

# Proračun visoke zgrade cijevnog sustava sa jezgrom i outrigger zidovima

---

Salih, Nina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:969002>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-16**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nina Salih

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE CIJEVNOG  
SUSTAVA SA JEZGROM I OUTRIGGER  
ZIDOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nina Salih

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE CIJEVNOG  
SUSTAVA SA JEZGROM I OUTRIGGER  
ZIDOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Komentor: doc. dr. sc. Dominik Skokandić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Nina Salih

**STRUCTURAL DESIGN OF TALL BUILDING  
WITH TUBE STRUCTURAL SYSTEM WITH  
CORE AND OUTRIGGER WALLS**

MASTER THESIS

Supervisor: prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Cosupervisor: doc. dr. sc. Dominik Skokandić

Zagreb, 2024.



## SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je proračun visoke zgrade cijevnog sustava s jezgrom i outrigger zidovima. U sklopu ovog rada napravljeni su osnovni nacrti zgrade, proveden je proračun i napravljeni su armaturni nacrti. Proračun je napravljen prema Eurokodu i uz pomoć softvera SCIA Engineer 21.1. Na temelju dobivenih rezultata proračuna, određena je potrebna armatura svih elemenata koja je prikazana na nacrtima.

**Ključne riječi:** proračun, visoka zgrada, cijevni sustav, jezgra, outrigger zidovi

## SUMMARY

The topic of this thesis is the calculation and structural design of tall building with tube structural system with core and outrigger walls. As part of this thesis, basic building drawings were created, the structural analysis was carried out, and reinforcement drawings were prepared. The analysis was conducted according to Eurocode and with the help of SCIA Engineer 21.1 software. Based on the obtained analysis results, the required reinforcement for all elements was determined and is shown in the drawings.

**Key words:** calculation, tall building, tube structural system, core, outrigger walls

## SADRŽAJ

SAŽETAK.....	i
SUMMARY.....	ii
SADRŽAJ.....	1
1. OPIS PROJEKTOG ZADATKA.....	5
1.1. Zadatak.....	5
1.2. Cijevni sustav s jezgrom.....	5
1.3. Outrigger.....	6
2. TEHNIČKI OPIS.....	7
3. OSNOVNI NACRTI.....	9
4. PRORAČUN KONSTRUKCIJE.....	24
4.1. Analiza opterećenja.....	24
4.1.1. Materijali.....	24
4.1.2. Vlastita težina.....	24
4.1.3. Dodatno stalno opterećenje.....	24
4.1.4. Uporabno opterećenje.....	26
4.1.5. Opterećenje snijegom.....	28
4.1.6. Opterećenje vjetrom.....	31
4.1.6.1. Osnovna brzina vjetra.....	31
4.1.6.2. Koeficijent sile $C_f$ .....	32
4.1.6.3. Konstrukcijski faktor $C_s C_d$ .....	35
4.1.6.4. Tlak pri vršnoj brzini.....	40
4.1.6.5. Sile vjetra.....	41
4.1.6.6. Raspodjela tlaka vjetra po visini.....	41
4.1.7. Seizmičko opterećenje.....	44
4.1.7.1. Spektar odziva.....	44

4.1.7.2.	Slučajni torzijski učinci.....	49
4.1.8.	Kombinacije djelovanja.....	49
4.2.	Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun .....	50
4.2.1.	Računalni model.....	50
4.2.2.	Statički proračun .....	53
4.2.3.	Dinamički proračun.....	61
4.3.	Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna.....	62
4.3.1.	Vlastiti oblici, periodi, frekvencije.....	62
4.3.2.	Provjera horizontalnih pomaka za karakterističnu kombinaciju .....	67
4.3.3.	Ograničenje međukatnog pomaka za potresno djelovanje .....	72
4.3.4.	Stabilnost na bočni pomak .....	78
4.3.5.	Ispis unutarnjih sila mjerodavnih za dimenzioniranje .....	80
4.3.5.1.	Ploče.....	80
4.3.5.2.	Zidovi jezgre.....	90
4.3.5.3.	Outrigger zidovi.....	105
4.3.5.4.	Stupovi.....	120
4.3.5.5.	Vanjske grede .....	132
4.3.5.6.	Unutarnje grede .....	144
5.	DIMENZIONIRANJE .....	157
5.1.	Trajnost i zaštitni sloj.....	157
5.2.	Ploče.....	159
5.2.1.	Međukatna ploča.....	159
5.2.1.1.	Granično stanje nosivosti .....	159
5.2.1.2.	Granično stanje uporabljivosti.....	163
5.2.2.	Krovna ploča.....	164
5.2.2.1.	Granično stanje nosivosti .....	164
5.2.2.2.	Granično stanje uporabljivosti.....	168
5.2.3.	Rekapitulacija armature ploča.....	169

5.3.	Zidovi jezgre.....	169
5.3.1.	Granično stanje nosivosti.....	169
5.3.1.1.	Vitkost zida.....	169
5.3.1.2.	Proračun nosivosti zida u potresnom području.....	173
5.3.2.	Granično stanje uporabljivosti.....	185
5.3.2.1.	Kontrola naprezanja.....	185
5.3.3.	Rekapitulacija armature zidova jezgre.....	186
5.4.	Outrigger zidovi.....	186
5.4.1.	Granično stanje nosivosti.....	186
5.4.1.1.	Vitkost zida.....	186
5.4.1.2.	Proračun nosivosti zida u potresnom području.....	191
5.4.2.	Granično stanje uporabljivosti.....	202
5.4.2.1.	Kontrola naprezanja.....	202
5.4.3.	Rekapitulacija armature outrigger zidova.....	203
5.5.	Okvir.....	204
5.5.1.	Granično stanje nosivosti.....	204
5.5.1.1.	Stupovi 160/160 cm i grede 160/120 cm.....	204
5.5.1.2.	Stupovi 150/150 cm i grede 150/120 cm.....	211
5.5.1.3.	Stupovi 120/120 cm i grede 120/100 cm.....	219
5.5.1.4.	Stupovi 100/100 cm i grede 100/100 cm.....	227
5.5.2.	Granično stanje uporabljivosti.....	235
5.5.2.1.	Kontrola naprezanja.....	236
5.5.3.	Rekapitulacija armature okvira.....	237
5.6.	Unutarnje grede.....	238
5.6.1.	Granično stanje nosivosti.....	238
5.6.1.1.	Grede 100/160.....	238
5.6.1.2.	Grede 80/150.....	241
5.6.1.3.	Grede 70/100.....	244

---

5.6.1.4. Grede 60/100.....	247
5.6.2. Granično stanje uporabljivosti.....	250
5.6.2.1. Kontrola naprezanja.....	250
5.6.3. Rekapitulacija armature unutarnjih greda.....	251
6. ARMATURNI NACRTI.....	252
7. ZAKLJUČAK.....	258
POPIS LITERATURE .....	259
POPIS SLIKA.....	261
POPIS TABLICA .....	272

# 1. OPIS PROJEKTOG ZADATKA

## 1.1. Zadatak

Zadatak ovog diplomskog rada je napraviti proračun visoke zgrade poslovne namjene na području grada Rijeke. Konstruktivni sustav je zadan i radi se o cijevnom sustavu koji se sastoji od okvira, odnosno stupova i grede smještenih po rubovima zgrade te središnje armirano-betonske jezgre koja je s vanjskih stupovima povezana outrigger zidovima na 4 mjesta po visini zgrade. Potrebno je tlocrtno smjestiti vertikalne elemente nosivih i pregradnih zidova i otvore. Zatim treba napraviti proračun konstrukcije koji se sastoji od analize opterećenja, izrade modela, statičkog i dinamičkog proračuna te provjere dobivenih rezultata. Nakon toga treba provesti dimenzioniranje elemenata zidova jezgre, outrigger zidova, obodnih stupova i greda cijevi te međukatne i krovne konstrukcije. Na kraju treba napraviti armaturne nacрте odabranih elemenata zidova i cijevi te međukatne konstrukcije.

## 1.2. Cijevni sustav s jezgrom

Cijevni sustav se ponaša kao vertikalna konzola upeta u temeljima. Optimalni sustav za dobivanje najveće lateralne stabilnosti sastojao bi se od 4 kruta zida bez otvora. Prilikom djelovanja bočnog opterećenja, zidovi koji su u smjeru djelovanja opterećenja ponašaju se kao hrtpovi i odupiru se poprečnoj sili, a zidovi okomiti na smjer djelovanja opterećenja ponašaju se kao pojasnice i odupiru se momentu savijanja. [1]

Jezgra je sustav koji preuzima i vertikalna i horizontalna opterećenja. Sastoji se ili od posmičnih zidova ili od poduprtih čeličnih okvira. Optimalna bi bila potpuno zatvorena jezgra, međutim to nije praktično pa se u nju smještaju dizala i servisni prostori kako bi se prostor što više iskoristio. [1]

Kombinacijom cijevnog sustava i jezgre postiže se bolja otpornost na bočno opterećenje u odnosu na bilo koji od ta dva sustava samostalno. Cijevni sustav slab je na posmik, ali jezgra zato smanjuje posmičnu deformaciju, a s druge strane cijevni sustav smanjuje savojnu deformaciju jezgre. Konačna je deformacija S oblika, a dolazi i do pomaka maksimalnog momenta savijanja s dna zgrade negdje na sredinu zgrade. [1]

### 1.3. Outrigger

Outrigger je kruta horizontalna struktura koja spaja jezgru sa stupovima na obodu zgrade tako da cijeli sustav djeluje kao cjelina. Ovakav sustav smanjuje moment prevrtanja i horizontalni pomak jezgre djelovanjem stupova u privjetrini u vlaku i stupova u zavjetrini u tlaku. [1]

Budući da se radi o vrlo visokim zgradama, one su izložene velikim pomacima uslijed bočnih djelovanja kao što su vjetar ili potres. Ovakav sustav pomaže u smanjenju tih pomaka i pridonosi boljoj preraspodjeli sile između jezgre i vanjskih okvira. Zbog toga moguće je postići velike visine ovakvih zgrada.

Outtriggeri se mogu izvoditi kao zidovi, nosači ili kao spregovi. Uglavnom se izvode većih visina, od visine jedne etaže pa na više, a ekonomska granica je 4 do 5 etaža.. Budući da zauzimaju puno prostora, ti katovi gdje se oni nalaze, služe kao servisni, tu se mogu postavljati instalacije i sva ostala potrebna oprema. [2]



## 2. TEHNIČKI OPIS

U ovom radu napraviti će se proračun poslovne zgrade u Rijeci. Građevina se sastoji od 72 nadzemne etaže. Tlocrtne dimenzije građevine su 24 m x 24 m, površine 576 m<sup>2</sup>. Ukupna visina svake etaže je 410 cm, dok je svjetla visina 385 cm, a ukupna visina zgrade je 295,2 m.

Građevina je monolitna armiranobetonska, svi nosivi elementi građevine su armiranobetonski (stupovi, grede, ploče, zidovi).

Krov je ravan i neprohodan, a pokrov je šljunak. Krovna konstrukcija i sve međukatne konstrukcije su debljine 25 cm, a izvode se od betona razreda C50/60 i armiraju armaturom razreda B500B.

Vanjski okvir čine stupovi na razmaku od 4 m i grede. Izvode se od betona C50/60 i armiraju armaturom B500B. I stupovi i grede promjenjivih su dimenzija po visini. Dimenzije poprečnih presjeka stupova su na etažama 1-18 160/160 cm, na etažama 19-36 150/150 cm, na etažama 37-54 120/120 cm, na etažama 55-72 100/100 cm. Svi stupovi su ukupne visine 4,1 m. Dimenzije poprečnih presjeka su na etažama 1-18 160/120 cm, na etažama 19-36 150/120 cm, na etažama 37-54 120/100 cm, na etažama 55-72 100/100 cm. Tlocrtno gledano imamo 24 stupa po obodu zgrade, sa svake strane zgrade je smješteno 7 stupova. Vanjski okviri s jezgrom su povezani pomoću greda i outrigger zidova.

Unutarnje grede, kojima se vanjski okviri spajaju sa zidovima jezgre na onim mjestima gdje nema outrigger zidova, izvode se od betona C50/60 i armiraju armaturom B500B. Dimenzije poprečnih presjeka promjenjive su po visini i one su na etažama 1-18 100/160 cm, na etažama 19-36 80/150 cm, na etažama 37-54 70/100 cm, na etažama 55-72 60/100 cm.

Armiranobetonska jezgra kvadratnog je oblika osnih dimenzija 8 m x 8 m i nalazi se u središtu zgrade. Zidovi jezgre se izvode od betona C70/85 i armiraju armaturom B500B. Debljina zidova jezgre promjenjiva je po visini i ona je na etažama 1-36 80 cm, na etažama 37-54 70 cm, na etažama 55-72 60 cm. Unutar nje je smještena vertikalna komunikacija koja je ostvarena stubištem i dizalima. Stubište je debljine 25 cm i izvodi se od betona C20/25 i armira armaturom B500B. Radi dizala napravljen je otvor u ploči veličine 2,28 m x 7,4 m, a radi stubišta napravljen je otvor veličine 2,15 m x 4,19 m. Prostor unutar jezgre razdvojen je pomoću dva gipskartonska pregradna zida duljine 7,4 m s otvorima duljine

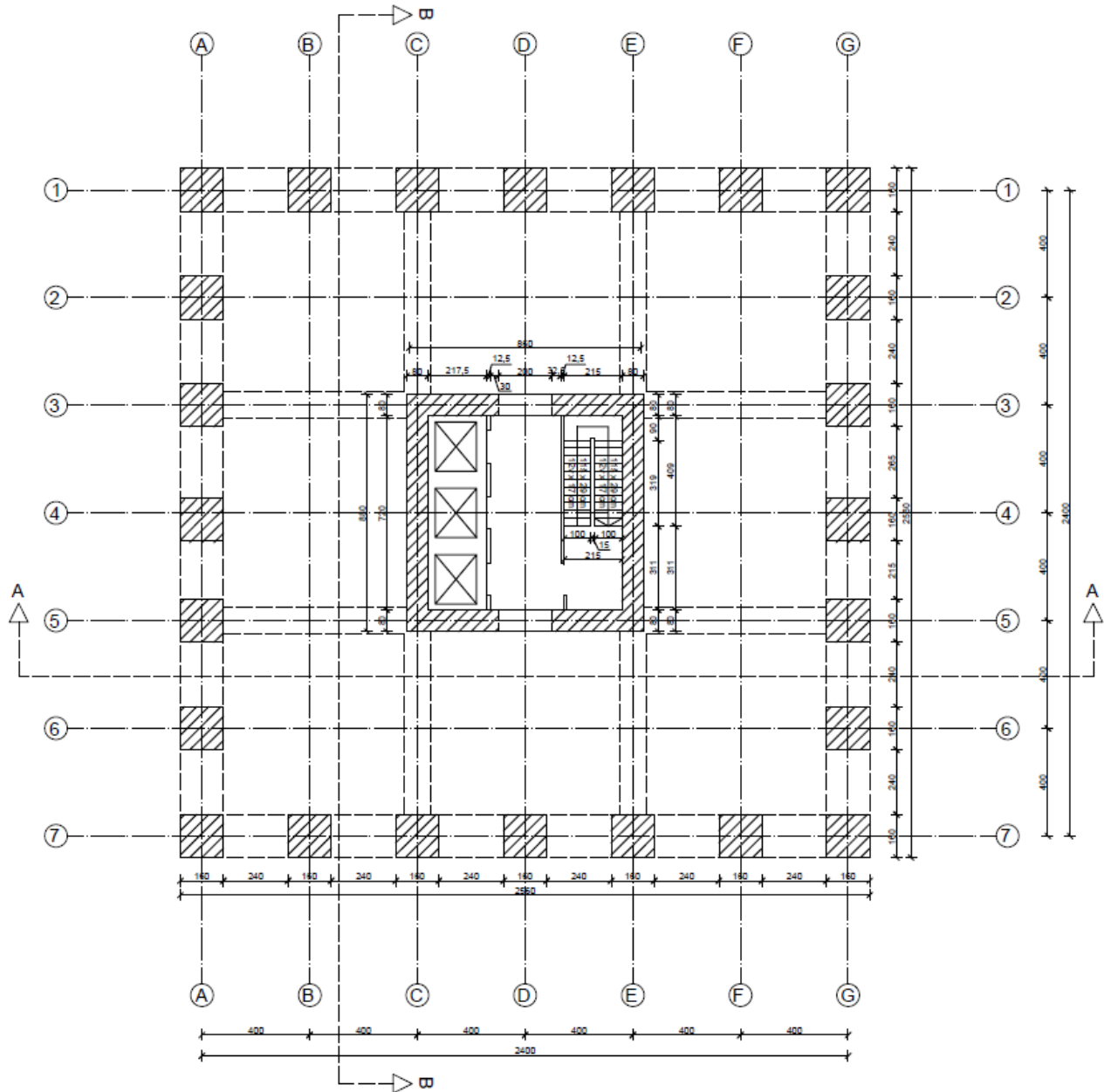
1,2 m kako bi se omogućio pristup dizalima i stubištu. Pregradni zidovi su debljine 12,5 cm, a izvode se od konstrukcije od čeličnih profila i gipskartonskih ploča s obje strane.

Outrigger zidovi se izvode od betona C50/60 i armiraju armaturom B500B. Debljine zidova promijenjive su po visini i one su na etažama 1-36 80 cm, na etažama 37-54 70 cm, na etažama 55-72 60 cm. Visina outrigger zidova iznosi dvije etaže, odnosno 8,2 m. Najprije dolaze outrigger zidovi visine dviju etaža u jednom smjeru, a zatim iznad tih zidova dolaze outrigger zidovi u smjeru okomitom na donje. Što znači da outrigger zidovi počinju na 15. etaži i završavaju na 18. te se takav sustav ponavlja na četiri mjesta po visini zgrade.

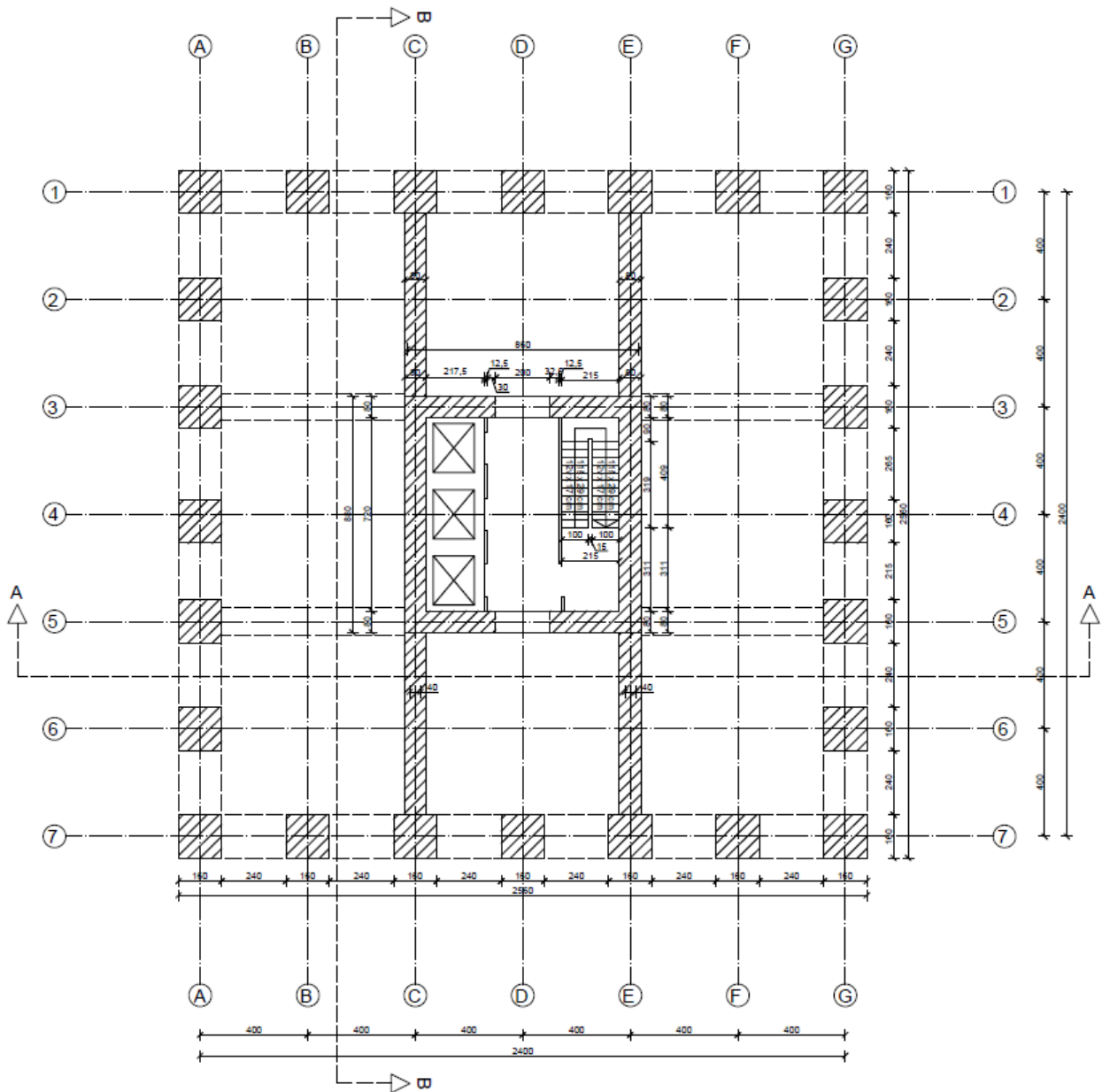
Fasada se sastoji od aluminijskih profila i staklenih panela.

Proračun građevine napravljen je u softveru SCIA Engineer 21.1, a napravljen je prema važećim europskim standardima, Eurocode-u. Izvršena je analiza opterećenja, napravljen je model te su elementi dimenzionirani u skladu s dobivenim rezultatima prema graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju uporabivosti. Na kraju su napravljeni nacrti armature prema dobivenim rezultatima.

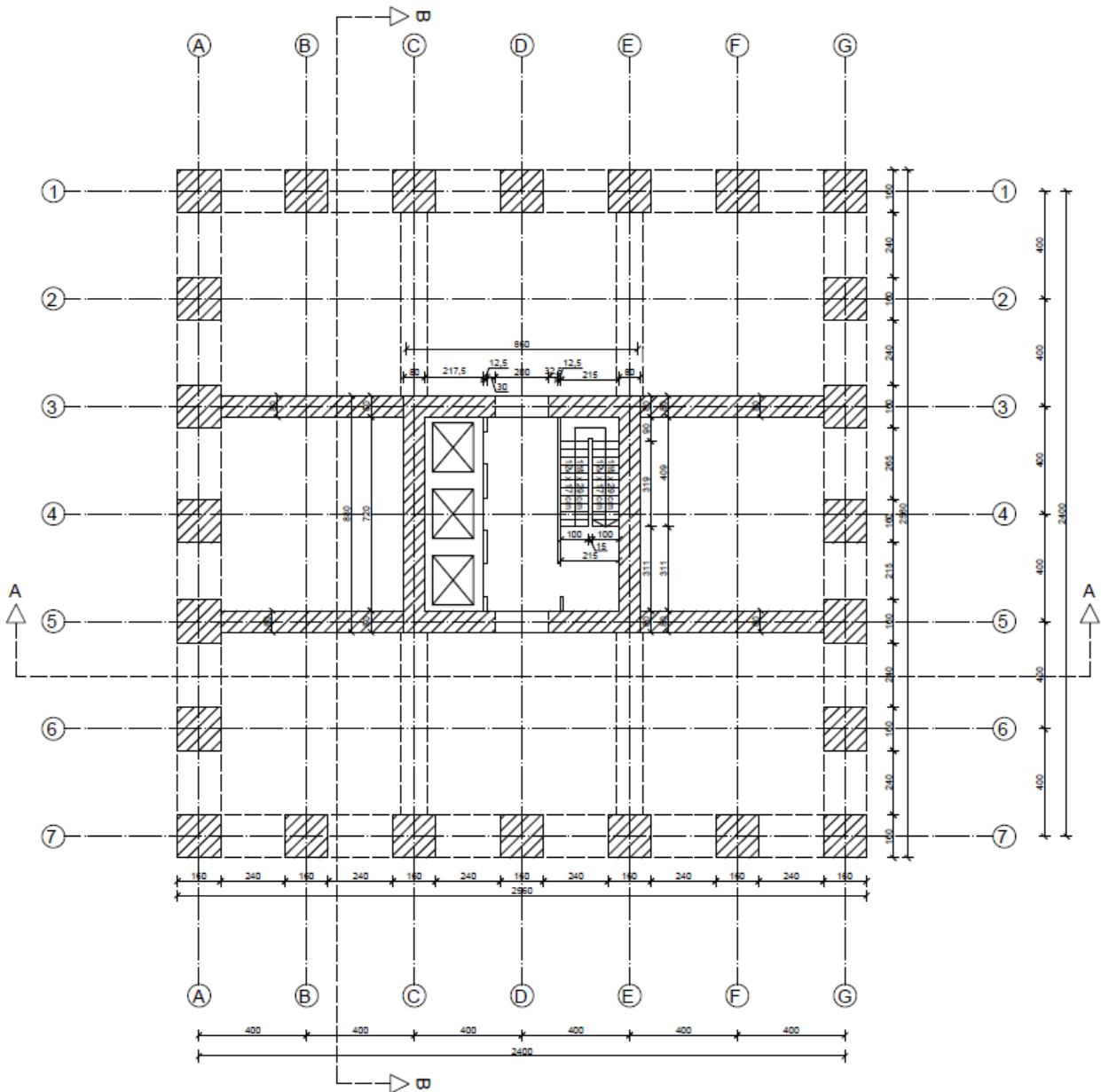
### 3. OSNOVNI NACRTI



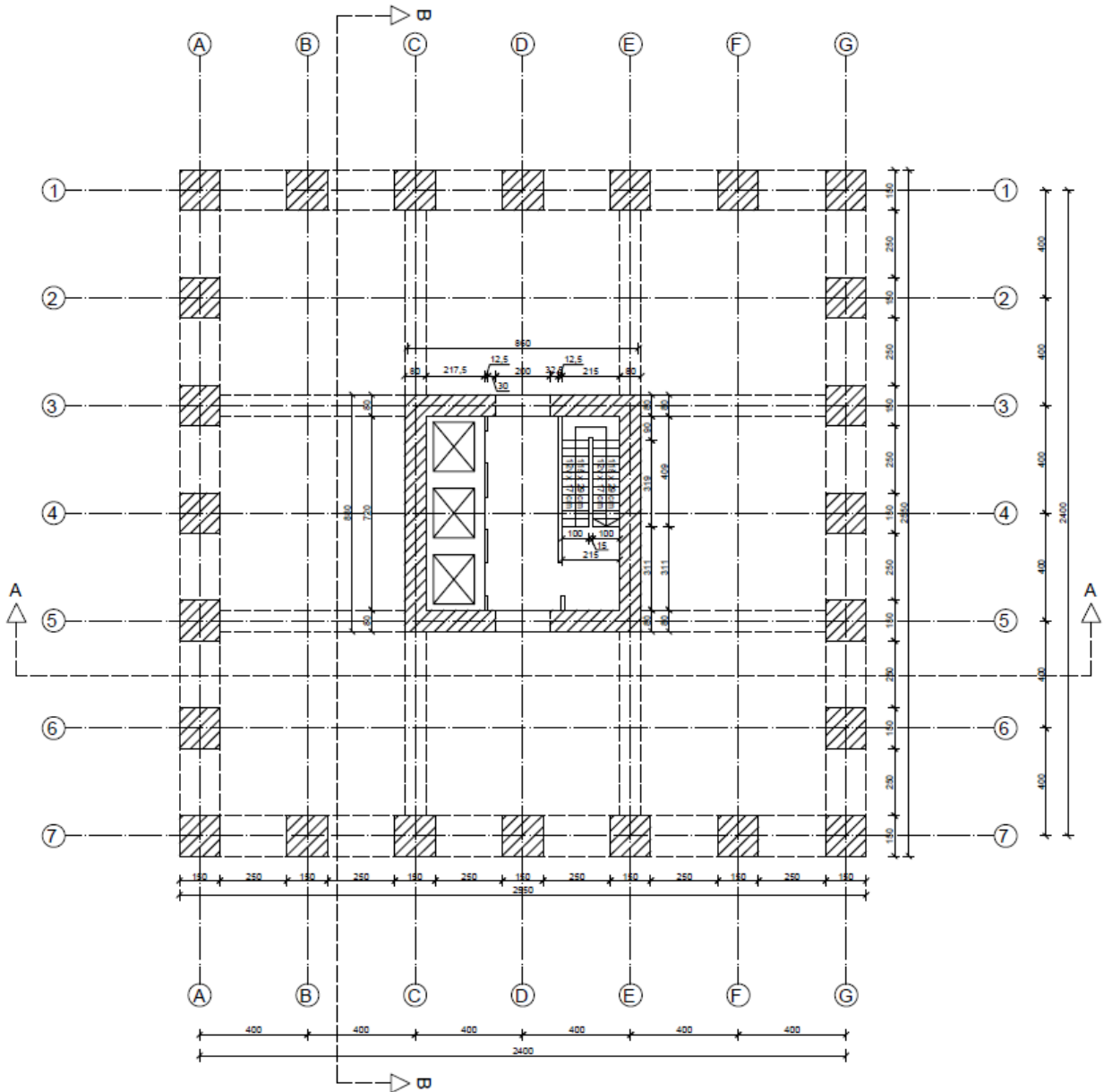
Slika 1. Tlocrt etaža 1-14



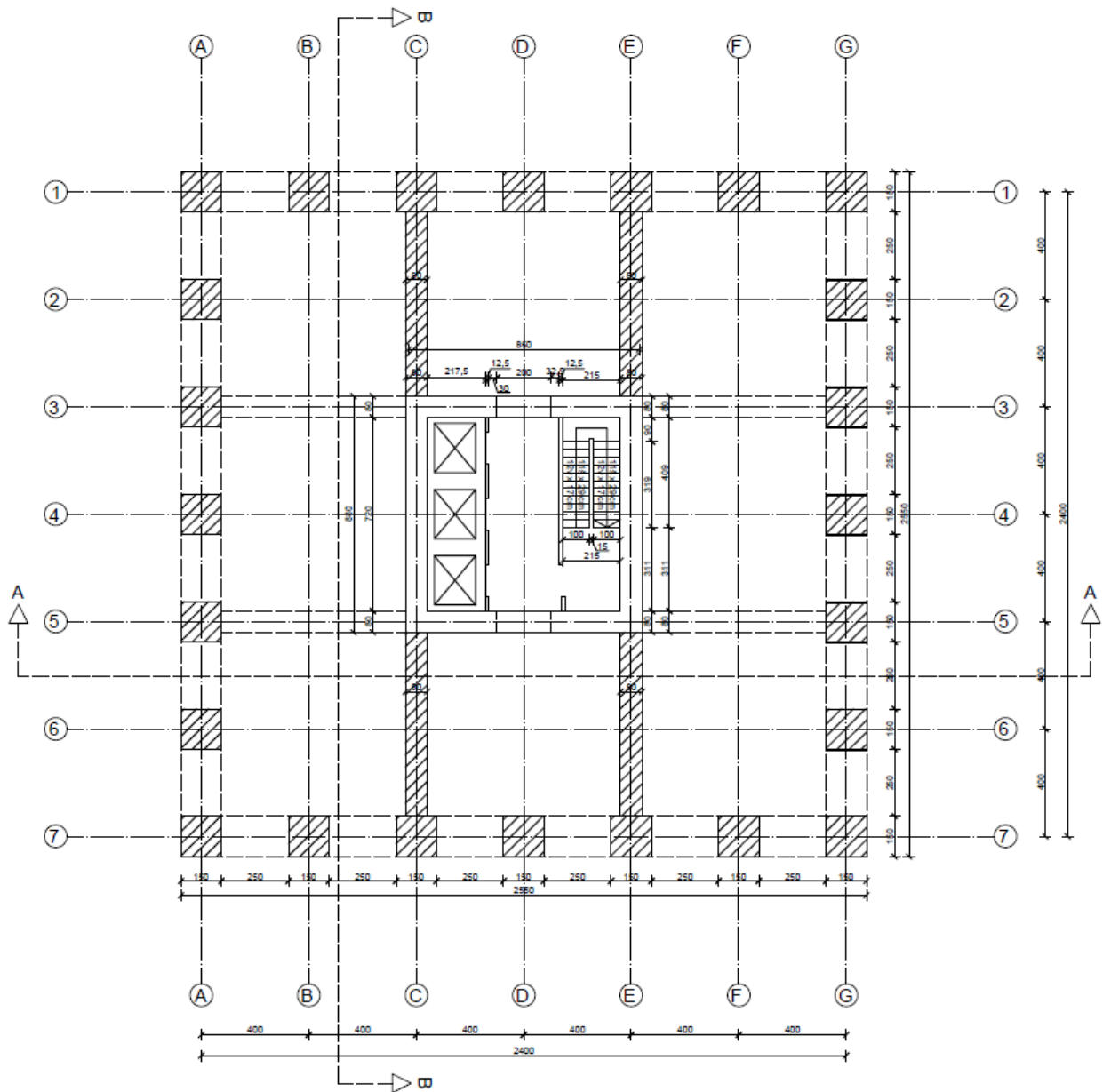
Slika 2. Tlocrt etaža 15-16



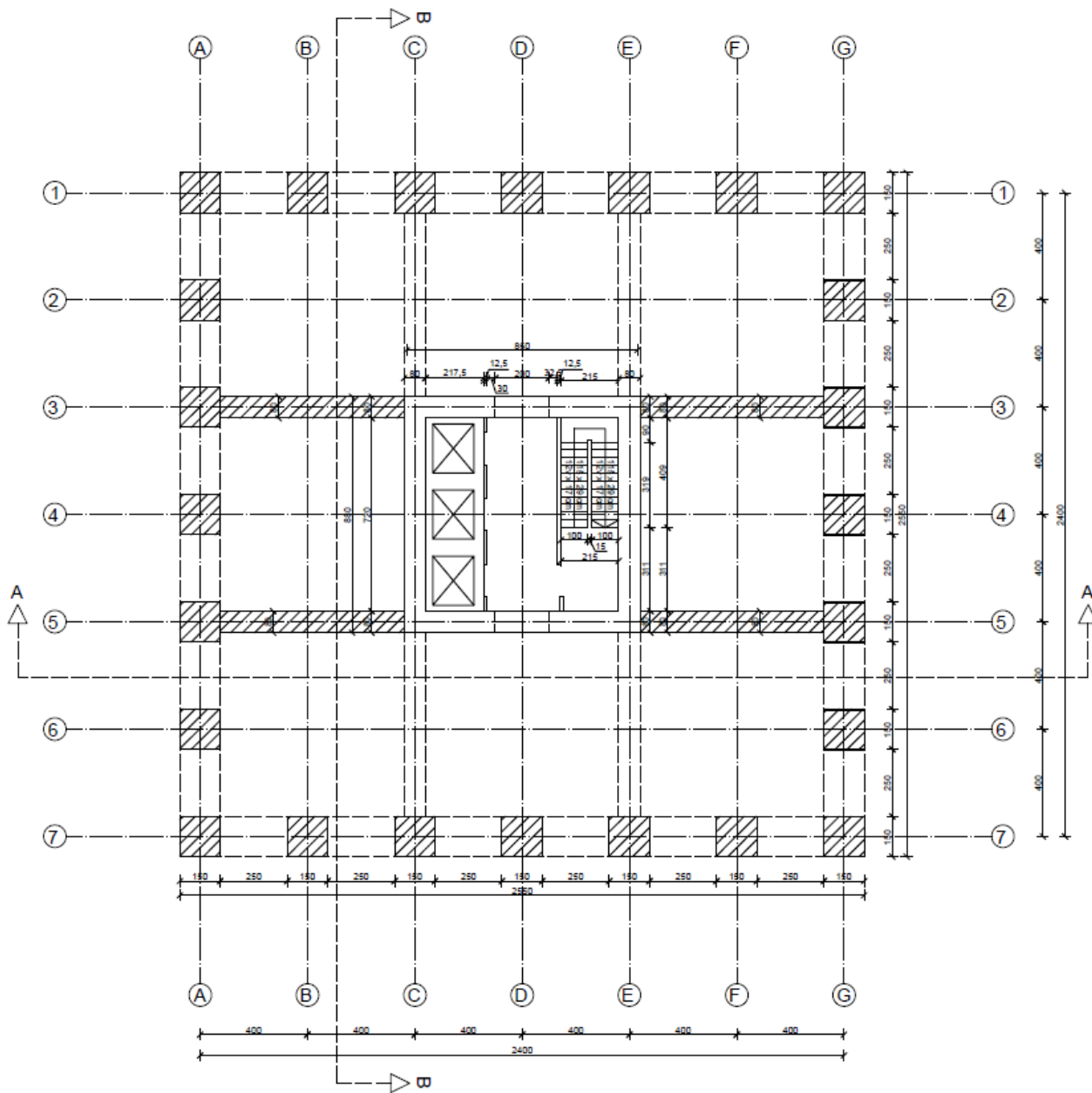
Slika 3. Tlocrt etaža 17-18



Slika 4. Tlocrt etaža 19-32

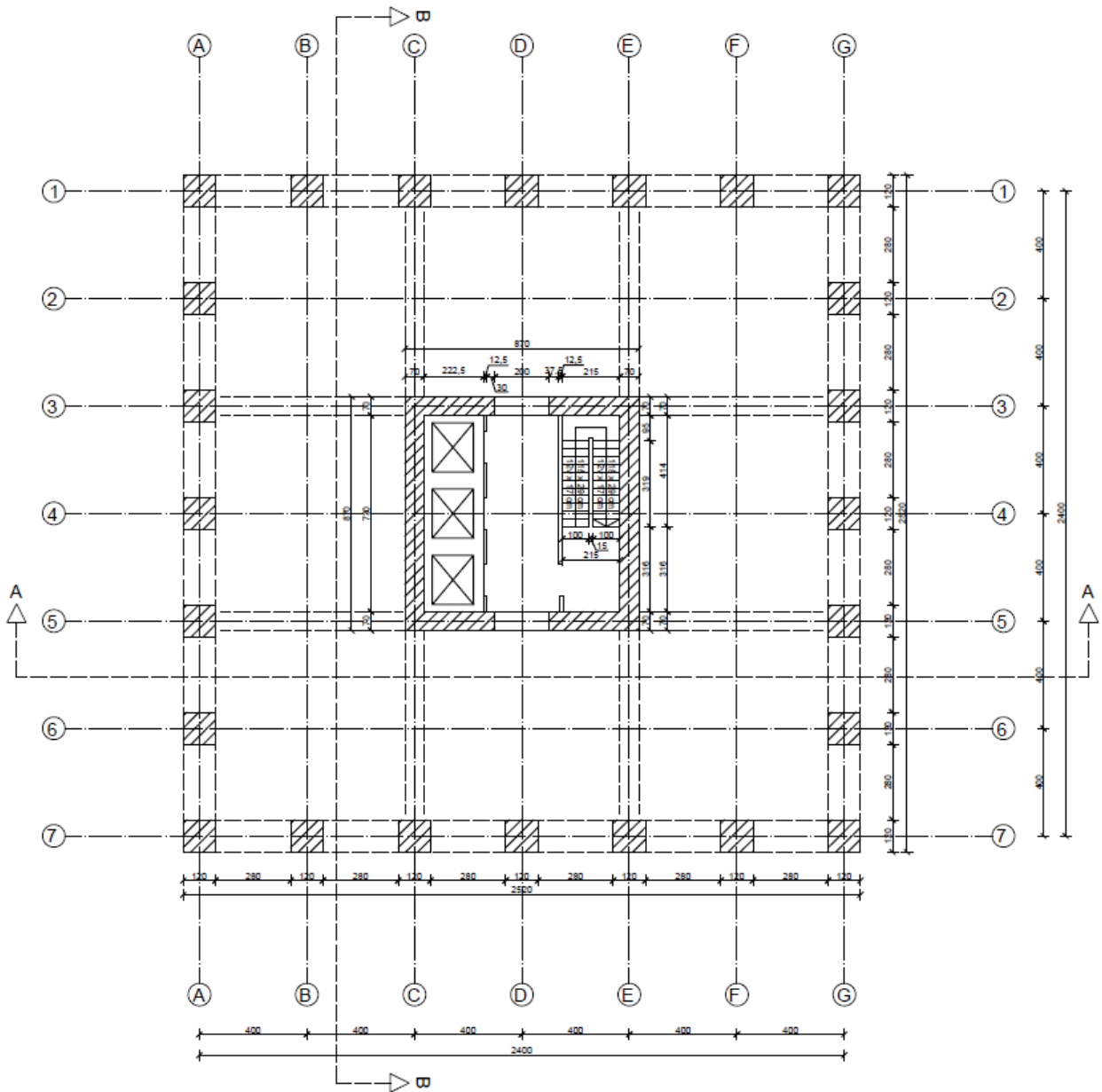


Slika 5. Tlocrt etaža 33-34

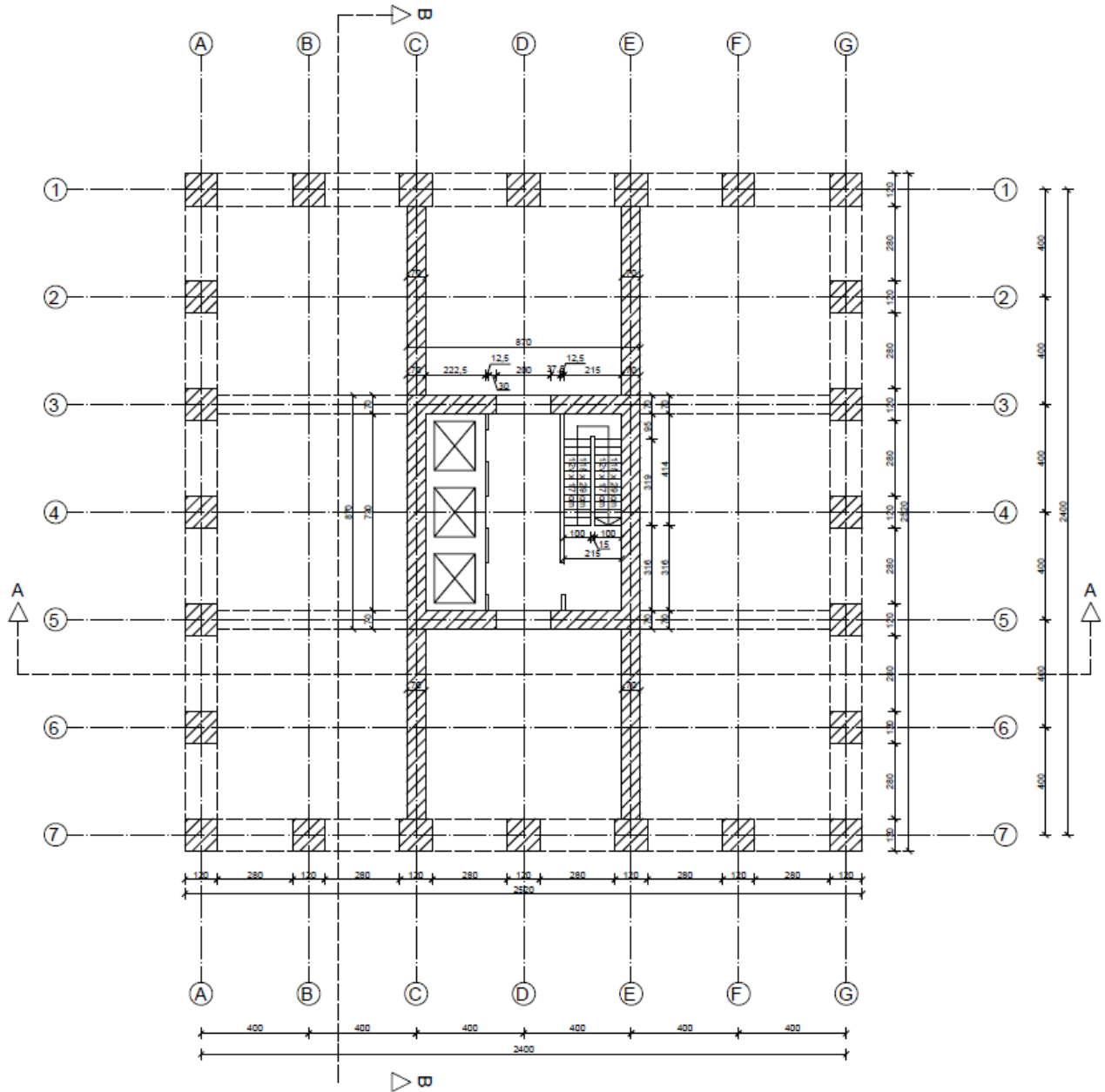


Slika 6. Tlocrt etaža 35-36

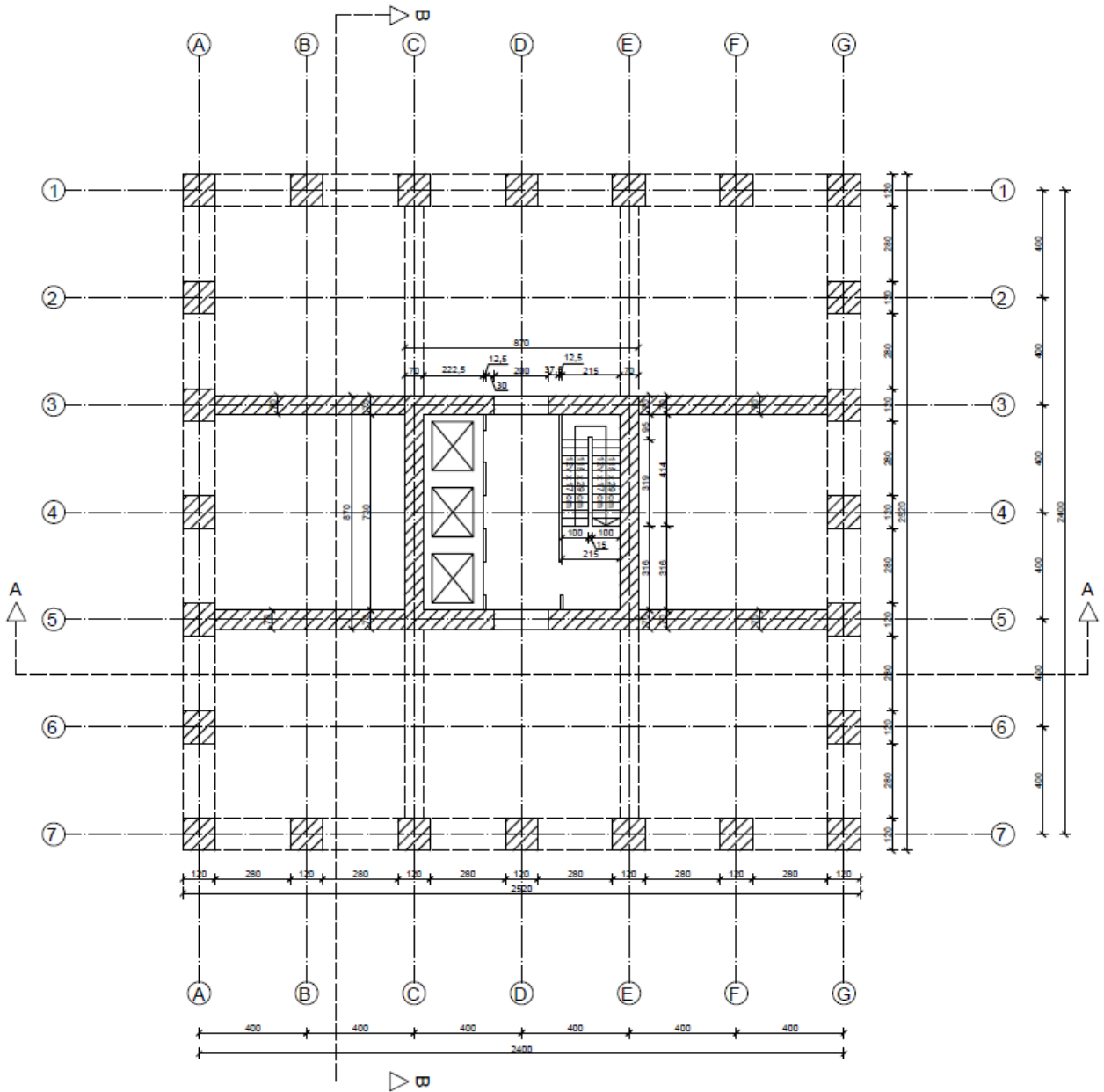




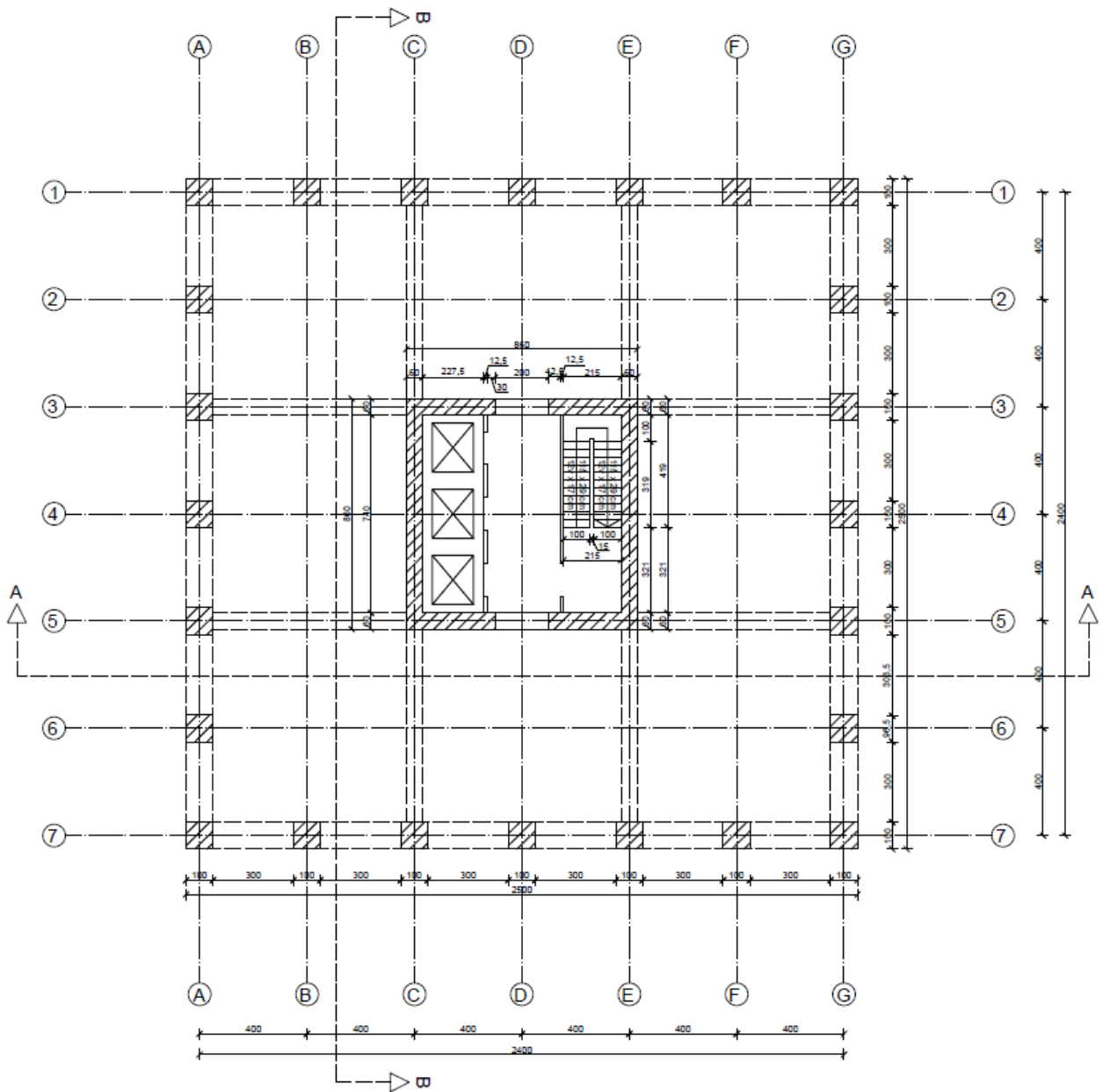
Slika 7. Tlocrt etaža 37-50



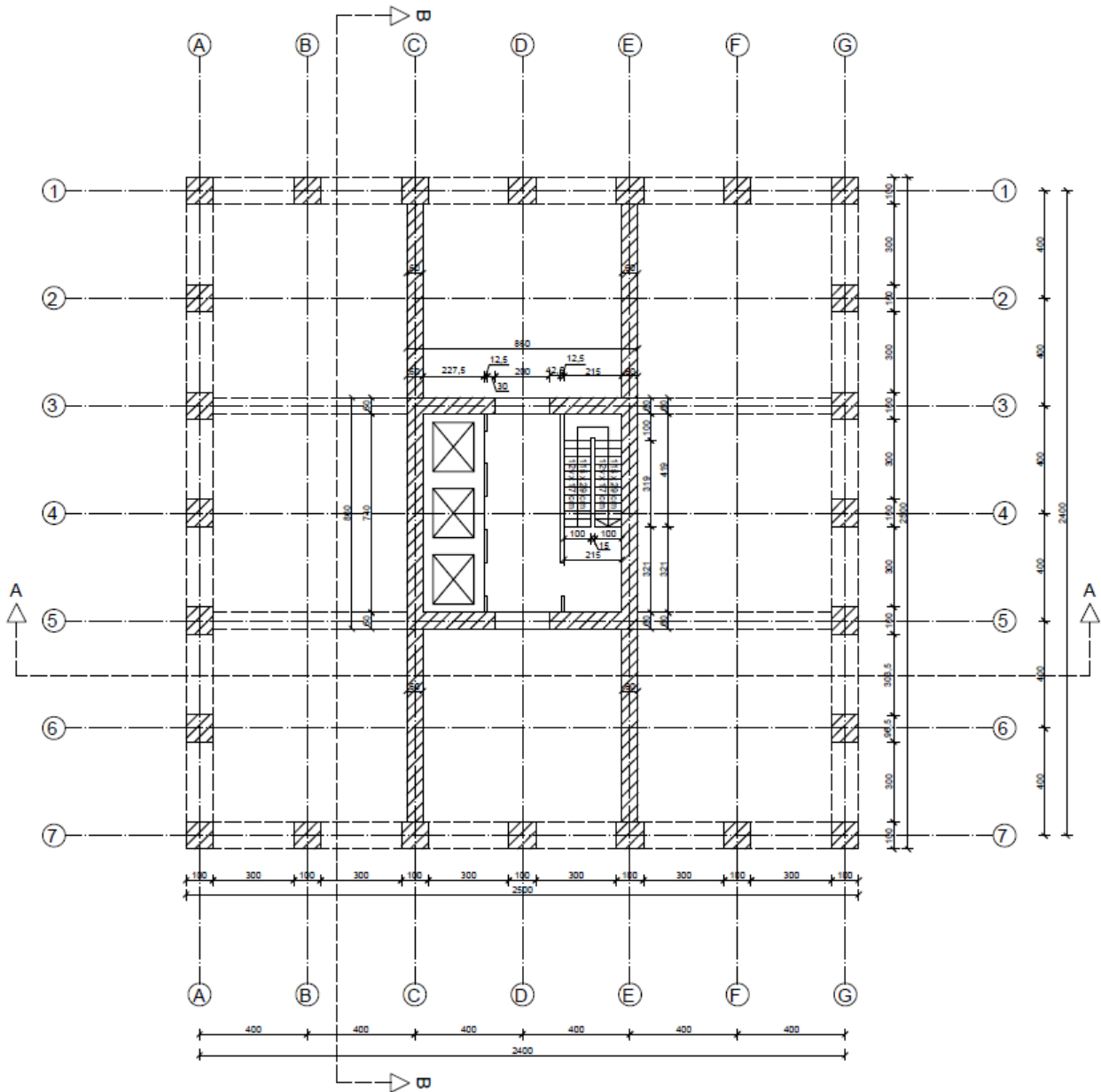
Slika 8. Tlocrt etaža 51-52



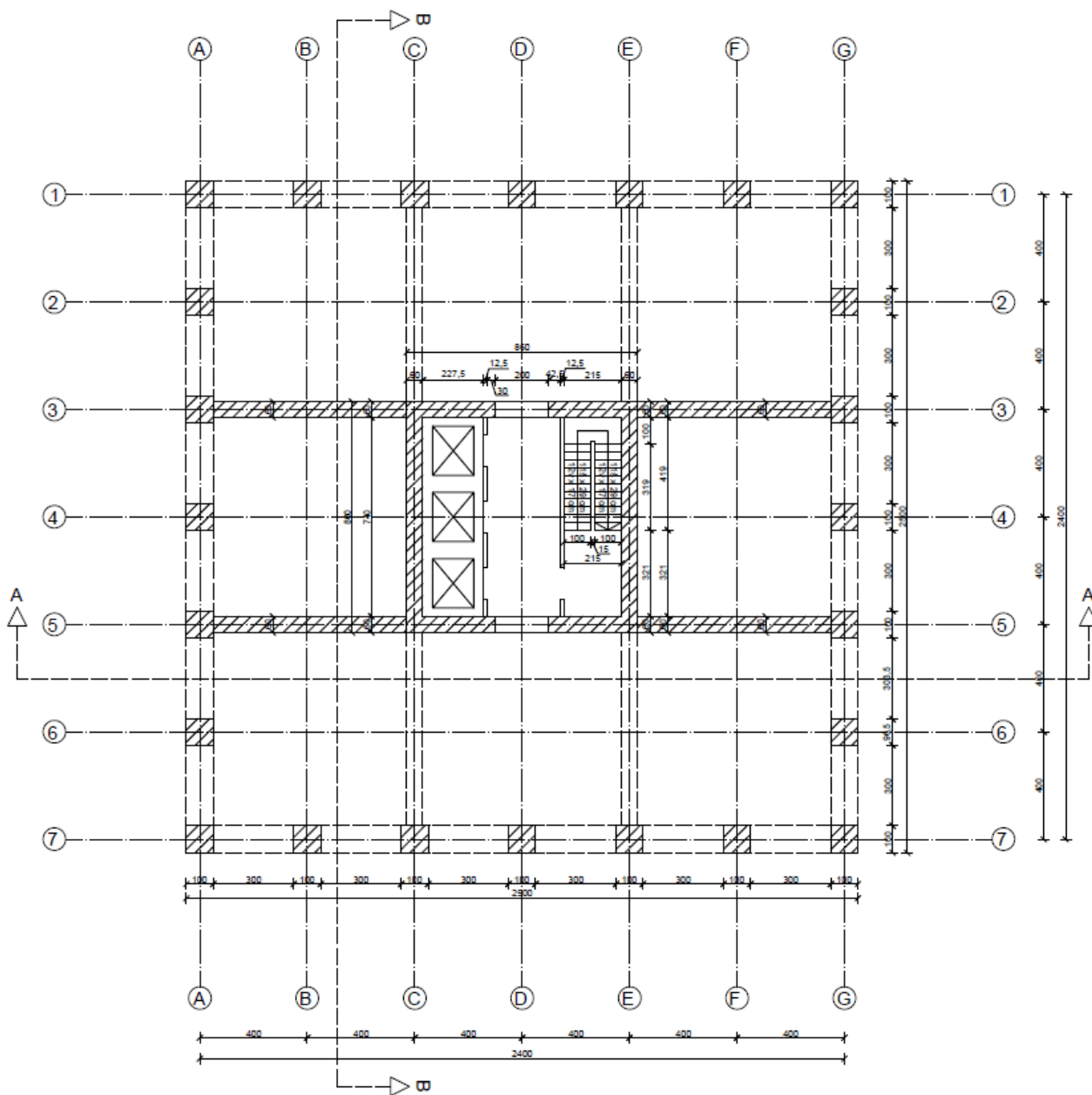
Slika 9. Tlocrt etaža 53-54



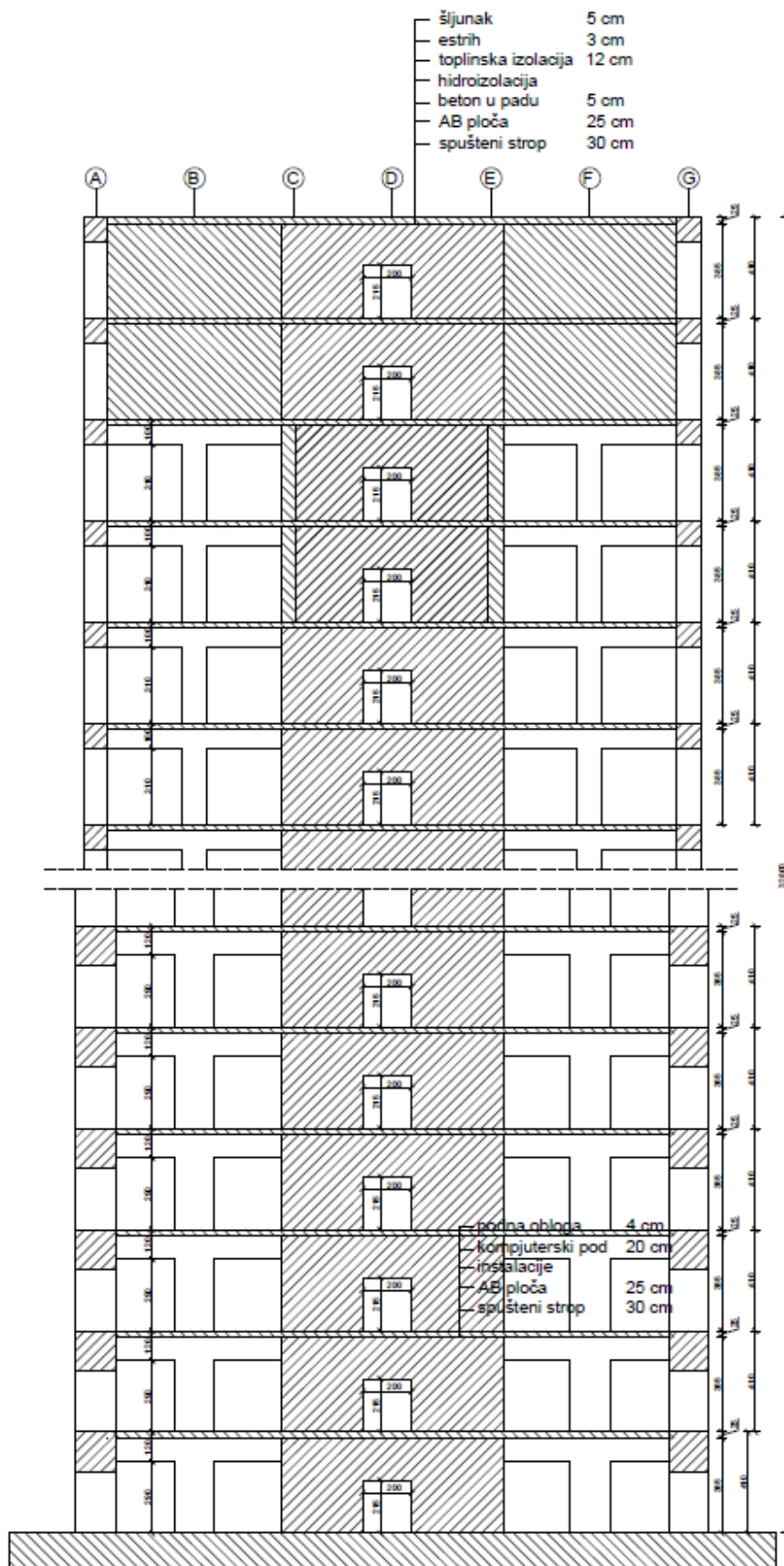
Slika 10. Tlocrt etaža 55-68



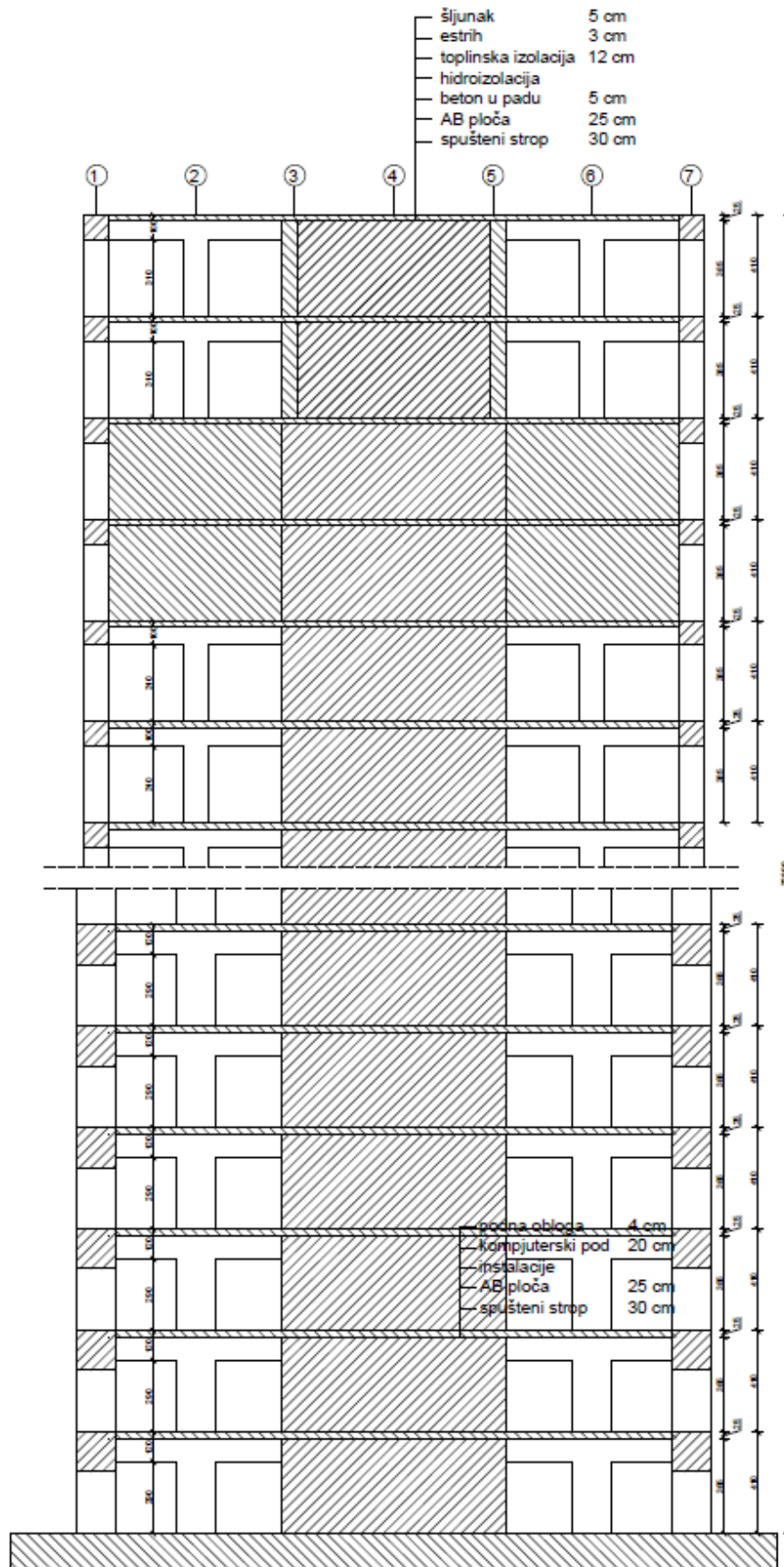
Slika 11. Tlocrt etaža 69-70



Slika 12. Tlocrt etaža 71-72

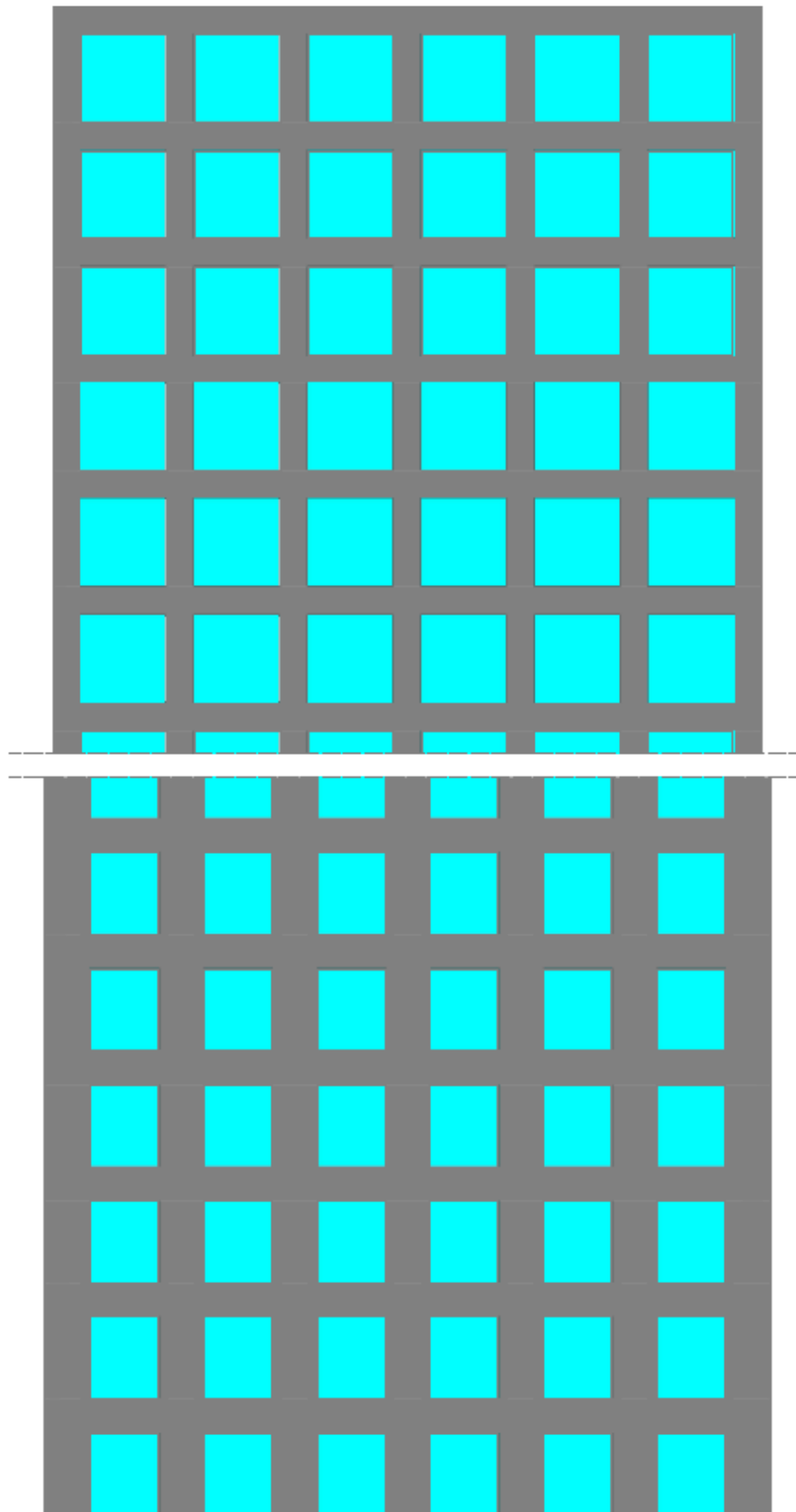


Slika 13. Presjek A-A



Slika 14. Presjek B-B





*Slika 15. Pogled na zgradu*

## 4. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

### 4.1. Analiza opterećenja

#### 4.1.1. Materijali

Beton: C50/60

Čelik: B500B

Proračunska tlačna čvrstoća betona:  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{50}{1,5} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Proračunska granica popuštanja čelika:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Vlačna čvrstoća betona:  $f_{ctm} = 4,10 \text{ N/mm}^2$

#### 4.1.2. Vlastita težina

Vlastitu težinu nosivih elemenata softwer automatski uzima u obzir pa ju nije potrebno ručno određivati.

