

# Proračun konstrukcije poslovne zgrade sa pločama direktno oslonjenima na stupove

---

Jurko, Božena

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:274260>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Božena Jurko**

**Split, 2021. godina**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Proračun konstrukcije poslovne zgrade sa pločama direktno oslonjenima  
na stupove

**Završni rad**

**Split, 2021. godina**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Božena Jurko

BROJ INDEKSA:

KATEDRA: **Katedra za betonske konstrukcije i mostove**

PREDMET: Betonske konstrukcije 2

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

**Tema: Proračun konstrukcije poslovne zgrade sa pločama direktno oslonjenima na stupove**

Potrebno je izraditi projekt okvirne konstrukcije stambeno poslovne zgrade. Zadani su tlocrti i presjeci zgrade sa svim potrebnim dimenzijama te sva djelovanja na konstrukciju. Potrebno je proračunati nosivu konstrukciju. Sve proračune izraditi sukladno propisima i pravilima struke.

U Splitu, 17.9.2021.

Mentor: Doc.dr.sc. Nikola Grgić

***Sažetak:***

Tema završnog rada je proračun konstrukcije poslovne zgrade sa pločama direktno oslonjenim na stupove. Zadatkom su definirani svi tlocrti zgrade kao i opterećenja koja djeluju na konstrukciju u vertikalnom i horizontalnom smjeru. Svi potrebni proračuni su napravljeni u skladu sa zakonima i pravilima struke.

***Ključne riječi:*** beton, armatura, armirani beton, proračun

## **Calculation of reinforced-concrete residential office building**

**Abstract:**

The theme of the final paper is the calculation of the construction of office buildings with slabs directly released on the pillars. The task defines all the floor plans of the building as well as the loads that act on the construction in a vertical and horizontal direction. All necessary calculation are made in accordance with the laws and rules of the profession.

**Keywords:** concrete, reinforcement bar, reinforced concrete, calculation

## Sadržaj

1.	TEHNIČKI OPIS .....	6
2.	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	10
2.1.	Proračun ploče pozicije 100-krovna konstrukcija .....	10
2.1.1.	Stalno opterećenje ( $g_{100}$ ).....	10
2.1.2.	Promjenjivo (uporabno) opterećenje ( $q_{100}$ ).....	10
3.	PRORAČUN PLOČE POZICIJE 100.....	11
3.1.	Momenti savijanja u ploči pozicije 100 .....	11
3.2.	Granično stanje nosivosti .....	14
3.3.	Dimenzioniranje ploče pozicije 100.....	15
3.4.	Dimenzioniranje ploče pozicije 100 (zadebljanja oko stupova).....	17
4.	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	19
4.1.	Proračun ploče pozicije 200-međukatna konstrukcija.....	19
4.1.1	Stalno opterećenje ( $g_{200}$ ).....	19
4.1.2.	Promjenjivo (uporabno) opterećenje ( $q_{200}$ ).....	19
4.2.	PRORAČUN PLOČE POZICIJE 200.....	20
4.2.1.	Momenti savijanja u ploči pozicije 200 .....	20
4.3.	Granično stanje nosivosti .....	23
4.4.	Dimenzioniranje ploče pozicije 200.....	24
4.5.	Dimenzioniranje ploče pozicije 200 (zadebljanja oko stupova).....	26
4.6.	Proračun na proboj .....	28
5.	PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA POTRESNO DJELOVANJE ZA RAZRED UMJERENE DUKTILNOSTI (DCM) METODOM SPEKTRALNE ANALIZE PREMA EC8-EN 1998-1:2011 POMOĆU RAČUNALNOG PROGRAMA "AUTODESK ROBOT" .....	31
5.1.	Prikaz rezultata modalne analize i određivanje faktora ponašanja .....	32
6.	PRORAČUN VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....	37
6.1.	Stupovi .....	37
6.1.1.	Maksimalni momenti savijanja i uzdužne sile za stup 50x50cm .....	38
6.1.2.	Maksimalni momenti savijanja i uzdužne sile za stip 70x30cm .....	40
6.2.	Dimenzioniranje stupa.....	42
6.3.	Zidovi .....	44
6.3.1.	Maksimalni momenti savijanja i uzdužne sile za zidove .....	45
6.4.	Dimenzioniranje zidova .....	47
7.	LITERATURA.....	49

## 1. TEHNIČKI OPIS

Projektirana građevina poslovnu namjenu. Tlocrtna dimenzija građevine su 30,25x14,25m, a sastoji se od prizemlja i pet katova. Konstruktivna visina prizemlja je 4m, a ostalih etaža 3m pa je ukupna visina građevine 19m. Završna ploča petog kata je ravni krov objekta.

Sve međukatne konstrukcije su armiranobetonske ploče visine  $h=24$  cm, s tim da zadebljanom pločom od  $h=40$ cm oko stupova u dimenzijama  $x$  cm. Svi nosivi stupovi su dimenzija 50x50 cm. Ispod stupova predviđeni su temelji samci.

Proračun nosive konstrukcije za odabrana opterećenja izvršen je sukladno Tehničkim propisima za betonske konstrukcije (N. N. br. 101, kolovoz 2005.), te hrvatskim normama HRN EN 1991-1-1, HRN EN 1991-1-4 I HRN EN 1998-1.

Vlastita težina elemenata nosive konstrukcije i sav stalni teret proračunati su prema važećim propisima kao jednoliko raspodijeljeno opterećenje u  $\text{kN/m}^2$ .

Stalno opterećenje predmetne građevine  $3 \text{ kN/m}^2$  za međukatne konstrukcije, a za krov  $3,77 \text{ kN/m}^2$

Promjenjivo opterećenje predmetne građevine je  $2 \text{ kN/m}^2$  za međukatne konstrukcije, a za krov  $1 \text{ kN/m}^2$

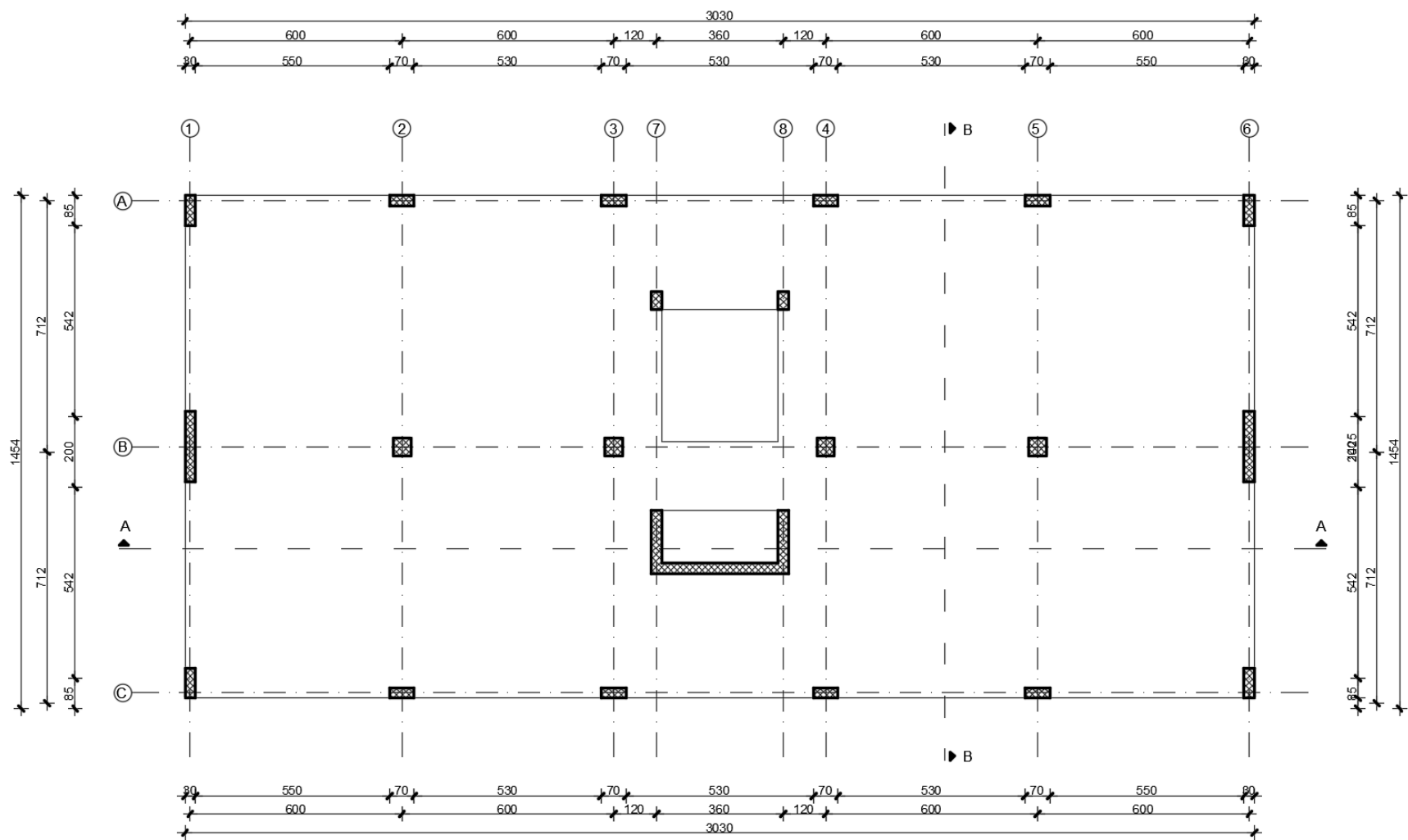
Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima pripada potresnoj zoni, u kojoj se za povratni period od 475 godina pri potresu očekuje proračunsko ubrzanje temeljnog tla od  $a_g=0.22$  g. Proračun seizmičkih sila izvršen je prema važećim seizmičkim propisima. Konstrukcija preuzima seizmičke sile sa svojim vertikalnim elementima, a to su stupovi.

Na temelju geotehničkih istražnih radova određeno je dopušteno naprezanje u tlu, koje na dubini temeljenja iznosi  $0.45 \text{ MPa}$ .

Za armiranobetonsku nosivu konstrukciju odabran je beton C 30/37 i čelik za armiranje B 500B. Za armiranje nosivih elemenata konstrukcije predviđene su rebraste šipke, osim za međukatne nosive konstrukcije za koje su predviđene R i Q zavarene mreže.

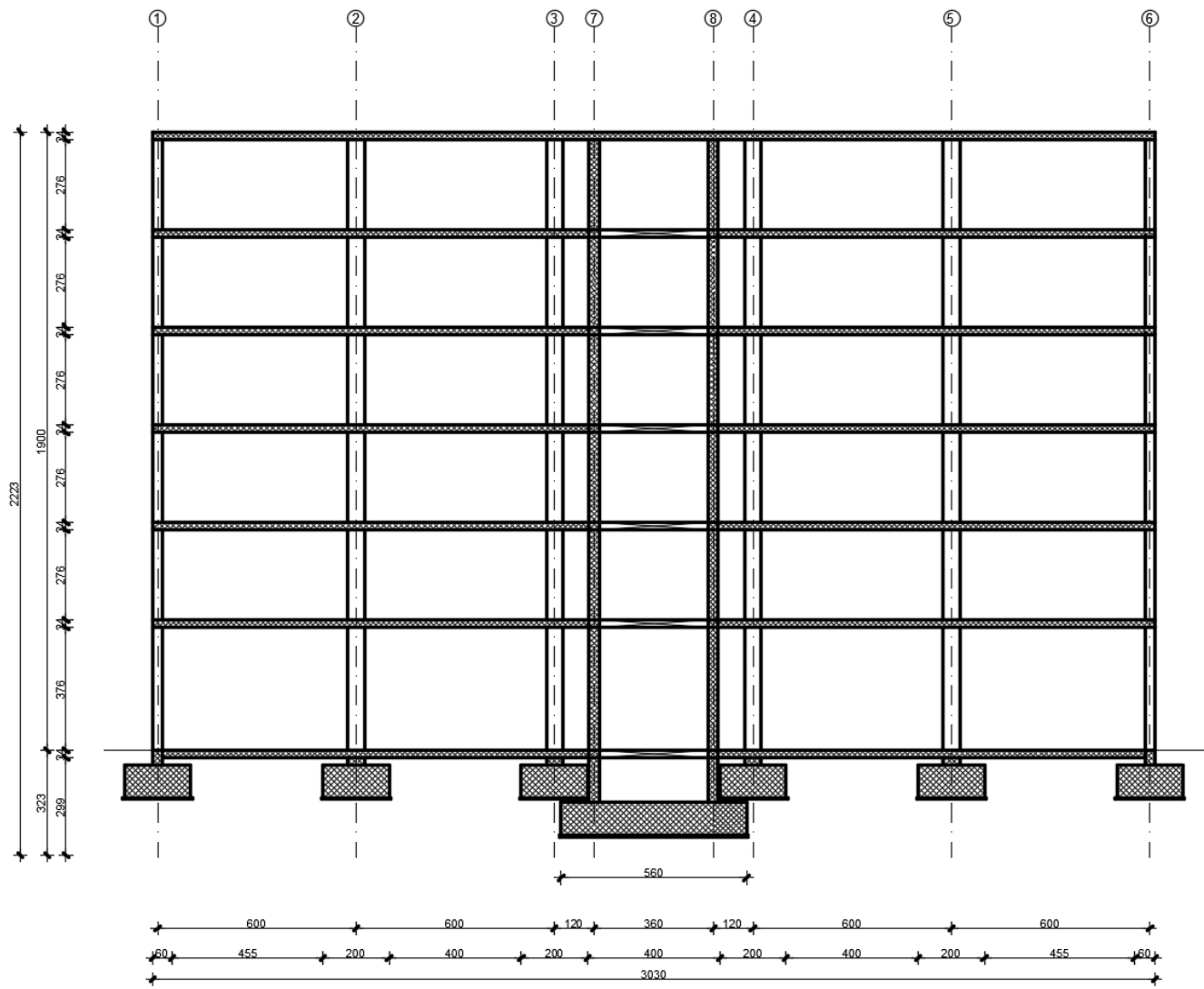
Proračun i dimenzioniranje nosive konstrukcije građevine izvršen je prema važećim propisima za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivost uz pomoć programa Autodesk Robot Structural Analysis Professional

Ovaj rad je izrađen uz korištenje literature [1-7]

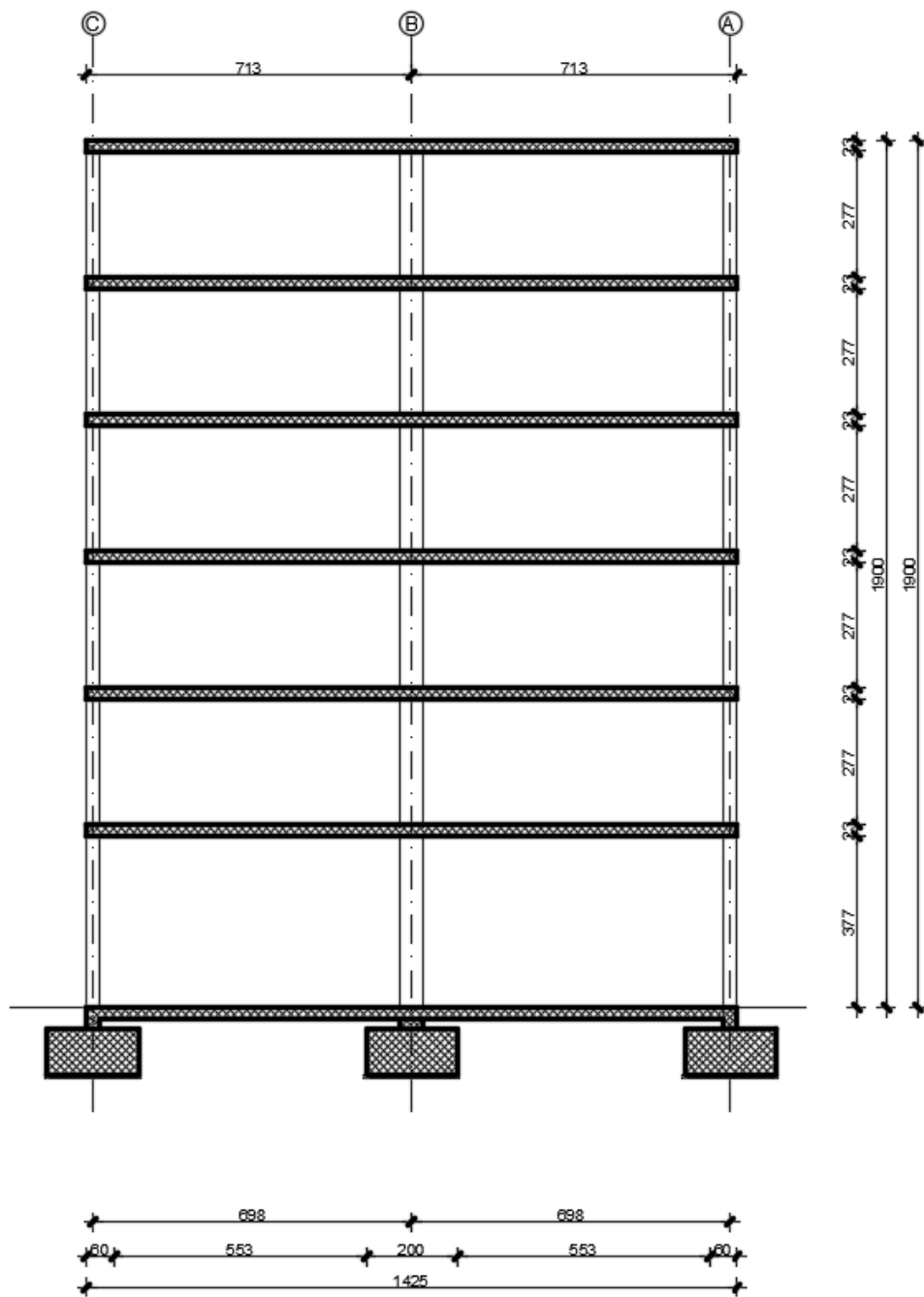


*Slika 1.1 Tlocrt objekta*





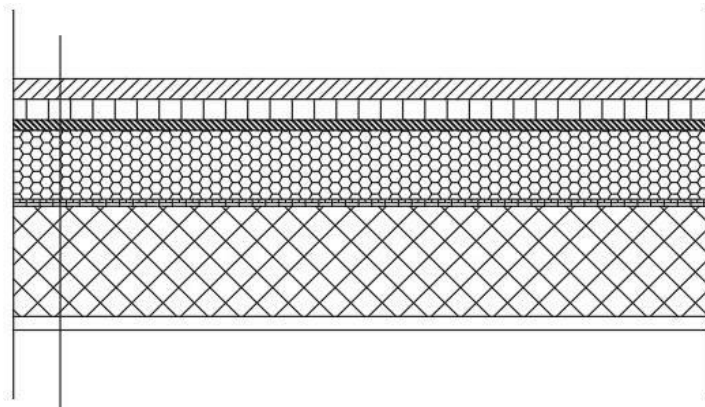
Slika 1.2 Poprečni presjek A-A



Slika 1.3 Poprečni presjek B-B

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. Proračun ploče pozicije 100-krovnna konstrukcija



