

**ПРОРАЧУН АБ КОНСТРУКЦИЈЕ ПРЕМА EN И ПРОЦЕНА СЕИЗМИЧКОГ  
ОДГОВОРА PUSHOVER АНАЛИЗОМ****RC STRUCTURE DESIGN IN ACCORDANCE WITH EN AND ASSESSMENT OF  
SEISMIC RESPONSE BY PUSHOVER ANALYSIS**

Миљан Дејић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО**

**Кратак садржај** – У раду се у првом кораку спроводи линеарно-еластична анализа конструкције према Еврокоду, одређују напрезања делова конструкције, димензиониши пресеци, проверава померање конструкције и врши конструисање детаља тако да се обезбеди претпостављена вредност дуктилности конструкције. Овај део прорачуна спроведен је у програму „Tower 8”. Са тако дефинисаним детаљима армирања спроводи се нелинеарна статичка - „Pushover” анализа. Формира се нелинеарни модел, дефинишу носивости пластичних зглобова, чија је диспозиција претходно претпостављена, а затим се одређује носивост на хоризонтална оптерећења, ток и капацитет деформација. Конкретно, прати се развој формирања механизма, редослед отварања зглобова, одређују се циљна померања и криве капацитета, за два правца и две расподеле бочног оптерећења. Нелинеарна статичка анализа је спроведена у програму „Etabs 18”.

**Кључне речи:** Нелинеарна статичка анализа, Процена сеизмичког одговора, циљно померање, крива капацитета, Еврокод

**Abstract** – In this paper, in the first step, a linear-elastic analysis of the structure according to Eurocode is carried out, internal forces of elements are determined, sections are designed, the displacement of the structure are checked and reinforcement details are defined to ensure the assumed value of the ductility of the structure. This part of the calculation is carried out in the „Tower 8” software. With such defined reinforcement details, a nonlinear static - Pushover analysis is carried out. A nonlinear model is formed, the load capacities of the plastic hinges are defined with previously assumed position, load capacity for horizontal loads, and then deformation capacity is determined. In particular, gradual emergence of plastic hinges, the evolution of the plastic mechanism, estimation of target displacements and determination the capacity curves. Nonlinear static analysis was carried out in the Etabs 18 software.

**Keywords:** Nonlinear Static Analysis, Assessment of Seismic Response, Target displacements, Capacity curve Eurocode

**НАПОМЕНА:**

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Александра Радујковић, доцент.

**1. УВОД**

С обзигом на карактер сеизмичког оптерећења сеизмички отпорне конструкције пројектују се са тежњом да се објекат не одупире сеизмичком дејству својом крутошћу и носивошћу већ дуктилношћу, односно да се значајно пластично деформише. Према ЕН 1998-1 основни захтев при пројектовању и извођењу конструкција јесте да конструкција издржи пројектно сеизмичко дејство без локалног или глобалног рушења, а у случају сеизмичког дејства веће вероватноће појаве у односу на пројектно, без појаве оштећења.

При примени линеарно-еластичне анализе могућност пластичног деформисања се постиже редукацијом носивости при чему се користи скуп прописаних правила, захтева и контрола како би конструкција могла да издржи максимално глобално померање. Скуп правила заснива се на „програмираном понашању“ и води ка конструкцијама са јаким стубовима и slabним гредима што омогућава формирање пластичних зглобова на крајевима греда и само у укљештењима стубова у темељ. Међутим, понашање конструкције зависи од интеракције многобројних параметара па је за реалнију процену неопходна примена неке од нелинеарних метода. У овом раду је у ту сврху примењена нелинеарна статичка - pushover анализа.

**2. ОПИС КОНСТРУКЦИЈЕ**

Објекат се налази у Книћу. Основна носећа конструкција објекта је скелетна, армиранобетонска, са стубовима, гредима, АБ зидовима и пуним међуспратним таваницама. АБ зидови се налазе у крајњим осама попречног правца (Слика 1) по два са сваке стране. Пружају се комплетном висином објекта без промене попречног пресека димензија 20/400 cm.

У крајњим осама подужног правца формирани су рамови од стубова 40/80cm и греда 35/55 cm. Таванице су дебљине 20cm и на крајевима у попречном правцу се ослањају се на рамове, а у подужном правцу на зидове и стубове. На осталим местима таванице се ослањају директно на стубове димензија 40/40cm. Објекат је спратности ПР+6, спратне висине 320cm на свим нивоима. Растери оса су 4x6 m у подужном правцу и 4x4 m у попречном правцу. Сви елементи су од бетона класе C30/37, а армиатура од челика B500B.