#### 4.1.3. Dodatno stalno opterećenje

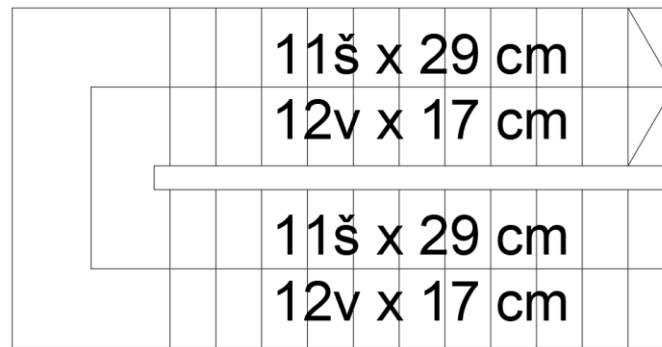
Međukatna konstrukcija:

Podna obloga:	= 0,60 kN/m <sup>2</sup>
Kompjuterski pod:	= 0,50 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije:	= 0,50 kN/m <sup>2</sup>
Spušteni strop (gipskartonske ploče)	= 0,30 kN/m <sup>2</sup>
<u>Pregradni zidovi (gipskartonski):</u>	<u>= 0,45 kN/m<sup>2</sup></u>
<b>Ukupno:</b>	<b><math>\Delta g = 2,35 \text{ kN/m}^2</math></b>

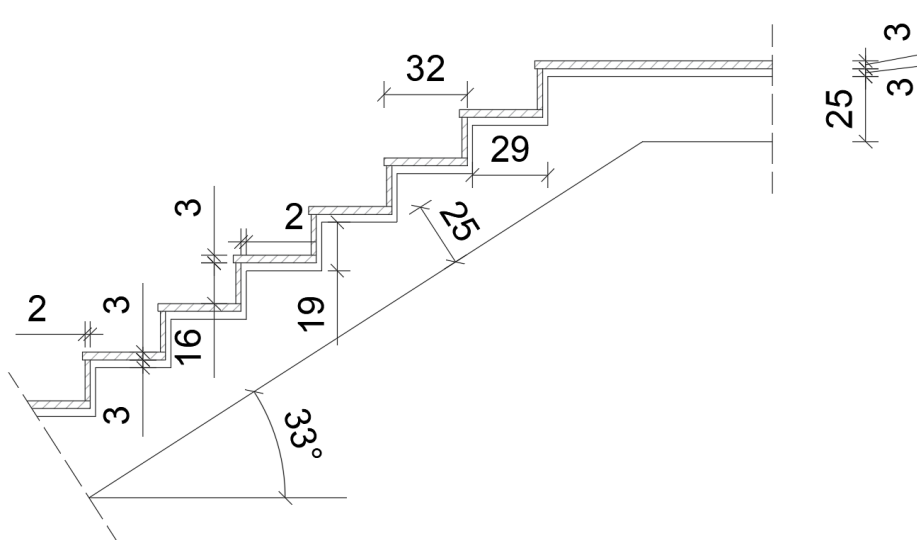
Krovna konstrukcija:

Šljunak:	= 1,00 kN/m <sup>2</sup>
Estrih:	= 1,00 kN/m <sup>2</sup>
Toplinska izolacija:	= 0,35 kN/m <sup>2</sup>
Hidroizolacija:	= 0,10 kN/m <sup>2</sup>
Beton u padu:	= 1,25 kN/m <sup>2</sup>
<u>Spušteni strop (gipskartonske ploče)</u>	<u>= 0,30 kN/m<sup>2</sup></u>
<b>Ukupno:</b>	<b><math>\Delta g = 4,00 \text{ kN/m}^2</math></b>

Stubište:



Slika 16. Tlocrt stubišta



Slika 17. Presjek stubišta

Stalno opterećenje:

Parket na nagaznoj površini:  $d_p \cdot \frac{a_n}{a} \cdot \gamma_P = 0,03 \cdot \frac{0,32}{0,29} \cdot 6,5 = 0,22 \text{ kN/m}^2$

Parket vertikalne gazišta:  $d_p \cdot \frac{b_v}{a} \cdot \gamma_P = 0,02 \cdot \frac{0,16}{0,29} \cdot 6,5 = 0,07 \text{ kN/m}^2$

Estrih na nagaznoj površini stube:  $d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = 0,63 \text{ kN/m}^2$

Žbuka vertikalne gazišta:  $d_M \cdot \frac{b}{a} \cdot \gamma_M = 0,02 \cdot \frac{0,19}{0,29} \cdot 21 = 0,28 \text{ kN/m}^2$

Stube:  $\frac{b}{2} \cdot \gamma = \frac{0,19}{2} \cdot 25 = 2,33 \text{ kN/m}^2$

AB ploča 15 cm:  $\frac{h \cdot \gamma}{\cos \alpha} = \frac{0,25 \cdot 25}{\cos 33^\circ} = 7,45 \text{ kN/m}^2$

**Ukupno stalno:**  $g_k = 10,98 \text{ kN/m}^2$

Težina fasadne obloge (staklo):  $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

#### 4.1.4. Uporabno opterećenje

Uporabno opterećenje određuje se prema normi nHRN EN 1991-1-1 [3]. Pomoću tablica 5.1., 5.2., 5.3. danih u nastavku, koje su dio nHRN EN 1991-1-1 [3], određeno je uporabno opterećenje stropova, krova i stubišta.

Uporabno opterećenje međukatnih konstrukcija (kategorija B2):  $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje stubišta (kategorija S1):  $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje krova (kategorija H):  $q_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$

Tablica 1. Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (Izvor: [3])

Stupac	1	2	3	4	5	
Redak	Kategorija	Namjena	Primjer	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k^3$ [kN]	
1	A	A1	Nestambena potkrovlja	Neprikladna za stanovanje no pristupačna potkrovlja do 1,8 m svijetle visine	1,5	1
2		A2	Prostori za stanovanje i kućanske djelatnosti	Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja <sup>b</sup> u stambenim zgradama i kućama, sobama s krevetima, bolnicama (spavaonicama), sobama u hotelima i prenoćištima i pripadajuće kuhinje i kupaonice	1,5	–
3		A3		A2, ali bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja	2,0 <sup>c</sup>	1
4	B	B1	Uredski prostori, radni prostori, hodnici	Hodnici u uredskim zgradama, uredi, medicinske ordinacije bez teške opreme, bolnički odjeli, čekaonice i hodnici, staje sa sitnom stokom	2	2
5		B2		Hodnici i kuhinje u bolnicama, hotelima, staračkim domovima, hodnici u internatima i sl., prostori za medicinske tretmane u bolnicama, uključujući i operacijske dvorane bez teške opreme, podrumске prostorije u stambenim zgradama	3	3
6		B3		Svi prostori navedeni u B1 i B2, ali s teškom opremom <sup>d</sup>	5	4
7	C	C1	Prostorije za sastanke, prostori u kojima se mogu okupljati ljudi (osim prostora definiranih u kategorijama A, B, D i E)	Prostori sa stolovima, kao što su dječji vrtići, jaslice, škole, učionice, kavane, restorani, blagovaonice, čitaonice, recepcije, zbornice	3	4
8		C2		Prostori s nepomičnim sjedalima, primjerice u crkvama, kazalištima, kinima, konferencijskim dvoranama, predavaonicama, čekaonicama	4	4
9		C3		Javni prostori, npr. muzeji, izložbeni prostori, ulazi u javne zgrade i hotele, stropovi podruma koji su pod dvorišta i u koja nije omogućen pristup vozila, hodnici za kategorije prostora C1 do C3	5	4
10		C4		Prostori za sport i igru, kao što su plesne dvorane, sportski centri, gimnastičke dvorane i teretane, pozornice	5	7
11		C5		Prostori za velike skupove ljudi, npr. u zgradama kao što su koncertne dvorane, terase, prilazi i tribine s nepomičnim sjedalima	5	4
12		C6		Prostori za učestalo okupljanje mnogo ljudi, tribine bez nepomičnih sjedala	7,5	10,0
13	D	D1	Prodajni prostori	Trgovački prostori do 50 m <sup>2</sup> tlocrtno ploštine u stambenim, uredskim i sličnim građevinama	2	2
14		D2		Prostori u trgovinama i robnim kućama	5	4
15		D3		Prostori kao u D2, ali s većim opterećenjima zbog visokih polica za skladištenje	5	7

Tablica 2. Nastavak tablice 5.1.

Stupac	1		2	3	4	5
Redak	Kategorija		Namjena	Primjer	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k^a$ [kN]
16	E	E1.1	Skladišta, tvornice i radionice, staje, skladišni prostori i pristupi	Prostori u tvornicama <sup>e</sup> i radionicama <sup>e</sup> s lakim proizvodnim pogonom, staje za krupnu stoku	5 <sup>f</sup>	4
17		E1.2		Skladišni prostori općenito, uključujući i knjižnice	6 <sup>f</sup>	7
18		E2.1		Prostori u tvornicama <sup>e</sup> i radionicama <sup>e</sup> s umjereno teškim ili teškim proizvodnim pogonom	7,5	10
19	S <sup>g</sup>	S1	Stubišta i stubišni podesti	Stubišta i stubišni podesti u stambenim i uredskim zgradama i ambulancama, bez teške opreme	3	2
20		S2		Sva stubišta i stubišni podesti koji se ne mogu razvrstati u S1 ili S3	5	2
21		S3		Pristupi i stubišta koji vode do tribina bez nepomičnih sjedala, a služe kao izlazi za nuždu	7,5	3
22	P <sup>g</sup>		Pristupi, balkoni i sl.	Krovne terase, trijemovi, lođe, balkoni, izlazni podesti	4	2

<sup>a</sup> Ako je potrebna lokalna provjera nosivosti (npr. za dijelove sustava bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja), provjera se provodi s karakterističnim vrijednostima za opterećenje koncentriranom silom  $Q_k$  bez kombiniranja s jednoliko raspodijeljenim opterećenjem  $q_k$ . Stranice kvadrata na kojem se rasprostire opterećenje  $Q_k$  jesu 50 mm.

<sup>b</sup> Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja jesu armiranobetonske i prednapete betonske pune, šuplje i rebraste ploče.

<sup>c</sup> Za prijenos sila sa stropova bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele na potpome elemente navedena se vrijednost može umanjiti za 0,5 kN/m<sup>2</sup>.

<sup>d</sup> Ove su vrijednosti minimalne vrijednosti. Ako se u skladu s točkom 8.1(4) norme HRN EN 1991-1-1:2012 utvrde veće vrijednosti, tada su tako utvrđene vrijednosti opterećenja mjerodavne.

<sup>e</sup> Uporabna opterećenja u tvornicama i radionicama smatraju se pretežito statičkim. U pojedinim slučajevima treba razmotriti učinak učestalo ponavljajućeg opterećenja (vidi točku 2.2(3) norme HRN EN 1991-1-1:2012).

<sup>f</sup> Ove su vrijednosti minimalne vrijednosti. U slučajevima u kojima se očekuje veće opterećenje, treba ga odrediti prema pojedinom slučaju.

<sup>g</sup> Ove kategorije vrijede za sve vrste građevina ili dijelova građevina. Koeficijenti kombinacije za promjenjiva djelovanja prema normi HRN EN 1990, tablica A1.1, za te se kategorije određuju sukladno kategoriji (A – E) u koju je svrstana građevina ili dio građevine.

Tablica 3. Kategorije krovova (Izvor: [3])

Kategorija opterećenog područja	Upotreba
H	Nedostupni krovovi, osim za redovito održavanje i popravak
I	Dostupni krovovi s namjenama prema kategorijama A do G
K	Dostupni krovovi za posebne namjene, primjerice sletišta za helikoptere

Tablica 4. Uporabna opterećenja krovova kategorije H (Izvor: [3])

Krov		$q_k^a$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Kategorija H	nagib krova $\leq 20^\circ$	0,6	1,0
	nagib krova $\geq 40^\circ$	0,0	1,0

<sup>a</sup> Za nagibe između  $20^\circ$  i  $40^\circ$  vrijednost  $q_k$  može se odrediti linearnom interpolacijom.

NAPOMENA 1: Opterećenje  $q_k$  djeluje na ploštini  $A$  koja predstavlja cijelu ploštinu krova.

NAPOMENA 2: Svi nagibi krova mjere se u odnosu na horizontalu, a opterećenja djeluju vertikalno na horizontalnu projekciju krovne plohe.

#### 4.1.5. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na krovu određuje prema točki 5.2. norme EN 1991-1-3 [4], prema formuli:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t = 0,50 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

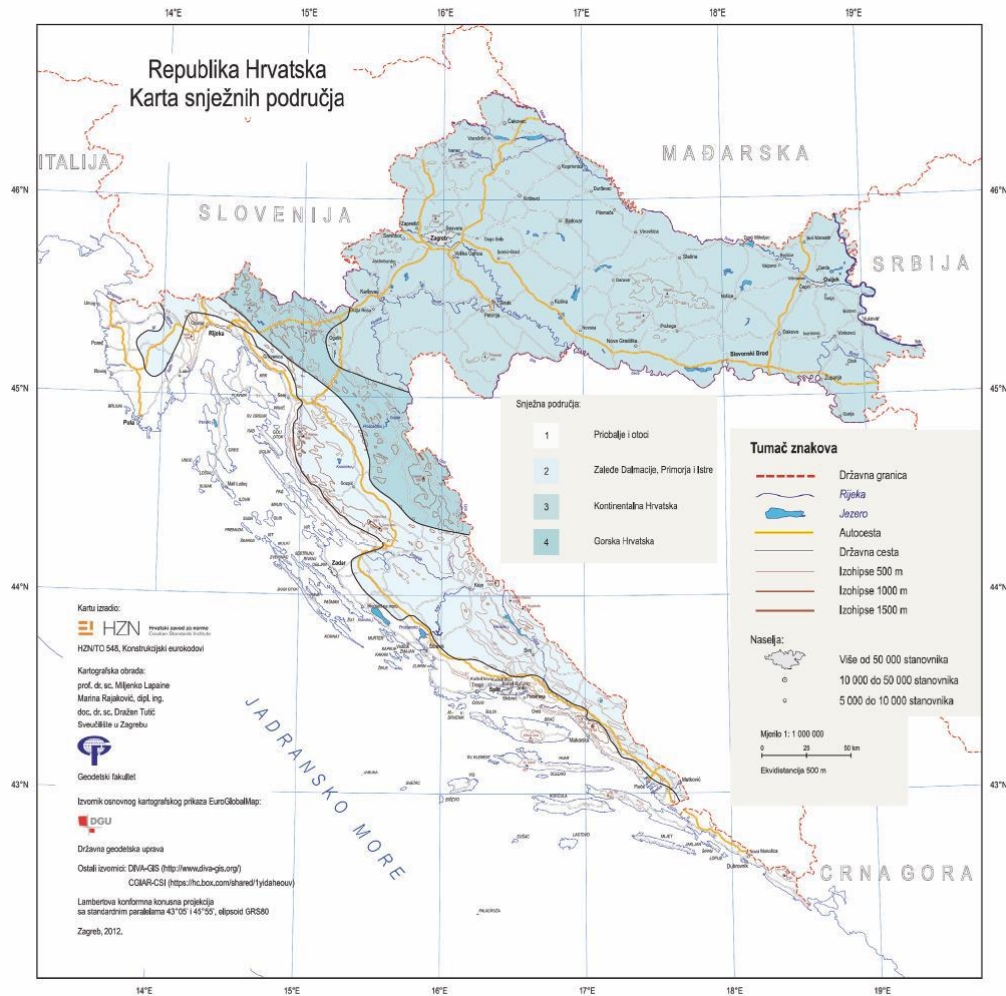
$$s_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 \text{ (karakteristično opterećenje snijegom na tlu)}$$

$$\mu_i = 0,8 \text{ (koeficijent oblika za ravan krov)}$$

$$C_e = 1,0 \text{ (koeficijent izloženosti)}$$

$$C_t = 1,0 \text{ (temperaturni koeficijent)}$$

Karakteristično opterećenje snijegom određuje se uz pomoć *Karte snježnih područja* [5], koja je dana u nastavku na slici 5.1., i uz pomoć tablice 5.4. [5], a ovisi o lokaciji zgrade i nadmorskoj visini na kojoj se zgrada nalazi. Najveća nadmorska visina za Rijeku iznosi 12 m [6], a spada u 1. područje (priobalje i otoci). Stoga  $s_k$  iznosi  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .



Slika 18. Karta snježnih područja (Izvor: [5])

Tablica 5. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [5])

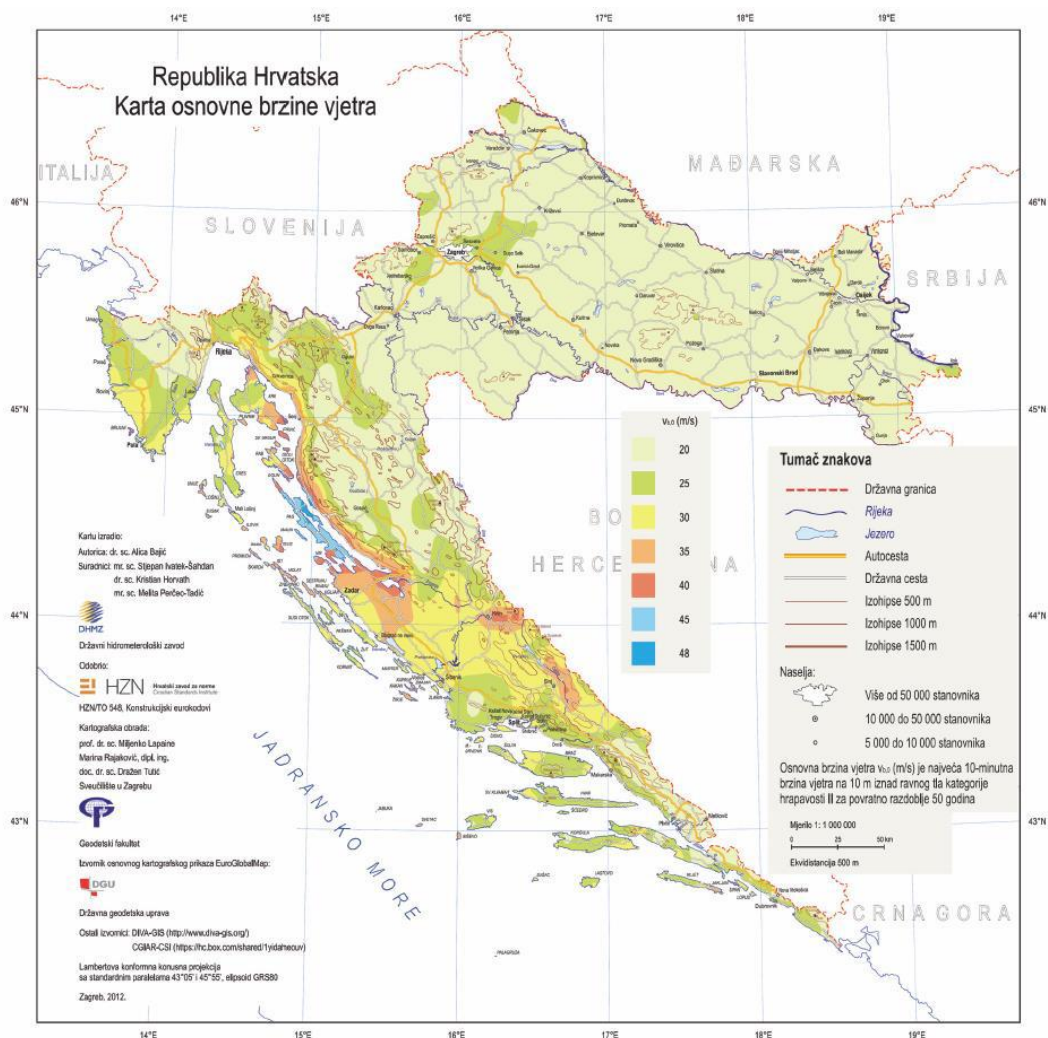
Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		



## 4.1.6. Opterećenje vjetrom

### 4.1.6.1. Osnovna brzina vjetra

Potrebno je najprije odrediti temeljnu vrijednost osnovne brzine vjetra  $v_{b,0}$  koja ovisi o lokaciji zgrade. *Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra je karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra, neovisno o smjeru vjetra i dobu godine, 10 m iznad tla na otvorenom terenu u prirodi s niskim raslinjem, primjerice travom, i osamljenim preprekama na razmaku najmanje 20 visina prepreke [7].* Ta se vrijednost određuje u nacionalnom dodatku nHRN EN 1991-1-4 [8].



Slika 19. Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra  $v_{b,0}$  (Izvor: [8])

Za Rijeku je očitano  $v_{b,0} = 30$  m/s.

Osnovna brzina vjetra se određuje pomoću izraza  $v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season}$ , gdje je  $c_{dir}$  faktor smjera, a  $c_{season}$  faktor godišnjeg doba [7]. Za oba faktora se u nacionalnom dodatku prihvaća vrijednost 1,0 [8].

$$v_b = 30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 30 \text{ m/s.}$$

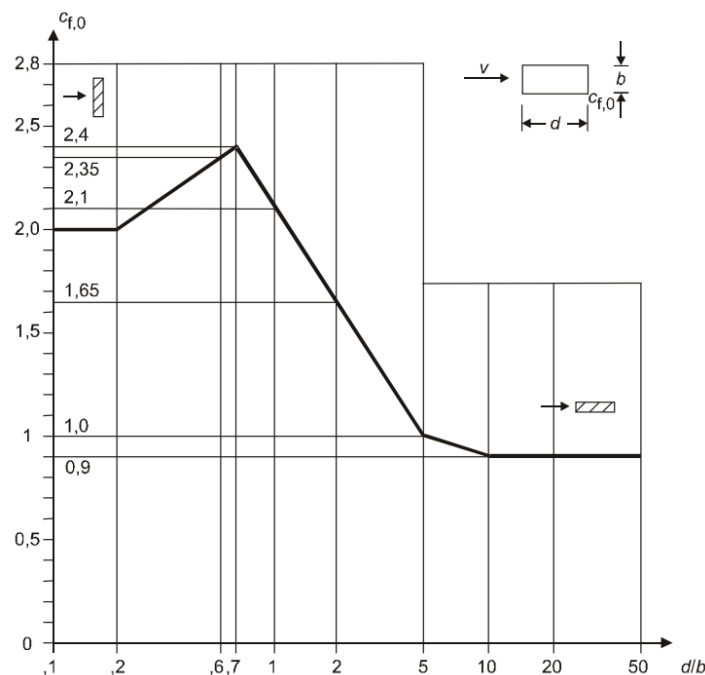
#### 4.1.6.2. Koeficijent sile $c_f$

Koeficijent sile  $c_f$  za konstrukcijske elemente pravokutnog profila s vjetrom koji puše okomito na površinu treba odrediti prema HRN EN 1991-1-4 [7] iz izraza:  $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_{\lambda}$ ,

gdje je:  $c_{f,0}$  koeficijent sile za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja, kao što je pokazano na slici 5.5.

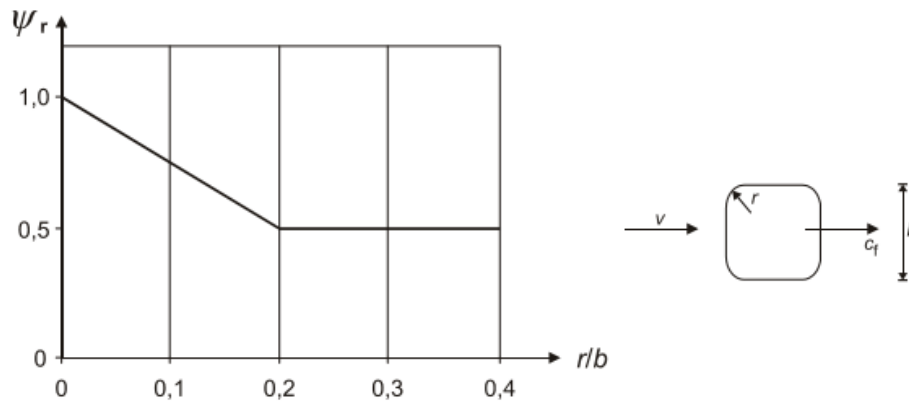
$\psi_r$  faktor smanjenja za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima, a ovisi o Reynoldsovu broju, očitava se sa slike 5.6.

$\psi_{\lambda}$  faktor učinka kraja za elemente s tokom preko slobodnog kraja.



Slika 20. Koeficijenti sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja (Izvor: [7])

Za  $d/b = 2400/2400 = 1$ , očitano je  $c_{f,0} = 2,1$ .



Slika 21. Faktor smanjenja  $\psi_r$  za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima (Izvor: [7])

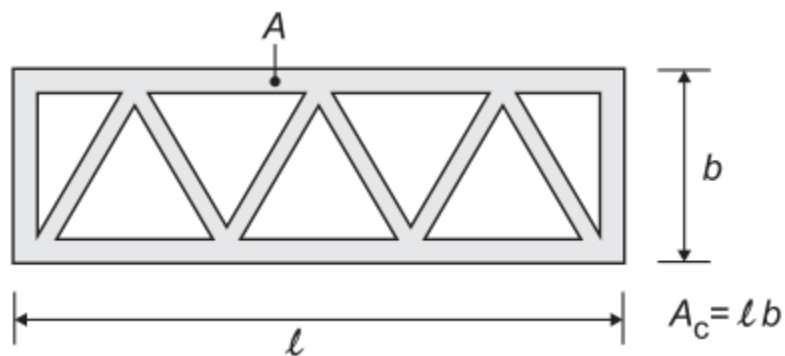
Zgrada nema zaobljene uglove pa je  $\psi_r = 1$ .

Proračunska vitkost  $\lambda$  određuje se pomoću tablice 5.6., uzete iz nHRN EN 1991-1-4 [8].

Omjer punoće  $\varphi$  određuje se izrazom (HRN EN 1991-1-4 [7]):  $\varphi = \frac{A}{A_c}$ ,

gdje je:  $A$  zbroj projiciranih ploština elemenata

$A_c$  ukupna omeđena ploština  $A_c = l \cdot b$



Slika 22. Definicija omjera punoće  $\varphi$  (Izvor: [7])

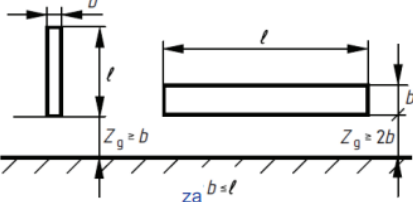
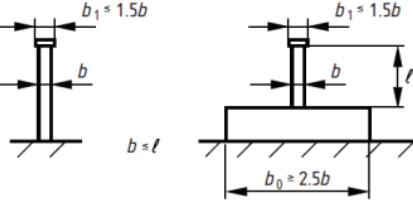
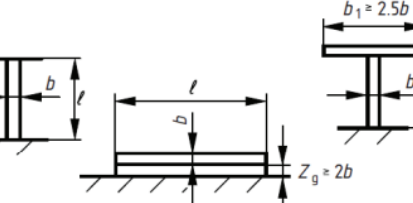
Zatim se uz pomoć slike 5.8., iz HRN EN 1991-1-4 [7], može odrediti faktor učinka kraja  $\psi_\lambda$ .

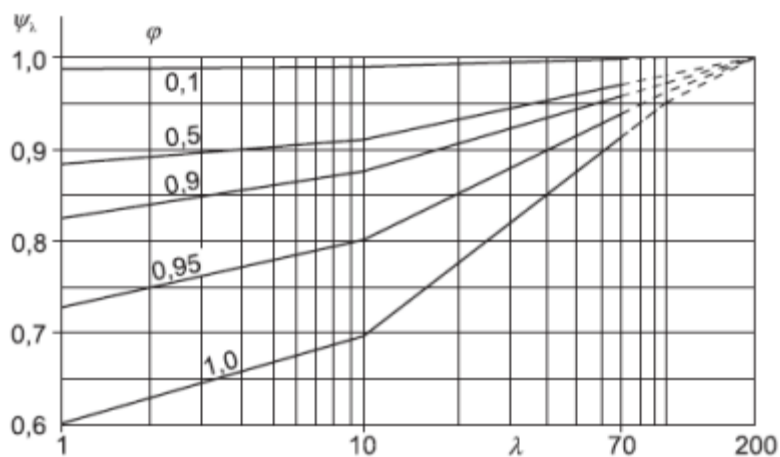
$$\lambda = \frac{l}{b} \cdot \frac{2}{c_{f,0}} = \frac{295,5}{24} \cdot \frac{2}{2,1} = 11,71$$

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{7 \cdot 1 \cdot 3,1 + 24 \cdot 1}{24 \cdot 295,2} = 0,00645$$

Očitano sa slike 5.8. [7]:  $\psi_{\lambda} = 1,0$ .

Tablica 6. Vrijednosti proračunske vitkosti  $\lambda$  za kružne valjke, poligonalne presjeke, pravokutne presjeke, profile s oštrim rubovima i rešetkaste konstrukcije (Izvor: [8])

Položaj konstrukcije, vjetar okomito na ravninu stranice	Proračunska vitkost $\lambda$
  	$\lambda = (l/b)(2/c_{f,0})$ $\lambda = (2l/b)(2/c_{f,0})$ $\lambda = \infty$



Slika 23. Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja  $\psi_{\lambda}$  kao funkcije omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$  (Izvor: [7])

Koeficijent sile iznosi:  $c_f = 2,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,1$

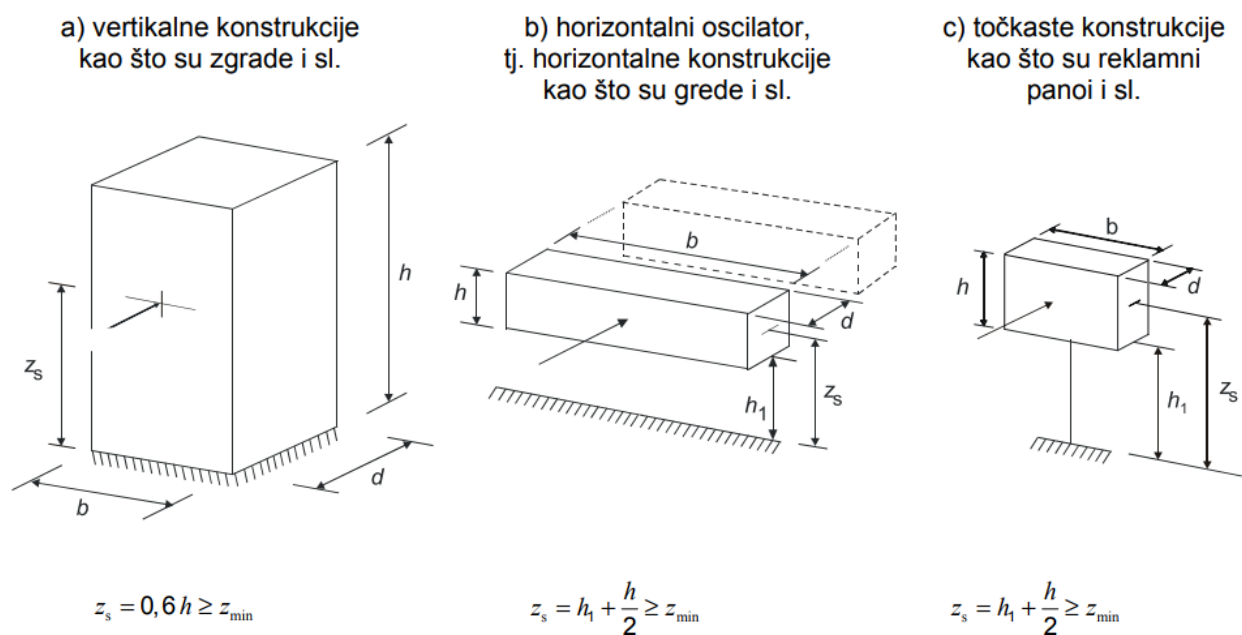
4.1.6.3. Konstrukcijski faktor  $c_s c_d$ 

Konstrukcijski faktor uzima u obzir učinke djelovanja vjetra od neistovremene pojave vršnog tlaka vjetra ( $c_s$ ) i učinak od titranja konstrukcije zbog turbulencije ( $c_d$ ) [7].

Određuje se prema izrazu (HRN EN 1991-1-4 [7]):  $c_s c_d = \frac{1+2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2+R^2}}{1+7 \cdot I_v(z_s)}$ .

**Referentna visina**

Referentna visina  $z_s$  određuje se pomoću slike i izraza danih na slici u nastavku



Slika 24. Opći oblici konstrukcija obuhvaćeni ovim postupkom zajedno s dimenzijama i referentnim visinama (Izvor: [7])

Vrijednost  $z_{\min}$  dobiva se iz tablice u nastavku.

Tablica 7. Kategorija terena i parametri terena (Izvor: [7])

Kategorija terena		$z_o$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivena zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

Kategorija terena je IV pa su parametri terena sljedeći:  $z_0 = 1,0 \text{ m}$  i  $z_{\min} = 10 \text{ m}$  pa je referentna visina zgrade:  $z_s = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 295,2 = 177,12 \text{ m} \geq z_{\min} = 10 \text{ m}$ .

### **Srednji vjetar**

Srednja brzina vjetra ovisi o hrapavosti terena, vertikalnoj razvedenosti i osnovnoj brzini vjetra,  $v_b$ , a određuje se prema HRN EN 1991-1-4 [7] pomoću izraza:  $v_m(z_s) = c_r(z_s) \cdot c_0(z_s) \cdot v_b$ ,

gdje je:  $c_r(z_s)$  faktor hrapavosti

$c_0(z_s)$  faktor vertikalne razvedenosti

Za faktor  $c_0(z_s)$  je preporučena vrijednosti 1 prema HRN EN 1991-1-4 [7] i ona je prihvaćena u nacionalnom dodatku.

Faktor  $c_r(z_s)$  određuje se prema izrazu [7]:  $c_r(z_s) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)$ ,

gdje je:  $k_r$  faktor terena, a određuje se pomoću izraza [7]:  $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,23$$

$$c_r(z_s) = 0,23 \cdot \ln\left(\frac{177,12}{1,0}\right) = 1,19$$

$$c_0(z_s) = 1,0$$

$$v_m(z_s) = 1,19 \cdot 1,0 \cdot 30 = 35,7 \text{ m/s}$$

### **Intenzitet turbulencije**

Intenzitet turbulencije  $I_v(z_s)$  je standardna devijacija turbulencije podijeljena sa srednjom brzinom vjetra [7].

Izraz za  $I_v(z_s)$  prema HRN EN 1991-1-4 [7]:  $I_v(z_s) = \frac{\sigma_v}{v_m(z_s)} = \frac{k_I}{c_0(z_s) \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)}$ ,

gdje je:  $k_I$  faktor turbulencije čija preporučena vrijednost prema HRN EN 1991-1-4 [7] iznosi 1,0 i ona je prihvaćena u nacionalnom dodatku [8],

$c_0$  faktor vertikalne razvedenosti terena ( $c_0 = 1$  za nagib kosine uz koju puše vjetar manji od 0,05),

$z_0$  duljina hrapavosti koja se određuje pomoću tablice 5.6. ( $z_0 = 1,0 \text{ m}$ ).

$$I_v(z_s) = \frac{\sigma_v}{v_m(z_s)} = \frac{k_I}{c_0(z_s) \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{177,12}{1}\right)} = 0,19$$

### **Turbulencije vjetra**

Turbulentna visina  $L(z_s)$  je prosječna veličina zapuha za prirodne vjetrove i računa se prema HRN EN 1991-1-4 [7]:  $L(z_s) = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha$  s referentnom visinom  $z_t = 200$  m, visinom turbulentnog sloja  $L_t = 300$  m i  $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_o)$ .

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(1) = 0,67$$

$$L(z_s) = 300 \cdot \left(\frac{177,12}{200}\right)^{0,67} = 276,55 \text{ m}$$

Raspodjela vjetra po frekvencijama izražava se bezdimenzijskom funkcijom spektralne gustoće snage  $S_L(z, n)$  [7]. Izraz prema HRN EN 1991-1-4 [7]:  $S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}}$ , gdje je  $f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$  bezdimenzijska frekvencija, a osnovna frekvencija pri savijanju  $n_1$  dobivena je proračunom.

$$n_1 = 0,13 \text{ Hz}$$

$$f_L(z, n) = \frac{0,12 \cdot 276,55}{35,7} = 1,01$$

$$S_L(z, n) = \frac{6,8 \cdot 1,01}{(1 + 10,2 \cdot 1,01)^{5/3}} = 0,121$$

### **Faktor podloge**

Na strani sigurnosti je koristiti faktor podloge  $B^2 = 1$  [7].

### **Logaritamski dekrement prigušenja**

Logaritamski dekrement prigušenja  $\delta$  za osnovni oblik vibriranja pri savijanju procjenjuje se, prema HRN EN 1991-1-4 [7], izrazom:  $\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$ ,

gdje je:  $\delta_s$  logaritamski dekrement konstrukcijskog prigušenja

$\delta_a$  logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja za osnovni oblik

$\delta_d$  logaritamski dekrement prigušenja koje potječe od posebnih naprava (prigušivači s prilagođenim masama, spremnici s tekućinom koja se ljuđa i sl.).

Približna vrijednost  $\delta_s$  određuje se pomoću tablice 5.8. [7]. Budući da se radi o armiranobetonskoj zgradi,  $\delta_s = 0,10$ .

Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja  $\delta_a$  za vibriranje u smjeru vjetra smije se procijeniti iz izraza:  $\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_c}$ . Budući da se radi o velikoj masi, vrijednost ovog parametra biti će približno 0.

$\delta d = 0$  budući da nema posebnih prigušivača.

Stoga, logaritamski dekrement prigušenja iznosi:  $\delta = 0,1 + 0 + 1 = 0,1$ .

### **Faktor rezonantnog odziva**

Za određivanje faktora rezonantnog odziva  $R^2$  koristi se postupak iz dodatka B prema HRN

EN 1991-1-4 [7]:  $R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$ ,

gdje su:  $R_h$  i  $R_b$  funkcije aerodinamičkog pristupa za osnovni oblik vibriranja:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}); R_h = 1,0 \text{ za } \eta_h = 0$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}); R_b = 1,0 \text{ za } \eta_b = 0$$

$$\text{uz } \eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) \quad \text{i} \quad \eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot 295,2}{276,55} \cdot 1,01 = 4,96$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot 24}{276,55} \cdot 1,01 = 0,40$$

$$R_h = \frac{1}{4,96} - \frac{1}{2 \cdot 4,96^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 4,96}) = 0,18$$

$$R_b = \frac{1}{0,40} - \frac{1}{2 \cdot 0,40^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 0,40}) = 0,78$$

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,1} \cdot 0,121 \cdot 0,18 \cdot 0,78 = 0,84$$



Tablica 8. Približne vrijednosti logaritamskog dekrementa konstrukcijskog prigušenja u osnovnom obliku vibriranja (Izvor: [7])

Vrsta konstrukcije		Konstrukcijsko prigušenje, $\xi$
armiranobetonske zgrade		0,10
čelične zgrade		0,05
mješovite konstrukcije od betona i čelika		0,08
armiranobetonski tornjevi i dimnjaci		0,03
neobloženi zavareni čelični dimnjak bez vanjske toplinske izolacije		0,012
neobloženi zavareni čelični dimnjak s vanjskom toplinskom izolacijom		0,020
čelični dimnjak s jednom oblogom i vanjskom toplinskom izolacijom <sup>a</sup>	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
čelični dimnjak s dvije ili više obloga i vanjskom toplinskom izolacijom <sup>a</sup>	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025
čelični dimnjak s unutarnjom oblogom od opeke		0,070
čelični dimnjak s unutarnjom oblogom od torkretiranog betona		0,030
povezani dimnjaci bez obloge		0,015
čelični dimnjak učvršćen užadima bez obloge		0,04
čelični mostovi + rešetkasti čelični tornjevi	zavareni	0,02
	s visokovrijednim vijcima	0,03
	s običnim vijcima	0,05
spregnuti mostovi		0,04
betonski mostovi	prednapeti, bez pukotina	0,04
	s pukotinama	0,10
drveni mostovi		0,06 – 0,12
mostovi, aluminijske legure		0,02
mostovi, staklo ili plastika armirana vlaknima		0,04 – 0,08
užad	paralelno izrađena užad	0,006
	spiralno izrađena užad	0,020
<p><b>AC</b> NAPOMENA: <b>AC</b> Vrijednosti za drvo i plastične kompozite samo su orijentacijske. U slučajevima kada su aerodinamički učinci značajni pri proračunu, treba upotrebljavati točnije vrijednosti uz savjet stručnjaka (ako je potrebno, usuglašeno s nadležnim upravnim tijelom).</p> <p><b>AC</b> (izbrisani tekst) <b>AC</b></p>		
<p><sup>a</sup> Za međuvrijednosti omjera <math>h/b</math> smije se upotrebljavati linearna interpolacija.</p>		

Tablica 9. Konstante  $G$  i  $K$  kao funkcije oblika vibriranja (Izvor: [7])

Oblik vibriranja	Jednolik	Linearan	Paraboličan	Sinusoidan
$G$	1/2	3/8	5/18	$4/\pi^2$
$K$	1	3/2	5/3	$4/\pi$
NAPOMENA 1: Za zgrade s jednolikom horizontalnom i linearnom vertikalnom promjenom oblika vibriranja $\Phi(y,z) = z/h$ , $G_y = 1/2$ , $G_z = 3/8$ , $K_y = 1$ i $K_z = 3/2$ . NAPOMENA 2: Za dimnjake s jednolikom horizontalnom i paraboličnom vertikalnom promjenom oblika vibriranja $\Phi(y,z) = z^2/h^2$ , $G_y = 1/2$ , $G_z = 5/18$ , $K_y = 1$ i $K_z = 5/3$ . NAPOMENA 3: Za mostove sa sinusoidnom horizontalnom promjenom oblika vibriranja $\Phi(y,z) = \sin(\pi y/b)$ , $G_y = 4/\pi^2$ , $G_z = 1/2$ , $K_y = 4/\pi$ i $K_z = 1$ .				

### Vršni faktor $k_p$

Vršni faktor  $k_p$  određuje se kao omjer najveće vrijednosti promjenjivog dijela odziva i njegove standarde devijacije, a određuje se pomoću izraza [7]:

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(vT)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(vT)}} \quad \text{ili} \quad k_p = 3,0, \text{ a uzima se veća vrijednost [7],}$$

gdje je:  $v$  frekvencija premašaja, a određuje se izrazom [7]:  $v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0,08$ ,

$T$  srednja brzina vjetra određena za vrijeme od  $T = 600$  s.

$$v = 0,13 \cdot \sqrt{\frac{0,84}{1 + 0,84}} = 0,088 \text{ Hz}$$

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(0,088 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,088 \cdot 600)}} = 3,03$$

Konstruktivski faktor iznosi:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot 3,03 \cdot 0,19 \cdot \sqrt{1 + 0,84}}{1 + 7 \cdot 0,19} = 1,10$$

#### 4.1.6.4. Tlak pri vršnoj brzini

Tlak pri vršnoj brzini određuje se prema HRN EN 1991-1-4 [7] pomoću izraza:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z),$$

gdje je:  $\rho$  gustoća zraka koja ovisi o nadmorskoj visini i atmosferskom tlaku koji se očekuju tijekom oluja, a preporučena vrijednost iznosi  $1,25 \text{ kg/m}^3$ ,

$I_v(z)$  intenzitet turbulencije,

$v_m(z)$  srednja brzina vjetra.

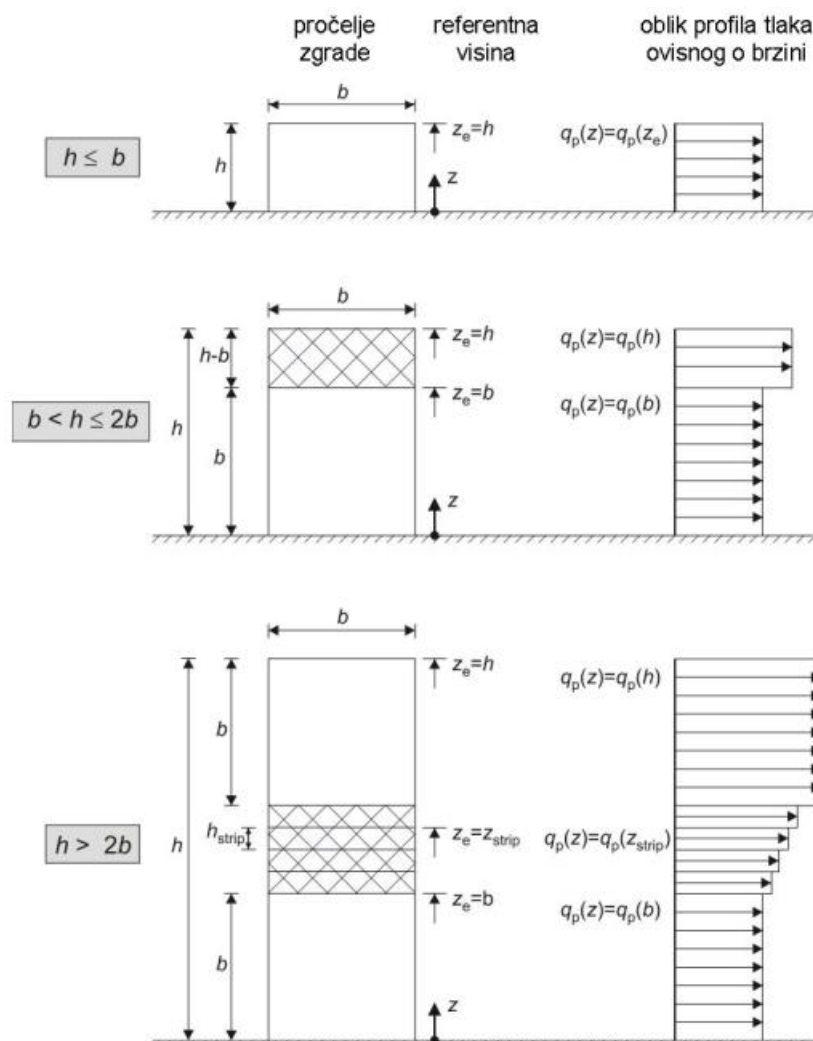
#### 4.1.6.5. Sile vjetra

Sile vjetra koje djeluju na konstrukciju određuju se pomoću izraza [7]:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

#### 4.1.6.6. Raspodjela tlaka vjetra po visini

Raspodjela tlaka po visini ovisi o odnosu visine i širine zgrade kao na slici danoj u nastavku.



Slika 25. Tri slučaja raspodjele tlaka po visini zgrade (Izvor: [7])

Budući da je visina zgrade  $h = 295,2$  m, a širina zgrade  $b = 24$  m, vrijedi treći slučaj, odnosno  $h = 295,2$  m  $>$   $2b = 48$  m. Raspodjela tlaka dana je tablici u nastavku.

Izrazi koji su još korišteni u tablici prema HRN EN 1991-1-4 [7]:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$$v_m(z_s) = c_r(z_s) \cdot c_0(z_s) \cdot v_b$$

$$c_r(z_s) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$$(c_0=1,0, k_I=1,0)$$

Tablica 10. Raspodjela tlaka vjetra po visini zgrade

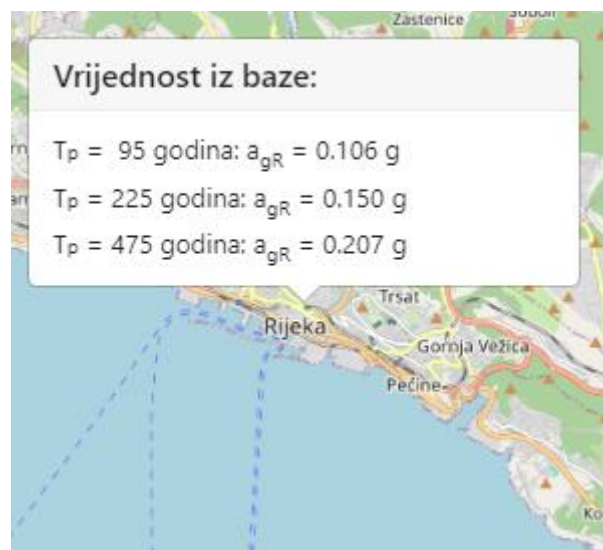
Etaža	Visina iznad tla [m]	Referentna visina [m]	$lv(z)$	$v_m(z)$ [m/s]	$q_p(z)$ [m]	$q_p(z) \times C_f \times C_s C_d$	Sila na ploču [kN/m <sup>2</sup> ]
1	4,1	24	0,315	21,93	0,963	2,223	13,67
2	8,2	24	0,315	21,93	0,963	2,223	9,12
3	12,3	24	0,315	21,93	0,963	2,223	9,12
4	16,4	24	0,315	21,93	0,963	2,223	9,12
5	20,5	24	0,315	21,93	0,963	2,223	9,16
6	24,6	24,6	0,312	22,10	0,972	2,246	9,50
7	28,7	28,7	0,298	23,16	1,035	2,390	10,06
8	32,8	32,8	0,286	24,08	1,090	2,517	10,55
9	36,9	36,9	0,277	24,90	1,139	2,631	11,00
10	41	41	0,269	25,62	1,184	2,735	11,41
11	45,1	45,1	0,263	26,28	1,225	2,830	11,78
12	49,2	49,2	0,257	26,88	1,263	2,918	12,13
13	53,3	53,3	0,252	27,43	1,299	3,000	12,46
14	57,4	57,4	0,247	27,95	1,332	3,076	12,76
15	61,5	61,5	0,243	28,42	1,363	3,148	13,05
16	65,6	65,6	0,239	28,87	1,392	3,216	13,32
17	69,7	69,7	0,236	29,28	1,420	3,280	13,57
18	73,8	73,8	0,232	29,68	1,446	3,341	13,82
19	77,9	77,9	0,230	30,05	1,472	3,400	14,05
20	82	82	0,227	30,41	1,496	3,455	14,28
21	86,1	86,1	0,224	30,74	1,519	3,508	14,49
22	90,2	90,2	0,222	31,06	1,541	3,559	14,69
23	94,3	94,3	0,220	31,37	1,562	3,608	14,89
24	98,4	98,4	0,218	31,66	1,583	3,656	15,08
25	102,5	102,5	0,216	31,95	1,602	3,701	15,26
26	106,6	106,6	0,214	32,22	1,621	3,745	15,44
27	110,7	110,7	0,212	32,48	1,640	3,788	15,61
28	114,8	114,8	0,211	32,73	1,657	3,829	15,78
29	118,9	118,9	0,209	32,97	1,675	3,869	15,94

30	123	123	0,208	33,20	1,691	3,907	16,10
31	127,1	127,1	0,206	33,43	1,708	3,945	16,25
32	131,2	131,2	0,205	33,65	1,723	3,981	16,40
33	135,3	135,3	0,204	33,86	1,739	4,017	16,54
34	139,4	139,4	0,203	34,07	1,754	4,051	16,68
35	143,5	143,5	0,201	34,27	1,768	4,085	16,82
36	147,6	147,6	0,200	34,46	1,783	4,118	16,95
37	151,7	151,7	0,199	34,65	1,796	4,150	17,08
38	155,8	155,8	0,198	34,84	1,810	4,181	17,21
39	159,9	159,9	0,197	35,01	1,823	4,212	17,33
40	164	164	0,196	35,19	1,836	4,242	17,45
41	168,1	168,1	0,195	35,36	1,849	4,271	17,57
42	172,2	172,2	0,194	35,53	1,861	4,299	17,69
43	176,3	176,3	0,193	35,69	1,873	4,327	17,80
44	180,4	180,4	0,192	35,85	1,885	4,355	17,91
45	184,5	184,5	0,192	36,00	1,897	4,382	18,02
46	188,6	188,6	0,191	36,15	1,908	4,408	18,13
47	192,7	192,7	0,190	36,30	1,920	4,434	18,23
48	196,8	196,8	0,189	36,45	1,930	4,459	18,33
49	200,9	200,9	0,189	36,59	1,941	4,484	18,44
50	205	205	0,188	36,73	1,952	4,509	18,54
51	209,1	209,1	0,187	36,87	1,962	4,533	18,63
52	213,2	213,2	0,186	37,00	1,973	4,557	18,73
53	217,3	217,3	0,186	37,13	1,983	4,580	18,82
54	221,4	221,4	0,185	37,26	1,992	4,603	18,92
55	225,5	225,5	0,185	37,39	2,002	4,625	19,01
56	229,6	229,6	0,184	37,51	2,012	4,647	19,10
57	233,7	233,7	0,183	37,63	2,021	4,669	19,19
58	237,8	237,8	0,183	37,75	2,030	4,690	19,27
59	241,9	241,9	0,182	37,87	2,040	4,711	19,36
60	246	246	0,182	37,99	2,049	4,732	19,44
61	250,1	250,1	0,181	38,10	2,057	4,753	19,53
62	254,2	254,2	0,181	38,21	2,066	4,773	19,61
63	258,3	258,3	0,180	38,32	2,075	4,793	19,69
64	262,4	262,4	0,180	38,43	2,083	4,812	19,77
65	266,5	266,5	0,179	38,54	2,092	4,832	19,85
66	270,6	270,6	0,179	38,64	2,100	4,851	20,11
67	274,7	295,2	0,176	39,24	2,147	4,960	20,34
68	278,8	295,2	0,176	39,24	2,147	4,960	20,34
69	282,9	295,2	0,176	39,24	2,147	4,960	20,34
70	287	295,2	0,176	39,24	2,147	4,960	20,34
71	291,1	295,2	0,176	39,24	2,147	4,960	20,34
72	295,2	295,2	0,176	39,24	2,147	4,960	10,17

#### 4.1.7. Seizmičko opterećenje

##### 4.1.7.1. Spektar odziva

Za proračun seizmičkog djelovanja potrebno je vršno ubrzanje tla. Ono se određuje pomoću *Karte potresnih područja RH* koja je dio norme nHRN ERN 1998-1:2011/NA:2011 [9]. Osim toga, na internetu je dostupna aplikacija koja omogućava očitavanje iznosa vršnog ubrzanja [10]. Za Rijeku dobivene su sljedeće vrijednosti:



Slika 26. Vrijednosti vršnog ubrzanja tla za Rijeku (Izvor: [10])

#### **Horizontalni elastični spektar odziva**

Horizontalna komponenta potresnog djelovanja određuje se pomoću izraza danih u normi EN 1998-1 [11].

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = \left\{ a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g \right\}$$

$$T_D \leq T: S_e(T) = \left\{ a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g \right\}$$

**Vertikalni elastični spektar odziva**

Vertikalna komponenta potresnog djelovanja prema EN 1998-1 [11]:

$$0 \leq T \leq T_B: S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_{ve}(T) = \left\{ a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g \right\}$$

$$T_D \leq T: S_{ve}(T) = \left\{ a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g \right\}$$

gdje je:

$S_d(T)$  – ordinata spektra

$T$  – period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode

$a_g$  – proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A

$T_B$  – donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

$T_C$  – gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

$T_D$  – vrijednost koja definira početak konstantnog raspona odziva u spektru pomaka

$S$  – faktor tla

$\beta$  – faktor donje granice za proračunski spektar s preporučenom vrijednosti od 0,2

$q$  – faktor ponašanja

Vrijednosti  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  i  $S$  ovise o tipu temeljnog tla. Tablica 5.10., koja je dio EN 1998-1 [11], daje preporučene vrijednosti navedenih parametara. Za određivanje točnog tipa temeljnog tla trebalo bi provesti geotehnička ispitivanja. U ovom radu će se pretpostaviti da je temeljno tlo tipa B.

Tablica 11. Preporučene vrijednosti parametara  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ ,  $S$  (Izvor: [11])

Tip temeljnog tla	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0
E	1,4	0,15	0,50	2,0

### Faktor ponašanja

Faktor ponašanja uzima u obzir sposobnost trošenja energije u konstrukciji [11]. Njime možemo reducirati silu elastični spektar odziva kako bismo dobili proračunski spektar odziva. To nam omogućava uzimanje manje potresne sile u proračunu, međutim veći faktor ponašanja zahtijeva i veću duktilnost konstrukcije. Gornja granica faktora ponašanja ovisi o tipu konstrukcije i o razredu duktilnosti (DCM, DCH).

Faktor ponašanja određuje se pomoću izraza  $q = q_0 \cdot k_w$ , gdje je  $q_0$  osnovna vrijednost faktora ponašanja i određuje se pomoću tablice 5.11. prema EN 1998-1 [11].

Tablica 12. Osnovna vrijednost faktora ponašanja (Izvor: [11])

Tip konstrukcije	DCM razred srednje duktilnosti	DCH razred visoke duktilnosti
Okvirni sustav, dvojni sustav, sa povezanim zidovima	3,0 $\alpha_u / \alpha_1$	4,5 $\alpha_u / \alpha_1$
Sustav sa nepovezanim zidovima	3,0	4,0 $\alpha_u / \alpha_1$
Torzijski fleksibilan sustav	2,0	3,0
Sustav obrnutog klatna	1,5	2,0

Zgrada iz ovog rada spada u prvi navedeni tip konstrukcije, odnosno okvirni sustav, dvojni sustav, s povezanim zidovima, a za razred duktilnosti odabire se DCM.

### Izračun faktora ponašanja

Osnovna vrijednost faktora ponašanja:  $q_0 = 3,0 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$

$\alpha_1$  je vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi se postigla granica popuštanja u nekom elementu konstrukcije dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna [11].

$\alpha_u$  je vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi se stvorili plastični zglobovi u određenom broju presjeka dovoljnog da se postigne opća nestabilnost konstrukcije, dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna. Faktor  $\alpha_u$  smije se dobiti općim nelinearnim statičkim proračunom (postupno guranje) [11].

Za zidne sustave s povezanim zidovima i sustave istovrijedne zidnim vrijedi  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,20$  i  $0,5 \leq k_w = (1 + \alpha_0)/3 \leq 1,0$ ,  $\alpha_0$  je odnos ukupnih visina i duljina konstrukcijskog sustava,  $\alpha_0 = \Sigma h_{wi} / \Sigma l_{wi}$  [2].



$$\Sigma h_{wi} = 4 \cdot 328 + 4 \cdot 32,8 + 4 \cdot 32,8 = 1574,4 \text{ m}$$

$$\Sigma l_{wi} = 2 \cdot 8,60 + 2 \cdot 5,4 + 4 \cdot 7,2 + 4 \cdot 7,2 = 85,6$$

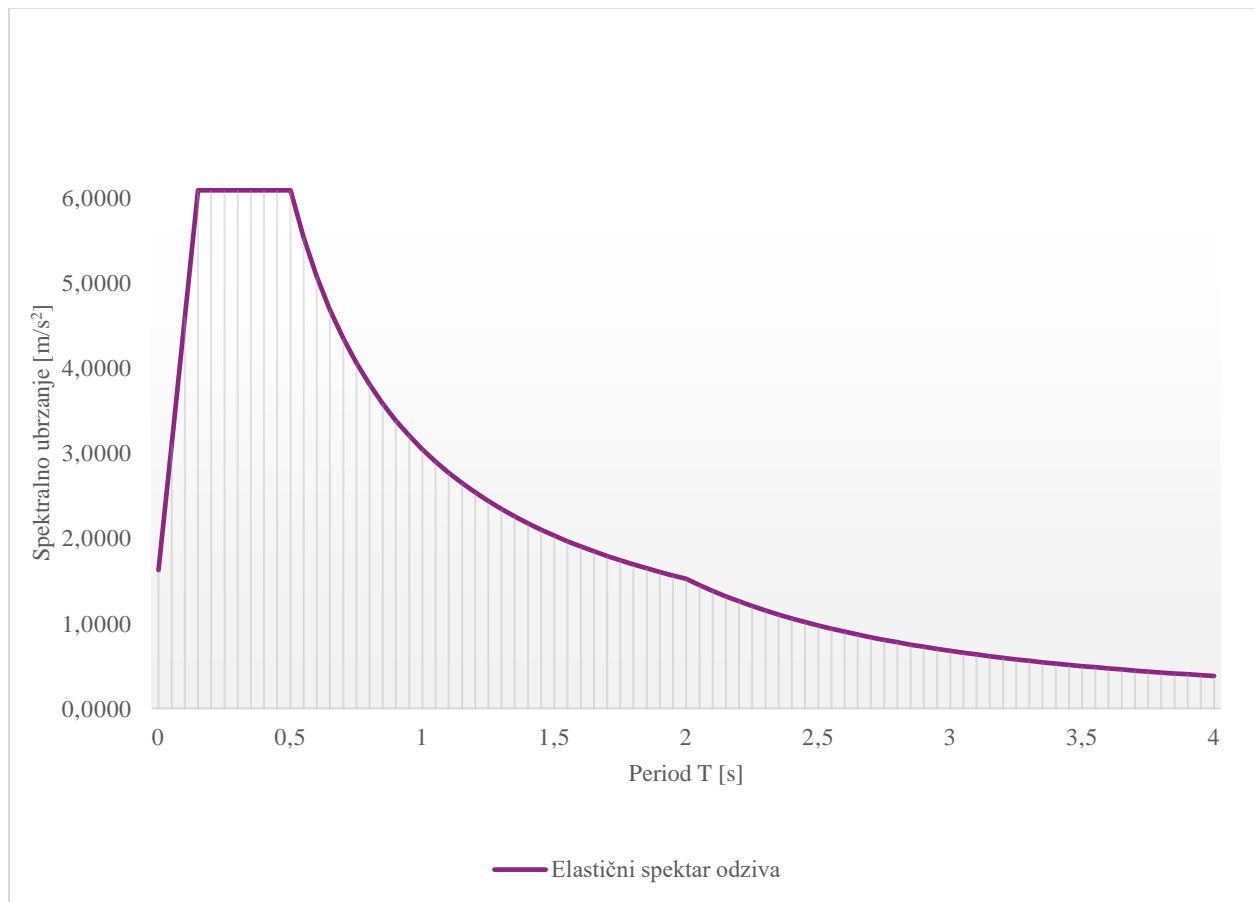
$$\alpha_0 = \frac{\Sigma h_{wi}}{\Sigma l_{wi}} = \frac{1574,4}{85,6} = 18,39$$

$$k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} = \frac{1 + 18,39}{3} = 6,46 > 1,0 \rightarrow k_w = 1,0$$

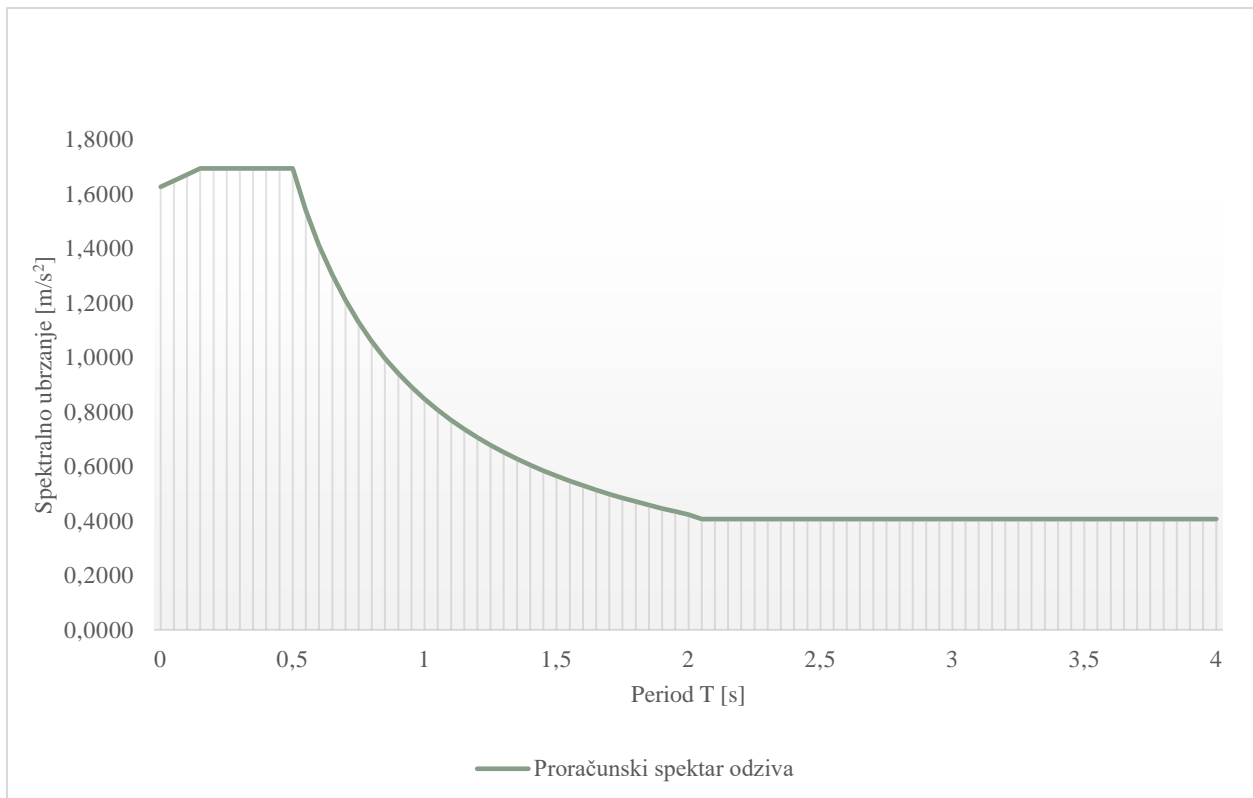
$$q_0 = 3,0 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 3,0 \cdot 1,20 = 3,60$$

$$q = q_0 \cdot k_w = 3,60 \cdot 1,0 = 3,60$$

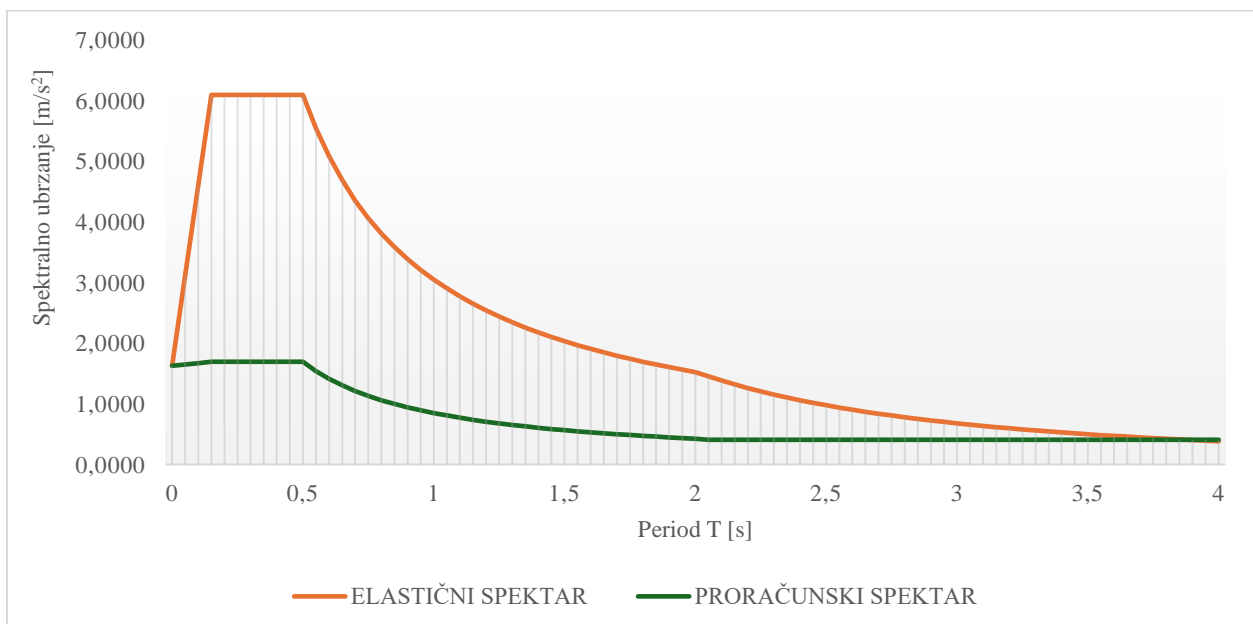
### Grafički prikazi spektara odziva



Slika 27. Grafički prikaz elastičnog spektra odziva



Slika 28. Grafički prikaz elastičnog spektra odziva



Slika 29. Usporedba proračunskog i elastičnog spektra odziva

#### 4.1.7.2. Slučajni torzijski učinci

Prema normi EN 1998-1 [11], u obzir je potrebno uzeti nesigurnosti u položaju masa i prostorne promjene potresnog gibanja. To se uzima u obzir preko slučajne ekscentričnosti na način prikazan na slici u nastavku.

Accidental eccentricity	
Method	Accelerations from modal superposition ▼
Eccentricity	0,05

Slika 30. Slučajna ekscentričnost

#### 4.1.8. Kombinacije djelovanja

Prema normi EN 1990 [12], učinak djelovanja za stalne i prolazne proračunske situacije određuje se pomoću slijedećeg izraza:

$$E_d = E\{\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\},$$

gdje su:

- $G_{k,j}$  karakteristična vrijednost stalnog djelovanja,
- $Q_{k,1}$  karakteristična vrijednost promjenjivog djelovanja,
- $\gamma_G$  parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje,
- $\gamma_Q$  parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje,
- $\psi_{0,i}$  koeficijent kombinacije za prateće djelovanje.

Za granično stanje nosivosti vrijednosti navedenih koeficijenata su slijedeće:

$$\gamma_G = 1,35,$$

$$\gamma_Q = 1,5,$$

$$\psi_{0,s} = 0,5 \text{ za snijeg,}$$

$$\psi_{0,w} = 0,6 \text{ za vjetar.}$$

Za granično stanje uporabljivosti vrijednosti navedenih koeficijenata su slijedeće:

$$\gamma_G = 1,0,$$

$$\gamma_Q = 1,0,$$

$$\psi_{0,s} = 0,5 \text{ za snijeg,}$$

$$\psi_{0,w} = 0,6 \text{ za vjetar.}$$

Kombinacija djelovanja za izvanredne proračunske situacije, u ovom slučaju kada imamo potresno djelovanje, određuje se pomoću izraza:

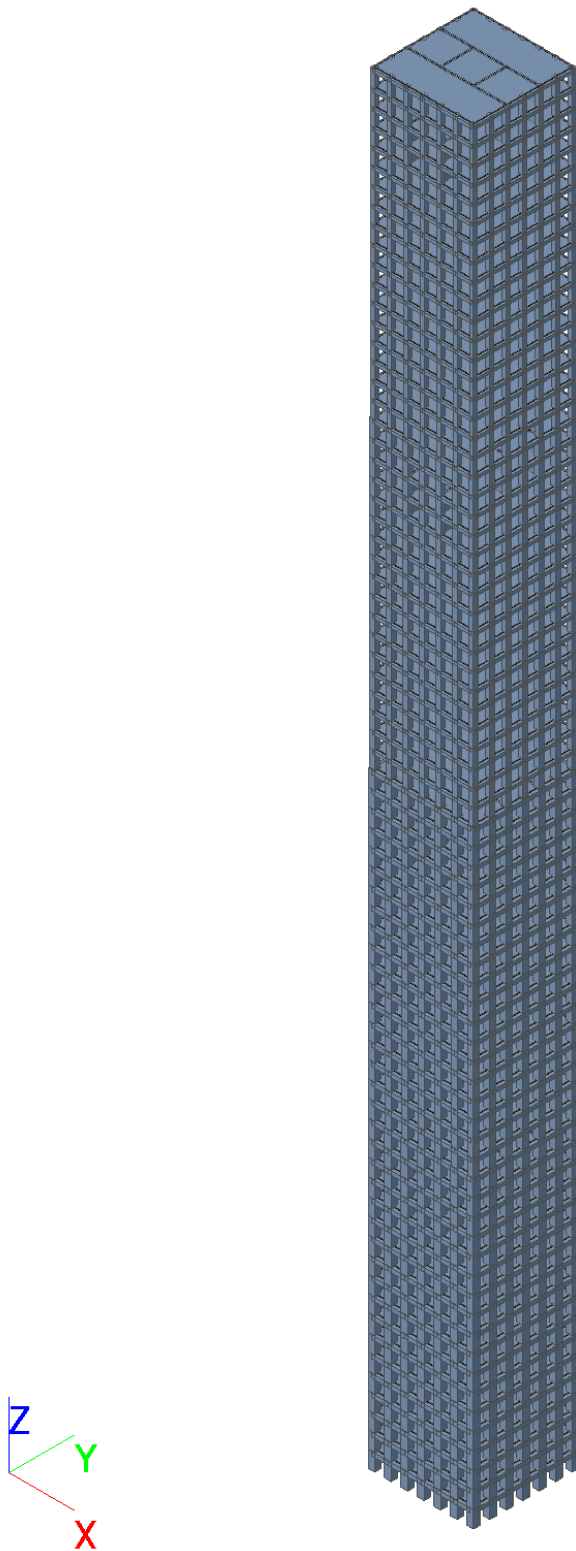
$$E_d = E\{\sum G_{k,j} + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}\},$$

gdje je:  $A_{Ed}$  proračunska vrijednost potresnog djelovanja.

