

ПРОРАЧУН ФАКТОРА ПРЕКОРАЧЕЊА ПРЕМА ЕВРОКОДУ 8 ПРИМЕНОМ
НЕЛИНЕАРНЕ СТАТИЧКЕ АНАЛИЗЕ НА ОКВИРНОЈ КОНСТРУКЦИЈИ ЗГРАДЕ
OVERSTRENGTH FACTOR CALCULATION ACCORDING TO EUROCODE 8 BY THE
USE OF PUSHOVER ANALYSIS ON FRAME SYSTEM BUILDING

Урош Мартиновић, Драго Жарковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Циљ истраживања овог рада јесте одређивање реалног фактора мултипликације применом нелинеарне статичке анализе, на примеру оквирне конструкције и сагледавање његових препоручених вредности датих Еврокодом 8. У сврху овог истраживања било је неопходно издимионисати објекат применом линеарно-еластичне анализе и усвојити арматуру како би се могла извршити нелинеарна статичка анализа.

Кључне речи: нелинеарна статичка анализа, фактор мултипликације, асеизмичко пројектовање, Еврокод 8, Matrix 3D

Abstract – The aim of the research of this work is to determine the real multiplication factor using nonlinear static analysis, on the example of a frame structure, and considering its recommended values given by Eurocode 8. For the purpose of this research, it was necessary to dimension the object using linear-elastic analysis and to adopt reinforcement in order to be able to perform nonlinear static analysis.

Keywords: non-linear structural (pushover) analysis, multiplication factor, Eurocode 8, Matrix 3D

1. УВОД

Приликом пројектовања конструкције неопходно је обухватити земљотресно дејство на конструкцију. Део прописа, тренутно важећег за пројектовање бетонских конструкција, који се односи на асеизмичко пројектовање је EN 1998-1 (у даљем тексту Еврокод 8). Приликом асеизмичког пројектовања конструкције потребно је испоштовати опште и додатне захтеве дате овим Еврокодом.

Сеизмички утицаји могу се одредити на основу линеарно-еластичног понашања зграде и у зависности од конструкцијских карактеристика зграде дате су два линеарно-еластичне анализе: метода еквивалентних бочних сила и мултимодална спектрална анализа, док су као алтернатива овим дате нелинеарне анализе које су такође релеванте: нелинеарна статичка - метода поступног гурања (*pushover*) и нелинеарна динамичка анализа.

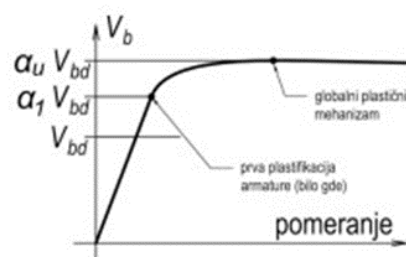
НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Драго Жарковић, доцент.

Хоризонтално сеизмичко дејство, које је од интереса при асеизмичком пројектовању зграда, представља се еластичним спектром одговора који зависи од категорије тла и типа еластичног спектра. Описује се са две ортогоналне компоненте које се третирају као међусобно независне а приказане су истим спектром.

Главна претпоставка на којој се заснива асеизмичко пројектовање је да се конструкција супротставља земљотресном дејству у нелинеарном домену. Стога, да би конструкција имала довољан капацитет носивост она се пројектује на дејство сила које су мање од оних када је понашање конструкције линеарно.

При линеарно-еластичним анализама то постижемо редукијом еластичног спектра одговора увођењем фактора понашања q . Фактор понашања је код оквирних конструкција у функцији односа α_u/α_1 . Однос α_u/α_1 тј. фактор мултипликације представља однос сеизмичког дејства када долази до нестабилности на глобалном нивоу (формирање великог броја пластичних зглобова) и дејства при коме долази до формирања првог пластичног зглоба у конструкцији. Еврокодом 8 дате су препоручене вредности овог односа.



Слика 1: Параметри α

Предметни објекат на ком је извршена анализа фактора мултипликације је оквирног конструктивног система без зидова за укрућење, ради једноставности прорачуна.