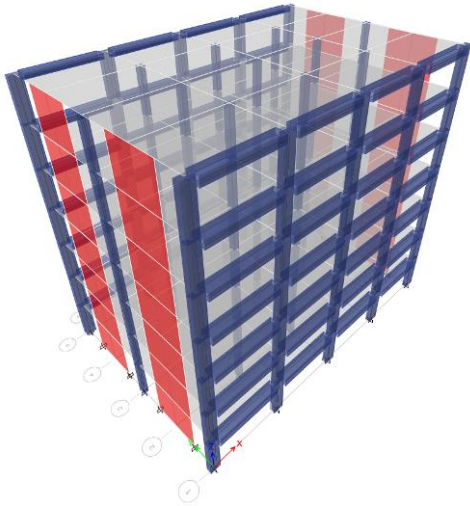
### 3. АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА

Сопствена тежина елемената обухваћена је аутоматски на основу димензија попречног пресека елемената и запреминске тежине. Додатно стално оптерећење усвојено је према дефинисаним слојевима пода и опреме и на крову износи  $3,0 \text{ kN/m}^2$ , а на осталим таваницама  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .

Корисно оптерећење усвојено је категорије *B*, намењене канцеларијском простору, на свима таваницама. Усвојен интензитет је  $2,5 \text{ kN/m}^2$ .

Дејство снега дефинисано је интензитета  $1,0 \text{ kN/m}^2$ .

Сеизмичко дејство описано је преко хазарда  $a_g=0,2g$  референтног максималног убрзања тла за дату локацију.



Слика 1. 3D модел објекта

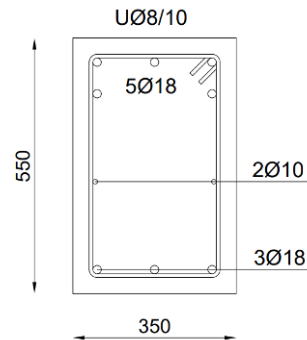
### 4. МОДЕЛИРАЊЕ КОНСТРУКЦИЈЕ И ОПТЕРЕЋЕЊА

Како су спроведене линеарна и нелинеарна анализа, формирана су и два одговарајућа модела за ове анализе. Код линеарног модела греде су моделиране као линијски ентитети правоугаоног попречног пресека, без узимања у обзир садејствујуће ширина плоче код дефинисања попречног пресека, што је код линеарних модела уобичајено. Савојна и смичућа крутост греда редукована је на половину, а торзиона на десетину вредности која одговара бруто пресеку. Стубову су моделирани линијским ентитетима правоугаоног и квадратног пресека, савојна и смичућа крутост редукована им је на половину. Стубови су укљештени у темеље апсолутне крутости. Плоче и зидови моделирани су површинским ентитетима, редукована им је савојна и смичућа крутост на половину. Зидови су такође укљештени у темеље.

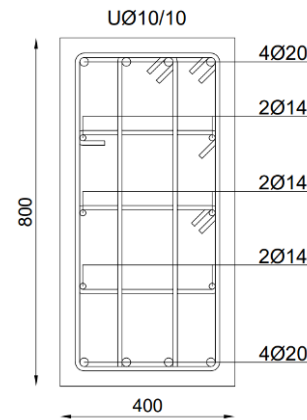
Утицаји од сеизмичког дејства одређени су мулти-модалном анализом, где се укупни утицаји добијају

комбиновањем утицаја појединачних модова ССС методом. Утицаји се добијају из пројектног спектра укључујући фактор понашања  $q$ . Прорачун обухвата и утицај случајне торзије ексцентрисањем центра масе. Објекат се пројектује за средњу класу дуктилности *DCM* те су вредности фактора понашања 3,9 за *X* правац и 3,0 за *Y* правац дејства земљотреса.

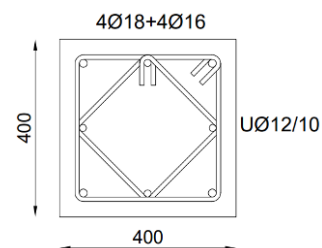
На основу линеарне статичке анализе димензионисани су елементи конструкције, Слика 2,3,4,5.



