_g = 0,10g$	$a_g = 0,15g$	$a_g = 0,20g$
B1	656,29	1047,4	1544,38
B2	695,31	1083,00	1450,83
B3	612,03	1082,02	1571,69
B4	609,31	1043,08	1482,37

Резултати за потребну арматуру у сеизмичким зидовима, по логици ствари, показују да са повећањем убрзања тла драстично расте и потреба за количином арматуре.

Ако упоредимо резултате за све четири варијанте за исту вриједност убрзања тла, на први поглед можемо доћи до закључка да нема велике разлике у количини потребне арматуре и да је свака варијанта подједнако добра за избор, што би била грешка. Одабир варијанте основе само на основу потребне арматуре у сеизмичким зидовима није прихватљив јер се у обзир морају узети и други параметри који утичу на одговор конструкције приликом дејства земљотреса, попут претходно анализираних параметара у овом раду.

На примјер, ако се упоређује потребна количина арматуре за варијанте В1 и В4, уочава се да је за варијанту В4 потребна мања количина арматуре за сеизмичко дејство. Међутим, потребно је имати у виду да, поред бољег одговора конструкције В1, иста количина арматуре треба да се угради у елементе много мањих димензија попречних пресека, а то за посљедицу има уградњу већих пречника арматурних шипки и њихов гушћи распоред. Лако се може десити да је потреба за арматуром већа од максималног процента армирања.

Поред тога, потребна арматура у стубовима за В4 је већа него за В1, што на крају доводи до веће укупно потребне арматуре рачунајући остале елементе конструкције који нису тема овог рада.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Основна идеја рада је да се на примјеру једноставног објекта, регуларног у основи и по висини, униформних конструктивних елемената, а ради једноставније анализе и дискусије резултата, сагледа начин одговора конструкције примарно на сеизмичко дејство. Према спроведеној сеизмичкој анализи армиранобетонских конструкција закључује се да су варијанте са положајем јачих сеизмичких зидова на већој удаљености од центра крутости конструкције повољније на основу добијених вредности периода осциловања конструкција, међуспратних померања и количине арматуре за сеизмичке зидове са припадајућим ивичним елементима.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Европски стандард (EN 1990:2002) Еврокод 0: „Основе прорачуна конструкција“, Европски комитет за стандардизацију.
- [2] Европски стандард (EN 1991-1-1:2002) Еврокод 1: „Дејства на конструкције, Део 1-1: Запреминске тежине, сопствена тежина, корисна оптерећења за зграде“, Европски комитет за стандардизацију.
- [3] Европски стандард (EN 1992-1-1:2004) Еврокод 2: „Прорачун бетонских конструкција, Део 1-1: Општа правила и правила за зграде“, Европски комитет за стандардизацију.
- [4] Европски стандард (EN 1998-1:2004) Еврокод 8: „Прорачун сеизмички отпорних конструкција, Део 1: Општа правила, сеизмичка дејства и правила за зграде“, Европски комитет за стандардизацију.
- [5] З. Брујић, „Бетонске конструкције у зградарству (према Еврокоду)“.

### Кратка биографија:



**Миодраг Ђурђевић**, из Дервенте, рођен у Зеници 1990. године. Мастер рад на Факултету техничких наука, из области Грађевинарства – Сеизмичка анализа конструкција, одбранио је 2023. године.

Контакт: [gradjevine@gmail.com](mailto:gradjevine@gmail.com)