Slika 2.1 Presjek krovne ploče – prikaz slojeva

#### 2.1.1. Stalno opterećenje ( $g_{100}$ )

Tablica 2.1 Slojevi krovne ploče sa debljinama i jediničnim težinama

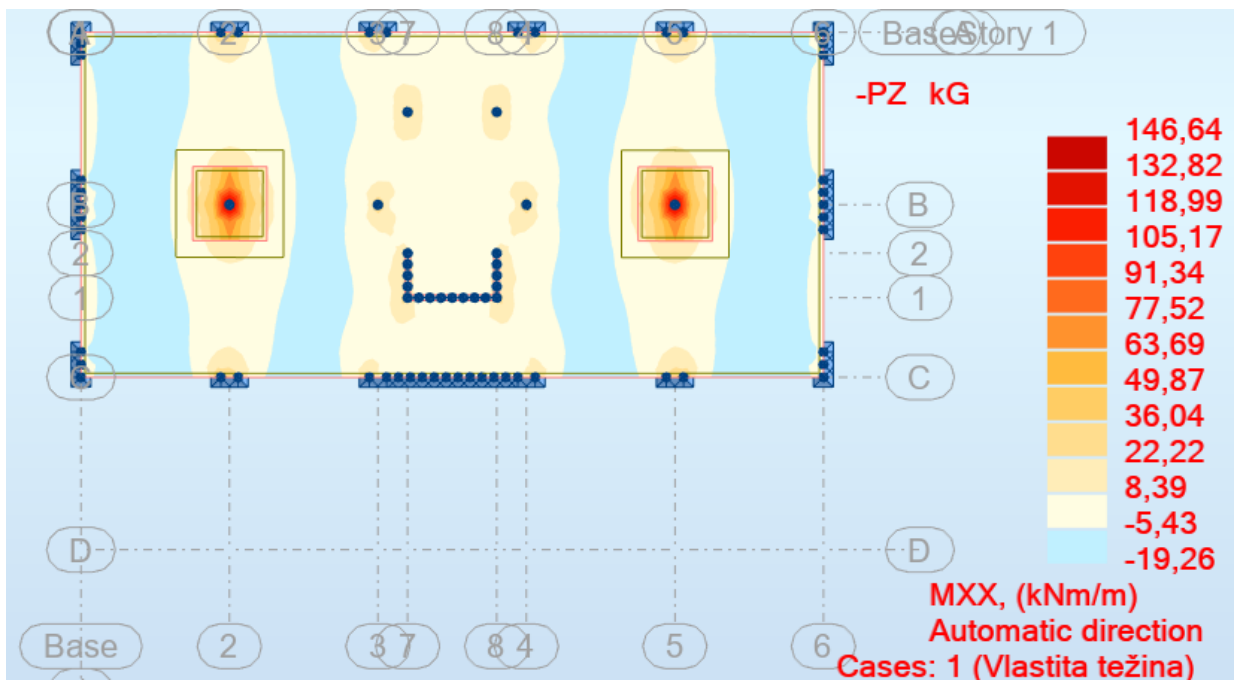
$g_{100}$	$h$ [m]	$\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g$ [kN/m <sup>2</sup> ]
- Betonske ploče	0,05	24,00	0,12
- Cementni mort	0,02	21,00	0,42
- Ab. estrih u padu	0,10	25,00	2,5
- Toplinska izolacija	0,10	5,00	0,5
- Hidroizolacija	0,01	10,00	0,1
- Cementna glazura	0,02	21,00	0,42
- Ab. ploča	0,24	Uključena je u programu	
- Podgled (vapnena žbuka)	0,02	19,00	0,38
UKUPNO $g_{100}$ :			3,00

#### 1.1.1. Promjenjivo (uporabno) opterećenje ( $q_{100}$ )

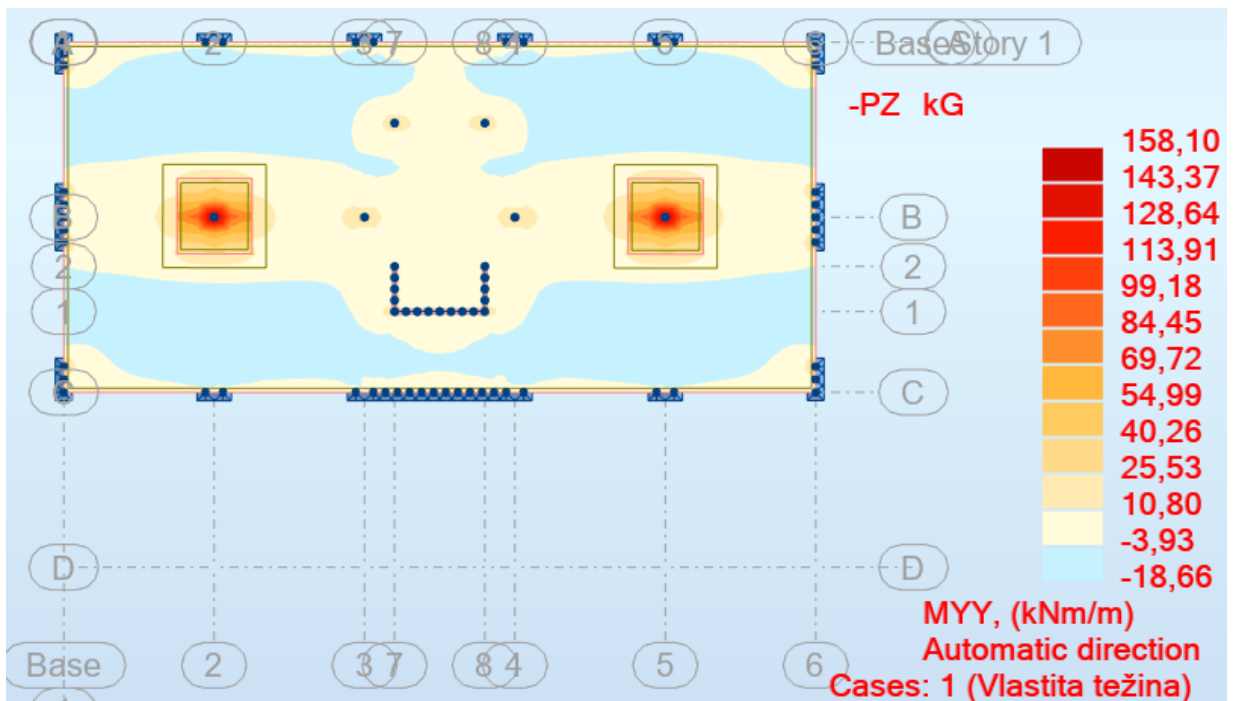
$$q_{100}=1,7 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

## 2. PRORAČUN PLOČE POZICIJE 100

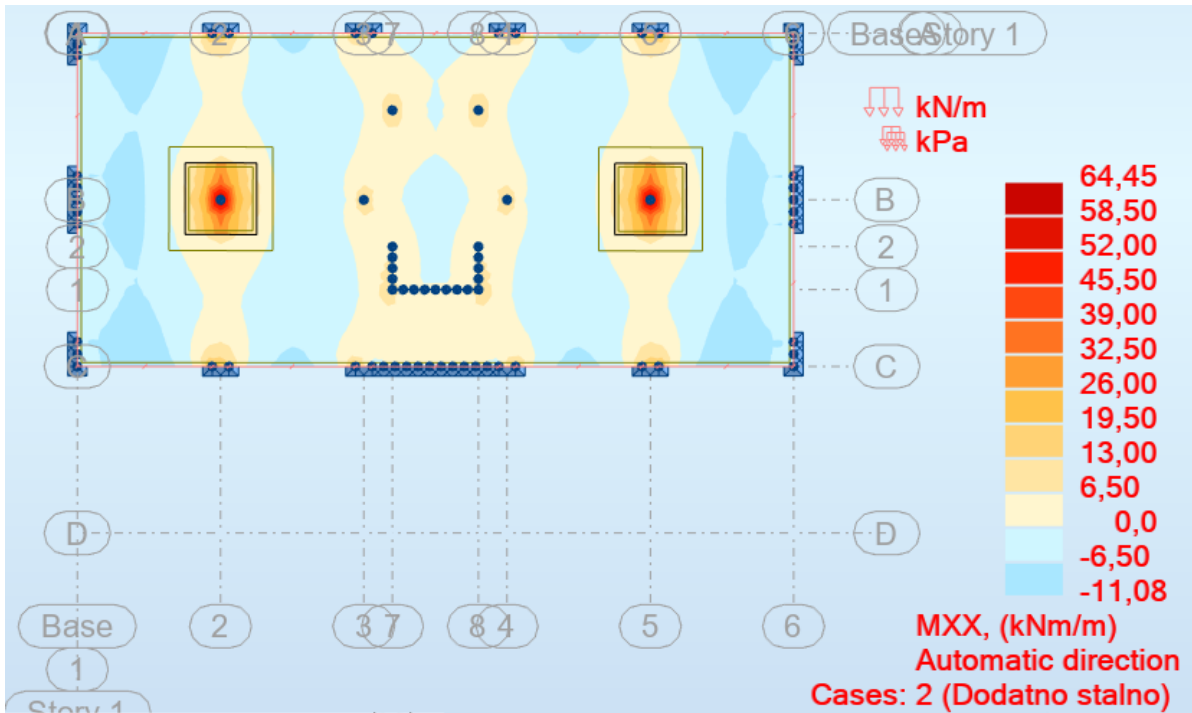
### 2.1. Momenti savijanja u ploči pozicije 100



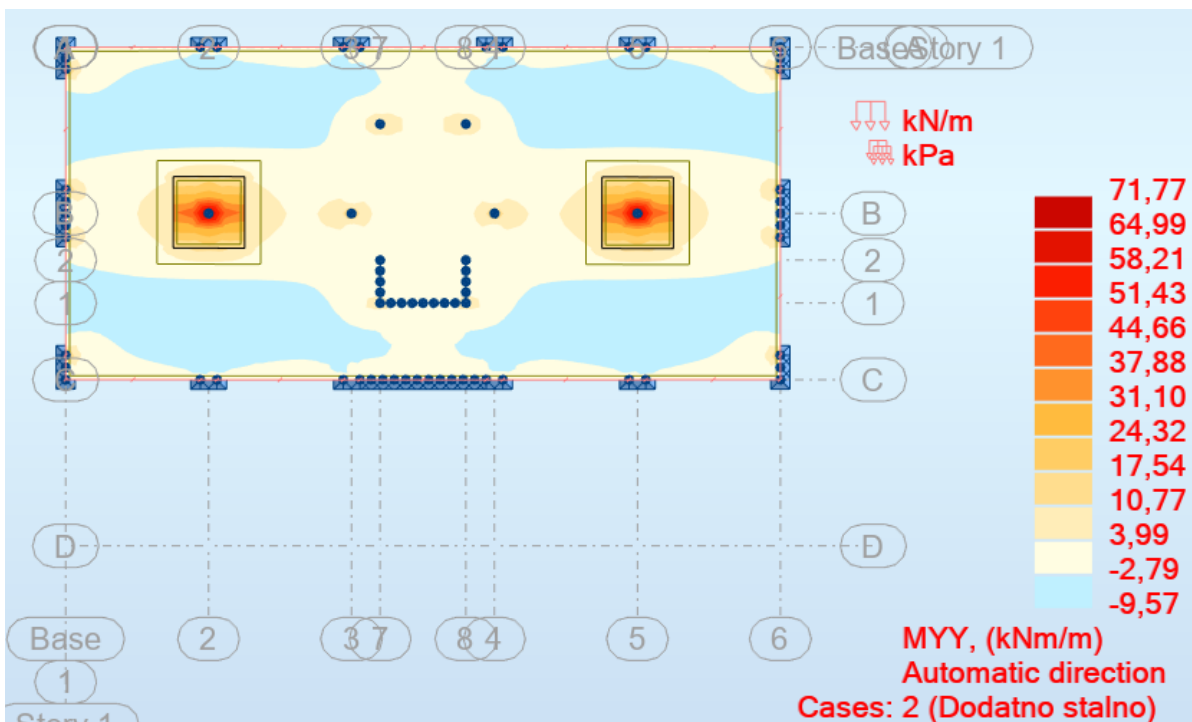
Slika 3.1 Momenti savijanja od vlastite težine u smjeru X



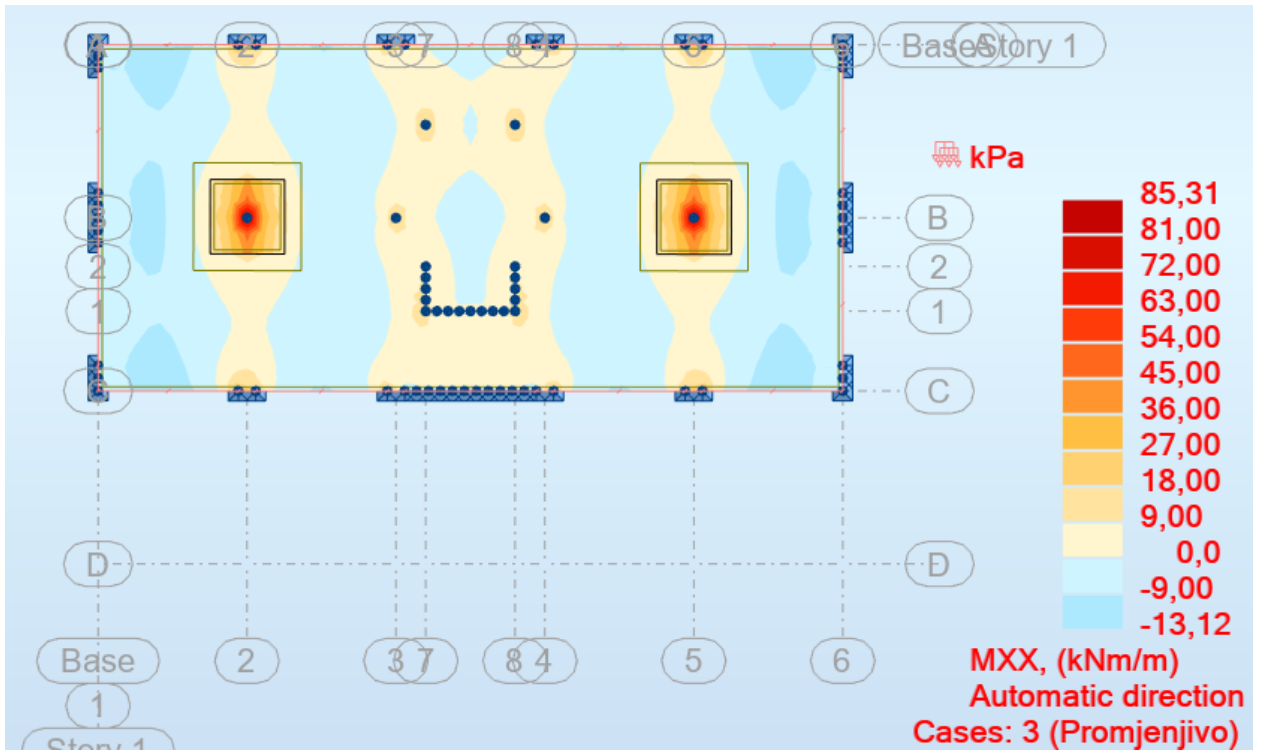
Slika 3.2 Momenti savijanja od vlastite težine u smjeru Y



