

**УПОРЕДНА АНАЛИЗА ПРОЈЕКТОВАЊА ТРИ РАЗЛИЧИТА БЕЗГРЕДНА
КОНСТРУКТИВНА РЕШЕЊА ВИШЕСПРАТНЕ АБ ЗГРАДЕ (ПРЕМА ЕВРОКОДУ 8)****COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DESIGN OF THREE DIFFERENT FLAT-SLAB STRUC-
TURAL SOLUTIONS OF A MULTI-STOREY RC BUILDING (ACCORDING TO EUROCODE 8)**

Филип Петаковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – У оквиру рада представљена је упоредна анализа пројектовања вишеспратне АБ конструкције у три различита, али упоредива, конструктивна система. Разматрана је стамбено-пословна зграда спратности По+П+4+Пс, а анализом је обухваћено понашање конструкције са три типа/распореда примарних сеизмичких елемената: сеизмичка платна L-облика постављена по ободу конструкције; платна I-облика; и низ кратких зидова правоугаоног пресека уз укључивање ободних гредних елемената. На основу резултата анализа изведени су закључци и препоруке везани за оптимално пројектовање вишеспратних зграда са плочама које су директно ослоњене на стубове.

Кључне речи: Вишеспратна армиранобетонска зграда, Еврокодови, безгредни системи, примарни и секундарни сеизмички елементи, сеизмички зидови

Abstract – Within this paper, a comparative analysis of the design of a multi-storey RC structure in three different, but comparable, structural systems is presented. A residential-commercial building with a floor plan of B+G+4+P is considered, and the analysis covers the behavior of the structure with three types/arrangements of primary seismic elements: shear walls of L-shape placed around the perimeter of the structure; walls of I-shape; and a series of short walls of rectangular sections, including perimeter beam elements. Based on the analyses results, conclusions and recommendations related to the optimal design of multi-storey buildings with flat slabs are drawn.

Keywords: Multi-storey RC building, Eurocodes, flat slab systems, primary and secondary seismic elements, shear walls

1. УВОД

У пољу сеизмичког пројектовања вишеспратних армиранобетонских зграда изражена је тенденција употребе таваница директно ослоњених на стубове или тзв. безгредних система. Са друге стране, овај тип конструктивног система, не само да је новијег века и још увек недовољно истражен, чак непогодан за примену у сеизмичким подручјима (мали капацитет бочне деформације његових „оквира“), него је

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Зоран Брујић, ванр. проф.

практично и игнорисан у актуелној регулативи (Еврокод 8) [1]. Управо тиме је мотивисан избор теме овог истраживачког рада.



Слика 1. Распоред сеизмичких зидова према моделима

Изабрани објекат према стандарду Еврокод 8 може бити принципијелно решен на неограничено много начина. Функционалност примарних конструктивних елемената, сеизмичких платана, се не мења, али начин њиховог понашања ће бити различит и зависан од диспозиционог решења конструкције, геометријских карактеристика или крутости елемената и сл...

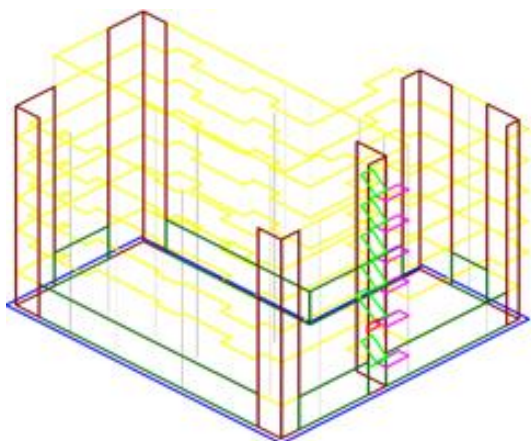
У раду је учињен покушај да се кроз три принципијелно различита диспозициона распореда сеизмичких зидова (модел I до модел III) установе разлике у понашању и да се усвоји најбољи. Модел I је конципиран на начин да садржи мали број крутих, просторно спрегнутих (L-облик) и правилно диспозиционо распоређених (по обиму зграде) зидних елемената. Код модела II зидни елементи два правца нису спрегнути (I-облика пресека су), а распоређени су и у унутрашњости зграде. Коначно, модел III је решен с великим бројем релативно флексибилних, кратких, зидова. Код сва три модела (Слика 1.) водило се рачуна о равноправном укрућењу зграде у два ортогонална правца.

2. АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЈЕ

Објекат је лоциран у Новом Саду. Етажно, састоји се од подрума, приземља, 4 типска и једног повученог спрата. У приземљу објекта су стамбено-пословне јединице, док су остали спратови намењени за стамбене јединице. Основа објекта је неправилног Г-облика, са већим правоугаоним делом димензија 31,85m x 15,30m и мањим делом димензија 13,25m x 11,90m. Спратна висина приземља износи 4,20m, док су остале етаже висине 3,00m.

Кота подрума је на -2,15m испод коте терена, односно на -3,00m испод коте приземља. Објекат се завршава кровном увученом плочом неправилног облика са озиданом атиком, а кота венца атике је на 20,69m.

Пристап објекту омогућен је са улице. Вертикална комуникација се обавља двокраким степеништем и лифтом. На слици (Слика 2.) приказан је у аксонометрији конструктивни модел I са истакнутим сетовима површинских елемената. Сви конструктивни модели обрађени и прорачунати су у софтверу за структуралну анализу Radimpex Tower.



Слика 2. 3D приказ конструктивног модела I

Све плоче су пуне армиранобетонске. Фундирање објекта извршено је на темељној плочи (прорачунски третирана као дебела плоча). Армиранобетонски зидови подрума налазе се по ободу подрумске етаже и на тај начин формирају својеврсну „каду“, недеформабилну под-конструкцију. Унутрашњи стубови етажа су димензија 40x50cm, осим стубова последње етаже који су попречног пресека 30x40cm у свим моделима. Ободни стубови су димензија 40x40cm на свим етажама, осим стубова последње етаже где им се пресек редукује на 30x30cm у свим моделима и стубова приземља и подрумске етаже модела III, где су димензија 45x45cm (Табела 1). Сви армиранобетонски елементи су класе бетона С30/37.

Табела 1. Димензије елемената по моделима

Елементи	Димензије [cm]	Модел I	Модел II	Модел III
Греде	30/65			+
Стубови	30/30	+	+	+
	30/40	+	+	+
	40/40	+	+	+
	45/45			+
	40/50	+	+	+
Платна		25	25	30
Зидови подрума	20	+	+	+
Темељне плоче	60	+	+	+
Плоча приземља	20	+	+	+
Етажне плоче	20	+	+	+
Кровне плоче	20	+	+	+
Плоче подеста и степеништа	15	+	+	+

Коришћени софтвер аутоматски генерише сопствену тежину свих конструктивних елемената на основу задатих геометријских и физичких карактеристика. Неконструктивни елементи су анализирани као површинска (подови, плафони...), односно линијска оптерећења (фасадни и разделни зидови), у склопу истог случаја оптерећења. Преградни зидови у склопу стамбених јединица посматрани су као додатно стално површински расподељено оптерећење.

Корисно оптерећење је основно променљиво оптерећење, а на поједине површине је аплицирано сагласно одредбама Еврокода 1, у интензитетима и категоријама који су одређени наменом тих површина: категорија А, просторије у стамбеним зградама, 1,5kN/m² за стамбене просторије и 2,5kN/m² за ходнике, балконе и степеништа; категорија D1, продајне површине у малопродајним радњама, 4,0kN/m²; складиштени простори дефинисани су под категоријом E1 корисног оптерећења, интензитета 3,0kN/m²; непроходне кровне површине категоризоване су као H категорија, а интензитет оптерећења је 1,0kN/m².

Осим гравитационих, разматрано је и сеизмичко оптерећење у функцији локације објекта, али са усвојеним референтним убрзањем тла од:

$$a_{gR} = 0,15 \cdot g = 0,15 \cdot 9,81 = 1,4715 \text{ m/s}^2.$$

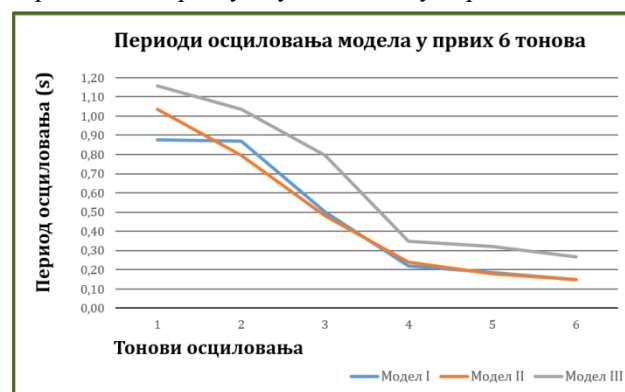
Објекти који се анализирају спадају у II класу значаја (обичне зграде) за које је фактор значаја $\gamma_1=1$:

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_1 = 1,4715 \cdot 1 = 1,4715 \text{ m/s}^2$$

Усвојена је C категорија тла и тип I спектра одговора.

