

ПРОЈЕКАТ КОНСТРУКЦИЈЕ АБ ЗГРАДЕ ПРЕМА ЕВРОПСКИМ СТАНДАРДИМА И УПОРЕДНА АНАЛИЗА ОКВИРА ЗА КЛАСЕ ДУКТИЛНОСТИ DCM И DCH**RC BUILDING STRUCTURAL DESIGN ACCORDING TO EUROPEAN STANDARDS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF FRAMES FOR DUCTILITY CLASSES DCM AND DCH**

Ђорђе Брборић, Факултет Техничких Наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду разрађен је пројекат конструкције АБ зграде по европским стандардима. Урађен је статички прорачун, димензионисање и детаљи армирања. У истраживачком делу рада анализирани су разлике у утицајима, начину армирања и обликовању детаља оквира за класе дуктилности DCM и DCH.

Кључне речи: Армираноберонска конструкција, Статички прорачун, Европски стандарди.

Abstract – In this paper, the structural design of RC building according to European standards is presented. Static calculation, design and reinforcement details were done. In the research part of the paper, the differences in the influences, the way of reinforcement and the design of the frame details for the ductility classes DCM and DCH are analyzed.

Keywords: Reinforced concrete structure, Static calculation, European standards.

1. УВОД

Пројектним задатком је предвиђена израда пројекта конструкције стамбено-пословног објекта, у Новом Саду, спратности П+6. Објекат је АБ скелетног конструктивног система, правоугаоне основе. Рад садржи: текстуалну документацију, нумеричку документацију и графичку документацију.

2. ОПИС ПРОЈЕКТА**2.1. Архитектонско решење**

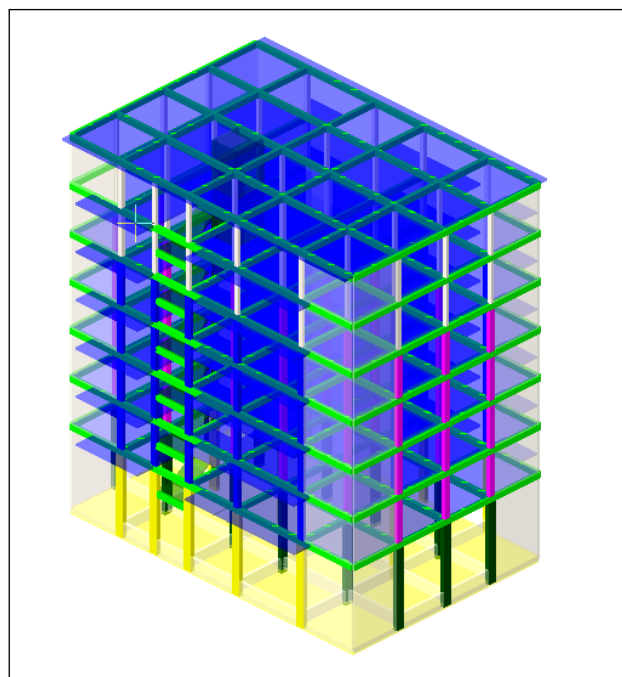
Према својој намени објекат је стамбено-пословни. Приземље је намјењено за пословни простор, док су остале етаже намјењене за стамбени простор. Спратна (светла) висина приземља је 395cm, а осталих етажа 262cm. Вертикална комуникација је обезбеђена лифтом и двокраким степеништем.

Сви зидови зидани су "Ytong" блоком, малтерисани продужним цементним малтером, глетовани и бојени завршном бојом. У санитарним чворовима зидови су обложени керамичким плочицама. Фасада је обложена каменом вуном $d=10\text{cm}$ и завршно обрађена акрилном бојом. Облоге подова, у зависности од намене просторије, су паркет или керамичке плочице.

Предвиђен је раван проходан кров.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Ђорђе Лађиновић.



Слика 1. 3Д модел конструкције

2.2. Конструктивни систем

Конструктивни систем објекта је скелет укрупњен АБ сеизмичким зидовима. Растери стубова у подужном правцу су од 3,55m до 5,00m, а у попречном правцу од 3,35m до 3,55m. Димензије стубова од темељне плоче до плоче првог спрата су 25/50cm, од плоче првог спрата до плоче петог спрата су 25/40cm и од плоче петог спрата до кровне плоче су 25/25cm.