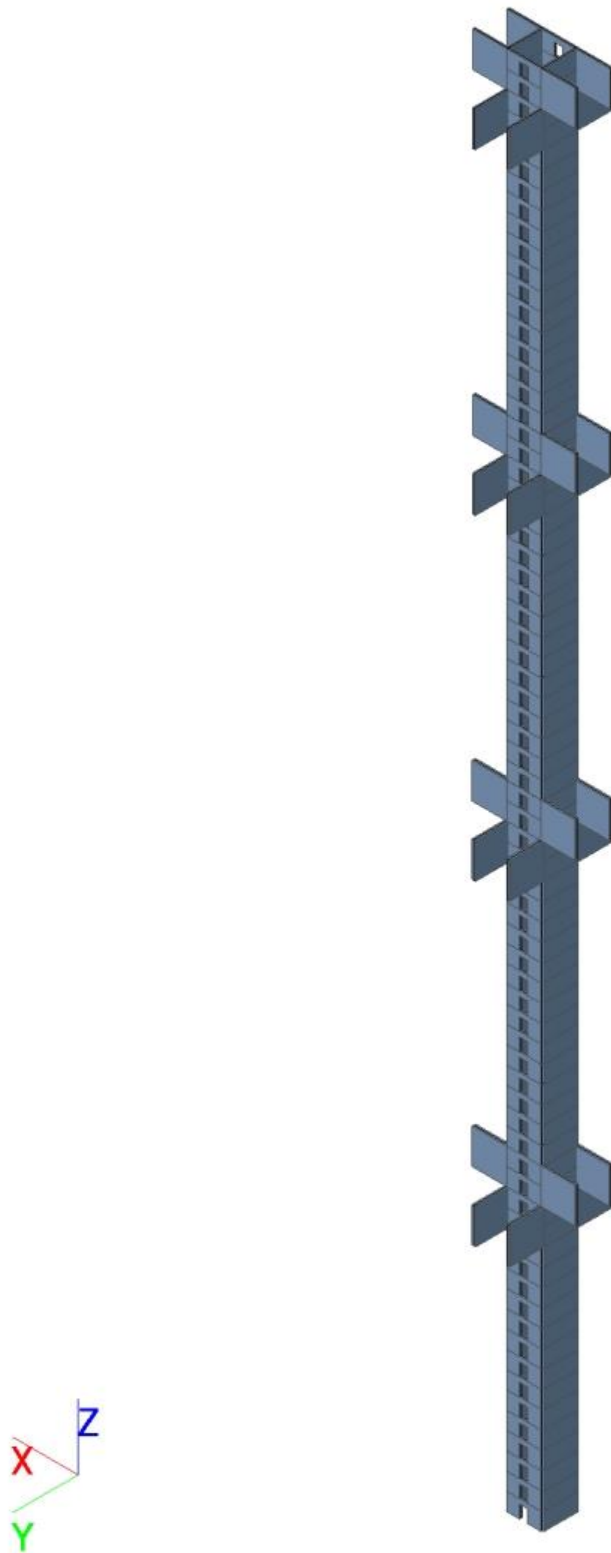
## 4.2. Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun

### 4.2.1. Računalni model

Računalni model napravljen je u softveru SCIA Engineer 21.1. Model je zgrada od 72 kata, svaki visine 4,1 m. Model se sastoji od vanjskih okvira koji su na 4 mjesta po visini zgrade povezani s jezgrom pomoću outrigger zidova. Vanjski okviri sastoje se od stupova i greda koji su modelirani kao 1D elementi, a zidovi jezgre, outrigger zidovi i ploče modelirani su kao 2D elementi. Svi su elementi klase betona C50/60, osim zidova jezgre koji su klase betona C60/75. Kako bi se uzelo u obzir smanjenje krutosti zbog raspucavanja betona tijekom potresa, modul elastičnosti betona smanjen je za 50%. Ploče su modelirane kao slobodno oslonjene, odnosno na rubovima ploča modelirani su zglobovi, a na mjestima lifta i stubišta modelirani su otvori u ploči. Stupovi i zidovi prizemlja su upeti u temelje.



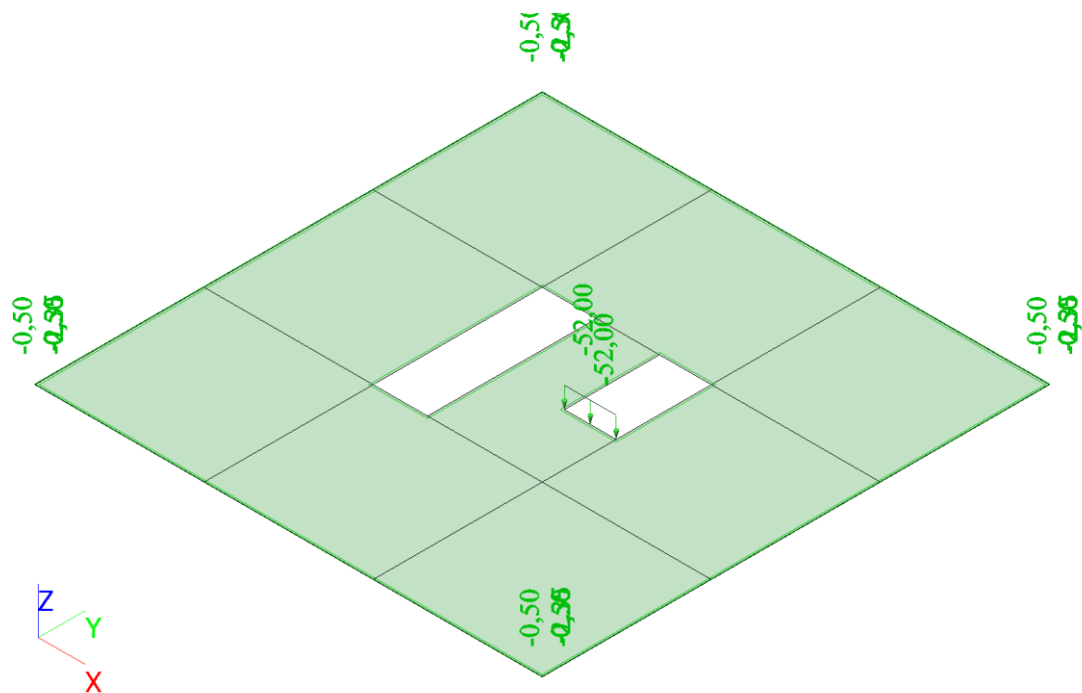
*Slika 31. Računalni model zgrade*



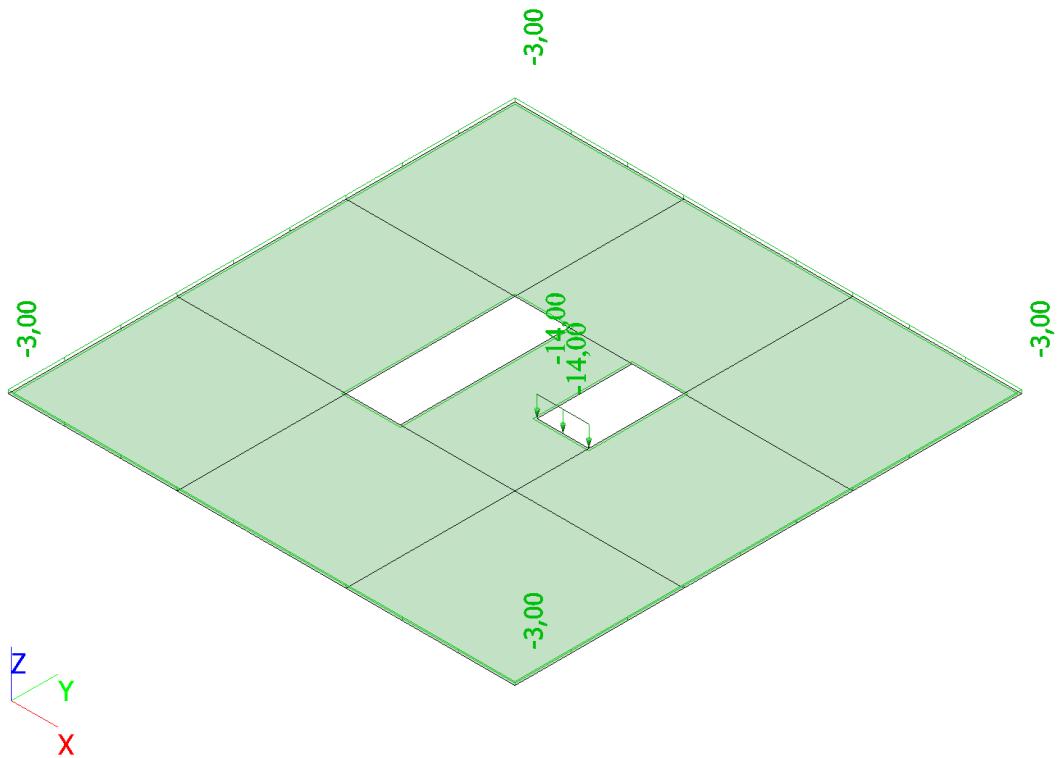
Slika 32. Prikaz unutrašnjosti modela (jezgra i outrigger zidovi)

#### 4.2.2. Statički proračun

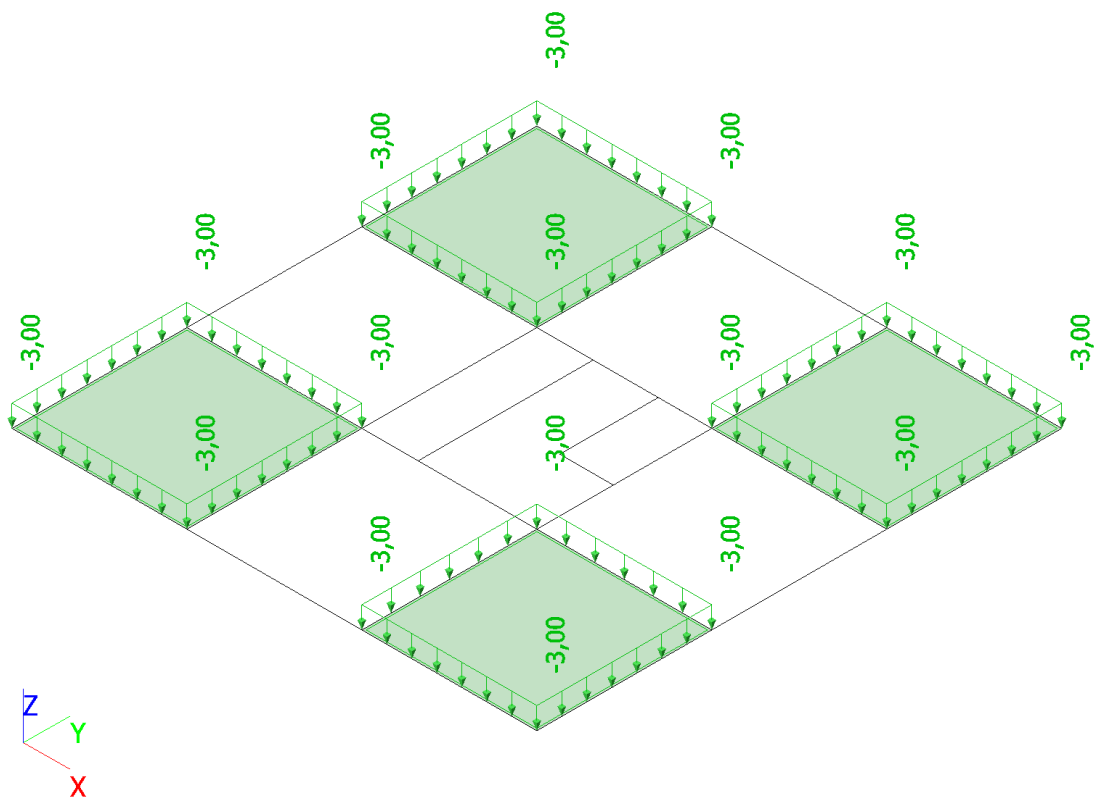
U statičkom proračun provjerava se kako opterećenja djeluju na konstrukciju. Sva opterećenja izračunata su u poglavlju 5.1. *ANALIZA OPTEREĆENJA*, a to su dodatno stalno opterećenje od težine slojeva poda, težine stubišta i težine fasade, uporabno opterećenje, opterećenje snijegom i opterećenje vjetrom. Dodatno stalno opterećenje od slojeva poda, uporabno opterećenje i snijeg zadana su se kao površinska opterećenja na ploču, dodatno stalno opterećenje od težine stubišta i težine fasade zadano je linijski na odgovarajuće rubove ploče, a opterećenje vjetrom zadano je kao linijsko opterećenje koje djeluje horizontalno na rubove ploča. U nastavku je na slikama prikazano kako je pojedino opterećenje zadano u modelu.



Slika 33. Dodatno stalno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]

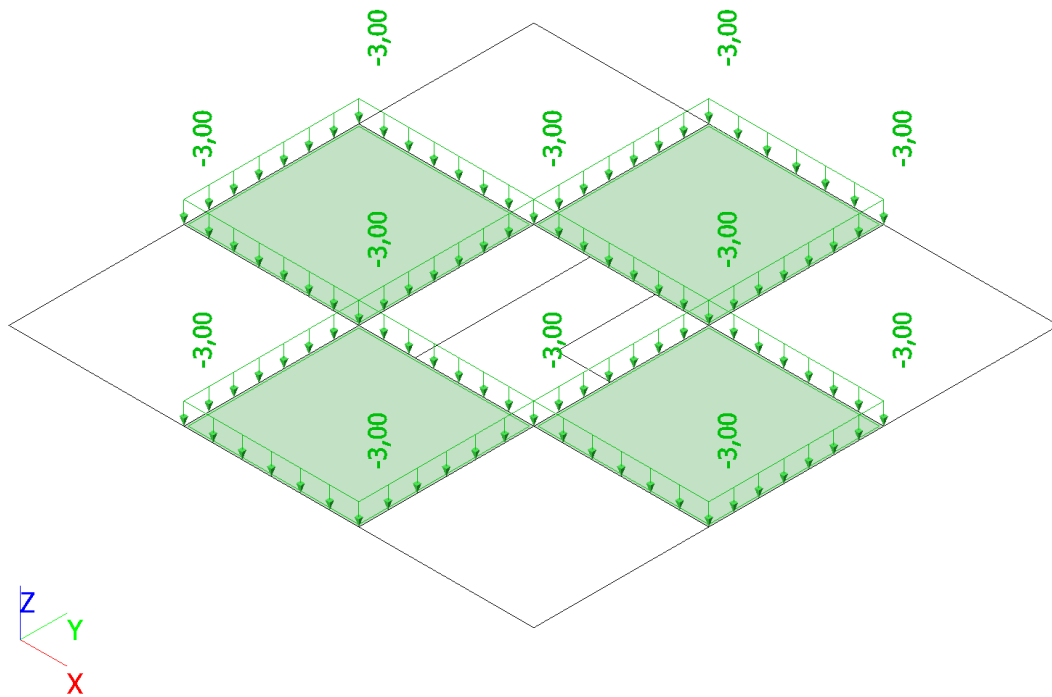


Slika 34. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]

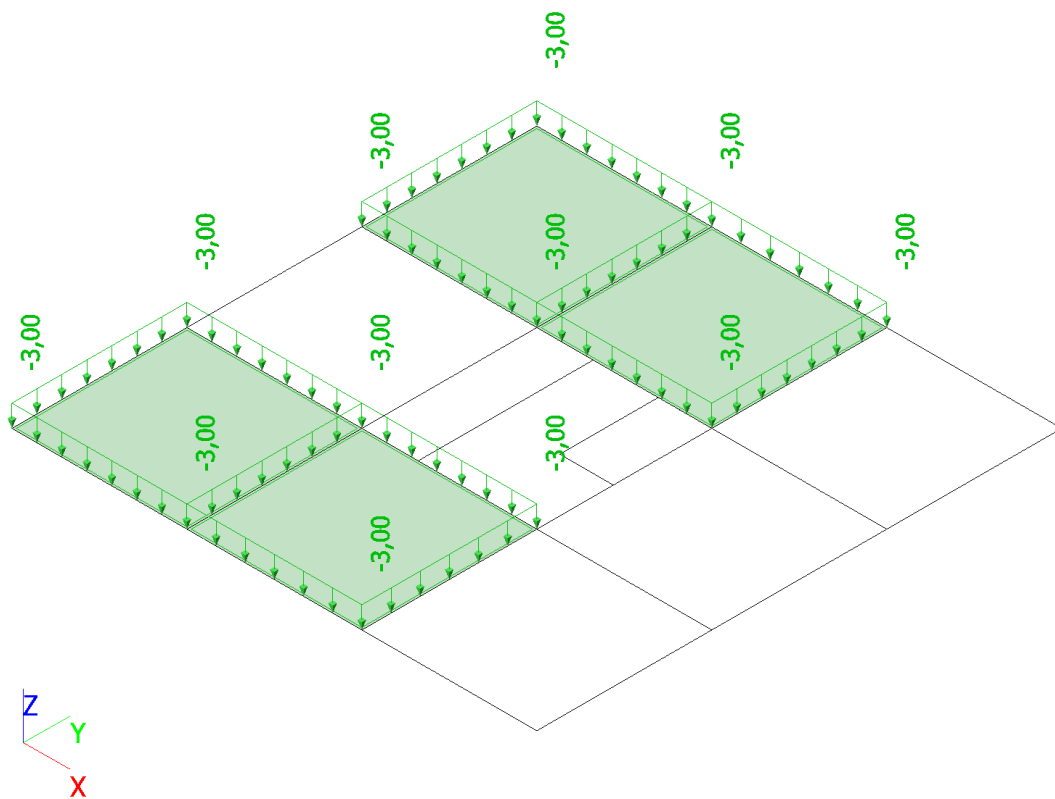


Slika 35. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]

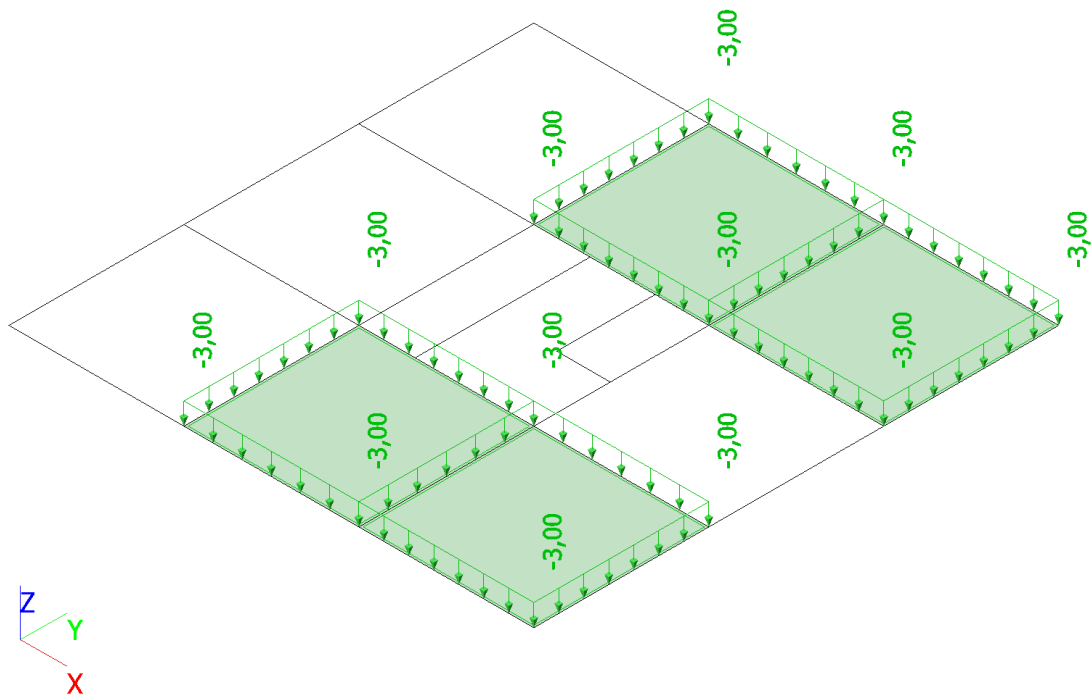




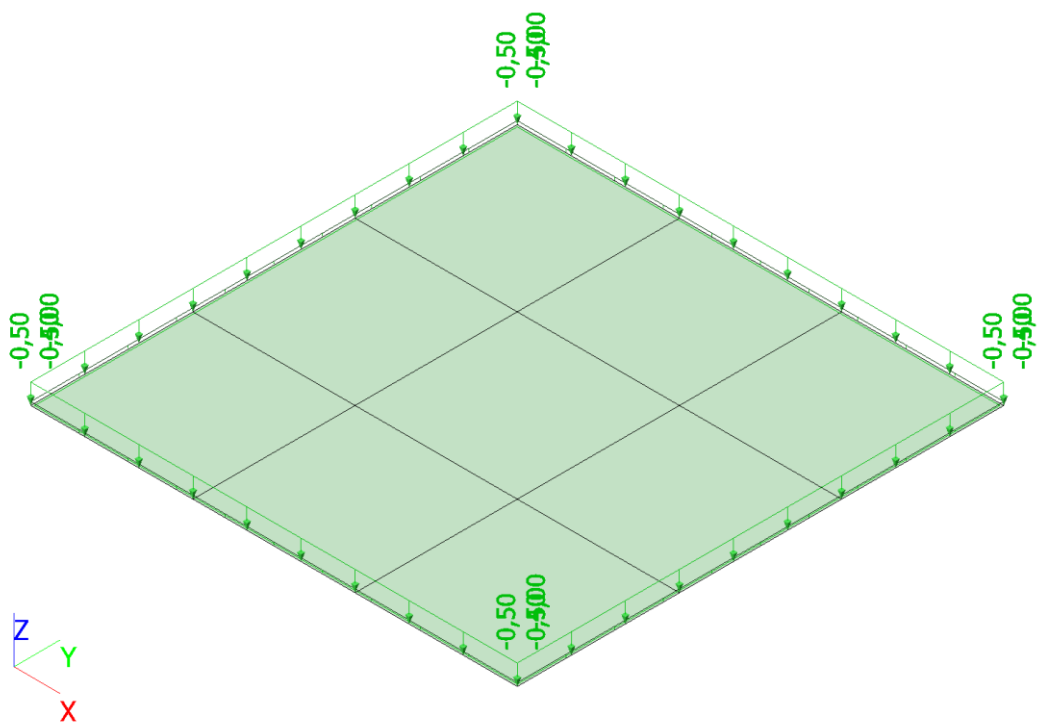
Slika 36. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [ $\text{kN/m}^2$ ]



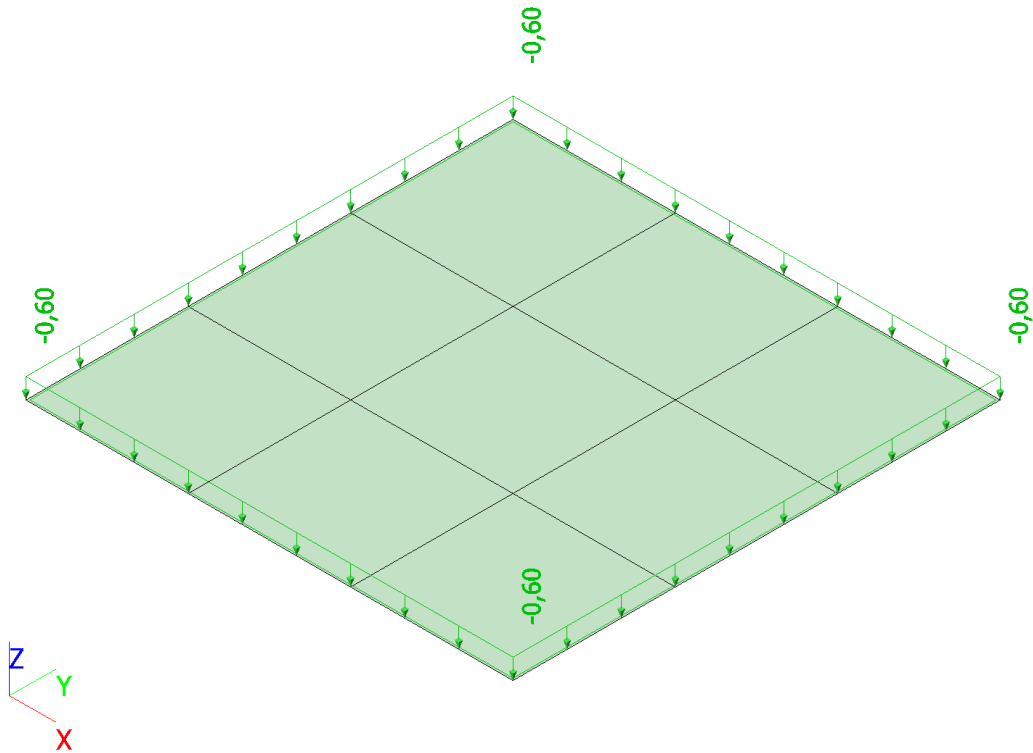
Slika 37. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [ $\text{kN/m}^2$ ]



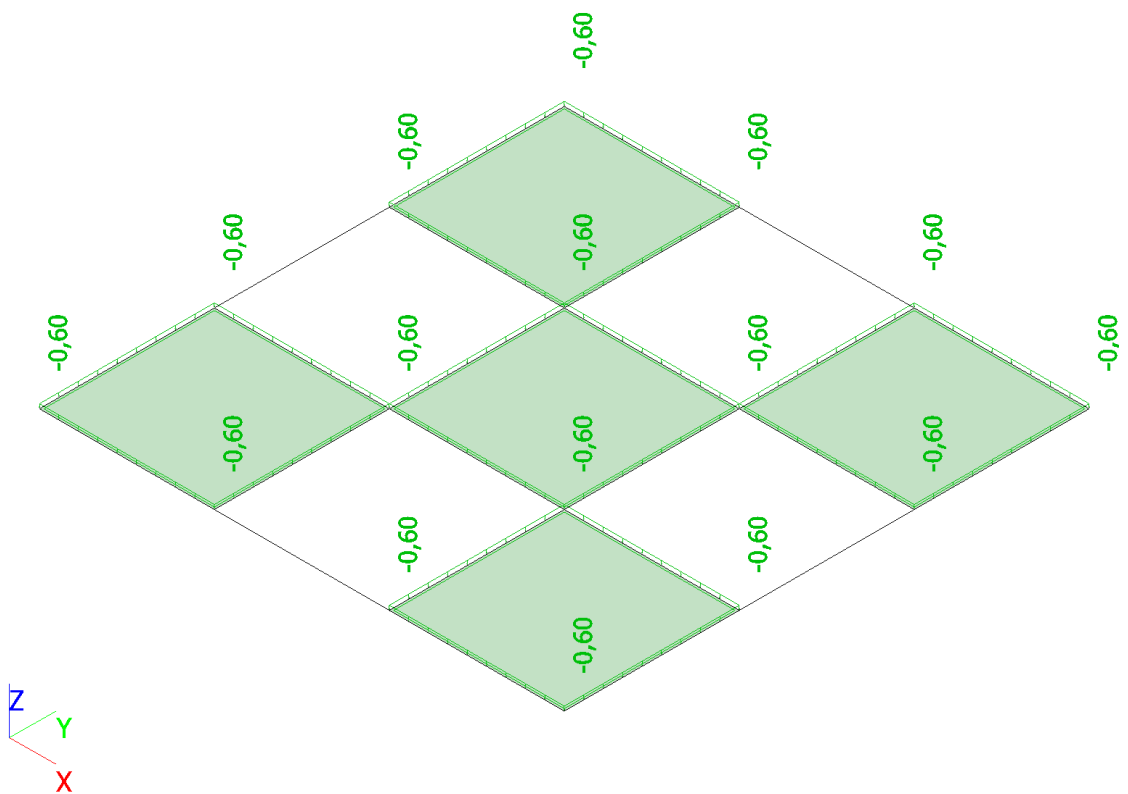
Slika 38. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]



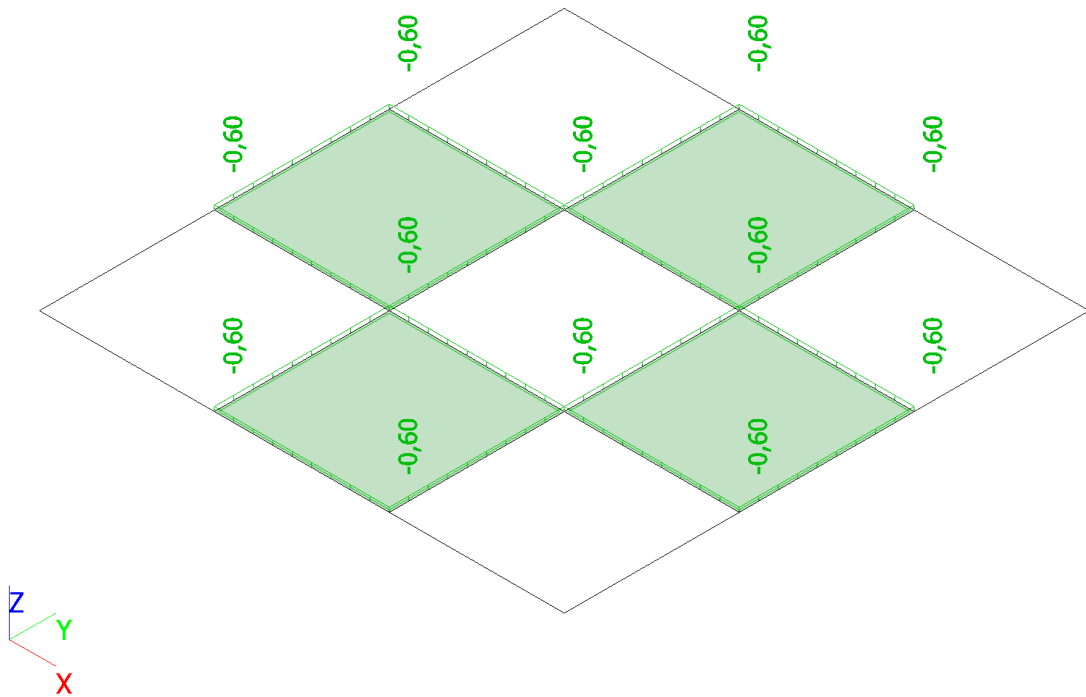
Slika 39. Dodatno stalno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]



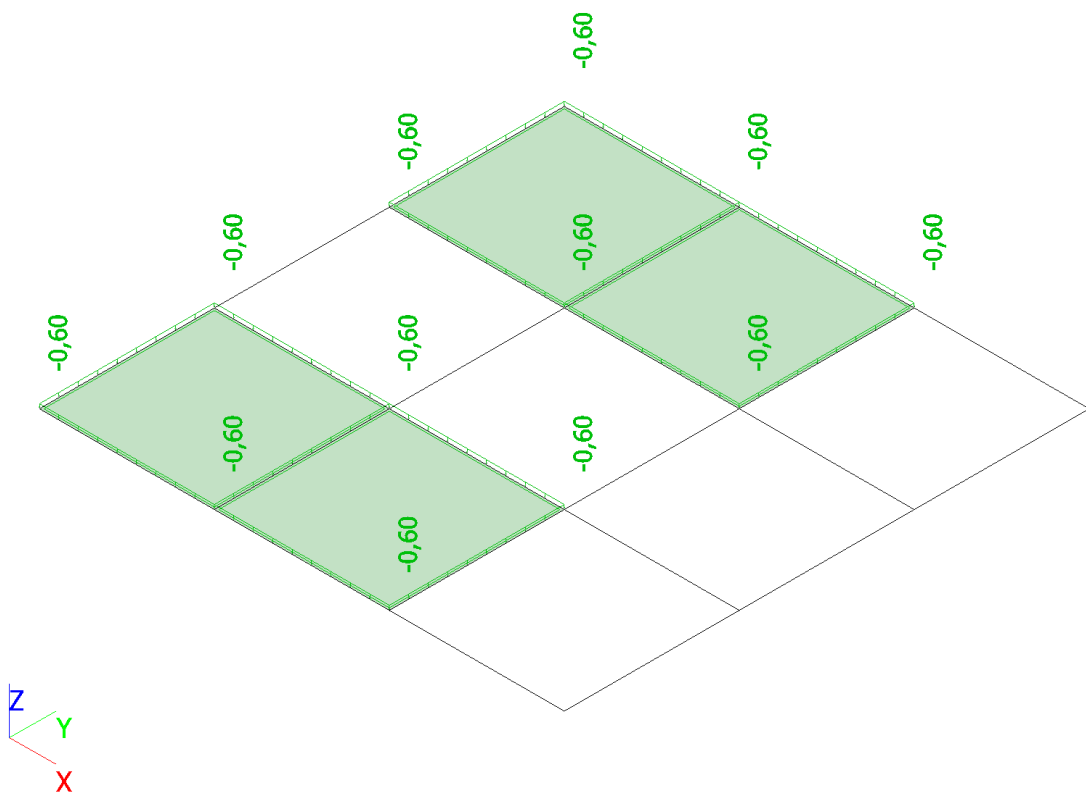
Slika 40. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [ $\text{kN/m}^2$ ]



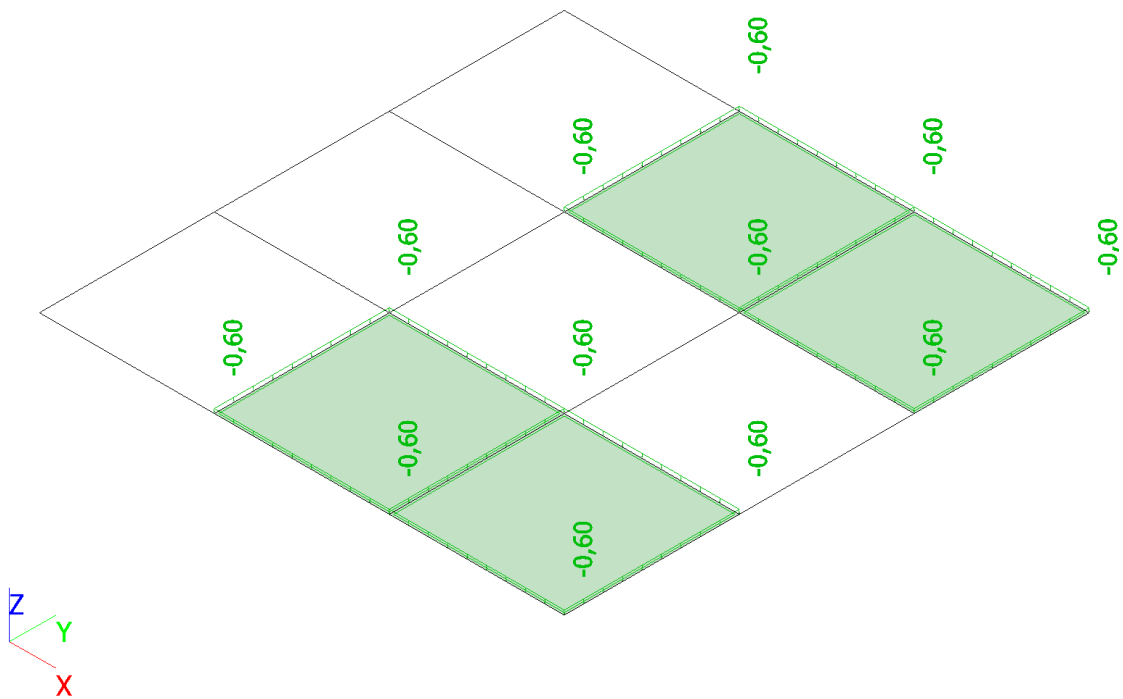
Slika 41. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [ $\text{kN/m}^2$ ]



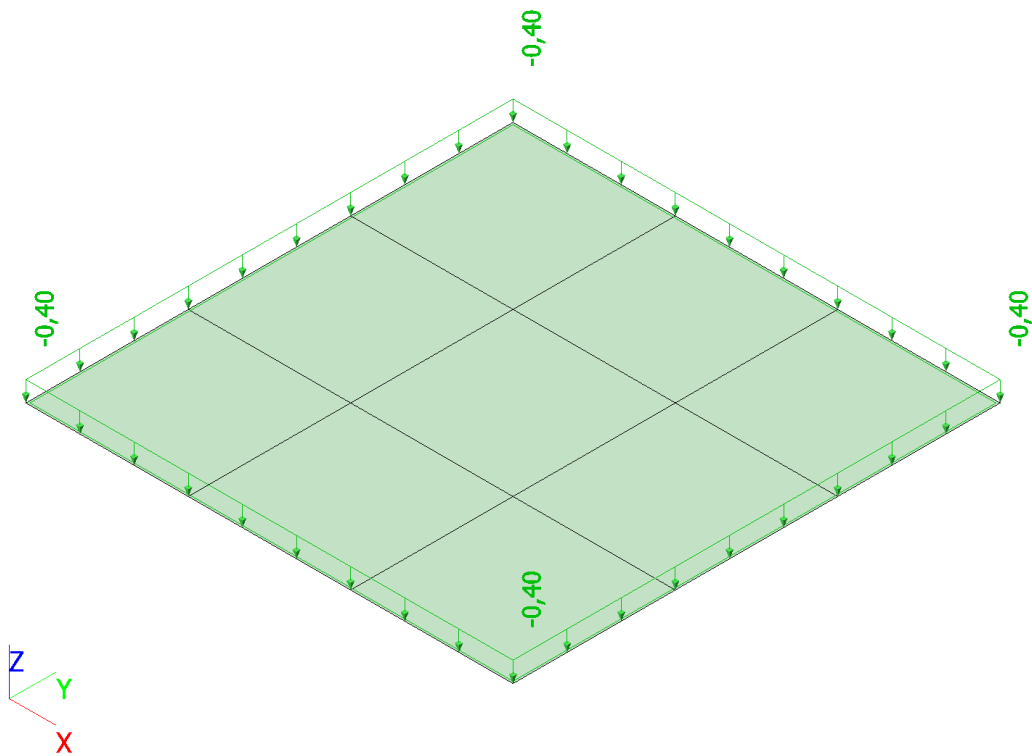
Slika 42. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]



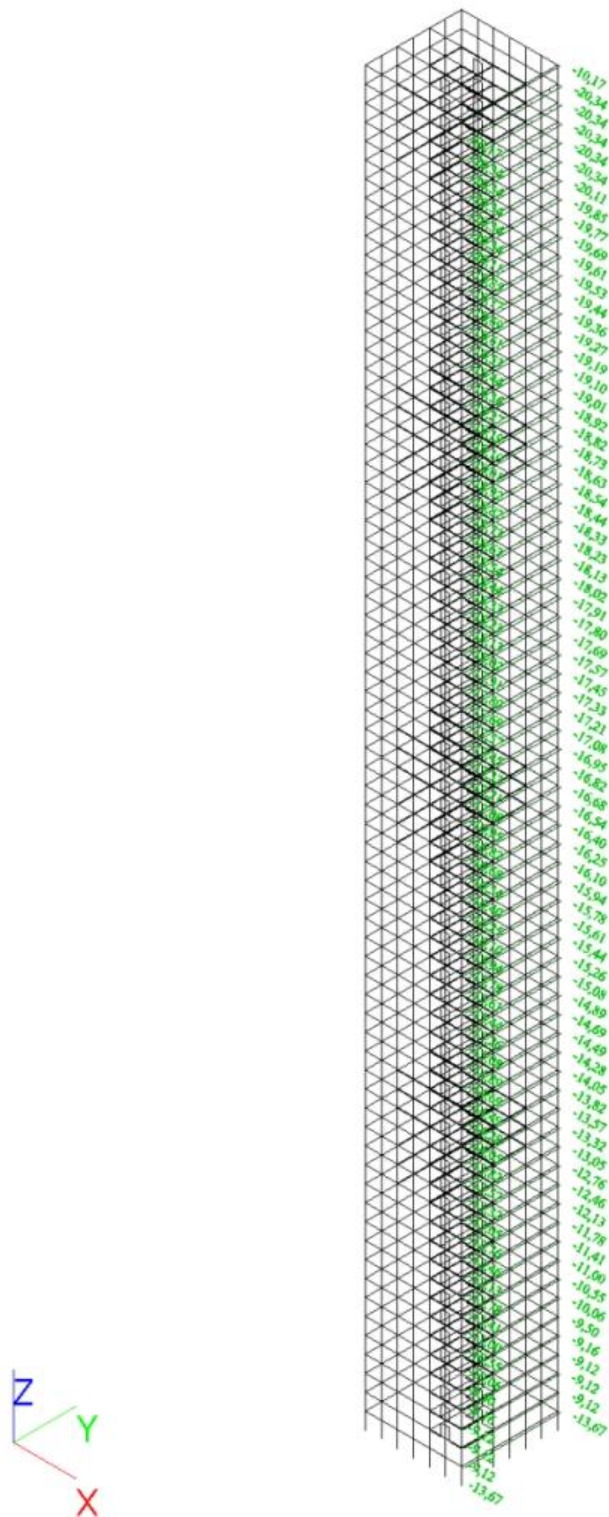
Slika 43. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]



Slika 44. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [ $\text{kN/m}^2$ ]



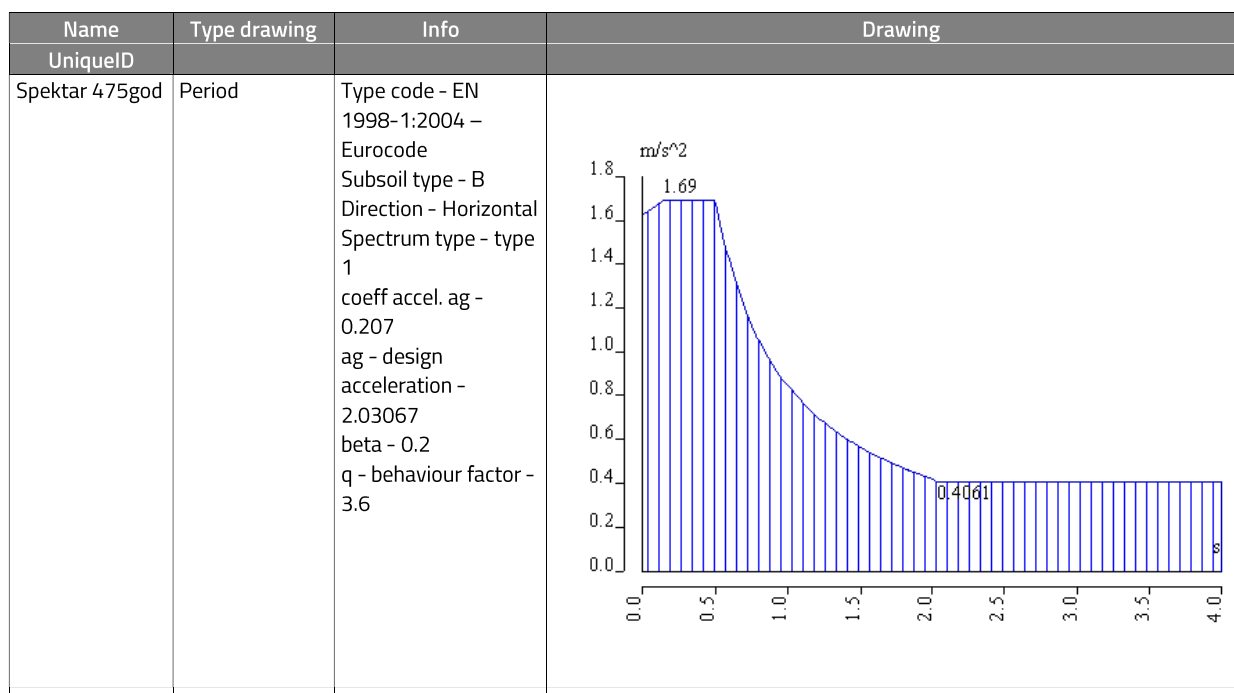
Slika 45. Opterećenje od snijega na krovnu konstrukciju [ $\text{kN/m}^2$ ]



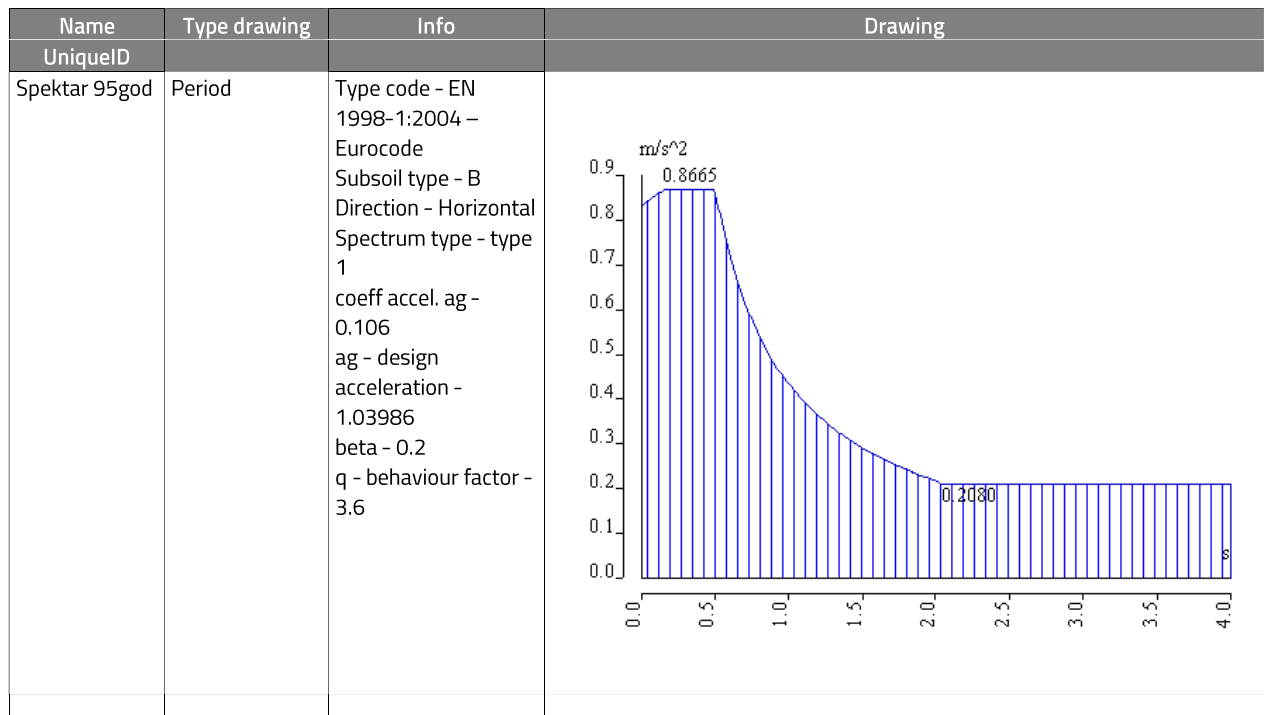
Slika 46. Opterećenje od vjetra [kN/m']

### 4.2.3. Dinamički proračun

U dinamičkom proračunu provjerava se kako potres djeluje na konstrukciju. Seizmičko djelovanje zadaje se pomoću spektra odziva. Svi podaci potrebni za definiranje spektra odziva navedeni su u poglavlju 5.1.7. *Seizmičko opterećenje*. Za provjeru graničnog stanja nosivosti koristi se spektar za povratno razdoblje od 475 godina, a za provjeru graničnog stanja uporabljivosti koristi se spektar za povratno razdoblje od 95 godina. U nastavku su priložene slike zadavanja oba spektra u softveru.



Slika 47. Spektar odziva za povratno razdoblje od 475 godina



Slika 48. Spektar odziva za povratno razdoblje od 95 godina

### 4.3. Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna

#### 4.3.1. Vlastiti oblici, periodi, frekvencije

U nastavku je dana tablica s ispisom vlastitih perioda i frekvencija dobivenih pomoću softvera.

Tablica 13. Vlastiti periodi i frekvencije

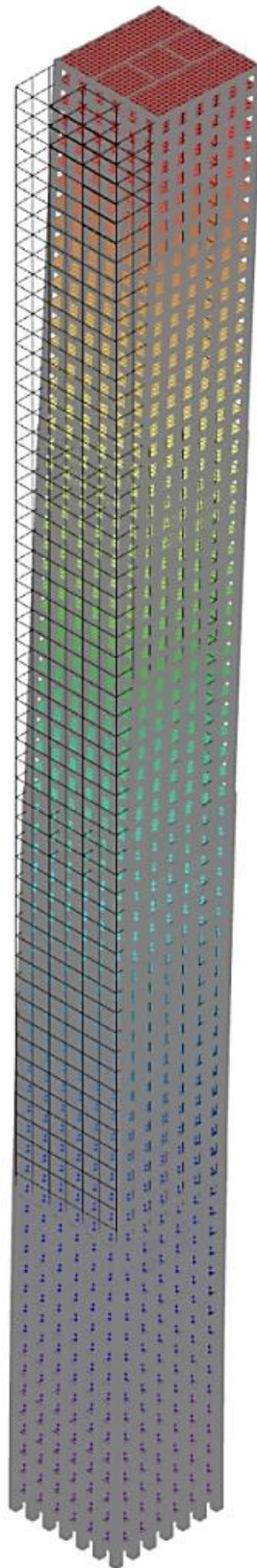
Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{xtot}$	$W_{yi}/W_{ytot}$	$W_{zi}/W_{ztot}$	$W_{xi\_R}/W_{xtot\_R}$	$W_{yi\_R}/W_{ytot\_R}$	$W_{zi\_R}/W_{ztot\_R}$
1	0.805551	7,80	0,13	0,5570	0,0001	0,0000	0,0000	0,4284	0,0000
2	0.805937	7,80	0,13	0,0001	0,5558	0,0000	0,4295	0,0000	0,0000
3	3.74833	1,68	0,60	0,2207	0,0000	0,0000	0,0000	0,1610	0,0000
4	3.80254	1,65	0,61	0,0000	0,2188	0,0000	0,1571	0,0000	0,0000
5	3.89098	1,61	0,62	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7035
6	8.81542	0,71	1,40	0,0867	0,0000	0,0000	0,0000	0,1228	0,0002
7	8.89209	0,71	1,42	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,1560
8	9.12414	0,69	1,45	0,0000	0,0872	0,0000	0,1221	0,0000	0,0000
9	12.0114	0,52	1,91	0,0000	0,0000	0,7662	0,0000	0,0000	0,0000



Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{xtot}$	$W_{yi}/W_{ytot}$	$W_{zi}/W_{ztot}$	$W_{xi\_R}/W_{xtot\_R}$	$W_{yi\_R}/W_{ytot\_R}$	$W_{zi\_R}/W_{ztot\_R}$
10	14.7535	0,43	2,35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0427
11	14.8196	0,42	2,36	0,0479	0,0000	0,0000	0,0000	0,0859	0,0000
12	15.6054	0,40	2,48	0,0000	0,0479	0,0000	0,0850	0,0000	0,0000
13	20.7389	0,30	3,30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0353
14	22.165	0,28	3,53	0,0196	0,0000	0,0000	0,0000	0,0401	0,0000
15	23.5383	0,27	3,75	0,0000	0,0213	0,0000	0,0430	0,0000	0,0000
16	27.8765	0,23	4,44	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0069
17	28.4978	0,22	4,54	0,0174	0,0000	0,0000	0,0000	0,0380	0,0000
18	30.4395	0,21	4,84	0,0000	0,0000	0,1193	0,0000	0,0000	0,0000
19	30.8023	0,20	4,90	0,0000	0,0176	0,0000	0,0382	0,0000	0,0000
20	33.6058	0,19	5,35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0111
21	35.0466	0,18	5,58	0,0108	0,0000	0,0000	0,0000	0,0245	0,0000
22	38.4882	0,16	6,13	0,0000	0,0113	0,0000	0,0255	0,0000	0,0000
23	38.9207	0,16	6,19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0089
24	42.3788	0,15	6,74	0,0093	0,0000	0,0000	0,0000	0,0219	0,0000
25	46.6187	0,13	7,42	0,0000	0,0094	0,0000	0,0221	0,0000	0,0002
				0,9696	0,9694	0,8855	0,9225	0,9228	0,9650

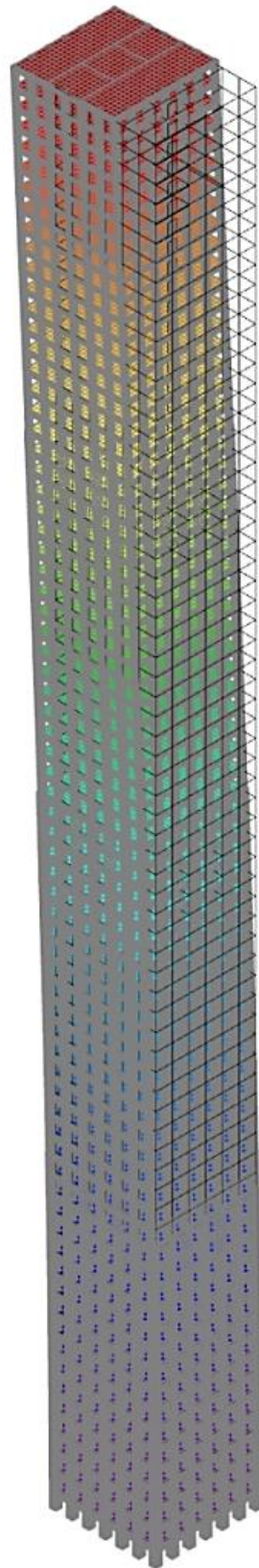
Na slikama u nastavku su prikazana su prva tri vlastita oblika. U prvom modu događa se translacija u x smjeru, u drugom modu translacija u y smjeru, a u trećem modu torzija.

Values:  $U_{total}$   
Modal shapes are normalized, so that  
the generalized modal mass of each  
mode is equal  
to 1kg.  
Mass combination: CM1/1 - 0,13  
Selection: All  
Location: In nodes avg.. System:  
Global



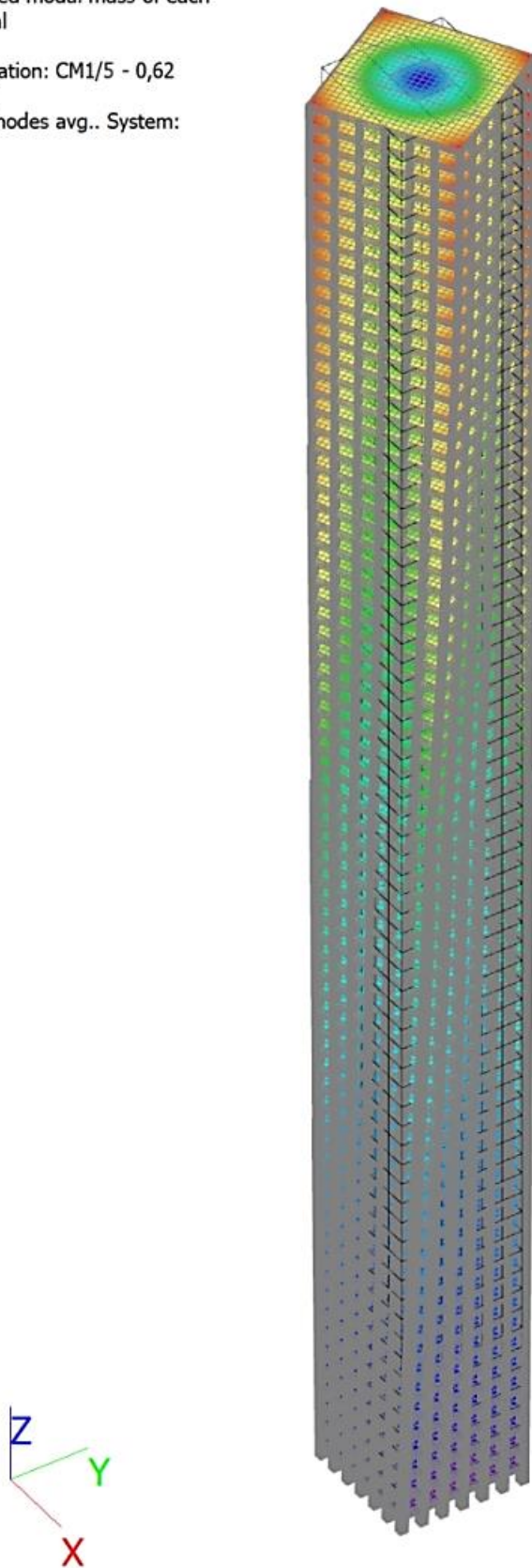
Slika 49. Prvi vlastiti oblik

Values:  $U_{total}$   
Modal shapes are normalized, so that  
the generalized modal mass of each  
mode is equal  
to 1kg.  
Mass combination: CM1/2 - 0,13  
Selection: All  
Location: In nodes avg.. System:  
Global



Slika 50. Drugi vlastiti oblik

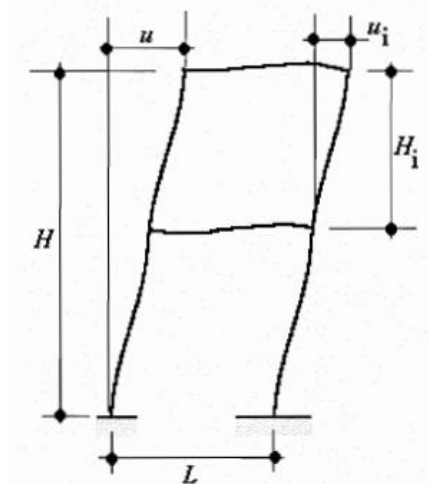
Values:  $U_{total}$   
Modal shapes are normalized, so that  
the generalized modal mass of each  
mode is equal  
to 1kg.  
Mass combination: CM1/5 - 0,62  
Selection: All  
Location: In nodes avg.. System:  
Global



Slika 51. Treći vlastiti oblik

#### 4.3.2. Provjera horizontalnih pomaka za karakterističnu kombinaciju

Prema normi [12] potrebno je provjeriti ukupni horizontalni pomak i horizontalni pomak svake etaže za karakterističnu kombinaciju. Granične vrijednosti pomaka dane su u nacionalnom dodatku [13].



Slika 52. Definicija horizontalnih pomaka (izvor: [12])

Tablica 14. Ograničenje horizontalnih pomaka konstrukcije

Građevina	Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja	
	$u_i$	$u$
Prizemne industrijske građevine bez kрана i/ili međukatova	$H_i/150$	–
Prizemne građevine	$H_i/300$	–
Višekatne zgrade	$H_i/300$	$H/500$

NAPOMENA:  $H_i$  – visina kata;  $H$  – visina građevine

$U_x = -545,0 \text{ mm}$	$U_x = 9,8 \text{ mm}$
$U_x = -535,8 \text{ mm}$	$U_x = 9,6 \text{ mm}$
$U_x = -526,5 \text{ mm}$	$U_x = 9,4 \text{ mm}$
$U_x = -517,1 \text{ mm}$	$U_x = 9,2 \text{ mm}$
$U_x = -507,6 \text{ mm}$	$U_x = 8,9 \text{ mm}$
$U_x = -498,0 \text{ mm}$	$U_x = 8,7 \text{ mm}$
$U_x = -488,3 \text{ mm}$	$U_x = 8,5 \text{ mm}$
$U_x = -478,6 \text{ mm}$	$U_x = 8,3 \text{ mm}$
$U_x = -468,8 \text{ mm}$	$U_x = 8,0 \text{ mm}$
$U_x = -458,9 \text{ mm}$	$U_x = 7,8 \text{ mm}$
$U_x = -449,0 \text{ mm}$	$U_x = 7,6 \text{ mm}$
$U_x = -439,0 \text{ mm}$	$U_x = 7,3 \text{ mm}$
$U_x = -429,0 \text{ mm}$	$U_x = 7,1 \text{ mm}$
$U_x = -418,9 \text{ mm}$	$U_x = 6,9 \text{ mm}$
$U_x = -408,9 \text{ mm}$	$U_x = 6,7 \text{ mm}$
$U_x = -398,8 \text{ mm}$	$U_x = 6,5 \text{ mm}$
$U_x = -388,8 \text{ mm}$	$U_x = 6,2 \text{ mm}$
$U_x = -378,9 \text{ mm}$	$U_x = 6,0 \text{ mm}$
$U_x = -369,1 \text{ mm}$	$U_x = 5,9 \text{ mm}$
$U_x = -360,0 \text{ mm}$	$U_x = 5,7 \text{ mm}$
$U_x = -350,9 \text{ mm}$	$U_x = 5,5 \text{ mm}$
$U_x = -341,4 \text{ mm}$	$U_x = 5,3 \text{ mm}$
$U_x = -331,8 \text{ mm}$	$U_x = 5,1 \text{ mm}$
$U_x = -322,0 \text{ mm}$	$U_x = 5,0 \text{ mm}$
$U_x = -312,1 \text{ mm}$	$U_x = 4,8 \text{ mm}$
$U_x = -302,3 \text{ mm}$	$U_x = 4,6 \text{ mm}$
$U_x = -292,4 \text{ mm}$	$U_x = 4,4 \text{ mm}$
$U_x = -282,6 \text{ mm}$	$U_x = 4,2 \text{ mm}$
$U_x = -272,7 \text{ mm}$	$U_x = 4,0 \text{ mm}$
$U_x = -263,0 \text{ mm}$	$U_x = 3,9 \text{ mm}$
$U_x = -253,3 \text{ mm}$	$U_x = 3,7 \text{ mm}$
$U_x = -243,7 \text{ mm}$	$U_x = 3,5 \text{ mm}$
$U_x = -234,2 \text{ mm}$	$U_x = 3,4 \text{ mm}$
$U_x = -224,8 \text{ mm}$	$U_x = 3,2 \text{ mm}$
$U_x = -215,6 \text{ mm}$	$U_x = 3,0 \text{ mm}$
$U_x = -206,6 \text{ mm}$	$U_x = 2,9 \text{ mm}$
$U_x = -198,1 \text{ mm}$	$U_x = 2,8 \text{ mm}$
$U_x = -190,5 \text{ mm}$	$U_x = 2,6 \text{ mm}$
$U_x = -182,9 \text{ mm}$	$U_x = 2,5 \text{ mm}$
$U_x = -175,2 \text{ mm}$	$U_x = 2,4 \text{ mm}$
$U_x = -167,3 \text{ mm}$	$U_x = 2,3 \text{ mm}$
$U_x = -159,4 \text{ mm}$	$U_x = 2,1 \text{ mm}$
$U_x = -151,5 \text{ mm}$	$U_x = 2,0 \text{ mm}$
$U_x = -143,6 \text{ mm}$	$U_x = 1,9 \text{ mm}$
$U_x = -135,9 \text{ mm}$	$U_x = 1,8 \text{ mm}$
$U_x = -128,3 \text{ mm}$	$U_x = 1,7 \text{ mm}$
$U_x = -120,8 \text{ mm}$	$U_x = 1,6 \text{ mm}$
$U_x = -113,5 \text{ mm}$	$U_x = 1,4 \text{ mm}$
$U_x = -106,3 \text{ mm}$	$U_x = 1,3 \text{ mm}$
$U_x = -99,3 \text{ mm}$	$U_x = 1,2 \text{ mm}$
$U_x = -92,4 \text{ mm}$	$U_x = 1,1 \text{ mm}$
$U_x = -85,7 \text{ mm}$	$U_x = 1,0 \text{ mm}$
$U_x = -79,3 \text{ mm}$	$U_x = 0,9 \text{ mm}$
$U_x = -73,1 \text{ mm}$	$U_x = 0,9 \text{ mm}$
$U_x = -67,5 \text{ mm}$	$U_x = 0,8 \text{ mm}$
$U_x = -62,5 \text{ mm}$	$U_x = 0,7 \text{ mm}$
$U_x = -57,6 \text{ mm}$	$U_x = 0,7 \text{ mm}$
$U_x = -52,7 \text{ mm}$	$U_x = 0,6 \text{ mm}$
$U_x = -47,8 \text{ mm}$	$U_x = 0,5 \text{ mm}$
$U_x = -42,8 \text{ mm}$	$U_x = 0,4 \text{ mm}$
$U_x = -37,9 \text{ mm}$	$U_x = 0,4 \text{ mm}$
$U_x = -33,2 \text{ mm}$	$U_x = 0,3 \text{ mm}$
$U_x = -28,8 \text{ mm}$	$U_x = 0,2 \text{ mm}$
$U_x = -24,5 \text{ mm}$	$U_x = 0,2 \text{ mm}$
$U_x = -20,5 \text{ mm}$	$U_x = 0,1 \text{ mm}$
$U_x = -16,8 \text{ mm}$	$U_x = 0,1 \text{ mm}$
$U_x = -13,3 \text{ mm}$	$U_x = 0,1 \text{ mm}$
$U_x = -10,2 \text{ mm}$	$U_x = 0,0 \text{ mm}$
$U_x = -7,3 \text{ mm}$	
$U_x = -4,8 \text{ mm}$	
$U_x = -2,6 \text{ mm}$	
$U_x = -0,9 \text{ mm}$	

Slika 53. Pomaci za karakterističnu kombinaciju

Sa slike vidimo da je ukupni pomak na vrhu zgrade 583 mm.

Ukupna visina zgrade je 295,2 m pa je ograničenje ukupnog pomaka  $\frac{295200 \text{ m}}{500} = 590,4 \text{ mm}$ .

583 mm < 590,4 mm pa zaključujemo da je provjera ukupnog pomaka zadovoljena.

Visina etaže je 4,1 m pa je ograničenje međukatnog pomaka  $\frac{4100 \text{ mm}}{300} = 13,67 \text{ mm}$ .

U tablici u nastavku prikazani su ukupni i međukatni pomaci svake etaže te je napravljena provjera međukatnih pomaka.

*Tablica 15. Horizontalni pomaci zgrade za karakterističnu kombinaciju*

Kat	Ukupni pomak [mm]	Međukatni pomak [mm]	Ograničenje međukatnog pomaka	Zaključak
72	545	9,2	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
71	535,8	9,3	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
70	526,5	9,4	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
69	517,1	9,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
68	507,6	9,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
67	498	9,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
66	488,3	9,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
65	478,6	9,8	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
64	468,8	9,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
63	458,9	9,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
62	449	10	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
61	439	10	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
60	429	10,1	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
59	418,9	10	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
58	408,9	10,1	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
57	398,8	10	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
56	388,8	9,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

55	378,9	9,8	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
54	369,1	9,1	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
53	360	9,1	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
52	350,9	9,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
51	341,4	9,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
50	331,8	9,8	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
49	322	9,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
48	312,1	9,8	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
47	302,3	9,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
46	292,4	9,8	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
45	282,6	9,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
44	272,7	9,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
43	263	9,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
42	253,3	9,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
41	243,7	9,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
40	234,2	9,4	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
39	224,8	9,2	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
38	215,6	9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
37	206,6	8,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
36	198,1	7,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
35	190,5	7,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
34	182,9	7,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
33	175,2	7,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
32	167,3	7,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
31	159,4	7,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
30	151,5	7,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
29	143,6	7,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.



28	135,9	7,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
27	128,3	7,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
26	120,8	7,3	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
25	113,5	7,2	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
24	106,3	7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
23	99,3	6,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
22	92,4	6,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
21	85,7	6,4	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
20	79,3	6,2	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
19	73,1	5,6	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
18	67,5	5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
17	62,5	4,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
16	57,6	4,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
15	52,7	4,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
14	47,8	5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
13	42,8	4,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
12	37,9	4,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
11	33,2	4,4	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
10	28,8	4,3	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
9	24,5	4	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
8	20,5	3,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
7	16,8	3,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
6	13,3	3,1	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
5	10,2	2,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
4	7,3	2,5	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
3	4,8	2,2	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
2	2,6	1,7	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

1	0,9	0,9	< 13,67 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
---	-----	-----	------------	------------------------------

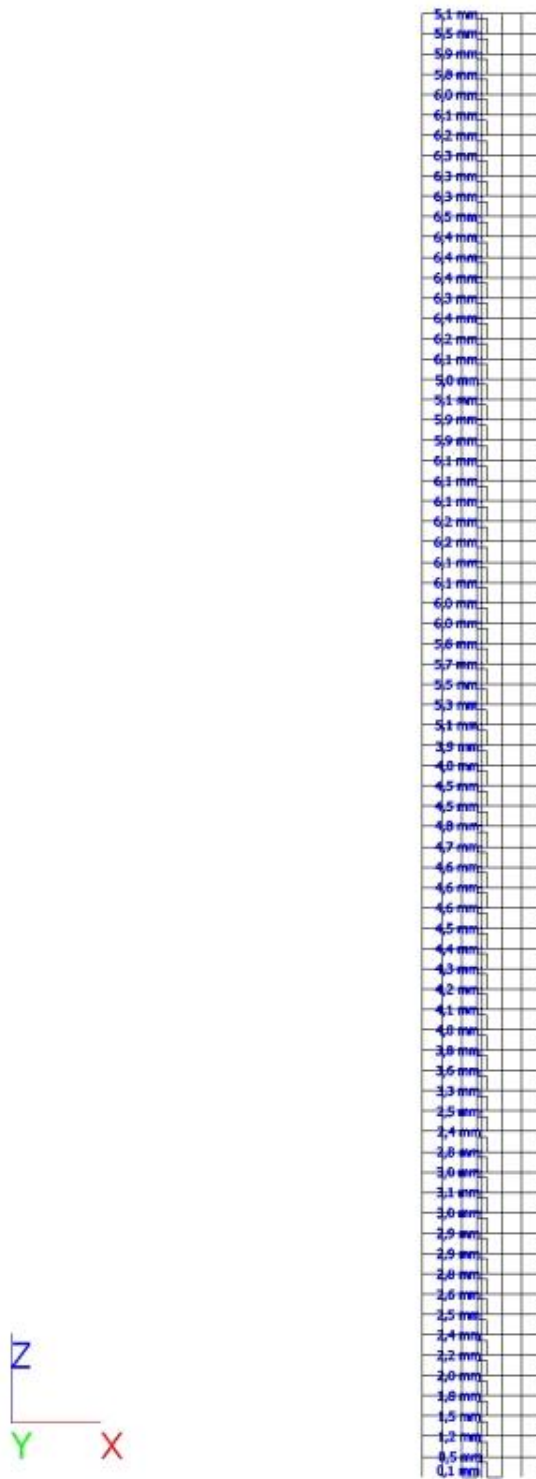
#### 4.3.3. Ograničenje međukatnog pomaka za potresno djelovanje

Prema normi [11] potrebno je provjeriti međukatne pomake za potresno djelovanje koje ima veću vjerojatnost pojave od proračunskog potresnog djelovanja. Ograničenje je sljedeće:

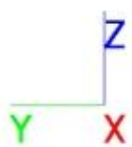
*za zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente od krhkih materijala pričvršćenih za konstrukciju :  $d_r \cdot v \leq 0,005 \cdot h$ .*

Stoga ograničenje za etažu visine 4,1m iznosi:  $0,005 \cdot 4100 = 20,5 \text{ mm}$ .

Na slikama su prikazani međukatni pomaci za djelovanje potresa u x i y smjeru. Za ovu provjeru koristi se spektar odziva za povratno razdoblje od 95 godina.



Slika 54. Pomaci od djelovanja potresa u x smjeru



Slika 55. Pomaci od djelovanja potresa u y smjeru

U tablicama je napravljena provjera međukatnih pomaka za djelovanje potresa u x i y smjeru.

*Tablica 16. Provjera međukatnog pomaka za djelovanje potresa u x smjeru*

Kat	Međukatni pomak [mm]	Ograničenje pomaka	Zaključak
72	5,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
71	5,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
70	5,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
69	5,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
68	6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
67	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
66	6,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
65	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
64	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
63	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
62	6,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
61	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
60	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
59	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
58	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
57	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
56	6,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
55	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
54	5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
53	5,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
52	5,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
51	5,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
50	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
49	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
48	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
47	6,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
46	6,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
45	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
44	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
43	6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
42	6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
41	5,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
40	5,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
39	5,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
38	5,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
37	5,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
36	3,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

35	4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
34	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
33	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
32	4,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
31	4,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
30	4,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
29	4,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
28	4,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
27	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
26	4,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
25	4,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
24	4,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
23	4,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
22	4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
21	3,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
20	3,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
19	3,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
18	2,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
17	2,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
16	2,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
15	3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
14	3,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
13	3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
12	2,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
11	2,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
10	2,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
9	2,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
8	2,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
7	2,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
6	2,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
5	2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
4	1,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
3	1,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
2	1,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
1	0,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

Tablica 17. Provjera međukatnog pomaka za djelovanje potresa u y smjeru

Kat	Međukatni pomak [mm]	Ograničenje pomaka	Zaključak
72	5,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
71	5,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
70	5,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

69	5,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
68	5,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
67	6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
66	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
65	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
64	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
63	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
62	6,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
61	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
60	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
59	6,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
58	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
57	6,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
56	6,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
55	6,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
54	5,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
53	5,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
52	5,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
51	5,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
50	5,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
49	5,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
48	5,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
47	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
46	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
45	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
44	6,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
43	6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
42	6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
41	5,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
40	5,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
39	5,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
38	5,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
37	5,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
36	4,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
35	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
34	4,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
33	3,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
32	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
31	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
30	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
29	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
28	4,	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
27	4,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
26	4,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
25	4,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
24	4,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

23	4,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
22	4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
21	3,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
20	3,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
19	3,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
18	3,2	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
17	2,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
16	2,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
15	2,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
14	2,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
13	2,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
12	2,8	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
11	2,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
10	2,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
9	2,6	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
8	2,5	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
7	2,3	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
6	2,1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
5	1,9	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
4	1,7	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
3	1,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
2	1	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.
1	0,4	< 20,05 mm	Provjera pomaka zadovoljena.

#### 4.3.4. Stabilnost na bočni pomak

Potrebno je provjeriti treba li uzeti u obzir učinke drugog reda ili se oni mogu zanemariti. Da bi se učinci 2. reda mogli zanemariti, koeficijent kritičnog opterećenja treba biti veći od 10 za elastičnu analizu. Koeficijent kritičnog opterećenja je omjer proračunskog i kritičnog opterećenja, a određen je pomoću softvera. Najmanja dobivena vrijednost koeficijenta je 10,44 što je veće od 10 pa se učinci drugog reda neće uzeti u obzir.