Армиранобетонска конструкција вишеспратне зграде моделирана је специјализованим софтверским алатом за структуралну анализу на бази методе коначних елемената, у просторном прорачунском приступу. Греде и стубови моделирани су као линијски елементи, док су плоче, зидови и љуске моделиране као површински елементи. Све плоче моделиране су као изотропне, осим косих степенишних плоча, које су моделиране као плоче једног правца. У зависности од типа модела, сеизмичка платна су моделована на другачији начин и тенденција њихових постављања различита је од модела до модела.

Модели конструкција остварују интеракцију са тлом преко Винкерловог модела тла, који даје задовољавајуће резултате, упркос познатим недостацима једнопараметарског модела [2]. Коefицијент постелице усвојен је слободном проценом - 20 [MN/m³] у вертикалном правцу, и упола мањи у хоризонталним.



Слика 3. Својствени периоди по моделима

У циљу одређивања периода својствених облика осциловања и дефинисања сеизмичког дејства, спроведена је модална анализе конструкције (Слика 3.).

Основни начин за анализу сеизмичког дејства према EN 1998-1 јесте мулти-модална анализа у комбинацији са методом спектра одговора, која је применљива на све конструкције на које се односи дати стандард.

Анализом је разматрано је по шест тонова за сваки од модела конструкције, чиме су задовољени нормативни захтеви о минималном броју тонова за анализу (више од 95% збирно ефективне масе).

Сагласно Еврокод стандарду, ако изостају напредније методе прорачуна, АБ пресеци се према линеарној теорији прорачунавају са бруто бетонским испрским пресецима.

Обухватање прелина у пресеку се уводи редукцијама савојне, смичуће и торзионе крутости (у односу на одговарајуће крутости бруто бетонских пресека), као „компромисна“ мера: торзионе крутости греда су редуковане на 10%, а стубова на 50%, а смичуће и савојне крутости свих елемената су редуковане на 50% одговарајућих.

3. ПРИМАРНИ И СЕКУНДАРНИ ЕЛЕМЕНТИ

У Еврокоду 8 допушта се занемарење доприноса одређених, тзв. секундарних, конструктивних елемената у преносу сеизмичког дејства, чиме су само тзв. примарни елементи утицајно оптерећени. Конструктивни систем формиран само од примарних елемената је „примарна конструкција“, а формира се погодним искључењем секундарних елемената, било уклањањем из конструкције, било занемарењем одговарајућих крутости.

Степен ове редукције је лимитиран на 15% крутости комплетне конструкције. Међутим, иако сеизмички неактивни, секундарни елементи учествују у преносу гравитационих дејстава. Такође, изложени су померањима услед сеизмичких дејстава, а њихова отпорност у том контексту се доказује обезбеђењем еластичног рада и при максималним померањима примарне конструкције – суштинска разлика у прорачуну примарних и секундарних елемената је у претпоставци њиховог понашања при достизању истих максималних померања конструкције [3].

Из постављених захтева, подразумева се да је потребно спровести две анализе разматране конструкције, формирањем два нумеричка модела:

- Модел који обухвата крутост примарних и секундарних елемената – SP-Модел
- Модел којих обухвата крутост само примарних елемената – P-Модел. У примеру, флексиона крутост је „укинута“ постављањем моментних зглобова на крајевима стубова.

Еврокодом 8 није тачно дефинисан начин одређивања доприноса бочне крутости секундарних елемената у укупној крутости. У раду јекоришћена метода одређивања односа између релативних међуспратних померања P и SP модела. Анализом је потребно задовољити следећи услов:

$$\frac{\delta_S}{\delta_{SP}} = \frac{K_{SP}}{K_P} = \frac{K_S + K_P}{K_P} = \frac{K_S}{K_P} + 1 \leq 0,15 + 1 = 1,15$$

где су δ_S и δ_{SP} релативна спратна померања у секундарном (S-моделу) и моделу конструкције са активираним целом крутошћу система (SP-моделу), а K_S , K_P и K_{SP} крутости секундарних, примарних и збирно обједињених вредности сеизмичких елемената.