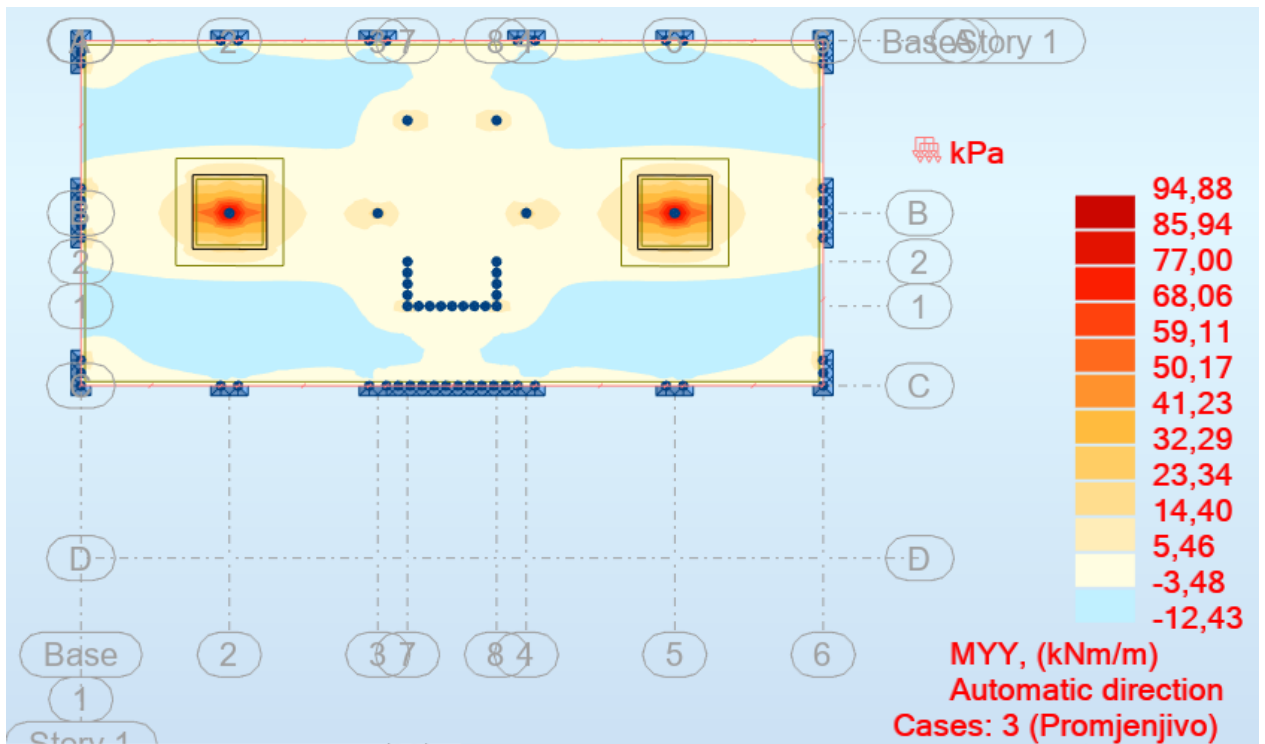
Slika 3.3 Momenti savijanja od dodatnog stalnog u smjeru X



Slika 3.4 Momenti savijanja od dodatnog stalnog u smjeru Y



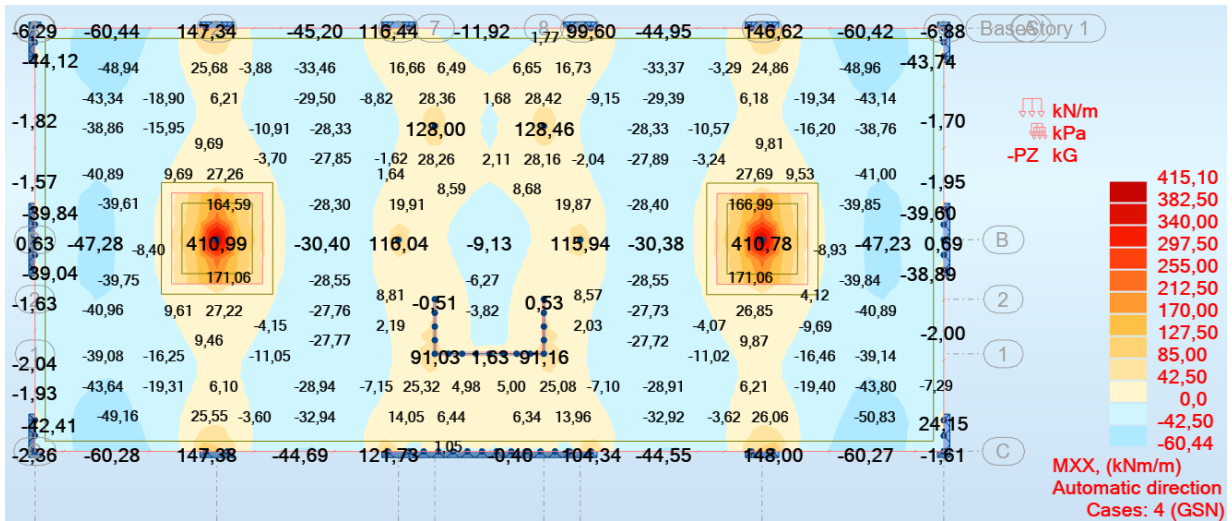
Slika 3.5 Momenti savijanja od promjenjivog opterećenja u smjeru X



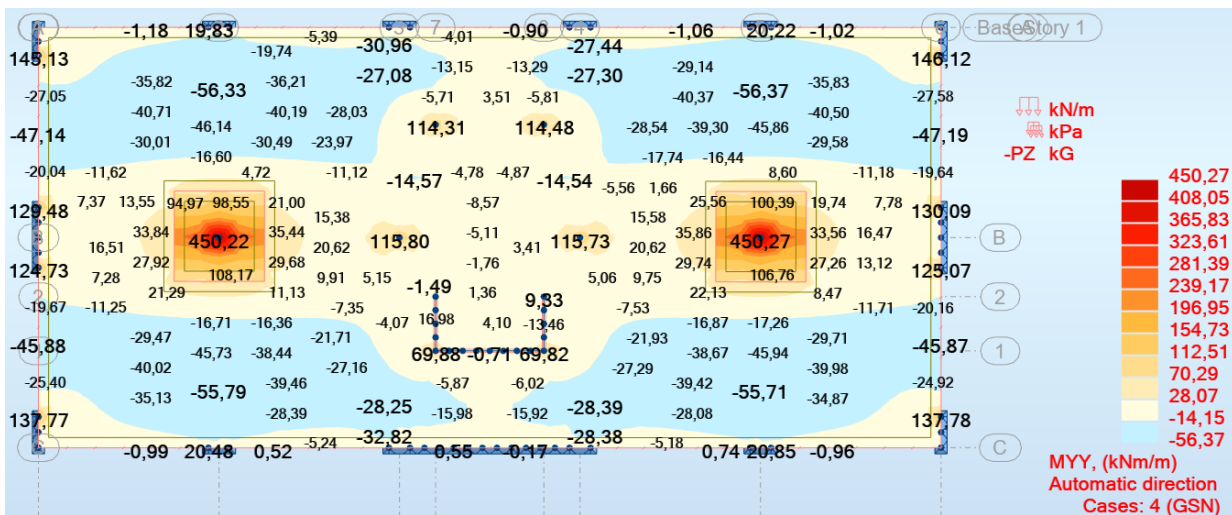
Slika 3.6 Momenti savijanja od promjenjivog opterećenja u smjeru Y

## 2.2. Granično stanje nosivosti

Mjerodavna kombinacija:  $M_{sd} = 1,35 \cdot (M_g + M_{\Delta g}) + 1,5 \cdot M_q$



Slika 3.7 Momenti savijanja od mjerodavnu kombinaciju u smjeru X



Slika 3.8 Momenti savijanja od mjerodavnu kombinaciju u smjeru Y

### 2.3. Dimenzioniranje ploče pozicije 100

BETON: C25/30

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

ARMATURA: B 500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

DEBLJINA PLOČE:  $h = 24 \text{ cm}$

ZAŠTITNI SLOJ BETONA:  $c = 2,5 \text{ cm}$

Statička visina ploče:

$$d = h - d_1 = 24 - 3,0 = \mathbf{21,0 \text{ cm}} \rightarrow \text{mjerodavna je veća visina}$$

$b = 100 \text{ cm}$

MINIMALNA ARMATURA:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 100 \cdot 21,0 = \mathbf{2,84 \text{ cm}^2/m}$$

$f_{ct,m} = 2,6 \text{ N/mm}^2$  za C 25/30

$$A_{s1,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 21,0 = 2,73 \text{ cm}^2/m$$



### POZICIJA POLJE

$$M_x = 60,44 \text{ kNm}$$

$$M_y = 56,37 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6044}{100 \cdot 21^2 \cdot 1,67} = 0,077 \quad \text{= odabrani } \mu_{sd} = 0,082$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰} ; \varepsilon_{c2} = 1,8\text{‰} ; \xi = 0,153 ; \zeta = 0,944$$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5554}{0,944 \cdot 21 \cdot 43,48} = 6,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armature: mreža Q785

### POZICIJA LEŽAJ

$$M_x = 148 \text{ kNm}$$

$$M_y = 146,12 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14800}{100 \cdot 21^2 \cdot 1,67} = 0,200$$

$$M_{sd} > M_{Rd,lim}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,lim} &= \mu_{sd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} \\ &= \mu_{sd,lim} = \mu_{sd} \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5\text{‰}; \varepsilon_{s1} = 20,0\text{‰}) \\ &= \zeta_{lim} = \zeta \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5\text{‰}; \varepsilon_{s1} = 20,0\text{‰}) \end{aligned}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{SR}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} \quad A_{s2} = \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 21^2 \cdot 1,67 = 11709,9$$

$$A_{s1} = \frac{11709,9}{0,892 \cdot 21 \cdot 43,48} + \frac{14800 - 11709,9}{(21 - 3) \cdot 43,48} \quad A_{s2} = \frac{14800 - 11709,9}{(21 - 3) \cdot 43,48}$$

$$A_{s1} = 16,52 \text{ cm}^2 - \text{Odabrana armature: mreža Q785} + 4 \Phi 18$$

$$A_{s2} = 3,94 \text{ cm}^2 - \text{Odabrana armature: mreža Q424}$$

## 2.4. Dimenzioniranje ploče pozicije 100 (zadebljanja oko stupova)

BETON: C25/30

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

ARMATURA: B 500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

DEBLJINA PLOČE:  $h = 40 \text{ cm}$

ZAŠTITNI SLOJ BETONA:  $c = 2,5 \text{ cm}$

Statička visina ploče:

$$d = h - d_1 = 40 - 3,0 = \mathbf{37,0 \text{ cm}} \rightarrow \text{mjerodavna je veća visina}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

MINIMALNA ARMATURA:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 100 \cdot 37,0 = \mathbf{5,00 \text{ cm}^2/m}$$

$$f_{ct,m} = 2,6 \text{ N/mm}^2 \text{ za C 25/30}$$

$$A_{s1,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 37,0 = 4,81 \text{ cm}^2/m$$

## POZICIJA LEŽAJ

$$M_x = 350,00 \text{ kNm}$$

$$M_y = 400,00 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{40000}{100 \cdot 37^2 \cdot 1,67} = 0,174$$

$$M_{sd} > M_{Rd,lim}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,lim} &= \mu_{sd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} \\ &= \mu_{sd,lim} = \mu_{sd} \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{ ‰}; \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰}) \\ &= \zeta_{lim} = \zeta \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{ ‰}; \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰}) \end{aligned}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{SR}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} \quad A_{s2} = \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 37^2 \cdot 1,67 = 36351,1$$

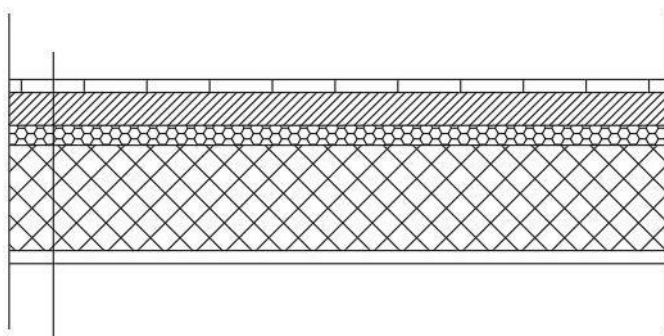
$$A_{s1} = \frac{36351,1}{0,892 \cdot 37 \cdot 43,48} + \frac{40000 - 36351,1}{(37 - 3) \cdot 43,48} \quad A_{s2} = \frac{40000 - 36351,1}{(37 - 3) \cdot 43,48}$$

$$A_{s1} = 27,8 \text{ cm}^2 - \text{Odabrana armature: mreža Q785 + 4 } \Phi 25$$

$$A_{s2} = 2,46 \text{ cm}^2 - \text{Odabrana armature: mreža Q283}$$

## 1. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 1.1. Proračun ploče pozicije 200-međukatna konstrukcija



Slika 4.1 Presjek međukatne ploče – prikaz slojeva

#### 4.1.1 Stalno opterećenje ( $g_{200}$ )

Tablica 4.1 Slojevi međukatne ploče sa debljinama i jediničnim težinama

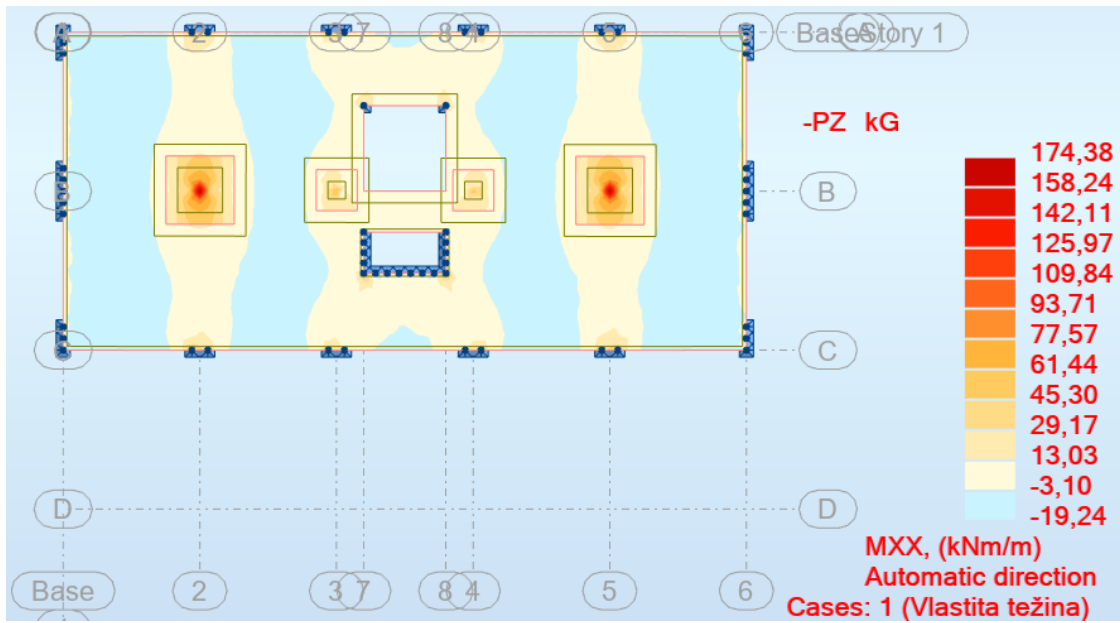
$g_{200}$	$h$ [m]	$\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g$ [kN/m <sup>2</sup> ]
- Pregradni zidovi			1,0-2,0
- Ker. pločice	0,01	20,00	0,2
- Vodootporno ljepilo	0,005	19,00	0,095
- Ab. Estrih	0,045	25,00	1,13
- Toplinsko zvučna izolacija	0,02	5,00	0,1
- Ab. ploča	0,24	Uključena je u programu	
- Podgled (vapnena žbuka)	0,02	19,00	0,38
UKUPNO $g_{200}$ :			3,00