Растер стубова је ортогоналан са карактеристичним распоном у X правцу од 4.5 м, те укупна ширина објекта износи 13.5 м, док у Y правцу растер износи 5.25 м и укупне дужине у том правцу од 21 м. Објекат се састоји из четири етажне са униформном висином од 3 м.

2. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПРИМЕНОМ СОФТВЕРА TOWER

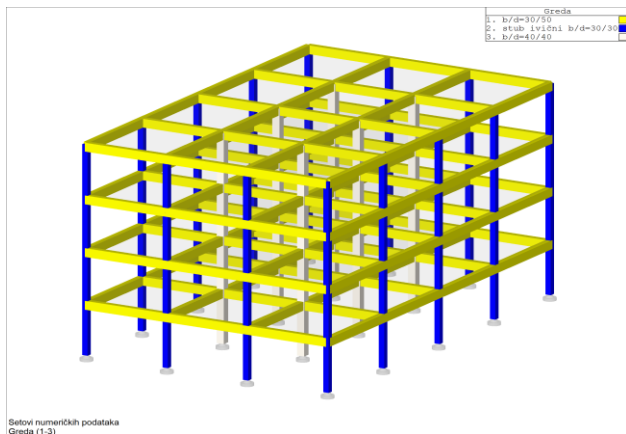
Први кораци у пројектовању неког објекта је сагледавање дејства која делују на исти. У циљу поједностављења касније нелинеарне анализе и прорачуна усвојена су следећа дејства:

- стална дејства - само сопствена тежина конструктивних елемената и додатно стално у износу од 1 kN/m^2 по свим етажама од тежине слојева пода.
- повремена дејства - корисно оптерећење у износу од 2 kN/m^2 по свим етажама. Оптерећење од снега и ветра је изостављено.
- сеизмичка дејства - обухваћено након усвајања коначних димензија конструктивних елемената.

Дебљина армиранобетонске међуспратне таванице је усвојена из задовољења доказа граничног стања угиба без прорачуна. Усвоје дебљина таванице износи 20 cm . Димензије греде су усвојене на основу искуствених препорука те је усвојено $b/h=30/50 \text{ cm}$. На основу добијених вредности и захтева за ограничење аксијалне силе усвојене су следеће димензије стубова:

- ивични стубови усвојено: $b/h = 30/30 \text{ cm}$
- угаони стубови усвојено: $b/h = 40/40 \text{ cm}$

У циљу одређивања динамичких карактеристика конструкције спроведена је модална анализа. Модална анализа је извршена за првих 5 тонова. Конструктивни систем предметне зграде је оквирни систем без зидова за укрућење. У наредном кораку генерисано је сеизмичко дејство на конструкцију. Срачунати фактор понашања износи 3.90 а препоручена вредност односа α_u/α_1 износи 1.30 .



Слика 2: Изглед модела конструкције

Након аплицираног комплетног оптерећења на конструкцију, срачунати су утицаји који делују на конструктивне елементе. На основу релевантних комбинација ових утицаја, сви конструктивни елементи су димензионисани и армирани сагласно правилима Еврокода.

3. НЕЛИНЕАРНА СТАТИЧКА АНАЛИЗА У ЗГРАДАСТВУ

3.1. Увод

Као полазна претпоставка дата Еврокодом 8 је да се конструкције супротставља земљотресном дејству у

нелинеарном домену. Код нелинеарних модела, треба да се као минимум на нивоу елемента користи билинеарна веза сила-деформација.

Сама сврха нелинеарне методе јесте сагледавање понашања конструкције након пластификације њених елемената (пост-еластично понашање). Понашање конструкције се прати преко промене померања врха зграде (кровне таванице) у односу на укупну хоризонталну силу. Недостатак код нелинеарне статичке методе је то што је њена могућност примене ограничена само на конструкције које су претходно издимензионисане и код којих је усвојена арматура у свим елементима.

3.2. О нелинеарној (*pushover*) статичкој анализи

Нелинеарна (*pushover*) анализа се спроводи под константним гравитационим оптерећењем, оптерећујући конструкцију монотонно растућим хоризонталним оптерећењем (по принципу бочних сила). Такође, битно је напоменути да се анализа спроводи на просторном моделу уз претпоставку материјално-нелинеарног понашања елемената у зонама дисипације о чему ће у наредном поглављу више бити речи. Постепеним повећавањем бочног оптерећења долази до достизања носивости појединих елемената конструкције.