Tablica 18. Kombinacije opterećenja za određivanje koeficijenta kritičnog opterećenja

Naziv	Slučajevi opterećenja	Koef.
S1	LC1 – Vlastita težina	1,350
	G - Dodatno stalno	1,350
	Q - Uporabno	1,500



	S - Snijeg	0,750
	W - Vjetar	0,900
S2	LC1 - Vlastita težina	1,350
	G - Dodatno stalno	1,350
	Q - Uporabno	0,750
	S - Snijeg	1,500
	W - Vjetar	0,900
S3	LC1 - Vlastita težina	1,350
	G - Dodatno stalno	1,350
	Q - Uporabno	0,750
	S - Snijeg	0,750
	W - Vjetar	1,500

Tablica 19. Vrijednosti koeficijenta kritičnog opterećenja

N	f
<b>Kombinacija stabilnosti : S1</b>	
1	10,44
2	10,51
<b>Kombinacija stabilnosti : S2</b>	
1	11,04
2	11,12
<b>Kombinacija stabilnosti : S3</b>	
1	11,03
2	11,11

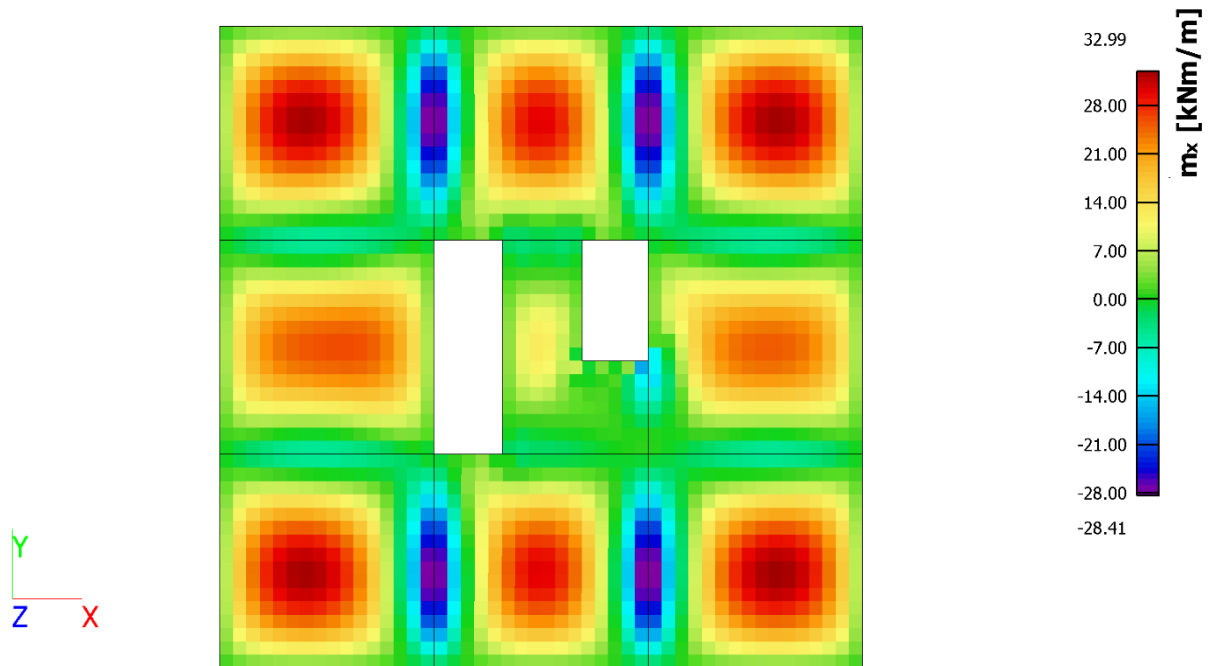
#### 4.3.5. Ispis unutarnjih sila mjerodavnih za dimenzioniranje

##### 4.3.5.1. Ploče

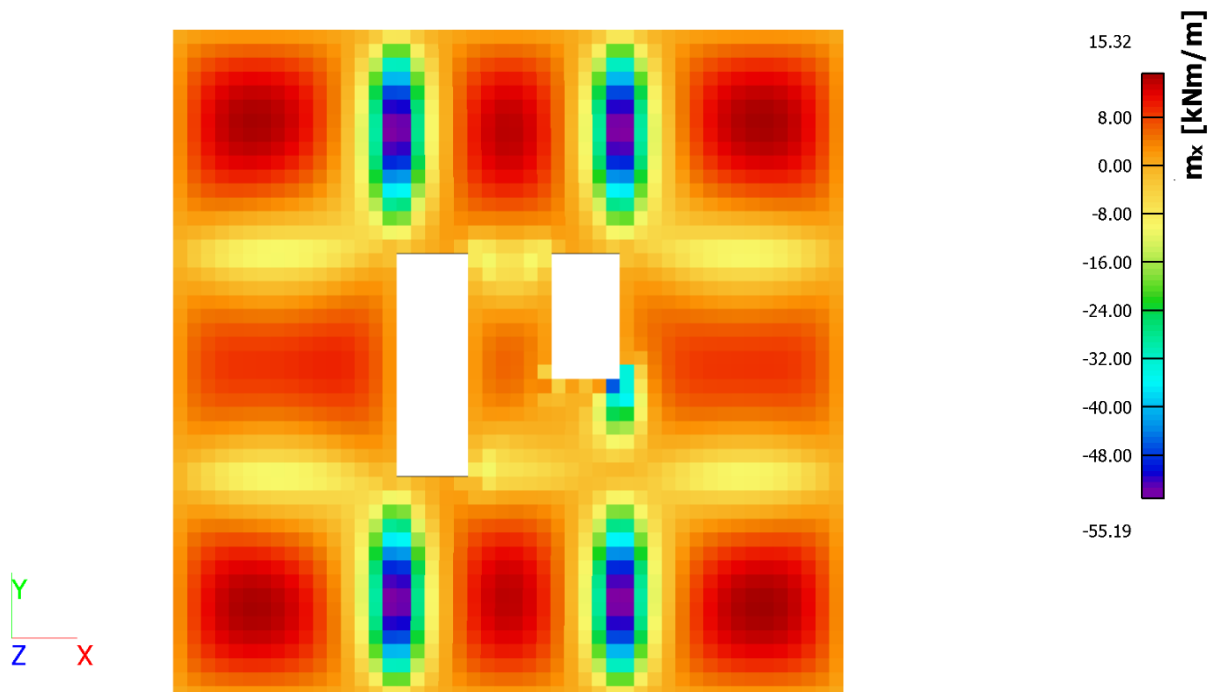
##### *Međukatna ploča*

*Tablica 20. Mjerodavne sile za međukatnu ploču (GSN kombinacija)*

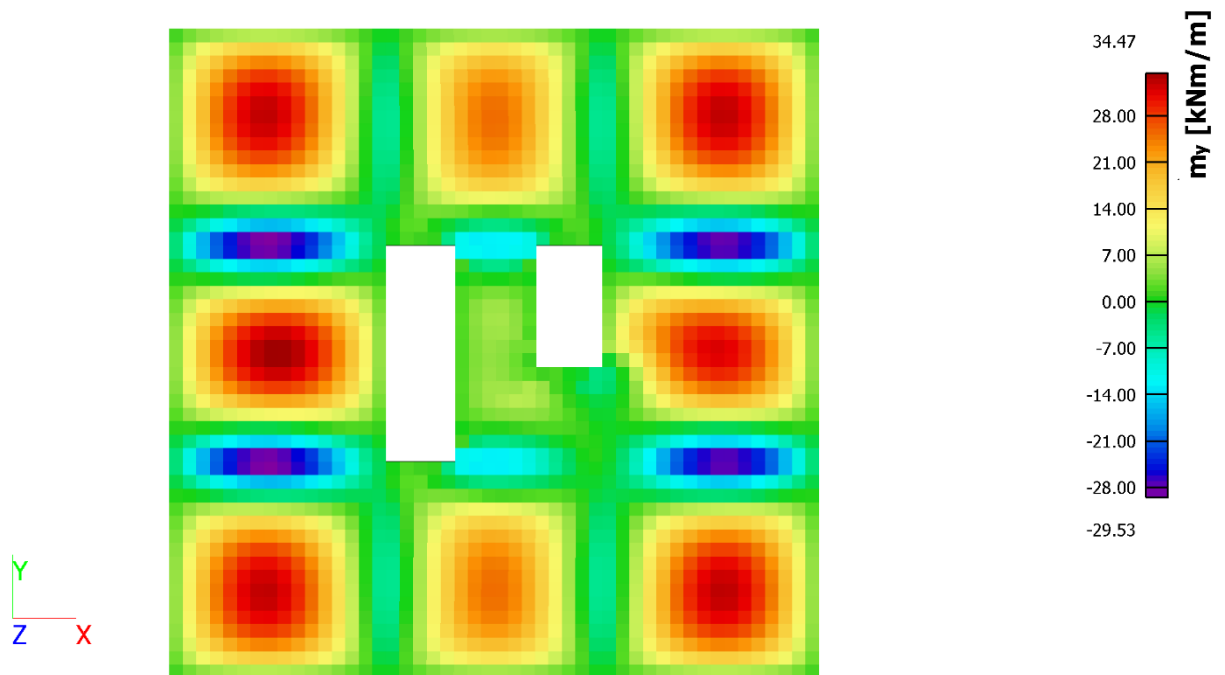
$m_x$ [kNm/m]	$m_y$ [kNm/m]
<b>32,99</b>	<b>34,47</b>
<b>-55,19</b>	<b>-56,90</b>



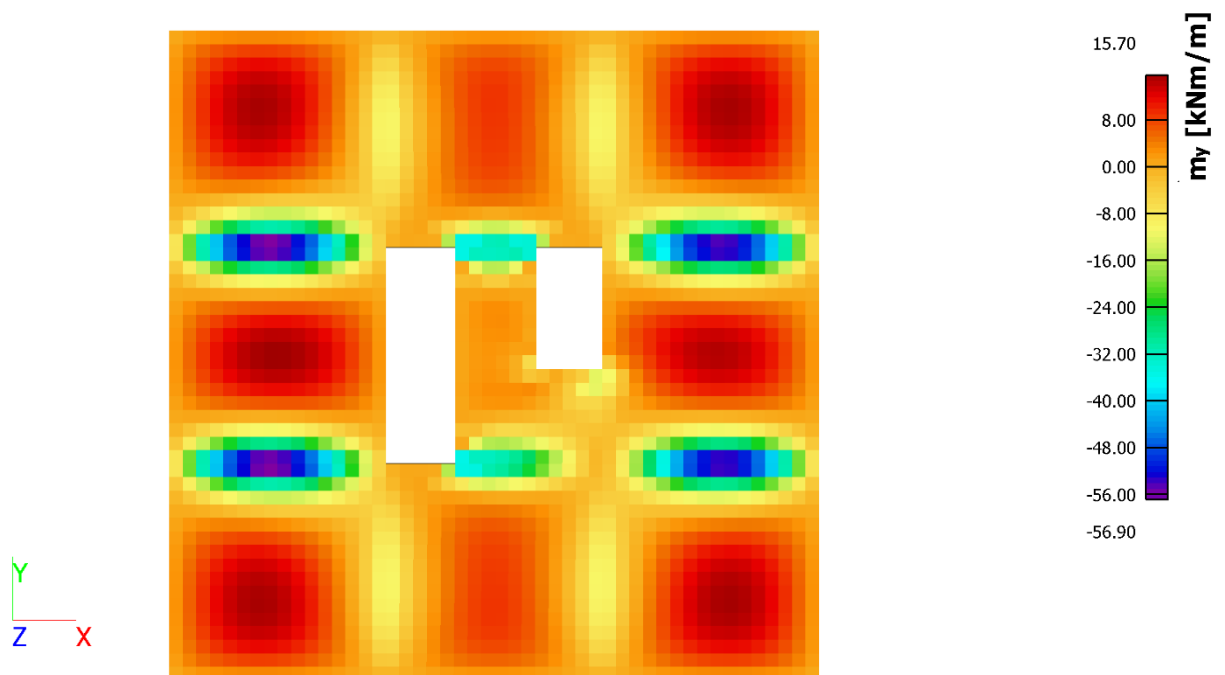
Slika 56. Anvelopa maksimalnih momenata  $m_x$



Slika 57. Anvelopa minimalnih momenata  $m_x$



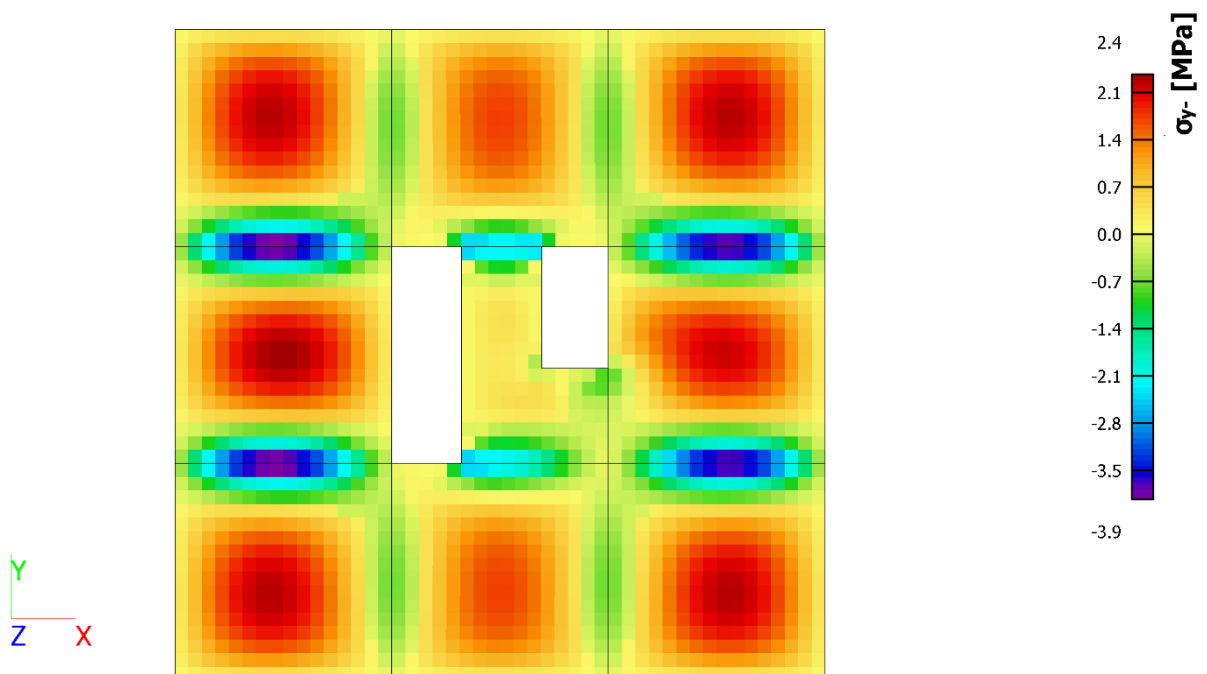
Slika 58. Anvelopa maksimalnih momenata  $m_y$



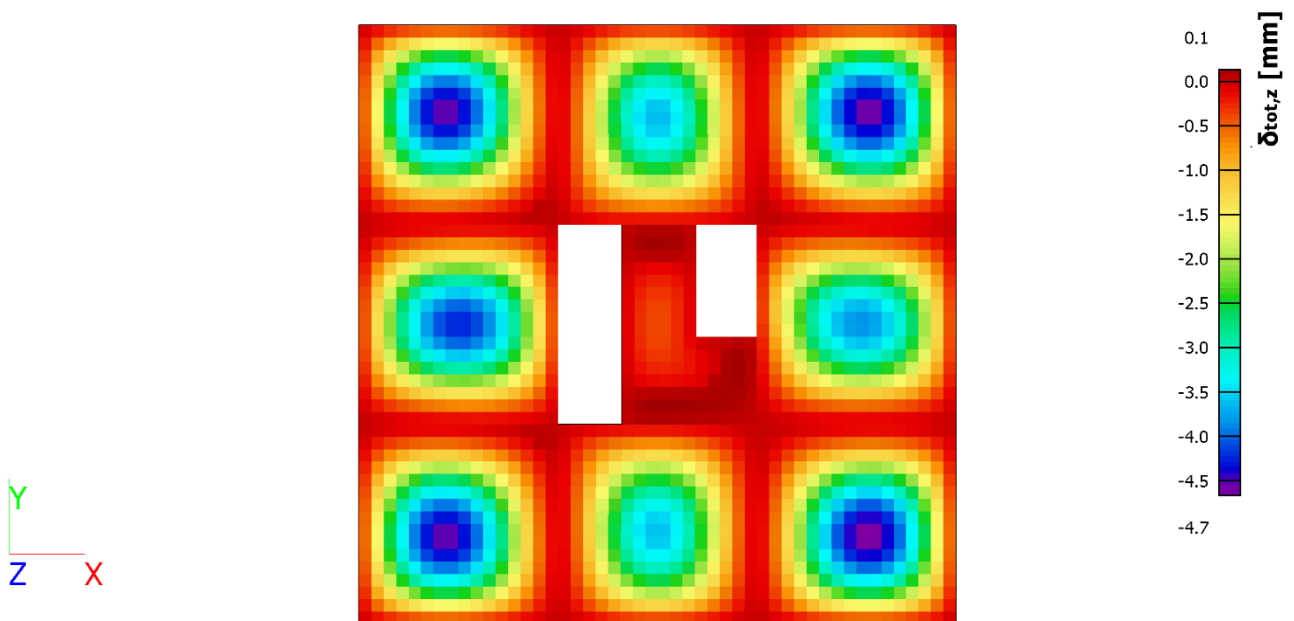
Slika 59. Anvelopa minimalnih momenata  $m_y$

Tablica 21. Mjerodavna naprezanja za međukatnu ploču (karakteristična kombinacija)

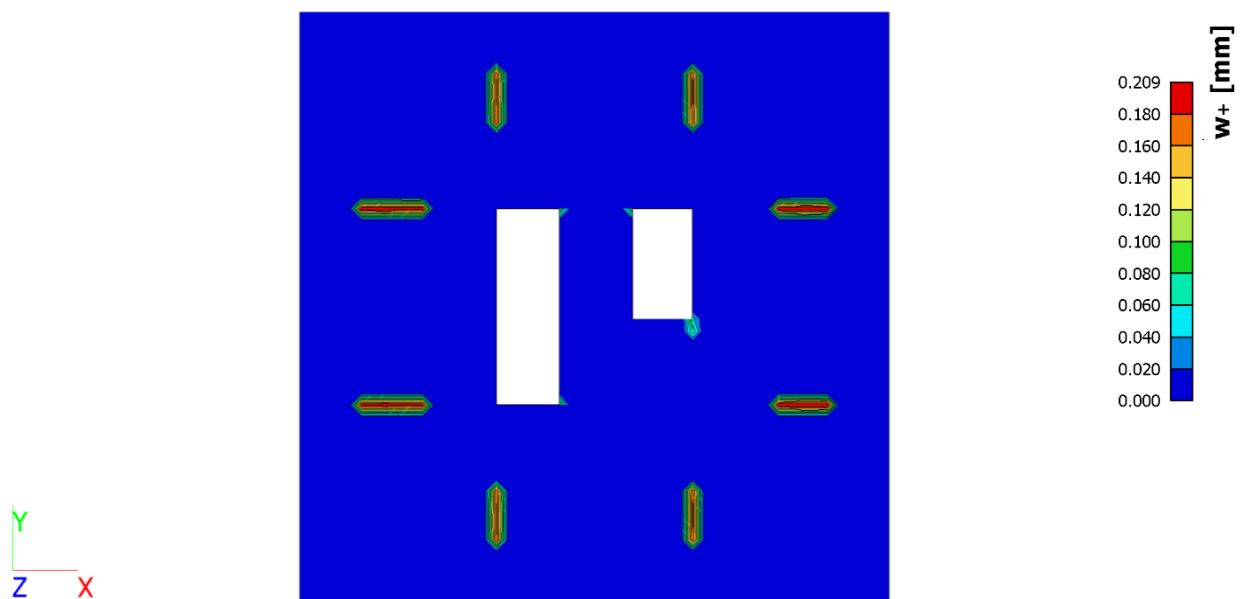
$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
-2,3	-2,2
2,3	2,2
3,8	0,7
-3,8	-0,7
-1,8	-2,4
1,8	2,4
0,7	3,9
-0,7	-3,9



Slika 60. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za međukatnu ploču (karakteristična kombinacija)



Slika 61. Progib međukatne ploče (nazovistalna kombinacija)

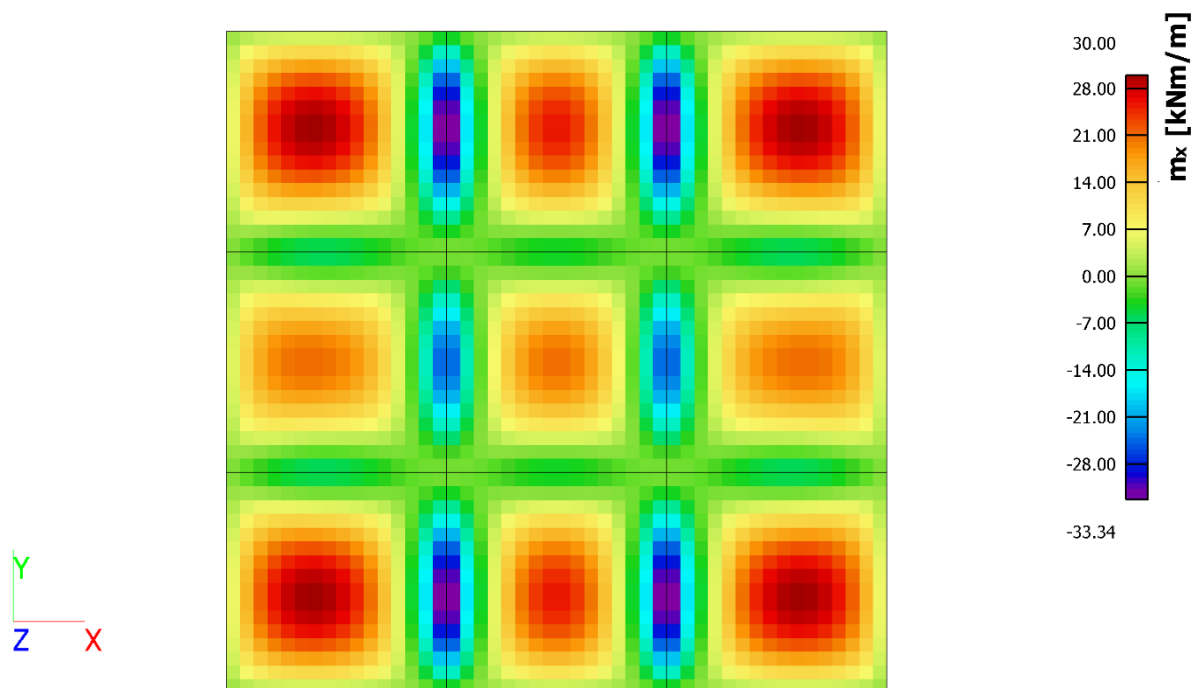


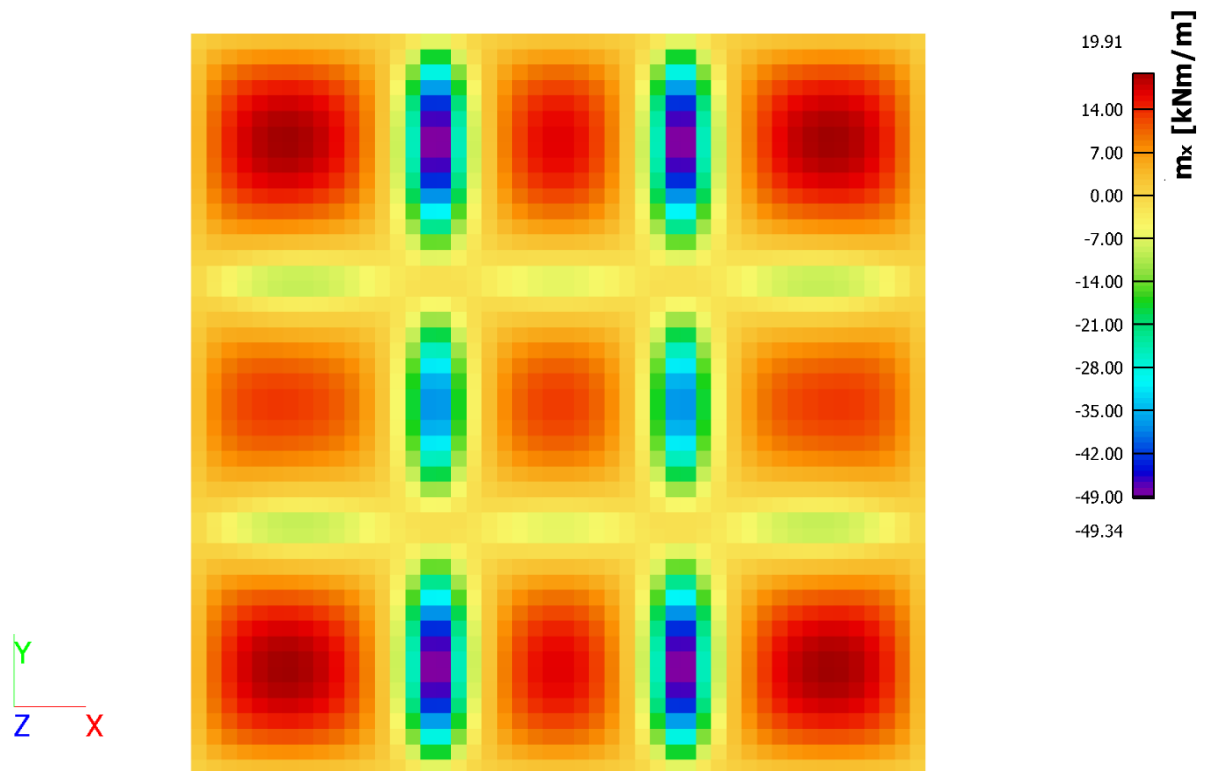
Slika 62. Pukotine međukatne ploče (nazovistalna kombinacija)

## Krovna ploča

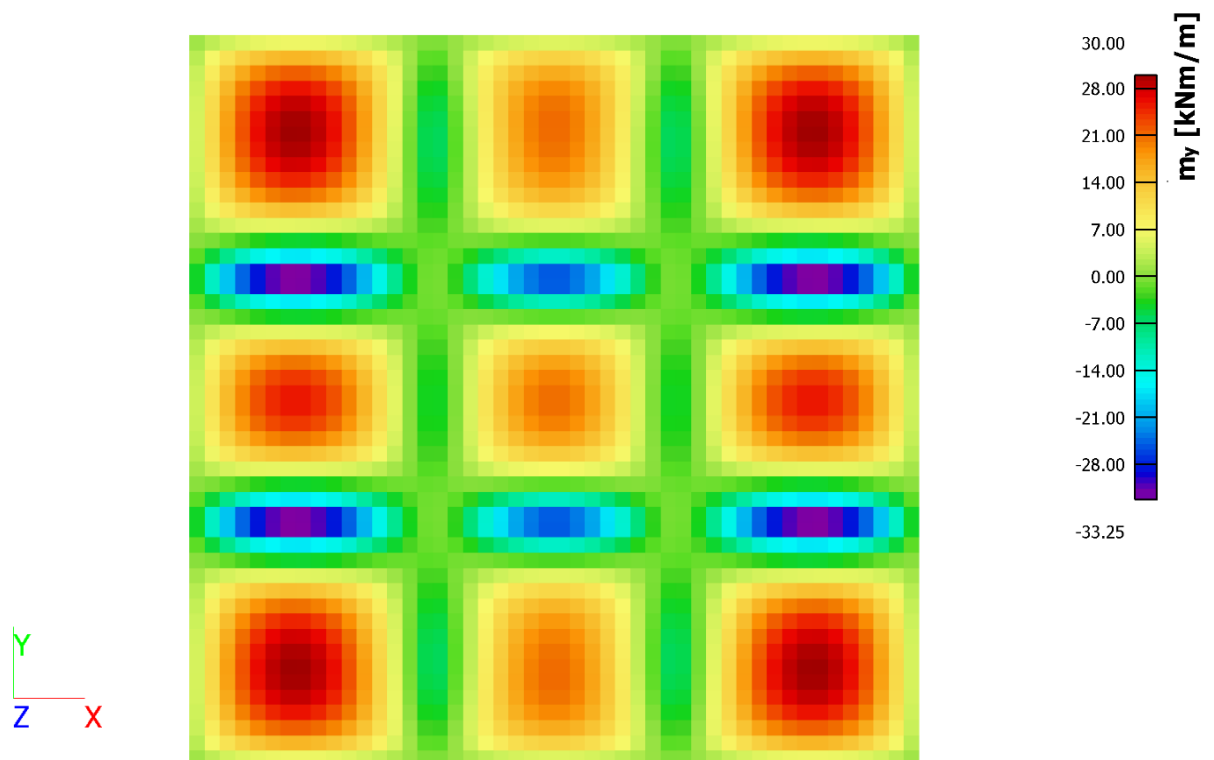
Tablica 22. Mjerodavne sile za krovnu ploču (GSN kombinacija)

$m_x$ [kNm/m]	$m_y$ [kNm/m]
30,00	30,00
-49,34	-49,05

Slika 63. Anvelopa maksimalnih momenata  $m_x$

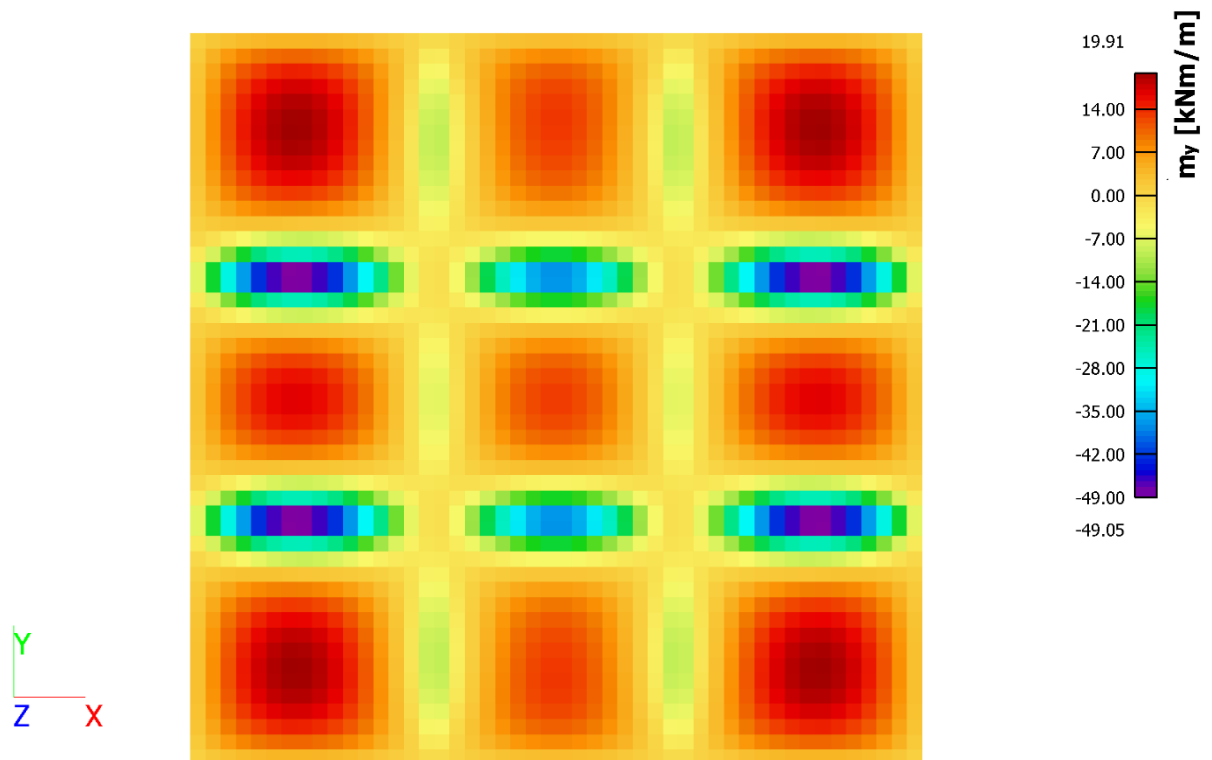


Slika 64. Anvelopa minimalnih momenata  $m_x$



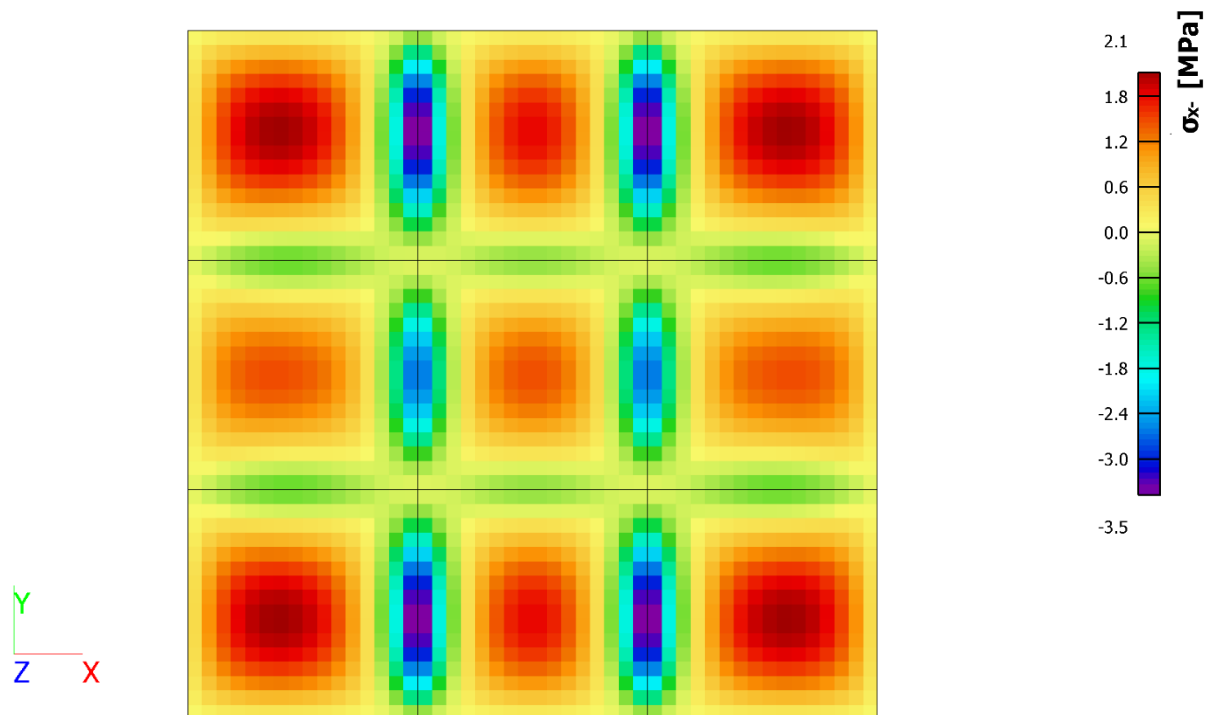
Slika 65. Anvelopa maksimalnih momenata  $m_y$



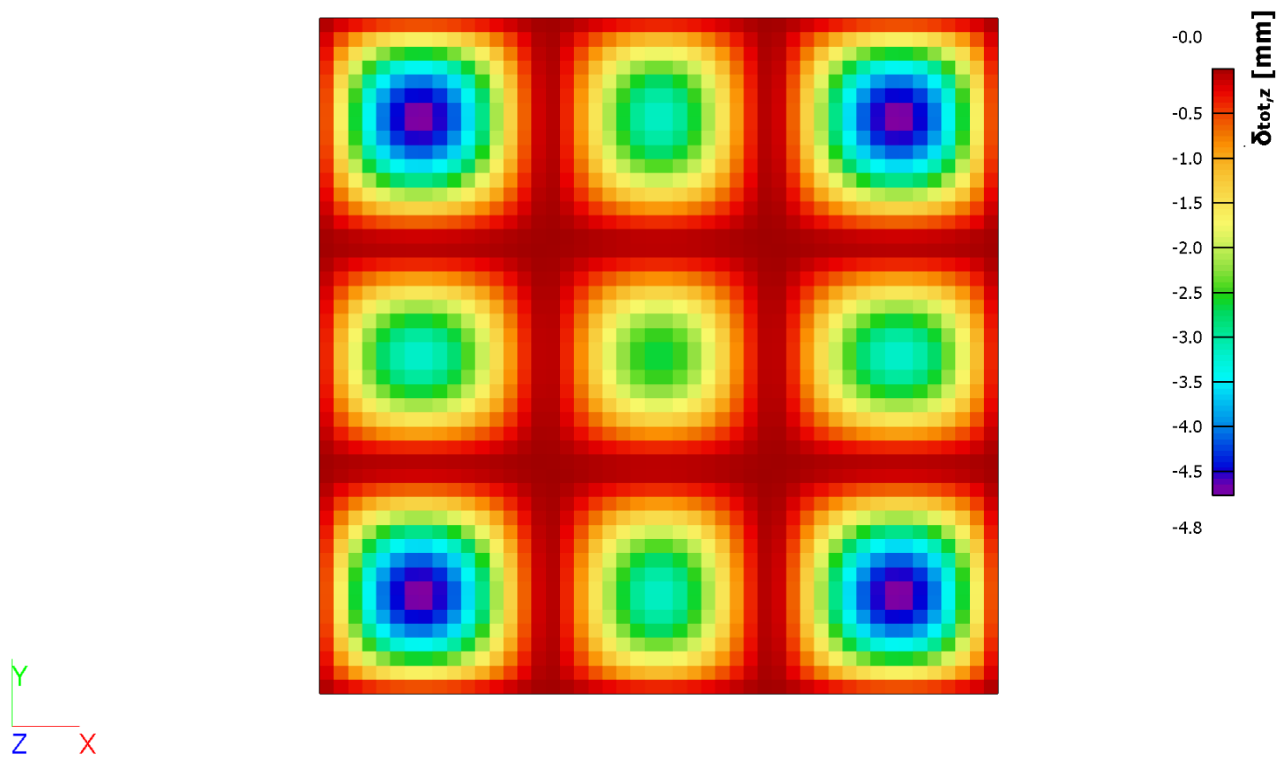
Slika 66. Anvelopa minimalnih momenata  $m_y$ 

Tablica 23. Mjerodavna naprezanja za krovnu ploču (karakteristična kombinacija)

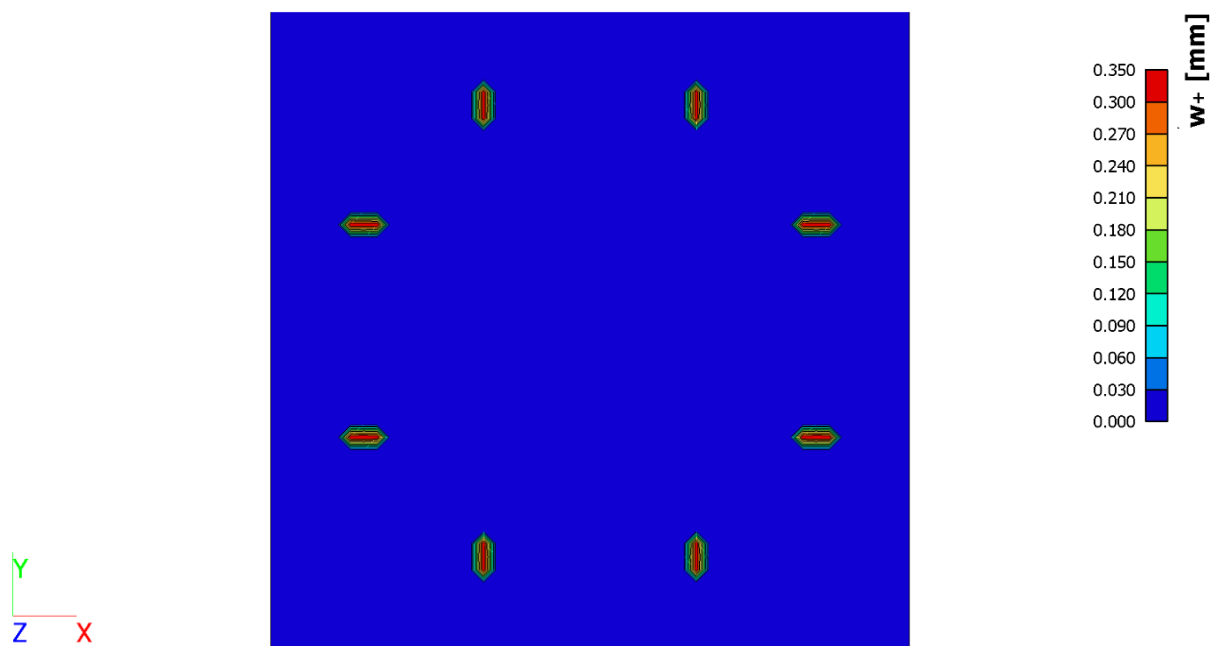
$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
3,5	0,6
-3,5	-0,6
-2,1	-2,1
2,1	2,1
0,6	3,5
-0,6	-3,5



Slika 67. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za krovnu ploču (karakteristična kombinacija)



Slika 68. Progib krovne ploče (nazovistalna kombinacija)

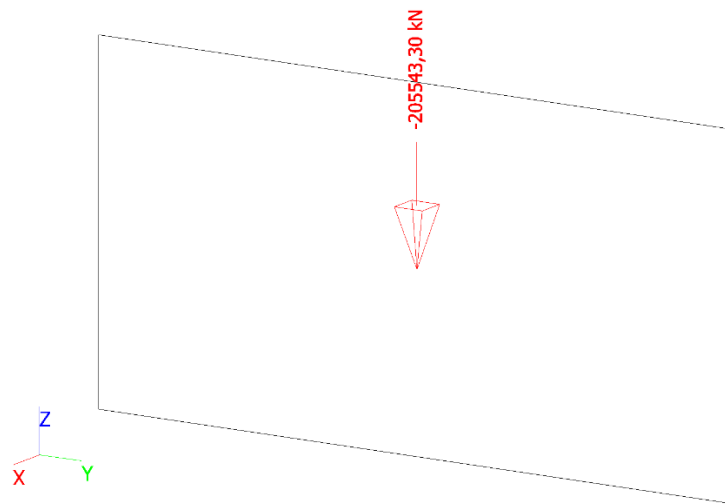
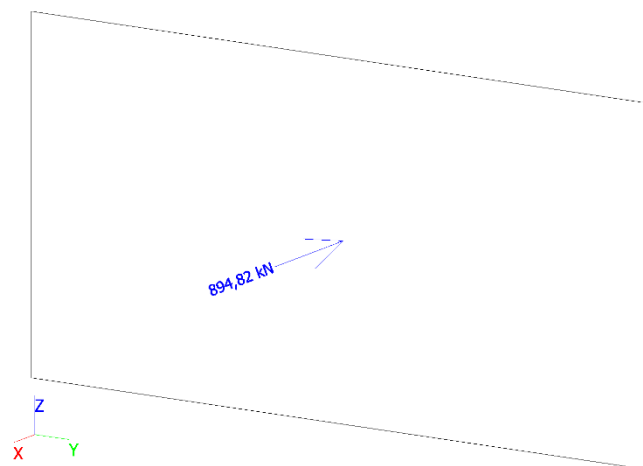


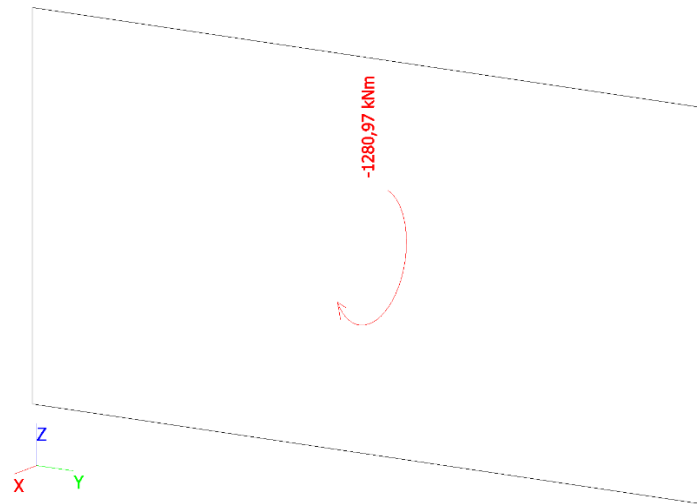
Slika 69. Pukotine krovne ploče (nazovistalna kombinacija)

## 4.3.5.2. Zidovi jezgre

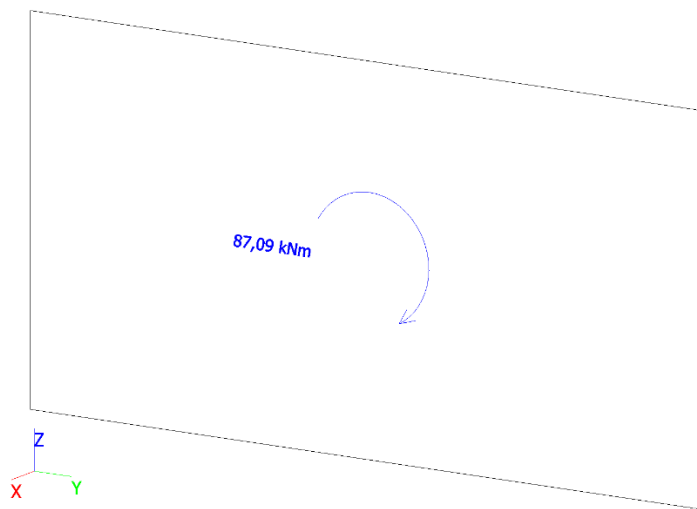
**Zidovi jezgre  $d = 80$  cm**Tablica 24. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-205543,30	894,82	-937,78	87,09

Slika 70. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)Slika 71. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)



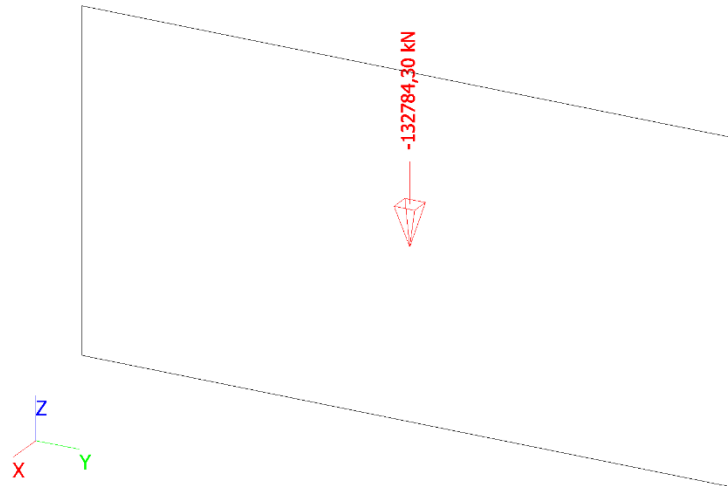
Slika 72. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za zidove jezgre  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)



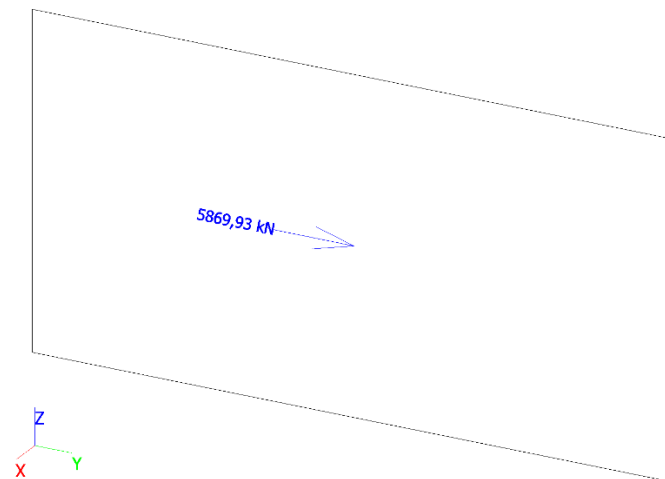
Slika 73. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za zidove jezgre  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)

Tablica 25. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre  $d = 80$  cm (potresna kombinacija)

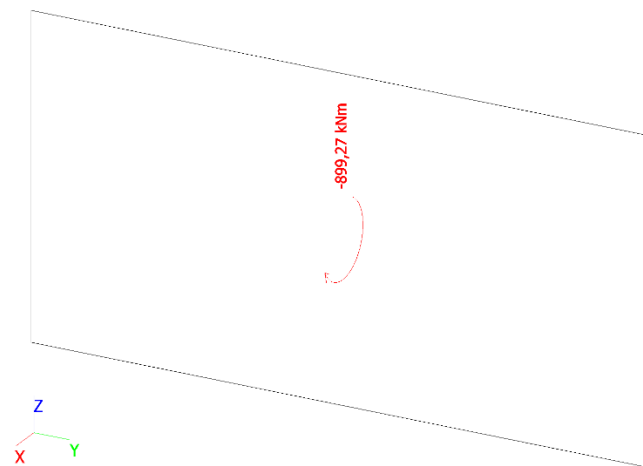
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-132784,30	5869,93	-899,28	37557,50



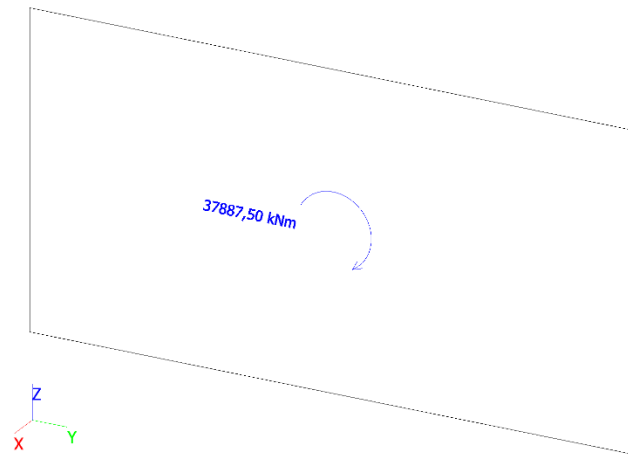
Slika 74. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 80 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 75. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 80 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



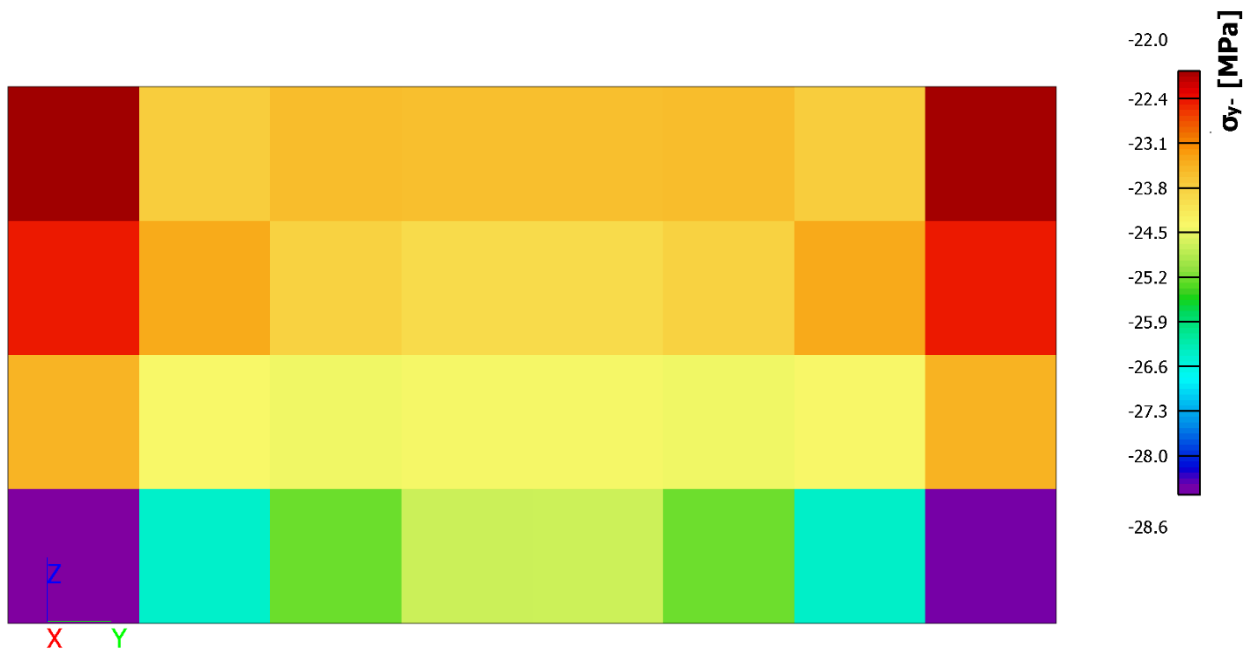
Slika 76. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za zidove jezgre  $d = 80 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 77. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za zidove jezgre  $d = 80$  cm (potresna kombinacija)

Tablica 26. Mjerodavna naprezanja za zidove jezgre  $d = 80$  cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
<b>-5,6</b>	-18,5
-3,9	-21,2
<b>2,3</b>	-12,4
0,1	-12,1
-3,8	-21,2
<b>-5,6</b>	-18,4
0,1	-12,2
<b>2,4</b>	-12,3
-3,2	<b>-25,8</b>
-3,6	-22,2
-0,2	<b>-0,6</b>
-0,4	-0,7
-3,6	-21,5
-3,6	<b>-28,6</b>
-0,3	-0,6
-0,2	<b>-0,7</b>

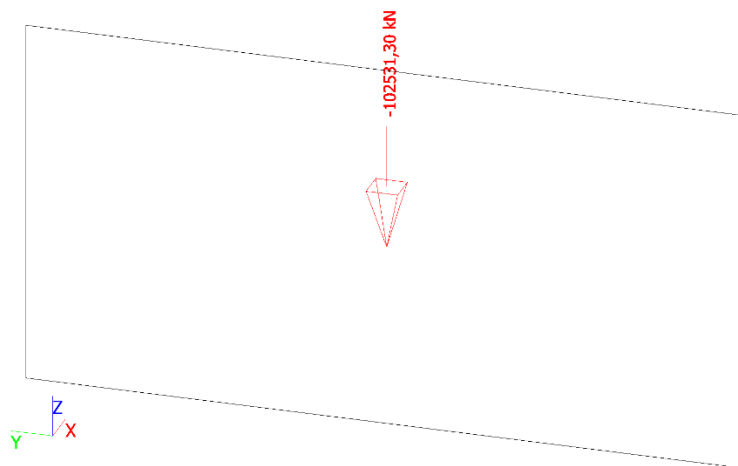
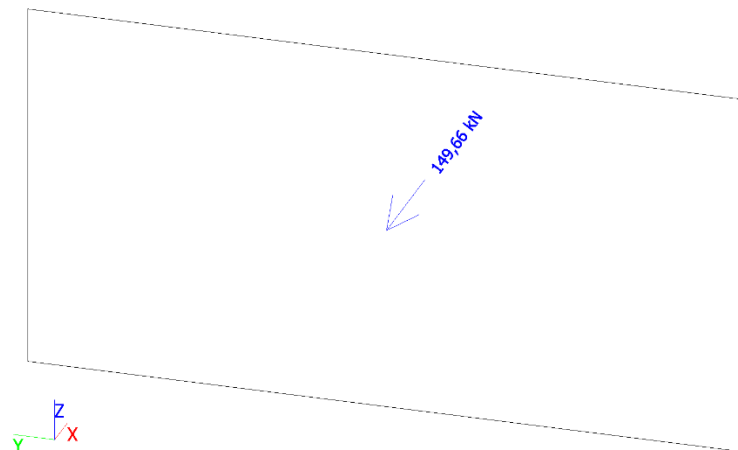


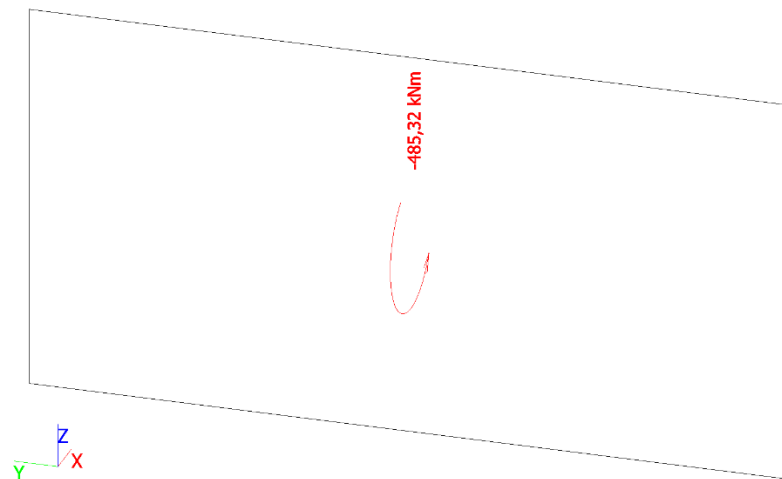
Slika 78. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za zidove jezgre  $d = 80$  cm (karakteristična kombinacija)



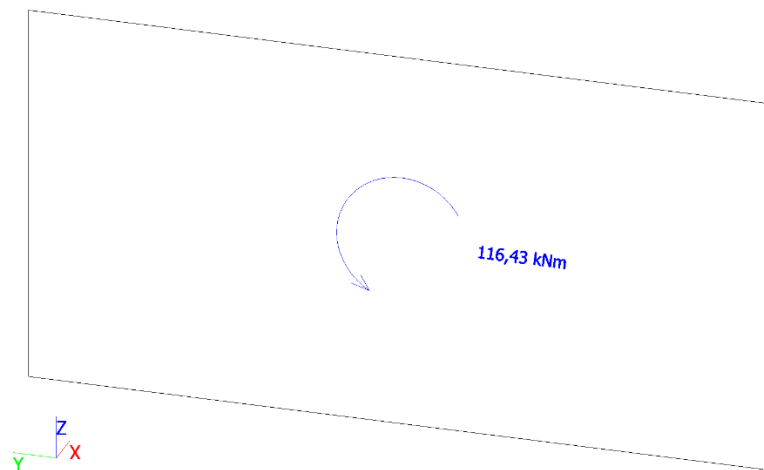
Zidovi jezgre  $d = 70 \text{ cm}$ Tablica 27. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre  $d = 70 \text{ cm}$  (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-102531,30	149,66	-485,32	116,43

Slika 79. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 70 \text{ cm}$  (GSN kombinacija)Slika 80. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 70 \text{ cm}$  (GSN kombinacija)



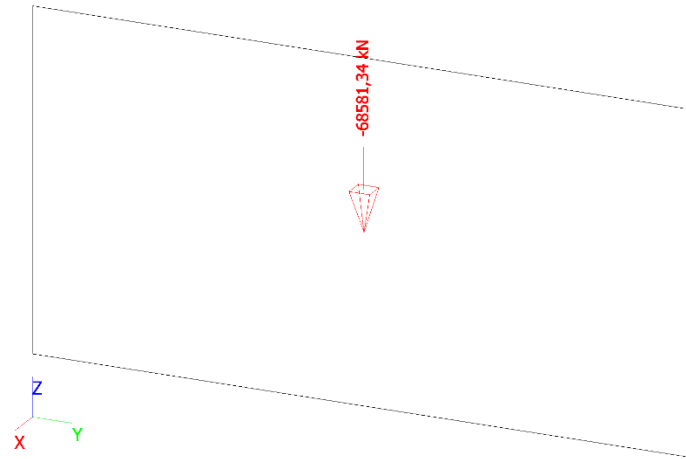
Slika 81. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za zidove jezgre  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)



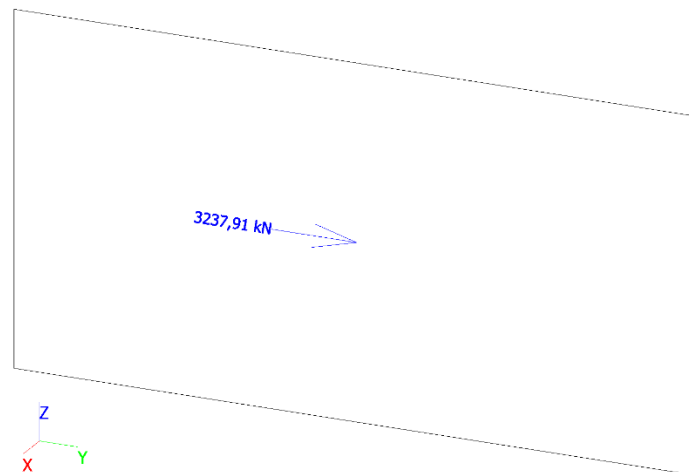
Slika 82. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za zidove jezgre  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)

Tablica 28. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)

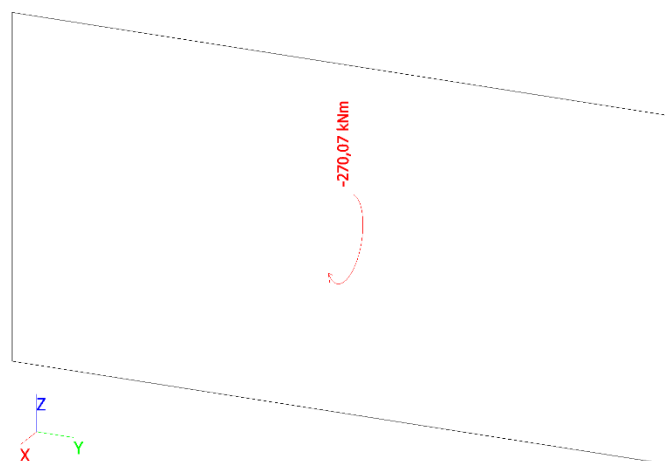
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
<b>-68581,34</b>	<b>3237,91</b>	<b>-270,07</b>	<b>20263,50</b>



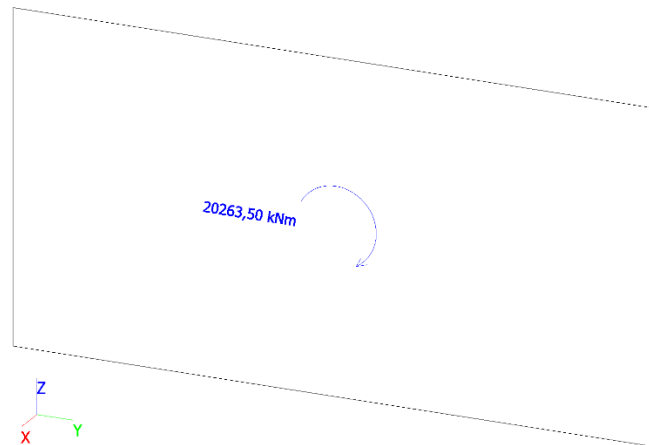
Slika 83. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 70 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 56. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 70 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



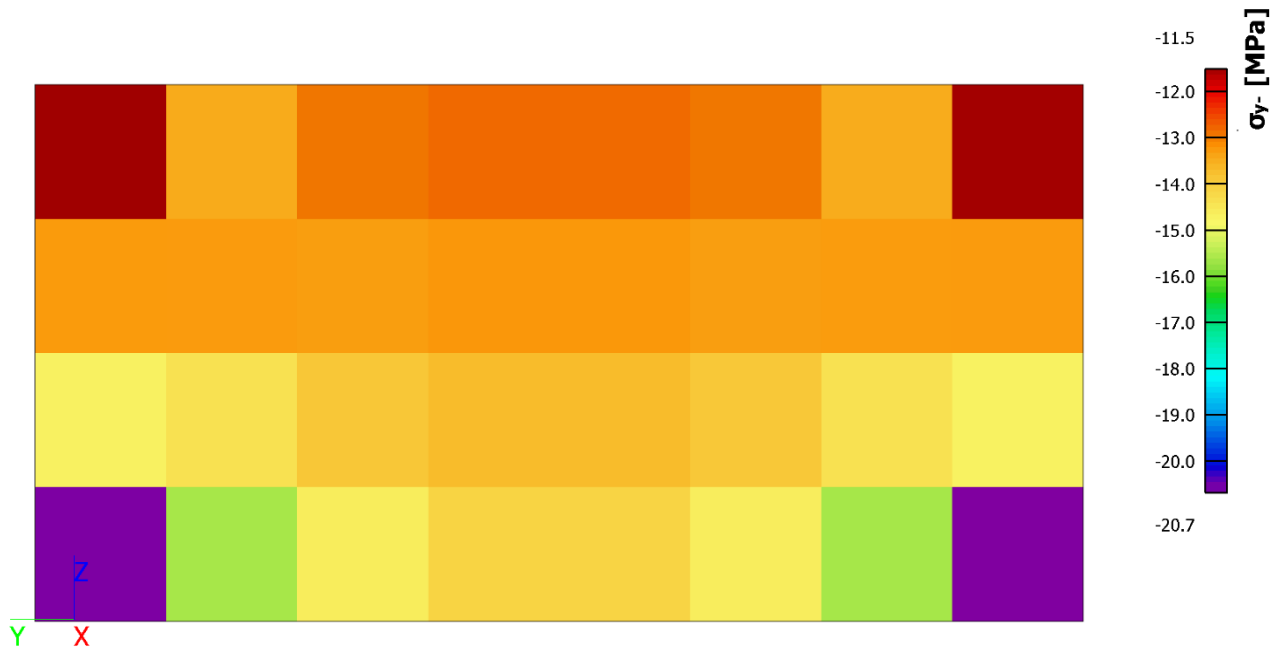
Slika 84. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za zidove jezgre  $d = 70 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 85. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za zidove jezgre  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)

Tablica 29. Mjerodavna naprezanja za zidove jezgre  $d = 70$  cm (karakteristična kombinacija)

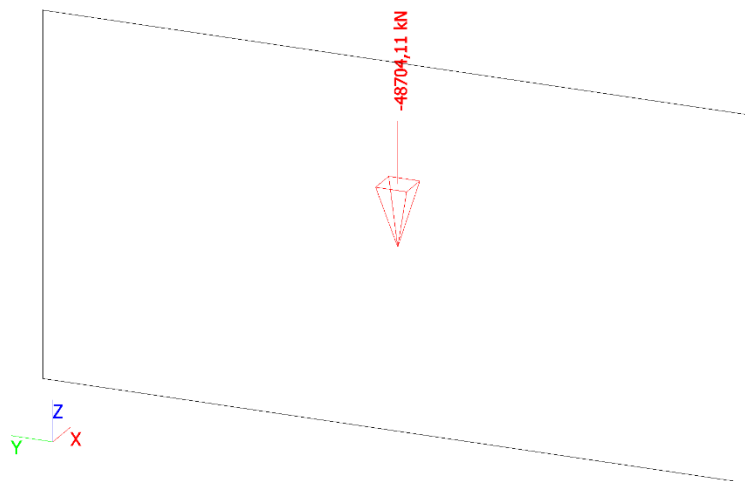
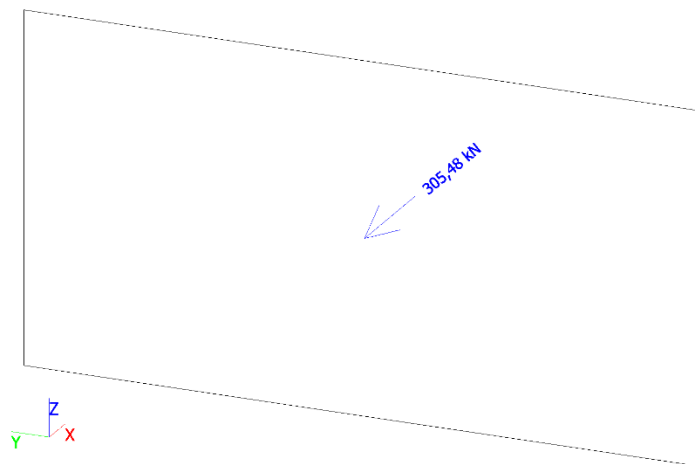
$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
<b>-5,3</b>	-15,0
-3,8	-17,7
<b>1,4</b>	-9,5
-0,1	-10,7
0,9	-6,2
<b>1,4</b>	-4,4
-3,8	<b>-17,6</b>
<b>-5,3</b>	-15,0
-0,7	<b>-0,2</b>
-1,1	-0,6
-1,1	-0,6
-0,7	<b>-0,1</b>
-1,4	-12,4
-2,5	<b>-20,7</b>

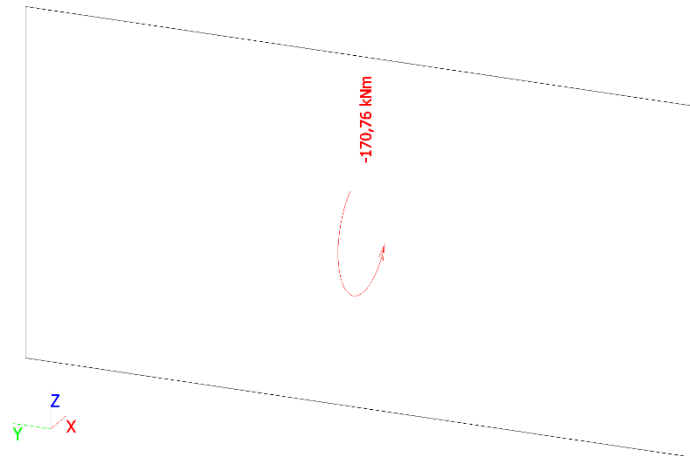


Slika 86. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za zidove jezgre  $d = 70$  cm (karakteristična kombinacija)

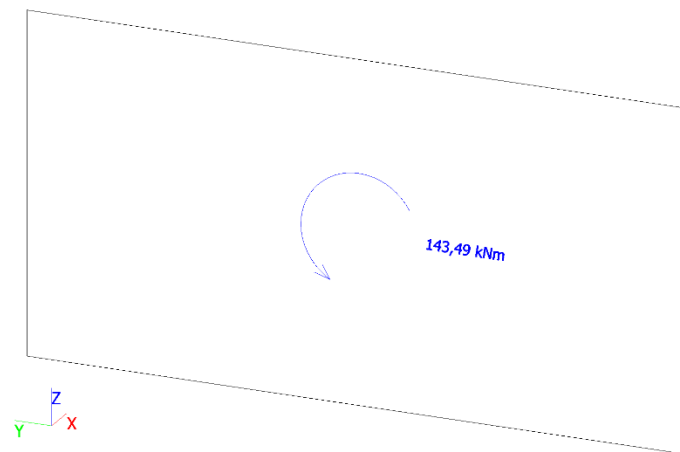
**Zidovi jezgre  $d = 60$  cm**Tablica 30. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-48704,11	305,48	-170,76	143,49

Slika 87. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)Slika 88. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)



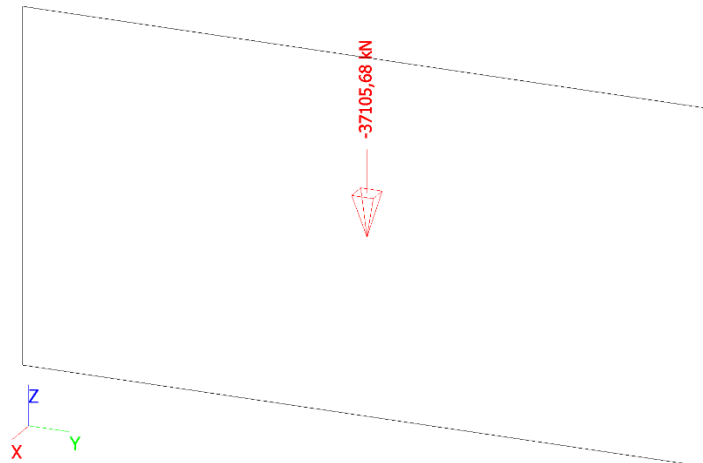
Slika 89. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za zidove jezgre  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)



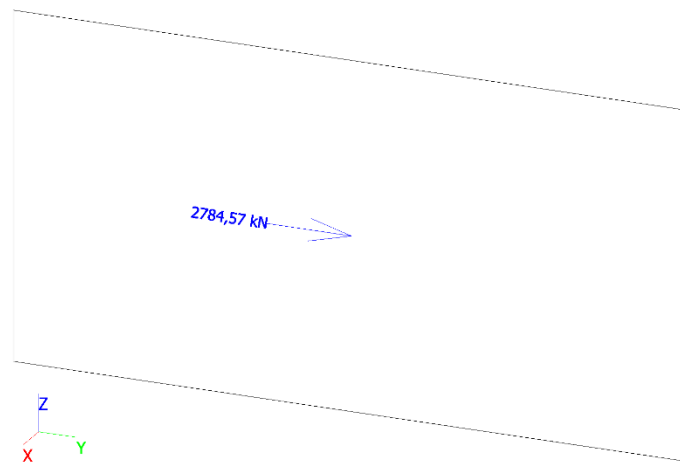
Slika 90. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za zidove jezgre  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)

Tablica 31. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)

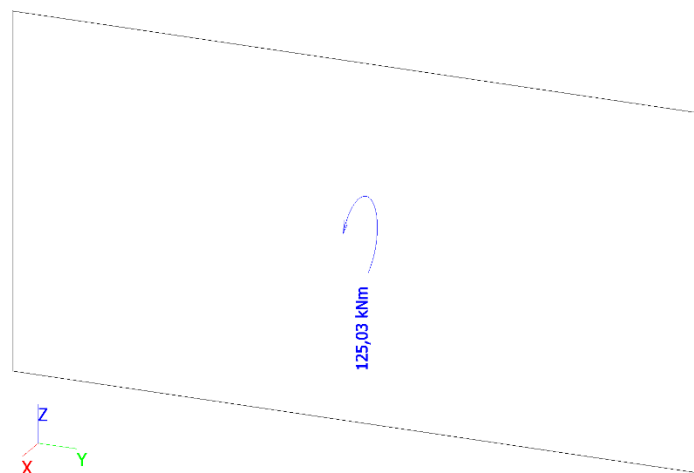
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
<b>-37105,68</b>	<b>2784,57</b>	<b>125,03</b>	<b>14063,43</b>



Slika 91. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 60 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)