#### 4.1.2. Promjenjivo (uporabno) opterećenje ( $q_{200}$ )

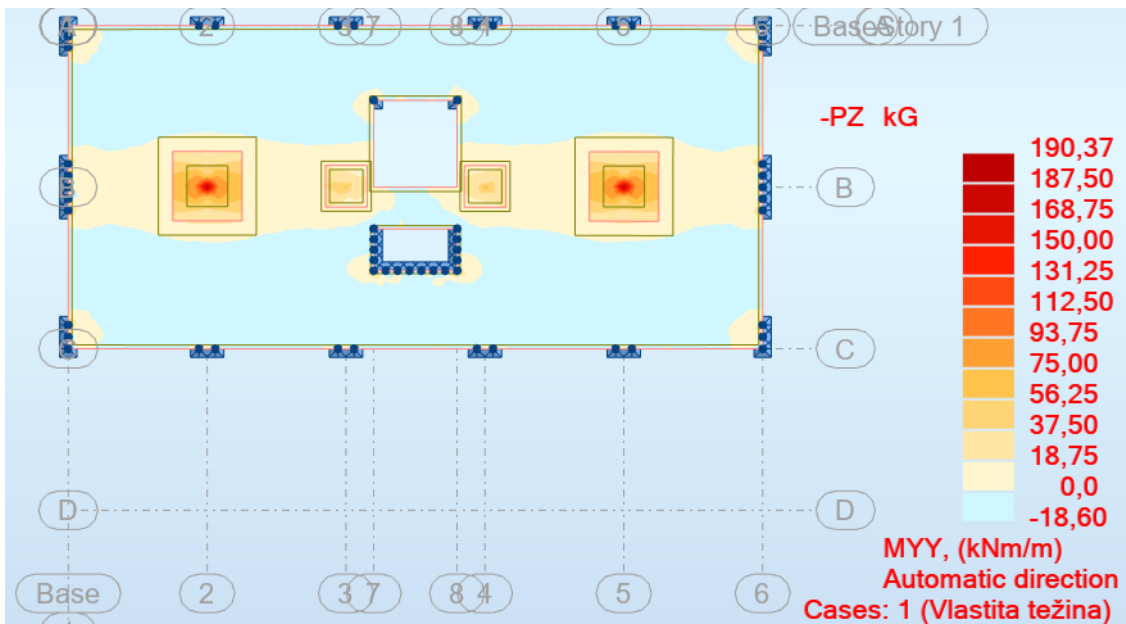
$$Q_{200}=4,0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

## 1.2. PRORAČUN PLOČE POZICIJE 200

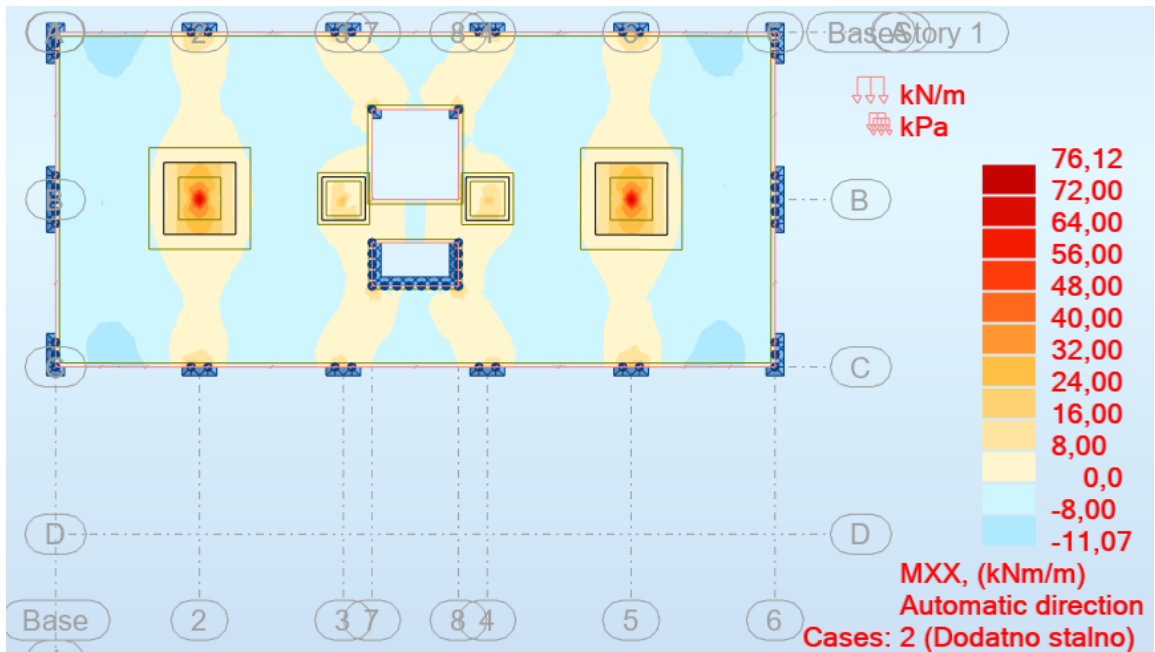
### 1.2.1. Momenti savijanja u ploči pozicije 200



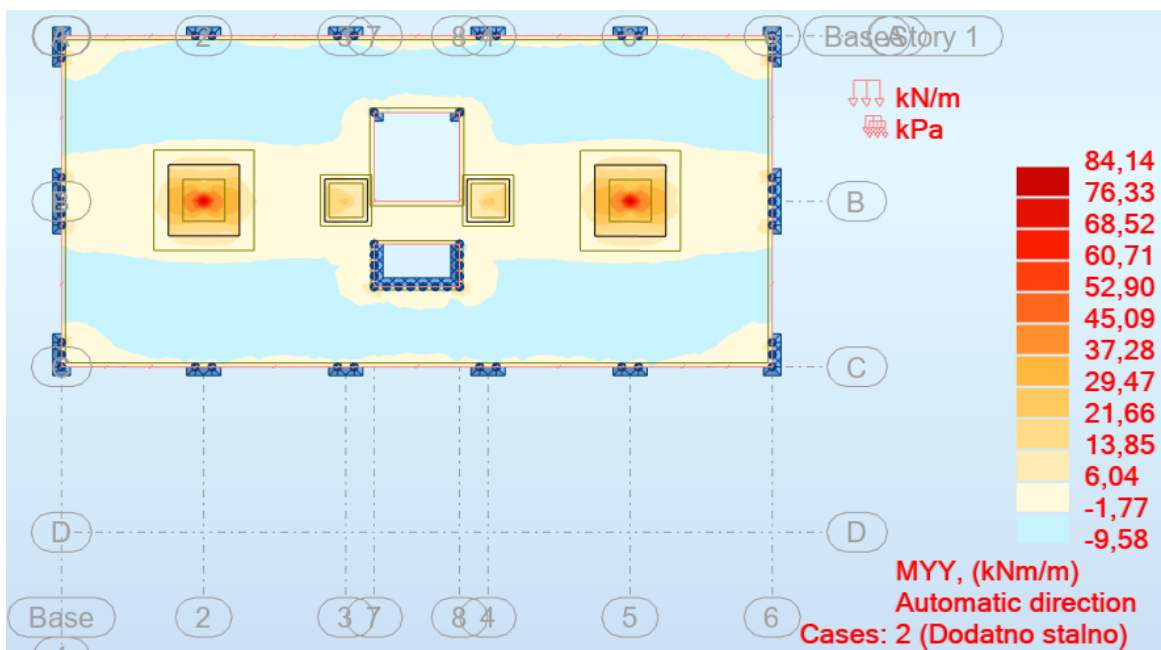
Slika 4.1 Momenti savijanja od vlastite težine u smjeru X



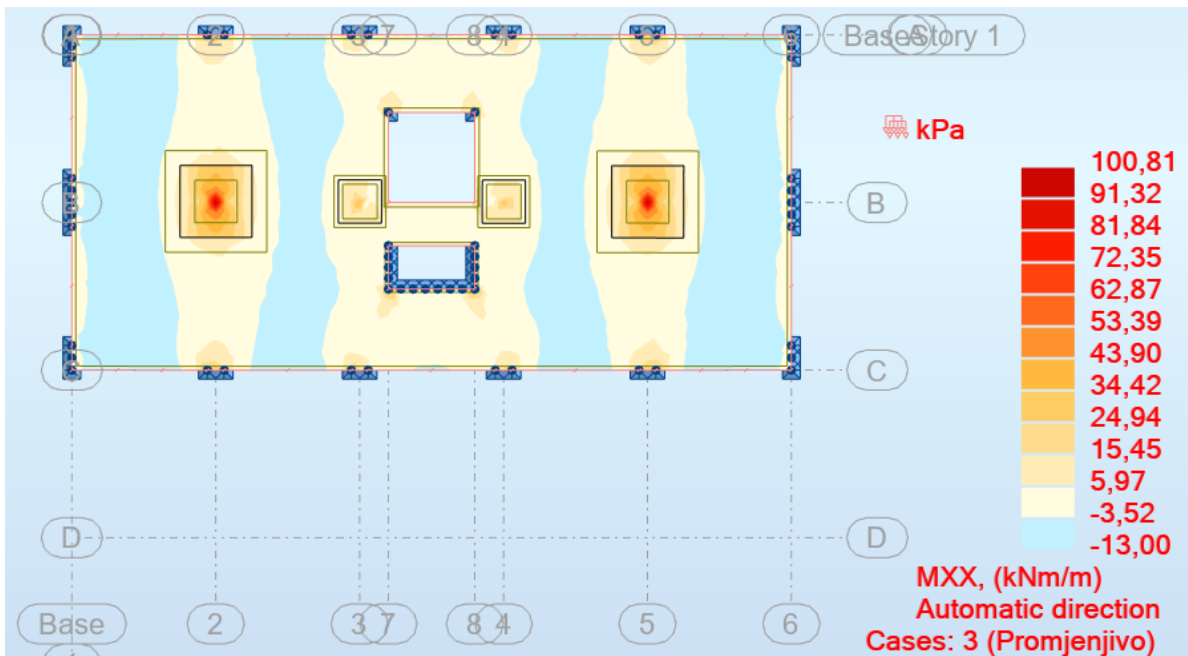
Slika 4.2 Momenti savijanja od vlastite težine u smjeru Y



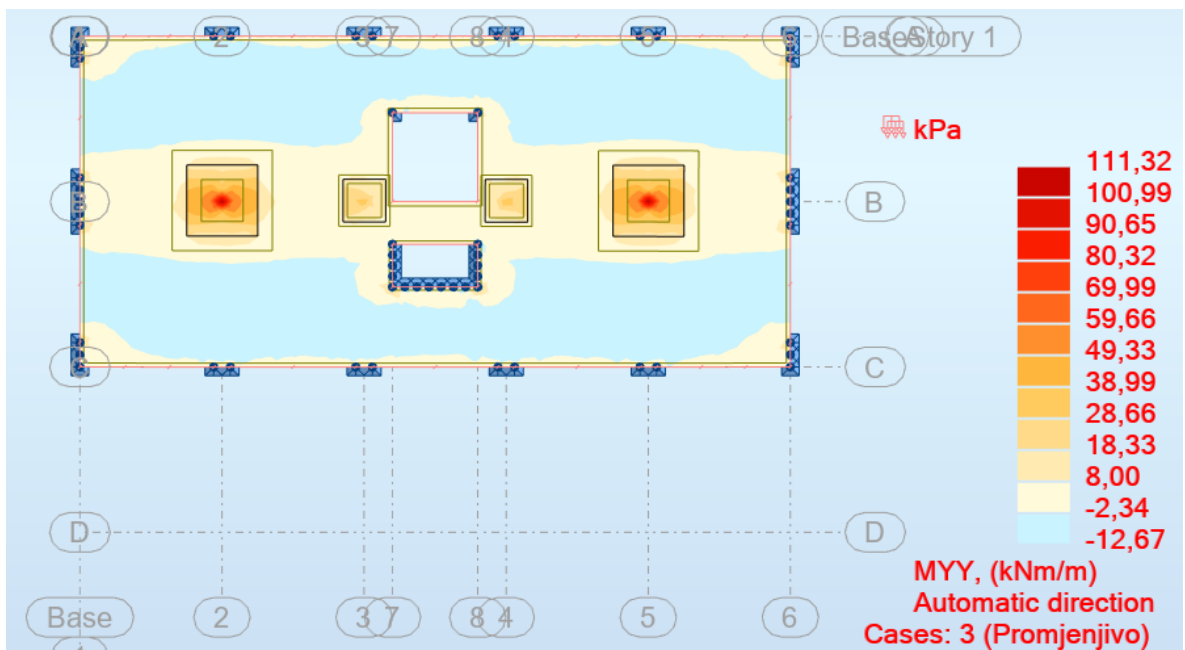
Slika 4.3 Momenti savijanja od dodatnog stalnog u smjeru X



Slika 4.4 Momenti savijanja od dodatnog stalnog u smjeru Y



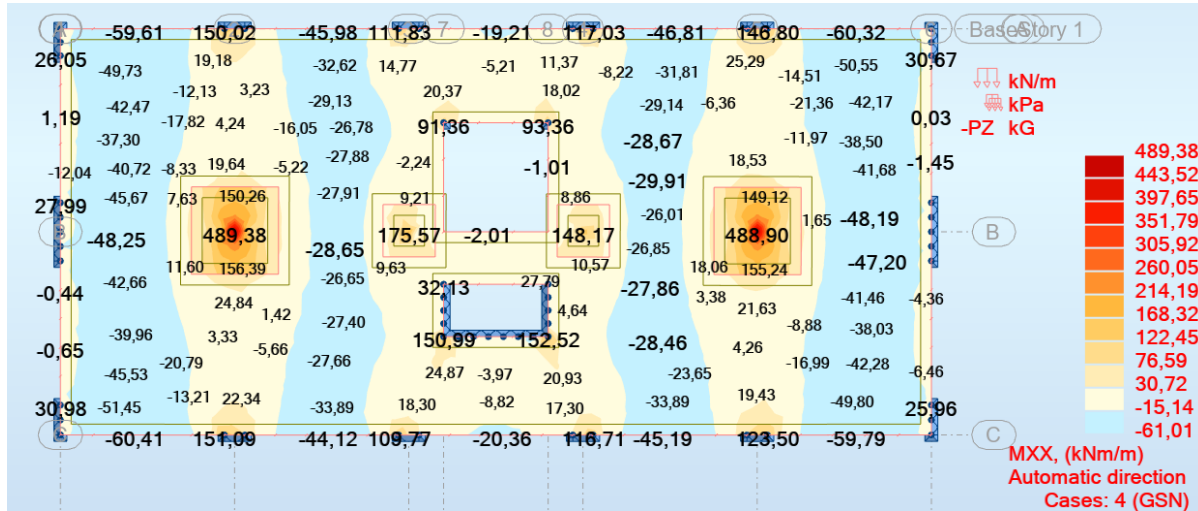
Slika 4.5 Momenti savijanja od promjenjivog opterećenja u smjeru X



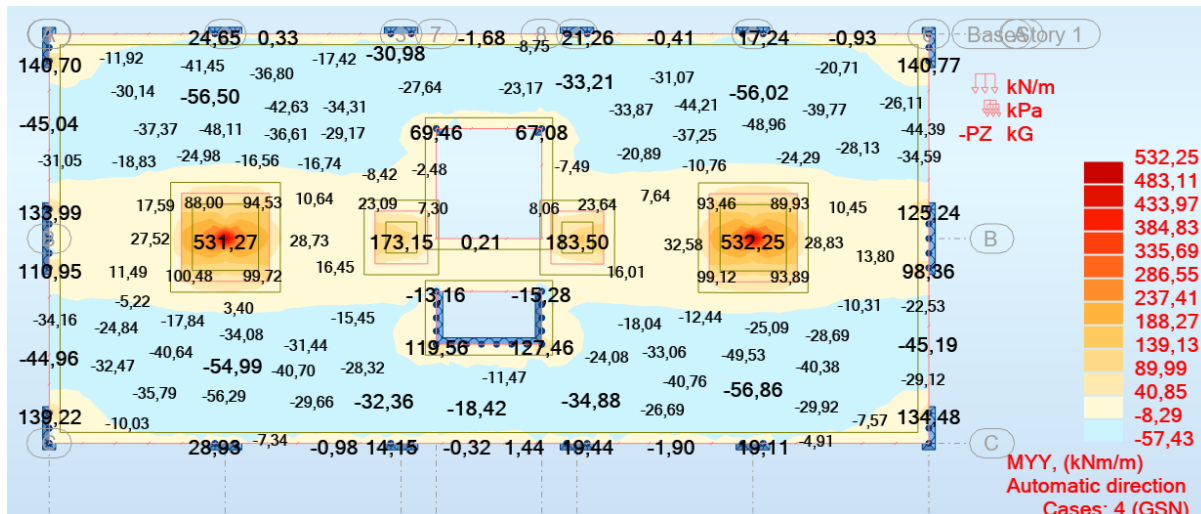
Slika 4.6 Momenti savijanja od promjenjivog opterećenja u smjeru Y