Међутим, нелинеарна статичка анализа може да се користи за следеће потребе:

- проверу вредности фактора прекорачења α_u/α_1 ,
- процену очекиваног пластичног механизма и развоја оштећења,
- процену конструкцијског понашања постојећих или реконструисаних зграда,
- као алтернатива прорачуну који је заснован на линеарно-еластичној анализи који користи фактор понашања q .

Параметри у фактору прекорачења предсаваљају:

- α_1 - коефицијент који помножен са пројектним сеизмичким дејством реализује прву пластификацију у конструкцији.
- α_u - коефицијент који помножен са пројектним сеизмичким дејством реализује велики број пластичних зглобова, односно долази до развоја глобалне нестабилности.

Конструкцију оптерећујемо, осим гравитационим оптерећењем, хоризонталним силама које се наносе у тежиштима одговарајућих маса. Притом, у обавези је разматрање барем две вертикалне дистрибуције бочних сила: униформна и модална расподела.

Главни резултат нелинеарне анализе је крива капацитета, односно *pushover* крива. Ова крива представља зависност између смичуће силе у основи зграде и контролног померања. Поменути зависност је потребно одредити за вредност контролног померања које су у интервалу између нуле и вредности која одговара 150% циљног померања. Циљно померање је

у суштини померање којим се поставља сеизмички захтев, будући да је крива капацитета нека врста карактеристике само конструкције, и задајемо га у форми максималног померања које је резултат земљотресног дејства.

3.3. Геометријска нелинеарност конструкције (P-Δ)

P-Δ, познат још и као геометријска нелинеарност, јесте нелинеарни ефекат који се јавља у свакој конструкцији у којој су елементи изложени аксијалним силама. Овај ефекат уводи у анализу секундарне утицаје који настају услед релативног померања крајева штапа [2].

4. „PUSHOVER” АНАЛИЗА ПРИМЕНОМ СОФТВЕРА MATRIX 3D

4.1. О Matrix 3D софтверу

Matrix 3D је вишенаменски програм, који има могућност спровођења различитих типова нелинеарних анализа, укључују и 2D и 3D коначне елементе. Што се математичке позадине тиче, Матрих 3D се заснива на методи коначних елемената, а има могућност спровођења како линеарне тако и нелинеарне анализе [4].

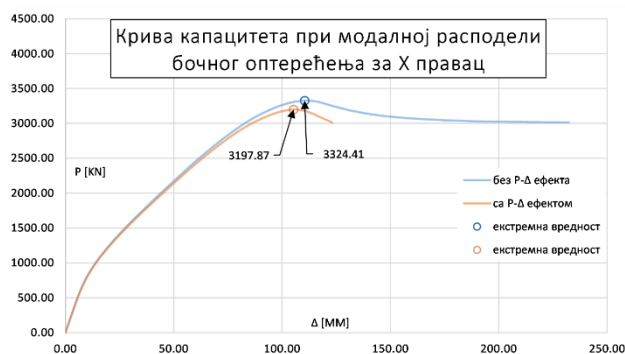
4.2. Влакнасти (fiber) елементи

Код влакнастог (fiber) попречног пресека, врши се дискретизација попречног пресека и у свакој тачки интеграције тако дискретизованог попречног пресека одређује се одговор материјала који је додељен посматраној тачки интеграције. Потом се, интеграцијом по читавом попречном пресеку добија одговор попречног пресека.