4. РЕЗУЛТАТИ УПОРЕДНЕ АНАЛИЗЕ

Поређење конструктивних модела дало је резултате по питању разлика у понашању и начину пројектовања конструкција. На основу резултата констатује се да су модели објеката I и III регуларни у основи, док модел објекта II не испуњава услове регуларности у основи. С друге стране, не говори се ни о торзионо флексибилном систему, јер торзиони радијуси нису 3.33 пута већи од центара ексцентрицитета маса, али су већи од радијуса инерције. Незадовољење ових услова код модела објекта II може се приписати једном од постулата пројектовања торзионо крутих објеката – правилним позиционирањем сеизмичких платана по ободу објекта постиже се задовољавајућа торзиона крутост објекта и конструкција се „приморава“ на рад у оба правца при ударима сеизмичких сила.

Табела 2. Одступања између тежишта маса и центара крутости у SP-моделима

Етажа	Одступања – SP-Модел					
	Модел I		Модел II		Модел III	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
Кров	1,22	3,38	4,08	6,84	1,88	0,84
V спрат	3,70	3,25	6,22	7,90	0,84	0,77
IV спрат	4,11	2,99	7,05	7,34	0,03	0,97
III спрат	3,64	2,91	7,02	6,73	0,14	0,92
II спрат	2,78	2,63	6,84	5,78	0,35	0,85
I спрат	1,25	1,76	5,88	4,13	0,50	0,81
Приземље	0,80	0,80	0,47	0,82	0,84	0,82
Подрум	0,11	0,20	0,14	0,15	0,11	0,17

Закључује се да су одступања у моделима I и II значајнија и да диспозициони положај примарних сеизмичких елемената није оптималан. Модел III, с друге стране има задовољавајућа „преклапања“ центара крутости и маса, и као такав представља врло добро избалансирани систем.

Захваљујући великој крутости у својој равни, хоризонтална сеизмичка сила се до темеља преноси смичућим зидовима. Услед великих вредности интензитета момената савијања у нивоу приземне етаже и трансверзалних сила у нивоу првог спрата у моделима I и II, закључује се да су зидови искоришћени у веома високом проценту у овим моделима. Формирани од површинских елемената као ребара којима добијају на својој смичућој крутости и стубова као фланши којима „дугују“ савојну крутост, сеизмички зидови су се у ова два модела успешно „изборили“ са хоризонталним силама и обезбедили стабилност објектима. С друге стране, компаративно ниже вредности утицаја у зидовима модела III у односу на претходна два модела одају утисак недовољне искоришћености истих.

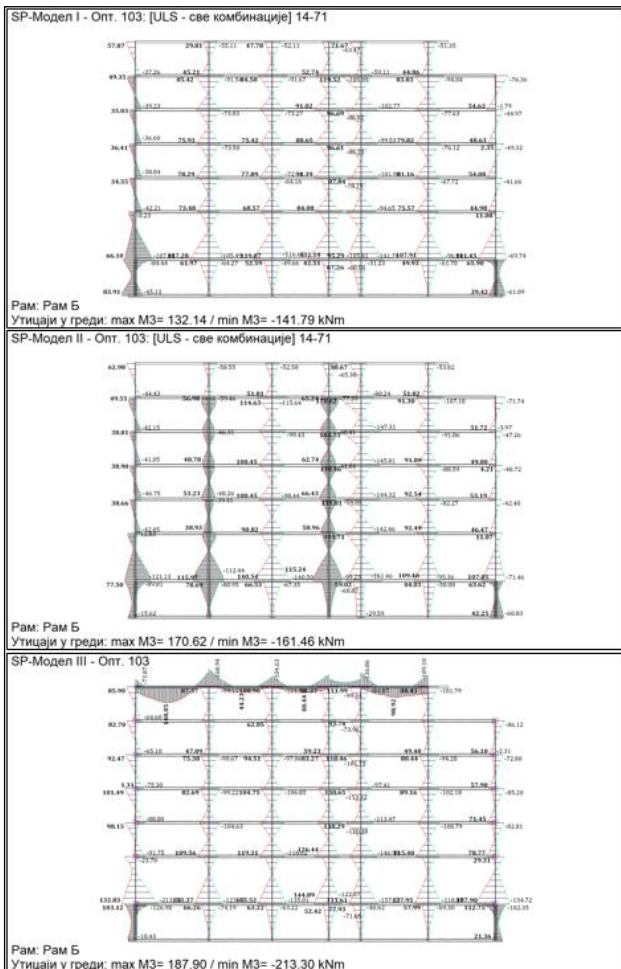
Наредном табелом (Табела 3.) приказана су процентуална умањења померања конструкција у оба ортогонална правца у односу на модел са највећим спратним померањима, модел III. Упоредба резултата урађена је за моделе примарних конструкција.