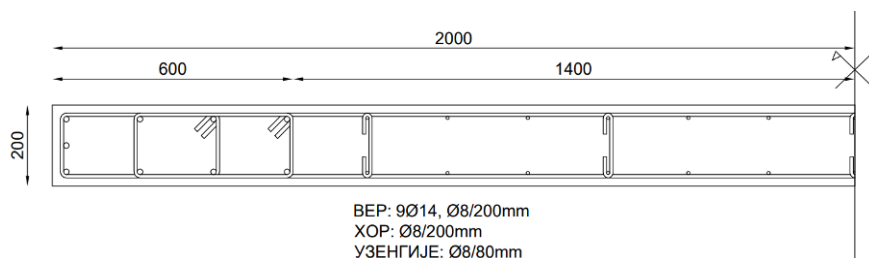
Слика 2. Усвојен попречни пресек греда



Слика 3. Усвојен попречни пресек стубова 80x40



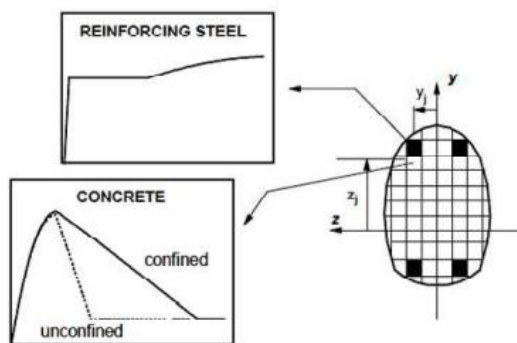
Слика 4. Усвојен попречни пресек стубова 40x40



Слика 5: Усвојен попречни пресек зидова

У нелинеарном моделу обухваћена је материјална и геометријска нелинеарност. Материјална, моделом концентрисане пластичности, пластичним зглобовима на крајевима стубова и греда, а код зидова на сваком спрату као зглоб површинског елемента. Еластичном делу конструкције (ван пластичних зглобова) редукована је крутост на половину као и у линеарном моделу. Геометријска нелинеарност обухваћена је ефектима Р-Δ.

Код стубова и зидова примењен је влакнасти модел пластичног зглоба. Пресек се дели на влакна неутегнутог бетона, утегнутог бетона и арматуре тако да је однос сила-деформација у пресеку изведен интеграцијом односа напон-дилатација за влакно. Нелинеарно понашање зглоба проистиче искључиво из нелинеарне везе напон-дилатација бетонског и челичног влакна [1].



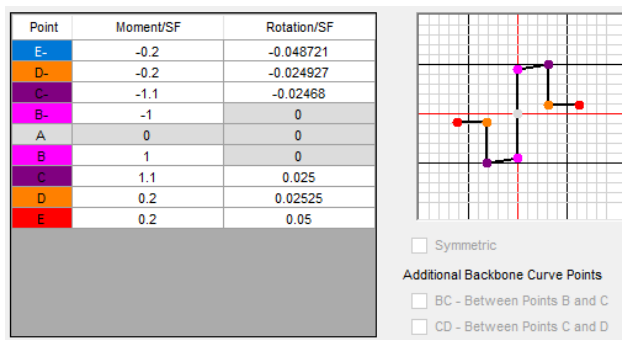
Слика 6. Влакнасти модел попречног пресека

Закон понашања пластичног зглоба греде дефинисан је нелинеарним односом момент-ротација Слика 7.

У нелинеарном моделу је, за разлику од линеарног, узета у обзир садејствујућа ширина плоче, код дефиниције попречног пресека греде.

Таванице су моделиране као круте дијафрагме у својој равни и обухваћен је ефекат случајне торзије, а маса конструкције узета је из сеизмичке комбинације  $G+0,3P$ .

За сваки од правца дефинисана су по два обрасца бочног оптерећења. Један је равномерно расподељено, а други модални облик обликован према првом тону осциловања за сваки од правца. Обзиром да је конструкција двоосно симетрична у основи, нису анализирани алтернативни смерови дејстава бочног оптерећења.



Слика 7. Дијаграм момент-ротација пластичног зглоба греде

## 5. PUSHOVER АНАЛИЗА

Pushover анализа спроведена је под условима константног гравитационог оптерећења и монотонно растућег бочног оптерећења које симулира инерцијалне силе од сеизмичког дејства.