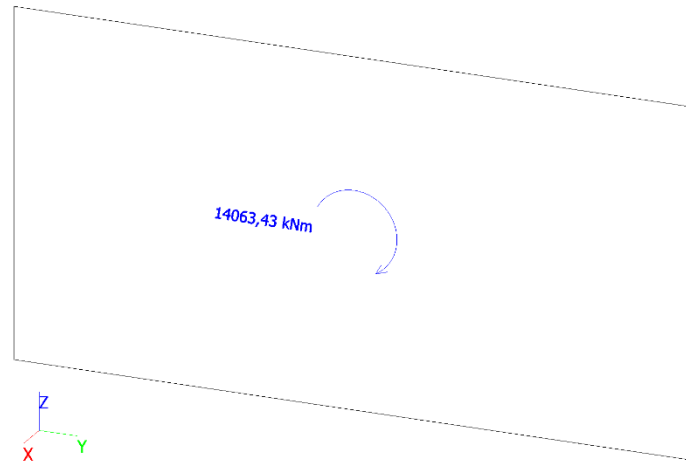


Slika 92. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za zidove jezgre  $d = 60 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 93. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za zidove jezgre  $d = 60 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)

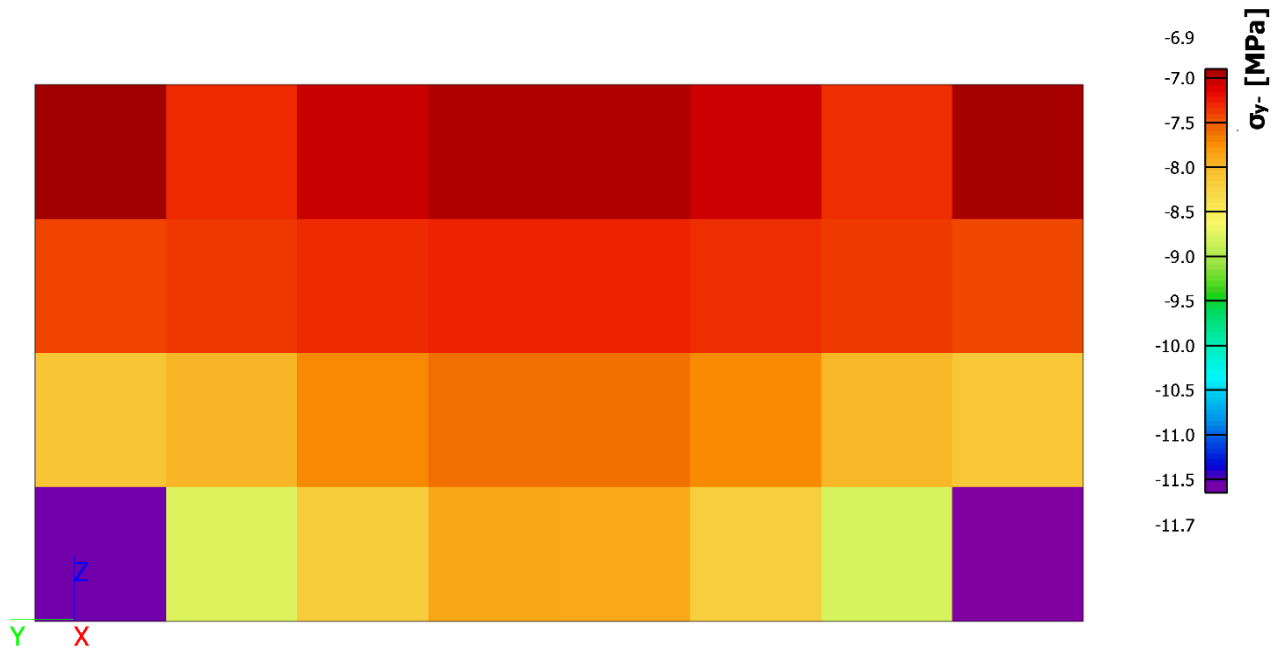




Slika 94. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za zidove jezgre  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)

Tablica 32. Mjerodavna naprezanja za zidove jezgre  $d = 60$  cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
<b>-3,2</b>	<b>-8,7</b>
-2,1	-9,6
<b>0,7</b>	-2,8
-0,2	-5,0
0,5	-4,3
<b>0,7</b>	-4,4
-2,1	<b>-9,5</b>
<b>-3,2</b>	-8,6
0,4	<b>0,8</b>
-0,2	-1,4
-0,2	-1,1
0,2	<b>0,6</b>
-0,7	-7,1
-1,3	<b>-11,7</b>

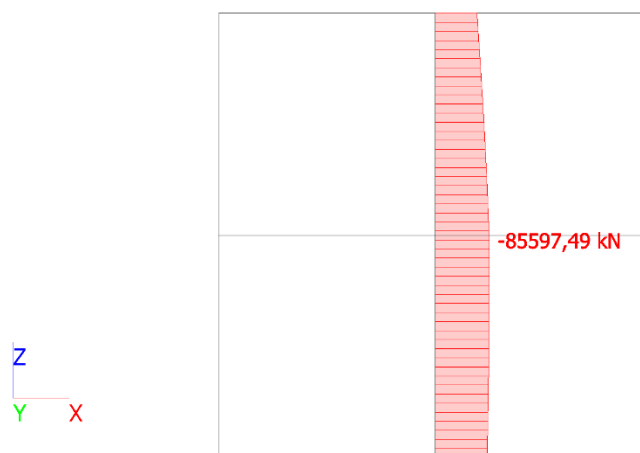
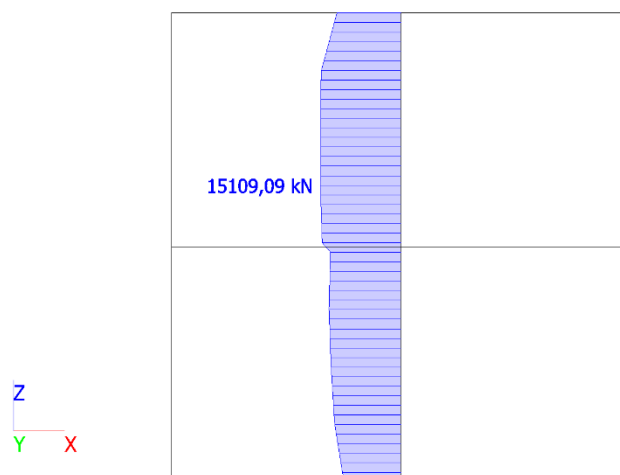


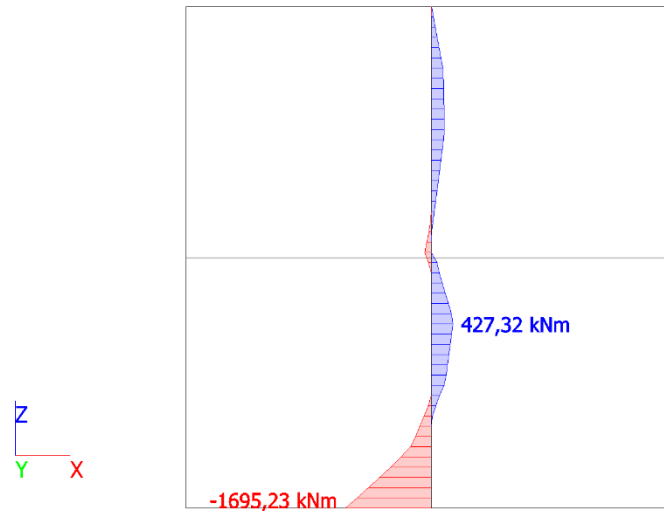
Slika 95. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za zidove jezgre  $d = 60$  cm (karakteristična kombinacija)

## 4.3.5.3. Outrigger zidovi

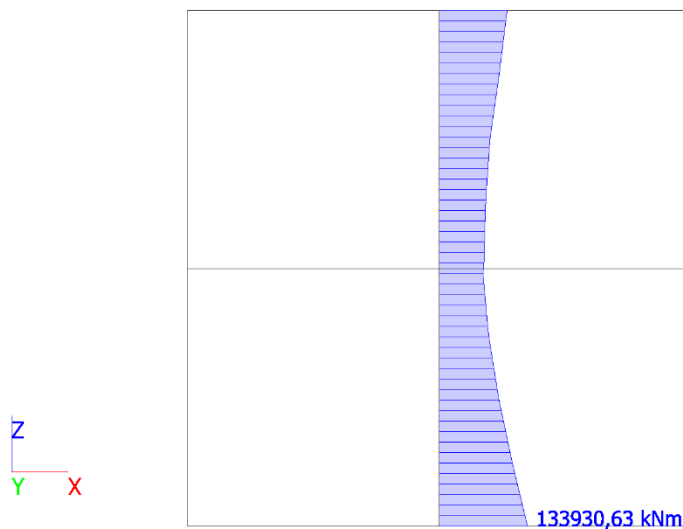
**Outrigger zidovi  $d = 80$  cm**Tablica 33. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-85597,49	15109,09	-1695,23	133930,63

Slika 96. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)Slika 97. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)



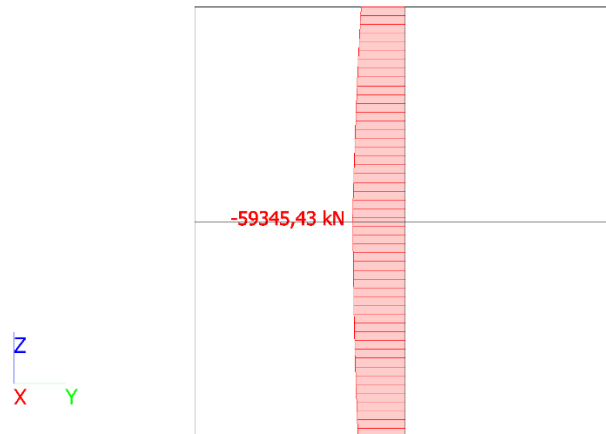
Slika 98. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za outrigger zidove  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)



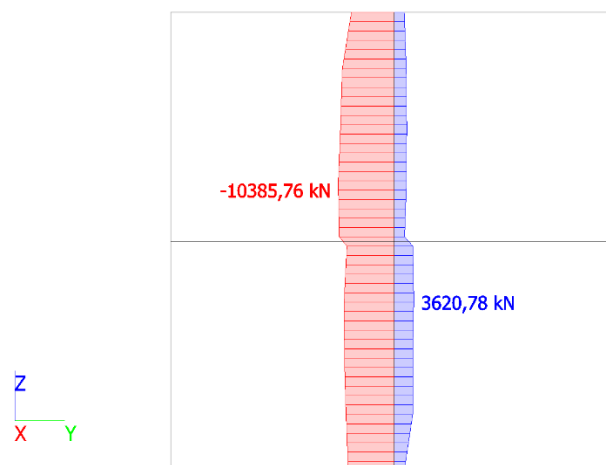
Slika 99. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za outrigger zidove  $d = 80$  cm (GSN kombinacija)

Tablica 34. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove  $d = 80$  cm (potresna kombinacija)

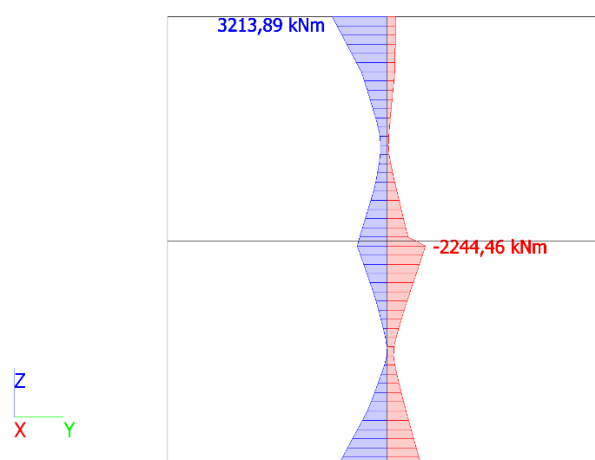
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-59345,43	-10385,76	3213,89	-99831,81



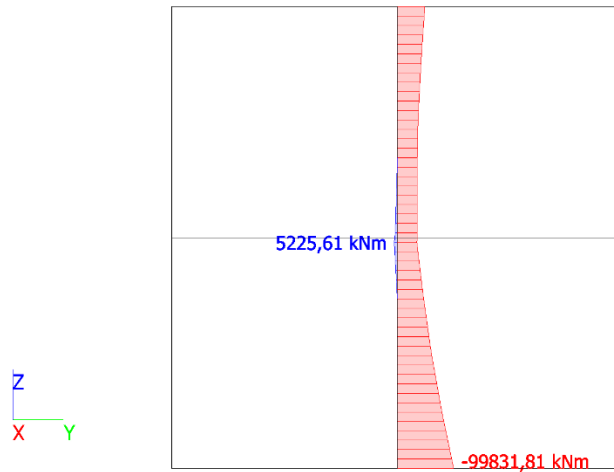
Slika 100. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 80 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 101. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 80 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



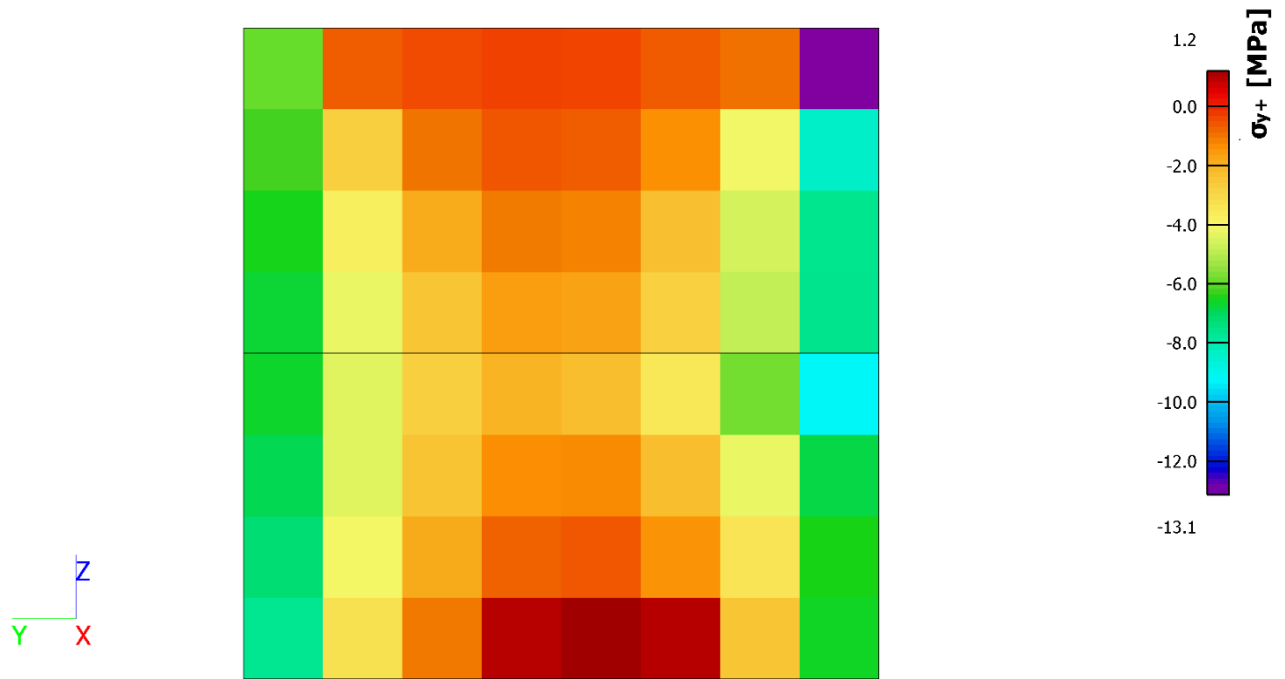
Slika 102. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za outrigger zidove  $d = 80 \text{ cm}$  (potresna kombinacija)



Slika 103. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za outrigger zidove  $d = 80$  cm (potresna kombinacija)

Tablica 35. Mjerodavna naprezanja za outrigger zidove  $d = 80$  cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
<b>-4,6</b>	-10,0
-3,8	-9,1
-3,8	-9,0
<b>-4,7</b>	-10,0
<b>3,0</b>	0,0
<b>3,1</b>	-0,1
-2,8	<b>-13,1</b>
-1,2	-6,2
0,1	<b>1,2</b>
-0,1	-1,1
-2,1	-7,0
-3,4	<b>-13,0</b>
0,2	-0,5
0,6	<b>0,6</b>

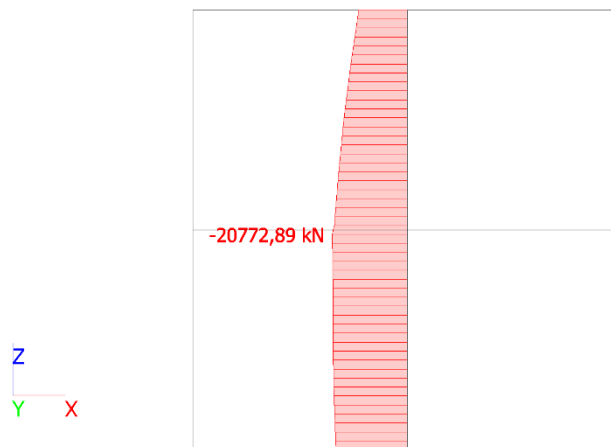


Slika 104. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za outrigger zidove  $d = 80$  cm (karakteristična kombinacija)

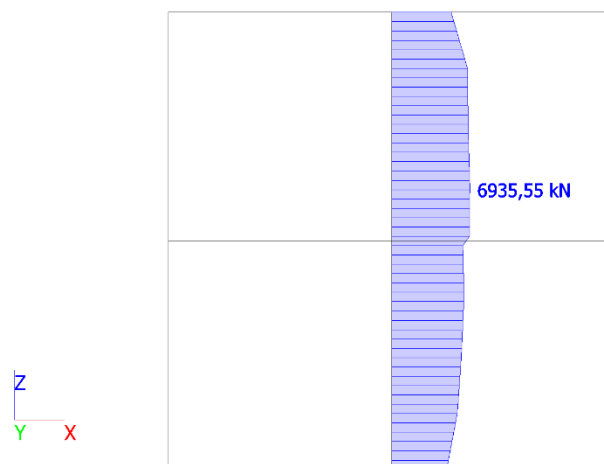
### Outrigger zidovi $d = 70$ cm

Tablica 36. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-20772,89	6935,55	-789,27	-38744,43

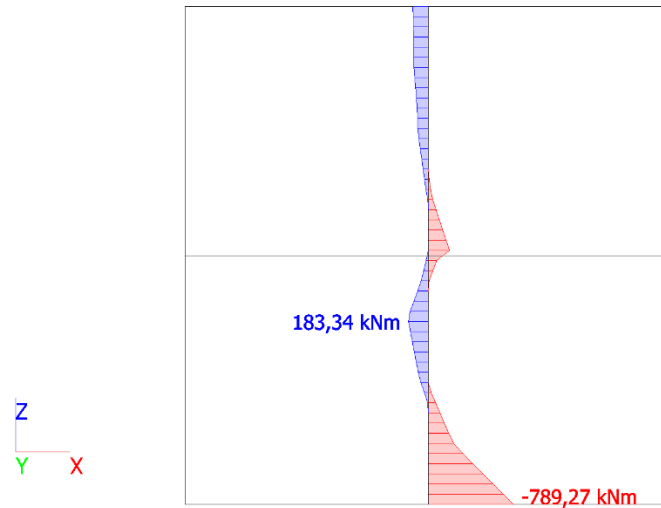


Slika 105. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)

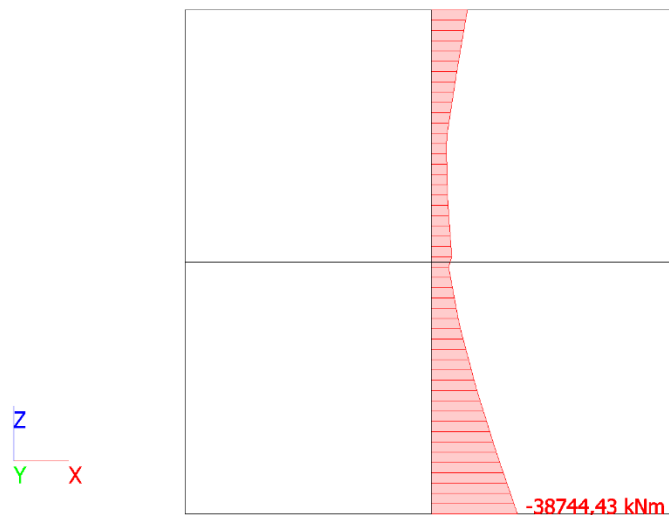


Slika 106. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)





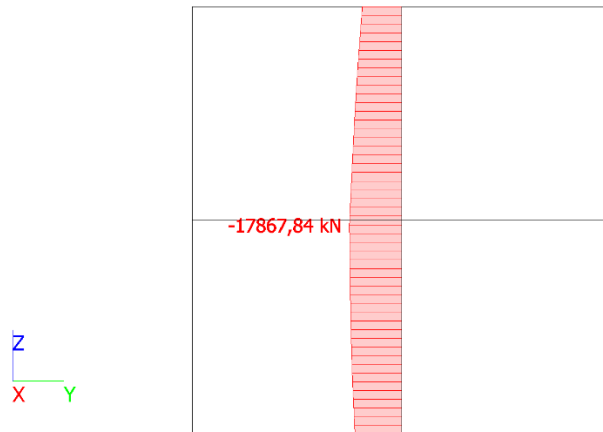
Slika 107. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)



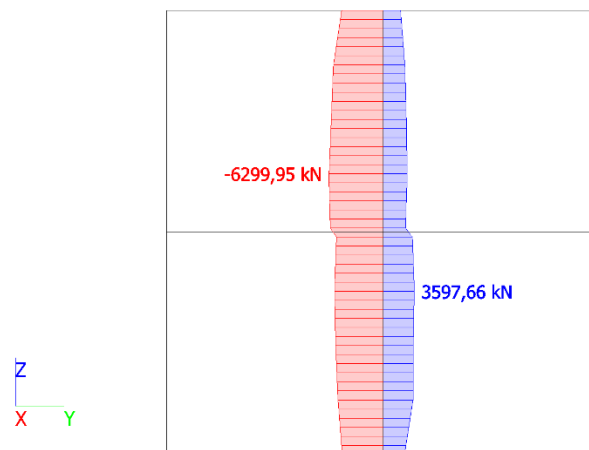
Slika 108. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (GSN kombinacija)

Tablica 37. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)

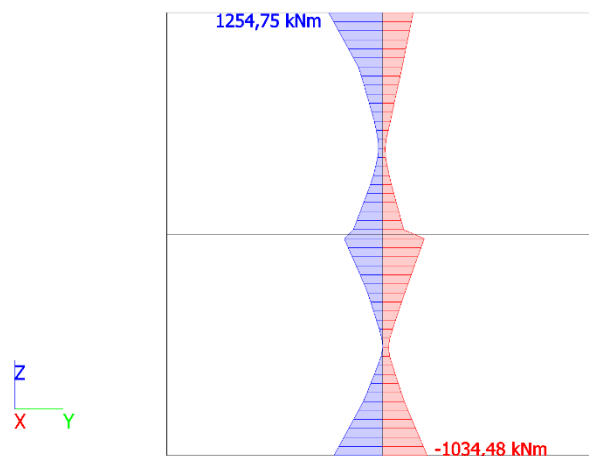
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-17867,84	-6299,95	1254,75	-38044,14



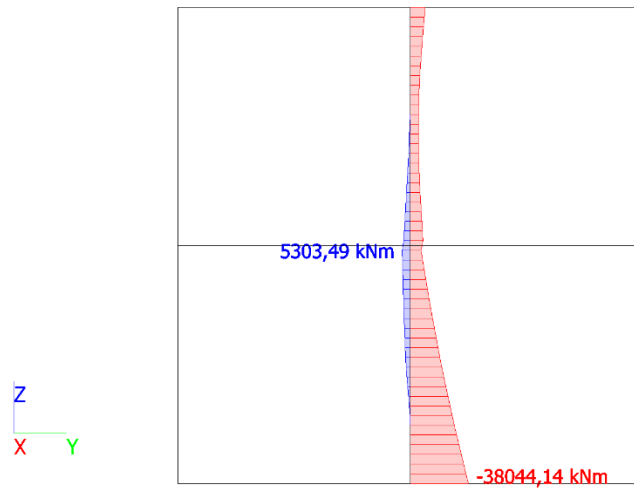
Slika 109. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)



Slika 110. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)



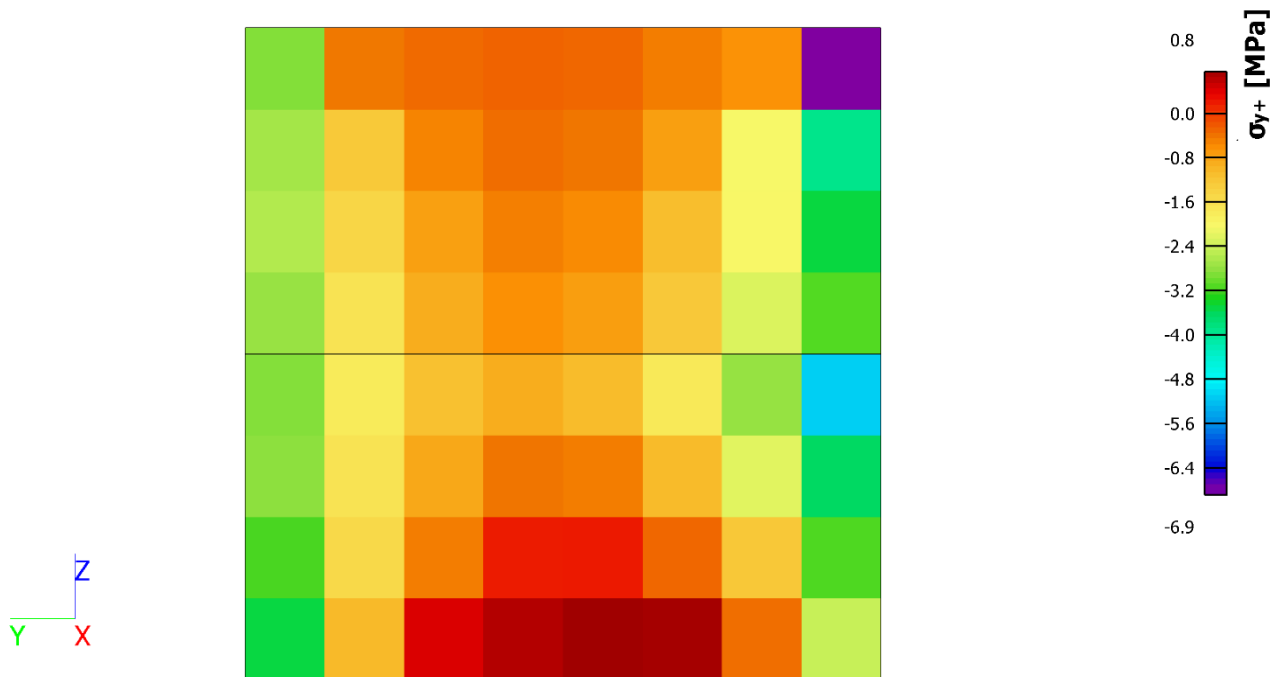
Slika 111. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)



Slika 112. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za outrigger zidove  $d = 70$  cm (potresna kombinacija)

Tablica 38. Mjerodavna naprezanja za outrigger zidove  $d = 70$  cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
-2,1	-3,9
-2,1	-3,9
<b>0,8</b>	-2,6
-0,3	-3,5
-2,1	-3,9
<b>-2,1</b>	-3,8
-0,3	-3,5
<b>0,8</b>	-2,6
0,1	<b>0,8</b>
0,0	-0,5
0,2	-0,1
0,2	<b>0,4</b>
-0,9	-3,0
-1,5	<b>-5,8</b>
-1,0	<b>-6,9</b>
-0,1	-2,5

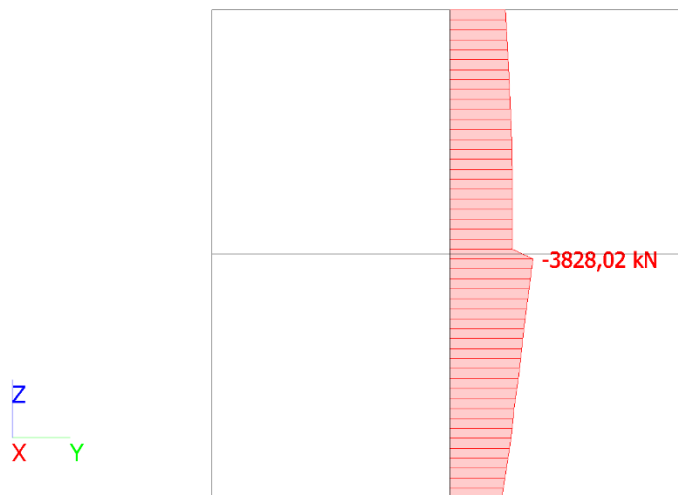


Slika 113. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za outrigger zidove  $d = 70$  cm (karakteristična kombinacija)

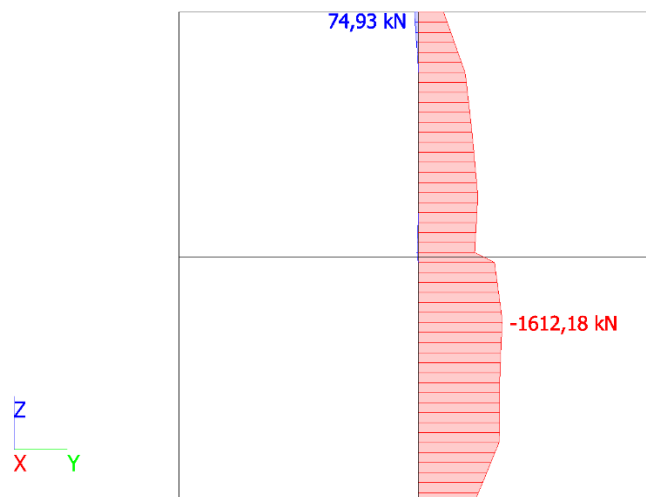
### Outrigger zidovi $d = 60$ cm

Tablica 39. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)

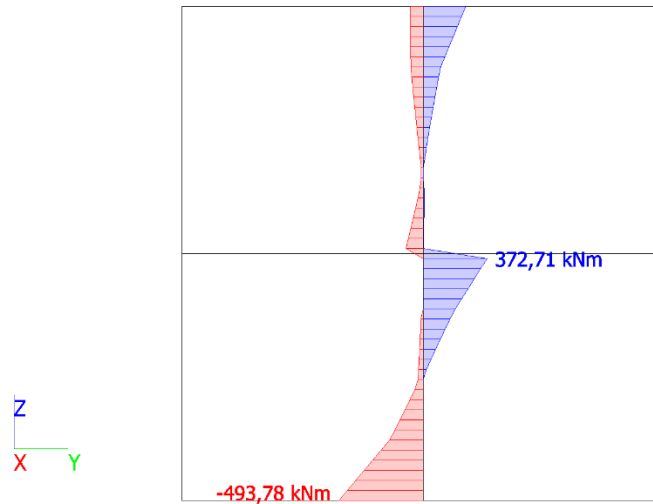
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
-3828,02	-1612,18	-493,78	-6899,18



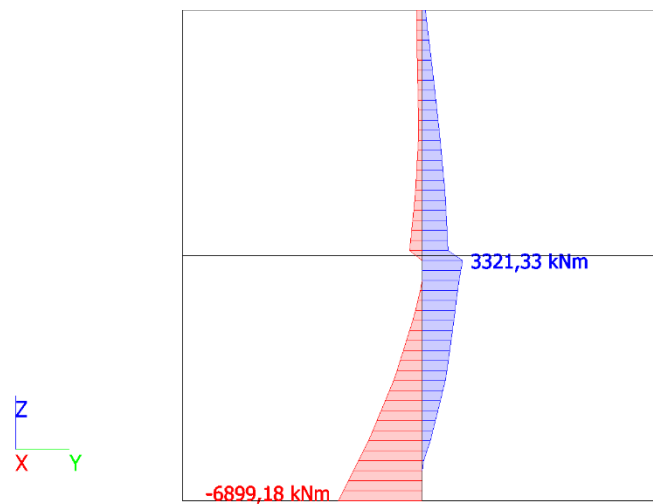
Slika 114. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)



Slika 115. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)



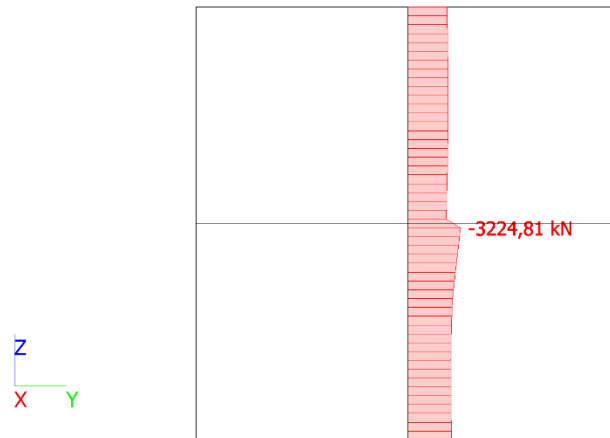
Slika 116. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)



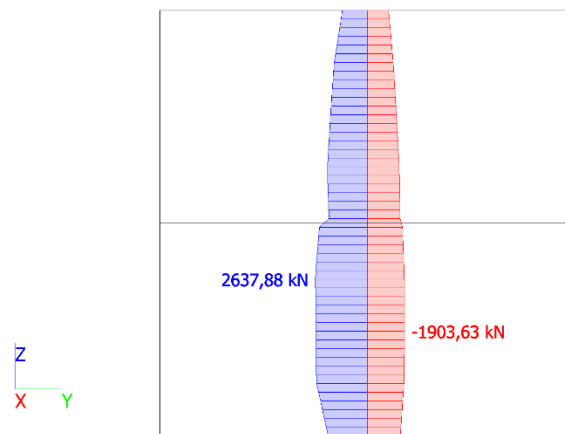
Slika 117. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (GSN kombinacija)

Tablica 40. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)

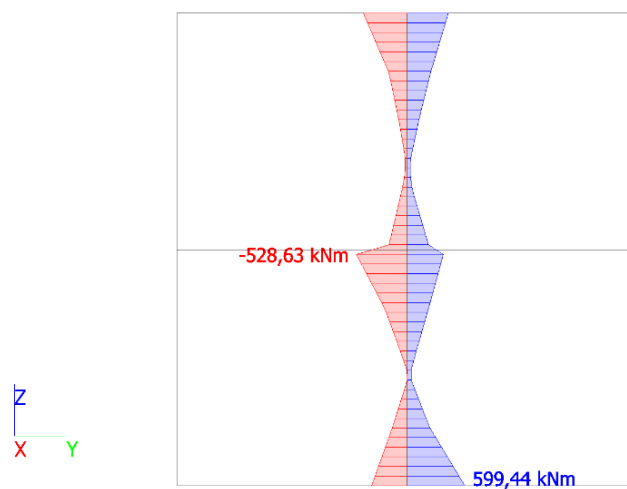
$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
<b>-3224,81</b>	<b>2637,88</b>	<b>599,44</b>	<b>11476,45</b>



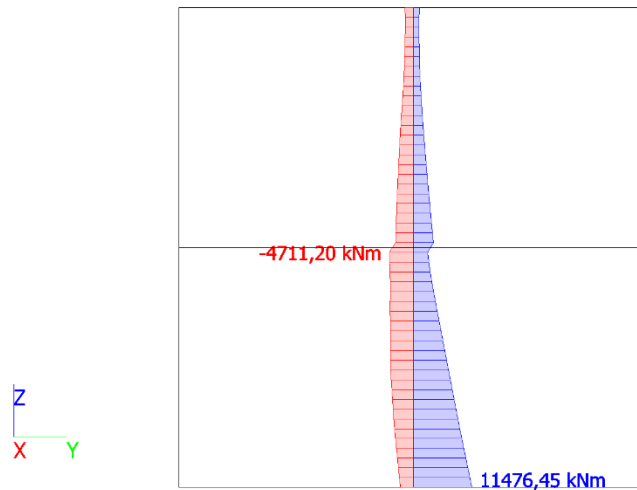
Slika 118. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)



Slika 119. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)



Slika 120. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,y}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)

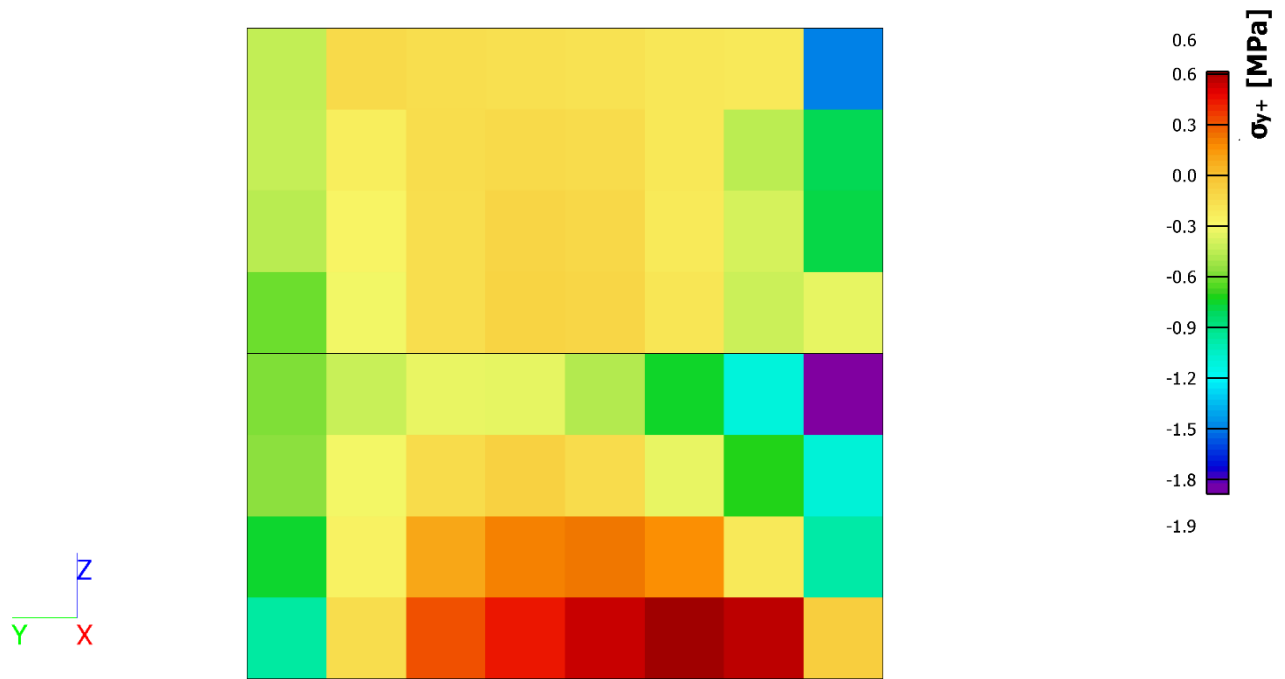


Slika 121. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed,z}$  za outrigger zidove  $d = 60$  cm (potresna kombinacija)

Tablica 4.1. Mjerodavna naprezanja za outrigger zidove  $d = 60$  cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_{x+}$ [MPa]	$\sigma_{y+}$ [MPa]
$\sigma_{x-}$ [MPa]	$\sigma_{y-}$ [MPa]
<b>-0,4</b>	<b>-1,1</b>
-0,3	-0,6
<b>0,2</b>	<b>0,4</b>
-0,1	-0,6
-0,1	-0,6
<b>0,3</b>	<b>0,4</b>
-0,2	<b>-1,9</b>
0,0	-0,5
0,0	<b>0,6</b>
-0,1	-0,4
-0,1	-0,4
0,1	<b>0,6</b>
-0,2	0,0
<b>-0,5</b>	<b>-1,9</b>





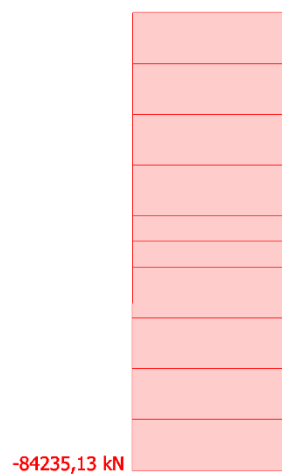
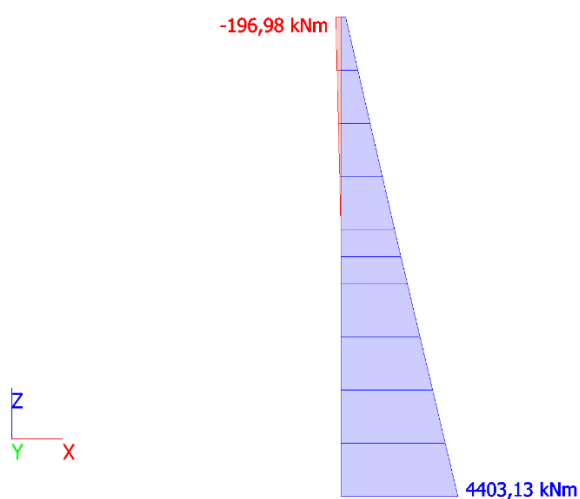
Slika 122. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za outrigger zidove  $d = 60$  cm (karakteristična kombinacija)

## 4.3.5.4. Stupovi

**Stupovi 160/160 cm**

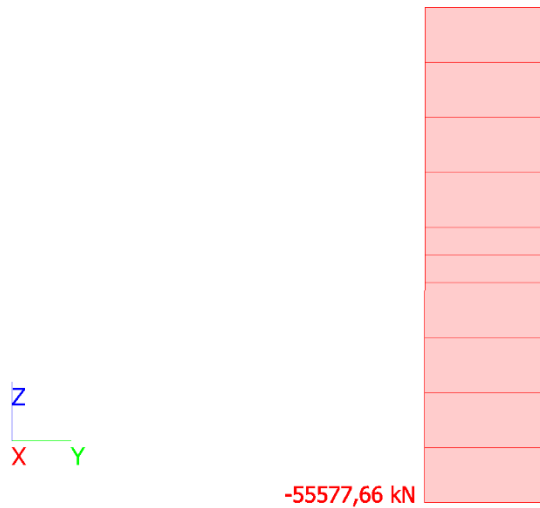
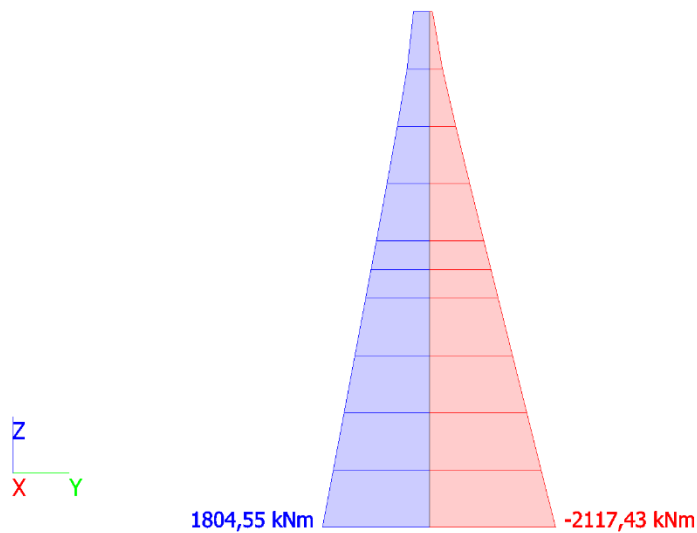
Tablica 42. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 160/160 cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
<b>-84235,13</b>	<b>4403,13</b>

Slika 123. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 160/160 cm (GSN kombinacija)Slika 124. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 160/160 cm (GSN kombinacija)

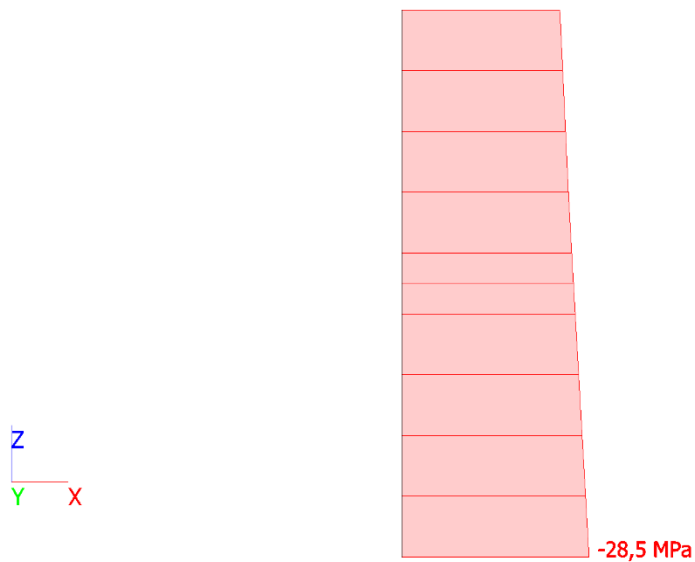
Tablica 4.3. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 160/160 cm (potresna kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
-55577,66	-2117,43

Slika 125. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 160/160 cm (potresna kombinacija)Slika 126. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 160/160 cm (potresna kombinacija)

Tablica 44. Mjerodavna naprezanja za stupove 160/160 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
-28,5
-1,5

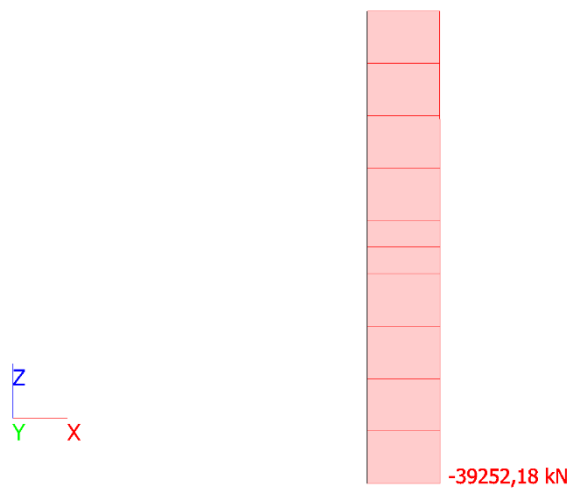
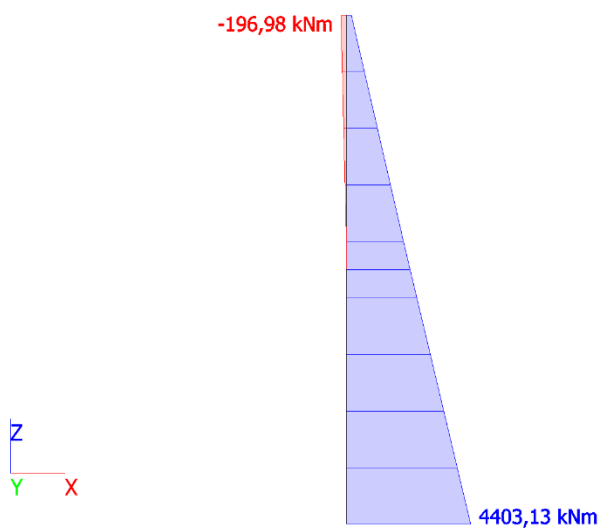


Slika 127. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 160/160 cm (karakteristična kombinacija)

**Stupovi dimenzija 150/150 cm**

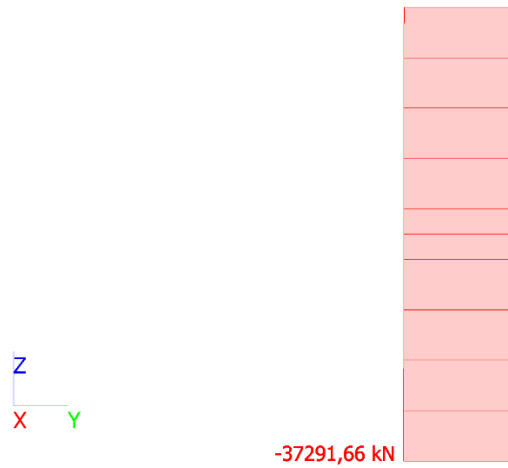
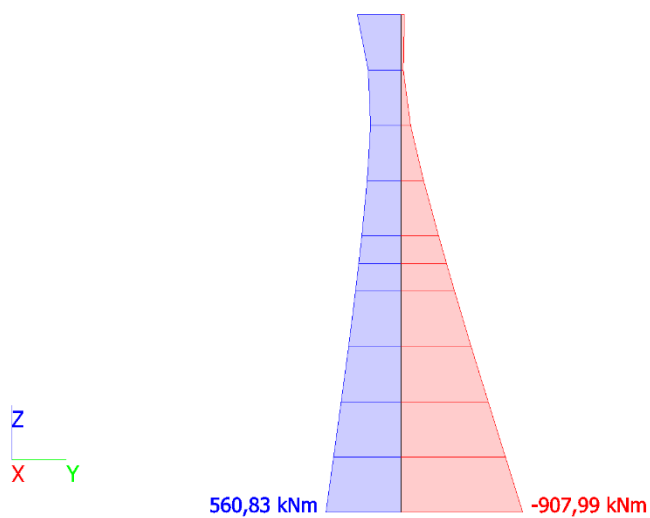
Tablica 45. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 150/150 cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
-39252,18	4403,13

Slika 128. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 150/150 cm (GSN kombinacija)Slika 129. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 150/150 cm (GSN kombinacija)

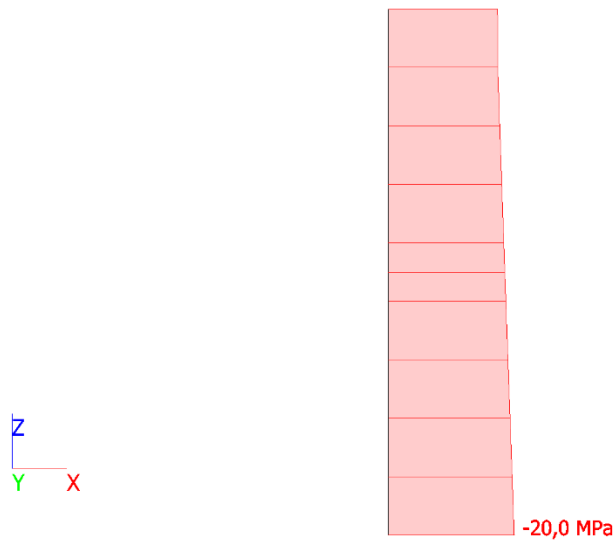
Tablica 46. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 150/150 cm (potresna kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
-37291,66	-907,99

Slika 130. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 150/150 cm (potresna kombinacija)Slika 131. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 150/150 cm (potresna kombinacija)

Tablica 47. Mjerodavna naprezanja za stupove 150/150 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
-20,0
-1,2

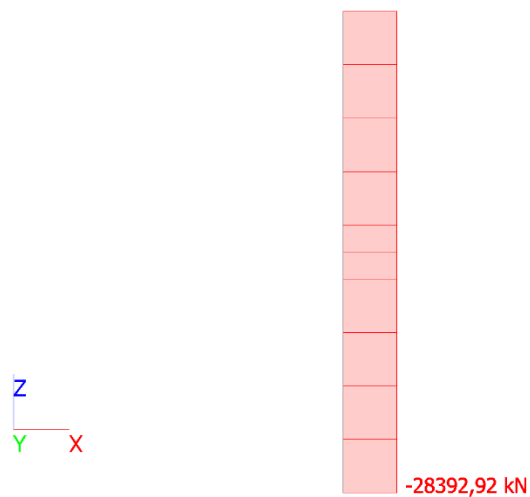
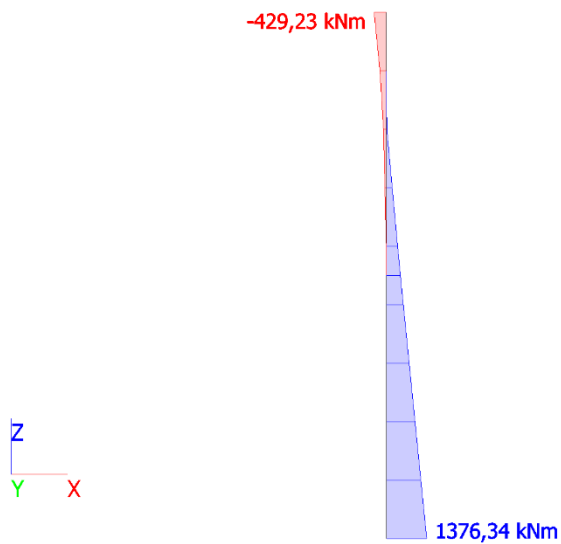


Slika 132. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 150/150 cm (karakteristična kombinacija)

**Stupovi dimenzija 120/120 cm**

Tablica 48. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 120/120 cm (GSN kombinacija)

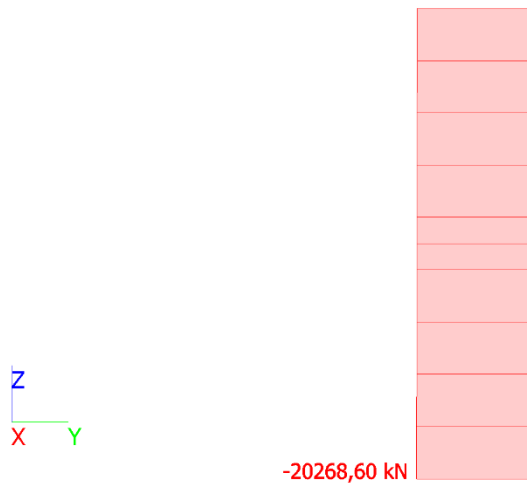
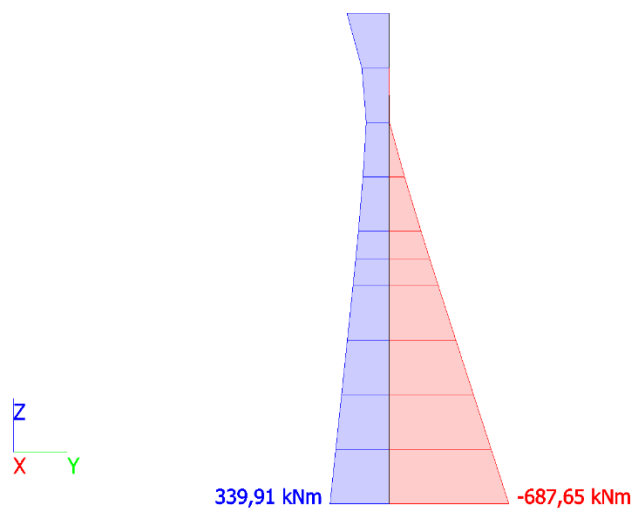
$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
-28392,92	1376,34

Slika 133. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 120/120 cm (GSN kombinacija)Slika 134. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 120/120 cm (GSN kombinacija)



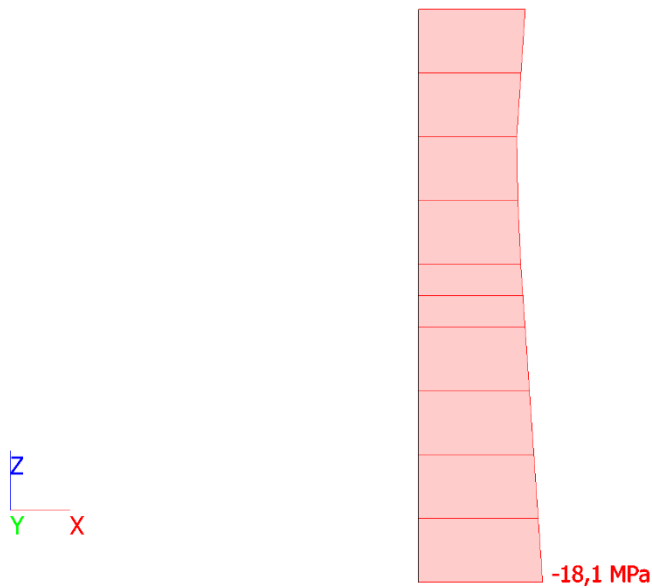
Tablica 49. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 120/120 cm (potresna kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
-20268,60	-687,65

Slika 135. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 120/120 cm (potresna kombinacija)Slika 136. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 120/120 cm (potresna kombinacija)

Tablica 50. Mjerodavna naprezanja za stupove 120/120 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
<b>-18,1</b>
<b>-0,4</b>

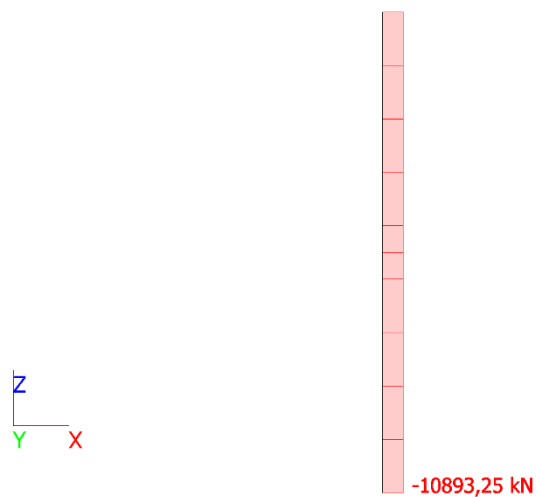


Slika 137. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 120/120 cm (karakteristična kombinacija)

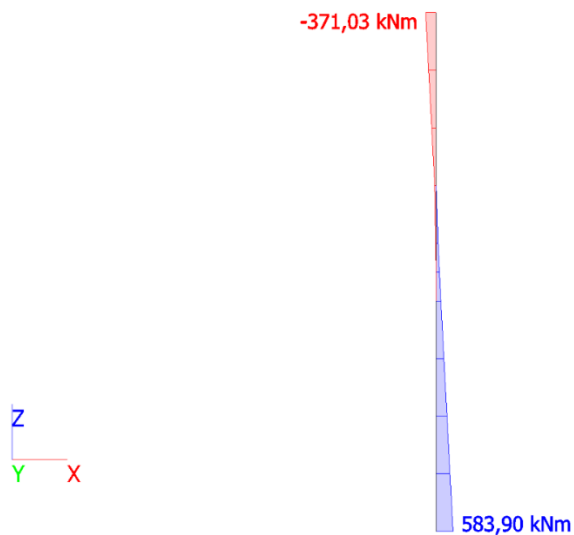
### Stupovi dimenzija 100/100 cm

Tablica 51. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 100/100 cm (GSN kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
-10893,25	583,90



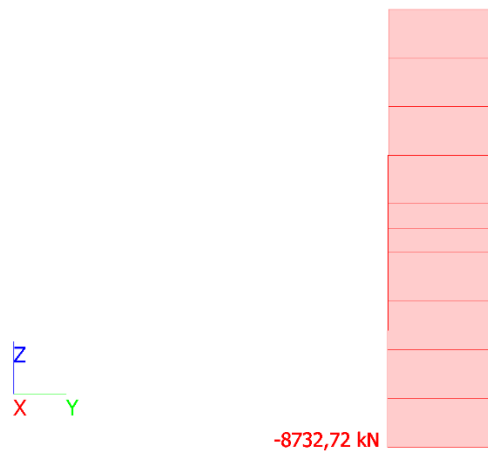
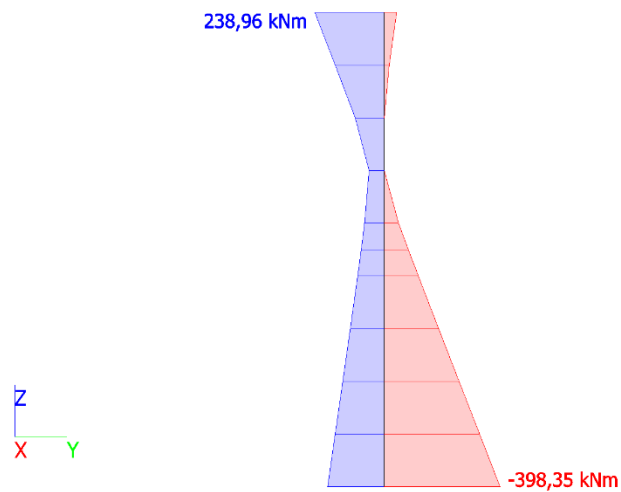
Slika 138. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 100/100 cm (GSN kombinacija)



Slika 139. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 100/100 cm (GSN kombinacija)

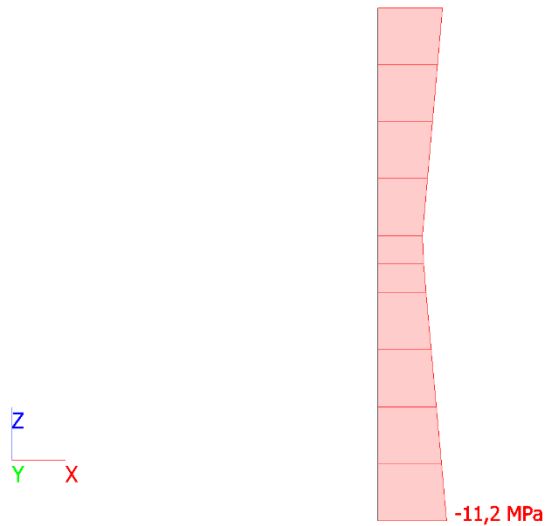
Tablica 52. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 100/100 cm (potresna kombinacija)

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
<b>-8732,72</b>	<b>-398,35</b>

Slika 140. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za stupove 100/100 cm (potresna kombinacija)Slika 141. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za stupove 100/100 cm (potresna kombinacija)

Tablica 53. Mjerodavna naprezanja za stupove 100/100 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
-11,2
1,8



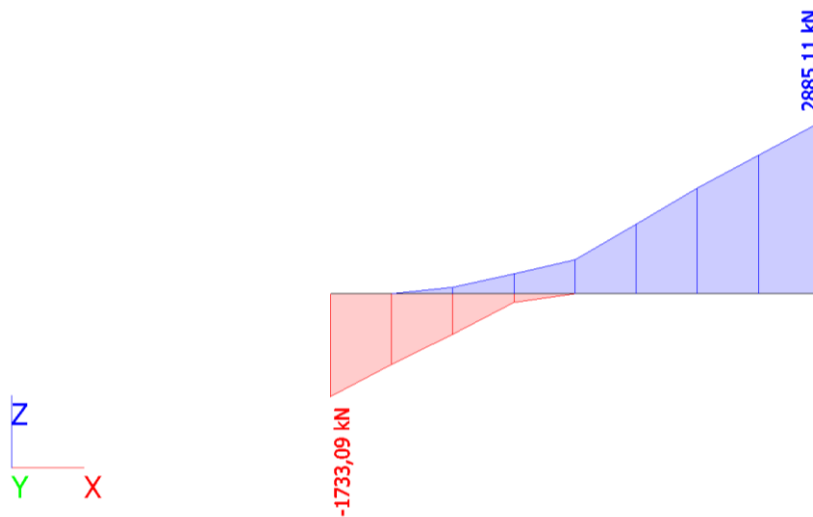
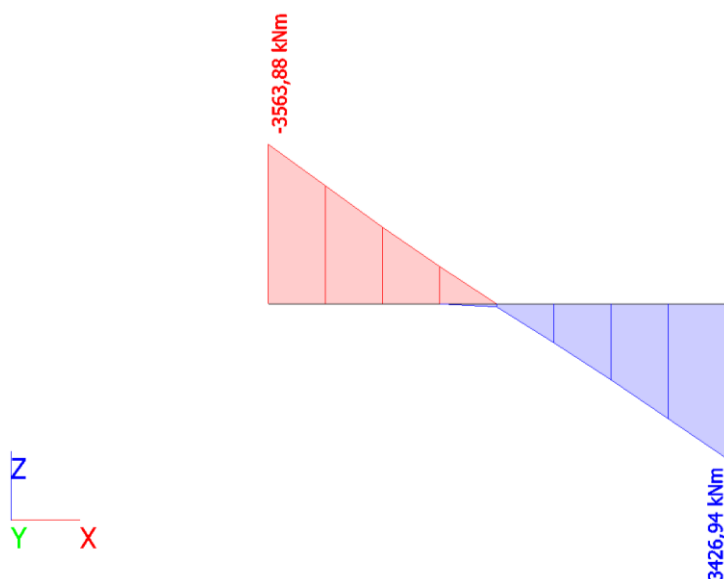
Slika 142. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 100/100 cm (karakteristična kombinacija)

## 4.3.5.5. Vanjske grede

**Grede dimenzija 160/120 cm**

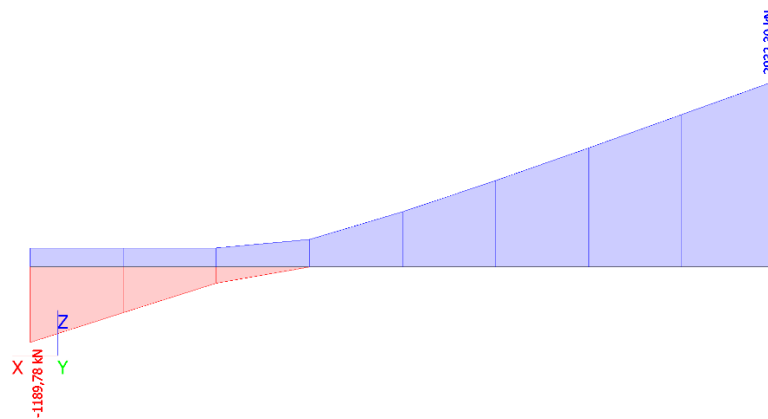
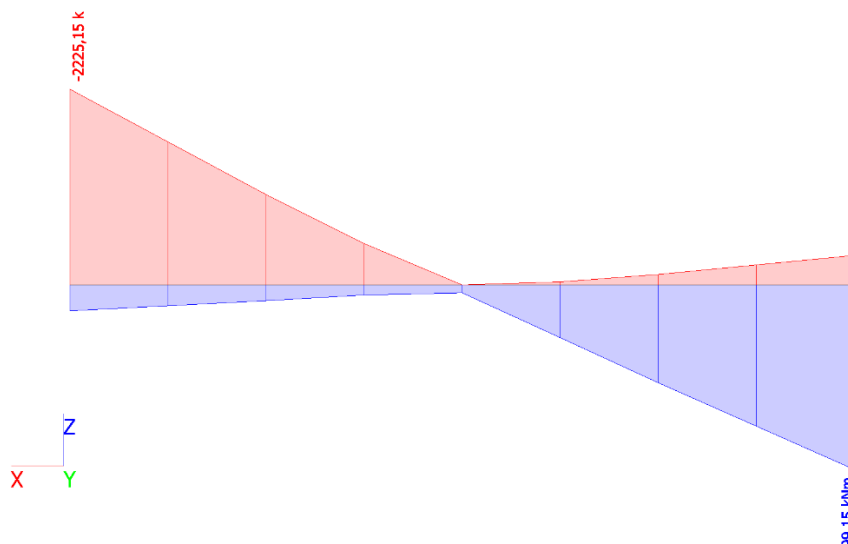
Tablica 54. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/120 cm (GSN kombinacija)

dx [m]	N [kN]	M [kNm]
0	2885,11	3426,94
4	-1733,09	-3563,88

Slika 143. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 160/120 cm (GSN kombinacija)Slika 144. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 160/120 cm (GSN kombinacija)

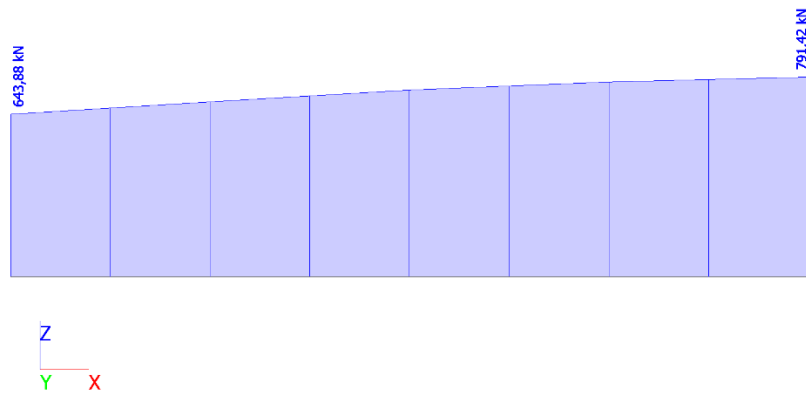
Tablica 55. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/120 cm (potresna kombinacija)

dx [m]	N [kN]	M [kNm]
0	-1189,78	-2225,15
4	2932,30	2099,15

Slika 145. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 160/120 cm (potresna kombinacija)Slika 146. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 160/120 cm (potresna kombinacija)

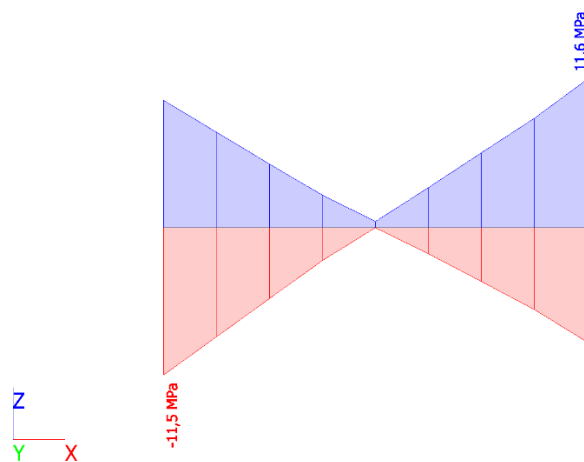
Tablica 56. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/120 cm (nazovistalna kombinacija)

dx [m]	V [kN]
0	<b>643,88</b>
4	<b>791,42</b>

Slika 147. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za grede 160/120 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 57. Mjerodavna naprezanja za grede 160/120 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
-11,5
11,6



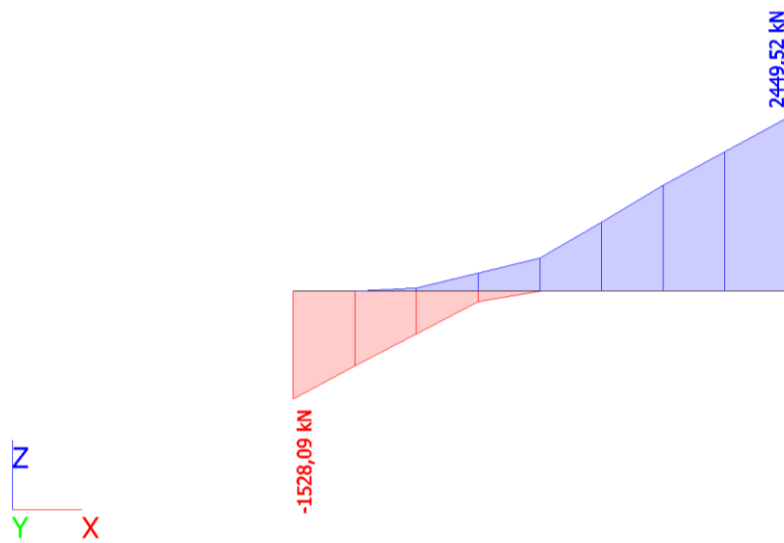
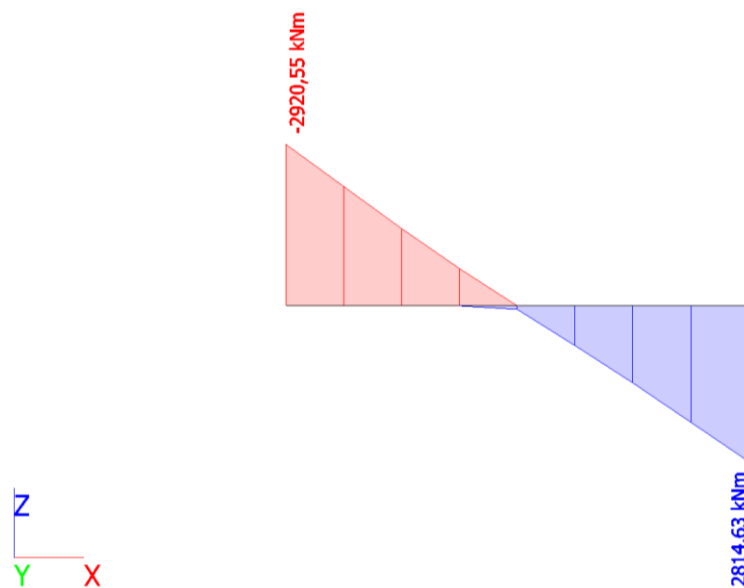
Slika 148. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 160/120 cm (karakteristična kombinacija)