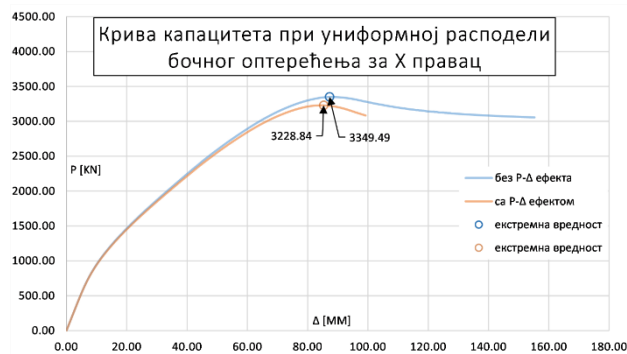
У начелу, свако влакно пресека је засебан материјал [5]. Влакнасти модели имају кључну предност при представљању понашања конструкција, с једноставном припремом модела и у могућности су да прикажу резултате, тј. дијаграме пресечних сила. Применом ових коначних елемената није потребно додатно време за моделирање конструкција.

4.3. Резултати нелинеарне статичке анализе

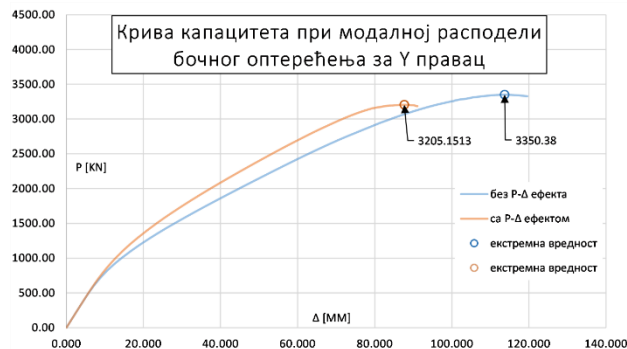
Главни резултат нелинеарне анализе је крива капацитета. Ова метода је спроведена за сваки од главних правца зграде, уз разматрање две различите вертикалне дистрибуције бочног оптерећења - униформна и модална.



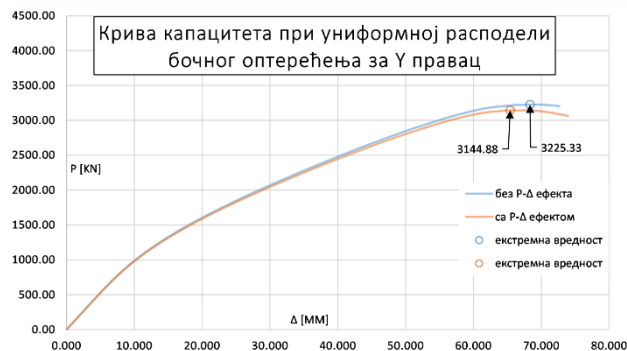
Слика 3: Крива капацитета при модалној расподели за X правац



Слика 4: Крива капацитета при униформној расподели за X правац



Слика 5: Крива капацитета при модалној расподели за Y правац



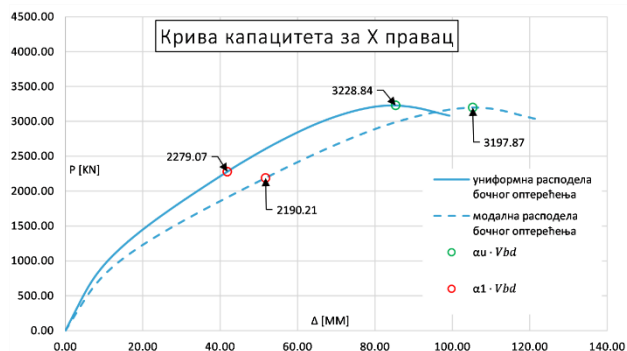
Слика 6: Крива капацитета при униформној расподели за Y правац

Осим тога, за сваки од ових случајева спроведена је и нелинеарна анализа узимајући у обзир P-Δ ефекат што ће бити приказано на графицима упоредо са случајем где овај ефекат није разматран.