Како расте бочно оптерећење прати се постепено настајање пластичних зглобова, њихов развој и деформација, у функцији интензитета бочног оптерећења и резултујућег померања врха зграде [3]. Крајњи резултат *pushover* анализе је одређивање механизма лома конструкције услед сеизмичког оптерећења.

На основу *pushover* анализе одређује се применом N2 методе циљно померање конструкције. Циљно померање се дефинише као сеизмички захтев и представља процену максималног померања врха објекта при дејству пројектног земљотреса.

Глобални одговор конструкције при нелинеарној анализи дат је помоћу криве капацитета која се добија као *pushover* крива до вредности 150% циљног померања и даје зависност смичуће силе у основи и померања контролне тачке (врха зграде).

## 6. РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА

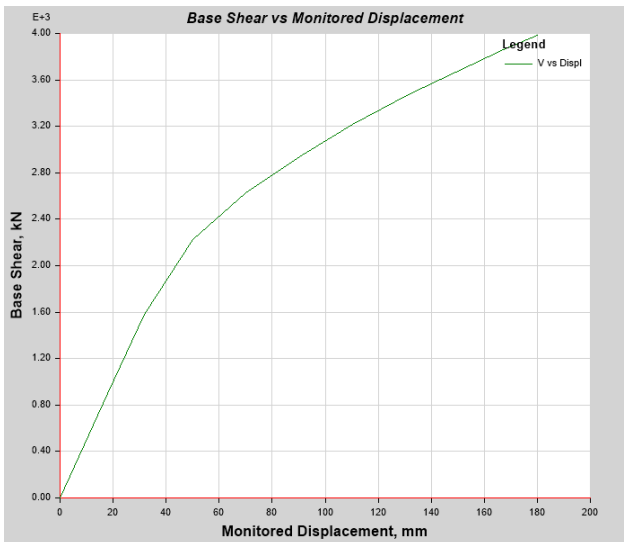
Процењене вредности циљног померања за два облика бочног оптерећења и два правца дате су у табели 1.

На сликама 8,9,10 и 11 приказане су криве капацитета за X и Y правац и оба обрасца бочног оптерећења.

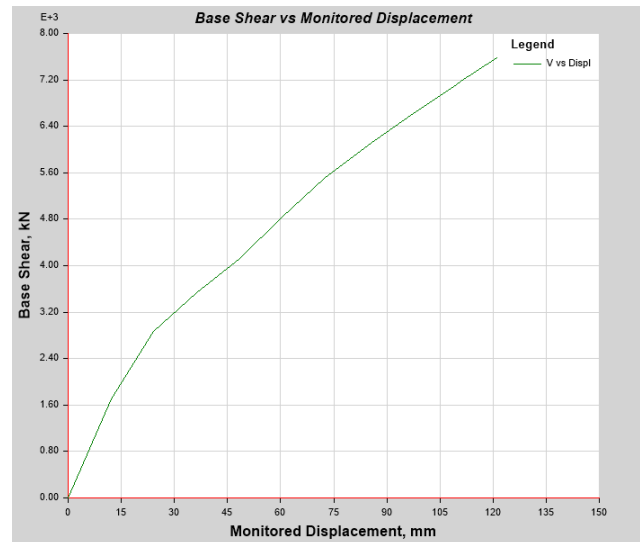
Табела 1: Процењене вредности циљног померања за два облика бочног оптерећења и два правца

Модални образац бочног оптерећења						
расподела	X модална			Y модална		
правац	X	Y	X + 0,3 Y	X	Y	0,3 X + Y
$d_t$	118,83 mm	*3,17 mm	119,78 mm	*8,76 mm	87,57mm	90,20 mm
$1,5 d_t$	178,25 mm	4,76 mm	<b>179,67 mm</b>	13,14 mm	131,36 mm	<b>135,29 mm</b>
Равномерно расподељени образац бочног оптерећења						
расподела	X равномерна			Y равномерна		
правац	X	Y	X + 0,3 Y	X	Y	0,3 X + Y
$d_t$	96,73 mm	*1,99 mm	97,33 mm	*5,32 mm	78,81 mm	80,41 mm
$1,5 d_t$	144,65 mm	2,99 mm	<b>146,00 mm</b>	7,98 mm	118,22 mm	<b>120,61 mm</b>