## Grede dimenzija 150/120 cm

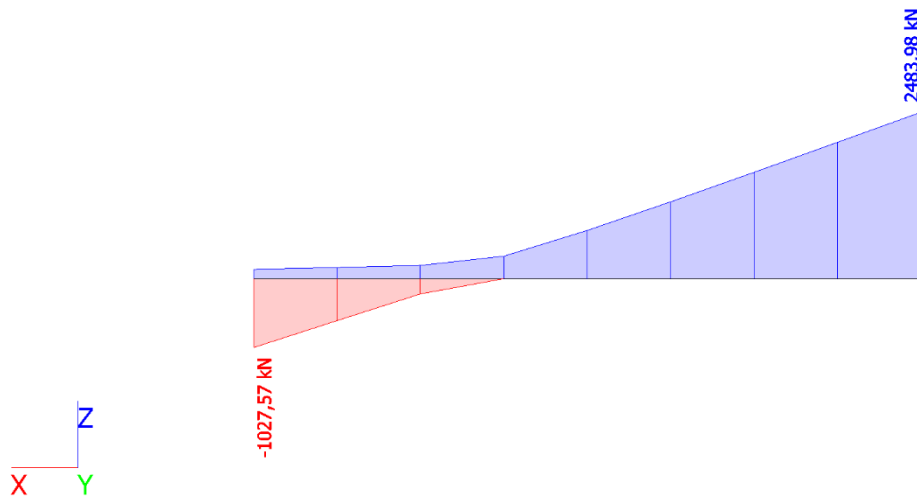
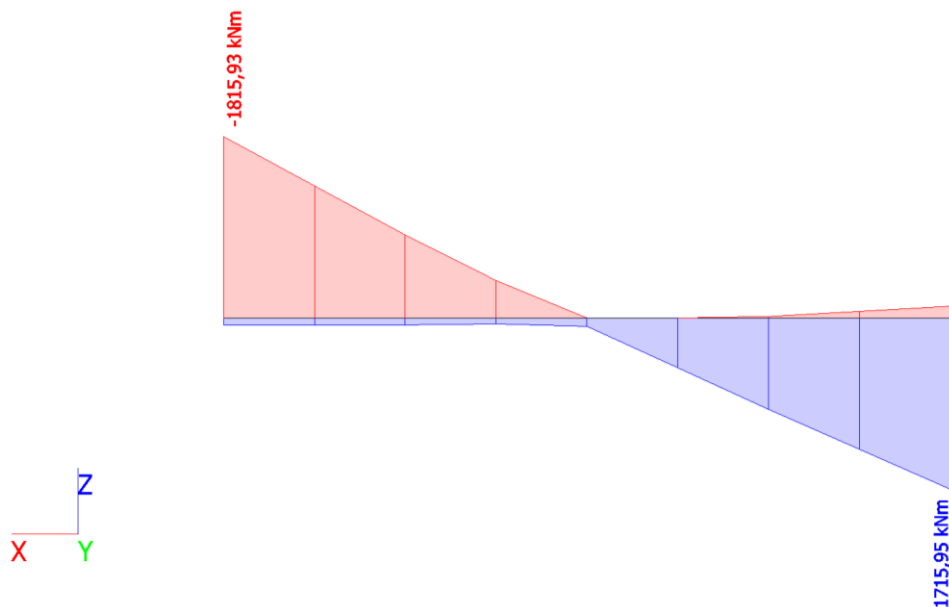
Tablica 58. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)

dx [m]	N [kN]	M [kNm]
0,000	2449,52	2814,63
4,000	-1528,09	-2920,55

Slika 149. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)Slika 150. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)

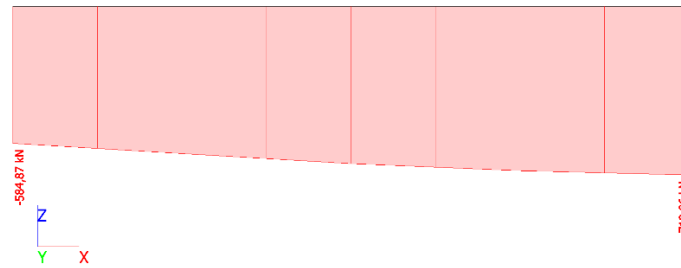
Tablica 59. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)

dx [m]	N [kN]	M [kNm]
0,000	<b>2483,98</b>	<b>1715,95</b>
4,000	<b>-1027,57</b>	<b>-1815,93</b>

Slika 151. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)Slika 152. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)

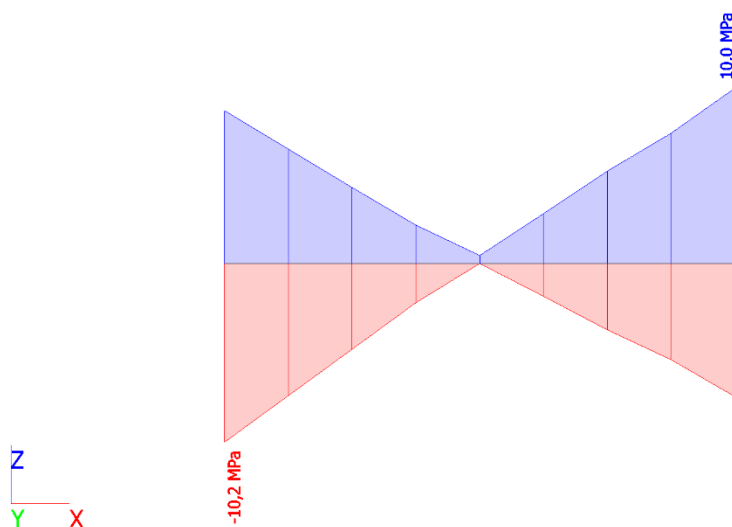
Tablica 60. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija)

dx [m]	$V_z$ [kN]
0,000	<b>-584,97</b>
4,000	<b>-719,86</b>

Slika 153. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 61. Mjerodavna naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
<b>-10,2</b>
<b>10</b>

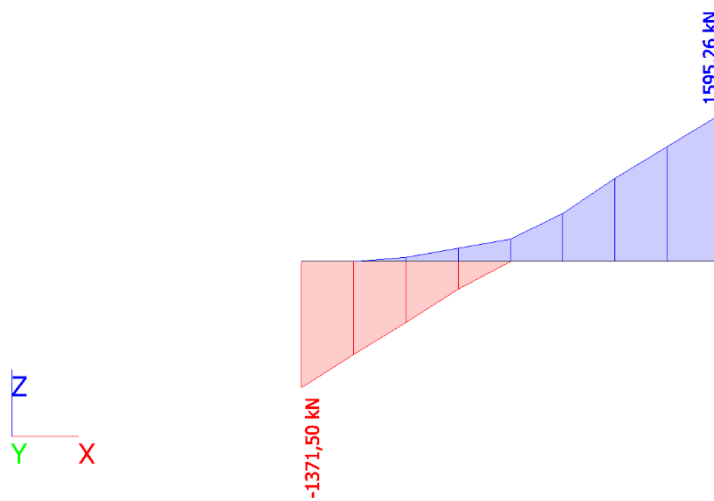
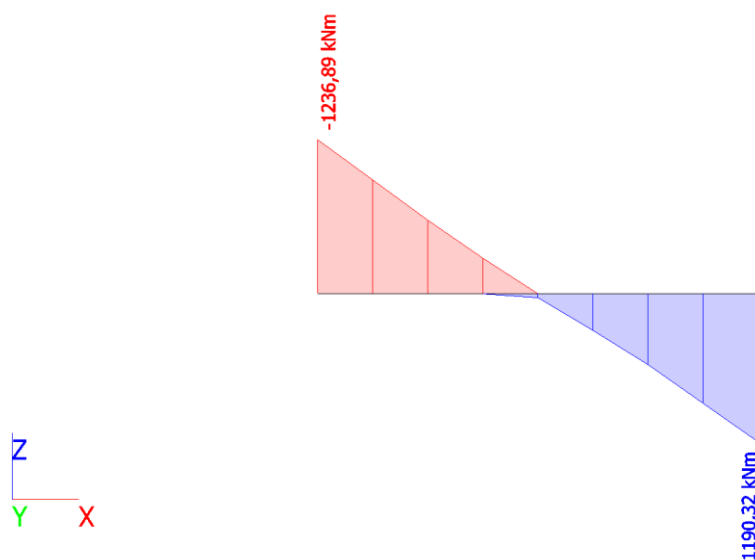


Slika 154. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija)

## Grede dimenzija 120/100 cm

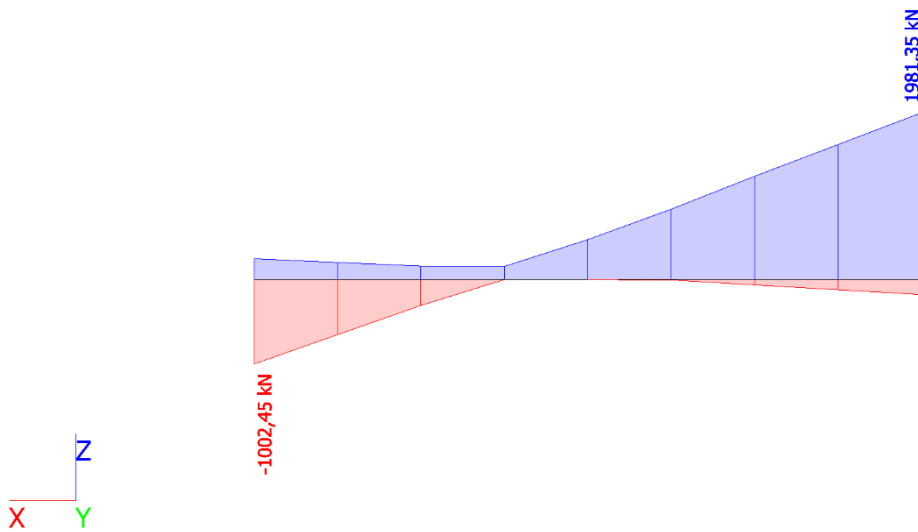
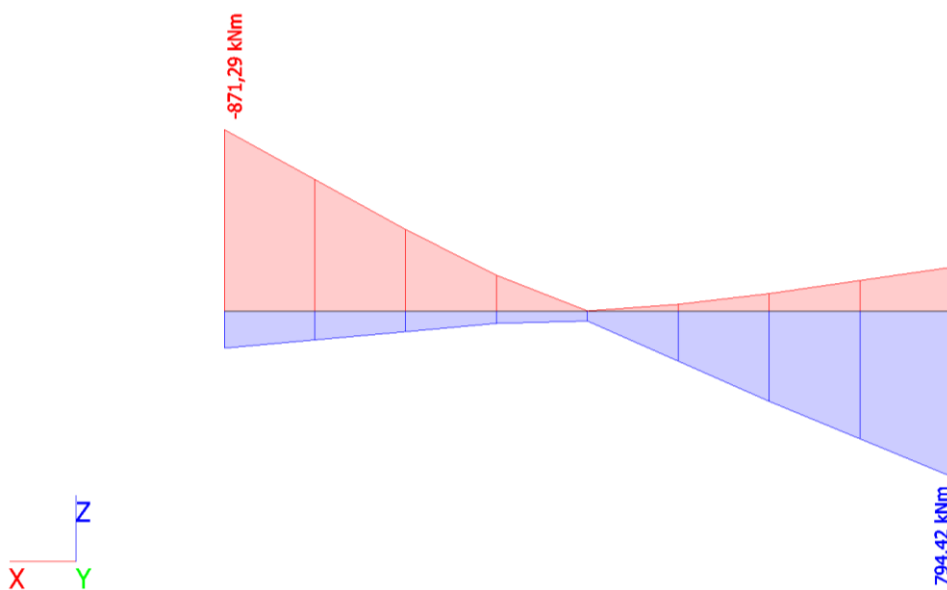
Tablica 62. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija)

dx [m]	N [kN]	$M_y$ [kNm]
4,000	-1371,50	-1236,89
0,000	1595,26	1190,32

Slika 155. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 120/100 cm (GSN kombinacija)Slika 156. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 120/100 cm (GSN kombinacija)

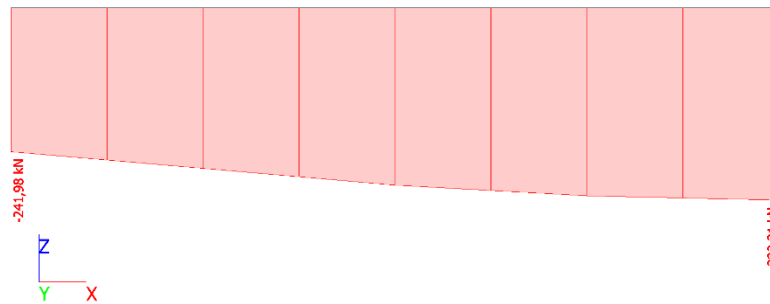
Tablica 63. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)

dx [m]	N [kN]	M [kNm]
4,000	-1002,45	-871,29
0,000	1981,35	794,42

Slika 157. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)Slika 158. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)

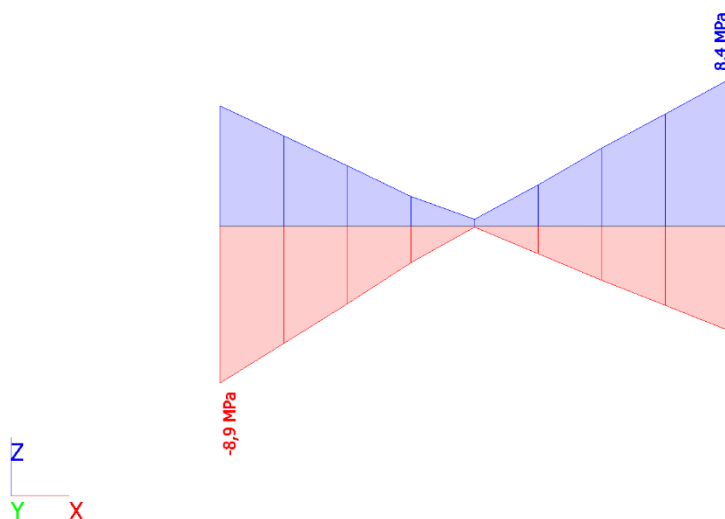
Tablica 64. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija)

dx [m]	V [kN]
0,000	<b>-241,98</b>
4,000	<b>-323,31</b>

Slika 159. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 65. Mjerodavna naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
<b>-8,9</b>
<b>8,4</b>

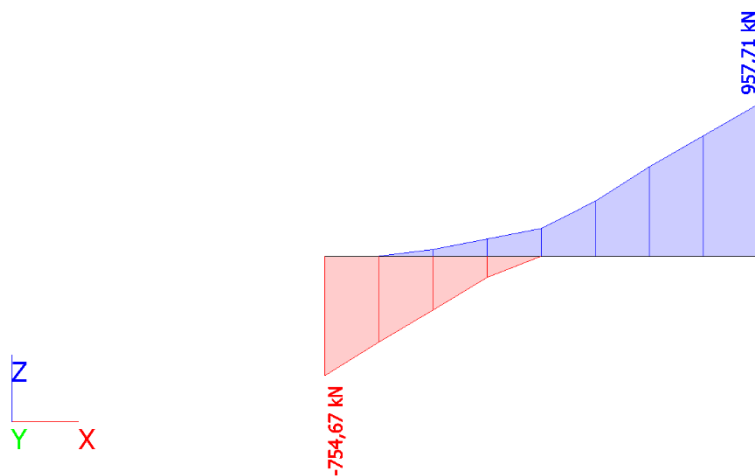


Slika 160. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija)

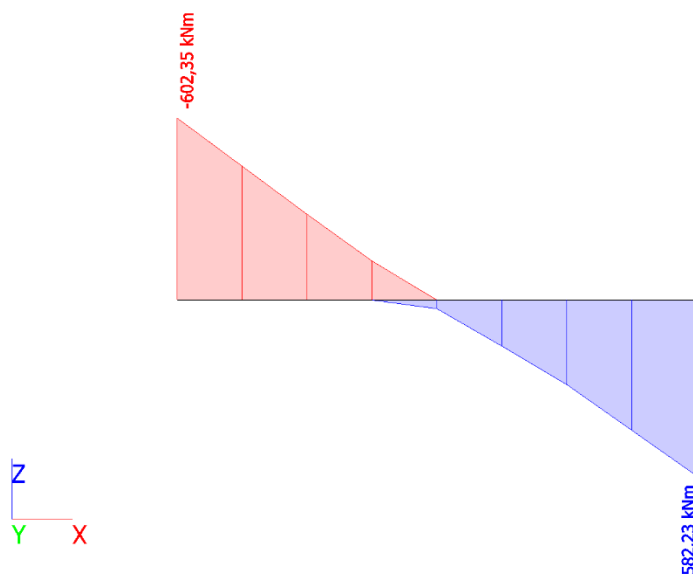
**Grede dimenzija 100/100 cm**

Tablica 66. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)

dx [m]	N [kN]	M [kNm]
0,000	957,71	582,23
4,000	-754,67	-602,35



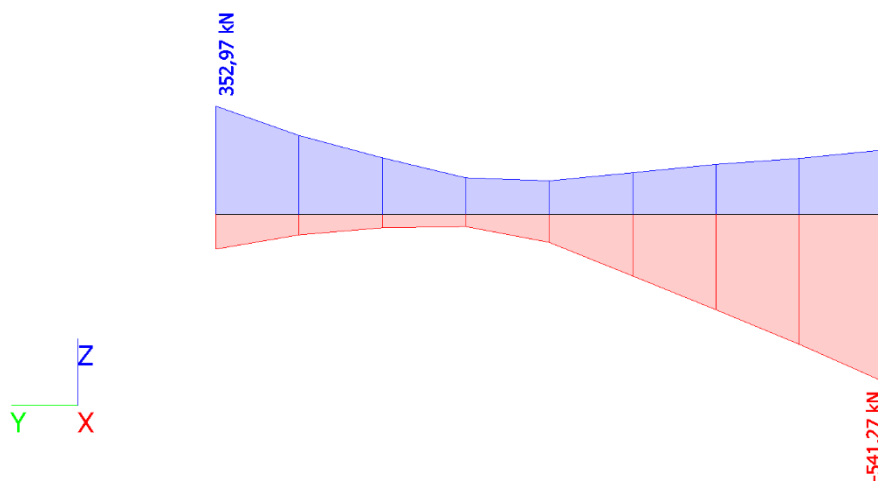
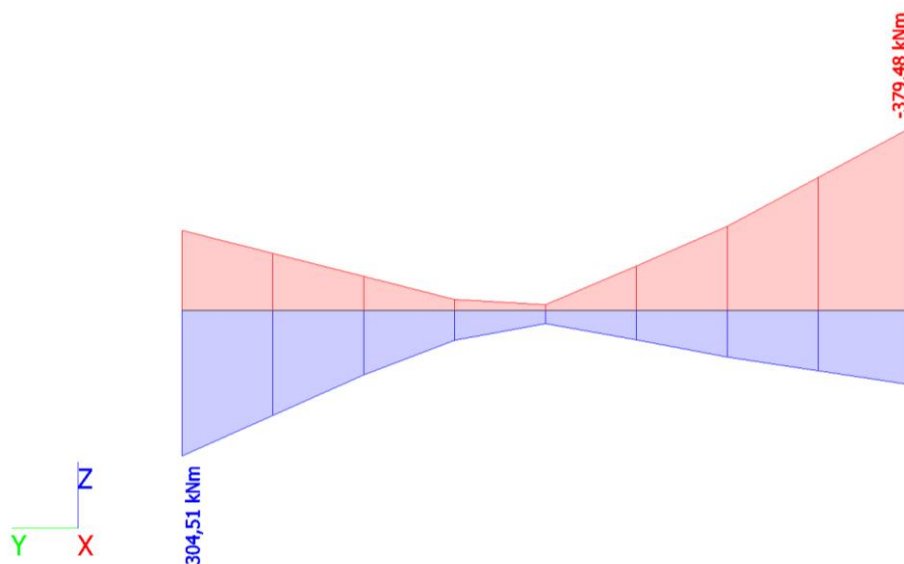
Slika 161. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)



Slika 162. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)

Tablica 67. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)

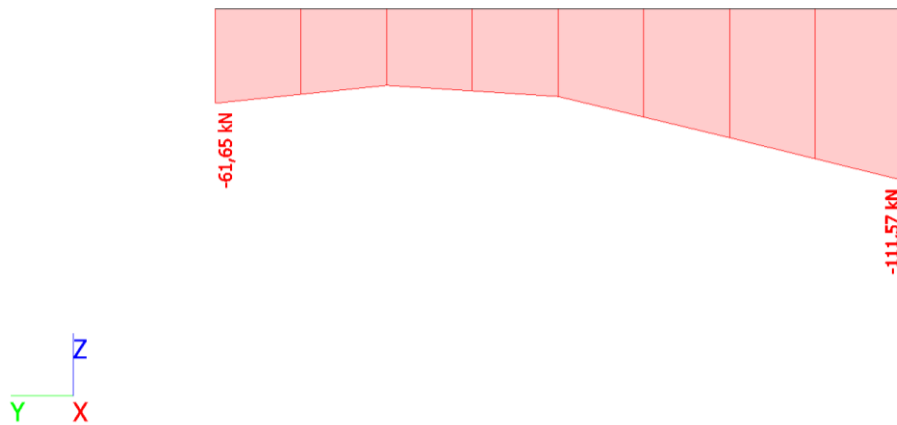
dx [m]	N [kN]	M [kNm]
0,000	<b>352,97</b>	<b>304,51</b>
4,000	<b>-541,27</b>	<b>-379,48</b>

Slika 163. Grafički prikaz mjerodavne sile  $N_{Ed}$  za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)Slika 164. Grafički prikaz mjerodavne sile  $M_{Ed}$  za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)



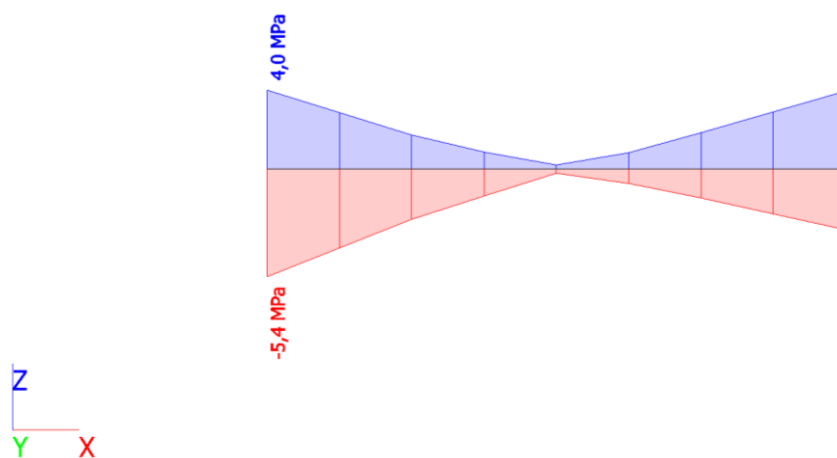
Tablica 68. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija)

dx [m]	V [kN]
0,000	-61,65
4,000	-111,57

Slika 165. Grafički prikaz mjerodavne sile  $V_{Ed}$  za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 69. Mjerodavna naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
-5,4
4,0



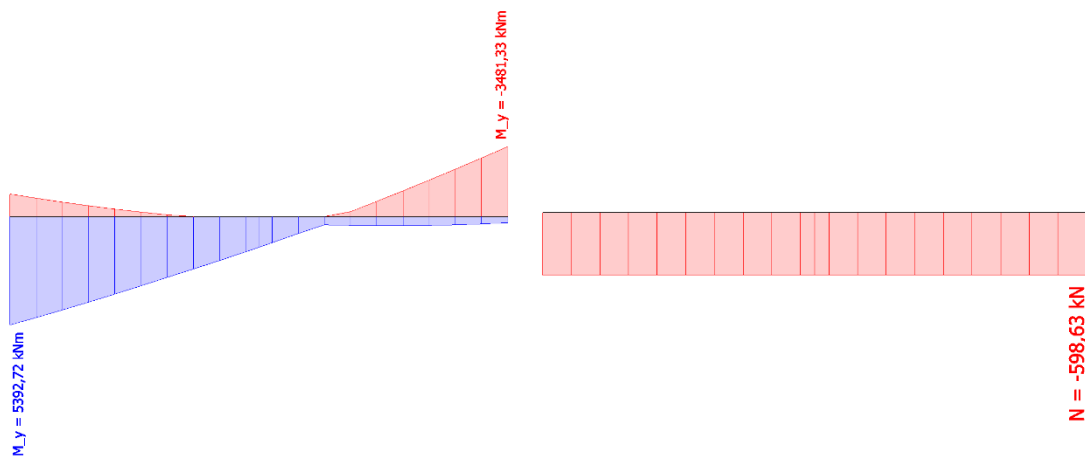
Slika 166. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija)

## 4.3.5.6. Unutarnje grede

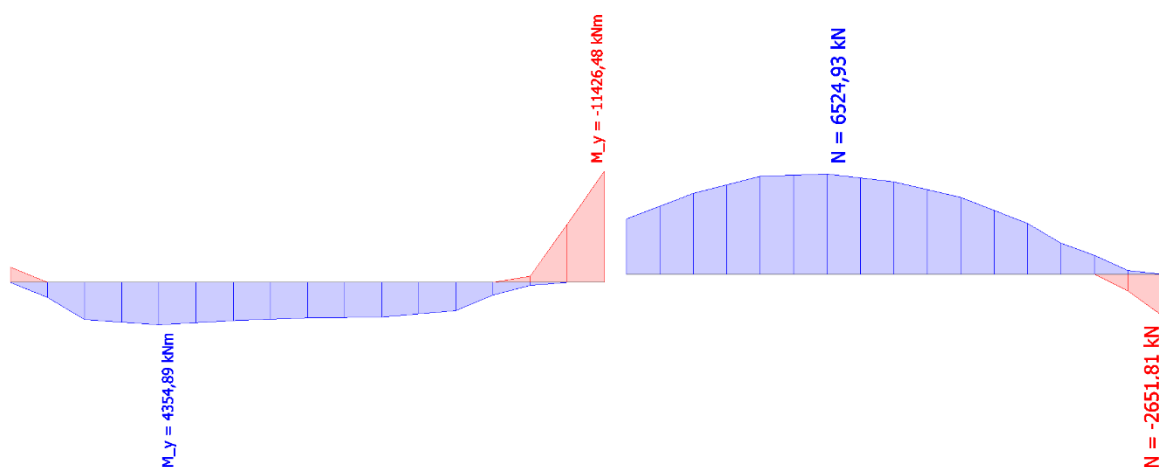
**Grede dimenzija 160/150 cm**

Tablica 70. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/150 cm (GSN kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-598,63	5392,72
-2651,81	-11426,48



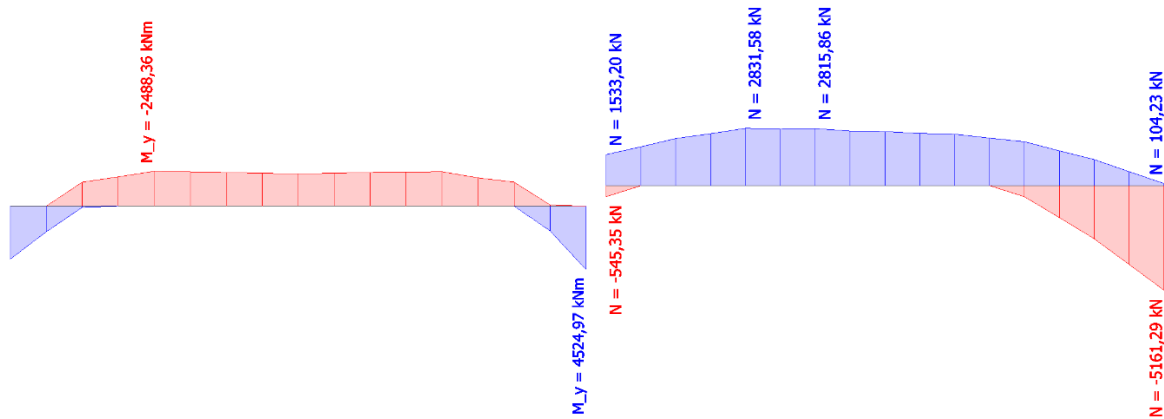
Slika 167. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (GSN kombinacija)



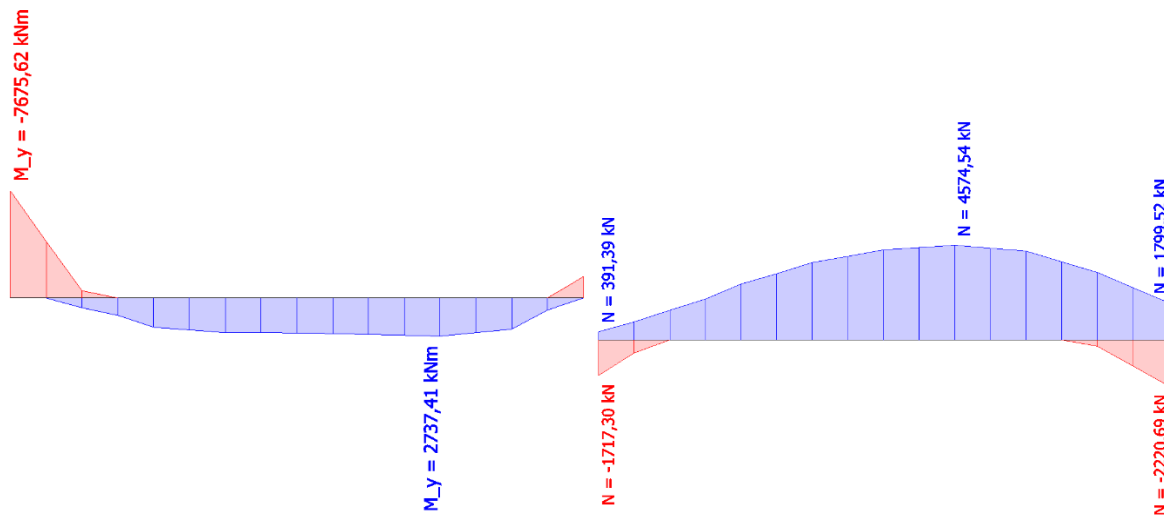
Slika 168. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (GSN kombinacija)

Tablica 71. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/150 cm (potresna kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-5161,26	4524,97
-1717,30	-7676,62



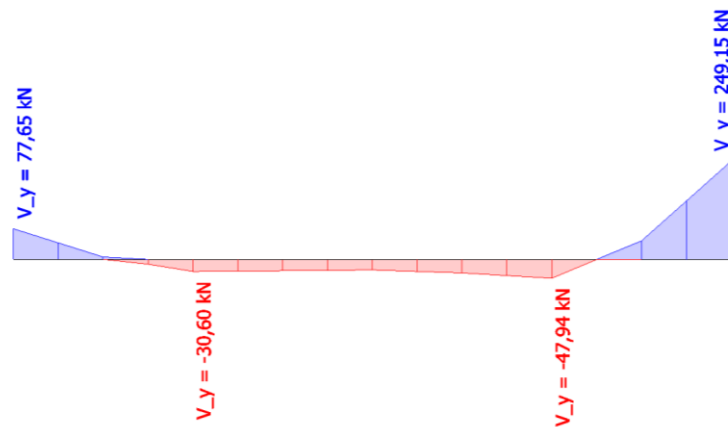
Slika 169. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (potresna kombinacija)



Slika 170. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (potresna kombinacija)

Tablica 72. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/150 cm (nazovistalna kombinacija)

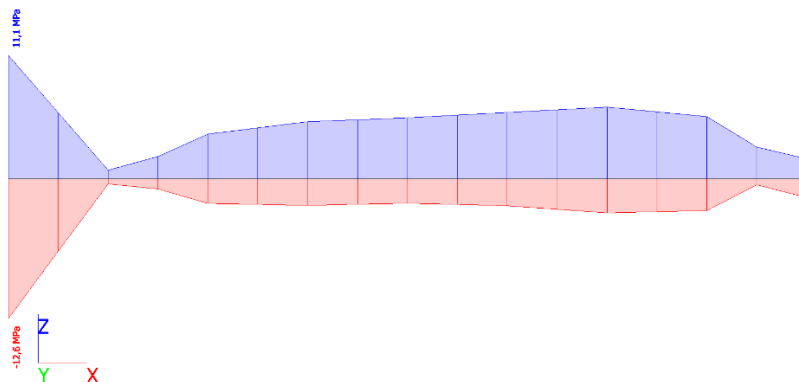
dx [m]	V [kN]
0,000	<b>77,65</b>
4,000	<b>249,15</b>



Slika 171. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 160/150 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 73. Mjerodavna naprezanja za grede 160/150 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
<b>-12,6</b>
<b>11,4</b>

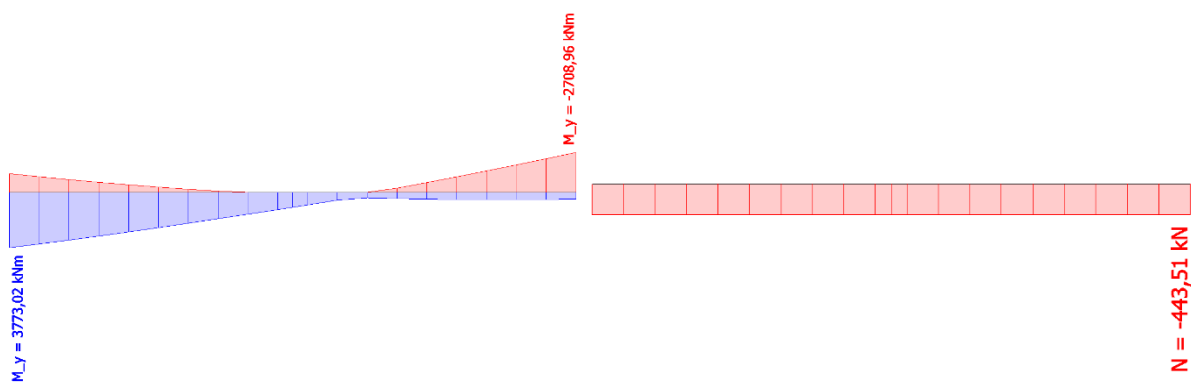


Slika 172. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 160/150 cm (karakteristična kombinacija)

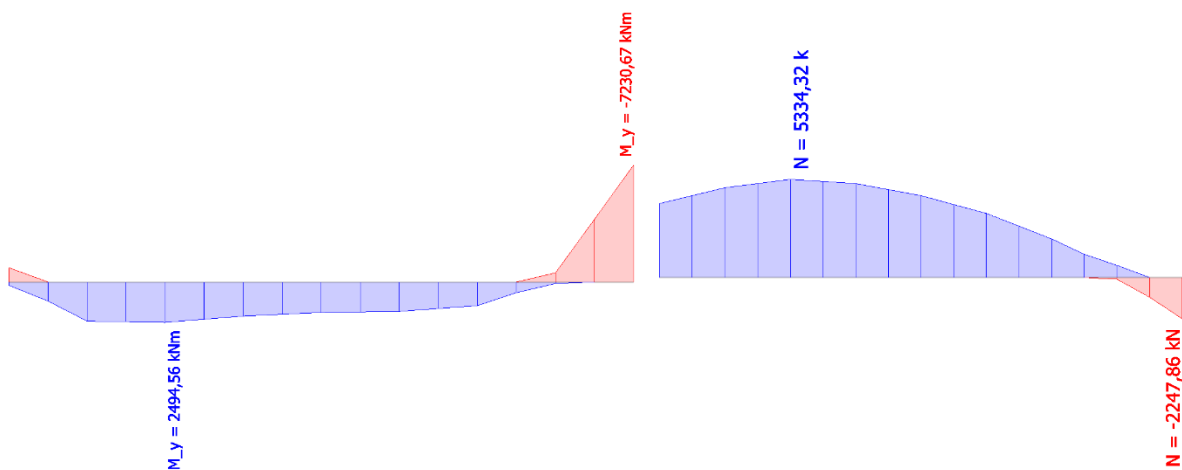
## Grede dimenzija 150/120 cm

Tablica 74. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-443,51	3773,02
-2247,86	-7230,67



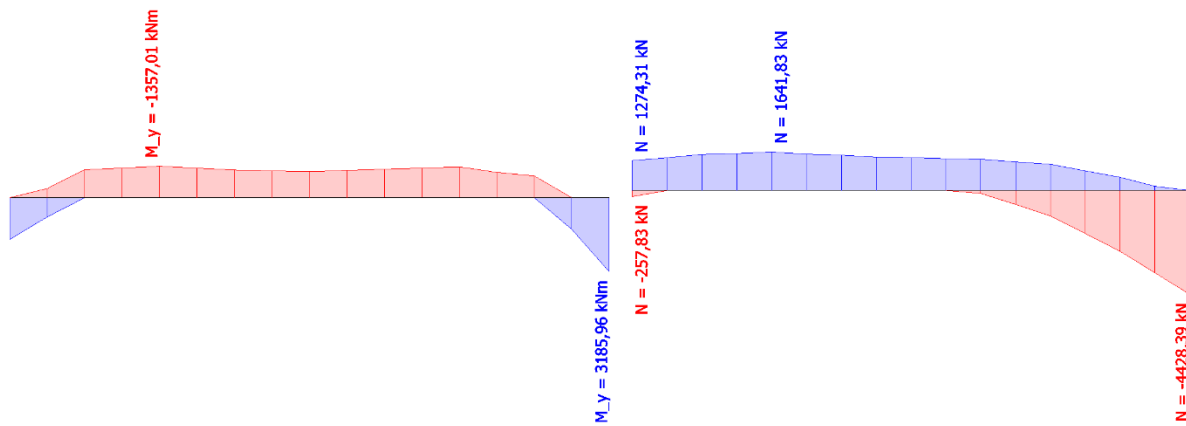
Slika 173. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)



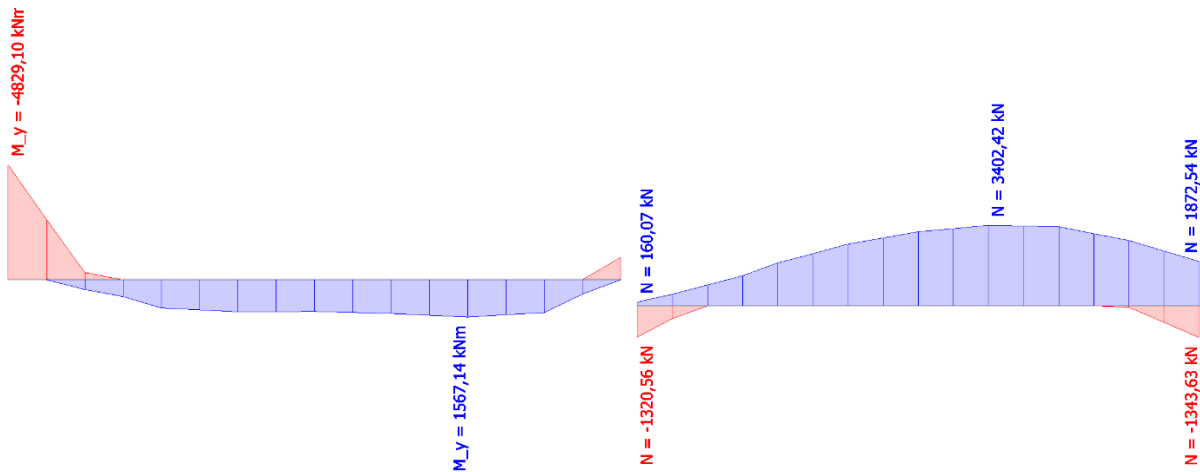
Slika 174. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)

Tablica 75. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-4428,39	3185,96
-1320,56	-4829,10



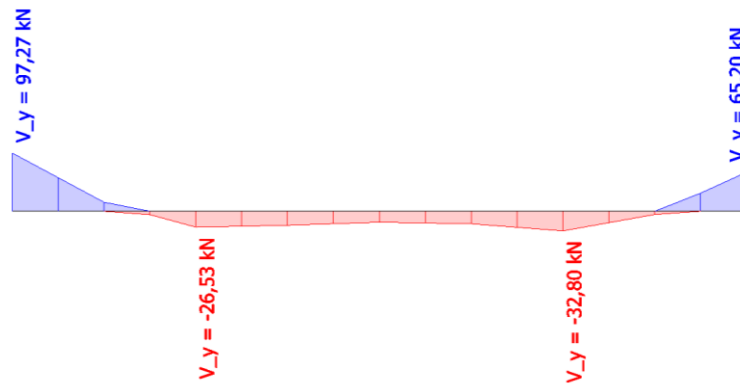
Slika 175. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)



Slika 176. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)

Tablica 76. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija)

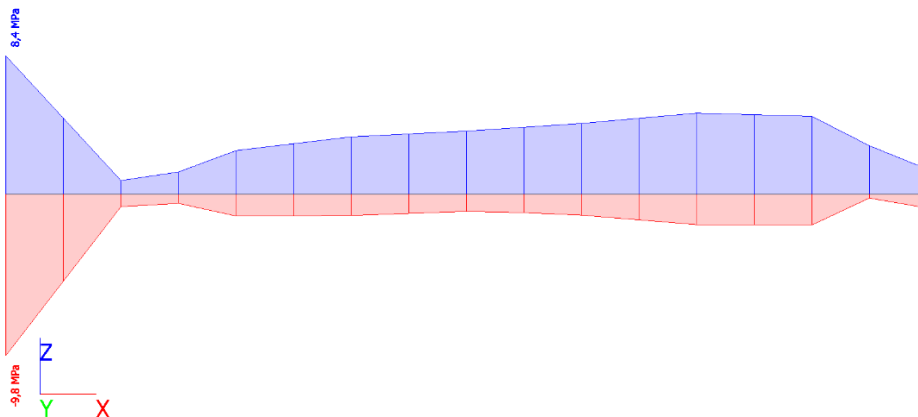
dx [m]	V [kN]
0,000	<b>97,72</b>
4,000	<b>65,20</b>



Slika 177. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 77. Mjerodavna naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
<b>-9,8</b>
<b>8,4</b>

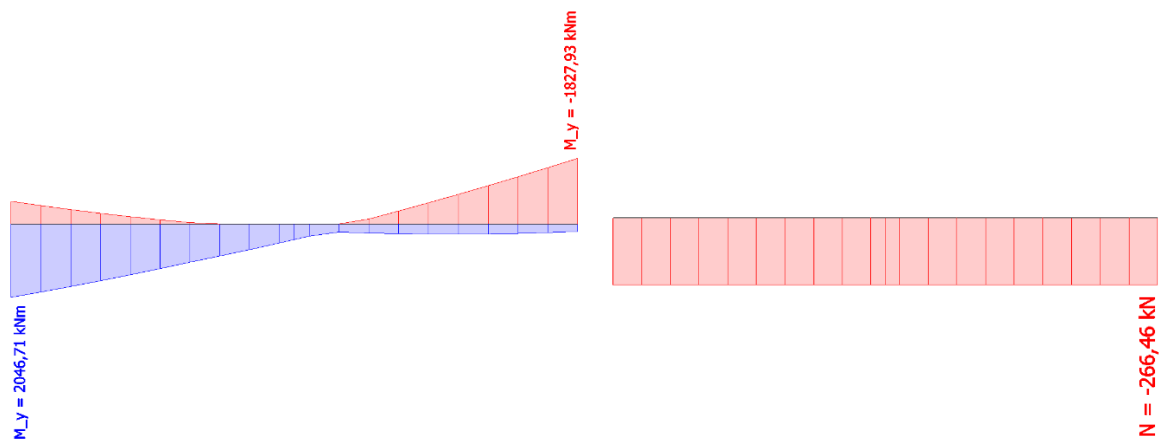


Slika 178. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija)

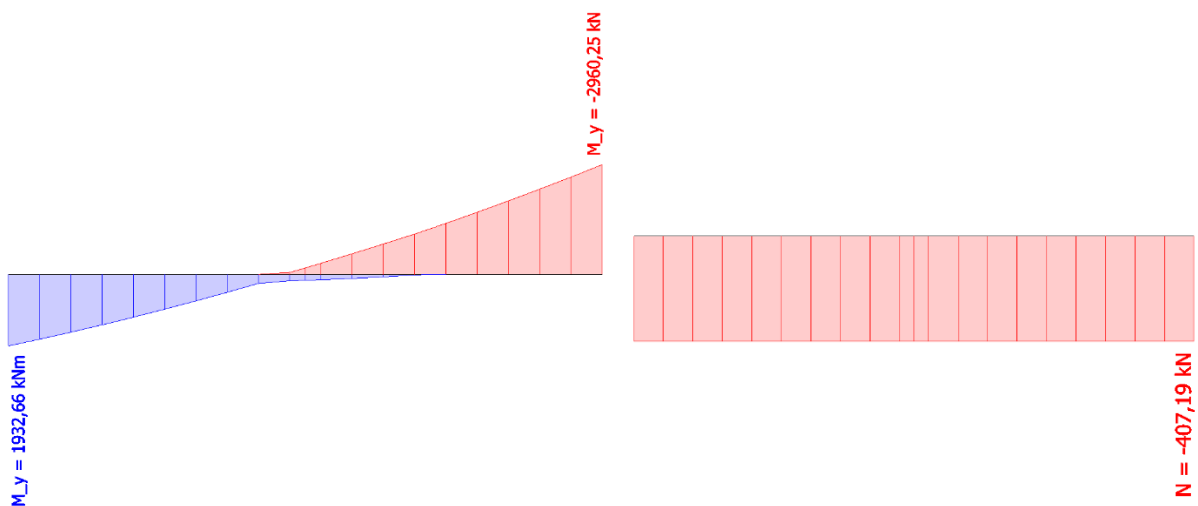
## Grede dimenzija 120/100 cm

Tablica 78. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-266,46	2046,71
-407,19	-2960,25



Slika 179. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija)

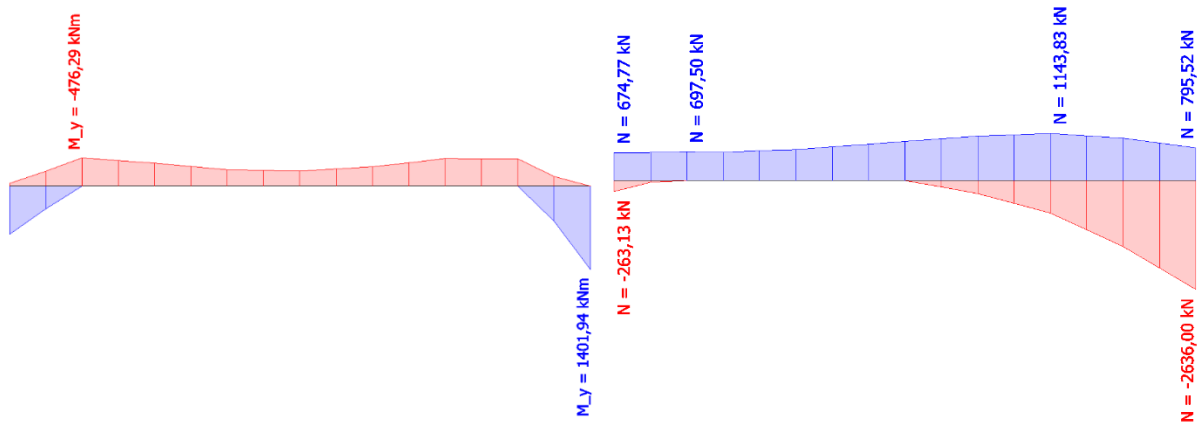


Slika 180. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija)

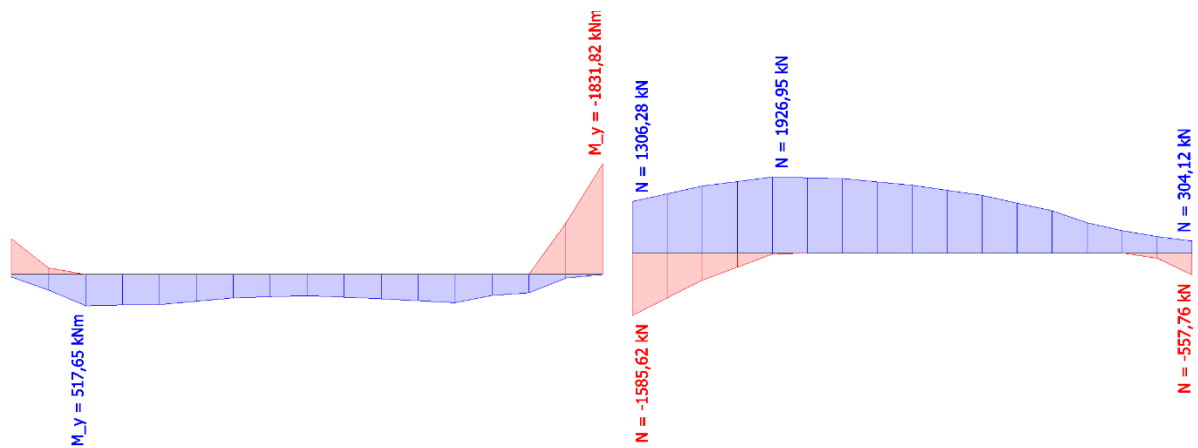


Tablica 79. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-2636,00	1401,94
-557,76	-1831,82



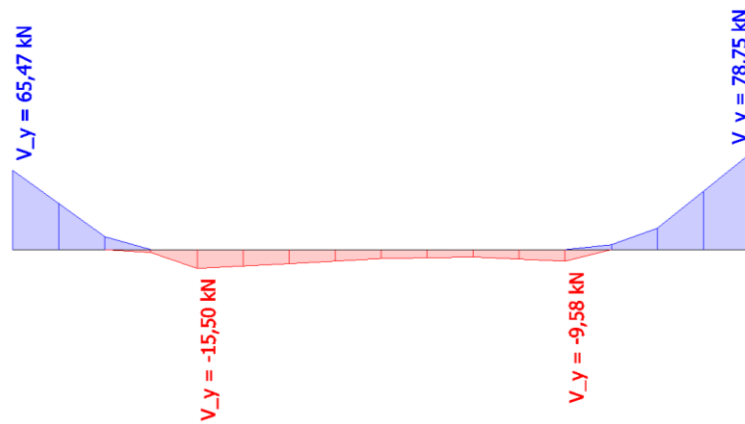
Slika 181. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)



Slika 182. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)

Tablica 80. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija)

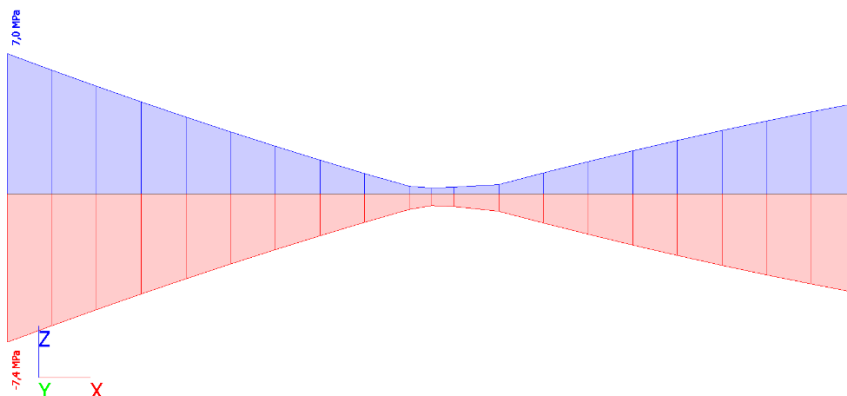
dx [m]	V [kN]
0,000	<b>65,47</b>
4,000	<b>78,75</b>



Slika 183. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 81. Mjerodavna naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
<b>-7,4</b>
<b>7,0</b>

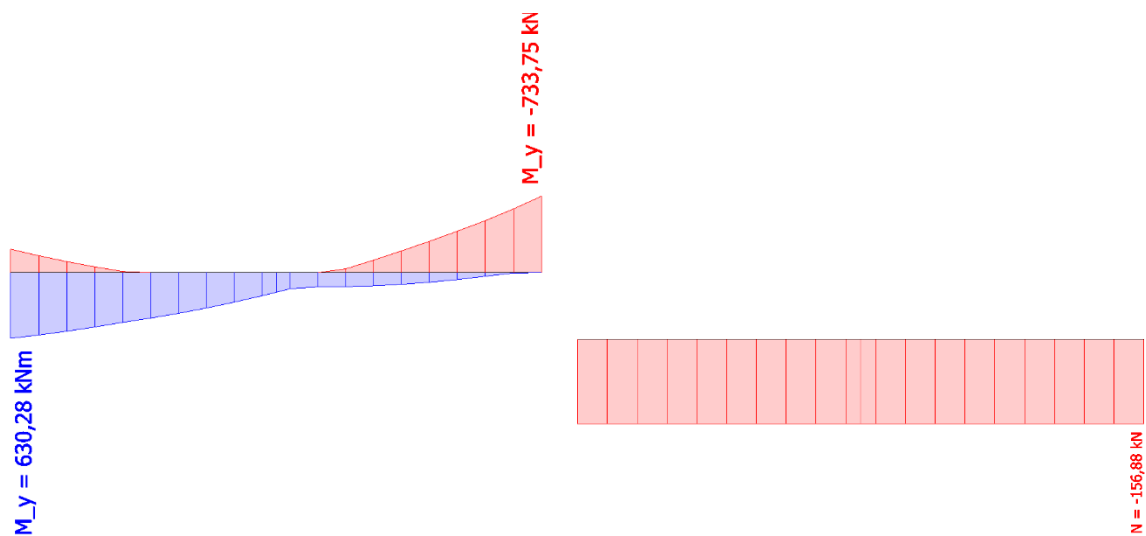


Slika 184. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija)

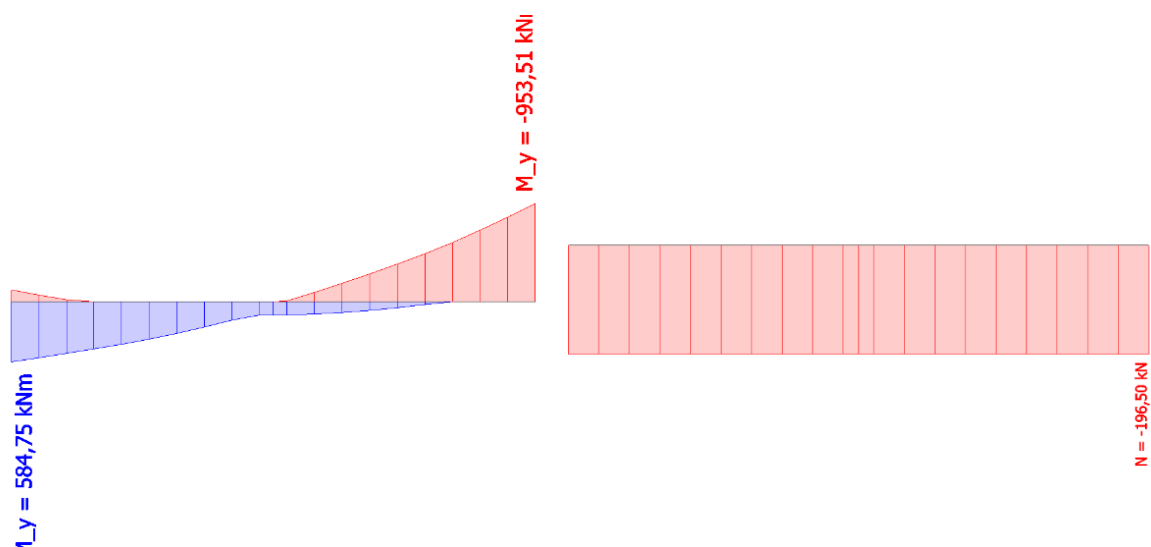
## Grede dimenzija 100/100 cm

Tablica 82. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-156,88	630,28
-196,50	-953,51



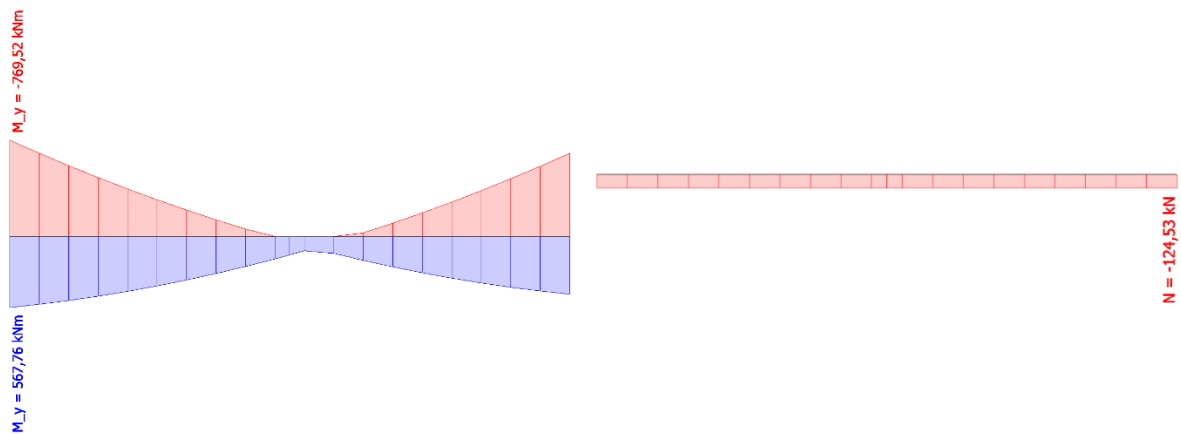
Slika 185. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)



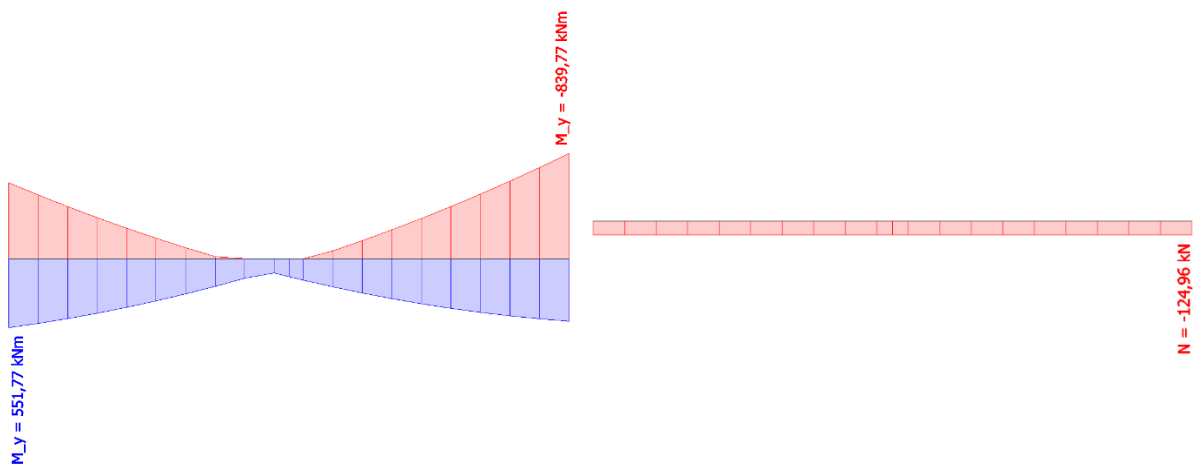
Slika 186. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)

Tablica 83. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)

N [kN]	M [kNm]
-124,53	567,76
-124,96	-839,77



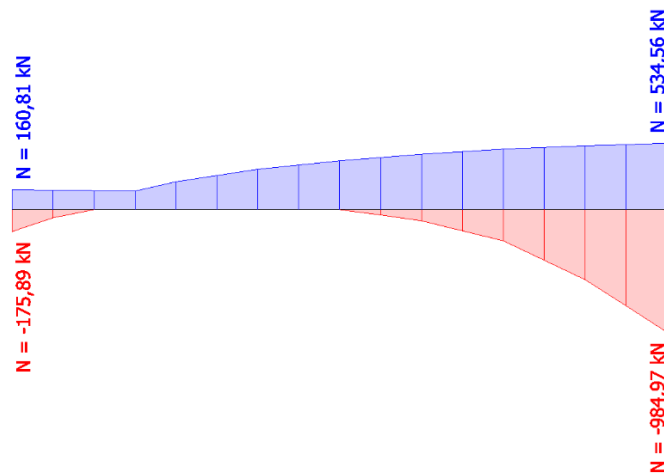
Slika 187. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)



Slika 188. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)

Tablica 84. Najveća mjerodavna tlačna sila za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)

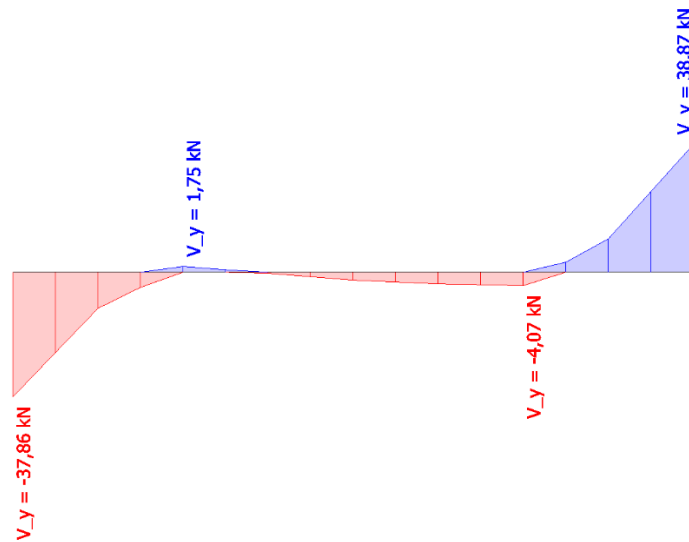
dx [m]	V [kN]
0,000	<b>-175,89</b>
4,000	<b>-984,97</b>



Slika 189. Grafički prikaz mjerodavne tlačne sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)

Tablica 85. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija)

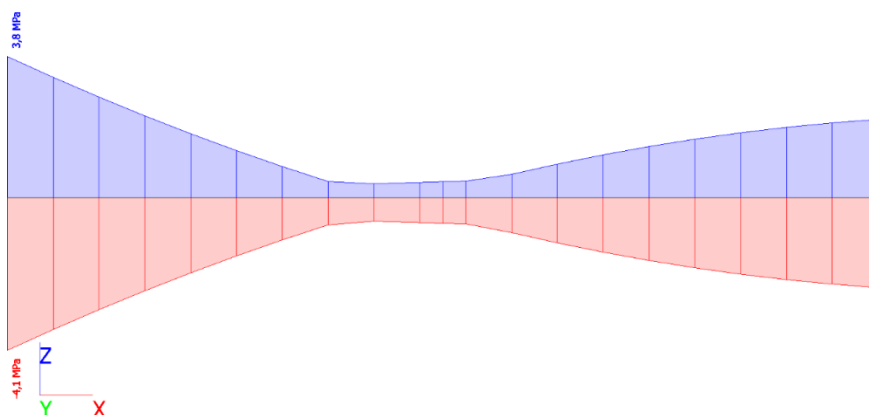
dx [m]	V [kN]
0,000	<b>-37,86</b>
4,000	<b>38,87</b>



Slika 190. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija)

Tablica 86. Mjerodavna naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija)

$\sigma_x$ [MPa]
-4,1
3,9



Slika 191. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija)

## 5. DIMENZIONIRANJE

Dimenzioniranje obuhvaća zadovoljavanje graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti. Dimenzioniranje se provodi prema EN 1992 [14] I PREMA EN1998 [11]. Provest će se dimenzioniranje svih elemenata zgrade (ploče, zidova jezgre, outrigger zidova, stupova i greda).

### 5.1. Trajnost i zaštitni sloj

Prema normi [14] beton je svrstan u razred izloženosti XC1, budući da se radi o betonu unutar zgrade s malom vlažnošću zraka. Preporučeni razred konstrukcije je S4, međutim on se može korigirati u skladu s normom, kao što je prikazano u tablici 18. Budući da se koristi beton klase C50/60, razred konstrukcije se može smanjiti za 1 pa se dobiva razred S3, a za ploče se može smanjiti za još jedan pa je dobiveni razred S2.

Zaštitni sloj dobiva se pomoću izraza iz norme [14]:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev},$$

gdje je:  $c_{min}$  minimalni zaštitni sloj

$\Delta c_{dev}$  odstupanje u projektu, preporučena vrijednost je 10 mm

Minimalni zaštitni sloj dobiva se pomoću izraza iz norme [14]:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm\},$$

gdje je:  $c_{min,b}$  najmanji zaštitni sloj zbog zahtjeva prijanjanja,

$c_{min,dur}$  najmanji zaštitni sloj zbog uvjeta okoliša,

$\Delta c_{dur,\gamma}$  dodatni element sigurnosti,

$\Delta c_{dur,st}$  smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja za upotrebu nehrđajućeg čelika,

$\Delta c_{dur,add}$  smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja za upotrebu dodatne zaštite.

Tablica 87. Preporučena razredba konstrukcija (Izvor: [14])

Razred konstrukcije							
Kriterij	Razred izloženosti prema tablici 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Proračunski uporabni vijek 100 godina	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2
Razred čvrstoće <sup>1)2)</sup>	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C35/45 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C45/55 smanjiti razred za 1
Element pločaste geometrije (proces gradnje nema utjecaja na položaj armature )	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1
Osigurana posebna kontrola kvalitete proizvodnje betona	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1

NAPOMENE:

1. Razred čvrstoće i vodocementni omjer međusobno su povezani. Smije se razmotriti poseban sastav (vrsta cementa, vodocementni omjer, fina punila) s namjerom postignuća male propusnosti.
2. Ograničenje se smije smanjiti za jedan razred čvrstoće ako je uvučenoga zraka više od 4 %.

Tablica 88. Vrijednost  $c_{min,dur}$  (Izvor: [14])

Zahtjevi okoliša za $c_{min,dur}$ [mm]							
Razred konstrukcije	Razred izloženosti u skladu s tablicom 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

$$c_{min} = \max\{20; 20 + 0 - 0; 10\text{mm}\} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$



## 5.2. Ploče

### 5.2.1. Međukatna ploča

#### 5.2.1.1. Granično stanje nosivosti

Proračun graničnog stanja nosivosti ploče radi se prema normi EN 1992 [14]. Za potrebe ovog proračuna korištene su tablice iz knjige *Betonske konstrukcije 1* [15].

Mjerodavni momenti za dimenzioniranje međukatne ploče nalaze se u tablici 18. Moment za određivanje armature u x smjeru u donjoj zoni iznosi 100 kNm, u gornjoj zoni 262 kNm, a moment za određivanje armature u y smjeru u donjoj zoni iznosi 91 kNm, u gornjoj zoni 253 kNm.

Materijali:

Beton	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
Koeficijent dugotrajnih učinaka:	$\alpha_{cc} = 1,0$
Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton:	$\gamma_c = 1,5$
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
Granični mehanički koeficijent armiranja:	$\omega_{lim} = 0,365$
Čelik	B500B
Karakteristična granica popuštanja:	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

#### ***Donja zona (pozitivan moment)***

*Smjer x*

Geometrija:

Visina:	$h = 25 \text{ cm}$
Zaštitni sloj betona:	$c = 3 \text{ cm}$

Promjer armature smjer x:	$\emptyset 8$
Širina presjeka:	$b = 100 \text{ cm}$
Udaljenost do težišta armature:	$d_1 = 3,4 \text{ cm}$
Statička visina presjeka:	$d = 21,6 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:	$M_{Ed} = 33 \text{ kNm/m}$
Bezdimenzijski moment savijanja:	$\mu_{Ed} = 0,021$
Bezdimenzijski moment otpornosti:	$\mu_{Rd} = 0,023$
$\varepsilon_c = -1,1 \text{ ‰}$	$\xi = 0,052$
$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰}$	$\zeta = 0,982$
Potrebna površina armature:	$A_{s1,req} = 3,58 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,61 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 60,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 8/10 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

*Smjer y*

Geometrija:

Visina:	$h = 25 \text{ cm}$
Zaštitni sloj betona:	$c = 3 \text{ cm}$
Promjer armature smjer x:	$\emptyset 8$
Promjer armature smjer y:	$\emptyset 8$
Širina presjeka:	$b = 100 \text{ cm}$
Udaljenost do težišta armature:	$d_1 = 4,2 \text{ cm}$
Statička visina presjeka:	$d = 20,8 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:  $M_{Ed} = 35 \text{ kNm/m}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,024$

Bezdimenzijski moment otpornosti:  $\mu_{Rd} = 0,027$

$$\varepsilon_c = -1,2 \text{ ‰} \quad \xi = 0,057$$

$$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,980$$

Potrebna površina armature:  $A_{s1,req} = 3,95 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,70 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 58,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 8/10 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### ***Gornja zona (negativan moment)***

*Smjer x*

Geometrija:

Visina:  $h = 25 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona:  $c = 3 \text{ cm}$

Promjer armature smjer x:  $\emptyset 10$

Širina presjeka:  $b = 100 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = 3,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = 21,5 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:  $M_{Ed} = 56 \text{ kNm/m}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,036$

Bezdimenzijski moment otpornosti:  $\mu_{Rd} = 0,038$

$$\varepsilon_c = -1,5 \text{ ‰} \quad \xi = 0,070$$

$$\varepsilon_s = 10 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,975$$

Potrebna površina armature:  $A_{s1,req} = 6,14 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,78 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 60,16 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 10/12 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 6,28 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

*Smjer y*

Geometrija:

Visina:  $h = 25 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona:  $c = 3 \text{ cm}$

Promjer armature smjer x:  $\emptyset 10$

Promjer armature smjer y:  $\emptyset 10$

Širina presjeka:  $b = 100 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = 4,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = 20,5 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:  $M_{Ed} = 57 \text{ kNm/m}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,041$

Bezdimenzijski moment otpornosti:  $\mu_{Rd} = 0,042$

$$\varepsilon_c = -1,7 \text{ ‰} \quad \xi = 0,074$$

$$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,973$$

Potrebna površina armature:  $A_{s1,req} = 6,57 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 57,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura: 10/11 cm ( $A_{s1,prov} = 7,14 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### 5.2.1.2. Granično stanje uporabljivosti

Proračun graničnog stanja uporabljivosti ploče radi se prema normi EN 1992 [14].

#### **Kontrola naprezanja**

Potrebno je napraviti provjeru tlačnog naprezanja betona. Provjera se radi za karakterističnu kombinaciju, a kritična vrijednost tlačnog naprezanja prema normi [14] je  $0,6f_{ck}$ . Ukoliko se premaši kritična vrijednost, može doći do pojave uzdužnih pukotina u betonu što dovodi do smanjenja nosivosti.

Beton ploče: C50/60

Karakteristična čvrstoća betona:  $f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$

Kritična vrijednost tlačnog naprezanja:  $0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ N/mm}^2$

Najveće tlačno naprezanje međukatne ploče:  $\sigma_x = -3,9 \text{ N/mm}^2$  (tablica 19.)

Uvjet:  $\sigma_x = 3,9 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### **Kontrola progiba**

Prema normi [14], progib ne zadovoljava proračun ukoliko je veći od  $L/250$ , gdje je  $L$  raspon ploče. Provjeru je potrebno napraviti za nazovistalnu kombinaciju.

Najveći progib međukatne ploče:  $\delta_{tot} = 4,7 \text{ mm}$  (slika 61.)

Uvjet:  $\delta_{tot} = 4,7 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$  Uvjet je zadovoljen.

#### **Kontrola pukotina**

Prema normi [14] potrebno je napraviti kontrolu pukotina. Širina pukotine za nazovistalnu kombinaciju mora biti manja od granične vrijednosti. Granična vrijednost pukotine za razred izloženosti XC1 iznosi 0,4 mm.

Tablica 89. Preporučene granične vrijednosti pukotina,  $w_{max}$  (Izvor: [14])

Razred izloženosti	Armirani elementi i prednapeti elementi s neprijanjajućim nategama	Prednapeti elementi s prijanjajućim nategama
--------------------	--	--

	Nazovistalna kombinacija	Česta kombinacija
X0, XC1	0,4 mm	0,2 mm
XC2, XC3, XC4	0,3 mm	0,2 mm
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		Rastlačenje

Pukotine u međukatnoj ploči:  $w = 0,209$  mm (slika 62.)

Uvjet:  $w = 0,209 < w_{\max} = 0,4$  mm Uvjet je zadovoljen.

### 5.2.2. Krovna ploča

#### 5.2.2.1. Granično stanje nosivosti

Mjerodavni momenti za dimenzioniranje krovne ploče nalaze se u tablici 20. Moment za određivanje armature u x smjeru u donjoj zoni iznosi 74 kNm, u gornjoj zoni 110 kNm, a moment za određivanje armature u y smjeru u donjoj zoni iznosi 28 kNm, u gornjoj zoni 25 kNm.