### 1.3. Granično stanje nosivosti

Mjerodavna kombinacija:  $M_{sd} = 1,35 \cdot (M_g + M_{\Delta g}) + 1,5 \cdot M_q$



Slika 4.7 Momenti savijanja od mjerodavnu kombinaciju u smjeru X



Slika 4.8 Momenti savijanja od mjerodavnu kombinaciju u smjeru Y



#### 1.4. Dimenzioniranje ploče pozicije 200

BETON: C25/30

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

ARMATURA: B 500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} \\ = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

DEBLJINA PLOČE:  $h = 24 \text{ cm}$

ZAŠTITNI SLOJ BETONA:  $c = 2,5 \text{ cm}$

Statička visina ploče:

$$d = h - d_1 = 24 - 3,0 = \mathbf{21,0 \text{ cm}} \rightarrow \text{mjerodavna je veća visina}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

MINIMALNA ARMATURA:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 100 \cdot 21,0 = \mathbf{2,84 \text{ cm}^2/m}$$

$$f_{ct,m} = 2,6 \text{ N/mm}^2 \text{ za C 25/30}$$

$$A_{s1,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 21,0 = 2,73 \text{ cm}^2/m$$

### POZICIJA POLJE

$$M_x = 61,01 \text{ kNm}$$

$$M_y = 57,43 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6101}{100 \cdot 21^2 \cdot 1,67} = 0,083 \quad \text{=odabrani } \mu_{sd} = 0,088$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰} ; \varepsilon_{c2} = 1,9\text{‰} ; \xi = 0,160 ; \zeta = 0,941$$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{6101}{0,941 \cdot 21 \cdot 43,48} = 7,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armature: mreža Q785

### POZICIJA LEŽAJ

$$M_x = 175,57 \text{ kNm}$$

$$M_y = 183,55 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18355}{100 \cdot 21^2 \cdot 1,67} = 0,249$$

$$M_{sd} > M_{Rd,lim}$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$= \mu_{sd,lim} = \mu_{sd} \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{‰} ; \varepsilon_{s1} = 20,0\text{‰})$$

$$= \zeta_{lim} = \zeta \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{‰} ; \varepsilon_{s1} = 20,0\text{‰})$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{SR}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} \quad A_{s2} = \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 21^2 \cdot 1,67 = 11709,9$$

$$A_{s1} = \frac{11709,9}{0,892 \cdot 21 \cdot 43,48} + \frac{18355 - 11709,9}{(21 - 3) \cdot 43,48} \quad A_{s2} = \frac{18355 - 11709,9}{(21 - 3) \cdot 43,48}$$

$$A_{s1} = 22,81 \text{ cm}^2 - \text{Odabrana armature: mreža Q785} + 5 \Phi 20$$

$$A_{s2} = 8,49 \text{ cm}^2 - \text{Odabrana armature: mreža Q785} + 3 \Phi 10$$

### 1.5. Dimenzioniranje ploče pozicije 200 (zadebljanja oko stupova)

BETON: C25/30  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$

ARMATURA: B 500B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$   
 $= 43,48 \text{ kN/cm}^2$

DEBLJINA PLOČE:  $h = 40 \text{ cm}$

ZAŠTITNI SLOJ BETONA:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina ploče:

$$d = h - d_1 = 40 - 3,0 = 37,0 \text{ cm} \rightarrow \text{mjerodavna je veća visina}$$

$b = 100 \text{ cm}$

MINIMALNA ARMATURA:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 100 \cdot 37,0 = 5,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$f_{ct,m} = 2,6 \text{ N/mm}^2$  za C 25/30

$$A_{s1,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 37,0 = 4,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

## POZICIJA LEŽAJ

$$M_x = 400,00 \text{ kNm}$$

$$M_y = 450,00 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{45000}{100 \cdot 37^2 \cdot 1,67} = 0,196$$

$$M_{sd} > M_{Rd,lim}$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$= \mu_{sd,lim} = \mu_{sd} \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{ ‰}; \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰})$$

$$= \zeta_{lim} = \zeta \quad (\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{ ‰}; \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰})$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{SR}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} \quad A_{s2} = \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}}$$

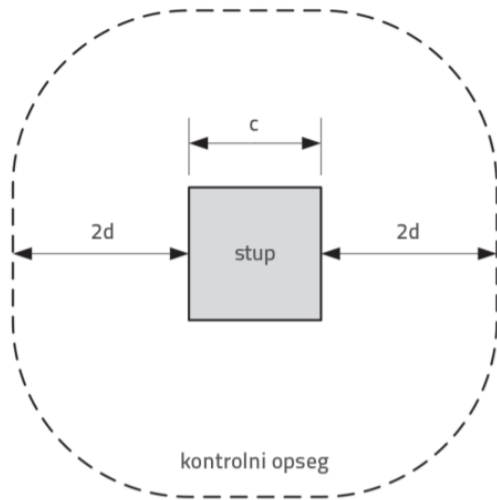
$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 37^2 \cdot 1,67 = 36351,1$$

$$A_{s1} = \frac{36351,1}{0,892 \cdot 37 \cdot 43,48} + \frac{45000 - 36351,1}{(37 - 3) \cdot 43,48} \quad A_{s2} = \frac{45000 - 36351,1}{(37 - 3) \cdot 43,48}$$

$A_{s1} = 31,2 \text{ cm}^2$  - Odabrana armature: mreža Q785 + 5  $\Phi 25$

$A_{s2} = 5,85 \text{ cm}^2$  - Odabrana armature: mreža Q636

## 1.6. Proračun na proboj



AB ploča:  $L_y=L_x=3\text{m}$

Stup:  $h/b=50/50\text{cm}$

Slika 4.5.1. Prikaz kontrolnog opsega za proračun na proboj

BETON: C25/30

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

ARMATURA: B 500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$
$$= 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

DEBLJINA PLOČE:  $h = 40\text{cm}$

ZAŠTITNI SLOJ BETONA:  $c = 3 \text{ cm}$

Statička visina ploče:

$$d = h - d_1 = 40 - 3,0 = 37,0 \text{ cm} = 370\text{mm}$$

$As_1 = 31,2 \text{ cm}^2$  - Odabrana armature: mreža Q785 + 5  $\Phi 25$

$As_2 = 5,85 \text{ cm}^2$  - Odabrana armature: mreža Q636

Opterećenje:  $g = 3 \text{ kN/m}^2$  ;  $q = 4 \text{ kN/m}^2$

Proračunska sila proboja:

$$V_{Ed} = (1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q) \cdot I_x \cdot I_y = (1,35 \cdot 3 + 1,5 \cdot 4) \cdot 3,0 \cdot 3,0 = 90,45 \text{ kN} = 9045 \text{ N}$$

Posmični proboj uz stup:

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed} + \beta}{u_1 + d}$$

Duljina osnovog kontrolnog opsega:

$$u_1 = 4 \cdot c + 4 \cdot d \cdot \pi = 4 \cdot 50 + 4 \cdot 37 \cdot \pi = 664,96 \text{ cm} = 6\ 649,6 \text{ mm}$$

$\beta = 1,15$  –koerkcijiski factor za simetrično djelovanje na stup

$$V_{Ed} = \frac{9045 \cdot 1,15}{6649,6 \cdot 370} = 0,004 \text{ N/mm}^2$$

Ako je  $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$  zadovoljen je nužni uvjet posmičnog proboja na stup:

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1,0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1,0 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,54 \cdot 16,67 = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$
$$0,004 \text{ N/mm}^2 < 3,6 \text{ N/mm}^2$$

Otpornost na posmični proboj bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{370}} = 1,74 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,74$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{sl}}{A_c} = \frac{34,05}{50 \cdot 50} = 0,0136 \leq 0,02 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$$\sum A_{sl} = 31,2 + 5,85 = 34,05 \text{ cm}^2$$

$$V_{Rdc} = [0,12 \cdot 1,74 \cdot (100 \cdot 0,0136 \cdot 25)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 500 \cdot 370 = 152889,72 \text{ N}$$

$$V_{Rdc} = 1528,90 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

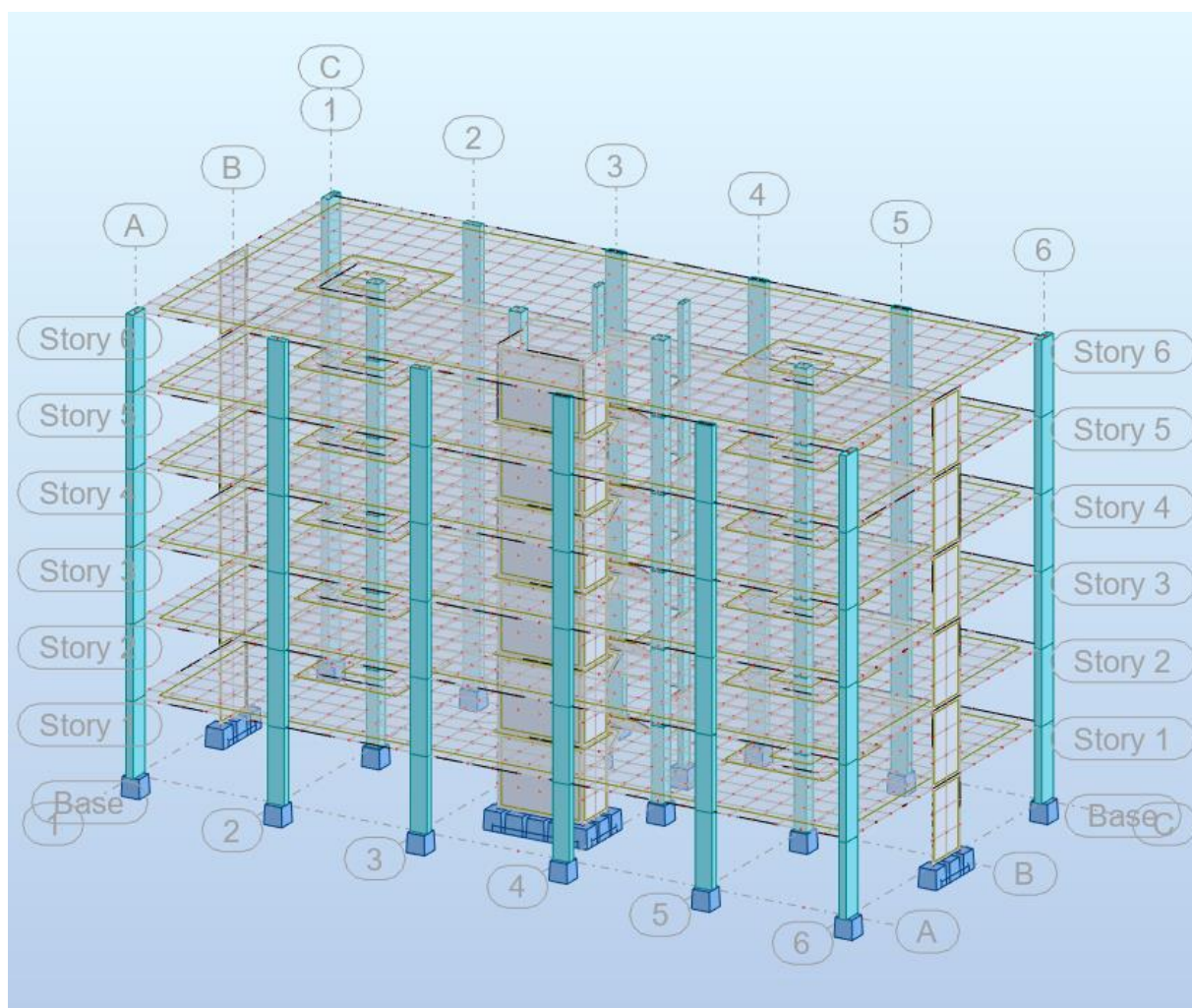
$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,74^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,402$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,402 \cdot 500 \cdot 370 = 74307,67 \text{ N} = 743,08 \text{ kN}$$

1528,90 kN > 743,08 kN (uvjet je zadovoljen, nije potrebna armatura za proboj)

**2. PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA POTRESNO DJELOVANJE ZA RAZRED UMJERENE DUKTILNOSTI (DCM) METODOM SPEKTRALNE ANALIZE PREMA EC8-EN 1998-1:2011 POMOĆU RAČUNALNOG PROGRAMA "AUTODESK ROBOT"**



*Slika 5.1. Prostorni model građevine*



## 2.1. Prikaz rezultata modalne analize i određivanje faktora ponašanja

Opterećenje uslijed djelovanja potresa

Faktor važnosti građevine:  $\gamma_I=1.0$

Razred duktilnosti: DCM

Potresno opterećenje:

Određivanje faktora ponašanja:

Da bi se u proračunu izbjegao nelinearni proračun, uzima se u obzir kapacitet trošenja energije u konstrukciji putem duktilnog ponašanja njezinih elemenata i/ili drugih mehanizama te se provodi linearni proračun utemeljen na spektru odziva umanjenomu u odnosu na elastični spektar. Taj se spektar naziva "proračunski spektar". To se umanjenje postiže uvođenjem faktora ponašanja  $q$ . Faktor ponašanja  $q$  približno je omjer potresnih sila kojima bi građevina bila izložena kad bi njezin odziv bio u cijelosti elastičan uz 5%-tno viskozno prigušenje i stvarnih potresnih sila koje bi se pojavile na promatranom sustavu

Faktor ponašanja  $q$  određen je sljedećim izrazom:  $q = q_0 \cdot kw \geq 1.5$  gdje je:

**$q_0$**  osnovna vrijednost faktora ponašanja ovisna o vrsti konstrukcije, njezinoj duktilnosti i pravilnosti po visini (tablica 4.4.)

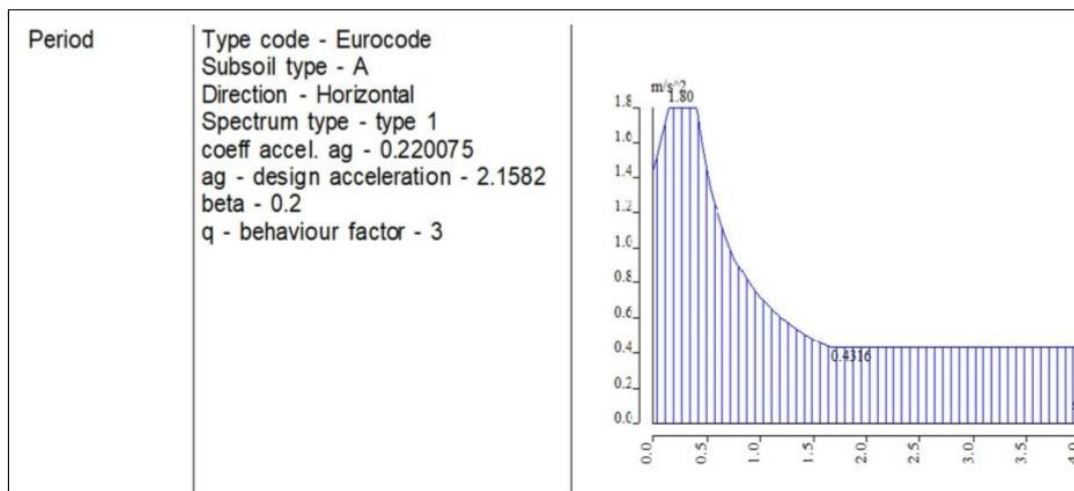
**$kw$**  faktor prevladavajućeg oblika sloma konstrukcijskih sustava s zidovima (tablica 4.5.) Pri određivanju faktora ponašanja  $q_0$  kvocijent  $\alpha_u / \alpha_1$  (tablica 4.4.) predstavlja faktor uvećanja, gdje je:

**$\alpha_1$**  vrijednost kojom je proračunsko horizontalno potresno djelovanje uvećano pri prvom dostizanju nosivosti na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije (pojava plastifikacije zgloba)

**$\alpha_u$**  vrijednost kojom je proračunsko horizontalno potresno djelovanje uvećano pri prelasku konstrukcije u mehanizam (pojava dovoljnog broja plastičnih zglobova)

FAKTOR PONAŠANJE  $q$  USVOJEN JE 3

Proračun konstrukcije na potresno djelovanje za razred umjerene duktilnosti (DCM) metodom spektralne analize prema EC8-EN 1998- 1:2011 pomoću računalnog programa AUTODESK ROBOT Spektar tipa 1, Klasa tla A: S = 1,0; TB = 0,15; TC = 0,4; TD = 2,0