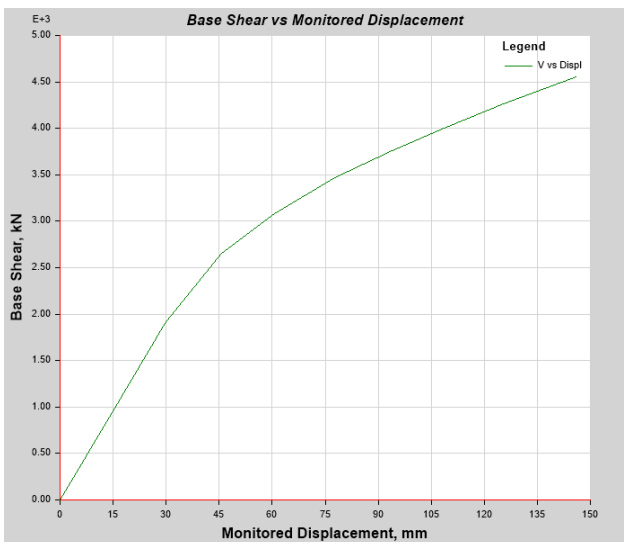
\*- одговарајуће померање из модела



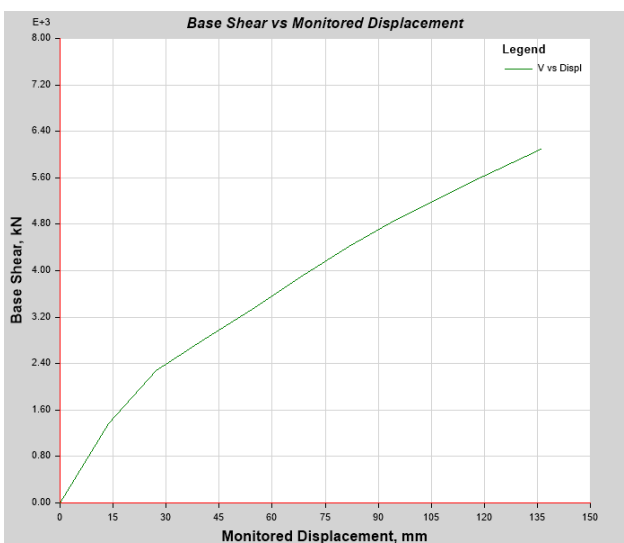
Слика 8: Крива капацитета за X-правац модална расподела ( $d_m=179,67\text{mm}$ ,  $F_b=3998\text{kN}$ )



Слика 11: Крива капацитета за Y-правац равномерна расподела ( $d_m=120,61\text{mm}$ ,  $F_b=7578,65\text{kN}$ )



Слика 9: Крива капацитета за X-правац равномерна расподела ( $d_m=146,00\text{mm}$ ,  $F_b=4551,34\text{kN}$ )



Слика 10: Крива капацитета за Y-правац модална расподела ( $d_m=135,29\text{mm}$ ,  $F_b=6098\text{kN}$ )

## 7. ЗАКЉУЧАК

ЕН прописи дозвољавају одређивање сеизмичких утицаја на основу линеарно еластичног понашања конструкције али је за реалнију процену неопходна примена нелинеарних метода. У овом раду је у ту сврху примењена нелинеарна статичка (Pushover) анализа.

Основни захтев *Pushover* анализе јесте достизање циљног померања (померања које одговара пројектном земљотресу) и могућност померања врха зграде до вредности 150% циљног померања [2] (у случају провере стања које непосредно предходи лому). На основу приказаних резултата може се закључити да већа циљна померања се јављају при модалној расподели бочног оптерећења док су при равномерној расподели веће вредности смичућих сила у основи.

Анализирана конструкција димензионисана према ЕН испуњава сеизмички захтев и показује додатни капацитет. Може се закључити да је дуктилност померања обезбеђена.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александра Радујковић: Анализа параметара за процену сеизмичког одговора вишеспратних армиранобетонских оквира, Нови Сад, 2015
- [2] ЕН1998-1:2004 Еврокод 8 – Прорачун сеизмички отпорних конструкција, Београд, 2009
- [3] Michael N. Fardis: Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings, Springer Netherlands 2009

### Кратка биографија:



**Миљан Дејић** рођен је у Београду 1994. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства – Сеизмичка анализа конструкција одбранио је 2023.год.

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