Materijali:

Beton	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50$ N/mm <sup>2</sup>
Koeficijent dugotrajnih učinaka:	$\alpha_{cc} = 1,0$
Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton:	$\gamma_c = 1,5$
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33$ N/mm <sup>2</sup>
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1$ N/mm <sup>2</sup>
Granični mehanički koeficijent armiranja:	$\omega_{lim} = 0,365$
Čelik	B500B
Karakteristična granica popuštanja:	$f_{yk} = 500$ N/mm <sup>2</sup>
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78$ N/mm <sup>2</sup>

#### ***Donja zona (pozitivni moment)***

*Smjer x*

## Geometrija:

Visina:	$h = 25 \text{ cm}$
Zaštitni sloj betona:	$c = 3 \text{ cm}$
Promjer armature smjer x:	$\emptyset 8$
Širina presjeka:	$b = 100 \text{ cm}$
Udaljenost do težišta armature:	$d_1 = 3,4 \text{ cm}$
Statička visina presjeka:	$d = 21,6 \text{ cm}$

## Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:	$M_{Ed} = 30 \text{ kNm/m}$
Bezdimenzijski moment savijanja:	$\mu_{Ed} = 0,019$
Bezdimenzijski moment otpornosti:	$\mu_{Rd} = 0,020$
$\varepsilon_c = -1 \text{ ‰}$	$\xi = 0,048$
$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰}$	$\zeta = 0,983$
Potrebna površina armature:	$A_{s1,req} = 3,25 \text{ cm}^2/\text{m}$

## Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,61 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 60,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 8/10 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

*Smjer y*

## Geometrija:

Visina:	$h = 25 \text{ cm}$
Zaštitni sloj betona:	$c = 3 \text{ cm}$
Promjer armature smjer x:	$\emptyset 8$
Promjer armature smjer y:	$\emptyset 8$

Širina presjeka:  $b = 100 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = 4,2 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = 20,8 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:  $M_{Ed} = 30 \text{ kNm/m}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,021$

Bezdimenzijski moment otpornosti:  $\mu_{Rd} = 0,023$

$$\varepsilon_c = -1,1 \text{ ‰} \quad \xi = 0,052$$

$$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,982$$

Potrebna površina armature:  $A_{s1,req} = 3,38 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,70 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 58,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 8/10 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### ***Gornja zona (negativni moment)***

*Smjer x*

Geometrija:

Visina:  $h = 25 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona:  $c = 3 \text{ cm}$

Promjer armature smjer x:  $\emptyset 10$

Širina presjeka:  $b = 100 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = 3,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = 21,5 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:  $M_{Ed} = 50 \text{ kNm/m}$



Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,032$

Bezdimenzijski moment otpornosti:  $\mu_{Rd} = 0,034$

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \xi = 0,065$$

$$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature:  $A_{s1,req} = 5,47 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 60,16 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 10/14 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 5,61 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

*Smjer y*

Geometrija:

Visina:  $h = 25 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona:  $c = 3 \text{ cm}$

Promjer armature smjer x:  $\emptyset 10$

Promjer armature smjer y:  $\emptyset 10$

Širina presjeka:  $b = 100 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = 4,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = 20,5 \text{ cm}$

Proračun potrebne armature:

Proračunski moment savijanja:  $M_{Ed} = 50 \text{ kNm/m}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,036$

Bezdimenzijski moment otpornosti:  $\mu_{Rd} = 0,038$

$$\varepsilon_c = -1,6 \text{ ‰} \quad \xi = 0,070$$

$$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,975$$

Potrebna površina armature:  $A_{s1,req} = 5,75 \text{ cm}^2/\text{m}$

Provjera minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 2,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 4,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}/f_{yd} = 57,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 10/13 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 6,04 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

#### 5.2.2.2. Granično stanje uporabljivosti

Proračun graničnog stanja uporabljivosti ploče radi se prema normi EN 1992 [14].

##### **Kontrola naprezanja**

Potrebno je napraviti provjeru tlačnog naprezanja betona. Provjera se radi za karakterističnu kombinaciju, a kritična vrijednost tlačnog naprezanja prema normi [14] je  $0,6f_{ck}$ . Ukoliko se premaši kritična vrijednost, može doći do pojave uzdužnih pukotina u betonu što dovodi do smanjenja nosivosti.

Beton ploče:	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
Kritična vrijednost tlačnog naprezanja:	$0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ N/mm}^2$
Najveće tlačno naprezanje krovne ploče:	$\sigma_x = - 3,5 \text{ N/mm}^2$ (tablica 21.)

Uvjet:  $\sigma_x = 3,5 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

##### **Kontrola progiba**

Prema normi [14], progib ne zadovoljava proračun ukoliko je veći od  $L/250$ , gdje je  $L$  raspon ploče. Provjeru je potrebno napraviti za nazovistalnu kombinaciju.

Najveći progib krovne ploče:  $\delta_{tot} = 4,8 \text{ mm}$  (slika 68.)

Uvjet:  $\delta_{tot} = 4,8 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$  Uvjet je zadovoljen.

##### **Kontrola pukotina**

Prema normi [14] potrebno je napraviti kontrolu pukotina. Širina pukotine za nazovistalnu kombinaciju mora biti manja od granične vrijednosti. Granična vrijednost pukotine za razred izloženosti XC1 iznosi  $0,4 \text{ mm}$ .

Pukotine u krovnoj ploči:  $w = 0,350$  mm (slika 69.)

Uvjet:  $w = 0,350 < w_{\max} = 0,4$  mm Uvjet je zadovoljen.

### 5.2.3. Rekapitulacija armature ploča

Tablica 90. Rekapitulacija armature ploča

		Ploče	
		Međukatna ploča	Krovna ploča
Donja zona	smjer x	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm
	smjer y	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm
Gornja zona	smjer x	Ø10/12 cm	Ø10/14 cm
	smjer y	Ø10/11 cm	Ø10/13 cm

## 5.3. Zidovi jezgre

### 5.3.1. Granično stanje nosivosti

#### 5.3.1.1. Vitkost zida

Proračun duljine izvijanja i vitkosti radi se prema normi EN 1992-1 [14].

**Zidovi jezgre  $d = 80$  cm**

Materijali:

Beton C70/85

Karakteristična čvrstoća betona:  $f_{ck} = 70$  N/mm<sup>2</sup>

Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$

Parcijalni koef. sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 46,67$  N/mm<sup>2</sup>

Geometrija:

Svijetla visina zida:	$l_w = 3,85 \text{ m}$
Duljina zida:	$b = 8,80 \text{ m}$
Debljina zida:	$h = 80 \text{ cm}$
Vrijednost uzdužne sile:	$N_{Ed} = 205544 \text{ kN}$ (tablica 22.)

Proračun vitkosti:

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja elementa zida pridržanog na 4 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{b}\right)^2} = 0,839$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 3,23 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$A = b \cdot h = 7,04 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,375 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I / A = 0,053$$

$$i = 0,231$$

$$\lambda = l_0 / i = 13,99$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,626$$

Maksimalna vitkost zida:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 13,63, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 13,99 > \lambda_{lim} = 13,63$  Potreban je proračun prema teoriji 2. reda.

Proračun prema teoriji 2. reda:

Ekscentričnost prema teoriji 1. reda:  $e_0 = 0 \text{ cm}$

Kut nagiba prema vertikali:

$$\nu = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} = 0,00494 < \nu_{min} = 0,005$$

Ekscentričnost od puzanja: može se zanemariti

$$e_\varphi = 0 \text{ cm}$$

Dodatna ekscentričnost:

$$e_a = \nu \cdot \frac{l_0}{2} = 0,01 \text{ cm}$$

Ukupni ekscentricitet:

$$e_{tot} = e_0 + e_a + e_\varphi = 0,01 \text{ cm}$$

Kut zaokreta:

$$\Phi = 1,14 \cdot \left(1 - \frac{2e_{tot}}{b}\right) - 0,02 \cdot l_0/b \leq (1 - 2e_{tot}/b)$$

$$\Phi = 1,131 > 0,998$$

$$\Phi = 0,998$$

Proračunska otpornost:

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot \Phi = 327938 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$205544 \text{ kN} < 327938 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen.}$$

### **Zidovi jezgre $d = 70 \text{ cm}$**

Materijali:

Beton C70/85

Karakteristična čvrstoća betona:  $f_{ck} = 70 \text{ N/mm}^2$

Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$

Parcijalni koef. sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 46,67 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetla visina zida:  $l_w = 3,85 \text{ m}$

Duljina zida:  $b = 8,70 \text{ m}$

Debljina zida:  $h = 70 \text{ cm}$

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 102532 \text{ kN}$  (tablica 25.)

Proračun vitkosti:

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja elementa zida pridržanog na 4 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{b}\right)^2} = 0,836$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 3,22 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$A = b \cdot h = 6,09 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,249 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,041$$

$$i = 0,202$$

$$\lambda = l_0/i = 15,93$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,361$$

Maksimalna vitkost zida:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 17,95, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 15,93 < \lambda_{lim} = 17,95$  Nije potreban proračun po teoriji 2. reda.

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 284200 \text{ kN}$$

102532 kN < 284200 kN Uvjet je zadovoljen.

### **Zidovi jezgre $d = 60 \text{ cm}$**

Materijali:

Beton C70/85

Karakteristična čvrstoća betona:  $f_{ck} = 70 \text{ N/mm}^2$

Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$

Parcijalni koef. sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 46,67 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetla visina zida:  $l_w = 3,85 \text{ m}$

Duljina zida:  $b = 8,60 \text{ m}$

Debljina zida:  $h = 60 \text{ cm}$

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 48704 \text{ kN}$  (tablica 28.)

Proračun vitkosti:

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja elementa zida pridržanog na 4 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{b}\right)^2} = 0,833$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 3,21 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$A = b \cdot h = 5,16 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,155 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I / A = 0,03$$

$$i = 0,173$$

$$\lambda = l_0 / i = 18,52$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,202$$

Maksimalna vitkost zida:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 23,97, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 18,52 < \lambda_{lim} = 23,97$  Nije potreban proračun po teoriji 2. reda.

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 206400 \text{ kN}$$

48704 kN < 240800 kN Uvjet je zadovoljen.

### 5.3.1.2. Proračun nosivosti zida u potresnom području

Proračun nosivosti zida u potresnom području radi se prema normi EN 1998 [18]. Za potrebe ovog proračuna korištene su tablice iz knjige *Betonske konstrukcije 1* [15].

#### **Zidovi jezgre $d = 80 \text{ cm}$**

Unutarnje sile za dimenzioniranje (tablica 23.):

$$N_{Ed} = 132784 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 5870 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 900 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 37888 \text{ kNm}$$

## Materijali:

Beton	C70/85
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 46,67 \text{ N/mm}^2$
Čelik:	B500B
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

## Geometrija:

Debljina zida:	$b_w = 80 \text{ cm}$
Duljina zida:	$l_w = 880 \text{ cm}$
Visina zida:	$h_w = 385 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_e = 410 \text{ cm}$
Svijetla visina etaže:	$h_s = 385 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3,0 \text{ cm}$

## Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_c,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_c / T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_c.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_c = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

## Normalizirano osno opterećenje:

Vrijednost normaliziranog osnog opterećenja u primarnim potresnim zidovima ne smije biti veća od 0,4.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = 0,4$$

## Horizontalna armatura hrpta:



Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu i postavlja se uz svaki rub zida.

Pretpostavljeni promjer armature je  $\emptyset 12$ .

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 11,79 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

Statička visina:  $d = 75,2 \text{ cm}$

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,014$$

Za  $\omega = 0,013 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,013$

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 301904 \text{ kNcm} = 3019 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 900 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 3019 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura hrpta:

$$A_{sw, \min} = 0,001 \cdot A_c = 8,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{sw, \max} = 0,02 \cdot A_c = 160,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

Horizontalna:  $\emptyset 12/10 \text{ cm}$  ( $11,31 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Vertikalna:  $\emptyset 12/14 \text{ cm}$  ( $8,08 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Uzdužna armatura kritičnog područja:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = -0,404$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0,013$$

$$\omega_{Ed} = 0,0163$$

$$\text{Potrebna armatura na svakom kraju zida: } A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 105,79 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 22  $\emptyset 25$  ( $108,02 \text{ cm}^2$ )

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max\left(l_w; \frac{h_w}{6}\right) \leq (2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s)$$

$$h_{cr} = 880 \text{ cm} > 770 \text{ cm}$$

$$h_{cr} = 770 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

Pretpostavljaju se spone  $\emptyset 20$ .

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 72 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:  $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$

$$\text{Relativna deformacija armature pri popuštanju: } \varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{h \cdot b_w \cdot f_{cd}} = 0,026$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja I koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} = 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,255$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,029$$

$$\text{Duljina tlačnog područja: } x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = 420,95 \text{ cm}$$

$$\text{Duljina kritičnog područja: } l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 370,08 \text{ cm}$$

$$\text{Minimalna duljina kritičnog područja: } l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w) = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Konačna duljina kritičnog područja: } l_c = 371 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura:

Koeficijent armiranja mora biti veći od 0.5% i manji od 4% kritičnog područja:

$$\rho_s = \frac{A_{s,prov}}{l_c \cdot b_0} = 0,008 = 0,8 \text{ ‰}$$

Debljina ovijenog dijela zida:

Uvjeti: 1) minimalno 20 cm

$$2) \text{ za } l_c \leq 2 \cdot b_w \text{ ili } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{15} = 25,67 \text{ cm}$$

$$3) \text{ za } l_c > 2 \cdot b_w \text{ i } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{10} = 38,5 \text{ cm}$$

$$l_c = 372 \text{ cm} > 2 \cdot b_w = 160 \text{ cm}$$

$$l_c = 372 \text{ cm} > 0,2 \cdot l_w = 176 \text{ cm}$$

Debljina zida od 80 cm zadovoljava uvjet ( $> 38,5 \text{ cm}$ ).

Spone kritičnog područja:

Pretpostavljeni promjer spona je  $\emptyset 20$ , a pretpostavljeni razmak spona je 5 cm.

Maksimalan razmak spona:  $s_{max} = \min\left(\frac{b_0}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \cdot d_{bl}\right) = 17,5 \text{ cm}$

Razmak vertikalne armature uzdužno:  $b_{i,u} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 17,21 \text{ cm}$

Razmak vertikalne armature poprečno:  $b_{i,u} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 67,5 \text{ cm}$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka:  $\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,87$

Faktor učinkovitosti po visini elementa:  $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,96$

Faktor djelotvornosti ovijanja:  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,83$

Obujam spona:  $\frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = 4591 \text{ cm}^2$

Obujam ovijenog betona:  $s \cdot b_0 \cdot h_0 = 133560 \text{ cm}^2$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,320$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,266 \geq 0,255$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 20/5 \text{ cm}$

### **Zidovi jezgre $d = 70 \text{ cm}$**

Unutarnje sile za dimenzioniranje (tablica 26.):

$$N_{Ed} = 68582 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 3238 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 271 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 20264 \text{ kNm}$$

Materijali:

Beton C70/85

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 46,67 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Debljina zida:	$b_w = 70 \text{ cm}$
Duljina zida:	$l_w = 870 \text{ cm}$
Visina zida:	$h_w = 385 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_e = 410 \text{ cm}$
Svijetla visina etaže:	$h_s = 385 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3,0 \text{ cm}$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_c,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_c / T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_c.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_c = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Normalizirano osno opterećenje:

Vrijednost normaliziranog osnog opterećenja u primarnim potresnim zidovima ne smije biti veća od 0,4.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = 0,24$$

Horizontalna armatura hrpta:

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu i postavlja se uz svaki rub zida. Pretpostavljeni promjer armature je  $\varnothing 10$ .

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 14,67 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

Statička visina:  $d = 65,5 \text{ cm}$

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,010$$

$$\text{Za } \omega = 0,007 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,007$$

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 121929 \text{ kNcm} = 1219,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 271 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 1219,3 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura hrpta:

$$A_{sw, \min} = 0,001 \cdot A_c = 7,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{sw, \max} = 0,02 \cdot A_c = 140,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

Horizontalna:  $\emptyset 10/11 \text{ cm}$  ( $7,14 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Vertikalna:  $\emptyset 10/11 \text{ cm}$  ( $7,14 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Uzdužna armatura kritičnog područja:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = -0,241$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0,008$$

$$\omega_{Ed} = 0,014$$

$$\text{Potrebna armatura na svakom kraju zida: } A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 91,51 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 19 $\emptyset 25$  ( $98,2 \text{ cm}^2$ )

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max(l_w; \frac{h_w}{6}) \leq (2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s)$$

$$h_{cr} = 870 \text{ cm} > 770 \text{ cm}$$

$$h_{cr} = 770 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

Pretpostavljaju se spone  $\emptyset 16$ .

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 62,4 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:  $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$

$$\text{Relativna deformacija armature pri popuštanju: } \varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{h \cdot b_w \cdot f_{cd}} = 0,019$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja I koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,142$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,018$$

$$\text{Duljina tlačnog područja: } x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = 254,06 \text{ cm}$$

$$\text{Duljina kritičnog područja: } l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 203,77 \text{ cm}$$

$$\text{Minimalna duljina kritičnog područja: } l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w) = 130,5 \text{ cm}$$

$$\text{Konačna duljina kritičnog područja: } l_c = 204 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura:

Koeficijent armiranja mora biti veći od 0.5% i manji od 4% kritičnog područja:

$$\rho_s = \frac{A_{s,prov}}{l_c \cdot b_0} = 0,015 = 1,5\%$$

Debljina ovijenog dijela zida:

Uvjeti: 1) minimalno 20 cm

$$2) \text{ za } l_c \leq 2 \cdot b_w \text{ ili } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{15} = 25,67 \text{ cm}$$

$$3) \text{ za } l_c > 2 \cdot b_w \text{ i } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{10} = 38,5 \text{ cm}$$

$$l_c = 204 \text{ cm} > 2 \cdot b_w = 140 \text{ cm}$$

$$l_c = 204 \text{ cm} > 0,2 \cdot l_w = 174 \text{ cm}$$

Debljina zida od 70 cm zadovoljava uvjet (> 38,5 cm).

Spone kritičnog područja:

Pretpostavljeni promjer spona je  $\emptyset 16$ , a pretpostavljeni razmak spona je 8 cm.

$$\text{Maksimalan razmak spona: } s_{max} = \min\left(\frac{b_0}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \cdot d_{bl}\right) = 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature uzdužno: } b_{i,u} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 10,85 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature poprečno: } b_{i,u} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 58,3 \text{ cm}$$

$$\text{Faktor učinkovitosti unutar presjeka: } \alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,86$$

$$\text{Faktor učinkovitosti po visini elementa: } \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,92$$

$$\text{Faktor djelotvornosti ovijanja: } \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,78$$

$$\text{Obujam spona: } \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = 2074 \text{ cm}^2$$

$$\text{Obujam ovijenog betona: } s \cdot b_0 \cdot h_0 = 101837 \text{ cm}^2$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,190$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,149 \geq 0,142$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 16/8 \text{ cm}$

**Zidovi jezgre  $d = 60 \text{ cm}$**

Unutarnje sile za dimenzioniranje (tablica 29.):

$$N_{Ed} = 37106 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2785 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 126 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 14064 \text{ kNm}$$

Materijali:

Beton C70/85

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 46,67 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Debljina zida:  $b_w = 60 \text{ cm}$

Duljina zida:  $l_w = 860 \text{ cm}$

Visina zida:  $h_w = 385 \text{ cm}$

Visina etaže:  $h_e = 410 \text{ cm}$

Svijetla visina etaže:  $h_s = 385 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3,0 \text{ cm}$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_C.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_C = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti

$$\text{uvećati za 50\%: } \mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$$

Normalizirano osno opterećenje:

Vrijednost normaliziranog osnovog opterećenja u primarnim potresnim zidovima ne smije biti veća od 0,4.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = 0,15$$

Horizontalna armatura hrpta:

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu i postavlja se uz svaki rub zida.

Pretpostavljeni promjer armature je  $\emptyset 10$ .

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 16,86 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

Statička visina:  $d = 55,5 \text{ cm}$

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,010$$

$$\text{Za } \omega = 0,009 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,009$$

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 111259 \text{ kNcm} = 1112,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 126 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 1112,6 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura hrpta:

$$A_{sw, \min} = 0,001 \cdot A_c = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$



$$A_{sw, \max} = 0,02 \cdot A_c = 120,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

Horizontalna:  $\emptyset 10/13 \text{ cm}$  ( $6,04 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Vertikalna:  $\emptyset 10/13 \text{ cm}$  ( $6,04 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Uzdužna armatura kritičnog područja:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = -0,154$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0,007$$

$$\omega_{Ed} = 0,014$$

$$\text{Potrebna armatura na svakom kraju zida: } A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 77,54 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura:  $16\emptyset 25$  ( $78,56 \text{ cm}^2$ )

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max(l_w; \frac{h_w}{6}) \leq (2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s)$$

$$h_{cr} = 860 \text{ cm} > 770 \text{ cm}$$

$$h_{cr} = 770 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

Pretpostavljaju se spona  $\emptyset 12$ .

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 52,8 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:  $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$

$$\text{Relativna deformacija armature pri popuštanju: } \varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{h \cdot b_w \cdot f_{cd}} = 0,019$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja I koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (\nu_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,084$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,012$$

$$\text{Duljina tlačnog područja: } x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = 168,92 \text{ cm}$$

$$\text{Duljina kritičnog područja: } l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 119,21 \text{ cm}$$

$$\text{Minimalna duljina kritičnog područja: } l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w) = 129 \text{ cm}$$

$$\text{Konačna duljina kritičnog područja: } l_c = 120 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura:

Koeficijent armiranja mora biti veći od 0.5% i manji od 4% kritičnog područja:

$$\rho_s = \frac{A_{s,prov}}{I_c \cdot b_0} = 0,025 = 2,5\%$$

Debljina ovijenog dijela zida:

Uvjeti: 1) minimalno 20 cm

$$2) \text{ za } l_c \leq 2 \cdot b_w \text{ ili } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{15} = 25,67 \text{ cm}$$

$$3) \text{ za } l_c > 2 \cdot b_w \text{ i } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{10} = 38,5 \text{ cm}$$

$$l_c = 120 \text{ cm} = 2 \cdot b_w = 120 \text{ cm}$$

$$l_c = 120 \text{ cm} < 0,2 \cdot l_w = 172 \text{ cm}$$

Debljina zida od 60 cm zadovoljava uvjet ( $> 25,67$  cm).

Spone kritičnog područja:

Pretpostavljeni promjer spona je  $\emptyset 12$ , a pretpostavljeni razmak spona je 10 cm.

$$\text{Maksimalan razmak spona: } s_{max} = \min\left(\frac{b_0}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \cdot d_{bl}\right) = 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature uzdužno: } b_{i,u} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 7,47 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature poprečno: } b_{i,u} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 49,1 \text{ cm}$$

$$\text{Faktor učinkovitosti unutar presjeka: } \alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,83$$

$$\text{Faktor učinkovitosti po visini elementa: } \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,87$$

$$\text{Faktor djelotvornosti ovijanja: } \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,72$$

$$\text{Obujam spona: } \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = 867 \text{ cm}^2$$

$$\text{Obujam ovijenog betona: } s \cdot b_0 \cdot h_0 = 63360 \text{ cm}^2$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,128$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,091 \geq 0,084$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 12/10$  cm

### 5.3.2. Granično stanje uporabljivosti

Proračun graničnog stanja uporabljivosti zidova radi se prema normi EN 1992 [14].

#### 5.3.2.1. Kontrola naprezanja

Potrebno je napraviti provjeru tlačnog naprezanja betona. Provjera se radi za karakterističnu kombinaciju, a kritična vrijednost tlačnog naprezanja prema normi [14] je  $0,6f_{ck}$ . Ukoliko se premaši kritična vrijednost, može doći do pojave uzdužnih pukotina u betonu što dovodi do smanjenja nosivosti.

Beton zidova jezgre:	C70/85
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 70 \text{ N/mm}^2$
Kritična vrijednost tlačnog naprezanja:	$0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 70 = 42 \text{ N/mm}^2$

#### **Zidovi jezgre $d = 80$ cm**

Najveće tlačno naprezanje zidova:  $\sigma_y = -28,6 \text{ N/mm}^2$  (tablica 24.)

Uvjet:  $\sigma_x = 28,6 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 42 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

#### **Zidovi jezgre $d = 70$ cm**

Najveće tlačno naprezanje zidova:  $\sigma_x = -20,7 \text{ N/mm}^2$  (tablica 27.)

Uvjet:  $\sigma_x = 20,7 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 42 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

#### **Zidovi jezgre $d = 60$ cm**

Najveće tlačno naprezanje zidova:  $\sigma_x = -11,7 \text{ N/mm}^2$  (tablica 30.)

Uvjet:  $\sigma_x = 11,7 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 42 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

### 5.3.3. Rekapitulacija armature zidova jezgre

Tablica 91. Rekapitulacija armature zidova jezgre

	Zidovi jezgre		
	d = 80 cm	d = 70 cm	d = 60 cm
Horizontalna armatura hrpta	Ø12/10 cm	Ø10/11 cm	Ø10/13 cm
Vertikalna armatura hrpta	Ø12/14 cm	Ø10/11 cm	Ø10/13 cm
Uzdužna armatura kritičnog područja	22 Ø25	19 Ø25	16Ø25
Spone kritičnog područja	Ø20/5 cm	Ø16/8 cm	Ø12/10

## 5.4. Outrigger zidovi

### 5.4.1. Granično stanje nosivosti

#### 5.4.1.1. Vitkost zida

Proračun duljine izvijanja i vitkosti radi se prema normi EN 1992-1 [14].

#### **Outrigger zidovi d = 80 cm**

Materijali:

Beton	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
Koeficijent dugotrajnih učinaka:	$\alpha_{cc} = 1,0$
Parcijalni koef. sigurnosti za beton:	$\gamma_c = 1,5$
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetla visina zida:	$l_w = 7,95 \text{ m}$
Duljina zida:	$b = 7,60 \text{ m}$
Debljina zida:	$h = 80 \text{ cm}$

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 85598 \text{ kN}$  (tablica 31.)

Proračun vitkosti:

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja elementa zida pridržanog na 3 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2} = 0,892$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 7,09 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$A = b \cdot h = 6,08 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,324 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,053$$

$$i = 0,231$$

$$\lambda = l_0/i = 30,69$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,422$$

Maksimalna vitkost zida:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 16,59, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 30,69 > \lambda_{lim} = 16,59$  Potreban je proračun prema teoriji 2. reda.

Proračun prema teoriji 2. reda:

Ekscentričnost prema teoriji 1. reda:  $e_0 = 0 \text{ cm}$

Kut nagiba prema vertikali:

$$v = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} = 0,00494 < v_{min} = 0,005$$

Ekscentričnost od puzanja: može se zanemariti

$$e_\varphi = 0 \text{ cm}$$

Dodatna ekscentričnost:

$$e_a = v \cdot \frac{l_0}{2} = 0,02 \text{ cm}$$

Ukupni ekscentricitet:

$$e_{tot} = e_0 + e_a + e_\varphi = 0,02 \text{ cm}$$

Kut zaokreta:

$$\Phi = 1,14 \cdot \left(1 - \frac{2e_{tot}}{b}\right) - 0,02 \cdot l_0/b \leq (1 - 2e_{tot}/b)$$

$$\Phi = 1,116 > 0,995$$

$$\Phi = 0,995$$

Proračunska otpornost:

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot \Phi = 201733 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$85598 \text{ kN} < 201733 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen.}$$

### **Outrigger zidovi $d = 70 \text{ cm}$**

Materijali:

Beton C50/60

Karakteristična čvrstoća betona:  $f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$

Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$

Parcijalni koef. sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetla visina zida:  $l_w = 7,95 \text{ m}$

Duljina zida:  $b = 7,65 \text{ m}$

Debljina zida:  $h = 70 \text{ cm}$

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 18789 \text{ kN}$  (tablica 34.)

Proračun vitkosti:

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja elementa zida pridržanog na 3 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2} = 0,892$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 7,10 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$A = b \cdot h = 5,36 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,219 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,041$$

$$i = 0,202$$

$$\lambda = l_0/i = 35,13$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,116$$

Maksimalna vitkost zida:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 31,60, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 35,13 > \lambda_{lim} = 31,60$  Potreban je proračun prema teoriji 2. reda.

Proračun prema teoriji 2. reda:

Ekscentričnost prema teoriji 1. reda:  $e_0 = 0 \text{ cm}$

Kut nagiba prema vertikali:

$$v = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} = 0,00494 < v_{min} = 0,005$$

Ekscentričnost od puzanja: može se zanemariti

$$e_\varphi = 0 \text{ cm}$$

Dodatna ekscentričnost:

$$e_a = v \cdot \frac{l_0}{2} = 0,02 \text{ cm}$$

Ukupni ekscentricitet:

$$e_{tot} = e_0 + e_a + e_\varphi = 0,02 \text{ cm}$$

Kut zaokreta:

$$\Phi = 1,14 \cdot \left(1 - \frac{2e_{tot}}{b}\right) - 0,02 \cdot l_0/b \leq (1 - 2e_{tot}/b)$$

$$\Phi = 1,116 > 0,995$$

$$\Phi = 0,994$$

Proračunska otpornost:

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot \Phi = 177682 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

20773 kN < 177682 kN      Uvjet je zadovoljen.

### **Outrigger zidovi $d = 60$ cm**

Materijali:

Beton	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
Koeficijent dugotrajnih učinaka:	$\alpha_{cc} = 1,0$
Parcijalni koef. sigurnosti za beton:	$\gamma_c = 1,5$
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetla visina zida:	$l_w = 7,95 \text{ m}$
Duljina zida:	$b = 7,70 \text{ m}$
Debljina zida:	$h = 60 \text{ cm}$
Vrijednost uzdužne sile:	$N_{Ed} = 3829 \text{ kN}$ (tablica 37.)

Proračun vitkosti:

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja elementa zida pridržanog na 3 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2} = 0,894$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 7,11 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$A = b \cdot h = 4,62 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,139 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I / A = 0,030$$

$$i = 0,173$$

$$\lambda = l_0 / i = 41,04$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,025$$

Maksimalna vitkost zida:



$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 68,37, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$$\lambda = 41,04 < \lambda_{lim} = 68,37 \quad \text{Nije potreban proračun prema teoriji 2. reda.}$$

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 154000 \text{ kN}$$

$$3829 \text{ kN} < 154000 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen.}$$

#### 5.4.1.2. Proračun nosivosti zida u potresnom području

Proračun nosivosti zida u potresnom području radi se prema normi EN 1998 [18]. Za potrebe ovog proračuna korištene su tablice iz knjige *Betonske konstrukcije 1* [15].

#### **Outrigger zidovi $d = 80 \text{ cm}$**

Unutarnje sile za dimenzioniranje (tablica 32.):

$$N_{Ed} = 59346 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 10386 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 3214 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 99832 \text{ kNm}$$

Materijali:

Beton C50/60

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Debljina zida:  $b_w = 80 \text{ cm}$

Duljina zida:  $l_w = 760 \text{ cm}$

Visina zida:  $h_w = 795 \text{ cm}$

Visina etaže:  $h_e = 410 \text{ cm}$

Svijetla visina etaže:  $h_s = 385 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3,0 \text{ cm}$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_C.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_C = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Normalizirano osno opterećenje:

Vrijednost normaliziranog osnovog opterećenja u primarnim potresnim zidovima ne smije biti veća od 0,4.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = 0,29$$

Horizontalna armatura hrpta:

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu i postavlja se uz svaki rub zida.

Pretpostavljeni promjer armature je  $\emptyset 16$ .

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 10,23 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

Statička visina:  $d = 74,6 \text{ cm}$

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,037$$

Za  $\omega = 0,035 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,034$

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 479346 \text{ kNcm} = 4793,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 3214 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 4793,5 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura hrpta:

$$A_{sw, \min} = 0,001 \cdot A_c = 8,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{sw, \max} = 0,02 \cdot A_c = 160,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

Horizontalna:  $\emptyset 16/10$  cm (20,94 cm<sup>2</sup>/m' uz svaki rub zida)

Vertikalna:  $\emptyset 12/14$  cm (8,08 cm<sup>2</sup>/m' uz svaki rub zida)

Uzdužna armatura kritičnog područja:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = -0,293$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0,065$$

$$\omega_{Ed} = 0,0196$$

$$\text{Potrebna armatura na svakom kraju zida: } A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 91,36 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 19 $\emptyset 25$  (98,18 cm<sup>2</sup>)

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max(l_w; \frac{h_w}{6}) \leq (2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s)$$

$$h_{cr} = 760 \text{ cm} < 770 \text{ cm}$$

$$h_{cr} = 760 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

Pretpostavljaju se spone  $\emptyset 16$ .

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 72,4 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:  $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$

$$\text{Relativna deformacija armature pri popuštanju: } \varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{h \cdot b_w \cdot f_{cd}} = 0,068$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja I koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (\nu_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,207$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,024$$

$$\text{Duljina tlačnog područja: } x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = 303,25 \text{ cm}$$

$$\text{Duljina kritičnog područja: } l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 295,32 \text{ cm}$$

$$\text{Minimalna duljina kritičnog područja: } l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w) = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Konačna duljina kritičnog područja: } l_c = 260 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura:

Koeficijent armiranja mora biti veći od 0.5% i manji od 4% kritičnog područja:

$$\rho_s = \frac{A_{s,prov}}{I_c \cdot b_0} = 0,010 = 1,0 \%$$

Debljina ovijenog dijela zida:

Uvjeti: 1) minimalno 20 cm

$$2) \text{ za } l_c \leq 2 \cdot b_w \text{ ili } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{15} = 25,67 \text{ cm}$$

$$3) \text{ za } l_c > 2 \cdot b_w \text{ i } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{10} = 38,5 \text{ cm}$$

$$l_c = 260 \text{ cm} > 2 \cdot b_w = 160 \text{ cm}$$

$$l_c = 260 \text{ cm} > 0,2 \cdot l_w = 152 \text{ cm}$$

Debljina zida od 80 cm zadovoljava uvjet (> 38,5 cm).

Spone kritičnog područja:

Pretpostavljeni promjer spona je  $\emptyset 16$ , a pretpostavljeni razmak spona je 6 cm.

$$\text{Maksimalan razmak spona: } s_{max} = \min\left(\frac{b_0}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \cdot d_{bl}\right) = 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature uzdužno: } b_{i,u} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 13,96 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature poprečno: } b_{i,u} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 68,3 \text{ cm}$$

$$\text{Faktor učinkovitosti unutar presjeka: } \alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,86$$

$$\text{Faktor učinkovitosti po visini elementa: } \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,95$$

$$\text{Faktor djelotvornosti ovijanja: } \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,81$$

$$\text{Obujam spona: } \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = 2500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Obujam ovijenog betona: } s \cdot b_0 \cdot h_0 = 112944 \text{ cm}^2$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,289$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,234 \geq 0,207$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 16/6$  cm

### **Outrigger zidovi $d = 70$ cm**

Unutarnje sile za dimenzioniranje (tablica 35.):

$$N_{Ed} = 17868 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 6300 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 1255 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 38045 \text{ kNm}$$

Materijali:

Beton C50/60

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Debljina zida:  $b_w = 70 \text{ cm}$

Duljina zida:  $l_w = 765 \text{ cm}$

Visina zida:  $h_w = 795 \text{ cm}$

Visina etaže:  $h_e = 410 \text{ cm}$

Svijetla visina etaže:  $h_s = 385 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3,0 \text{ cm}$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_C.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_c = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Normalizirano osno opterećenje:

Vrijednost normaliziranog osnovog opterećenja u primarnim potresnim zidovima ne smije biti veća od 0,4.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = 0,10$$

Horizontalna armatura hrpta:

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu i postavlja se uz svaki rub zida. Pretpostavljeni promjer armature je  $\emptyset 14$ .

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 13,00 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

Statička visina:  $d = 64,9 \text{ cm}$

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,024$$

Za  $\omega = 0,023 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,023$

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 244756 \text{ kNcm} = 2447,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 1255 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 2447,6 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura hrpta:

$$A_{sw, \min} = 0,001 \cdot A_c = 7,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{sw, \max} = 0,02 \cdot A_c = 140,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

Horizontalna:  $\emptyset 14/13 \text{ cm}$  ( $11,84 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Vertikalna:  $\emptyset 10/11 \text{ cm}$  ( $7,14 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Uzdužna armatura kritičnog područja:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = -0,100$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0,028$$

$$\omega_{Ed} = 0,020$$

$$\text{Potrebna armatura na svakom kraju zida: } A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 82,11 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 17Ø25 (83,47 cm<sup>2</sup>)

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max\left(l_w; \frac{h_w}{6}\right) \leq (2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s)$$

$$h_{cr} = 765 \text{ cm} < 770 \text{ cm}$$

$$h_{cr} = 765 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

Pretpostavljaju se spone Ø12.

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 62,8 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:  $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$

$$\text{Relativna deformacija armature pri popuštanju: } \varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{h \cdot b_w \cdot f_{cd}} = 0,044$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja I koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,062$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,010$$

$$\text{Duljina tlačnog područja: } x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = 122,98 \text{ cm}$$

$$\text{Duljina kritičnog područja: } l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 78,86 \text{ cm}$$

Minimalna duljina kritičnog područja:  $l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w) = 114,75 \text{ cm}$

Konačna duljina kritičnog područja:  $l_c = 115 \text{ cm}$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura:

Koeficijent armiranja mora biti veći od 0.5% i manji od 4% kritičnog područja:

$$\rho_s = \frac{A_{s,prov}}{I_c \cdot b_0} = 0,023 = 2,3\%$$

Debljina ovijenog dijela zida:

Uvjeti: 1) minimalno 20 cm

$$2) \text{ za } l_c \leq 2 \cdot b_w \text{ ili } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{15} = 25,67 \text{ cm}$$

$$3) \text{ za } l_c > 2 \cdot b_w \text{ i } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{10} = 38,5 \text{ cm}$$

$$l_c = 115 \text{ cm} < 2 \cdot b_w = 140 \text{ cm}$$

$$l_c = 115 \text{ cm} < 0,2 \cdot l_w = 153 \text{ cm}$$

Debljina zida od 70 cm zadovoljava uvjet ( $> 25,67$  cm).

Spone kritičnog područja:

Pretpostavljeni promjer spona je  $\emptyset 10$ , a pretpostavljeni razmak spona je 13 cm.

$$\text{Maksimalan razmak spona: } s_{max} = \min(b_0; 30,0 \text{ cm}; 12 \cdot d_{bl}) = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature uzdužno: } b_{i,u} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 6,72 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature poprečno: } b_{i,u} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 59,5 \text{ cm}$$

$$\text{Faktor učinkovitosti unutar presjeka: } \alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,80$$

$$\text{Faktor učinkovitosti po visini elementa: } \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,85$$

$$\text{Faktor djelotvornosti ovijanja: } \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,68$$

$$\text{Obujam spona: } \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = 674 \text{ cm}^2$$

$$\text{Obujam ovijenog betona: } s \cdot b_0 \cdot h_0 = 93886 \text{ cm}^2$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,094$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,064 \geq 0,062$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 10/13$  cm

**Outtrigger zidovi  $d = 60$  cm**

Unutarnje sile za dimenzioniranje (tablica 38.):



$$N_{Ed} = 3225 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2638 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 600 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 11477 \text{ kNm}$$

Materijali:

Beton C50/60

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Debljina zida:  $b_w = 60 \text{ cm}$

Duljina zida:  $l_w = 770 \text{ cm}$

Visina zida:  $h_w = 795 \text{ cm}$

Visina etaže:  $h_e = 410 \text{ cm}$

Svijetla visina etaže:  $h_s = 385 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3,0 \text{ cm}$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_c,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_c / T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_c.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_c = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Normalizirano osno opterećenje:

Vrijednost normaliziranog osnovog opterećenja u primarnim potresnim zidovima ne smije biti veća od 0,4.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = 0,02$$

Horizontalna armatura hrpta:

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu i postavlja se uz svaki rub zida. Pretpostavljeni promjer armature je  $\emptyset 10$ .

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 15,94 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

Statička visina:  $d = 55,5 \text{ cm}$

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,014$$

Za  $\omega = 0,013 \rightarrow \mu_{Rd} = 0,013$

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 102778 \text{ kNcm} = 1027,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 600 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 1027,8 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura hrpta:

$$A_{sw, \min} = 0,001 \cdot A_c = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{sw, \max} = 0,02 \cdot A_c = 120,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

Horizontalna:  $\emptyset 10/13 \text{ cm}$  ( $6,04 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Vertikalna:  $\emptyset 10/13 \text{ cm}$  ( $6,04 \text{ cm}^2/\text{m}'$  uz svaki rub zida)

Uzdužna armatura kritičnog područja:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = -0,021$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0,010$$

$$\omega_{Ed} = 0,030$$

$$\text{Potrebna armatura na svakom kraju zida: } A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 106,26 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura:  $22\emptyset 25$  ( $73,63 \text{ cm}^2$ )

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max(l_w; \frac{h_w}{6}) \leq (2 \cdot l_w; 2 \cdot h_s)$$

$$h_{cr} = 770 \text{ cm} = 770 \text{ cm}$$

$$h_{cr} = 770 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

Pretpostavljaju se spone  $\emptyset 10$ .

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 53,0 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:  $\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$

$$\text{Relativna deformacija armature pri popuštanju: } \varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{h \cdot b_w \cdot f_{cd}} = 0,026$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja I koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,000$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,003$$

$$\text{Duljina tlačnog područja: } x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = 41,15 \text{ cm}$$

$$\text{Duljina kritičnog područja: } l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 115,5 \text{ cm}$$

$$\text{Minimalna duljina kritičnog područja: } l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w) = 114,75 \text{ cm}$$

$$\text{Konačna duljina kritičnog područja: } l_c = 116 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura:

Koeficijent armiranja mora biti veći od 0.5% i manji od 4% kritičnog područja:

$$\rho_s = \frac{A_{s,prov}}{I_c \cdot b_0} = 0,035 = 3,5 \text{ ‰}$$

Debljina ovijenog dijela zida:

Uvjeti: 1) minimalno 20 cm

$$2) \text{ za } l_c \leq 2 \cdot b_w \text{ ili } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{15} = 25,67 \text{ cm}$$

$$3) \text{ za } l_c > 2 \cdot b_w \text{ i } 0,2 \cdot l_w \rightarrow b_w > \frac{h_s}{10} = 38,5 \text{ cm}$$

$$l_c = 116 \text{ cm} < 2 \cdot b_w = 120 \text{ cm}$$

$$l_c = 116 \text{ cm} < 0,2 \cdot l_w = 154 \text{ cm}$$

Debljina zida od 60 cm zadovoljava uvjet ( $> 25,67 \text{ cm}$ ).

Spone kritičnog područja:

Pretpostavljeni promjer spona je  $\emptyset 8$ , a pretpostavljeni razmak spona je 20 cm.

$$\text{Maksimalan razmak spona: } s_{max} = \min(b_0; 30,0 \text{ cm}; 12 \cdot d_{bl}) = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature uzdužno: } b_{i,u} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 5,30 \text{ cm}$$

$$\text{Razmak vertikalne armature poprečno: } b_{i,u} = \frac{b_w - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_v - \Phi_u}{\text{broj razmaka}} = 49,9 \text{ cm}$$

$$\text{Faktor učinkovitosti unutar presjeka: } \alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,83$$

$$\text{Faktor učinkovitosti po visini elementa: } \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,74$$

$$\text{Faktor djelotvornosti ovijanja: } \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,62$$

$$\text{Obujam spona: } \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = 383 \text{ cm}^3$$

$$\text{Obujam ovijenog betona: } s \cdot b_0 \cdot h_0 = 122960 \text{ cm}^3$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,041$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,025 \geq 0,000$$

Odabrana armatura:  $\emptyset 8/20 \text{ cm}$

#### 5.4.2. Granično stanje uporabljivosti

Proračun graničnog stanja uporabljivosti zidova radi se prema normi EN 1992 [14].

##### 5.4.2.1. Kontrola naprezanja

Potrebno je napraviti provjeru tlačnog naprezanja betona. Provjera se radi za karakterističnu kombinaciju, a kritična vrijednost tlačnog naprezanja prema normi [14] je  $0,6f_{ck}$ . Ukoliko se premaši kritična vrijednost, može doći do pojave uzdužnih pukotina u betonu što dovodi do smanjenja nosivosti.

Beton outrigger zidova:	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
Kritična vrijednost tlačnog naprezanja:	$0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ N/mm}^2$

**Outrigger zidovi  $d = 80 \text{ cm}$** 

Najveće tlačno naprezanje zidova:  $\sigma_y = -13,1 \text{ N/mm}^2$  (tablica 33.)

Uvjet:  $\sigma_x = 13,1 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

**Outrigger zidovi  $d = 70 \text{ cm}$** 

Najveće tlačno naprezanje zidova:  $\sigma_x = -6,9 \text{ N/mm}^2$  (tablica 36.)

Uvjet:  $\sigma_x = 6,9 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

**Outrigger zidovi  $d = 60 \text{ cm}$** 

Najveće tlačno naprezanje zidova:  $\sigma_x = -1,9 \text{ N/mm}^2$  (tablica 39.)

Uvjet:  $\sigma_x = 1,9 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

**5.4.3. Rekapitulacija armature outrigger zidova**

Tablica 92. Rekapitulacija armature outrigger zidova

	Outrigger zidovi		
	d = 80 cm	d = 70 cm	d = 60 cm
Horizontalna armatura hrpta	Ø16/10 cm	Ø14/13 cm	Ø10/13 cm
Vertikalna armatura hrpta	Ø12/14 cm	Ø10/11 cm	Ø10/13 cm
Uzdužna armatura kritičnog područja	19 Ø25	17 Ø25	22 Ø25
Spone kritičnog područja	Ø16/6 cm	Ø10/13 cm	Ø8/20

## 5.5. Okvir

### 5.5.1. Granično stanje nosivosti

#### 5.5.1.1. Stupovi 160/160 cm i grede 160/120 cm

Materijali:

Beton	C50/60
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
Čelik:	B500B
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_c,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_c/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_c.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_c = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Najveći dopušteni promjer uzdužne armature presjek:

Uzdužna sila:  $N_{Ed} = -55578 \text{ kN}$  (tablica 41.)

$$\text{Normalizirana uzdužna sila: } \nu_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = -0,651$$

$$\text{Za unutarnje čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \frac{\rho'}{\rho_{max}}} = 4,34 \text{ cm}$$

$$\text{Za vanjske čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) = 5,42 \text{ cm}$$

$\gamma_{Rd} = 1$  za DCM – koeficijent nesigurnosti modela proračunske otpornosti

$k_D = 2/3$  za DCM – faktor kojim se uzima u obzir razred duktilnosti radi sidrenja šipki grede u čvoru

Greda 160/120 cm

Geometrija:

Svijetli raspon grede:  $l_{cl} = 240$  cm

Pretpostavljena uzdužna armatura grede:  $\varnothing_{ub} = 3,2$  cm

Pretpostavljen promjer spona grede:  $\varnothing_{vb} = 1,6$  cm

Zaštitni sloj:  $c = 3$  cm

Statička visina grede:  $d_b = 113,8$  cm

**Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 52.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 3427$  kNm

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 2886$  kN

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,8$  cm

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 188010$  kNcm

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,027$

Za  $\mu_{Rd} = 0,027$        $\zeta = 0,980$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 105,2$  cm<sup>2</sup>

Potresna kombinacija (tablica 53.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 2100$  kNm

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 2933$  kN

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,6$  cm

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 52791$  kNcm

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,008$

Za  $\mu_{Rd} = 0,008$        $\zeta = 0,990$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 78,26$  cm<sup>2</sup>

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 74,52 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 11Ø36 (112,0 cm<sup>2</sup>)

### **Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 52.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 3564 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1734 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,6 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 449342 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,065$

Za  $\mu_{Rd} = 0,066$        $\zeta = 0,962$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 54,69 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 53.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 2226 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1190 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,6 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 286384 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,042$

Za  $\mu_{Rd} = 0,042$        $\zeta = 0,973$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 32,22 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,006$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,013$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 236,1 \text{ cm}^2$$



Odabrana armatura u gornjoj zoni:  $10\emptyset 32$  ( $80,4 \text{ cm}^2$ )

### Nosivost grede na poprečnu silu

Potresna kombinacija (tablica 53.):  $N_{Ed}^{lijevo} = -1190 \text{ kN}$   $N_{Ed}^{desno} = 2933 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 54.):  $V_{Ed}^{lijevo} = 644 \text{ kN}$   $V_{Ed}^{desno} = 792 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 80,4 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,058$$

$$\nu_{Ed} = -0,014$$

$$\mu_{Rd} = 0,052$$

$$M_{Rd}^L = 709973 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 80,4 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,058$$

$$\nu_{Ed} = 0,034$$

$$\mu_{Rd} = 0,050$$

$$M_{Rd}^L = 682667 \text{ kNcm}$$

Ako se greda optereti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 5803 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -5159 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -5011 \text{ kN}$$

### Poprečna armatura

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 8,32 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 22,5 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura:  $\emptyset 16/8-22 \text{ cm}$ ,  $m = 4$

Stup 160/160 cm

Geometrija:

Širina i visina presjeka stupa:  $b = h = 160 \text{ cm}$

Svijetla visina stupa:  $l_{cl} = 385 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura stupa:  $\varnothing_{ub} = 3,6 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona stupa:  $\varnothing_{vb} = 2,0 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina stupa:  $d_b = 153,2 \text{ cm}$

### **Vitkost stupa**

Proračun duljine izvijanja i vitkosti radi se prema normi EN 1992-1 [14].

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 84236 \text{ kN}$  (tablica 40.):

Proračunska duljina izvijanja stupa:

$$l_0 = l_{col} = 3,85 \text{ m}$$

Vitkost stupa:

$$A = b \cdot h = 2,560 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,546 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,213$$

$$i = 0,462$$

$$\lambda = l_0/i = 8,34$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,987$$

Maksimalna vitkost stupa:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 10,85, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 8,34 < \lambda_{lim} = 10,85$  Nije potreban proračun po teoriji 2. reda.

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 85333 \text{ kN}$$

$84236 \text{ kN} < 85333 \text{ kN}$  Uvjet je zadovoljen.

### **Uzdužna armatura**

GSN kombinacija (tablica 40.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 4404 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -84236 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,032$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $v_{Ed} = -0,987$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,050$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 98,13 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 41.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 2118 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -55578 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,016$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $v_{Ed} = -0,651$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 38,47 \text{ cm}^2$

Minimalna i maksimalna armatura:

Minimalna uzdužna armatura:  $A_{s,\min} = 0,01 \cdot A_c = 256 \text{ cm}^2$

Maksimalna uzdužna armatura:  $A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 1024 \text{ cm}^2$

Odabrana uzdužna armatura: 13Ø36 (104,6 cm<sup>2</sup>) u svako lice stupa

### ***Kritično područje stupova***

$$l_{cr} = \max \left\{ h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 45 \text{ cm} \right\} = 160 \text{ cm}$$

### ***Proračunska poprečna sila***

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\kappa_1 \cdot M_{Rd,1} + \kappa_2 \cdot M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

Faktor kojim se razmatra popušta li prvo greda ili stup:  $\kappa_1 = \min \left( 1; \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}} \right)$

Promatrani stup: Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,053$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $v_{Ed} = -0,651$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,160$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 2184533 \text{ kNcm}$

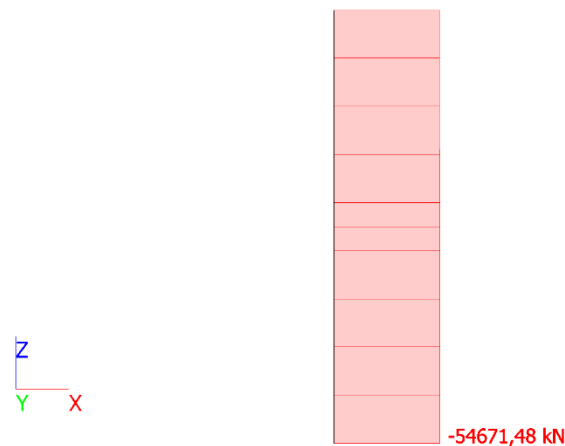
Stup iznad promatranog: Mjerodavna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -54672 \text{ kN}$  (slika 151.)

Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,053$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $v_{Ed} = -0,641$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,140$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 1911467 \text{ kNcm}$



Slika 192. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog

$$\kappa_1 \approx \kappa_2 = 0,34$$

$$V_{Ed} = 3979 \text{ kN}$$

### Poprečna armatura stupova

$$\text{Zahtijevani razmak spona: } s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 22,72 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona van kritičnog područja:

$$s_{max} = \min\{12 \cdot \phi_{s,min} ; b ; 30 \text{ cm}\} = 30 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području:

$$s_{cr,max} = \min\left\{8 \cdot \phi_{s,min} ; \frac{b_0}{2} ; 17,5 \text{ cm}\right\} = 17,50 \text{ cm}$$

$$b_0 = h_0 = b - 2 \cdot c - \phi_v = 152 \text{ cm}$$

$$\text{Osiguranje dovoljne razine ovijanja: } \alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 = 0,380$$

$$\nu_d = 0,651$$

$$\varepsilon_{sy,d} = 0,00217$$

Pretpostavljeni razmak spona u kritičnom području:  $s_{cr} = 5 \text{ cm}$

$$\text{Volumen spona: } V_{sw} = \sum A_{sw} \cdot l = \frac{\phi_v^2 \cdot \pi}{4} \cdot [(2 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) + 2 \cdot b_0 + h_0] = 3698 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen ovijeng betona: } V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = 115520 \text{ cm}^3$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:  $\omega_{wd} = \frac{\text{volumen spona}}{\text{volumen oviženog betona}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,418$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka:  $\alpha_n = 1 - \frac{\sum n b_l^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,952$

Faktor učinkovitosti po visini elementa:  $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,969$

Faktor djelotvornosti ovijanja:  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,922$

$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,385 > 0,380$

Odabrana poprečna armatura van kritičnog područja:  $\emptyset 20/22$  cm

Odabrana poprečna armatura u kritičnom području:  $\emptyset 20/5$  cm

#### Provjera čvora greda – stup

Kako bi se osiguralo da prvo otkazu grede, a tek onda stupovi, potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:  $\sum M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb}$ ,

gdje je:  $\sum M_{Rc}$  zboj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru,

$\sum M_{Rb}$  zboj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru.

Nosivost stupova na moment savijanja:

Stup ispod čvora:  $M_{Rd} = 2184533$  kNcm

Stup iznad čvora:  $M_{Rd} = 1911467$  kNcm

$$\sum M_{Rc} = 4096000 \text{ kNcm}$$

Nosivost greda na moment savijanja:

Lijevo:  $M_{Rd} = 709973$  kNcm

Desno:  $M_{Rd} = 682667$  kNcm

$$\sum M_{Rb} = 1392640$$

$$\sum M_{Rc} = 4096000 \text{ kNcm} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb} = 1,3 \cdot 1392640 = 1810432 \text{ kNcm}$$

Uvjet je zadovoljen.

5.5.1.2. Stupovi 150/150 cm i grede 150/120 cm

Materijali:

Beton

C50/60

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$

Srednja vlačna čvrstoća betona:  $f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\phi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C,$$

$$\mu_\phi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_C.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_C = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\phi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Najveći dopušteni promjer uzdužne armature presjek:

Uzdužna sila:  $N_{Ed} = -37292 \text{ kN}$  (tablica 44.)

$$\text{Normalizirana uzdužna sila: } \nu_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = -0,497$$

$$\text{Za unutarnje čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \frac{\rho'}{\rho_{max}}} = 5,11 \text{ cm}$$

$$\text{Za vanjske čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) = 6,39 \text{ cm}$$

$\gamma_{Rd} = 1$  za DCM – koeficijent nesigurnosti modela proračunske otpornosti

$k_D = 2/3$  za DCM – faktor kojim se uzima u obzir razred duktilnosti radi sidrenja šipki grede u čvoru

Greda 150/120 cm

Geometrija:

Svijetli raspon grede:  $l_{cl} = 250 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura grede:  $\varnothing_{ub} = 3,2 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona grede:  $\varnothing_{vb} = 1,6 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina grede:  $d_b = 113,8 \text{ cm}$

### **Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 56.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 2815 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 2450 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,8 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 149690 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,023$

Za  $\mu_{Rd} = 0,023$   $\zeta = 0,982$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 87,2 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 57.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 1716 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 2484 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,8 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 37961 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,006$

Za  $\mu_{Rd} = 0,006$   $\zeta = 0,992$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 64,87 \text{ cm}^2$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 64,87 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 11 $\varnothing$ 32 (88,5 cm<sup>2</sup>)

### **Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 56.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 2921 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1529 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,8 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 374360 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,058$

Za  $\mu_{Rd} = 0,059$        $\zeta = 0,966$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 43,16 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 57.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 1816 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1028 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 53,8 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 236906 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,037$

Za  $\mu_{Rd} = 0,038$        $\zeta = 0,975$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 25,46 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,005$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,012$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 199,6 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni: 9Ø32 (72,4 cm<sup>2</sup>)

### **Nosivost grede na poprečnu silu**

Potresna kombinacija (tablica 57.):  $N_{Ed}^{lijevo} = 2485 \text{ kN}$      $N_{Ed}^{desno} = -1028 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 58.):  $V_{Ed}^{lijevo} = -585 \text{ kN}$      $V_{Ed}^{desno} = -720 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 72,4 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,055$$



$$\nu_{Ed} = 0,033$$

$$\mu_{Rd} = 0,040$$

$$M_{Rd}^L = 450000 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 72,4 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,055$$

$$\nu_{Ed} = -0,014$$

$$\mu_{Rd} = 0,060$$

$$M_{Rd}^L = 67500 \text{ kNcm}$$

Ako se greda opteretiti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 2500 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -5085 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -5220 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 8,23 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 22,5 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura:  $\emptyset 16/8-22 \text{ cm}$ ,  $m = 4$

Stup 150/150 cm

Geometrija:

Širina i visina presjeka stupa:  $b = h = 150 \text{ cm}$

Svijetla visina stupa:  $l_{cl} = 385 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura stupa:  $\emptyset_{ub} = 3,2 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona stupa:  $\emptyset_{vb} = 2,0 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina stupa:  $d_b = 143,4 \text{ cm}$

### **Vitkost stupa**

Proračun duljine izvijanja i vitkosti radi se prema normi EN 1992-1 [14].

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 39253 \text{ kN}$  (tablica 43.)

Proračunska duljina izvijanja stupa:

$$l_0 = l_{col} = 3,85 \text{ m}$$

Vitkost stupa:

$$A = b \cdot h = 2,250 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,422 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,188$$

$$i = 0,433$$

$$\lambda = l_0/i = 8,89$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,523$$

Maksimalna vitkost stupa:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 14,9, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 8,89 < \lambda_{lim} = 14,9$  Nije potreban proračun po teoriji 2. reda.

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 75000 \text{ kN}$$

$$39253 \text{ kN} < 75000 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen.}$$

### **Uzdužna armatura**

GSN kombinacija (tablica 43.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 4405 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -39253 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,039$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $\nu_{Ed} = -0,523$

Očitani mehanički koeficijenti armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 33,81 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 44.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 908 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -37292 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,008$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $\nu_{Ed} = -0,497$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 33,81 \text{ cm}^2$

Minimalna i maksimalna armatura:

Minimalna uzdužna armatura:  $A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 255 \text{ cm}^2$

Maksimalna uzdužna armatura:  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 900 \text{ cm}^2$

Odabrana uzdužna armatura: 8Ø32 (225,12 cm<sup>2</sup>) u svako lice stupa

### ***Kritično područje stupova***

$$l_{cr} = \max \left\{ h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 45 \text{ cm} \right\} = 150 \text{ cm}$$

### ***Proračunska poprečna sila***

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\kappa_1 \cdot M_{Rd,1} + \kappa_2 \cdot M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

Faktor kojim se razmatra popušta li prvo greda ili stup:  $\kappa_1 = \min \left( 1; \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}} \right)$

Promatrani stup: Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,037$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $\nu_{Ed} = -0,497$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,130$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 1462500 \text{ kNcm}$

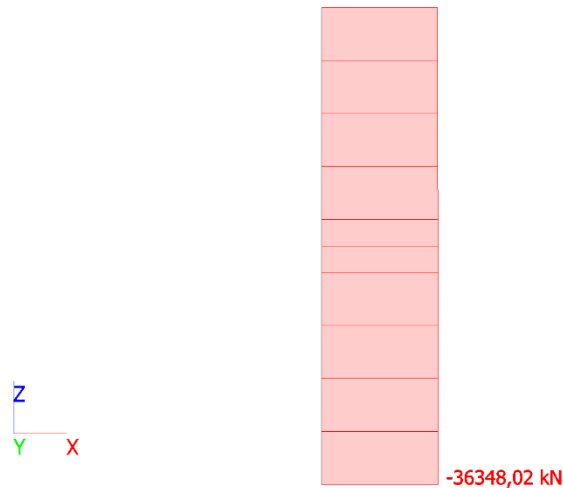
Stup iznad promatranog: Mjerodavna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -36349 \text{ kN}$  (slika 152.)

Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,037$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $\nu_{Ed} = -0,485$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,120$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 1350000 \text{ kNcm}$



Slika 193. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog

$$\kappa_1 \approx \kappa_2 = 0,40$$

$$V_{Ed} = 3214 \text{ kN}$$

### Poprečna armatura stupova

$$\text{Zahtijevani razmak spona: } s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 26,33 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona van kritičnog područja:

$$s_{max} = \min\{12 \cdot \phi_{s,min}; b; 30 \text{ cm}\} = 30 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području:

$$s_{cr,max} = \min\left\{8 \cdot \phi_{s,min}; \frac{b_0}{2}; 17,5 \text{ cm}\right\} = 17,50 \text{ cm}$$

$$b_0 = h_0 = b - 2 \cdot c - \phi_v = 142 \text{ cm}$$

$$\text{Osiguranje dovoljne razine ovijanja: } \alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 = 0,236$$

$$\nu_d = 0,497$$

$$\varepsilon_{sy,d} = 0,00217$$

Pretpostavljeni razmak spona u kritičnom području:  $s_{cr} = 6 \text{ cm}$

$$\text{Volumen spona: } V_{sw} = \sum A_{sw} \cdot l = \frac{\phi_v^2 \cdot \pi}{4} \cdot [(2 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) + 2 \cdot b_0 + h_0] = 3123 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen ovijeng betona: } V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = 120984 \text{ cm}^3$$

$$\text{Obujamski mehanički koeficijent armiranja: } \omega_{wd} = \frac{\text{volumen spona}}{\text{volumen ovijenog betona}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,337$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka:  $\alpha_n = 1 - \frac{\sum n b_l^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,912$

Faktor učinkovitosti po visini elementa:  $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,958$

Faktor djelotvornosti ovijanja:  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,874$

$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,294 > 0,283$

Odabrana poprečna armatura van kritičnog područja:  $\emptyset 20/26$  cm

Odabrana poprečna armatura u kritičnom području:  $\emptyset 20/6$  cm

### Provjera čvora greda – stup

Kako bi se osiguralo da prvo otkazu grede, a tek onda stupovi, potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:  $\sum M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb}$ ,

gdje je:  $\sum M_{Rc}$  zboj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru,  
 $\sum M_{Rb}$  zboj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru.

Nosivost stupova na moment savijanja:

Stup ispod čvora:  $M_{Rd} = 1462500$  kNcm

Stup iznad čvora:  $M_{Rd} = 1350000$  kNcm

$$\sum M_{Rc} = 2812500 \text{ kNcm}$$

Nosivost greda na moment savijanja:

Lijevo:  $M_{Rd} = 450000$  kNcm

Desno:  $M_{Rd} = 67500$  kNcm

$$\sum M_{Rb} = 1125000$$

$$\sum M_{Rc} = 2812500 \text{ kNcm} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb} = 1,3 \cdot 1125000 = 1462500 \text{ kNcm}$$

Uvjet je zadovoljen.

5.5.1.3. Stupovi 120/120 cm i grede 120/100 cm

Materijali:

Beton C50/60

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33$  N/mm<sup>2</sup>

Srednja vlačna čvrstoća betona:  $f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_C.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_C = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Najveći dopušteni promjer uzdužne armature presjek:

Uzdužna sila:  $N_{Ed} = -20269 \text{ kN}$  (tablica 47.)

$$\text{Normalizirana uzdužna sila: } \nu_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = -0,422$$

$$\text{Za unutarnje čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \frac{\rho'}{\rho_{max}}} = 4,50 \text{ cm}$$

$$\text{Za vanjske čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) = 5,62 \text{ cm}$$

$\gamma_{Rd} = 1$  za DCM – koeficijent nesigurnosti modela proračunske otpornosti

$k_D = 2/3$  za DCM – faktor kojim se uzima u obzir razred duktilnosti radi sidrenja šipki grede u čvoru

Greda 120/100 cm

Geometrija:

Svijetli raspon grede:  $l_{cl} = 280 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura grede:  $\emptyset_{ub} = 2,8 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona grede:	$\varnothing_{vb} = 1,4 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$
Statička visina grede:	$d_b = 94,2 \text{ cm}$

**Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 60.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 1191 \text{ kNm}$ Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 1596 \text{ kN}$ Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,2 \text{ cm}$ Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 48689 \text{ kNcm}$ Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,014$ Za  $\mu_{Rd} = 0,016$        $\zeta = 0,985$ Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 48,7 \text{ cm}^2$ 

Potresna kombinacija (tablica 61.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 795 \text{ kNm}$ Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 1982 \text{ kN}$ Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,2 \text{ cm}$ Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 8104 \text{ kNcm}$ Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,002$ Za  $\mu_{Rd} = 0,002$        $\zeta = 0,995$ Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 47,57 \text{ cm}^2$ 

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 46,35 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 8 $\varnothing$ 28 (49,3 cm<sup>2</sup>)**Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 60.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 1237 \text{ kNm}$ Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1372 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,2 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 184342 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,052$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$        $\zeta = 0,968$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 14,94 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 61.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 872 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1003 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,2 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 131533 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,037$

Za  $\mu_{Rd} = 0,038$        $\zeta = 0,975$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 9,87 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,003$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,010$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 107,8 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni:  $8\emptyset 28$  ( $49,3 \text{ cm}^2$ )

### ***Nosivost grede na poprečnu silu***

Potresna kombinacija (tablica 61.):  $N_{Ed}^{lijevo} = 1982 \text{ kN}$      $N_{Ed}^{desno} = -1003 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 62.):  $V_{Ed}^{lijevo} = -242 \text{ kN}$      $V_{Ed}^{desno} = -324 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 49,3 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,057$$

$$\nu_{Ed} = 0,041$$



$$\mu_{Rd} = 0,070$$

$$M_{Rd}^L = 403200 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 49,3 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,057$$

$$v_{Ed} = -0,021$$

$$\mu_{Rd} = 0,040$$

$$M_{Rd}^L = 230400 \text{ kNcm}$$

Ako se greda optereti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 2263 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -2505 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -2587 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 10,53 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 22,4 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura:  $\emptyset 14/10-22 \text{ cm}$ ,  $m = 4$

### Stup 120/120 cm

Geometrija:

Širina i visina presjeka stupa:  $b = h = 120 \text{ cm}$

Svijetla visina stupa:  $l_{cl} = 385 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura stupa:  $\emptyset_{ub} = 2,5 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona stupa:  $\emptyset_{vb} = 1,6 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina stupa:  $d_b = 114,2 \text{ cm}$

### **Vitkost stupa**

Proračun duljine izvijanja i vitkosti radi se prema normi EN 1992-1 [14].

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 28393 \text{ kN}$  (tablica 46.)

Proračunska duljina izvijanja stupa:

$$l_0 = l_{col} = 3,85 \text{ m}$$

Vitkost stupa:

$$A = b \cdot h = 1,440 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,173 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,120$$

$$i = 0,346$$

$$\lambda = l_0/i = 11,11$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,592$$

Maksimalna vitkost stupa:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 14,02, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 11,11 < \lambda_{lim} = 14,02$  Nije potreban proračun po teoriji 2. reda.

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 48000 \text{ kN}$$

$$28393 \text{ kN} < 48000 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen.}$$

### **Uzdužna armatura**

GSN kombinacija (tablica 46.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 1377 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -28393 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,024$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $\nu_{Ed} = -0,592$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 21,64 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 47.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 688 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -20269 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,012$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $\nu_{Ed} = -0,422$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 21,64 \text{ cm}^2$

Minimalna i maksimalna armatura:

Minimalna uzdužna armatura:  $A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 144 \text{ cm}^2$

Maksimalna uzdužna armatura:  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 576 \text{ cm}^2$

Odabrana uzdužna armatura: 9Ø25 (44,18 cm<sup>2</sup>) u svako lice stupa

### **Kritično područje stupova**

$$l_{cr} = \max \left\{ h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 45 \text{ cm} \right\} = 120 \text{ cm}$$

### **Proračunska poprečna sila**

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\kappa_1 \cdot M_{Rd,1} + \kappa_2 \cdot M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

Faktor kojim se razmatra popušta li prvo greda ili stup:  $\kappa_1 = \min \left( 1; \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}} \right)$

Promatrani stup: Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,040$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $\nu_{Ed} = -0,422$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,130$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 748800 \text{ kNcm}$

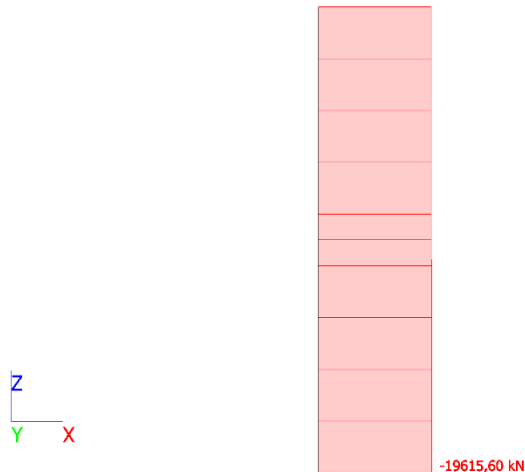
Stup iznad promatranog: Mjerodavna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -19616 \text{ kN}$  (slika 153.)

Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,040$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $\nu_{Ed} = -0,409$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,125$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 720000 \text{ kNcm}$



Slika 194. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog

$$\kappa_1 \approx \kappa_2 = 0,43$$

$$V_{Ed} = 1810 \text{ kN}$$

### Poprečna armatura stupova

$$\text{Zahtijevani razmak spona: } s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 23,81 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona van kritičnog područja:

$$s_{max} = \min\{12 \cdot \phi_{s,min} ; b ; 30 \text{ cm}\} = 30 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području:

$$s_{cr,max} = \min\left\{8 \cdot \phi_{s,min} ; \frac{b_0}{2} ; 17,5 \text{ cm}\right\} = 17,50 \text{ cm}$$

$$b_0 = h_0 = b - 2 \cdot c - \phi_v = 112,40 \text{ cm}$$

$$\text{Osiguranje dovoljne razine ovijanja: } \alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 = 0,238$$

$$\nu_d = 0,422$$

$$\varepsilon_{sy,d} = 0,00217$$

Pretpostavljeni razmak spona u kritičnom području:  $s_{cr} = 6 \text{ cm}$

$$\text{Volumen spona: } V_{sw} = \sum A_{sw} \cdot l = \frac{\phi_v^2 \cdot \pi}{4} \cdot [(2 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) + 2 \cdot b_0 + h_0] = 1582 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen ovijeng betona: } V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = 75803 \text{ cm}^3$$

$$\text{Obujamski mehanički koeficijent armiranja: } \omega_{wd} = \frac{\text{volumen spona}}{\text{volumen ovijenog betona}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,272$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka:  $\alpha_n = 1 - \frac{\sum n b_l^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,923$

Faktor učinkovitosti po visini elementa:  $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,947$

Faktor djelotvornosti ovijanja:  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,874$

$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,238 = 0,238$

Odabrana poprečna armatura van kritičnog područja:  $\emptyset 16/23$  cm

Odabrana poprečna armatura u kritičnom području:  $\emptyset 16/6$  cm

### Provjera čvora greda – stup

Kako bi se osiguralo da prvo otkாžu grede, a tek onda stupovi, potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:  $\sum M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb}$ ,

gdje je:  $\sum M_{Rc}$  zboj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru,  
 $\sum M_{Rb}$  zboj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru.

Nosivost stupova na moment savijanja:

Stup ispod čvora:  $M_{Rd} = 748800$  kNcm

Stup iznad čvora:  $M_{Rd} = 720000$  kNcm

$$\sum M_{Rc} = 1468800 \text{ kNcm}$$

Nosivost greda na moment savijanja:

Lijevo:  $M_{Rd} = 403200$  kNcm

Desno:  $M_{Rd} = 230400$  kNcm

$$\sum M_{Rb} = 633600$$

$$\sum M_{Rc} = 1468800 \text{ kNcm} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb} = 1,3 \cdot 633600 = 823680 \text{ kNcm}$$

Uvjet je zadovoljen.