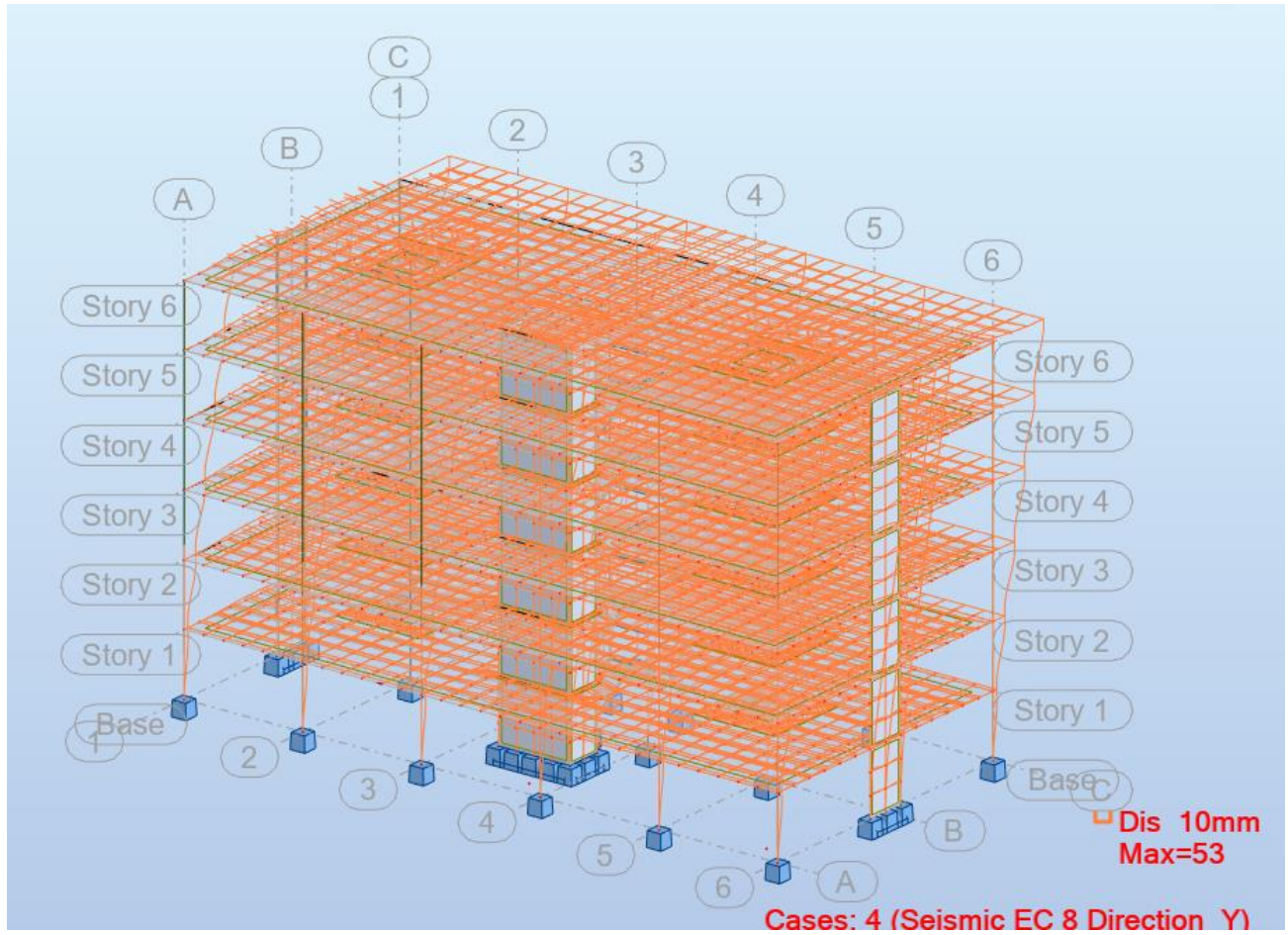
Slika 5.2. Proračunski spektar za razred umjerene duktilnosti

U proračunu na potresno opterećenje korištena je višemodalna spektralna analiza. Uzeto je ukupno 10 modova . Zbroj proračunskih modalnih masa za oblike koji su uzeti u obzir iznosi 97,64% za x smjer, te 94,91% za y smjer.

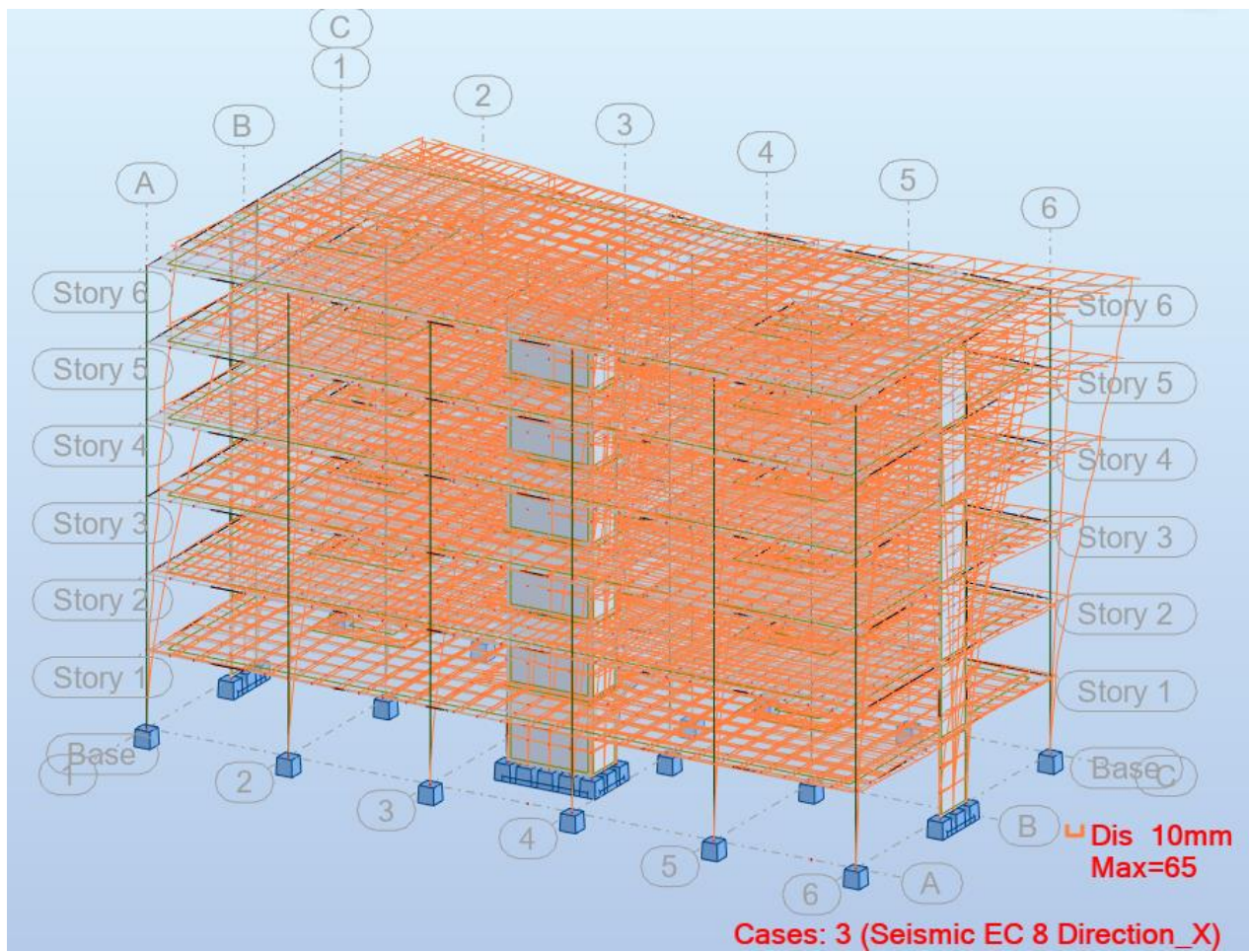
Ukupna aktivacija mase u oba smjera treba biti najmanje 90% ukupnemase konstrukcije te je potrebno u povećati potresne sile u potresnim kombinacijama.

Tablica 5.3. Rezultati modalne analize

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Cur.mas.UX (%)	Cur.mas.UY (%)	Cur.mas.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)
2/ 1	1.20	0.83	14.78	0.00	0.0	14.78	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 2	1.47	0.68	14.78	72.42	0.0	0.00	72.42	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 3	1.93	0.52	72.15	72.42	0.0	57.37	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 4	4.82	0.21	76.84	72.42	0.0	4.69	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 5	5.54	0.18	76.84	88.57	0.0	0.00	16.15	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 6	7.68	0.13	91.24	88.57	0.0	14.40	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 7	10.73	0.09	93.40	88.57	0.0	2.16	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 8	12.15	0.08	93.40	94.91	0.0	0.00	6.34	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 9	14.85	0.07	96.78	94.91	0.0	3.38	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0
2/ 10	16.14	0.06	97.64	94.91	0.0	0.85	0.00	0.0	2924463.86	2924463.86	0.0

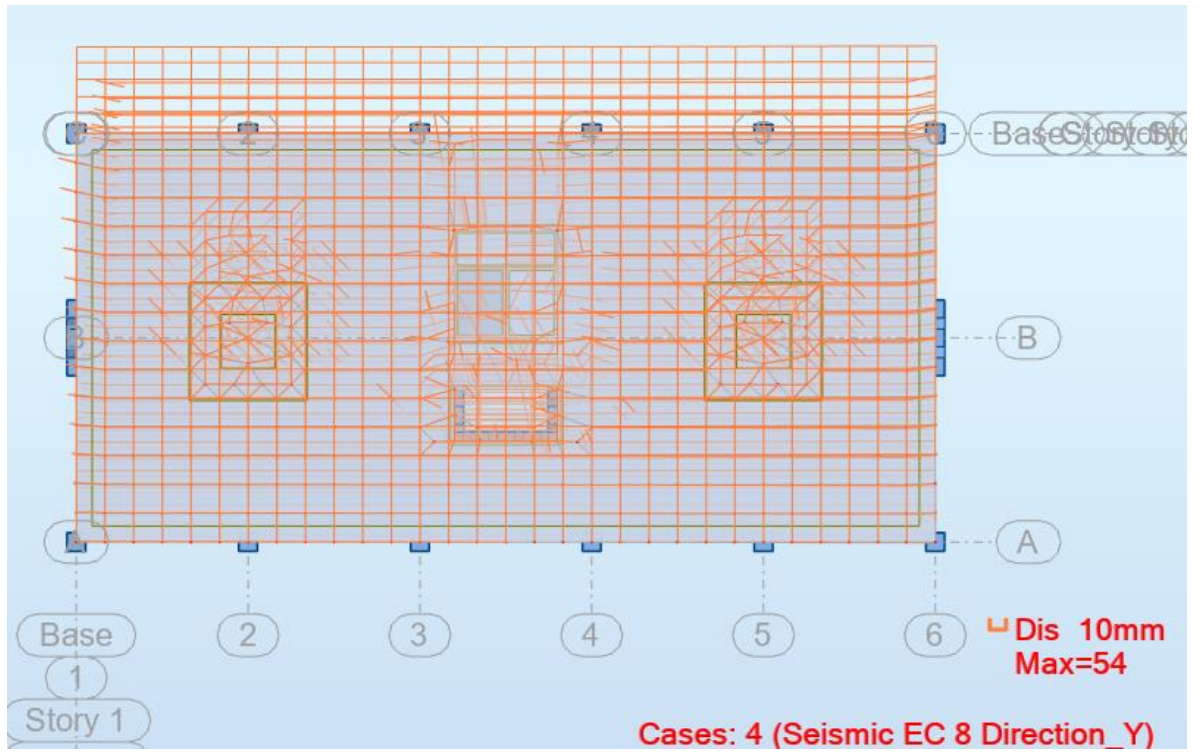


*Slika 5.4. Translacija prostornog modela u smjeru Y*

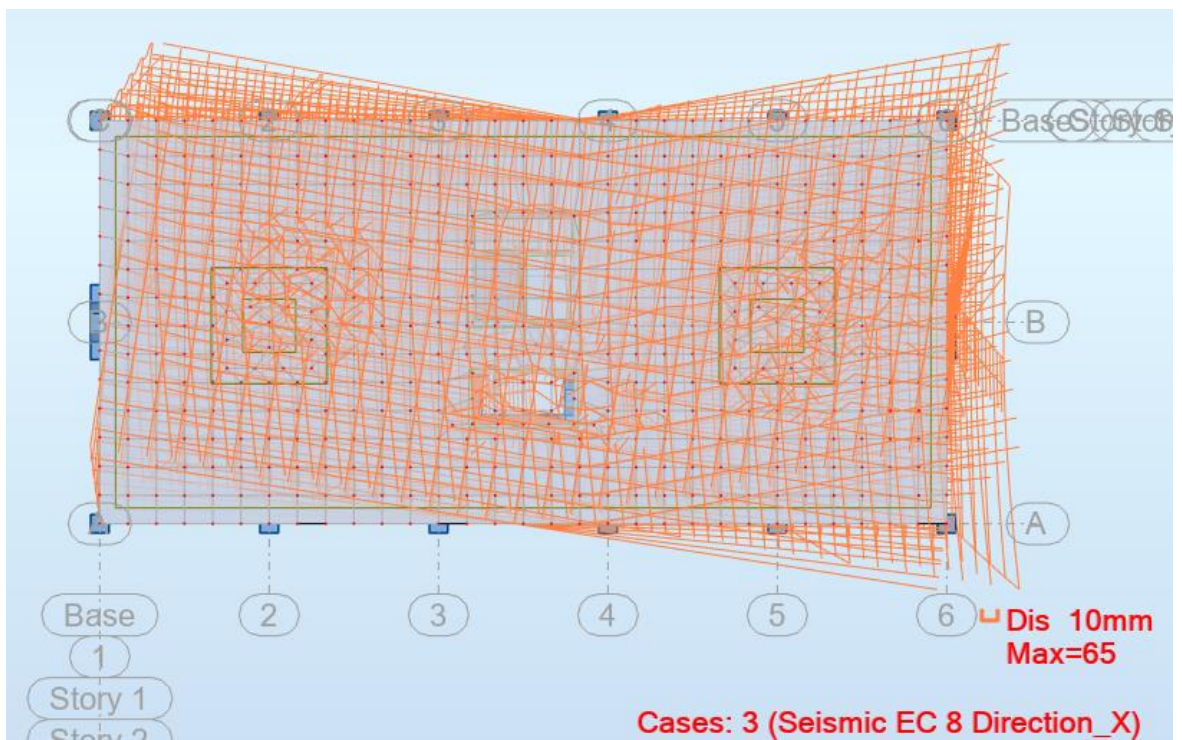


Slika 5.5. Translacija prostornog modela u smjeru X





Slika 5.6. Translacija prostornog modela u smjeru Y



Slika 5.7 Translacija prostornog modela u smjeru X

### 3. PRORAČUN VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

#### 3.1. Stupovi

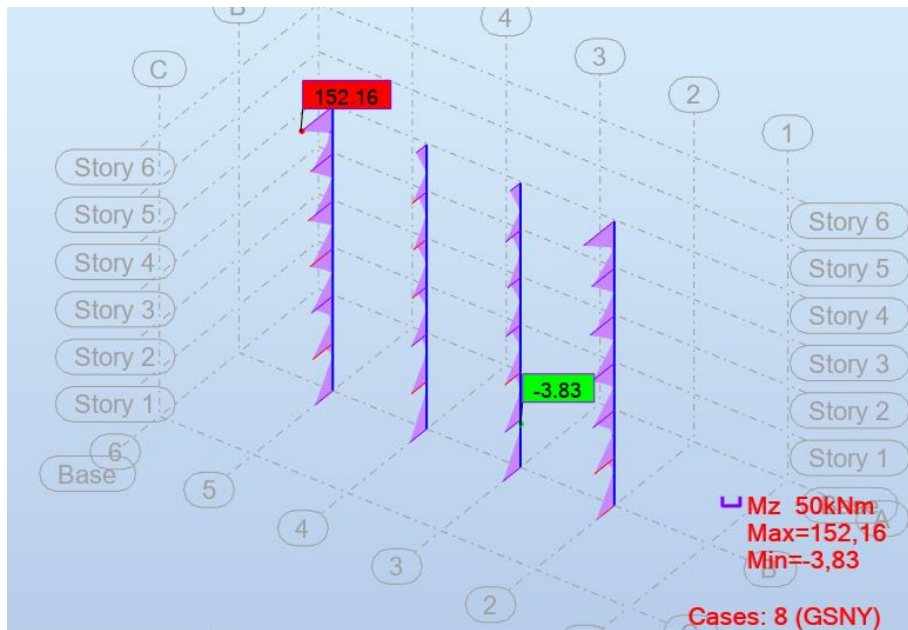
Stupovi su u modelu modelirani kao 1D štapni elementi. Prostorni model je proračunat na izvanredne kombinacije iz kojih su izvučene maksimalne rezne sile. Stupovi su visine 277cm i pravokutnog poprečnog presjeka dimenzija 70/30cm i 50x50. AB stupovi su napravljeni od betona klase C25/30 i armirani armaturom B500B. Zaštitni sloj betona do armature iznosi 2,5cm. Stupovi se izvode monolitno na licu mjesta u oplati. Proračun stupova proveden je pomoću programskog paketa AspalathosSectionDesign. Pretpostavimo armaturu u stupu i za nekoliko različitih profila izračunamo graničnu nosivost stupa za odabrani poprečni presjek i odabranu armaturu.