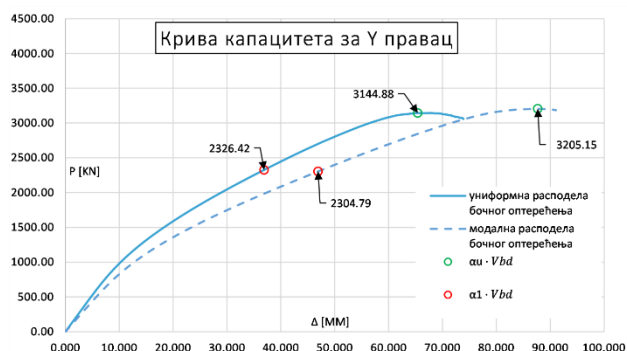
У случају укључивања P-Δ ефекта, забележава се мања вредност сеизмичког сила при ком долази до формирања великог броја пластичних зглобова, док је сеизмичко сила при пластификацији прве арматуре приближно исто. Даљом анализом и одређивањем односа α_u/α_1 , користе се искључиво криве капацитета срачунате са P-Δ ефектом, из разлога што се добијају мање вредности фактора прекорачења. Нижа вредност односа α_u/α_1 резултује нижом вредности фактора понашања а самим тим већим сеизмичким дејством на конструкцију.

Наредним сликама приказане су криве капацитета за оба главна правца, добијене за униформну и модалну расподелу бочног оптерећења. Истовремено, приказа-

не су и сеизмичке силе при којима долази до прве пластификације у конструкцији као и до глобалне нестабилности.



Слика 7: Крива капацитета за X правац



Слика 8: Крива капацитета за Y правац

За X правац фактор мултипликације при униформној расподели износи 1.42 док при модалној 1.46. Усваја се мања вредност 1.42. За Y правац при униформној и модалној расподели износи 1.35 и 1.39, респективно, те се усваја 1.35.

5. ЗАКЉУЧАК

Сагледавањем резултата добијених анализом и узимајући у обзир препоручену вредност фактора прекорачења $\alpha_u/\alpha_1 = 1.3$ за оквирну конструкцију прописане Еврокодом 8, може се закључити да је заправо овај однос код оквирних конструкција нешто већи и разликује се за два главна правца.

Већа вредност фактора прекорачења директно утиче на фактор понашања повећавајући његову вредност. Самим тим долази до смањења сеизмичког оптерећења које дејствује на конструкцију јер се у линеарно-еластичној анализи до пројектног спектра долази дељењем еластичног спектра одговора са фактором понашања. Узимајући ово у обзир, применом нелинеарне статичке анализе може се доћи до тачније вредности фактора понашања преко одређивања односа α_u/α_1 . Ово има за последицу мање утицаје у конструкцији што даље имплицира мањом потребом за арматуром и уштеди на истој.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] З. Брујић, Бетонске конструкције у зградарству према Еврокоду, Нови Сад : ФТН, 2023.

[2] Ђ. Л. З. Б. Ђ. Ј. Драго Жарковић, „Имплементација влакнастог 'стуб-греда' елемента у академски САД софтвер - Matrix 3D,“ *Research gate*, р. 22, 2018.

[3] Д. Жарковић, „P-делта анализа помоћу Matrix 3D софтвера за нелинеарну структуралну анализу,“ in *Друштво грађевинских конструктора Србије*, Нови Сад, 2022.

[4] Д. Жарковић, „Matrix 3D програм за линеарну и нелинеарну структуралну анализу и димензионисање,“ in *Друштво грађевинских инжењера Новог Сада*, Нови Сад, 2022.

[5] С. М. Костић, *Модел генерализане пластичности код нелинеарне анализе просторних оквирних конструкција*, Београд: Универзитет у Београду, 2013.

[6] Еврокод 8 - Прорачун сеизмички отпорних конструкција, Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2009.

[7] Еврокод 2 - Прорачун бетонских конструкција - Део 1.1: Општа правила и правила за зграде, Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2006.

[8] М. Чаушевић, *Динамика конструкција*, Загреб: Golden marketing - техничка књига, 2010.

[9] Evaluation of the effects of stirrup spacing and buckling of steel reinforcing bars on the capacity of RC columns, Sharif University of Technology, 2017.

Кратка биографија:



Урош Мартиновић рођен је у Новом саду 1998. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства одбранио је 2024. год.

контакт: martinovicu@gmail.com



Драго Жарковић рођен је 1985. године у Задру. Од 2009.-2015. године радио као стално запослен на Факултету техничких наука као асистент. Од 2021. године је запослен као доцент на факултету техничких наука универзитета у Новом Саду.