5.5.1.4. Stupovi 100/100 cm i grede 100/100 cm

Materijali:

Beton C50/60

Proračunska čvrstoća betona:  $f_{cd} = 33,33$  N/mm<sup>2</sup>

Srednja vlačna čvrstoća betona:  $f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$

Čelik: B500B

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Zahtijevana duktilnost:

Da bi se postigla zahtijevana duktilnost, područja gdje postoji mogućnost stvaranja plastičnog zgloba (sva kritična područja primarnih potresnih elemenata) moraju imati veliku sposobnost plastičnog zaokretanja. To se postiže tako da je faktor duktilnosti  $\mu_\varphi$  jednak sljedećim vrijednostima:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C,$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C/T_1 \quad \text{ako je } T_1 < T_C.$$

$$T_1 = 7,80 \text{ s} > T_C = 0,50 \text{ s}$$

$$q_0 = 3,6$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1 = 6,2$$

Budući da se koristi armatura od čelika razreda B, potrebno je faktor duktilnosti uvećati za 50%:  $\mu_\varphi = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3$

Najveći dopušteni promjer uzdužne armature presjek:

Uzdužna sila:  $N_{Ed} = -8733 \text{ kN}$  (tablica 50.)

$$\text{Normalizirana uzdužna sila: } \nu_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = -0,262$$

$$\text{Za unutarnje čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot \nu_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \frac{\rho'}{\rho_{max}}} = 4,47 \text{ cm}$$

$$\text{Za vanjske čvorove greda-stup: } \frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot (1 + 0,8 \cdot \nu_d) = 5,59 \text{ cm}$$

$\gamma_{Rd} = 1$  za DCM – koeficijent nesigurnosti modela proračunske otpornosti

$k_D = 2/3$  za DCM – faktor kojim se uzima u obzir razred duktilnosti radi sidrenja šipki grede u čvoru

Greda 100/100 cm

Geometrija:

Svijetli raspon grede:  $l_{cl} = 300 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura grede:  $\emptyset_{ub} = 2,5 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona grede:	$\emptyset_{vb} = 1,4 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$
Statička visina grede:	$d_b = 94,4 \text{ cm}$

**Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 49.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 583 \text{ kNm}$ Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 958 \text{ kN}$ Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,4 \text{ cm}$ Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 22434 \text{ kNcm}$ Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,005$ Za  $\mu_{Rd} = 0,006$        $\zeta = 0,9922$ Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 25,9 \text{ cm}^2$ 

Potresna kombinacija (tablica 50.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 305 \text{ kNm}$ Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = 353 \text{ kN}$ Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,4 \text{ cm}$ Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 14844 \text{ kNcm}$ Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,005$ Za  $\mu_{Rd} = 0,006$        $\zeta = 0,992$ Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 11,77 \text{ cm}^2$ 

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 38,68 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 8 $\emptyset$ 25 (39,3 cm<sup>2</sup>)**Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 49.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 603 \text{ kNm}$ Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -755 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,4 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 101484 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,034$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$        $\zeta = 0,977$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 7,96 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 50.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 380 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -542 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 44,4 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 63338 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,021$

Za  $\mu_{Rd} = 0,023$        $\zeta = 0,982$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 3,26 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,002$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,009$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 84,8 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni:  $8\emptyset 25$  ( $39,3 \text{ cm}^2$ )

### ***Nosivost grede na poprečnu silu***

Potresna kombinacija (tablica 50.):  $N_{Ed}^{lijevo} = 353 \text{ kN}$

$N_{Ed}^{desno} = -542 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 51.):  $V_{Ed}^{lijevo} = -62 \text{ kN}$

$V_{Ed}^{desno} = -112 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 39,3 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,054$$

$$\nu_{Ed} = 0,011$$



$$\mu_{Rd} = 0,050$$

$$M_{Rd}^L = 166667 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 39,3 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,054$$

$$v_{Ed} = -0,016$$

$$\mu_{Rd} = 0,040$$

$$M_{Rd}^L = 133333 \text{ kNcm}$$

Ako se greda optereti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed, M}^{lijevo} = V_{Ed, M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 1000 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -1062 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -1112 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 24,56 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr, max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s, min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 20 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura:  $\emptyset 14/20 \text{ cm}$ ,  $m = 4$

### Stup 100/100 cm

Geometrija:

Širina i visina presjeka stupa:  $b = h = 100 \text{ cm}$

Svijetla visina stupa:  $l_{cl} = 385 \text{ cm}$

Pretpostavljena uzdužna armatura stupa:  $\emptyset_{ub} = 2,0 \text{ cm}$

Pretpostavljen promjer spona stupa:  $\emptyset_{vb} = 1,2 \text{ cm}$

Zaštitni sloj:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina stupa:  $d_b = 94,6 \text{ cm}$

### **Vitkost stupa**

Proračun duljine izvijanja i vitkosti radi se prema normi EN 1992-1 [14].

Vrijednost uzdužne sile:  $N_{Ed} = 10894 \text{ kN}$  (tablica 49.)

Proračunska duljina izvijanja stupa:

$$l_0 = l_{col} = 3,85 \text{ m}$$

Vitkost stupa:

$$A = b \cdot h = 1,000 \text{ m}^2$$

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,083 \text{ m}^4$$

$$i^2 = I/A = 0,083$$

$$i = 0,289$$

$$\lambda = l_0/i = 13,34$$

Relativna osna sila:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = 0,327$$

Maksimalna vitkost stupa:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = 18,86, \quad \text{gdje je: } A = 0,7, B = 1,10, C = 0,70$$

$\lambda = 13,34 < \lambda_{lim} = 18,86$  Nije potreban proračun po teoriji 2. reda.

Uvjet nosivosti prema teoriji 1. reda:  $N_{Ed} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = b \cdot h \cdot f_{cd} = 33333 \text{ kN}$$

$$10894 \text{ kN} < 33333 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen.}$$

### ***Uzdužna armatura***

GSN kombinacija (tablica 49.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 584 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -10897 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,018$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $\nu_{Ed} = -0,327$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 15,03 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 50.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 399 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -8733 \text{ kN}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,012$

Bezdimenzijska uzdužna sila:  $\nu_{Ed} = -0,262$

Očitani mehanički koeficijent armiranja:  $\omega = 0,0196$

Potrebna armatura:  $A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{yd}}{f_{yk}} = 15,03 \text{ cm}^2$

Minimalna i maksimalna armatura:

Minimalna uzdužna armatura:  $A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 100 \text{ cm}^2$

Maksimalna uzdužna armatura:  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 400 \text{ cm}^2$

Odabrana uzdužna armatura: 11Ø20 (34,56 cm<sup>2</sup>) u svako lice

### **Kritično područje stupova**

$$l_{cr} = \max \left\{ h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 45 \text{ cm} \right\} = 100 \text{ cm}$$

### **Proračunska poprečna sila**

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\kappa_1 \cdot M_{Rd,1} + \kappa_2 \cdot M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

Faktor kojim se razmatra popušta li prvo greda ili stup:  $\kappa_1 = \min \left( 1; \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}} \right)$

Promatrani stup: Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,045$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $\nu_{Ed} = -0,262$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,120$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 400000 \text{ kNcm}$

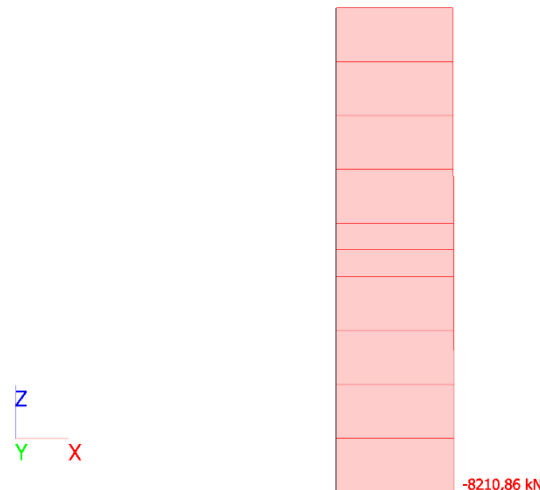
Stup iznad promatranog: Mjerodavna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -8211 \text{ kN}$  (slika 154.)

Mehanički koef. armiranja stupa  $\omega = 0,045$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa  $\nu_{Ed} = -0,246$

Bezdimenzijski moment nosivosti stupa  $\mu_{Rd} = 0,115$

Nosivost stupa na moment savijanja:  $M_{Rd} = 383333 \text{ kNcm}$



Slika 195. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog

$$\kappa_1 \approx \kappa_2 = 0,38$$

$$V_{Ed} = 857 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura stupova**

$$\text{Zahtijevani razmak spona: } s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 23,49 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona van kritičnog područja:

$$s_{max} = \min\{12 \cdot \phi_{s,min} ; b ; 30 \text{ cm}\} = 24 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području:

$$s_{cr,max} = \min\left\{8 \cdot \phi_{s,min} ; \frac{b_0}{2} ; 17,5 \text{ cm}\right\} = 16,00 \text{ cm}$$

$$b_0 = h_0 = b - 2 \cdot c - \phi_v = 92,8 \text{ cm}$$

$$\text{Osiguranje dovoljne razine ovijanja: } \alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035 = 0,113$$

$$\nu_d = 0,262$$

$$\varepsilon_{sy,d} = 0,00217$$

Pretpostavljeni razmak spona u kritičnom području:  $s_{cr} = 7 \text{ cm}$

$$\text{Volumen spona: } V_{sw} = \sum A_{sw} \cdot l = \frac{\phi_v^2 \cdot \pi}{4} \cdot [(2 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) + 2 \cdot b_0 + h_0] = 735 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen ovijeng betona: } V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = 60283 \text{ cm}^3$$

$$\text{Obujamski mehanički koeficijent armiranja: } \omega_{wd} = \frac{\text{volumen spona}}{\text{volumen ovijenog betona}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,159$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka:  $\alpha_n = 1 - \frac{\sum n b_l^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 0,938$

Faktor učinkovitosti po visini elementa:  $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = 0,926$

Faktor djelotvornosti ovijanja:  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,869$

$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,138 > 0,136$

Odabrana poprečna armatura van kritičnog područja:  $\emptyset 12/23$  cm

Odabrana poprečna armatura u kritičnom području:  $\emptyset 12/7$  cm

### Provjera čvora greda – stup

Kako bi se osiguralo da prvo otkazu grede, a tek onda stupovi, potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:  $\sum M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb}$ ,

gdje je:  $\sum M_{Rc}$  zboj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru,  
 $\sum M_{Rb}$  zboj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru.

Nosivost stupova na moment savijanja:

Stup ispod čvora:  $M_{Rd} = 400000$  kNcm

Stup iznad čvora:  $M_{Rd} = 383333$  kNcm

$$\sum M_{Rc} = 783333 \text{ kNcm}$$

Nosivost greda na moment savijanja:

Lijevo:  $M_{Rd} = 166667$  kNcm

Desno:  $M_{Rd} = 133333$  kNcm

$$\sum M_{Rb} = 300000$$

$$\sum M_{Rc} = 783333 \text{ kNcm} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb} = 1,3 \cdot 300000 = 390000 \text{ kNcm}$$

Uvjet je zadovoljen.

### 5.5.2. Granično stanje uporabljivosti

Proračun graničnog stanja uporabljivosti zidova radi se prema normi EN 1992 [14].

### 5.5.2.1. Kontrola naprezanja

Potrebno je napraviti provjeru tlačnog naprezanja betona. Provjera se radi za karakterističnu kombinaciju, a kritična vrijednost tlačnog naprezanja prema normi [14] je  $0,6f_{ck}$ . Ukoliko se premaši kritična vrijednost, može doći do pojave uzdužnih pukotina u betonu što dovodi do smanjenja nosivosti.

Beton stupova i greda:	C50/60
Karakteristična čvrstoća betona:	$f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
Kritična vrijednost tlačnog naprezanja:	$0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ N/mm}^2$

#### ***Stupovi 160/160 cm***

Najveće tlačno naprezanje stupova:  $\sigma_y = -28,5 \text{ N/mm}^2$  (tablica 42.)

Uvjet:  $\sigma_x = 28,5 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### ***Stupovi 150/150 cm***

Najveće tlačno naprezanje stupova:  $\sigma_y = -20,0 \text{ N/mm}^2$  (tablica 45.)

Uvjet:  $\sigma_x = 20,0 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### ***Stupovi 120/120 cm***

Najveće tlačno naprezanje stupova:  $\sigma_y = -18,1 \text{ N/mm}^2$  (tablica 48.)

Uvjet:  $\sigma_x = 18,1 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### ***Stupovi 100/100 cm***

Najveće tlačno naprezanje stupova:  $\sigma_y = -11,2 \text{ N/mm}^2$  (tablica 51.)

Uvjet:  $\sigma_x = 11,2 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### ***Grede 160/120 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -11,5 \text{ N/mm}^2$  (tablica 55.)

Uvjet:  $\sigma_x = 11,5 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### ***Grede 150/120 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -10,2 \text{ N/mm}^2$  (tablica 59.)

Uvjet:  $\sigma_x = 10,2 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

#### ***Grede 120/100 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -8,9 \text{ N/mm}^2$  (tablica 63.)

Uvjet:  $\sigma_x = 8,9 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

### **Grede 100/100 cm**

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -5,4 \text{ N/mm}^2$  (tablica 67.)

Uvjet:  $\sigma_x = 5,4 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  Uvjet je zadovoljen.

### **5.5.3. Rekapitulacija armature okvira**

*Tablica 93. Rekapitulacija armature greda*

	Grede			
	160/120 cm	150/120 cm	120/100 cm	100/100 cm
Donja zona	11Ø36	11Ø32	8Ø28	8Ø25
Gornja zona	10Ø32	9Ø32	8Ø28	8Ø25
Spone	Ø16/8-22 cm	Ø16/8-22 cm	Ø14/10-22 cm	Ø14/20 cm

*Tablica 94. Rekapitulacija armature stupova*

	Stupovi			
	160/160 cm	150/150 cm	120/120 cm	100/100 cm
Uzdužna armatura (u svako lice stupa)	13Ø36	8Ø32	9Ø25	11Ø20
Spone van kritičnog područja	Ø20/22 cm	Ø20/26 cm	Ø16/23 cm	Ø12/23 cm
Spone u kritičnom području	Ø20/5 cm	Ø20/6 cm	Ø16/6 cm	Ø12/7 cm

## 5.6. Unutarnje grede

### 5.6.1. Granično stanje nosivosti

#### 5.6.1.1. Grede 100/160

Materijali:

Beton	C50/60
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
Čelik:	B500B
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetli raspon grede:	$l_{cl} = 680 \text{ cm}$
Pretpostavljena uzdužna armatura grede:	$\emptyset_{ub} = 3,6 \text{ cm}$
Pretpostavljen promjer spona grede:	$\emptyset_{vb} = 1,0 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$
Statička visina grede:	$d_b = 154,2 \text{ cm}$

#### ***Pozitivni moment savijanja***

GSN kombinacija (tablica 68.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 5393 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -599 \text{ kN}$
Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:	$z = 74,2 \text{ cm}$
Ukupni moment:	$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 583746 \text{ kNcm}$
Bezdimenzijski moment savijanja:	$\mu_{Ed} = 0,074$
Za $\mu_{Rd} = 0,074$	$\zeta = 0,958$
Potrebna armatura:	$A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 77,1 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 69):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 4525 \text{ kNm}$
------------------------------	-----------------------------



Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -5162 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 74,2 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 835520 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,105$

Za  $\mu_{Rd} = 0,1064$        $\zeta = 0,942$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 13,57 \text{ cm}^2$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 63,22 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 8Ø36 (81,4 cm<sup>2</sup>)

### **Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 68.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 11427 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -2652 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 74,2 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 1339478 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,169$

Za  $\mu_{Rd} = 0,171$        $\zeta = 0,903$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 160,26 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 69.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 7676 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1717 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 74,2 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 895076 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,113$

Za  $\mu_{Rd} = 0,113$        $\zeta = 0,938$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 102,82 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,005$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,012$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 186,7 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni: 16Ø36 (162,88 cm<sup>2</sup>)

### **Nosivost grede na poprečnu silu**

Potresna kombinacija (tablica 69.):  $N_{Ed}^{lijevo} = -546 \text{ kN}$   $N_{Ed}^{desno} = -5162 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 70.):  $V_{Ed}^{lijevo} = 78 \text{ kN}$   $V_{Ed}^{desno} = 250 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 162,88 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,138$$

$$\nu_{Ed} = -0,016$$

$$\mu_{Rd} = 0,100$$

$$M_{Rd}^L = 333333 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 162,88 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,138$$

$$\nu_{Ed} = -0,155$$

$$\mu_{Rd} = 0,150$$

$$M_{Rd}^L = 500000 \text{ kNcm}$$

Ako se greda optereti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 1225 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -1147 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -975 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 9,91 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 22,5 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura:  $\emptyset 10/9-22 \text{ cm}$ ,  $m = 2$

#### 5.6.1.2. Grede 80/150

Materijali:

Beton	C50/60
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
Čelik:	B500B
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetli raspon grede:	$l_{cl} = 685 \text{ cm}$
Pretpostavljena uzdužna armatura grede:	$\emptyset_{ub} = 3,2 \text{ cm}$
Pretpostavljen promjer spona grede:	$\emptyset_{vb} = 0,8 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$
Statička visina grede:	$d_b = 144,6 \text{ cm}$

#### **Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 72.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 3774 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -444 \text{ kN}$
Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:	$z = 69,9 \text{ cm}$
Ukupni moment: $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z$	$= 408302 \text{ kNcm}$
Bezdimenzijski moment savijanja: $\mu_{Ed}$	$= 0,073$

Za  $\mu_{Rd} = 0,074$        $\zeta = 0,958$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 57,6 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 73.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 3186 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -4429 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 69,9 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 557766 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,112$

Za  $\mu_{Rd} = 0,113$        $\zeta = 0,938$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 4,43 \text{ cm}^2$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 47,43 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 8Ø32 (64,3 cm<sup>2</sup>)

### **Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 72.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 7231 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -2248 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 69,9 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 879561 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,158$

Za  $\mu_{Rd} = 0,161$        $\zeta = 0,909$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 102,20 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 73.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 4830 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -1321 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 69,6 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 574942 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,103$

Za  $\mu_{Rd} = 0,103$        $\zeta = 0,944$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 66,49 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,006$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,012$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 143,3 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni: 13Ø32 (104,6 cm<sup>2</sup>)

### **Nosivost grede na poprečnu silu**

Potresna kombinacija (tablica 73.):  $N_{Ed}^{lijevo} = -258 \text{ kN}$   $N_{Ed}^{desno} = -4430 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 74.):  $V_{Ed}^{lijevo} = 98 \text{ kN}$   $V_{Ed}^{desno} = 66 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 104,6 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,118$$

$$\nu_{Ed} = -0,012$$

$$\mu_{Rd} = 0,100$$

$$M_{Rd}^L = 170667 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 104,6 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,118$$

$$\nu_{Ed} = -0,208$$

$$\mu_{Rd} = 0,150$$

$$M_{Rd}^L = 256000 \text{ kNcm}$$

Ako se greda optereti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 623 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -525 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -557 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 12,26 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 19,2 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura:  $\emptyset 8/12-19$  cm,  $m = 2$

### 5.6.1.3. Grede 70/100

Materijali:

Beton	C50/60
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
Čelik:	B500B
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetli raspon grede:	$l_{cl} = 705 \text{ cm}$
Pretpostavljena uzdužna armatura grede:	$\emptyset_{ub} = 3,2 \text{ cm}$
Pretpostavljen promjer spona grede:	$\emptyset_{vb} = 0,8 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$
Statička visina grede:	$d_b = 94,6 \text{ cm}$

#### **Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 76.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 2047 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -267 \text{ kN}$
Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:	$z = 44,6 \text{ cm}$
Ukupni moment:	$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 216608 \text{ kNcm}$
Bezdimenzijski moment savijanja:	$\mu_{Ed} = 0,104$

Za  $\mu_{Rd} = 0,106$        $\zeta = 0,942$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 49,5 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 77.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 1402 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -2636 \text{ kN}$
Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:	$z = 44,6 \text{ cm}$

$$\text{Ukupni moment: } M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 257766 \text{ kNcm}$$

$$\text{Bezdimenzijski moment savijanja: } \mu_{Ed} = 0,123$$

$$\text{Za } \mu_{Rd} = 0,123 \quad \zeta = 0,932$$

$$\text{Potrebna armatura: } A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 6,61 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 27,15 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 7Ø32 (56,3 cm<sup>2</sup>)

### **Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 76.):

$$\text{Mjerodavni moment savijanja: } M_{Ed} = 2961 \text{ kNm}$$

$$\text{Pripadna uzdužna sila: } N_{Ed} = -408 \text{ kN}$$

$$\text{Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature: } z = 44,6 \text{ cm}$$

$$\text{Ukupni moment: } M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 314297 \text{ kNcm}$$

$$\text{Bezdimenzijski moment savijanja: } \mu_{Ed} = 0,151$$

$$\text{Za } \mu_{Rd} = 0,152 \quad \zeta = 0,914$$

$$\text{Potrebna armatura: } A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 74,22 \text{ cm}^2$$

Potresna kombinacija (tablica 77.):

$$\text{Mjerodavni moment savijanja: } M_{Ed} = 1832 \text{ kNm}$$

$$\text{Pripadna uzdužna sila: } N_{Ed} = -558 \text{ kN}$$

$$\text{Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature: } z = 44,6 \text{ cm}$$

$$\text{Ukupni moment: } M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 208087 \text{ kNcm}$$

$$\text{Bezdimenzijski moment savijanja: } \mu_{Ed} = 0,100$$

$$\text{Za } \mu_{Rd} = 0,100 \quad \zeta = 0,945$$

$$\text{Potrebna armatura: } A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 40,70 \text{ cm}^2$$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,009$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,015$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 101,5$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni: 10Ø32 (80,4 cm<sup>2</sup>)

### **Nosivost grede na poprečnu silu**

Potresna kombinacija (tablica 77.):  $N_{Ed}^{lijevo} = -264 \text{ kN}$      $N_{Ed}^{desno} = -2636 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 78.):  $V_{Ed}^{lijevo} = -70 \text{ kN}$      $V_{Ed}^{desno} = -8 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 80,4 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,158$$

$$\nu_{Ed} = -0,016$$

$$\mu_{Rd} = 0,125$$

$$M_{Rd}^L = 142917 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 80,4 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,158$$

$$\nu_{Ed} = -0,161$$

$$\mu_{Rd} = 0,016$$

$$M_{Rd}^L = 182933 \text{ kNcm}$$

Ako se greda opteretiti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 462 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -396 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -383 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 11,27 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw} \cdot \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 19,2 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura: Ø8/11-19 cm, m = 2



## 5.6.1.4. Grede 60/100

Materijali:

Beton	C50/60
Proračunska čvrstoća betona:	$f_{cd} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
Srednja vlačna čvrstoća betona:	$f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
Čelik:	B500B
Proračunska granica popuštanja:	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Geometrija:

Svijetli raspon grede:	$l_{cl} = 720 \text{ cm}$
Pretpostavljena uzdužna armatura grede:	$\emptyset_{ub} = 2,5 \text{ cm}$
Pretpostavljen promjer spona grede:	$\emptyset_{vb} = 0,8 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$
Statička visina grede:	$d_b = 95,0 \text{ cm}$

**Pozitivni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 80.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 631 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -157 \text{ kN}$
Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:	$z = 45,0 \text{ cm}$
Ukupni moment:	$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 70157 \text{ kNcm}$
Bezdimenzijski moment savijanja:	$\mu_{Ed} = 0,039$
Za $\mu_{Rd} = 0,042$	$\zeta = 0,973$

$$\text{Potrebna armatura: } A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 13,9 \text{ cm}^2$$

Potresna kombinacija (tablica 81.):

Mjerodavni moment savijanja:	$M_{Ed} = 568 \text{ kNm}$
Pripadna uzdužna sila:	$N_{Ed} = -125 \text{ kN}$
Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:	$z = 45,0 \text{ cm}$
Ukupni moment:	$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 62419 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,035$

Za  $\mu_{Rd} = 0,038$        $\zeta = 0,975$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 12,63 \text{ cm}^2$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 23,36 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u donjoj zoni: 5Ø25 (24,54 cm<sup>2</sup>)

### **Negativni moment savijanja**

GSN kombinacija (tablica 80.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 954 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -197 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 45,0 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 104255 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,058$

Za  $\mu_{Rd} = 0,059$        $\zeta = 0,966$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 21,61 \text{ cm}^2$

Potresna kombinacija (tablica 81.):

Mjerodavni moment savijanja:  $M_{Ed} = 840 \text{ kNm}$

Pripadna uzdužna sila:  $N_{Ed} = -125 \text{ kN}$

Udaljenost težišta presjeka i vlačne armature:  $z = 45,0 \text{ cm}$

Ukupni moment:  $M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z = 89619 \text{ kNcm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:  $\mu_{Ed} = 0,050$

Za  $\mu_{Rd} = 0,050$        $\zeta = 0,970$

Potrebna armatura:  $A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,s}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 19,50 \text{ cm}^2$

Maksimalna armatura:

Pretpostavlja se da je armatura u donjoj zoni jednaka duž cijele grede:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \cdot d} = 0,004$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,011$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b_w \cdot d = 63,4 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u gornjoj zoni: 5Ø25 (24,54 cm<sup>2</sup>)

### **Nosivost grede na poprečnu silu**

Potresna kombinacija (tablica 82.):  $N_{Ed}^{lijevo} = -176 \text{ kN}$   $N_{Ed}^{desno} = -985 \text{ kN}$

Nazovistalna kombinacija (tablica 83.):  $V_{Ed}^{lijevo} = -38 \text{ kN}$   $V_{Ed}^{desno} = 39 \text{ kN}$

Lijevi kraj:  $A_{s1,prov} = 24,54 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,056$$

$$\nu_{Ed} = -0,015$$

$$\mu_{Rd} = 0,060$$

$$M_{Rd}^L = 43200 \text{ kNcm}$$

Desni kraj:  $A_{s1,prov} = 24,54 \text{ cm}^2$

$$\omega_{prov} = 0,056$$

$$\nu_{Ed} = -0,082$$

$$\mu_{Rd} = 0,075$$

$$M_{Rd}^L = 54000 \text{ kNcm}$$

Ako se greda opteretiti samo momentima nosivosti, poprečne sile su:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{M_{Rd}^L + M_{Rd}^D}{l_{cl}} = 135 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila:

$$V_{Ed}^{lijevo} = -173 \text{ kN} \quad V_{Ed}^{desno} = -96 \text{ kN}$$

### **Poprečna armatura**

Prvi zahtijevani razmak na mjerodavnom rubu:  $s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 25,91 \text{ cm}$

Maksimalni razmak spona:  $s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = 19,2 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura: Ø8/19 cm, m = 2

## 5.6.2. Granično stanje uporabljivosti

Proračun graničnog stanja uporabljivosti zidova radi se prema normi EN 1992 [14].

### 5.6.2.1. Kontrola naprezanja

Potrebno je napraviti provjeru tlačnog naprezanja betona. Provjera se radi za karakterističnu kombinaciju, a kritična vrijednost tlačnog naprezanja prema normi [14] je  $0,6f_{ck}$ . Ukoliko se premaši kritična vrijednost, može doći do pojave uzdužnih pukotina u betonu što dovodi do smanjenja nosivosti.

#### ***Grede 100/160 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -12,6 \text{ N/mm}^2$  (tablica 71.)

Uvjet:  $\sigma_x = 12,6 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

#### ***Grede 80/150 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -9,8 \text{ N/mm}^2$  (tablica 75.)

Uvjet:  $\sigma_x = 9,8 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

#### ***Grede 70/100 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -7,4 \text{ N/mm}^2$  (tablica 79.)

Uvjet:  $\sigma_x = 7,4 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

#### ***Grede 60/100 cm***

Najveće tlačno naprezanje greda:  $\sigma_y = -4,1 \text{ N/mm}^2$  (tablica 84.)

Uvjet:  $\sigma_x = 4,1 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$       Uvjet je zadovoljen.

## 5.6.3. Rekapitulacija armature unutarnjih greda

Tablica 95. Rekapitulacija armature greda

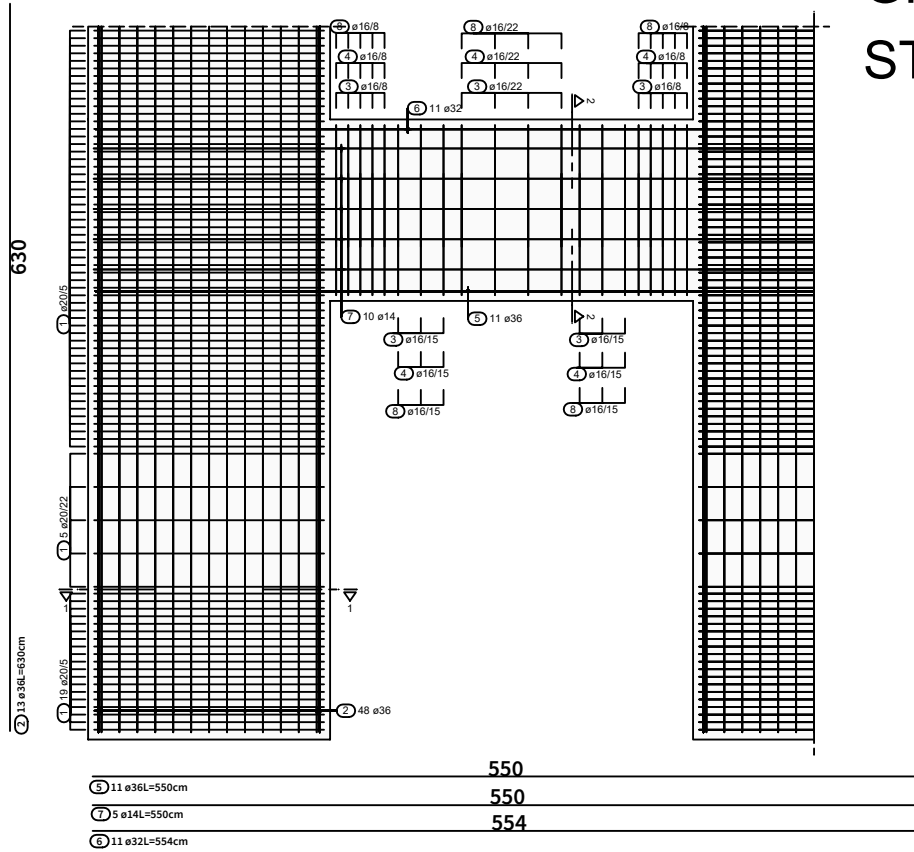
	Grede			
	100/160 cm	80/150 cm	70/100 cm	60/100 cm
Donja zona	8Ø36	8Ø32	7Ø32	5Ø25
Gornja zona	16Ø36	13Ø32	10Ø32	5Ø25
Spone	Ø10/9-22 cm	Ø8/12-19 cm	Ø8/11-19 cm	Ø8/19 cm

## 6. ARMATURNI NACRTI

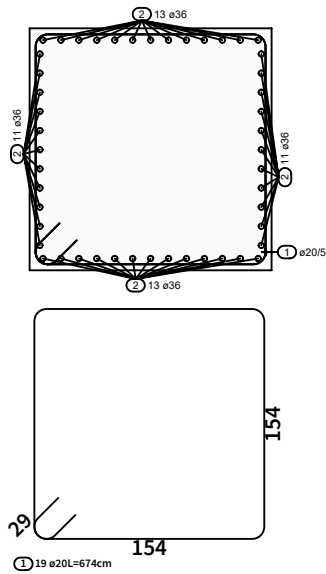
Popis nacрта:

1. GREDE 160/120 I STUPOVI 160/160
2. ZIDOVI JEZGRE  $d = 80$  cm
3. OUTRIGGER ZIDOVI  $d = 80$  cm
4. MEĐUKATNA PLOČA – DONJA ZONA
5. MEĐUKATNA PLOČA - GORNJA ZONA

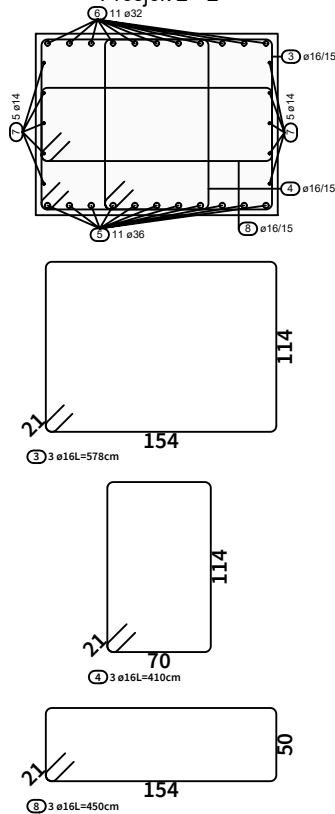
# GREDE 160/120 I STUPOVI 160/160



Presjek 1 - 1



Presjek 2 - 2



PROJEKT:

**DIPLOMSKI RAD**

SADRŽAJ NACRTA:

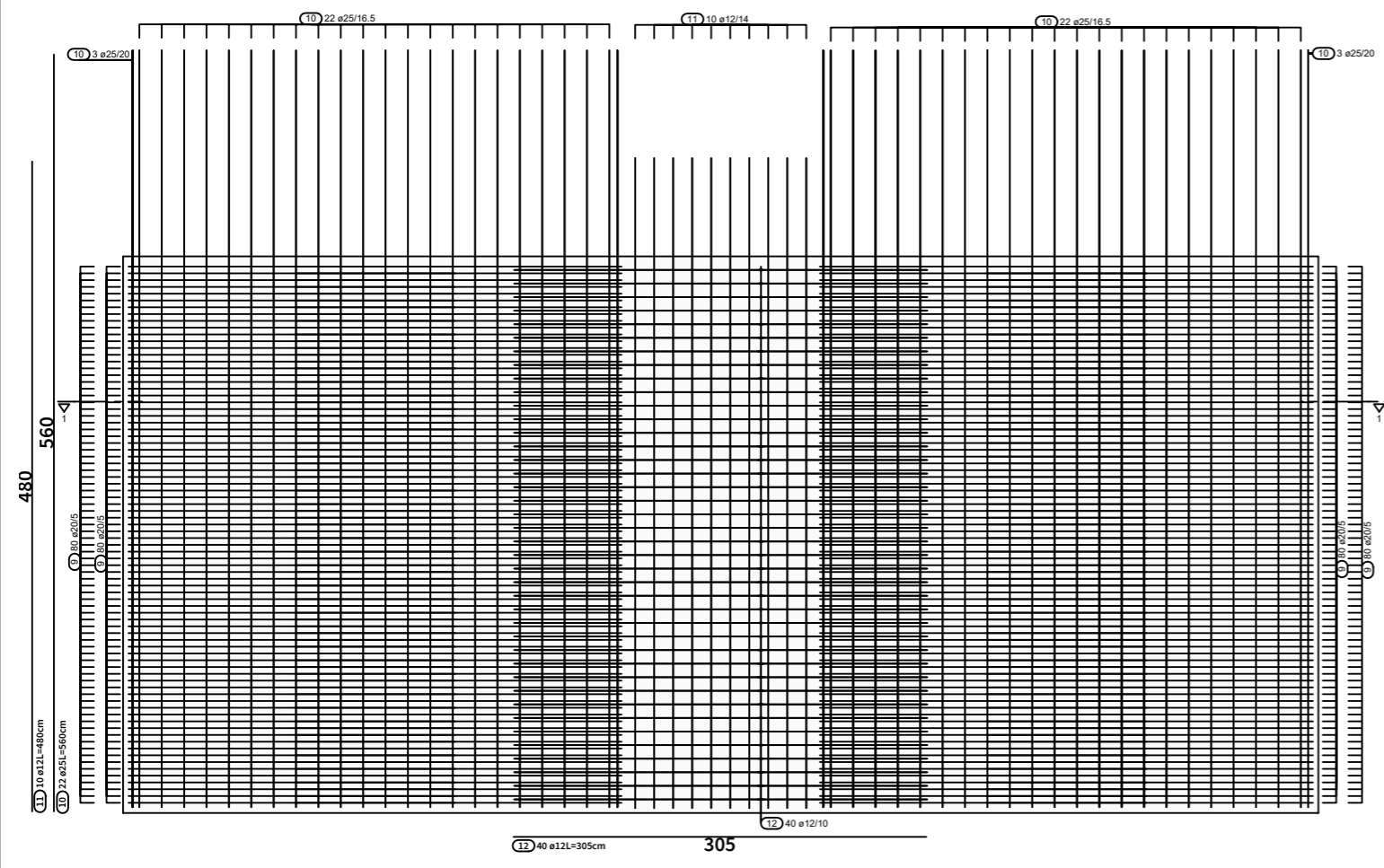
**GREDE 160/120 I  
STUPOVI 160/160**

MJERILO:  
1:50

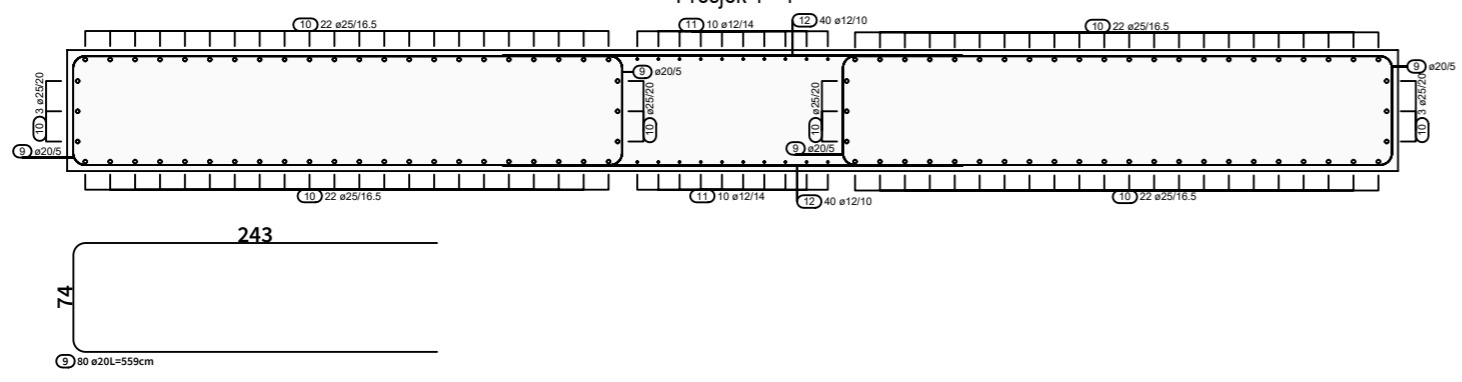
BR. NACRTA  
1.

DATUM:  
13.11.2024.

IZRADILA:  
NINA SALIH



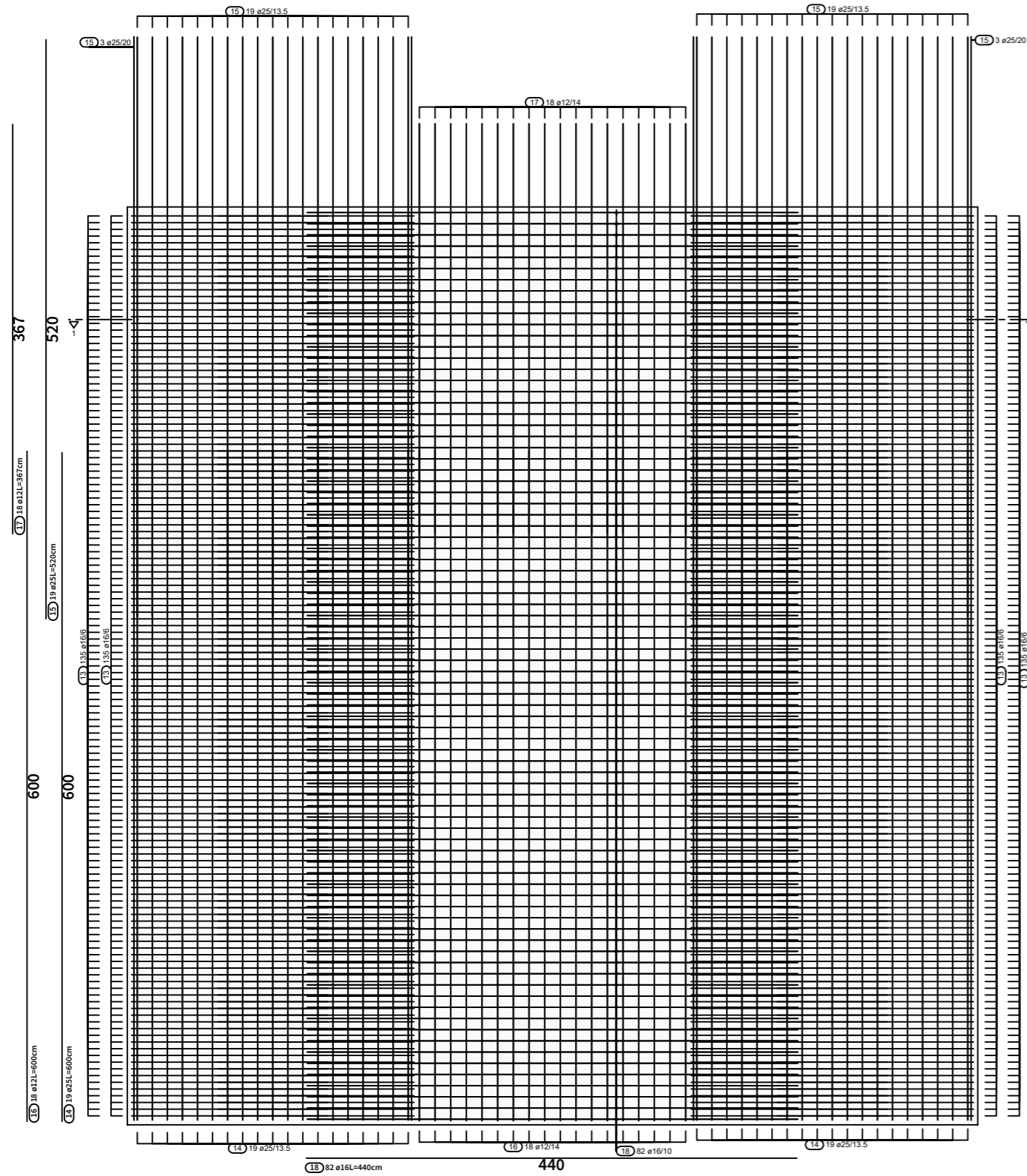
Presjek 1 - 1



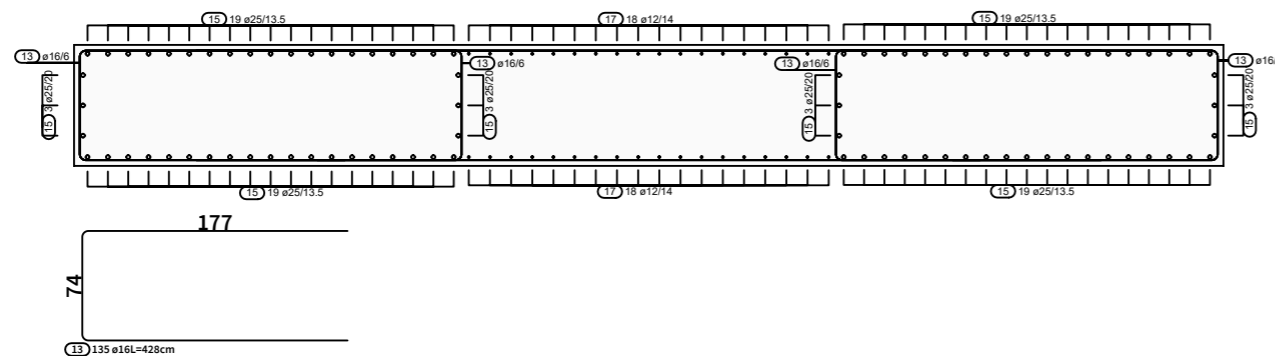
PROJEKT:	DIPLOMSKI RAD		
SADRŽAJ NACRTA:	ZIDOVI JEZGRE d = 80 cm		
MJERILO: 1:50	BR. NACRTA 2.	DATUM: 13.11.2024.	IZRADILA: NINA SALIH



# OUTRIGGER ZIDOVI d = 80 cm

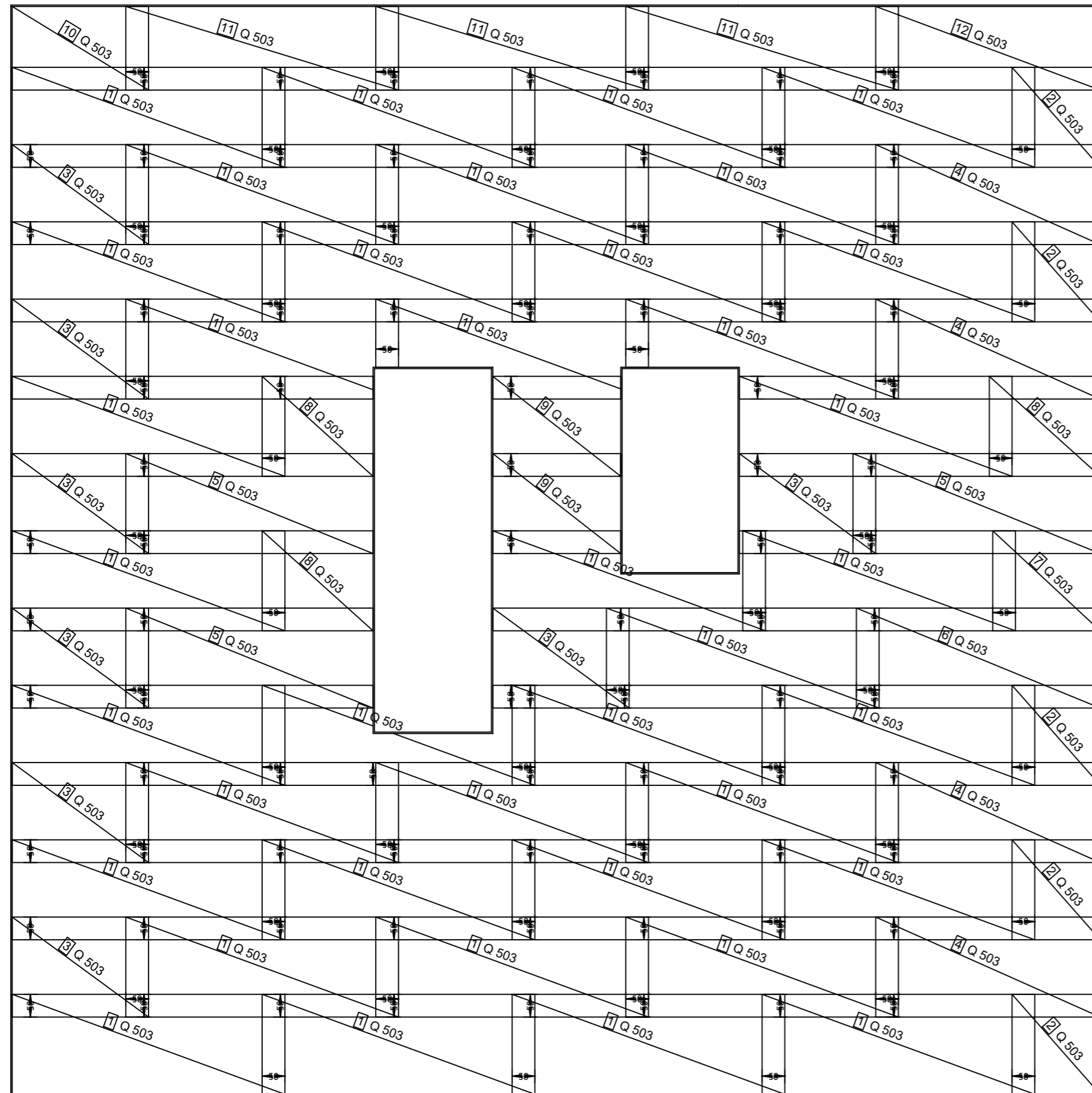


Presjek 1 - 1



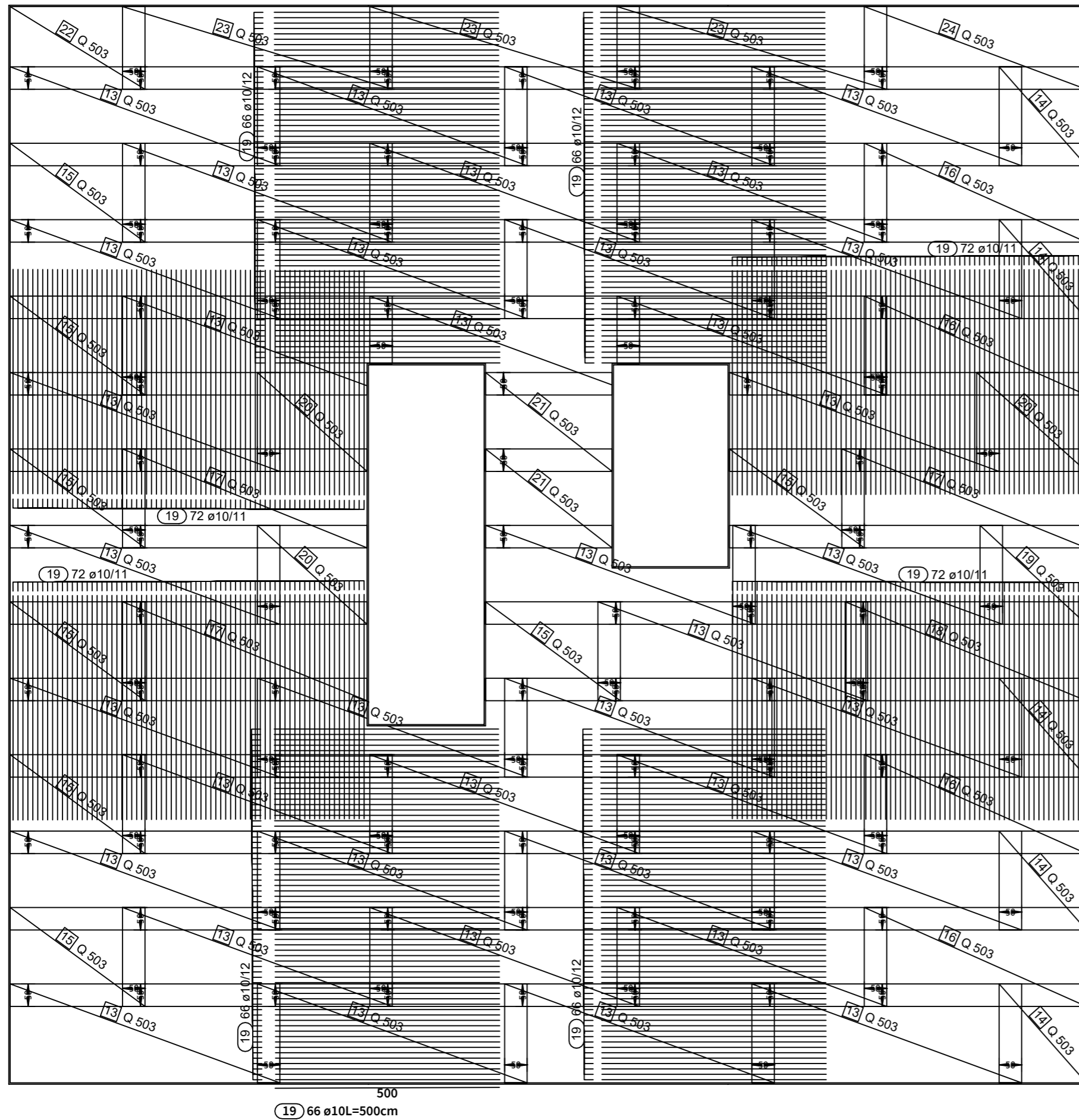
PROJEKT:	DIPLOMSKI RAD		
SADRŽAJ NACRTA:	OUTRIGGER ZIDOVI d = 80 cm		
MJERILO: 1:50	BR. NACRTA 3.	DATUM: 13.11.2024.	IZRADILA: NINA SALIH

# MEĐUKATNA PLOČA - DONJA ZONA



PROJEKT:	DIPLOMSKI RAD		
SADRŽAJ NACRTA:	MEĐUKATNA PLOČA - DONJA ZONA		
MJERILO: 1:100	BR. NACRTA 4.	DATUM: 13.11.2024.	IZRADILA: NINA SALIH

# MEĐUKATNA PLOČA - GORNJA ZONA



PROJEKT:		DIPLOMSKI RAD	
SADRŽAJ NACRTA:		MEĐUKATNA PLOČA - GORNJA ZONA	
MJERILO: 1:100	BR. NACRTA 5.	DATUM: 13.11.2024.	IZRADILA: NINA SALIH

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu napravljen je proračun visoke zgrade cijevnog sustava s jezgrom i outrigger zidovima. Analize i proračuni provedeni su u skladu s propisima i normama. Na temelju provedenog statičkog i dinamičkog proračuna pokazano je da konstrukcija može izdržati sva predviđena djelovanja te je dokazano je da zgrada zadovoljava granična stanja nosivosti i uporabljivosti. U skladu s dobivenim rezultatima, dimenzionirani su svi elementi konstrukcije i odabran je zadovoljavajući materijal te je dana potrebna armatura za sve elemente.

## POPIS LITERATURE

- [1] Partovi A., Svard J. *Global Analysis of Tall Buildings with Tubed Mega Frame Structure*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology; 2016.
- [2] Vlašić A., Puž G., Skokandić D. *Skripta iz kolegija Visoke građevine*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 2018.
- [3] nHRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja: Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja za zgrade – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-1:General actions – Densities, self –weight, imposed loads for buildings – National Annex
- [4] HRN EN 1991-1-3:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja: Opterećenje snijegom, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-3:General actions – Snow loads. European Committee for Standardization, Brussels.
- [5] nHRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja: Opterećenje snijegom – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-3:General actions – Snow loads – National Annex
- [6] [https://bs.wikipedia.org/wiki/Rijeka\\_\(grad\)](https://bs.wikipedia.org/wiki/Rijeka_(grad)), [Pristupljeno 15. srpnja 2024.]
- [7] HRN EN 1991-1-4:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja: Djelovanja vjetra, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-4:General actions – Wind actions. European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] nHRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja: Djelovanja vjetra – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-4:General actions – Wind actions – National Annex
- [9] nHRN EN 1998-1-1:2011/NA:2011. Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – Dio 1: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1:General rules, seismic actions and rules for buildings – National Annex
- [10] Karte potresnih područja Republike Hrvatske (Online). Dostupno: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php> [Pristupljeno 21. srpnja 2024.]
- [11] HRN EN 1998-1-1:2011. Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – Dio 1: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, Eurocode 8: Design of

structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.

[12] HRN EN 1990:2023. Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija i geotehničkog projektiranja, Eurocode 0: Basis of structural and geotechnical design. European Committee for Standardization, Brussels.

[13] nHRN EN 1990:2011/NA:2011. Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak, Eurocode 0: Basis of structural design – National Annex

[14] HRN EN 1992-1-1:2023. Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1.1. Opća pravila i pravila za zgrade, mostove i građevinske konstrukcije, Eurocode 2: Design of concrete structure – Part 1.1. General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures. European Committee for Standardization, Brussels.

[15] Sorić Z., Kišiček T. *Betonske konstrukcije 1*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 2014.

## POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Tlocrt etaža 1-14.....</i>	<i>9</i>
<i>Slika 2. Tlocrt etaža 15-16.....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 3. Tlocrt etaža 17-18.....</i>	<i>11</i>
<i>Slika 4. Tlocrt etaža 19-32.....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 5. Tlocrt etaža 33-34.....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 6. Tlocrt etaža 35-36.....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 7. Tlocrt etaža 37-50.....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 8. Tlocrt etaža 51-52.....</i>	<i>16</i>
<i>Slika 9. Tlocrt etaža 53-54.....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 10. Tlocrt etaža 55-68.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 11. Tlocrt etaža 69-70.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 12. Tlocrt etaža 71-72.....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 13. Presjek A-A.....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 14. Presjek B-B.....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 15. Pogled na zgradu.....</i>	<i>23</i>
<i>Slika 16. Tlocrt stubišta.....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 17. Presjek stubišta.....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 18. Karta snježnih područja (Izvor: [5]).....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 19. Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra <math>v_{b,0}</math> (Izvor: [8]).....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 20. Koeficijenti sile <math>c_{f,0}</math> za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja (Izvor: [7]).....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 21. Faktor smanjenja <math>\psi_r</math> za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima (Izvor: [7]).....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 22. Definicija omjera punoće <math>\varphi</math> (Izvor: [7]).....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 23. Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja <math>\psi_\lambda</math> kao funkcije omjera punoće <math>\varphi</math> i vitkosti <math>\lambda</math> (Izvor: [7]).....</i>	<i>34</i>

<i>Slika 24. Opći oblici konstrukcija obuhvaćenih ovim postupkom zajedno s dimenzijama i referentnim visinama (Izvor: [7])</i> .....	35
<i>Slika 25. Tri slučaja raspodjele tlaka po visini zgrade (Izvor: [7])</i> .....	41
<i>Slika 26. Vrijednosti vršnog ubrzanja tla za Rijeku (Izvor: [10])</i> .....	44
<i>Slika 27. Grafički prikaz elastičnog spektra odziva</i> .....	47
<i>Slika 28. Grafički prikaz elastičnog spektra odziva</i> .....	48
<i>Slika 29. Usporedba proračunskog i elastičnog spektra odziva</i> .....	48
<i>Slika 30. Slučajna ekscentričnost</i> .....	49
<i>Slika 31. Računalni model zgrade</i> .....	51
<i>Slika 32. Prikaz unutrašnjosti modela (jezgra i outrigger zidovi)</i> .....	52
<i>Slika 33. Dodatno stalno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	53
<i>Slika 34. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	54
<i>Slika 35. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	54
<i>Slika 36. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	55
<i>Slika 37. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	55
<i>Slika 38. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	56
<i>Slika 39. Dodatno stalno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	56
<i>Slika 40. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	57
<i>Slika 41. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	57
<i>Slika 42. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	58
<i>Slika 43. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	58
<i>Slika 44. Uporabno opterećenje krovne konstrukcije [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	59
<i>Slika 45. Opterećenje od snijega na krovnu konstrukciju [kN/m<sup>2</sup>]</i> .....	59
<i>Slika 46. Opterećenje od vjetra [kN/m']</i> .....	60
<i>Slika 47. Spektar odziva za povratno razdoblje od 475 godina</i> .....	61
<i>Slika 48. Spektar odziva za povratno razdoblje od 95 godina</i> .....	62
<i>Slika 49. Prvi vlastiti oblik</i> .....	64
<i>Slika 50. Drugi vlastiti oblik</i> .....	65



<i>Slika 51. Treći vlastiti oblik.....</i>	<i>66</i>
<i>Slika 52. Definicija horizontalnih pomaka (izvor: [12]).....</i>	<i>67</i>
<i>Slika 53. Pomaci za karakterističnu kombinaciju.....</i>	<i>68</i>
<i>Slika 54. Pomaci od djelovanja potresa u x smjeru.....</i>	<i>73</i>
<i>Slika 55. Pomaci od djelovanja potresa u y smjeru.....</i>	<i>74</i>
<i>Slika 56. Anvelopa maksimalnih momenata <math>m_x</math>.....</i>	<i>81</i>
<i>Slika 57. Anvelopa minimalnih momenata <math>m_x</math>.....</i>	<i>81</i>
<i>Slika 58. Anvelopa maksimalnih momenata <math>m_y</math>.....</i>	<i>82</i>
<i>Slika 59. Anvelopa minimalnih momenata <math>m_y</math>.....</i>	<i>82</i>
<i>Slika 60. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za međukatnu ploču (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>83</i>
<i>Slika 61. Progib međukatne ploče (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>84</i>
<i>Slika 62. Pukotine međukatne ploče (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>84</i>
<i>Slika 63. Anvelopa maksimalnih momenata <math>m_x</math>.....</i>	<i>85</i>
<i>Slika 64. Anvelopa minimalnih momenata <math>m_x</math>.....</i>	<i>86</i>
<i>Slika 65. Anvelopa maksimalnih momenata <math>m_y</math>.....</i>	<i>86</i>
<i>Slika 66. Anvelopa minimalnih momenata <math>m_y</math>.....</i>	<i>87</i>
<i>Slika 67. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za krovnu ploču (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>88</i>
<i>Slika 68. Progib krovne ploče (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>88</i>
<i>Slika 69. Pukotine krovne ploče (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>89</i>
<i>Slika 70. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>90</i>
<i>Slika 71. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>90</i>
<i>Slika 72. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>91</i>
<i>Slika 73. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>91</i>
<i>Slika 74. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>92</i>

<i>Slika 75. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	92
<i>Slika 76. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	92
<i>Slika 77. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	93
<i>Slika 78. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	94
<i>Slika 79. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	95
<i>Slika 80. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	95
<i>Slika 81. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	96
<i>Slika 82. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	96
<i>Slika 83. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	97
<i>Slika 84. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	97
<i>Slika 85. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	98
<i>Slika 86. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	99
<i>Slika 87. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	100
<i>Slika 88. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	100
<i>Slika 89. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	101
<i>Slika 90. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	101
<i>Slika 91. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	102
<i>Slika 92. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	102

<i>Slika 93. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	102
<i>Slika 94. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	103
<i>Slika 95. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	104
<i>Slika 96. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija)</i>	105
<i>Slika 97. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija)</i>	105
<i>Slika 98. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija)</i>	106
<i>Slika 99. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija)</i>	106
<i>Slika 100. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	107
<i>Slika 101. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	107
<i>Slika 102. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	107
<i>Slika 103. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	108
<i>Slika 104. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	109
<i>Slika 105. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	110
<i>Slika 106. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	110

<i>Slika 107. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	111
<i>Slika 108. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija)</i>	111
<i>Slika 109. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	112
<i>Slika 110. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	112
<i>Slika 111. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	112
<i>Slika 112. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	113
<i>Slika 113. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	114
<i>Slika 114. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	115
<i>Slika 115. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	115
<i>Slika 116. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	116
<i>Slika 117. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija)</i>	116
<i>Slika 118. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	117
<i>Slika 119. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	117
<i>Slika 120. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,y}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	117

<i>Slika 121. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed,z}</math> za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>118</i>
<i>Slika 122. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>119</i>
<i>Slika 123. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 160/160 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>120</i>
<i>Slika 124. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 160/160 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>120</i>
<i>Slika 125. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 160/160 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>121</i>
<i>Slika 126. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 160/160 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>121</i>
<i>Slika 127. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 160/160 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>122</i>
<i>Slika 128. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 150/150 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>123</i>
<i>Slika 129. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 150/150 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>123</i>
<i>Slika 130. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 150/150 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>124</i>
<i>Slika 131. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 150/150 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>124</i>
<i>Slika 132. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 150/150 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>125</i>
<i>Slika 133. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 120/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>126</i>
<i>Slika 134. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 120/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>126</i>
<i>Slika 135. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 120/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>127</i>
<i>Slika 136. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 120/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>127</i>
<i>Slika 137. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 120/120 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>128</i>

<i>Slika 138. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>129</i>
<i>Slika 139. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>129</i>
<i>Slika 140. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za stupove 100/100 cm (potresna kombinacija)</i> .....	<i>130</i>
<i>Slika 141. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za stupove 100/100 cm (potresna kombinacija)</i> .....	<i>130</i>
<i>Slika 142. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za stupove 100/100 cm</i> <i>(karakteristična kombinacija).....</i>	<i>131</i>
<i>Slika 143. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 160/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>132</i>
<i>Slika 144. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 160/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>132</i>
<i>Slika 145. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 160/120 cm (potresna kombinacija).</i>	<i>133</i>
<i>Slika 146. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 160/120 cm (potresna kombinacija)</i>	<i>133</i>
<i>Slika 147. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za grede 160/120 cm (nazovistalna kombinacija)</i> .....	<i>134</i>
<i>Slika 148. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 160/120 cm</i> <i>(karakteristična kombinacija).....</i>	<i>134</i>
<i>Slika 149. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 150/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>135</i>
<i>Slika 150. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 150/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>135</i>
<i>Slika 151. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 150/120 cm (potresna kombinacija).</i>	<i>136</i>
<i>Slika 152. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 150/120 cm (potresna kombinacija)</i>	<i>136</i>
<i>Slika 153. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija)</i> .....	<i>137</i>
<i>Slika 154. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 150/120 cm</i> <i>(karakteristična kombinacija).....</i>	<i>137</i>
<i>Slika 155. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 120/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>138</i>
<i>Slika 156. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 120/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>138</i>
<i>Slika 157. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 120/100 cm (potresna kombinacija).</i>	<i>139</i>
<i>Slika 158. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 120/100 cm (potresna kombinacija)</i>	<i>139</i>

<i>Slika 159. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija)</i>	140
<i>Slika 160. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija)</i>	140
<i>Slika 161. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)</i>	141
<i>Slika 162. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 100/100 cm (GSN kombinacija)</i>	141
<i>Slika 163. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>N_{Ed}</math> za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)</i>	142
<i>Slika 164. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>M_{Ed}</math> za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)</i>	142
<i>Slika 165. Grafički prikaz mjerodavne sile <math>V_{Ed}</math> za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija)</i>	143
<i>Slika 166. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija)</i>	143
<i>Slika 167. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (GSN kombinacija)</i>	144
<i>Slika 168. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (GSN kombinacija)</i>	144
<i>Slika 169. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (potresna kombinacija)</i>	145
<i>Slika 170. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 160/150 cm (potresna kombinacija)</i>	145
<i>Slika 171. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 160/150 cm (nazovistalna kombinacija)</i>	146
<i>Slika 172. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 160/150 cm (karakteristična kombinacija)</i>	146
<i>Slika 173. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)</i>	147
<i>Slika 174. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija)</i>	147

<i>Slika 175. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>148</i>
<i>Slika 176. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>148</i>
<i>Slika 177. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>149</i>
<i>Slika 178. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>149</i>
<i>Slika 179. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>150</i>
<i>Slika 180. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>150</i>
<i>Slika 181. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>151</i>
<i>Slika 182. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>151</i>
<i>Slika 183. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>152</i>
<i>Slika 184. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>152</i>
<i>Slika 185. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>153</i>
<i>Slika 186. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>153</i>
<i>Slika 187. Grafički prikaz mjerodavnog pozitivnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>154</i>
<i>Slika 188. Grafički prikaz mjerodavnog negativnog momenta i pripadajuće uzdužne sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>154</i>



---

<i>Slika 189. Grafički prikaz mjerodavne tlačne sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija)</i>	
.....	155
<i>Slika 190. Grafički prikaz mjerodavne poprečne sile za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija)</i> .....	156
<i>Slika 191. Grafički prikaz mjerodavnog tlačnog naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija)</i> .....	156
<i>Slika 192. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog</i> .....	210
<i>Slika 193. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog</i> .....	218
<i>Slika 194. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog</i> .....	226
<i>Slika 195. Uzdužna sila u stupu iznad promatranog</i> .....	234

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (Izvor: [3])</i> .....	26
<i>Tablica 2. Nastavak tablice 5.1</i> .....	27
<i>Tablica 3. Kategorije krovova (Izvor: [3])</i> .....	27
<i>Tablica 4. Uporabna opterećenja krovova kategorije H (Izvor: [3])</i> .....	28
<i>Tablica 5. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [5])</i> .....	30
<i>Tablica 6. Vrijednosti proračunske vitkosti <math>\lambda</math> za kružne valjke, poligonalne presjeke, pravokutne presjeke, profile s oštrim rubovima i rešetkaste konstrukcije (Izvor: [8])</i> .....	34
<i>Tablica 7. Kategorija terena i parametri terena (Izvor: [7])</i> .....	35
<i>Tablica 8. Približne vrijednosti logaritamskog dekrementa konstrukcijskog prigušenja u osnovnom obliku vibriranja (Izvor: [7])</i> .....	39
<i>Tablica 9. Konstante G i K kao funkcije oblika vibriranja (Izvor: [7])</i> .....	40
<i>Tablica 10. Raspodjela tlaka vjetra po visini zgrade</i> .....	42
<i>Tablica 11. Preporučene vrijednosti parametara TB, TC, TD, S (Izvor: [11])</i> .....	45
<i>Tablica 12. Osnovna vrijednost faktora ponašanja (Izvor: [11])</i> .....	46
<i>Tablica 13. Vlastiti periodi i frekvencije</i> .....	62
<i>Tablica 14. Ograničenje horizontalnih pomaka konstrukcije</i> .....	67
<i>Tablica 15. Horizontalni pomaci zgrade za karakterističnu kombinaciju</i> .....	69
<i>Tablica 16. Provjera međukatnog pomaka za djelovanje potresa u x smjeru</i> .....	75
<i>Tablica 17. Provjera međukatnog pomaka za djelovanje potresa u y smjeru</i> .....	76
<i>Tablica 18. Kombinacije opterećenja za određivanje koeficijenta kritičnog opterećenja</i> .....	78
<i>Tablica 19. Vrijednosti koeficijenata kritičnog opterećenja</i> .....	79
<i>Tablica 20. Mjerodavne sile za međukatnu ploču (GSN kombinacija)</i> .....	80
<i>Tablica 21. Mjerodavna naprezanja za međukatnu ploču (karakteristična kombinacija)</i> .....	83
<i>Tablica 22. Mjerodavne sile za krovnu ploču (GSN kombinacija)</i> .....	85
<i>Tablica 23. Mjerodavna naprezanja za krovnu ploču (karakteristična kombinacija)</i> .....	87

<i>Tablica 24. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>90</i>
<i>Tablica 25. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>91</i>
<i>Tablica 26. Mjerodavna naprezanja za zidove jezgre <math>d = 80</math> cm (karakteristična kombinacija)...</i>	<i>93</i>
<i>Tablica 27. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>95</i>
<i>Tablica 28. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>96</i>
<i>Tablica 29. Mjerodavna naprezanja za zidove jezgre <math>d = 70</math> cm (karakteristična kombinacija)...</i>	<i>98</i>
<i>Tablica 30. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>100</i>
<i>Tablica 31. Mjerodavne unutarnje sile za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>101</i>
<i>Tablica 32. Mjerodavna naprezanja za zidove jezgre <math>d = 60</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	<i>103</i>
<i>Tablica 33. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>105</i>
<i>Tablica 34. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (potresna kombinacija)</i>	<i>106</i>
<i>Tablica 35. Mjerodavna naprezanja za outrigger zidove <math>d = 80</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	<i>108</i>
<i>Tablica 36. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>110</i>
<i>Tablica 37. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (potresna kombinacija)</i>	<i>111</i>
<i>Tablica 38. Mjerodavna naprezanja za outrigger zidove <math>d = 70</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	<i>113</i>
<i>Tablica 39. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>115</i>
<i>Tablica 40. Mjerodavne unutarnje sile za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (potresna kombinacija)</i>	<i>116</i>
<i>Tablica 41. Mjerodavna naprezanja za outrigger zidove <math>d = 60</math> cm (karakteristična kombinacija)</i>	<i>118</i>
<i>Tablica 42. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 160/160 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>120</i>
<i>Tablica 43. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 160/160 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>121</i>
<i>Tablica 44. Mjerodavna naprezanja za stupove 160/160 cm (karakteristična kombinacija)...</i>	<i>122</i>
<i>Tablica 45. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 150/150 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>123</i>
<i>Tablica 46. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 150/150 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>124</i>
<i>Tablica 47. Mjerodavna naprezanja za stupove 150/150 cm (karakteristična kombinacija)...</i>	<i>125</i>
<i>Tablica 48. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 120/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>126</i>

<i>Tablica 49. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 120/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>127</i>
<i>Tablica 50. Mjerodavna naprezanja za stupove 120/120 cm (karakteristična kombinacija)...</i>	<i>128</i>
<i>Tablica 51. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>129</i>
<i>Tablica 52. Mjerodavne unutarnje sile za stupove 100/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>130</i>
<i>Tablica 53. Mjerodavna naprezanja za stupove 100/100 cm (karakteristična kombinacija)...</i>	<i>131</i>
<i>Tablica 54. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>132</i>
<i>Tablica 55. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>133</i>
<i>Tablica 56. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/120 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>134</i>
<i>Tablica 57. Mjerodavna naprezanja za grede 160/120 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>134</i>
<i>Tablica 58. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>135</i>
<i>Tablica 59. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>136</i>
<i>Tablica 60. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>137</i>
<i>Tablica 61. Mjerodavna naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>137</i>
<i>Tablica 62. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>138</i>
<i>Tablica 63. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>139</i>
<i>Tablica 64. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>140</i>
<i>Tablica 65. Mjerodavna naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>140</i>
<i>Tablica 66. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>141</i>
<i>Tablica 67. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>142</i>
<i>Tablica 68. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>143</i>
<i>Tablica 69. Mjerodavna naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>143</i>
<i>Tablica 70. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/150 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>144</i>
<i>Tablica 71. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/150 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>145</i>
<i>Tablica 72. Mjerodavne unutarnje sile za grede 160/150 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>146</i>
<i>Tablica 73. Mjerodavna naprezanja za grede 160/150 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>146</i>
<i>Tablica 74. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>147</i>
<i>Tablica 75. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>148</i>
<i>Tablica 76. Mjerodavne unutarnje sile za grede 150/120 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>149</i>

<i>Tablica 77. Mjerodavna naprezanja za grede 150/120 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>149</i>
<i>Tablica 78. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>150</i>
<i>Tablica 79. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>151</i>
<i>Tablica 80. Mjerodavne unutarnje sile za grede 120/100 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>152</i>
<i>Tablica 81. Mjerodavna naprezanja za grede 120/100 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>152</i>
<i>Tablica 82. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (GSN kombinacija).....</i>	<i>153</i>
<i>Tablica 83. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>154</i>
<i>Tablica 84. Najveća mjerodavna tlačna sila za grede 100/100 cm (potresna kombinacija).....</i>	<i>155</i>
<i>Tablica 85. Mjerodavne unutarnje sile za grede 100/100 cm (nazovistalna kombinacija).....</i>	<i>155</i>
<i>Tablica 86. Mjerodavna naprezanja za grede 100/100 cm (karakteristična kombinacija).....</i>	<i>156</i>
<i>Tablica 87. Preporučena razredba konstrukcija (Izvor: [14]).....</i>	<i>158</i>
<i>Tablica 88. Vrijednost <math>c_{min,dur}</math> (Izvor: [14]).....</i>	<i>158</i>
<i>Tablica 89. Preporučene granične vrijednosti pukotina, <math>w_{max}</math> (Izvor: [14]).....</i>	<i>163</i>
<i>Tablica 90. Rekapitulacija armature ploča.....</i>	<i>169</i>
<i>Tablica 91. Rekapitulacija armature zidova jezgre.....</i>	<i>186</i>
<i>Tablica 92. Rekapitulacija armature outrigger zidova.....</i>	<i>203</i>
<i>Tablica 93. Rekapitulacija armature greda.....</i>	<i>237</i>
<i>Tablica 94. Rekapitulacija armature stupova.....</i>	<i>237</i>
<i>Tablica 95. Rekapitulacija armature greda.....</i>	<i>251</i>