Сеизмички зидови су распоређени по ободним угловима објекта, симетрично у односу на тежиште објекта, како би се обезбедило поклапање центра масе и центра крутости. Дебљина свих ободних сеизмичких зидова је 20cm.

Међуспратну конструкцију чини систем крстасто-армираних плоча у оба правца ослоњених на роштиљ од АБ греда. Дебљина свих таваница је 15cm. Димензије греда су 25/35cm.

Степениште је пројектовано као двокрако, дебљине степенишне плоче 15cm. Степениште и подесне плоче су ослоњене на подестне греде и греде рамова.

Темељну конструкцију објекта чини АБ плоча дебљине 40cm, ојачана гредама димензија 25/88cm. Кота фундаирања темељне плоче је на -1,00m.

Класа бетона свих носећих елемената конструкције је С30/37, квалитет арматуре В500С.

2.3. Анализа оптерећења

Стално оптерећење чине тежина конструкције (стубови, греде, зидна платна, таванице и степеништа) и тежина носећих елемената (зидови, испуне, подови, кровне облоге...). Сопствена тежина носивих елемената се проруачунава софтвером, а тежина носивих елемената на основу запреминске тежине и запремине елемента, дефинисаних у Еврокод 1 EN 1991-1-1:2002 [1].

Корисно оптерећење се усваја у складу са стандардом Еврокод 1 EN 1991-1-1:2002, на основу категорије употребе просторија у стамбеним зградама. Корисно оптерећење на таванице, аплицирано је у шаховском распореду и при том су анализирани најнеповољније комбинације његовог дејства.

Оптерећење снегом треба да се рачуна према европском стандарду EN 1991-1-3:2003 за равне кровове, односно кровове нагиба између 0° и 30° и да се на конструкцију аплицира у виду једнакоподељеног површинског оптерећења.

Оптерећење ветром је срачунато према европском стандарду EN 1991-1-4:2005, и задато на конструкцију као површинско оптерећење, а затим је конвертовано у линијско оптерећење.

Сеизмичко оптерећење се израчунава помоћу софтвера, Tower 6.0, који нуди опцију сеизмичког прорачуна према Еврокод стандарду EN 1998-1:2004 мултимодалном спектралном анализом.

2.4. Статички и динамички прорачун

Конструкција је моделирана просторно у програмском пакету TOWER 6.0 [6]. Веза објекта и подлоге је моделирана помоћу еластичних опруга по Винклеровом моделу.

Анализа дејства хоризонталних оптерећења, као и модална анализа, претпоставља недеформабилност таваничне конструкције у својој равни. Статички и динамички прорачун спроведени су на моделу код кога су комбиновани линијски и површински елементи, а величина коначног елемента у моделу је димензија 50 x 50 cm. Класа бетона свих носећих елемената је C30/37, а квалитет арматуре је B500C.

Табела 1. Периоди осциловања конструкције

No	T [s]	f [Hz]
1	1.2630	0.7197
2	1.1186	0.8939
3	0.6675	1.4982
4	0.1885	5.3064
5	0.1698	5.8887
6	0.1056	9.4722
7	0.0896	11.1646
8	0.0775	12.8981
9	0.0612	16.3369
10	0.0512	19.5370

Након спроведене модалне анализе зграде, приступа се дефинисању параметара за прорачун сеизмичких сила. Програмски пакет нуди опцију сеизмичког прорачуна према европским стандардима, преко мултимодалне спектралне анализе која се сврстава у

групу линеарно-еластичних анализа. Сеизмичка анализа се спроводи у складу са правилима и препорукама европског стандарда EN 1998-1:2004 који садржи правила, сеизмичка дејства и правила за зграде [2,3,4].

Табела 2. Параметри за сеизмички прорачун

Категорија тла:	C
Категорија значаја:	II ($\gamma=1.0$)
Однос ag/g:	0.20
Фактор понашања:	3.9
Коефицијент пригушења:	0.05
S:	1.15
Tb:	0.2
Tc:	0.6
Td:	2

2.5. Контрола напона и померања

Према стандарду EN 1998-1:2004, неопходно је контролисати нормализоване аксијалне силе у примарним сеизмичким елементима, односно стубовима, зидним платнима и гредама. Нормализована аксијална сила се добија из сеизмичке прорачунске комбинације према граничном стању носивости што значи да се користе коефицијенти сигурности за оптерећења и материјале.