Највећа померања забележена су на II спрату, у сва три модела. Мања померања захтевају мању количину арматуре и зидови захтевају мању количину уложеног рада око израде у односу на греде.

Табела 3. Поређење међуспратних померања модела

Етажа	Спратно померање [mm]					
	Модел III		Модел I		Модел II	
	X	Y	X	Y	X	Y
Кров	12,01	17,7	-20%	43%	1%	113%
V спрат	11,65	15,44	-16%	12%	16%	71%
IV спрат	14,42	16,62	7%	13%	49%	61%
III спрат	16,7	18,23	28%	29%	78%	81%
II спрат	17,69	18,6	45%	47%	102%	92%
I спрат	19,17	20,37	31%	54%	75%	64%
Приземље	1,74	2,43	-32%	3%	-19%	-12%

Упоредене су и вредности момената савијања у стубовима кроз моделе (Слика 4.).



Слика 4. Рам Б и вредности савојних момената у линијским елементима кроз моделе

Уочава се да су моменти у моделу III највећег интензитета, услед постојања гредних елемената и чворне прераспоределе оптерећења са истих на стубове.

Модел I и II имају приближно једнаке интензитета момената савијања у стубовима, услед изостанка гредних елемената.

5. ЗАКЉУЧАК

Анализирани примери дали су за резултат схватање да дати конструктивни модели немају значајнијих квалитативних одступања један у односу на други – не постоје значајније разлике у количинама

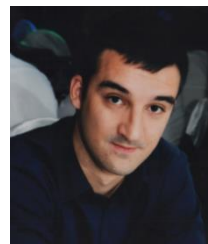
утрошеног материјала међу моделима, статички утицаји у конструктивним елементима су приближно исти, а односи крутост-флексибилност конструкција посматрани кроз динамичке карактеристике модела или спратна померања су готово уједначени. Тенденција рада конструкције без иједног гредног елемента показала се као непрактична, што се да и приметити у моделу III, у којем увођењем ободних гредних елемената конструкција остаје у безгредном конструктивном систему у унутрашњем интегритету објекта, а такође се и постиже ободни оквирни рад објекта, осигурава се од ефеката пробијања плоче, доприноси спратној крутости и смањује се количина бетона уложеног у плоче и сеизмичка платна.

С друге стране, критеријум задовољења доприноса крутости секундарних елемената у укупној крутости система од не више од 15% представља одлучујући фактор у процесу формирања конструктивних модела у њиховом финалном облику. Услови овог критеријума диктирали су крутост примарног конструктивног система, па се може рећи да је овај критеријум са својим захтевима увек био на „критичном путу“, те да је самим тим и он најзаслужнији за уједначеност међу конструктивним моделима у смислу њиховог понашања.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Brujić, Z. (2023.) - Betonske konstrukcije – deo II – Višespratne zgrade, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] Santrač, P. (2021) – Fundiranje – interakcija konstrukcije i tla, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet u Subotici. – (elektronski izvor).
- [3] Milićević, I., Ignjatović I. (2017) – Analiza primene sekundarnih seizmičkih elemenata u proračunu prema Evrokodu 8, Građevinski fakultet u Beogradu, Univerzitetu Beogradu.

Кратка биографија:



Филип Петаковић рођен је у Руми 1993. године. Дипломирао је 2018. године на Департману за грађевинарство и геодезију, смер Конструкције на Факултету техничких наука у Новом Саду. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства, Модул Конструкције: Бетонске конструкције, одбранио је 2024. године.

Контакт: cofi.ru@gmail.com