Potresne kombinacije:

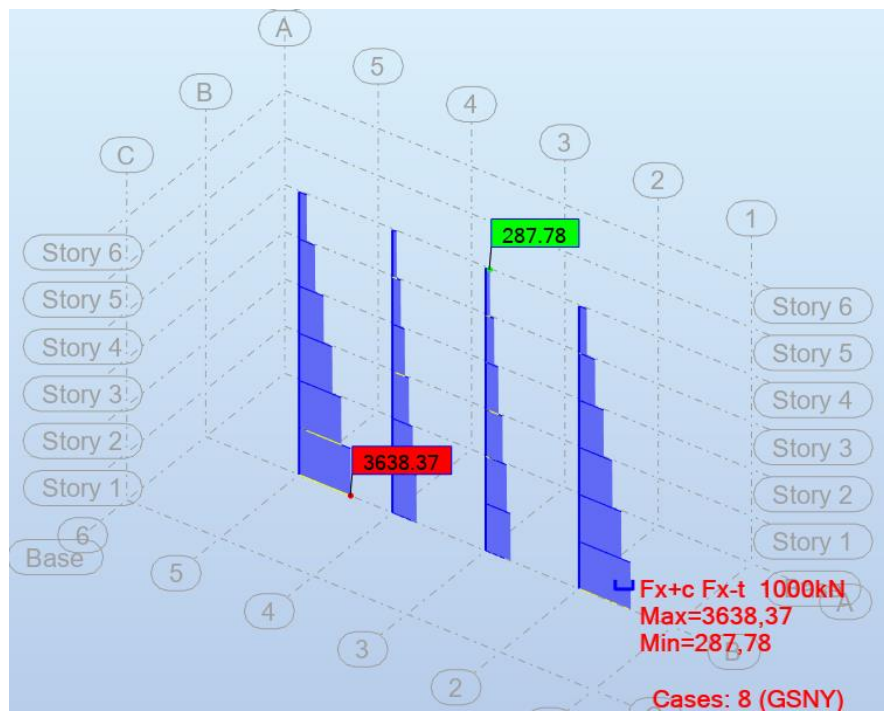
1. kombinacija:  $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 0,3 \cdot q + 1,0 \cdot S_y$

2. kombinacija:  $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 0,3 \cdot q + 1,0 \cdot S_x$

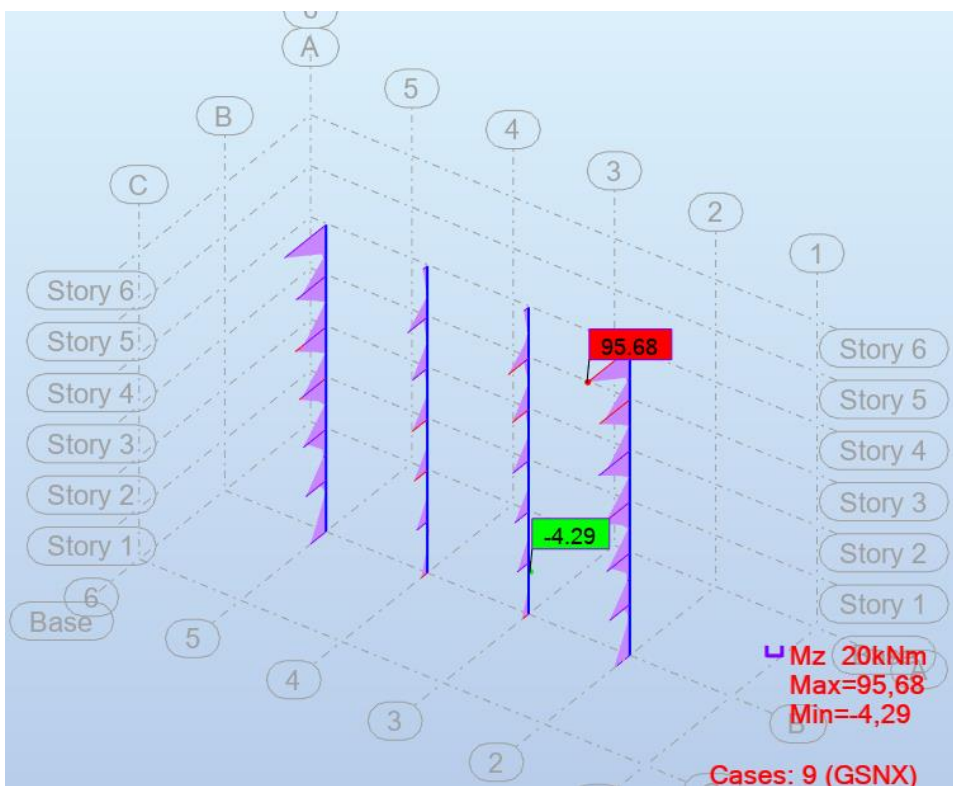
### 3.1.1. Maksimalni momenti savijanja i uzdužne sile za stup 50x50cm



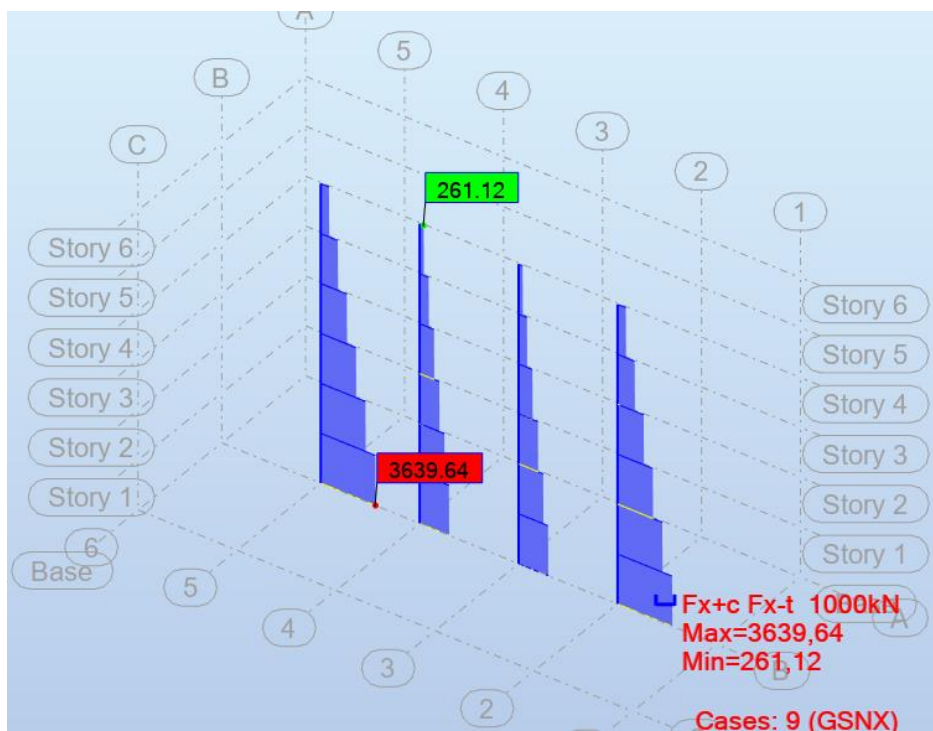
Slika 6.1 Momentni dijagram za stup 50x50cm (1. kombinacija)



Slika 6.2 Uzdužne sile za stup 50x50cm (1. kombinacija)



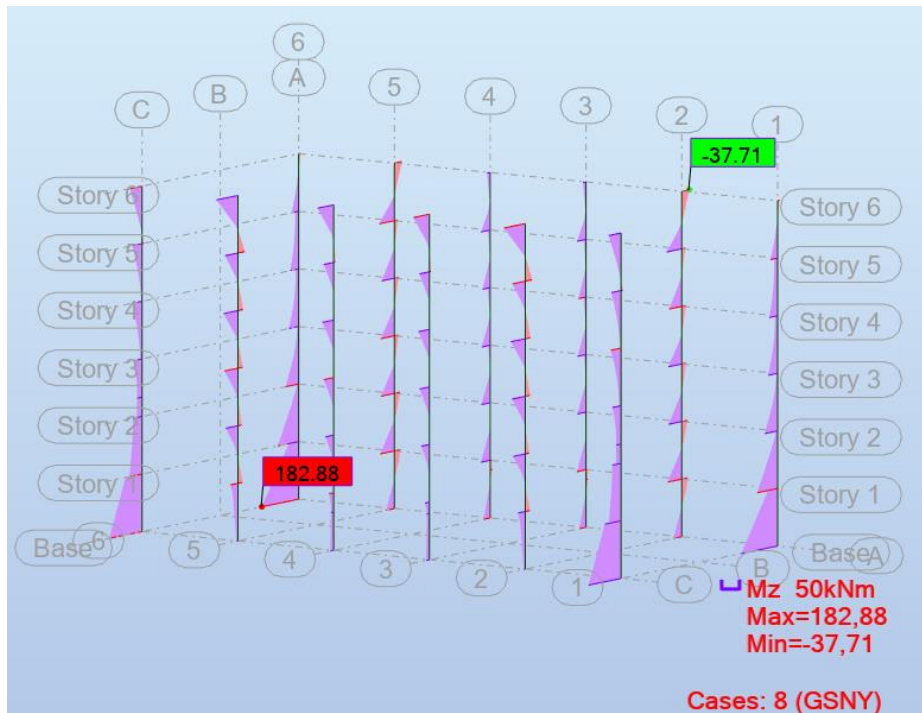
Slika 6.3 Momentni dijagram za stup 50x50cm (2. kombinacija)



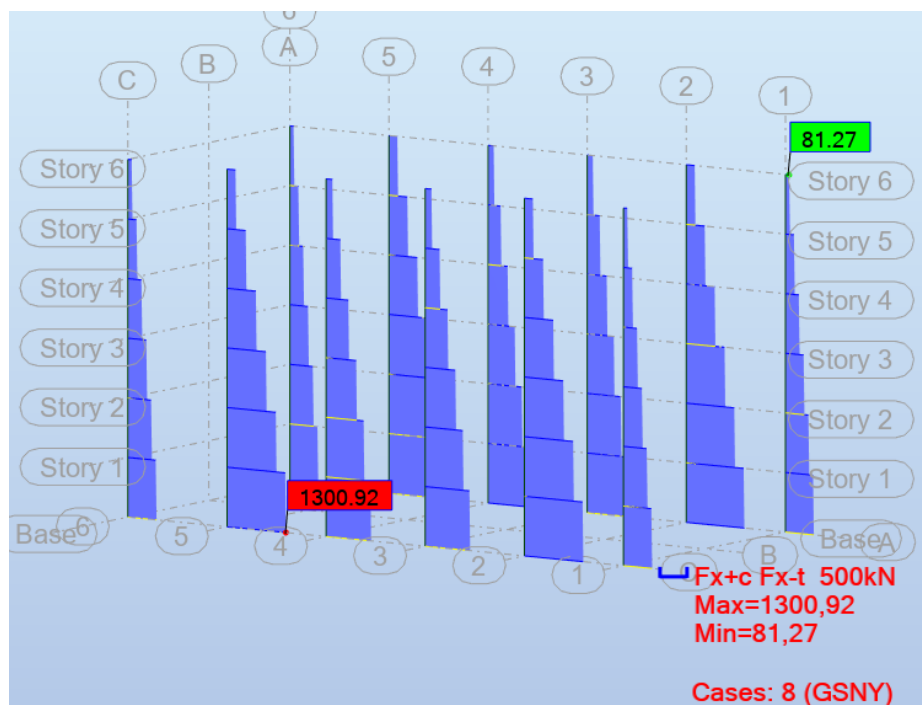
Slika 6.4 Uzdužne sile za stup 50x50cm (2. kombinacija)



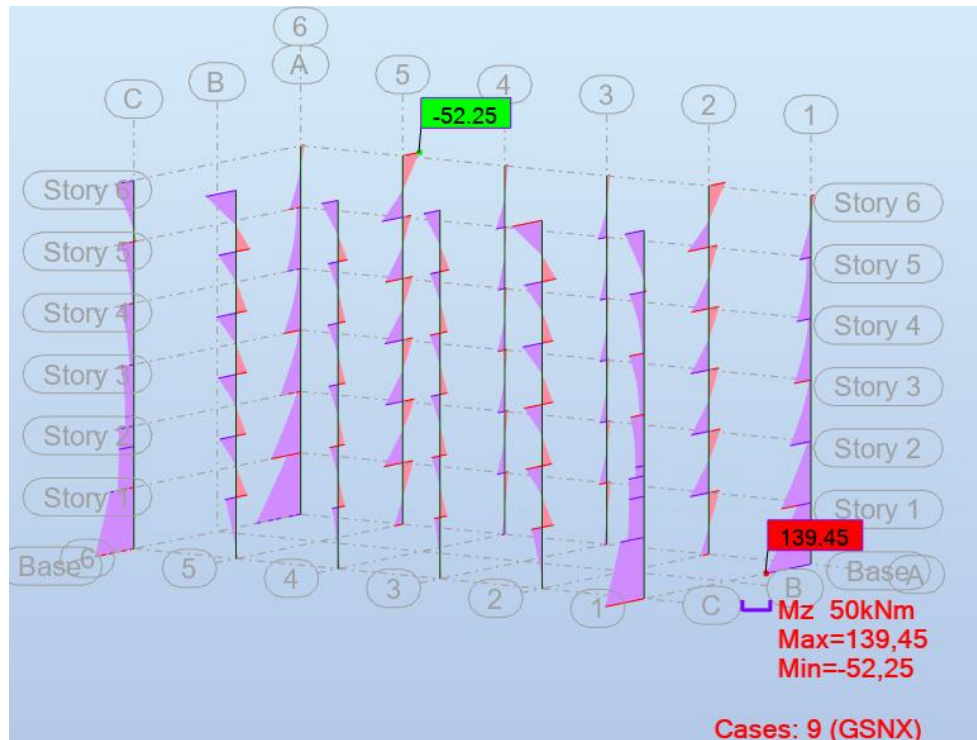
### 3.1.2. Maksimalni momenti savijanja i uzdužne sile za stup 70x30cm



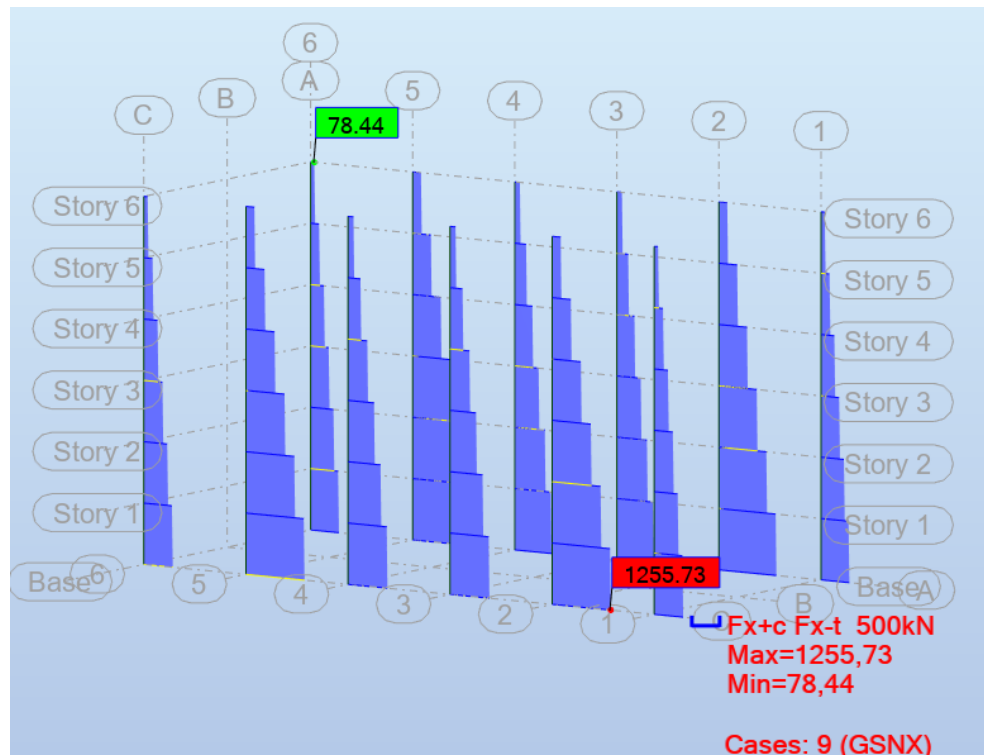
Slika 6.5 Momentni dijagram za stup 70x30cm (1. kombinacija)