Контролом напона у тлу проверава се да ли је усвојено адекватно темељење објекта. На основу добијених резултата потребно је обезбиједити носивост од 250 kPa. Контрола је урађена за анвелопу утицаја експлоатационих несеизмичких оптерећења (СЛС-карактеристичне комбинације) и анвелопу граничних сеизмичких комбинација (УЛС-сеизмичке ситуације). Иако Еврокодом није експлицитно дефинисано, традиционално се допушта да ивична напрезања која су последица сеизмичке ситуације прекораче допуштене напоне за 20%, као што је у овом примеру случај [5].

Хоризонтална спратна помјерања спадају у домен контроле граничног стања употребљивости и стандард EN 1998-1 прописује допуштене вриједности за међуспратна хоризонтална помјерања.

Све прорачунске контроле су одрађене и из њих се може закључити да су сви напони и померања у оквиру допуштених.

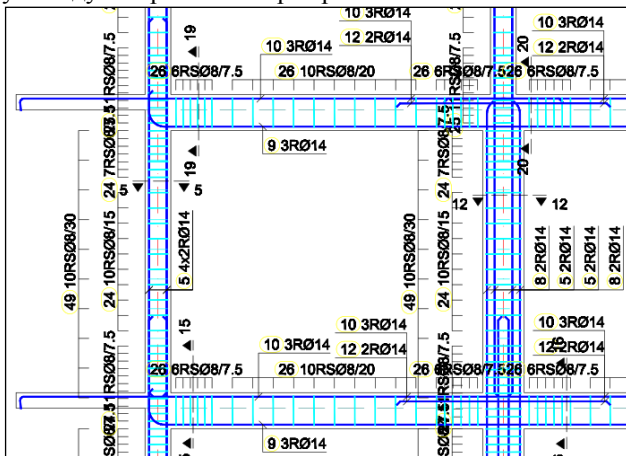
2.6. Димензионисање

АБ елементи зграде се димензионишу према граничном стању носивости, према максималним статичким утицајима добијеним софтверским прорачуном коришћеним за овај пројекат. Према европским стандардима, носивост на савијање и смицање се израчунавају према стандарду EN 1992-1-1:2004. Са тако добијеним резултатом димензионисања, за све примарне сеизмичке елементе се спроводи обликовање детаља за локалну дуктилност дефинисана стандардом EN 1998-1:2004.

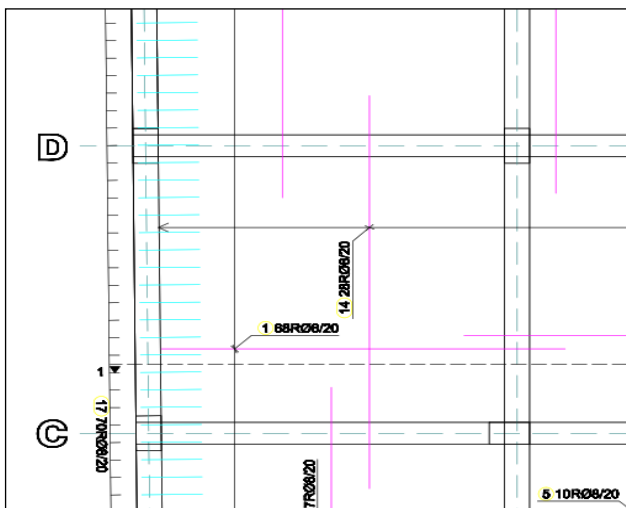
Од плоча димензионисане су темељна плоча, плоча типског спрата и кровна плоча, док су за рамове изабрани по један рам за оба правца, рам H-3 и V-4. Осим плоча и рамова, димензионисано је зидно

платно у раму Н-3 као и типско степениште са подестом.

На основу потребе за арматуром добијеном димензионисањем, усвојена је арматура и направљени су планови армирања свих горе наведених елемената у складу са правилима армирања.



Слика 3. Детаљ армирања рама Н-3



Слика 4. Детаљ армирања доње зоне плоче

2.7. Обликовање детаља за локалну дуктилност примарних сеизмичких елемената

Након спроведеног димензионисања за карактеристичне елементе, приступило се доказу прорачунске носивости за гранично стање носивости и обликовању детаља. Сви прорачуни и контроле засновани су на EN 1998-1:2004. Анализирани су стубови, греде, унутрашњи и спољашњи чвор греде и стуба и дуктилни зид. На основу спроведених контрола за примарне сеизмичке елементе (греде, стубови, дуктилни зидови), закључено је да су сви услови испуњени.

3. УПОРЕДНА АНАЛИЗА ПРОЈЕКТОВАЊА ОКВИРА ЗА КЛАСЕ ДУКТИЛНОСТИ "DCM" И "DCH"

ЕС8 дефинише три нивоа пројектног оптерећења, односно три класе дуктилности: класа високе, средње и ниске дуктилности (DCL, DCM и DCH) [3]. При редукцији еластичног одговора до нивоа прихватљивог, пројектног оптерећења такође постоји граница. Ниже силе подразумевају већи удио нелине-

арних деформација које конструкција треба да издржи без значајнијег пада носивости. Поред тога рано отварање пластичних зглобова, при малим хоризонталним силама, снижава општу стабилност конструкције за дејства гравитационих оптерећења и ветра. Због тога се, за различите врсте конструкцијских система ограничава најнижа вредност пројектног оптерећења, односно највиша прихватљива дуктилност конструкције. За конструкцијске елементе приликом пројектовања за класе дуктилности DCM и DCH не дозвољава се употреба бетона класе ниже од C16/20 у примарним сеизмичким елементима. У примарним сеизмичким елементима за класу дуктилности DCM може се користити челик за армирање класе Б и Ц, док за класу дуктилности DCH користи се челик за армирање класе Ц према ЕН 1992-1-1:2004

Прорачун греда:

У примарним сеизмичким гредама, прорачунске трансверзалне силе се одређују према правилима програмираног понашања са аспекта капацитета, на основу равнотеже греде услед:

- Попречног оптерећења које дјелује на њу у сеизмичкој прорачунској ситуацији
- Момената на крајевима греде $M_{i,d}$ ($i=1,2$ означава крајње пресеке греде) који одговарају формирању пластичних зглобова за позитивне и негативне правце сеизмичких оптерећења.

Требало би да се обезбеди формирање пластичних зглобова на крајевима греда или у вертикалним елементима (ако се прво тамо формирају) који су спојени са крајевима греда.

Прорачун стубова:

Вредности трансверзалних сила у примарним сеизмичким стубовима морају бити одређене према правилима програмираног понашања са аспекта капацитета, на основу услова равнотеже стуба под моментима на крајевима $M_{i,d}$ (са $i=1,2$ су означени пресеци стуба), сагласно формирању пластичних зглобова за позитивне и негативне правце сеизмичког оптерећења.

Прорачун дуктилних зидова:

Носивост на савијање и смицање се израчунава у складу са ЕН 1992-1-1:2004, користећи вредност аксијалне силе из анализе у сеизмичкој прорачунској ситуацији. У примарним сеизмичким зидовима вредност нормализоване аксијалне силе v_d за класу дуктилности DCM не смије бити већа од 0,4, док код класе DCH она мора бити мања од 0,35.

Вриједност фактора понашања за оцјену капацитета дисипације енергије, мора се одредити за сваки прорачунски правац.

Табела 3. Основне вредности фактора понашања

Тип конструкције	DCM	DCH
Оквирни систем, двојни систем, систем повезаних зидова	$3,0 \cdot \alpha_u / \alpha_1$	$4,5 \cdot \alpha_u / \alpha_1$
Систем неvezаних зидова	3,0	$4,0 \cdot \alpha_u / \alpha_1$
Торзионо флексибилни систем	2,0	3,0
Систем обрнутог клатна	1,5	2,0

Дефинисањем различитих класа дуктилности се постављају различити односи носивости и

дуктилности који могу бити кориштени при пројектовању објеката. Пројектанту се даје могућност избора да ли ће зграда примити утицаје већом носивошћу и мањом дуктилношћу или обрнуто.

Табела 4. Основни захтеви за обликовање детаља за локалну дуктилност код DCM односно DCH методе

		DCM	DCH
Greda	Maksimalni razmak uzengija s_{min}	$s = \min(h_w/4; 24d_{ov}; 225; 8d_{bl})$	$s = \min(h_w/4; 24d_{ov}; 175; 6d_{bl})$
Stub	Maksimalna normalizovna sila v_q	0.65	0.55
	Kritična visina	$l_{cr} = \max(h_c; l_{cl}/6; 0,45)$	$l_{cr} = \max(1,5h_c; l_{cl}/6; 0,6)$
	Razmak uzengija	$s = \min(b_c/2; 175; 8d_{bl})$	$s = \min(b_c/3; 125; 6d_{bl})$
	$\phi_{u,min}$	6mm	$d_{ov} \geq 0,4 \cdot d_{bl} \cdot \sqrt{f_{yd}/f_{yov}}$
	$\frac{min^{0,4} v_d}{v_q}$	0.08	0.12
Zid	Maksimalna normalizovna sila v_q	0.4	0.35
	Uvećanje V: $\epsilon = V_{Ed}/N_{Ed}$	1.5	$\epsilon = q \cdot \sqrt{\frac{V_{Ed} M_{Ed}}{q M_{Ed}}} + 0,1 \cdot \left(\frac{S_d(T_d)}{S_d(T_s)}\right)^2 \leq q$

На примјеру рама Н-3 из предметног пројекта, извршена је упоредна анализа вриједности утицаја у раму и дуктилним зидовима, анализираног по једној и другој методи, а затим и одређени захтеви за локалну дуктилност греда, стубова и дуктилних зидова.

Табела 5. Нумерички резултати упоредне анализе

		DCM	DCH
GREDA	max M(kNm)	113.15	87.8
	max T(kN)	109.61	90.68
	max N(kN)	50.02	34.99
	kritična dužina-lcr (cm)	35	52.5
	razmak uzengija-s(cm)	8.75	8.4
	duktilnost krivine- $\mu\phi$	6.8	10.7
STUB	max M(kNm)	92.76	79.6
	max T(kN)	40.45	31.03
	max N(kN)	1903.18	1893.92
	kritična visina-lcr (cm)	65	75
	razmak uzengija-s(cm)	10	6.7
	duktilnost krivine- $\mu\phi$	6.8	10.7
	maksimalna normalizovana sila-vd	0.65	0.55
mehanički zapreminski koeficijent armiranja- ω_{wd}	0.08	0.12	
ZID	max Mx(kNm/m)	10.96	5.41
	max My(kNm/m)	32.46	17.56
	max Ny(kN/m)	1988.47	1288.7
	kritična visina-hcr (cm)	325	325
	duktilnost krivine- $\mu\phi$	6.8	10.7
	maksimalna normalizovana sila-vd	0.4	0.35

4. ЗАКЉУЧАК

Гледано са аспекта поређења укупног сеизмичког дејства, домаћи и европски прописи, односно еквивалентна статичка метода (ЕСМ) и мултимодална спектрална анализа (ММСА) се не могу реално упоредити. Разлог за то је што ЕСМ представља приближну методу која користи само први облик својствених осцилација, док се у ММСА користи више тонова осциловања. ЕСМ недостатак коришћења виших тонова осциловања покушава надокнадити концентрацијом 15% укупне силе у нивоу последње таванице. С обзиром и на ту чињеницу, укупно сеизмичко дејство је значајно веће према европским стандардима, чему доприноси и то што је зграда пројектована за средњу класу дуктилности – DCM. При одређивању фактора понашања q потребно се одлучити за неку од класа дуктилности конструкције. У умереним или високим сеизмичким зонама бира се између DCM и DCH. Веће вредности фактора понашања које се додељују већој класи дуктилности, подразумевају да су прорачунске вредности утицаја из сеизмичке прорачунске ситуације мање него за средњу класу дуктилности, што је приказано табеларно у раду за греде, стубове и дуктилне зидове. Избором високе класе дуктилности (DCH) добијају се мањи утицаји, али од конструкције се очекује дужи пластични рад, тако да је строжија по питању обликовања детаља (узеније, дужина критичне области итд.) од DCM.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Еврокод 1: Дејства на конструкције
2. Еврокод 2: Прорачун бетонских конструкција
3. Еврокод 8: Прорачун сеизмички отпорних конструкција
4. Вања Алendar: Пројектовање сеизмички отпорних армиранобетонских конструкција кроз примере
5. Еврокод 0: Основе прорачуна конструкција
6. <http://www.radimpex.rs> – упуство за Tower 6 (српски језик)

Кратка биографија:



Ђорђе Брборић рођен је у Требињу 1993. год. Октобра 2012. год. уписује одсек за Грађевинарство на Факултету техничких наука у Новом Саду. Октобра 2016. год. стиче звање дипломираног инжењера грађевинарства. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Сеизмичка анализа конструкција одбранио је 2021. године.