Slika 6.6 Uzdužne sile za stup 70x30cm (1. Kombinacija)



Slika 6.7 Momentni dijagram za stup 50x50cm (2. kombinacija)



Slika 6.8 Uzdužne sile za stup 50x50cm (2. kombinacija)

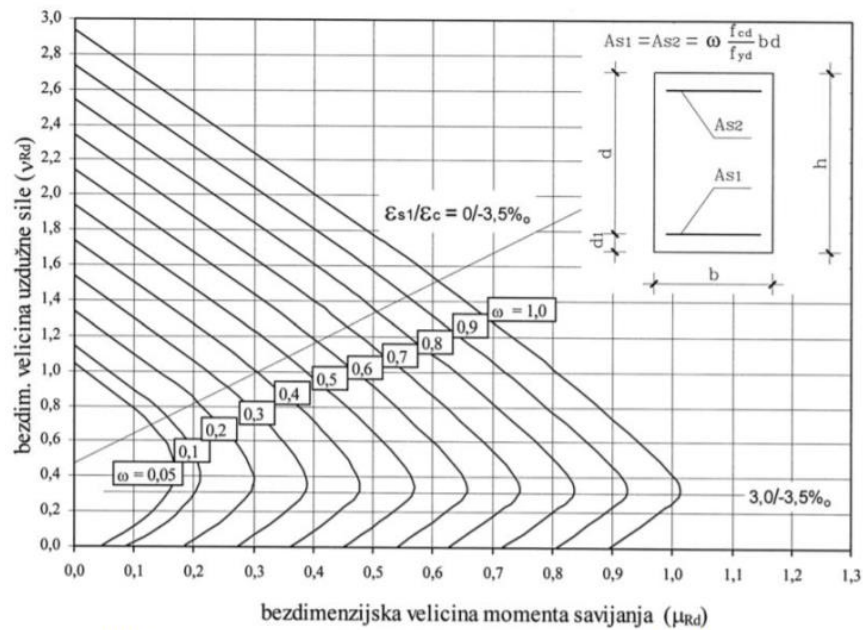
### 3.2. Dimenzioniranje stupa

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Rezultatima ovih formula očitavaju se koeficijenti armiranja sa slike 6.2.1:



Slika Dijagram za armiranje simetrično armiranih pravokutnih presjeka –

postupak Wuzkowskog

Slika 6.2.1

Zatim se iz formule  $As1=As2= \omega \cdot f_{cd}/f_{yd} \cdot b \cdot h$  očitavaju površine armature.

Tablica 6.9 Rezultati površine armature kroz kombinacije za stup dimenzija 50x50cm

	M(kNm)	N(kN)	$\mu Ed$	Ved	$\omega$	As1=As2
1. kombinacija	152,16	3638,37	0,013	0,157	0,006	3,19
2. kombinacija	95,68	3639,64	0,008	0,157	0,003	1,59

Tablica 6.10 Rezultati površine armature kroz kombinacije za stup dimenzija 70x30cm

	M(kNm)	N(kN)	$\mu Ed$	Ved	$\omega$	As1=As2
1. kombinacija	182,88	1300,92	0,044	0,094	0,032	<b>10,21</b>
2. kombinacija	139,45	1255,73	0,033	0,090	0,027	8,62

Odabiremo najveću površinu armature **As1=As2=10,21cm<sup>2</sup>** odabrano: **4 Ø 20(12,57 cm<sup>2</sup>)**

**As1=2Ø20**

**As2=2Ø20**

### 3.3. Zidovi

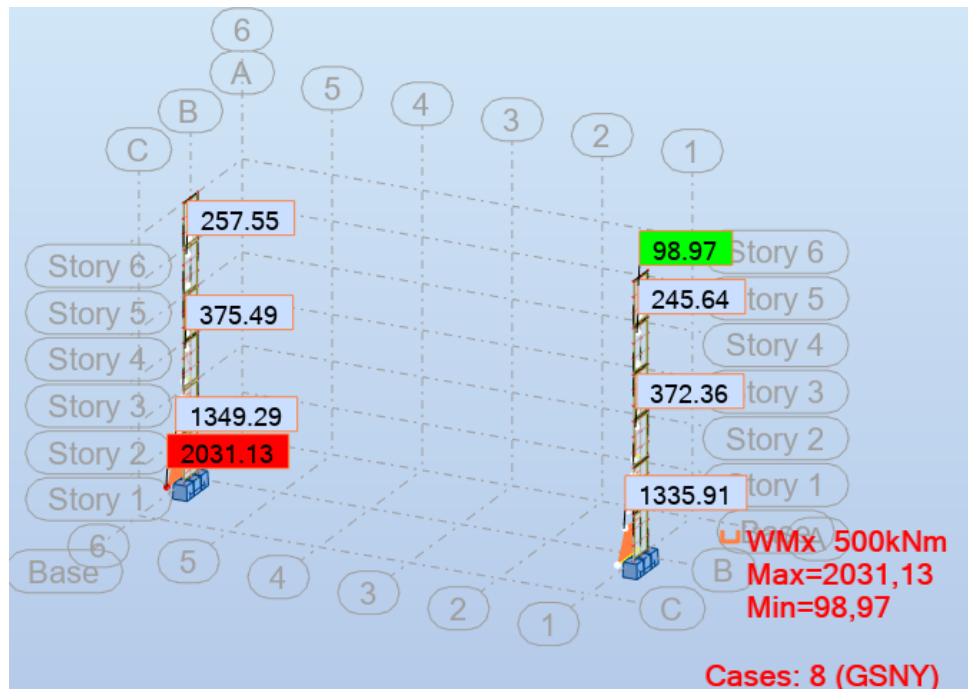
Proračun zidova je proveden po Eurocodu 8. Proračun provodimo za 1 vanjski zid konstrukcije u smjeru y. Njihova debljina je 30cm. Izvedeni su iz betona klase C25/30, a armirani armaturom B500B. Proračun je proveden za uobičajne i seizmičke kombinacije te su iz modela izvedeni M, N i V dijagrami.

Potresne kombinacije:

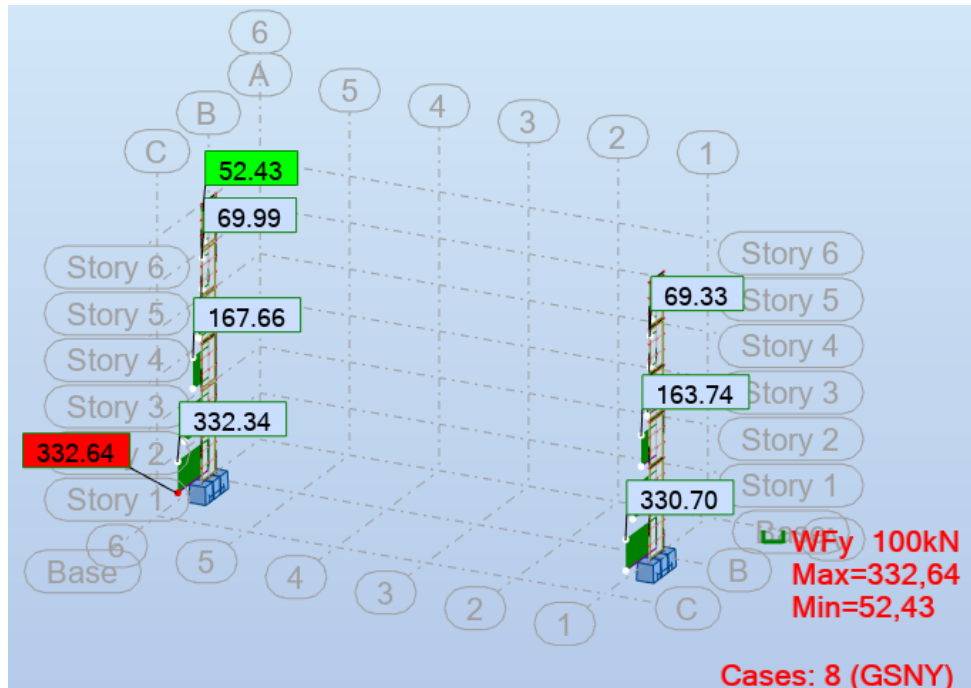
1. kombinacija:  $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 0,3 \cdot q + 1,0 \cdot S_y$

2. kombinacija:  $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 0,3 \cdot q + 1,0 \cdot S_x$

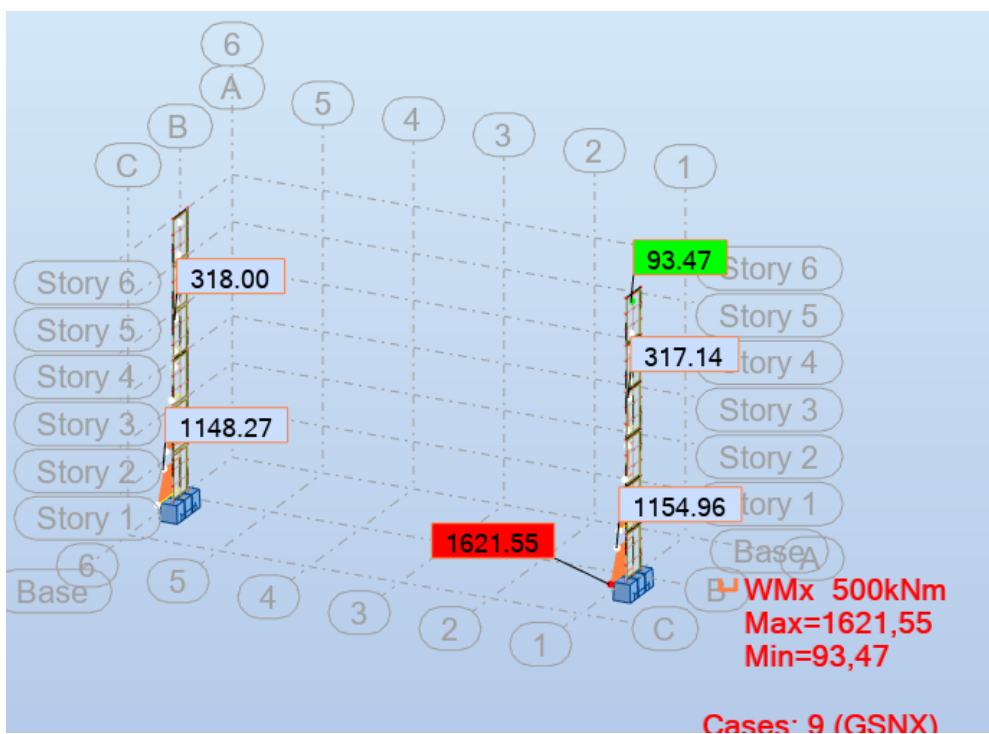
### 3.3.1. Maksimalni momenti savijanja i uzdužne sile za zidove



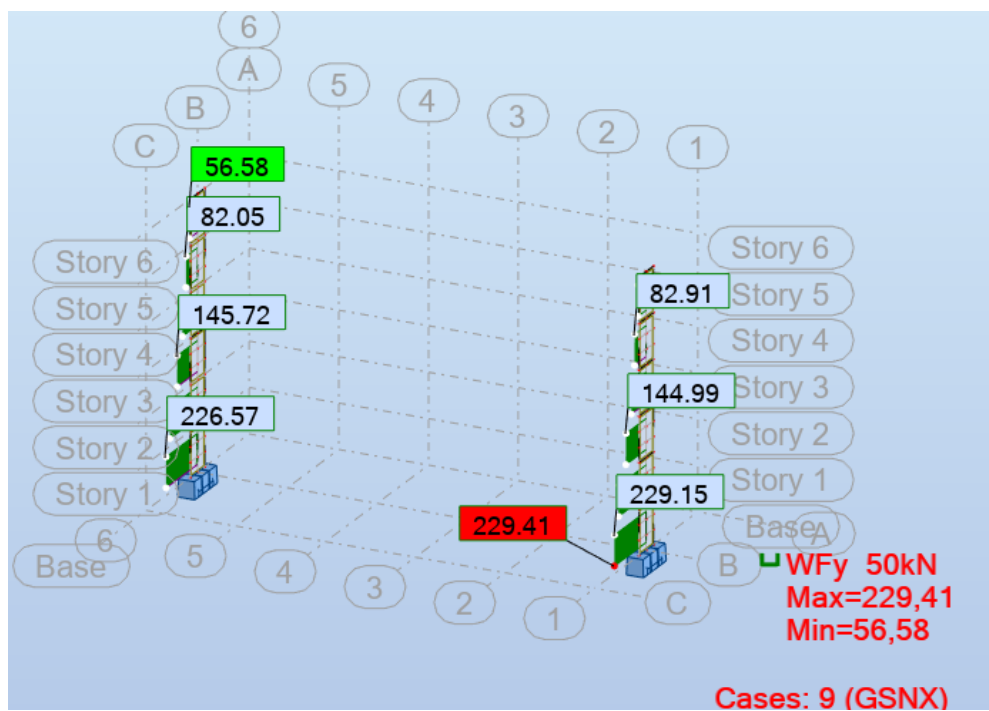
Slika 6.2.1 Maximalni momentni dijagram za vanjske zidove (1. kombinacija)



Slika 6.2.2 Maximalna uzdužna sila za vanjske zidove (1. kombinacija)



Slika 6.2.2 Maximalni momentni dijagram za zidove (2. kombinacija)



Slika 6.2.2 Maximalni uzdužna sila za zidove (2. kombinacija)

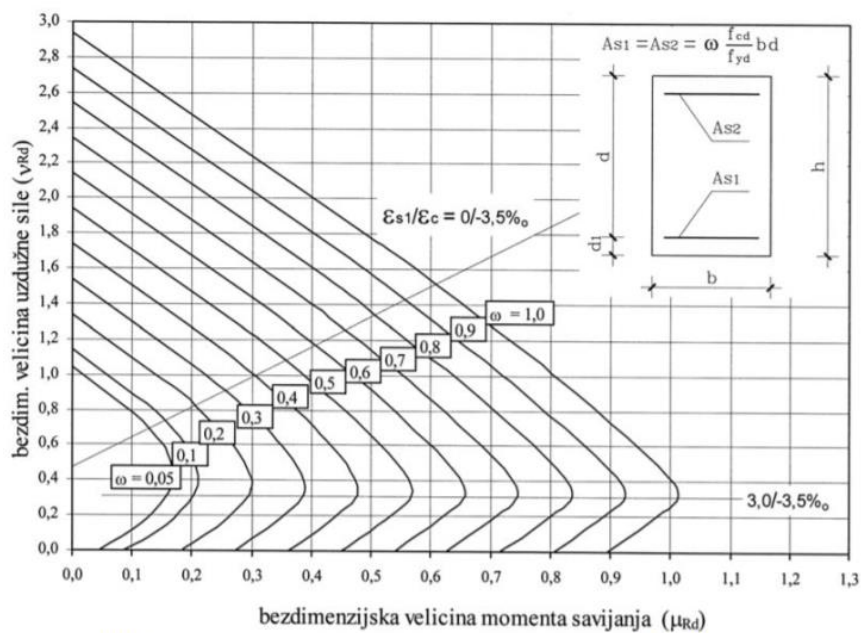
### 3.4. Dimenzioniranje zidova

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Rezultatima ovih formula očitavaju se koeficijenti armiranja sa slike 6.3.1:



Slika Dijagram za armiranje simetrično armiranih pravokutnih presjeka –

postupak Wuczkowskog

Slika 6.3.1

Zatim se iz formule  $As1=As2= \omega \cdot f_{cd}/f_{yd} \cdot b \cdot h$  očitavaju površine armature



Tablica 6.3.2 Rezultati površine armature kroz kombinacije za stup dimenzija 50x50cm

	M(kNm)	N(kN)	$\mu Ed$	Ved	$\omega$	As1=As2
1. kombinacija	2031,13	332,64	0,488	0,024	0,53	<b>169,16</b>
2. kombinacija	1621,55	229,41	0,389	0,017	0,41	130,86

Odabiremo najveću površinu armature **As1= 169,16 cm<sup>2</sup>** odabrano: **14 Ø 40(175,93 cm<sup>2</sup>)**

#### **4. LITERATURA**

- [1] A. Harapin, J. Radnić: Osnove betonskih konstrukcija, interna skripta – zapisi s predavanja; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split
- [2] EN 1990-2008 Eurokod – osnove projektiranja konstrukcija
- [3] V. Herak Marović: Betonske konstrukcije 1, nastavni tekst (predavanja, vježbe)
- [4] V. Herak Marović: Betonske konstrukcije 2, nastavni tekst (predavanja, vježbe)
- [5] I. Tomičić: Betonske konstrukcije 3 – Zagreb 1996
- [6] EN 1998:2008 Eurokod 8 – Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1. Dio
- [7] EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija