

# Statički proračun stambene zgrade

---

**Novaković, Tomislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:123:176074>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Tomislav Novaković**

**Split, 2024.**

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

**Tomislav Novaković**

**Statički proračun stambene zgrade**

**Završni rad**

**Split, 2024.**



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KANDIDAT: Tomislav Novaković  
MATIČNI BROJ: (4915) 0083228175  
KATEDRA: Katedra za teoriju konstrukcija  
KOLEGIJ: Građevna statika 2

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Statički proračun stambene zgrade

Opis zadatka:

Izraditi proračun konstrukcije stambene zgrade za gravitacijska djelovanja.

Odrediti djelovanja te dokazati mehaničku otpornost karakterističnih elemenata konstrukcije (međukatna ploča, greda, zid, temelj) na računalnom proračunskom modelu.

U Splitu, 12.04.2024.

Mentor: Prof. dr. sc. Boris Trogrlić

## Statički proračun stambene zgrade

### **Sažetak:**

U radu je prikazan statički proračun stambene zgrade. Kuća se sastoji od prizemlja, tri kata i ravnoga krova. Nosiva konstrukcija građevine će biti izvedena od armirano betonskih zidova i ploča.

Projekt sadrži: tehnički opis, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata te karakteristične građevinske nacрте.

### **Ključne riječi:**

Stambena zgrada, Statički proračun

## Static calculation of residential building

### **Abstract:**

The static design of the building is presented in this work. The building consist of ground floor, three stories and flat roof. Structure is made of reinforced concrete consisting of walls and plates.

The work includes tehncial description of the structure, calculation of the main structural elements and characteristic structural plans.

### **Keywords:**

Residential building, Static calculation

## Sadržaj

<b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>	<b>6</b>
1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine.....	6
1.2. Geotehnički izvještaj.....	6
<b>2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE .....</b>	<b>7</b>
<b>3. ANALIZA OPTEREĆENJA.....</b>	<b>9</b>
3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....	9
3.2. Stalno opterećenje ( $G_0$ ).....	9
3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije.....	9
3.2.2. Krovna ploča.....	10
3.2.3. Međukatne ploče.....	11
3.2.4. Natkrivena terasa .....	12
3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ ).....	13
<b>4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA.....</b>	<b>14</b>
4.1. Krovna ploča.....	14
4.2. Međukatna ploča.....	15
<b>5. KOMBINACIJE DJELOVANJA.....</b>	<b>16</b>
<b>6. PRORAČUN PLOČA.....</b>	<b>17</b>
6.1. Međukatna ploča.....	17
6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče .....	17
6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče.....	22
6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....	22
6.1.4. Kontrola pukotina .....	23
6.2. Proračun krovne ploče .....	26
6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....	26
6.2.2. Kontrola progiba .....	32
6.2.3. Kontrola pukotina .....	33
<b>7. PRORAČUN AB GREDA.....</b>	<b>36</b>
7.1. Međukatna greda.....	36
7.1.1. Prikaz rezultata proračuna.....	36
7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja .....	37
7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	38
7.1.4. Kontrola progiba .....	40
7.1.5. Kontrola pukotina .....	41

<b>8. PRORAČUN ZIDOVA .....</b>	<b>43</b>
8.1. Opći uvjeti.....	43
8.2. Prikaz modela i dijagrama .....	44
<b>9. PRORAČUN TEMELJA.....</b>	<b>49</b>
9.1. Proračun trakastih temelja.....	51
9.1.1. Model trakastih temelja .....	51
9.1.2. Proračun širine temeljne stope .....	52
9.1.3. Slijeganje građevine.....	54
<b>10. GRAFIČKI PRILOZI .....</b>	<b>55</b>
<b>11. LITERATURA .....</b>	<b>56</b>

## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine

Predmet ovog završnog rada je proračun nosive konstrukcije građevine stambene namjene. Građevina se sastoji od ukupno tri etaže, nepravilnog je tlocrtnog oblika –dimenzija 14,20 x 11,80m.

Ukupna visina građevine iznosi 12,45 m, mjereno od podne ploče prizemlja.

Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) zidova i međukatnih konstrukcija koje su izrađene od armiranog betona, lijevane na licu mjesta debljine 20 cm. Ravna krovna ploča je debljine 20 cm i izvedena je od armiranog betona. Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su zidovi debljine 20 cm. Temeljenje je predviđeno ispod zidova prizemlja trakasti temelji (dimenzija 70 x 60 cm).

U proračunu su dane osnovne dimenzije armature za pojedine konstruktivne elemente. Elementi koji se ne proračunavaju armiraju se konstruktivno.

Za sve betonske radove predviđen je beton C 25/30 , te armatura B 500B. Skidanje podupirača za ploče može se izvršiti nakon postignute minimalne čvrstoće od 80%.

Za temelje je upotrebljena klasa betona C 25/30.

Svi računalni proračuni su izvršeni u programu „Scia Engineer“. Svi ostali podaci i detalji vezani za objekt dani su kroz projektna rješenja.

### 1.2. Geotehnički izvještaj

Za predmetnu građevinu su izvršeni geotehnički istražni radovi.

Matična stijena nalazi se na oko 160 cm od površine terena, temeljenje građevine će se izvesti na njoj. Pri završetku iskopa temeljnu plohu potrebno je ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala.

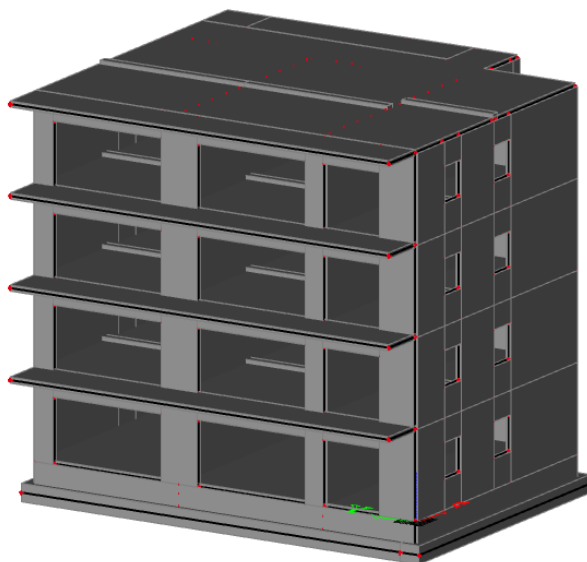
Nakon obavljenog čišćenja temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja.

Ukoliko se naiđe na kavernu veće dubine i manje širine, a nije moguće potpuno uklanjanje materijala, sanaciju izvesti tako da se materijal ukloni do dubine 50 cm ispod kote temeljenja, a nastali prostor do projektirane kote zapuni podbetonom.

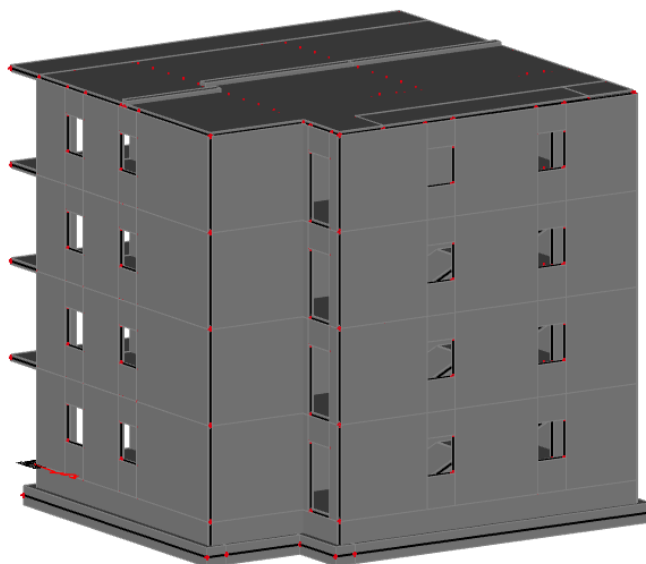
Na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova, dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 310 kPa.



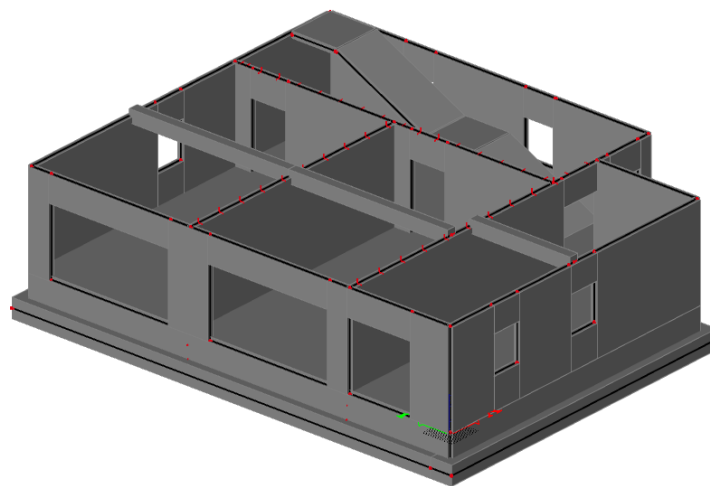
## 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



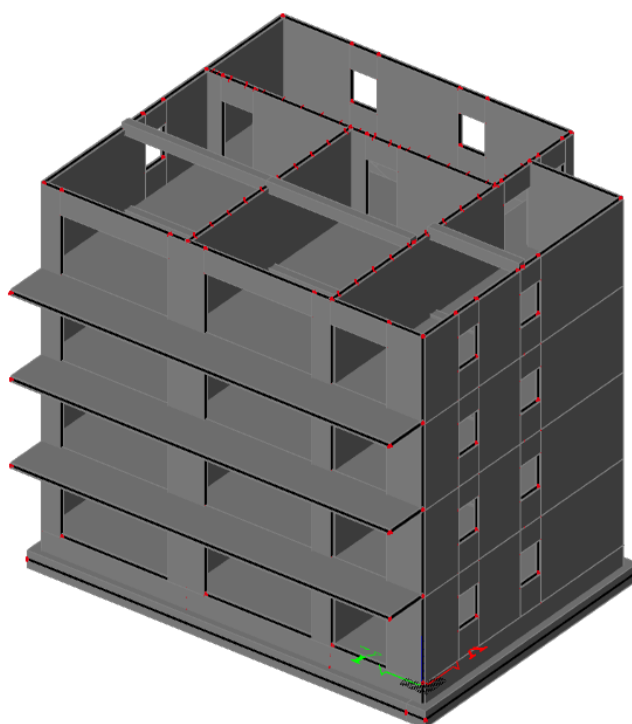
Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled 4

### 3. ANALIZA OPTEREĆENJA

#### 3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima

Osnovna opterećenja, na čiji utjecaj se dokazuje mehanička otpornost i stabilnost predmetne građevine, podijeljena su:

Oznaka osnovnog djelovanja	Opis djelovanja
<b>G0</b>	Stalno djelovanje – vlastita težina elemenata nosive konstrukcije
<b>G1</b>	Dodatno stalno djelovanje – ostalo stalno djelovanje; pokrov, obloga, stalna oprema itd.
<b>Qi</b>	Promjenjivo – uporabno djelovanje: uporabno opterećenje, pokretna oprema.

Tablica 3.1 Podaci o osnovnim djelovanjima

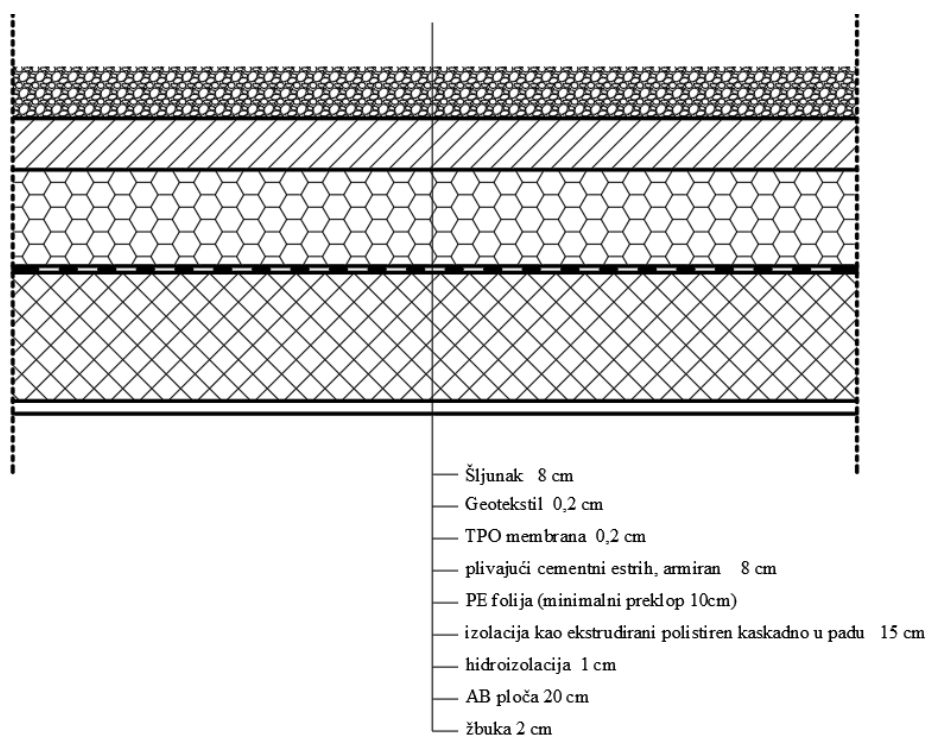
#### 3.2. Stalno opterećenje (G<sub>0</sub>)

##### 3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije

Stalno opterećenje uključeno je u proračun prema sljedećem:

- Specifična težina armiranog betona iznosi  $g = 25.0 \text{ kN/m}^3$ .
- Stalno opterećenje od vlastite težine elemenata armirano betonske konstrukcije sadržano je u proračunskom modelu, sukladno dimenzijama poprečnih presjeka i zadanoj specifičnoj težini.

## 3.2.2. Krovna ploča

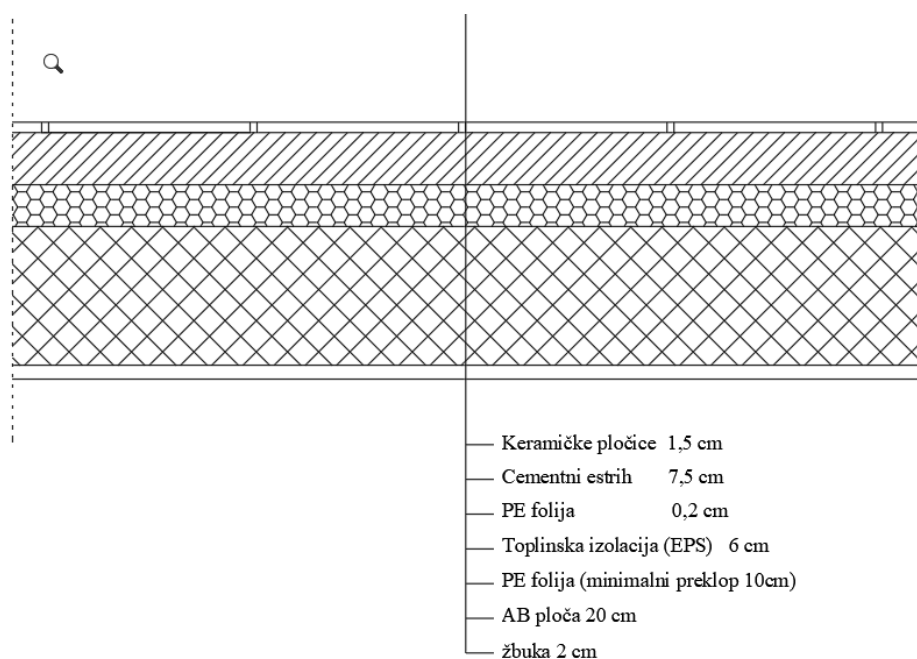


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Šljunak	0,08	18,0	1,44
Geotekstil	0,002	-	-
TPO membrana	0,002	-	-
Cementni estrih	0,08	5,90	0,47
Toplinska izolacija(EPS)	0,15	1,50	0,23
Hidroizolacija	0,01	10,0	0,1
AB ploča	0,20	Uključena u proračunskom modelu	
Žbuka	0,02	22,0	0,44

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,68$  (kN/m<sup>2</sup>)

### 3.2.3. Međukatne ploče

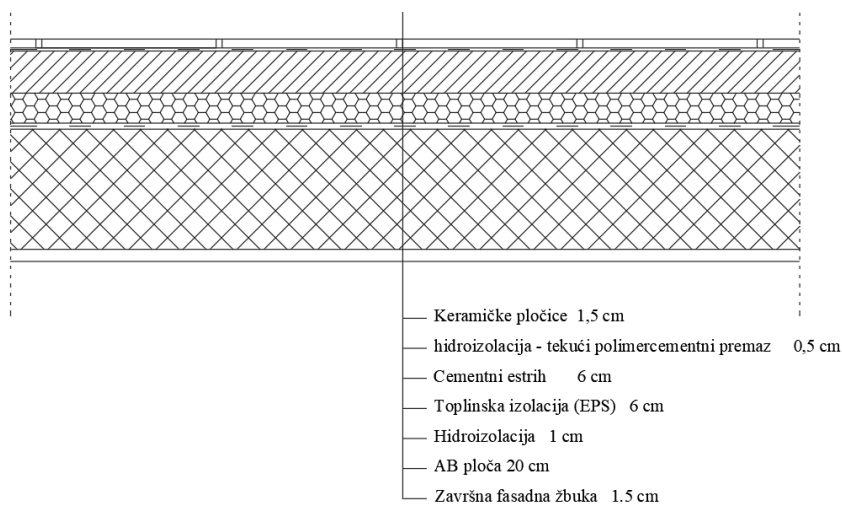


Tablica 3.2.2 Slojevi poda međukatnih konstrukcija

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Pregradni zidovi			0,5
Završna obrada	0,015	24,0	0,36
Cementni estrih	0,075	22,00	1,65
PE folija	-	-	-
Toplinska izolacija(EPS)	0,06	1,5	0,09
AB ploča	0,20	Uključeno u proračunskom modelu	
Žbuka	0,02	21,0	0,42
Instalacije	-	-	0,25

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 3,10$  (kN/m<sup>2</sup>)

## 3.2.4. Natkrivena terasa

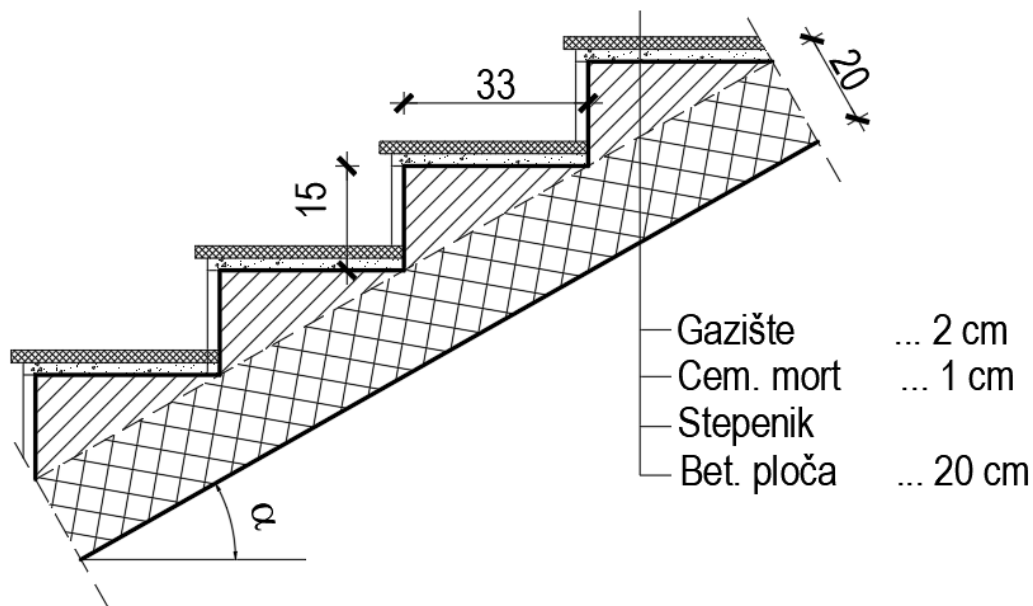


Tablica 3.2.3 Slojevi poda balkona

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Keramičke pločice u građevinskom ljepilu	0,015	24,00	0,27
hidroizolacija – tekući polimercementni premaz	0,005	22,00	0,11
Cementni estrih	0,06	22,00	1,32
Termoizolacija(XPS)	0,06	1,5	0,09
hidroizolacija	0,01	10	0,10
AB ploča	0,20	Uključeno u proračunskom modelu	
Završna fasadna žbuka	0,015	15,00	0,23

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,12$  (kN/m<sup>2</sup>)

### 3.2.5. Stubište



Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Završna obrada – kamena ploča	0,02	28,00	0,56
Cementni namaz	0,01	20,00	0,20
AB ploča	0,20	Uključeno u proračunskom modelu	
Stuba	0,075	24,00	1,80

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,56$  (kN/m<sup>2</sup>)

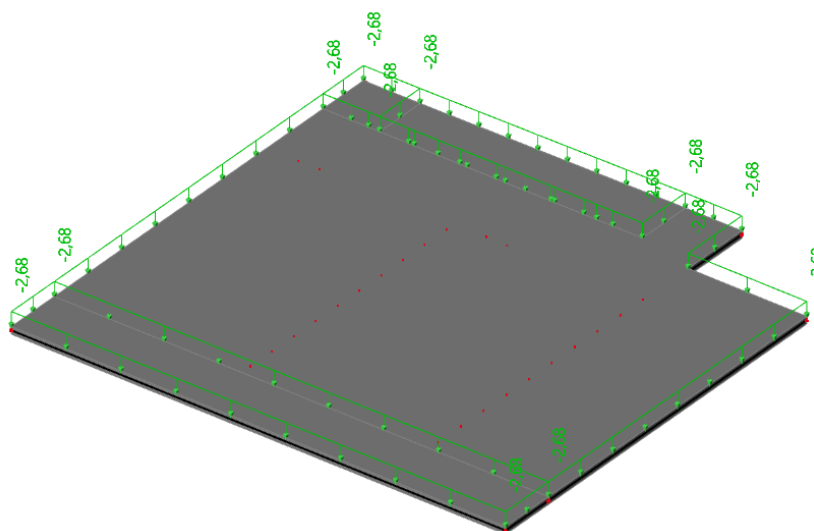
### 3.3. Promjenjivo opterećenje (Qi)

Minimalno korisno opterećenje za zgrade definirano je u EC1991-1-1. Ovo korisno (pokretno) opterećenje je najmanje koje se smije primjeniti na zgradama. Na zahtjev investitora ili pri procjeni projektanta smije se koristiti i veće opterećenje. Za potrebe proračuna, a prema EC1991-1-1 korištena su sljedeća opterećenja:

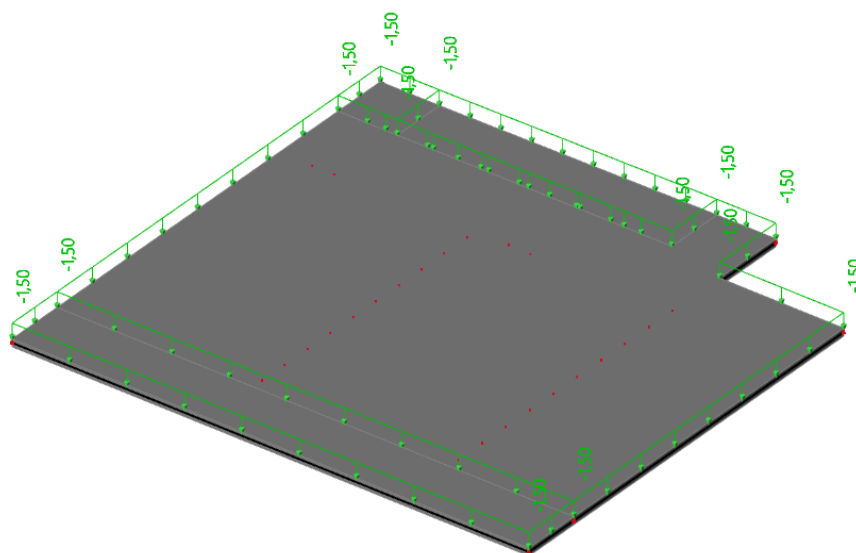
- Ravni krov:  $q = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Uobičajne prostorije:  $q = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Stubišta:  $q = 3,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Balkoni i lođe:  $q = 4,0$  kN/m

## 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 4.1. Krovna ploča



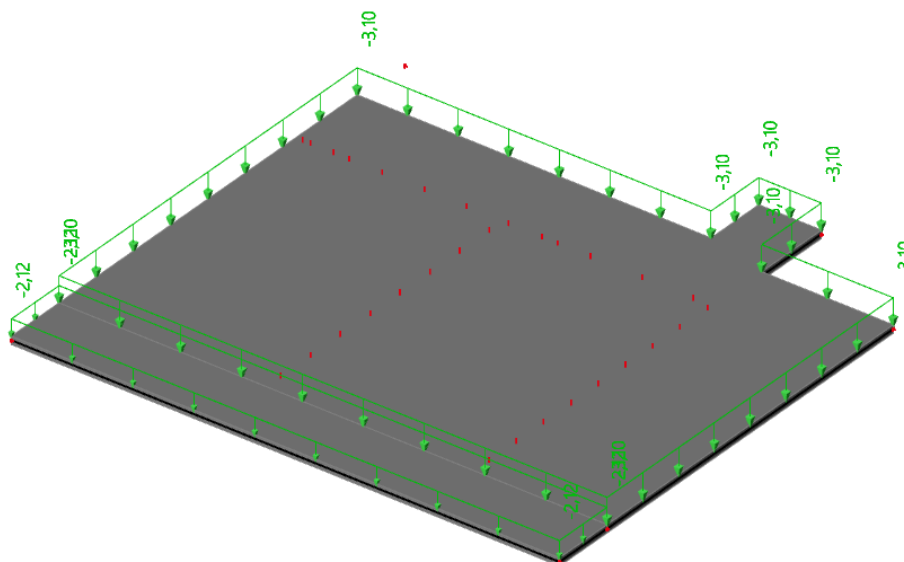
Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



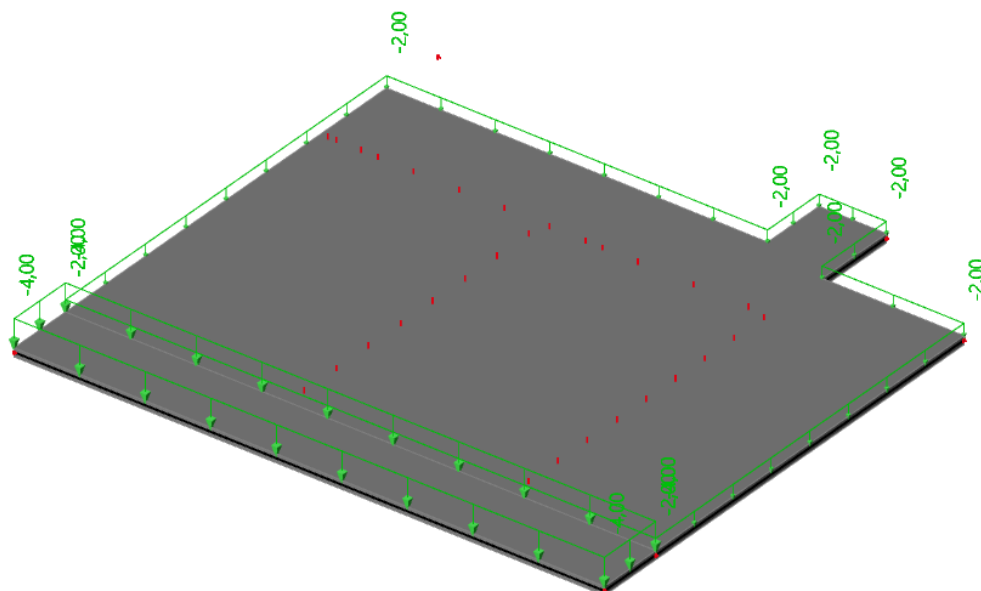
Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



## 4.2. Međukatna ploča



Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [kN/m<sup>2</sup>]



Slika 4.2.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [kN/m<sup>2</sup>]

## 5. KOMBINACIJE DJELOVANJA

Za dokaz nosivosti elemenata konstrukcije predmetne građevine, djelovanja se kombiniraju za sljedeća granična stanja i iznose:

- **Granično stanje nosivosti**

**GSN-1**  $1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_1$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

*\*vlastita težina je uračunata u proračunskom modelu*

Q – uporabno djelovanje

**GSN-1**  $1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_2$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

*\*vlastita težina je uračunata u proračunskom modelu*

Q – uporabno djelovanje

- **Granično stanje uporabljivosti**

**GSU-1**  $1.0 \cdot G + 1.0 \cdot Q$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

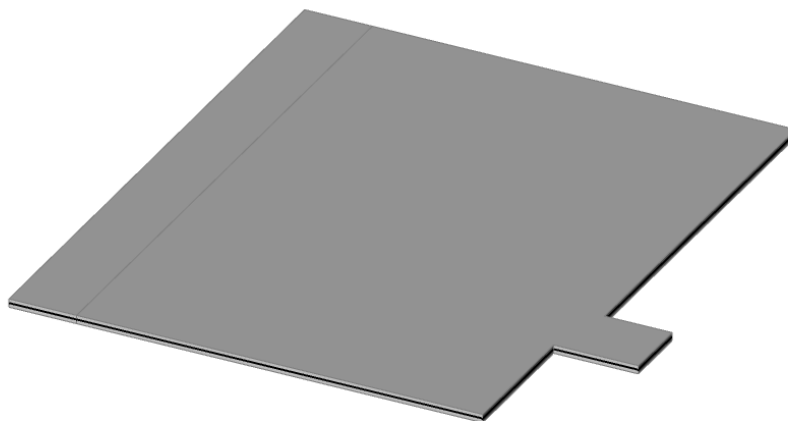
*\*vlastita težina je uračunata u proračunskom modelu*

Q – uporabno djelovanje

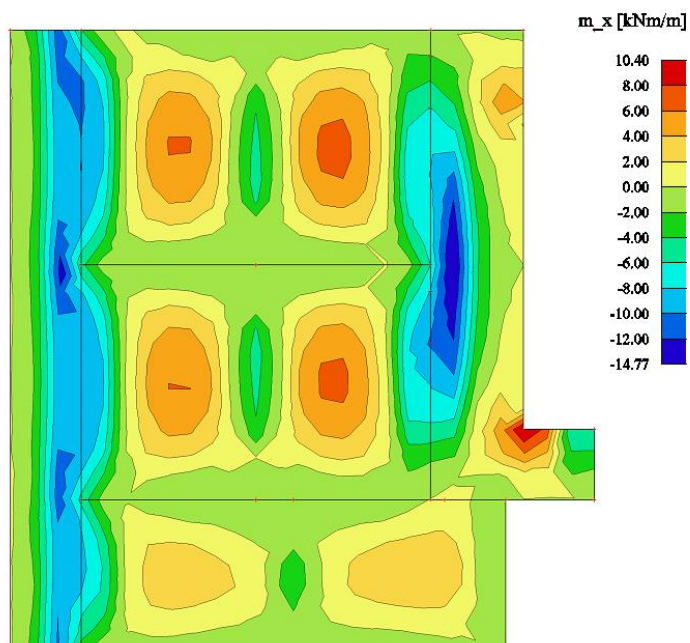
## 6. PRORAČUN PLOČA

### 6.1. Međukatna ploča

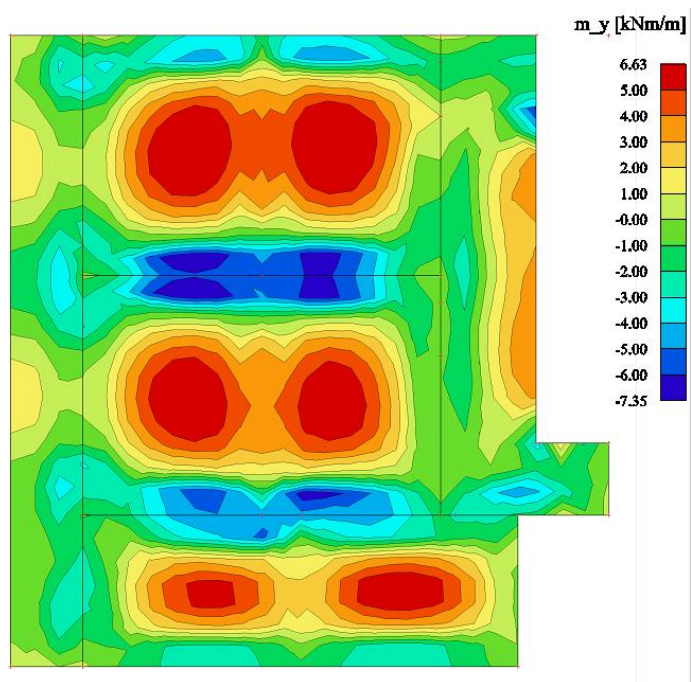
#### 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče



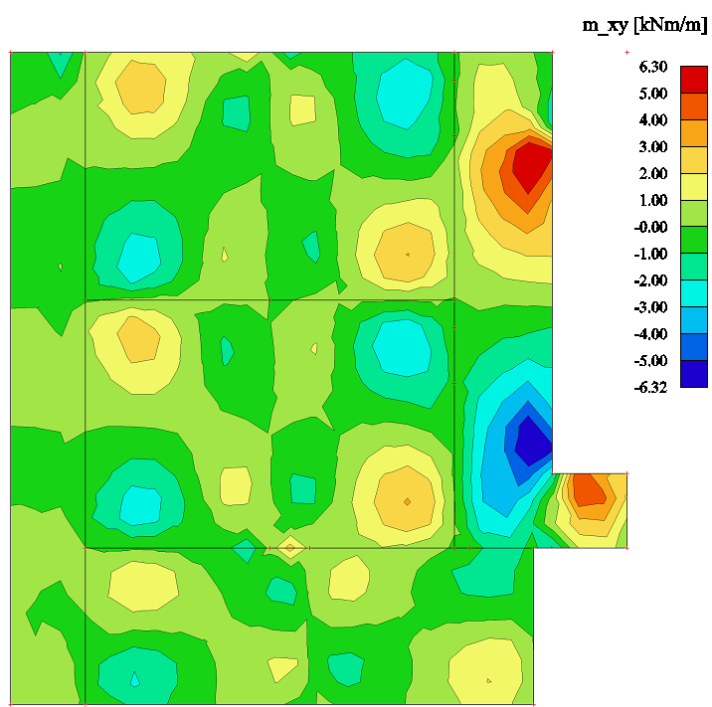
Slika 6.1 Prikaz modela ploče



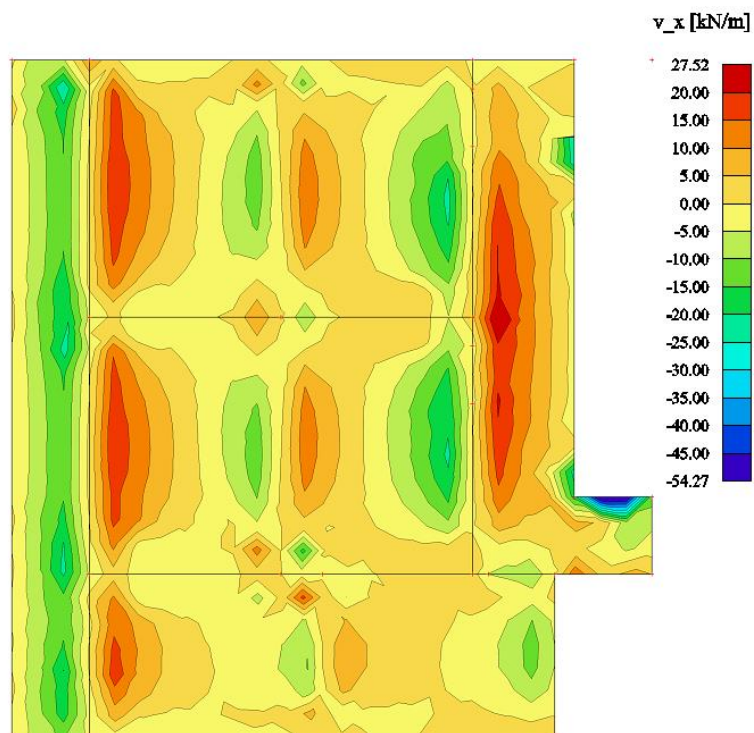
Slika 6.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSN-1



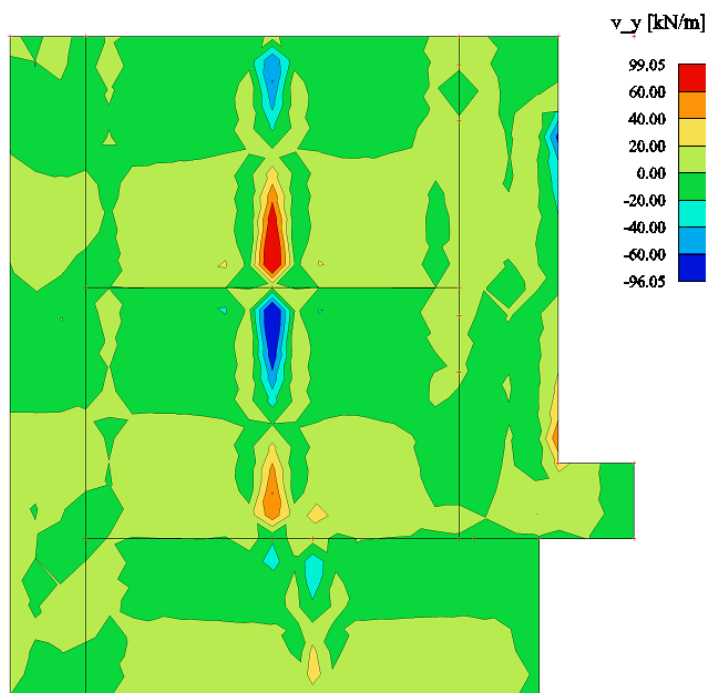
Slika 6.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



Slika 6.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



Slika 6.5 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 6.6 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSN-1

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 16,67 \cdot 1000 = 90,1 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

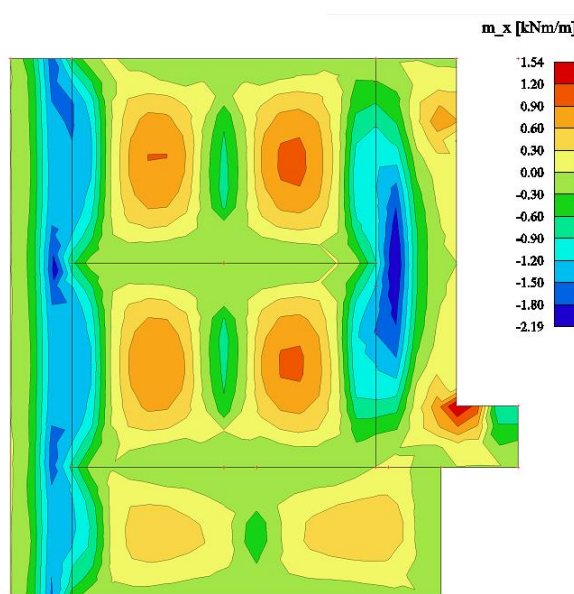
$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 17 = 2,55 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{17}{500} = 2,04 \text{ cm}^2 / m$$

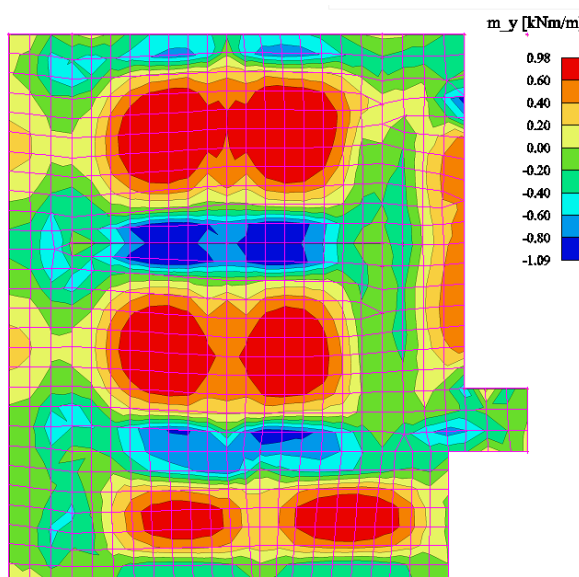
$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 17 \cdot \frac{16,67}{434,8} = 20,21 \text{ cm}^2 / m$$

Za proračun armature usvaja se  $\zeta \approx 0.9$ , potrebna armatura :

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 17 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.150$$



Slika 6.7 Potrebna površina armature  $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$  u x smjeru



Slika 6.8 Potrebna površina armature  $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$  u y smjeru

*Napomena:* Dobivenu armaturu zbog preraspodjele umanjiti za 15% nad ležajem i povećati za 30% u polju.

Potrebna armatura na ležaju u smjeru x:  $A_s = 2.2 \times 0.85 = 1.87 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura na ležaju u smjeru y:  $A_s = 1.1 \times 0.85 = 0.94 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju:  $A_s = 1.54 \times 1.30 = 2.00 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj u smjeru x: R-196 ( $1.96 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

Ležaj u smjeru y: R-196 ( $1.96 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

Polje: Q-283 ( $2.83 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{170}} = 2.08 \leq 2.0 \rightarrow k = 2.0$$

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{2.83}{17 \cdot 100} = 0.0017$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0017 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 66.09 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c,min} = \left[ v_{min} + k_1 \cdot v_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.495$$

$$v_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$V_{Rd,c,min} = 0.495 \cdot 1000 \cdot 170 = 84.15 \text{ kN/m}$$

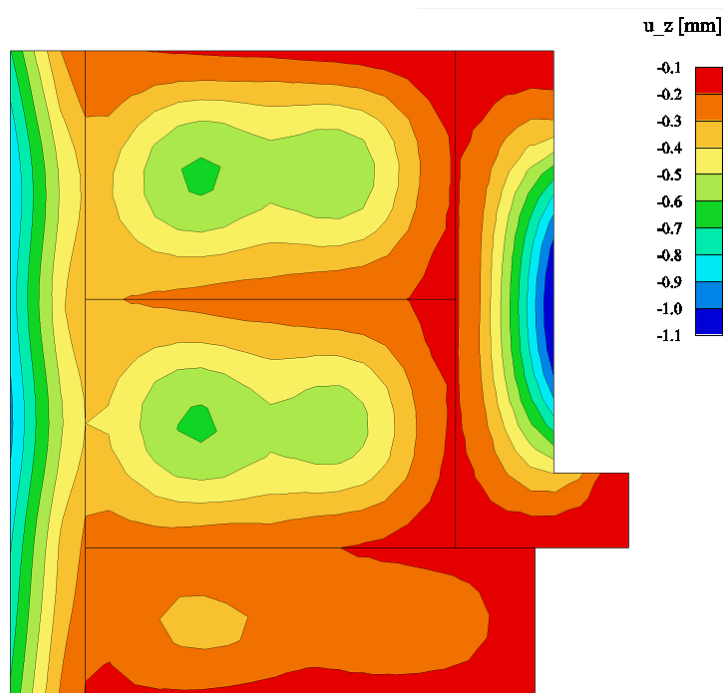
Uvjet je zadovoljen.

### 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče

S obzirom da je model građevine modeliran na temeljnom tlu realnih karakteristika cijela građevina će imati pomake određenih vrijednosti, pa tako i međukatne ploče. Zbog nemogućnosti prikazivanja relativnih pomaka ploča bit će prikazani ukupni pomaci ploča koji nisu mjerodavni za analizu.

Kako bismo dobili pomake koji će prikazati pravo ponašanje ploče od ukupnih pomaka oduzet ćemo translacijsku komponentu pomaka, te na taj način dobivamo deformacijsku komponentu pomaka koja će se analizirati.

### 6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče



Slika 6.9 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 1.1 mm.

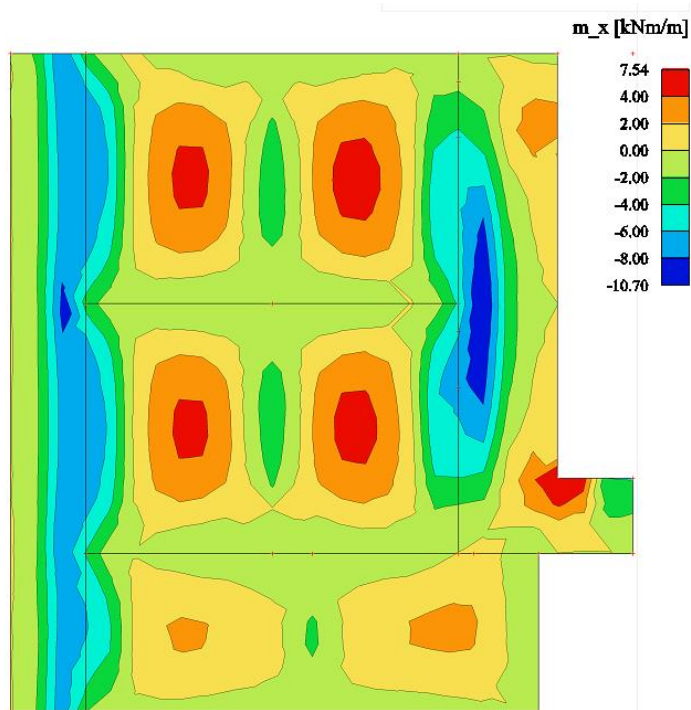
Dozvoljen progib  $L/1000 = 2100/1000 = 2.1$  mm

Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

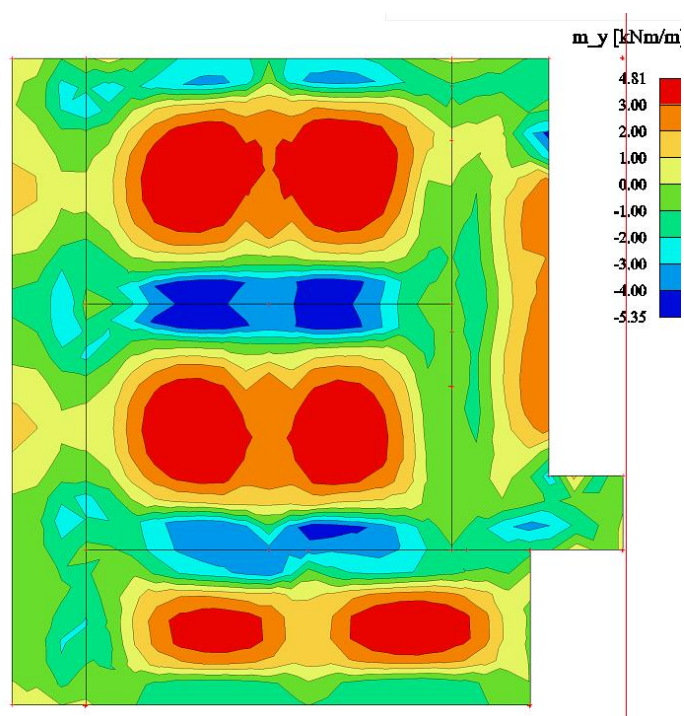


### 6.1.4. Kontrola pukotina

U priložena dva dijagrama odabire se najveći moment savijanja koji će biti mjerodavan izračunu širine pukotine.



Slika 6.11 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.12 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 7.54 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  određuje se prema izrazu :

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 2.83}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.45 \cdot 2.83}} \right) \\ = 2.32 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{754}{\left(17 - \frac{2.67}{3}\right) \cdot 2.83} = 16.54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 165.4 \text{ MPa}$$

Za C 25/30  $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.6 \text{ MPa}$

$A_{s1} = Q - 283 = 2.83 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 31.0 \text{ GPa} = 31\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0 \text{ GPa} = 200\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti armature

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{31} = 6.45$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.83}{100 \cdot 2.5 \cdot 3} = 0.0038$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{165.4 - 0.4 \frac{2.6}{0.0038} (1 + 6.45 \cdot 0.0038)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{165.4}{200000}$$

$$-0.00057 \geq 0.00049$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00049$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [mm]$$

$\emptyset = 9.0 \text{ mm}$  –

$c = 30 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{9}{0.0038} = 504.6 \text{ mm}$$

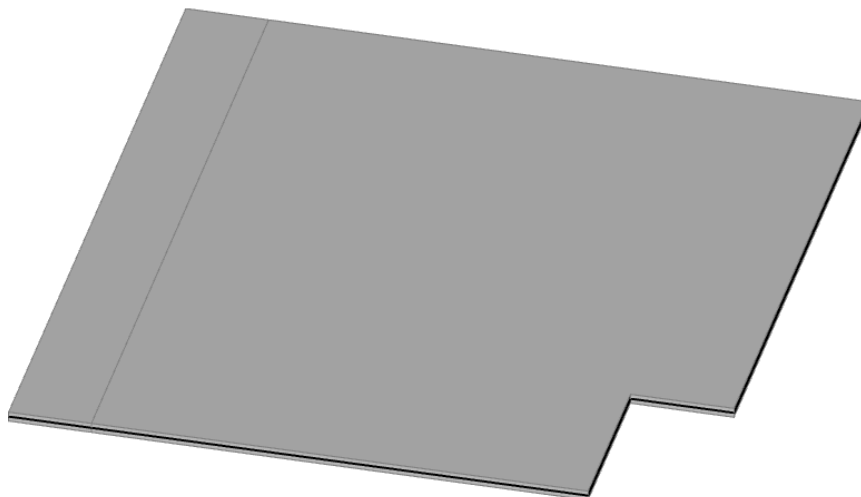
Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 504.6 \cdot 0.00049 = 0.247 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

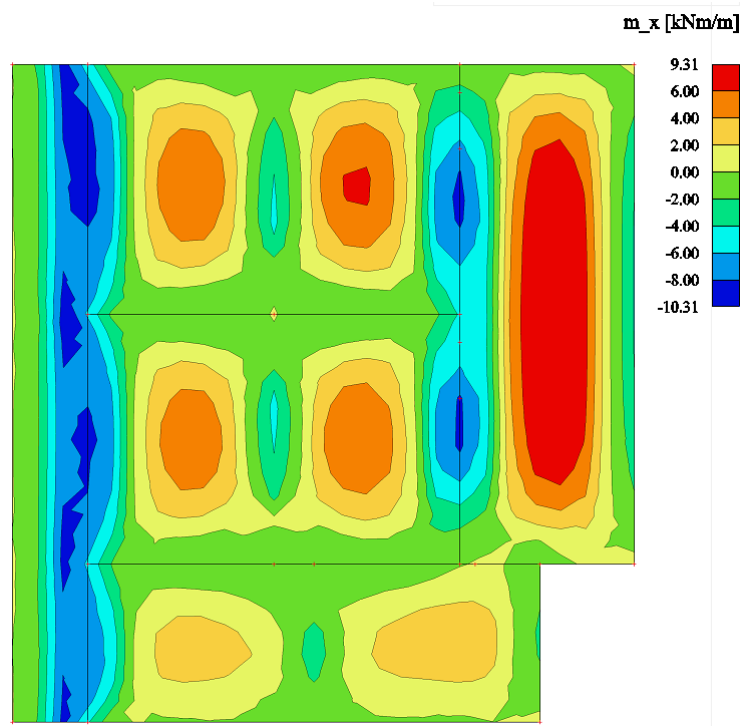
Pukotine zadovoljavaju!

## 6.2. Proračun krovne ploče

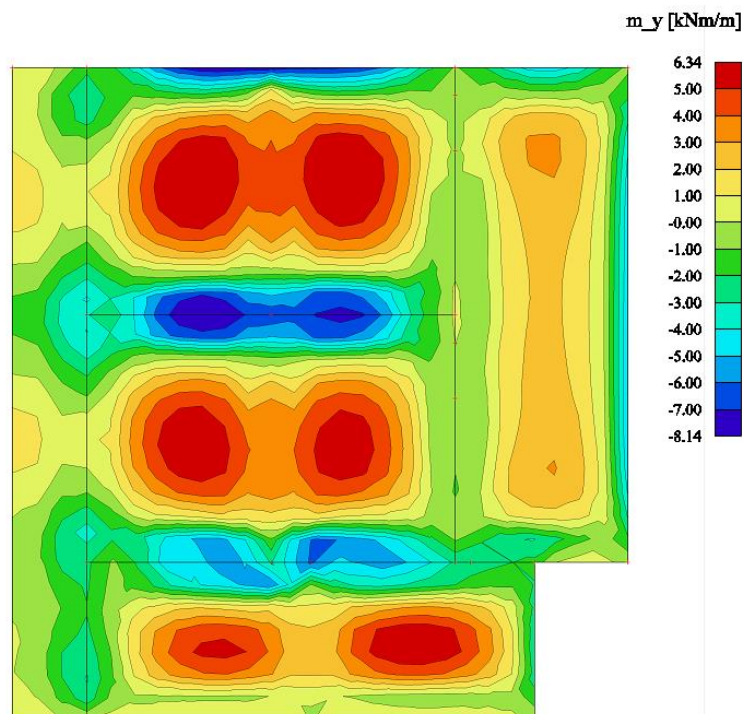
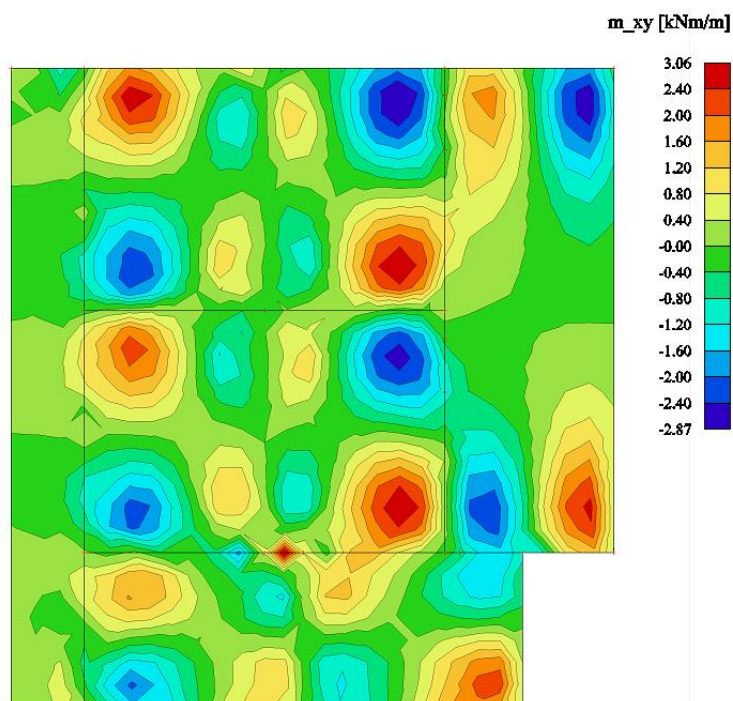
### 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče

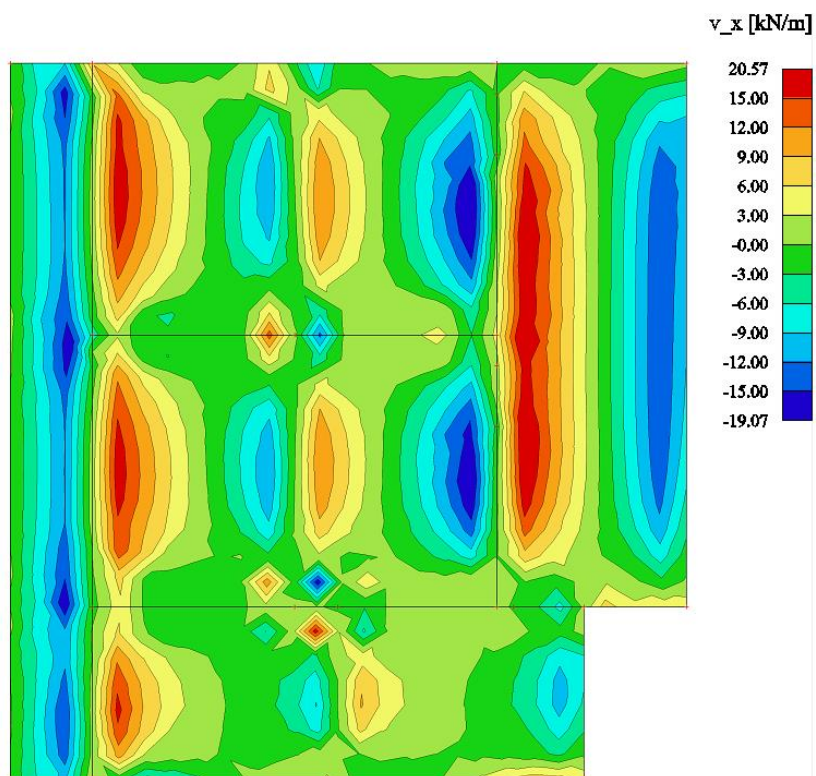
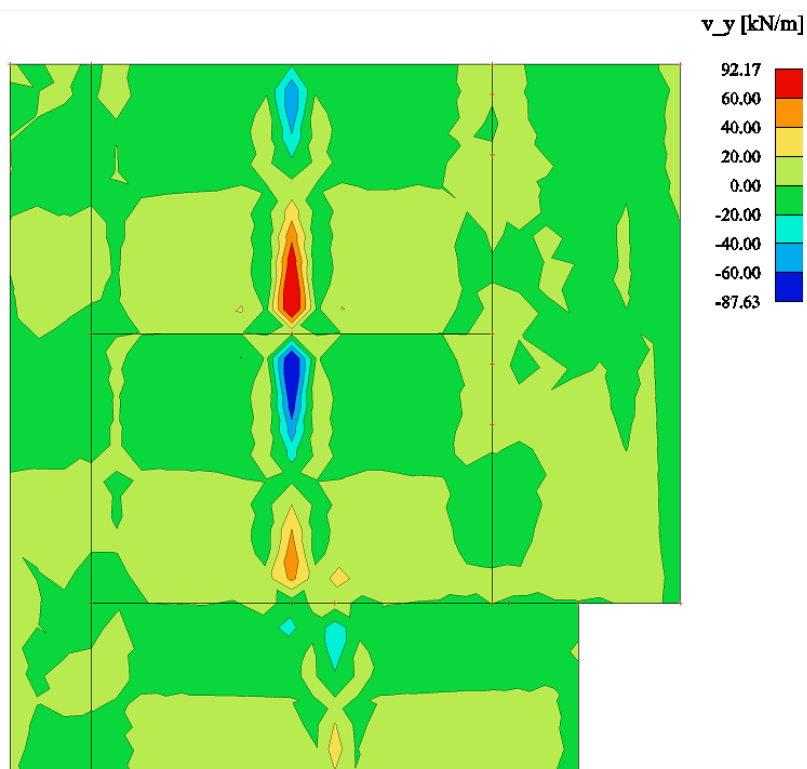


Slika 6.13 Prikaz modela



Slika 6.14 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1

Slika 6.15 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSN-1Slika 6.16 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSN-1

Slika 6.17 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1Slika 6.18 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSN

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 16,67 \cdot 1000 = 90,1 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 17 = 2,55 \text{ cm}^2 / m$$

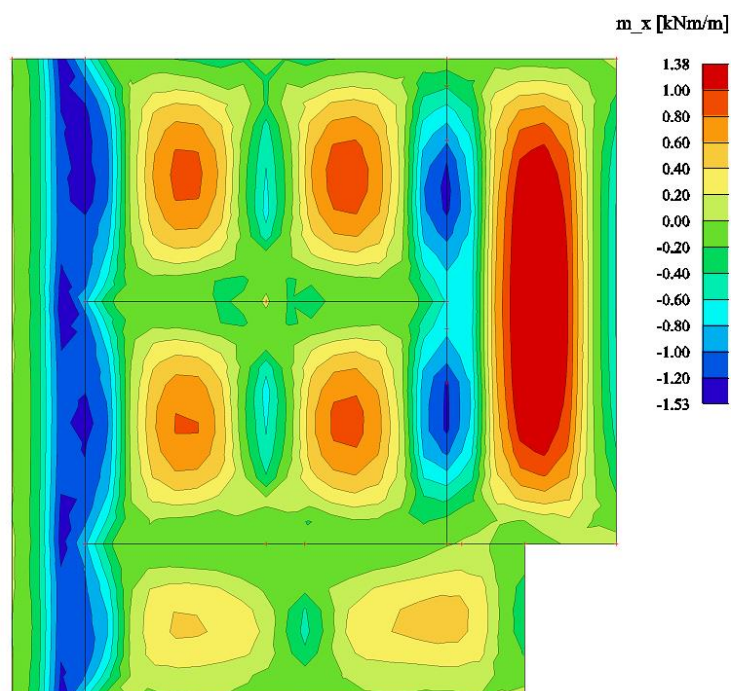
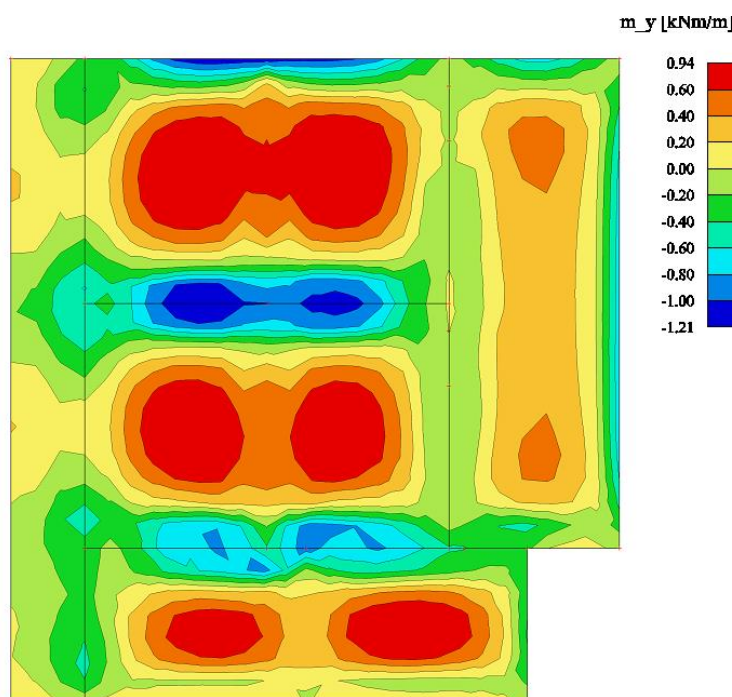
$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{17}{500} = 2,04 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 17 \cdot \frac{16,67}{434,8} = 20,21 \text{ cm}^2 / m$$

Za proračun armature usvaja se  $\zeta \approx 0.9$ , potrebna armatura :

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 17 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.150$$



Slika 6.19 Potrebna površina armature  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/m) u x smjeruSlika 6.20 Potrebna površina armature  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/m) u y smjeru

*Napomena:* Dobivenu armaturu zbog preraspodjele umanjiti za 15% nad ležajem i povećati za 30% u polju.

Potrebna armatura na ležaju u smjeru x:  $A_s = 1.53 \times 0.85 = 1.3 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura na ležaju u smjeru y:  $A_s = 1.21 \times 0.85 = 1.03 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju:  $A_s = 1.38 \times 1.30 = 1.8 \text{ cm}^2 / \text{m}'$



**Odabrana armatura**Ležaj u smjeru x: R-196 ( $1.96 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )Ležaj u smjeru y: R-196 ( $1.96 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )Polje: Q-283 ( $2.83 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{170}} = 2.08 \leq 2.0 \rightarrow k = 2.0$$

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{2.83}{17 \cdot 100} = 0.0017$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0017 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 66.09 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c,min} = \left[ v_{min} + k_1 \cdot v_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 0.15$$

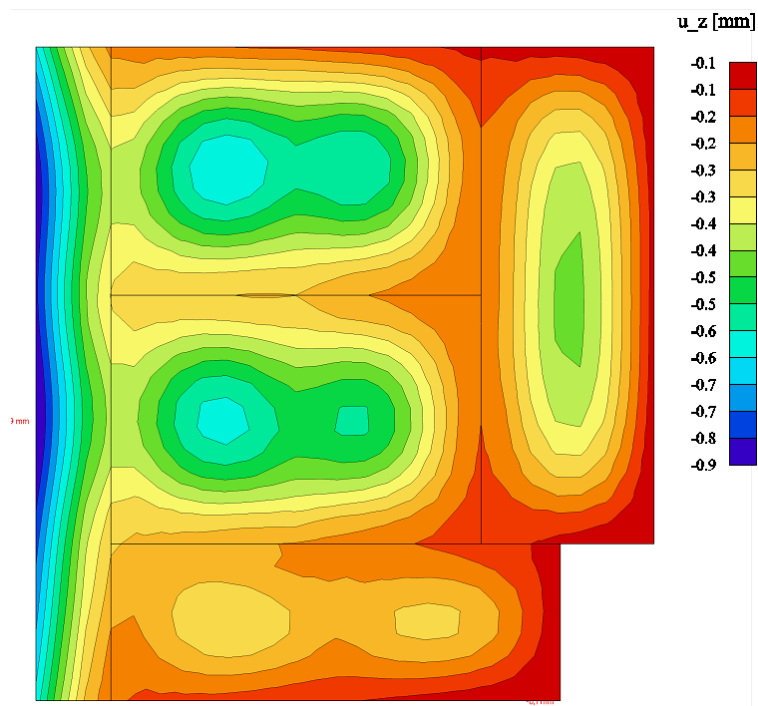
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.495$$

$$v_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$V_{Rd,c,min} = 0.495 \cdot 1000 \cdot 170 = 84.15 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

### 6.2.2. Kontrola progiba



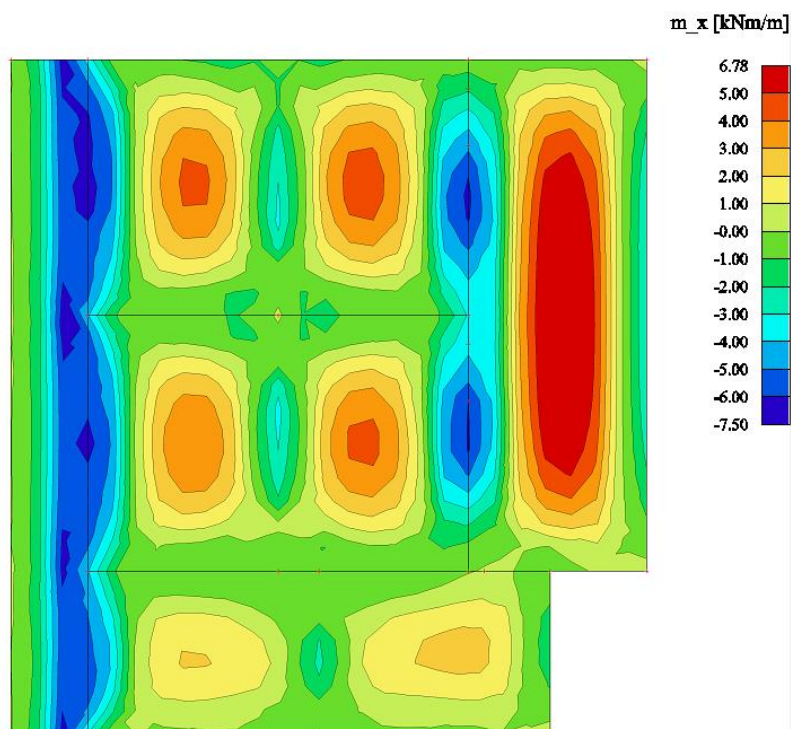
Slika 6.21 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 0.9 mm.

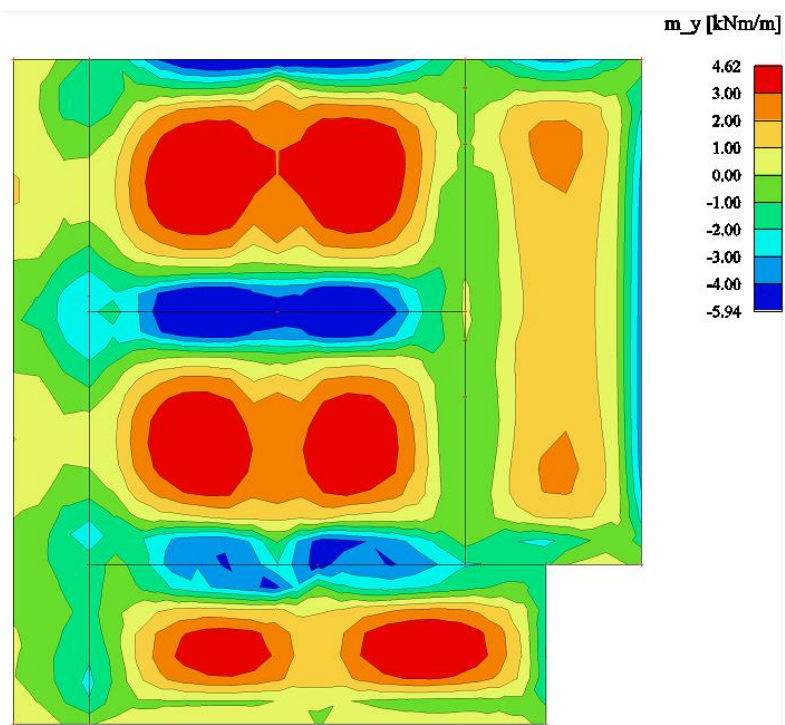
Dozvoljen progib  $L/1000 = 1600/1000 = 1.6$  mm

Krovna ploča zadovoljava na progibe.

### 6.2.3. Kontrola pukotina



Slika 6.23 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.24 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 6.78 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  određuje se prema izrazu :

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_\varepsilon \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 2.83}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.45 \cdot 2.83}} \right) \\ = 2.32 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{678}{\left(17 - \frac{2.67}{3}\right) \cdot 2.83} = 14.87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 148.7 \text{ MPa}$$

Za C 25/30  $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.6 \text{ MPa}$

$A_{s1} = Q - 283 = 2.83 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 31.0 \text{ GPa} = 31\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0 \text{ GPa} = 200\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti armature

$\alpha_\varepsilon = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{31} = 6.45$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.83}{100 \cdot 2.5 \cdot 3} = 0.0038$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{148.7 - 0.4 \frac{2.6}{0.0038} (1 + 6.45 \cdot 0.0038)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{148.7}{200000}$$

$$-0.00066 \geq 0.00044$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00044$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} \text{ [mm]}$$

$\emptyset = 9.0 \text{ mm}$  –

$c = 30 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{9}{0.0038} = 504.6 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 504.6 \cdot 0.00044 = 0.222 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 0.3 \cdot 0.47^2 \cdot 16.67 \cdot 1000 = 206.58 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 30 \cdot 47 = 2.12 \text{ cm}^2$$

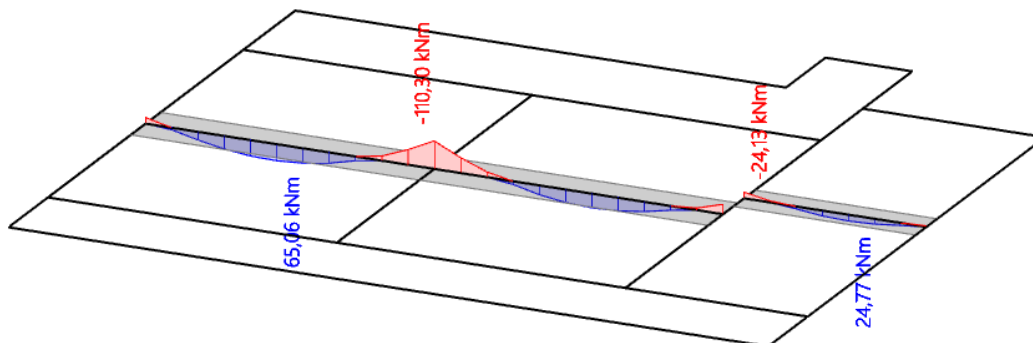
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 120 \cdot 47 = 8.46 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 30 \cdot 47 \cdot \frac{16.67}{434.78} = 16.76 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 120 \cdot 50 \cdot \frac{16.67}{434.78} = 195.54 \text{ cm}^2$$

### 7.1. Međukatna greda

#### 7.1.1. Prikaz rezultata proračuna



Slika 7.1 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN

Napomena: Predraspodjela momenta savijanja u gredama, moment u polju povećati za 30%, a moment nad ležajem smanjiti za 15%.

$$M_{max}^{polje} = 65.06 \cdot 1.30 = 84.58 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 110.3 \cdot 0.85 = 93.76 \text{ kNm}$$

### 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

#### Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 30 + \frac{0.85 \cdot 532}{5} = 120 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = 84.58 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{84.58 \cdot 100}{120 \cdot 47^2 \cdot 16.67} = 0.0019$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.4 \quad \xi = 0.038 \quad \zeta = 0.987$$

$$x = \xi \cdot d = 0.038 \cdot 47 = 1.79 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{84.58 \cdot 100}{0.987 \cdot 47 \cdot 43.48} = 4,2 \text{ cm}^2$$

Odabrano 2Ø18 ( $A_s = 5.1 \text{ cm}^2$ )

#### Ležaj:

$$M_{Ed} = 93.76 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{93.76 \cdot 100}{30 \cdot 47^2 \cdot 16.67} = 0.0085$$

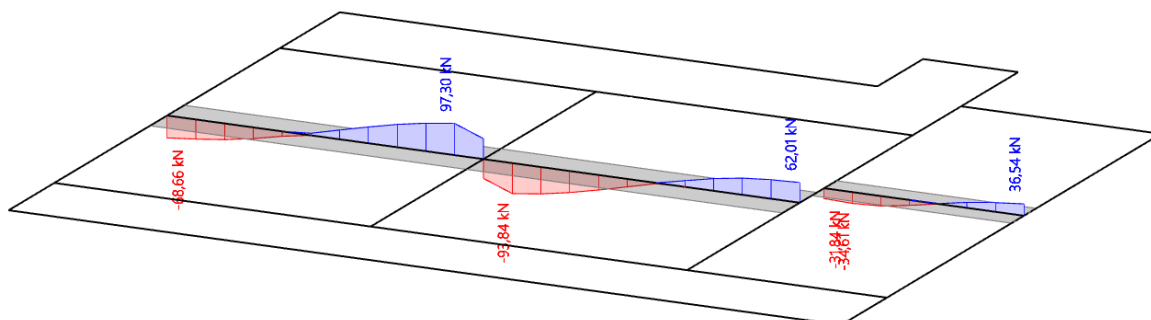
$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.6 \text{ ‰ } \xi = 0.057 \quad \zeta = 0.981$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{93.76 \cdot 100}{0.981 \cdot 47 \cdot 43.48} = 4.7 \text{ cm}^2$$

Odabrano 2Ø18 ( $A_s = 5.1 \text{ cm}^2$ )

## 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

vi

Slika 7.2 Poprečne sile  $V_{Ed,z}$  (kN/m) za GSN

$$V_{Ed} = 97.3 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{470}} = 1.65 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.65$$

$$k = 0.15$$

$$\vartheta_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{5.1}{40 \cdot 50} = 0.0026$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.65 \cdot (100 \cdot 0.0026 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 300 \cdot 470$$

$$V_{Rd,c} = 52.2 \text{ kN/m}$$



$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.65^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.370$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \geq 0.370 \cdot 300 \cdot 470 = 52.1 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 97.3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{25}{250} \right] = 0.54$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.54 \cdot 300 \cdot 470 \cdot 16.67 = 634.63 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{93.84}{634.63} \approx 0.15 \rightarrow V_{Ed} = 0.2 V_{Rd,max}$$

$$s_{max} = \min\{0.75 \cdot d ; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min\{0.75 \cdot 47 = 35.25 ; 30.0\} \rightarrow s_{max} = 30.0 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0.0009$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0009 \cdot 30.00 \cdot 30.00}{2} = 0.41 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone:  $\emptyset 10/30$  ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; B 500B \rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 47) \cdot 43.48 \cdot 2 = 96.69 \text{ kN}$$

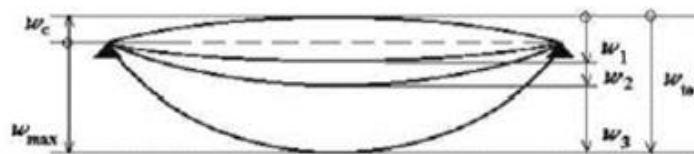
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 47)}{97.3} = 29.8 \text{ cm}$$

Postaviti spone  $\emptyset 10/30$  ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

### 7.1.4. Kontrola progiba



Slika 7.3 Prikaz progiba grede

$w_c$  – nadvišenje neopterećenog konstruktivnog elementa

$w_1$  – početni progib od stalnog opterećenja

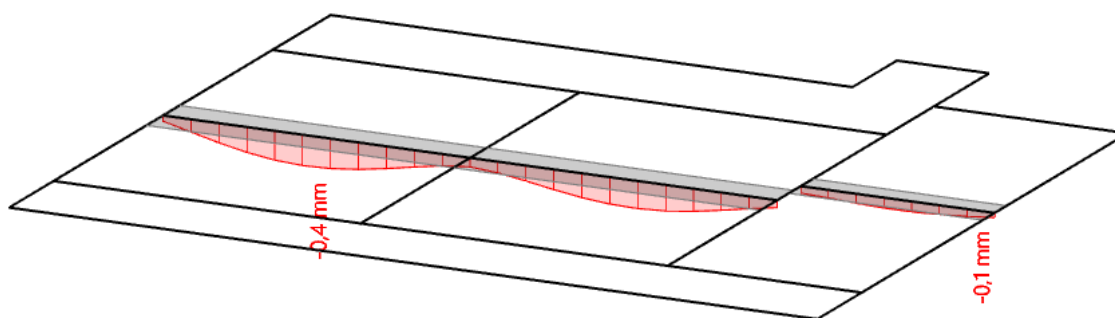
$w_2$  – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

$w_3$  – progib od promjenjivog opterećenja

$w_{max}$  – ukupni progib

Konstrukcija	$w_{max}$	$w_2 + w_3$
Krovišta	$L/200$	$L/250$
Prohodna krovišta	$L/250$	$L/300$
Stropovi	$L/250$	$L/300$
Stropovi/krovovi sa žbukom ili drugim krhkim završnim slojevima ili nesavitljivim pregradama	$L/300$	$L/350$
Stropovi koje podupiru stupovi (osim ako je progib uzet u sklopu proračuna za granično stanje nosivosti)	$L/400$	$L/500$
Kada $w_{max}$ može narušiti izgled zgrade	$L/250$	-

Tablica 7.1 Ograničenje vertikalnih progiba za karakterističnu kombinaciju



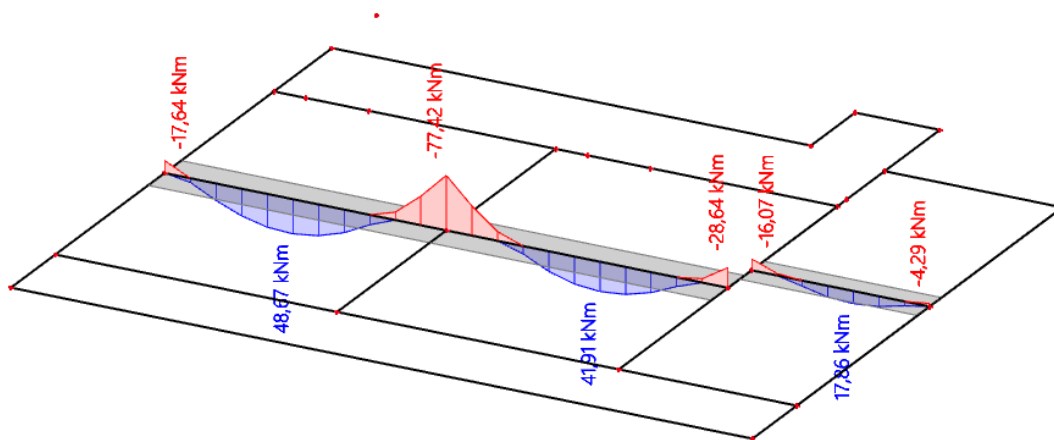
Slika 7.4 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 0.4 mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 5320/1000 = 5.32$  mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.

## 7.1.5. Kontrola pukotina

Slika 7.5 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU

$$M_{\max} = 77.42 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  određuje se prema izrazu :

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 10.18}{30} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 30 \cdot 47}{6.45 \cdot 10.18}} \right) = 12.32 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{7742}{\left(47 - \frac{12.32}{3}\right) \cdot 10.18} = 17.73 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1.77 \text{ MPa}$$

Za C 25/30  $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.2 \text{ MPa}$

$A_{s1} = 4\emptyset 18$  ( $A_s = 10.18 \text{ cm}^2$ )

$E_{cm} = 31.0 \text{ GPa} = 31\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0 \text{ GPa} = 200\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti armature

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{31} = 6.45$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{10.18}{30 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.045$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{1.77 - 0.4 \frac{2.2}{0.045} (1 + 10.18 \cdot 0.045)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{1.77}{200000}$$

$$-0.00013 \geq 0.000005$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000005$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [mm]$$

$$\emptyset = 18.0 \text{ mm}$$

$$c = 30 \text{ mm} - \text{Zaštitni sloj uzdužne armature}$$

$$k_1 = 0.8 - \text{Rebrasta armatura}$$

$$k_2 = 0.5 - \text{Savijanje}$$

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{18}{0.045} = 170 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 170 \cdot 0.000005 = 0.0008 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 8. PRORAČUN ZIDOVA

### 8.1. Opći uvjeti

- Minimalna debljina:  $b_{wo} \geq \max \{0.15 \text{ m}, h_s/20\}$ , ( $h_s \Rightarrow$ svijetla katna visina)  
 $h_s = 2.8 \text{ m}$   
 $b_w = 0.2 \text{ m} > 0.15 \text{ m}$
- Ograničenje naprezanja u betonu (GSU), radi drobljenja samog betona je:

$$\sigma_2 \leq 0.45 \cdot f_{ck}, (\sigma_2 \Rightarrow \text{tlačno naprezanje})$$

$$2.1 \leq 0.45 \cdot 25$$

$$2.1 \leq 11.25$$

- Potrebna armatura u odnosu na uzdužne sile u zidu (GSN):

U x smjeru:

$$A_{sx} = n_x / f_{yd} = 31.23 / 43.48 = 0.72 \text{ cm}^2/\text{m}, (n_x \Rightarrow \text{uzdužna sila u smjeru x})$$

U y smjeru:

$$A_{sy} = n_y / f_{yd} = 64.42 / 43.48 = 1.48 \text{ cm}^2/\text{m}, (n_y \Rightarrow \text{uzdužna sila u smjeru y})$$

- Minimalno armiranje:

vertikalno:  $\rho_{\min} = 0.2\%$

$$A_{sv,\min} \geq 0.002 A_c$$

$$A_{sv,\min} = 4 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (polovica sa svake strane zide)}$$

horizontalno:  $\rho_{\min} = 0.1\%$

$$A_{sh,\min} \geq 0.001 A_c$$

$$A_{sh,\min} = 2 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (polovica sa svake strane zide)}$$

spone: min  $4\phi 6/\text{m}^2$

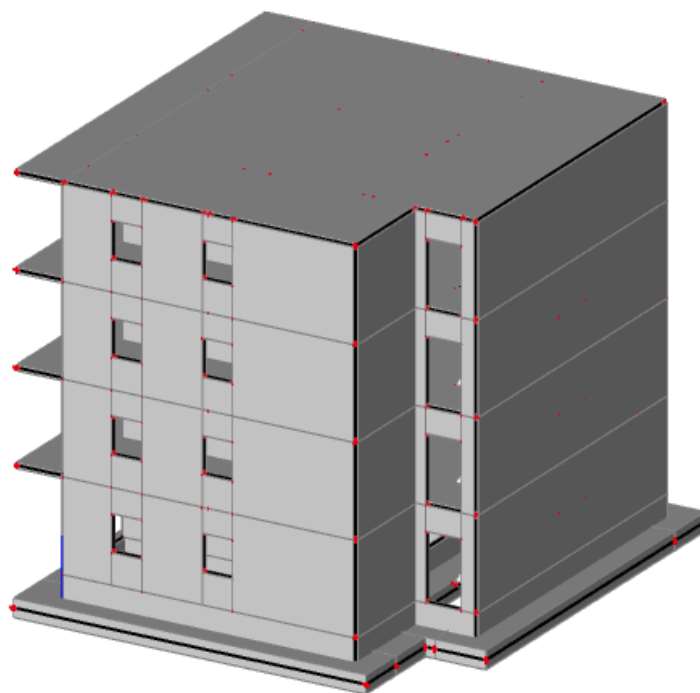
$A_{sv,\min} \Rightarrow$  minimalna vertikalna armatura

$A_{sh,\min} \Rightarrow$  minimalna horizontalna armatura

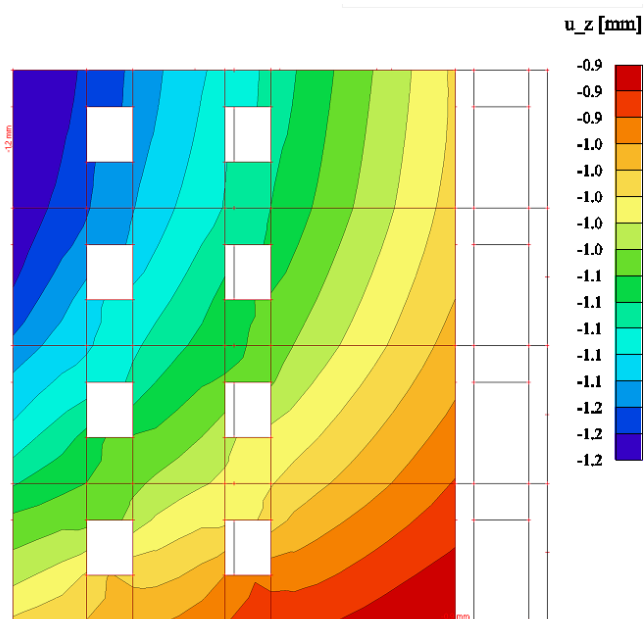
$$A_c = 2.8 \cdot 0.2 \text{ m}^2 \Rightarrow \text{površina poprečnog presjeka}$$

Odabrana je minimalna horizontalna i vertikalna armatura, te mreža Q226 koja zadovoljava sve uvjete. Važno je napomenuti da kod viših katova ćemo imati potrebu za slabijom armaturom radi manjeg naprezanja i unutarnjih sila.

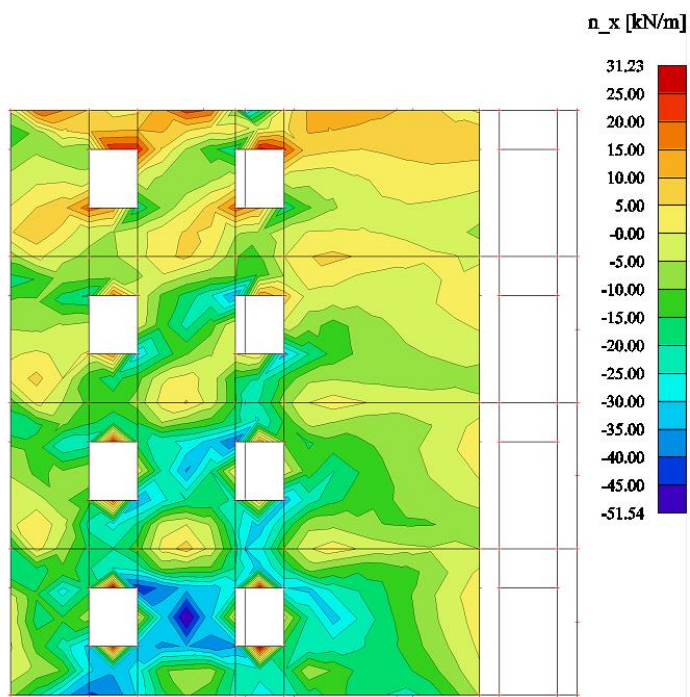
## 8.2. Prikaz modela i dijagrama



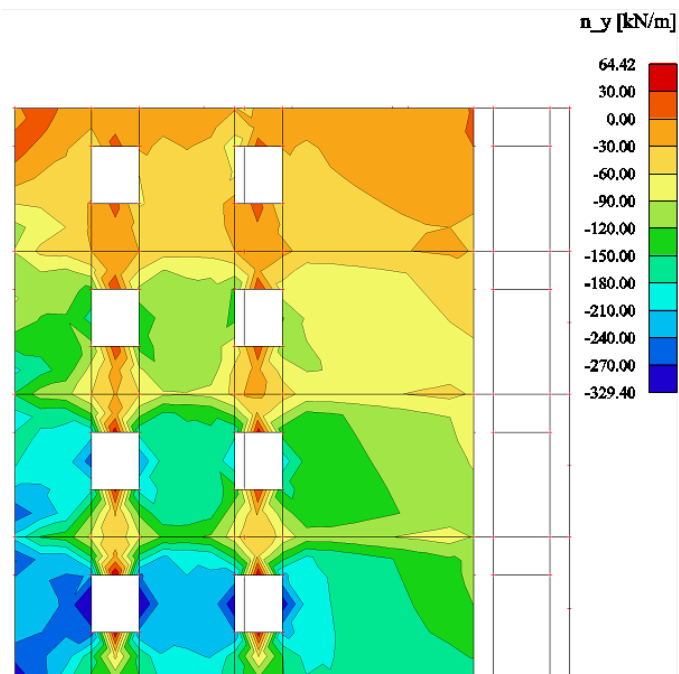
Slika 8.2.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun



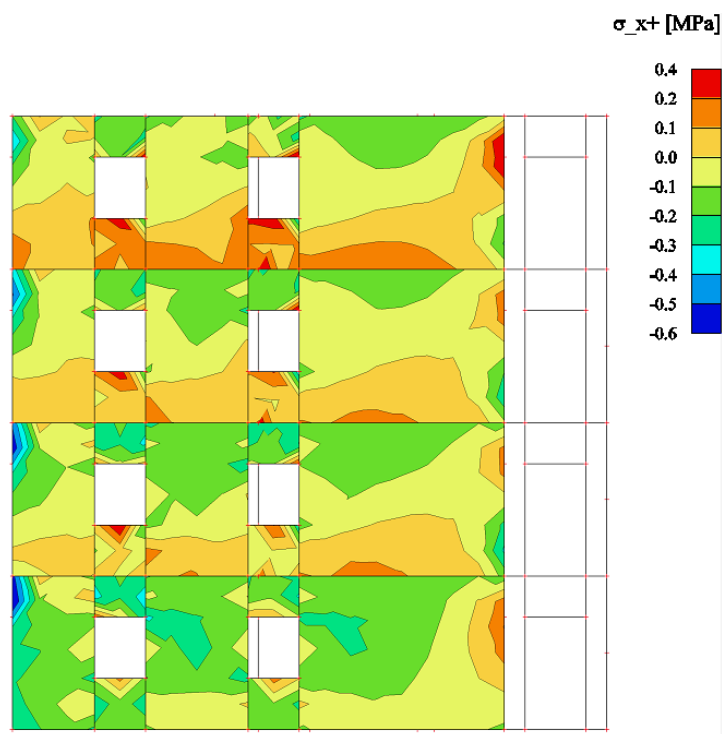
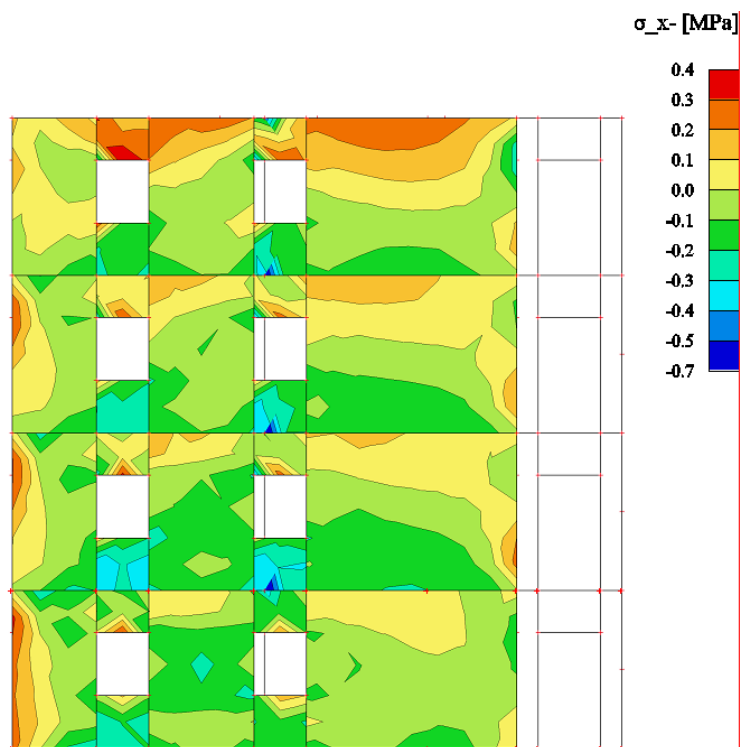
Slika 8.2.2 Pomaci (mm) za kombinaciju GSU



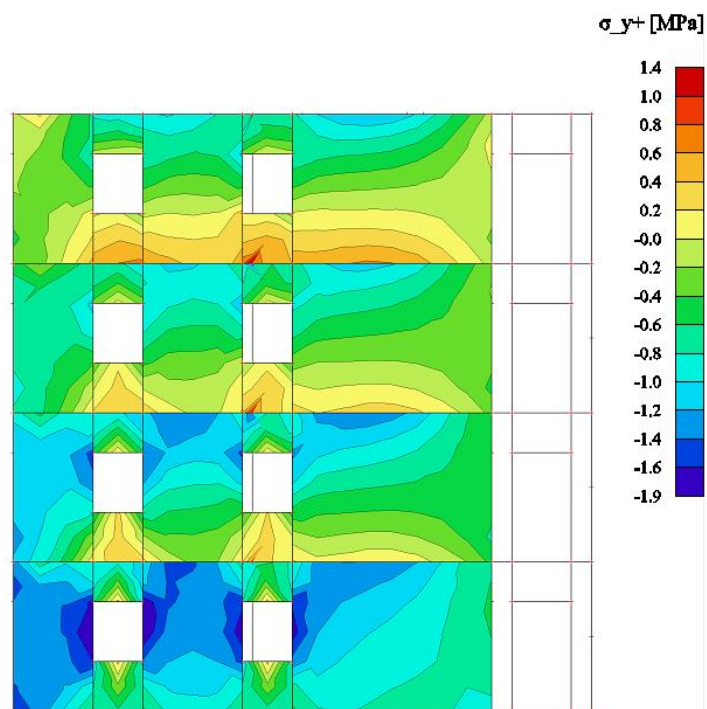
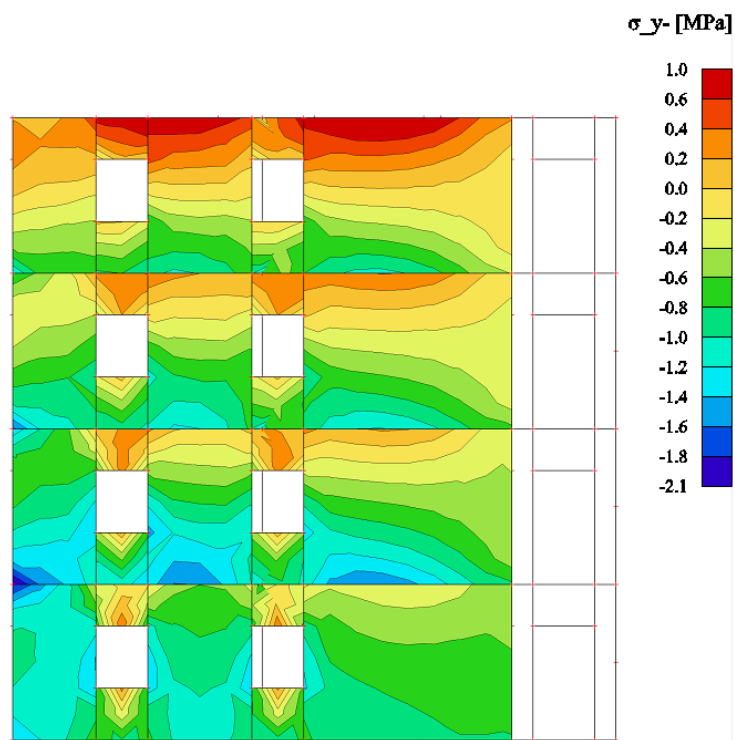
Slika 8.2.3 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m], u smjeru X, u zidovima za kombinaciju GSN

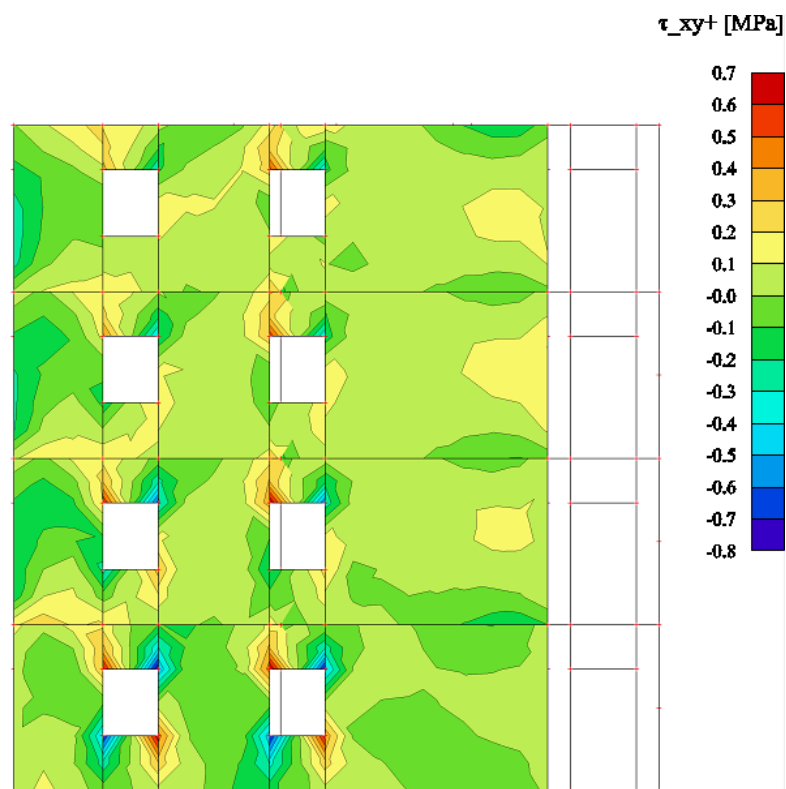
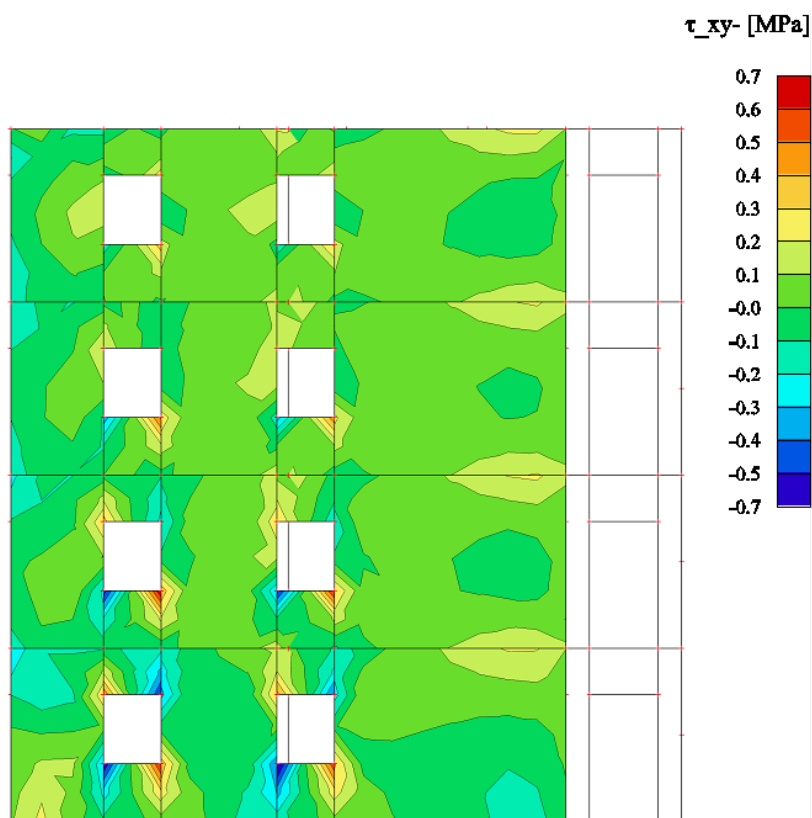


Slika 8.2.4 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m], u smjeru Y, u zidovima za kombinaciju GSN

Slika 8.2.5 Naprezanja u zidu  $\sigma_{x+}$  za kombinaciju GSNSlika 8.2.6 Naprezanja u zidu  $\sigma_{x-}$  za kombinaciju GSN



Slika 8.2.7 Naprezanja u zidu  $\sigma_{y+}$  za kombinaciju GSNSlika 8.2.8 Naprezanja u zidu  $\sigma_{y-}$  za kombinaciju GSN

Slika 8.2.9 Posmična naprezanja u zidu  $\tau_{xy+}$  za kombinaciju GSNSlika 8.2.10 Posmična naprezanja u zidu  $\tau_{xy-}$  za kombinaciju GSN

## 9. PRORAČUN TEMELJA

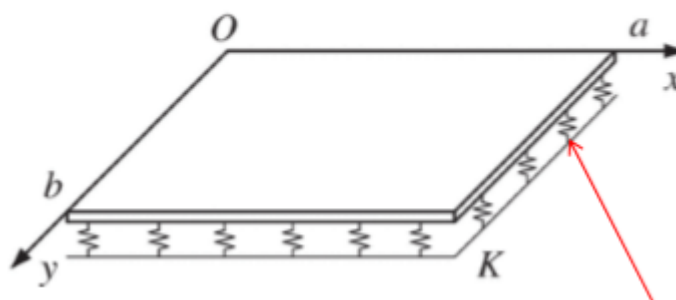
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja.

Osnovni problem modeliranja savitljivih konstrukcija je modeliranje međudjelovanja konstrukcija – tlo.

Rješenje savitljivih temeljnih konstrukcija analitičkom ( zatvorenom ) obliku u većini složenijih problema se rješava nekom od numeričkih metoda.

U rješavanju problema tlo se modelira na dva osnovna pristupa :

- Analiza u neprekidnoj sredini – proračun se vrši nekom od numeričkih metoda u kojoj se tlo modelira kao poluprostor. Potrebni podatci o tlu E i  $\nu$  za linearno elastičan model.
- Međudjelovanje konstrukcija – tlo se modelira Winklerovim modelom ( opruge ). Koristi se linearan model s konstantnom krutošću ili model s promjenjivom krutošću. Ovaj pristup je približan jer se zanemaruje međusobni utjecaj pomaka različitih točaka u tlu.



Slika 10.1 Međudjelovanje konstrukcija – tlo modelirano Winkler- ovim modelom

U rješavanju problema koristio se Winklerovom model temeljenja.

Winklerov prostor samo približno opisuje deformacijske osobine temeljnog tla. Stišljivo tlo zamjenjujemo sustavom elastičnih pera, tako da je pomak točke na površini Winklerovog prostora linearno proporcionalnom reaktivnom pritisku:

$$W(x) = \frac{q(x)}{K}$$

K – koeficijent reakcije tla ( $\text{kN/m}^2/\text{m}'$ )

Koeficijent reakcije (odgovora) podloge – Winklerov koeficijent

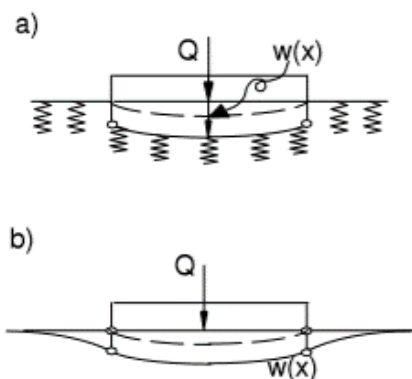
Koeficijent reakcije podloge K je odnos između dodirnog naprezanja q kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja w, koje to isto naprezanje izazove u tlu.

$$K = \frac{q}{w} \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$$

Vrijednost koeficijenta  $K$  ovisi o elastičnim svojstvima podloge i o veličini opterećene površine.

$$EI \cdot \frac{d^4 w}{dx^4} + K \cdot w(x) = p(x) + g$$

Uz korištenje rubnih uvjeta ovu diferencijalnu jednadžbu je moguće riješiti u zatvorenom obliku.



Slika 10.2 Winklerov model (a) i stvarni nosač (b)

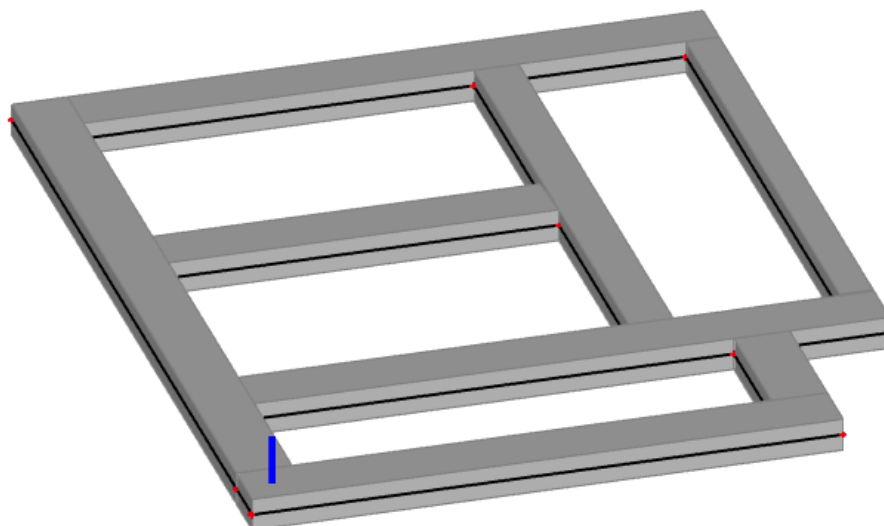
Nedostatci ovog modela :

- Opterećenje skraćuje samo ona pera na kojima grede izravno leži ( zanemaruje se međusobni utjecaj )
- Na tlo se može prenijeti kao pritisak tako i zatezanje
- Određivanje koeficijenata reakcije tla ( $K$ ) koji ovisi o intenzitetu opterećenja, obliku i veličini opterećene plohe , krutosti grede, svojstvima materijala grede, svojstvima temeljnog tla ispod grede

## 9.1. Proračun trakastih temelja

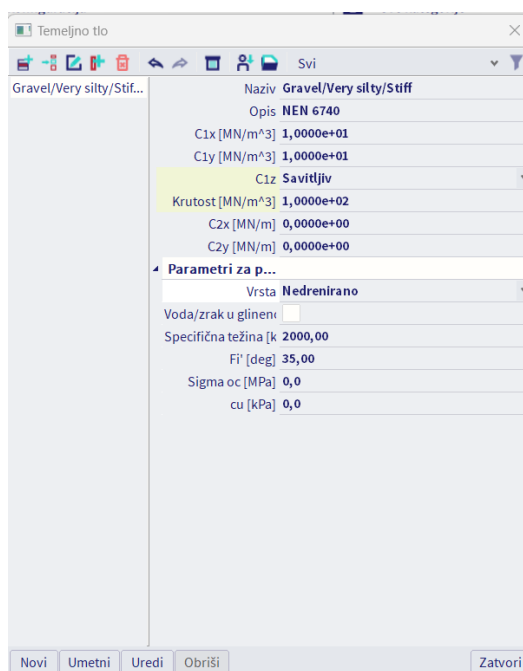
### 9.1.1. Model trakastih temelja

Temelji su modelirani kao plošni elementi, na kojima su postavljeni linijski ležajevi.



Slika 10.3 Model trakastih temelja

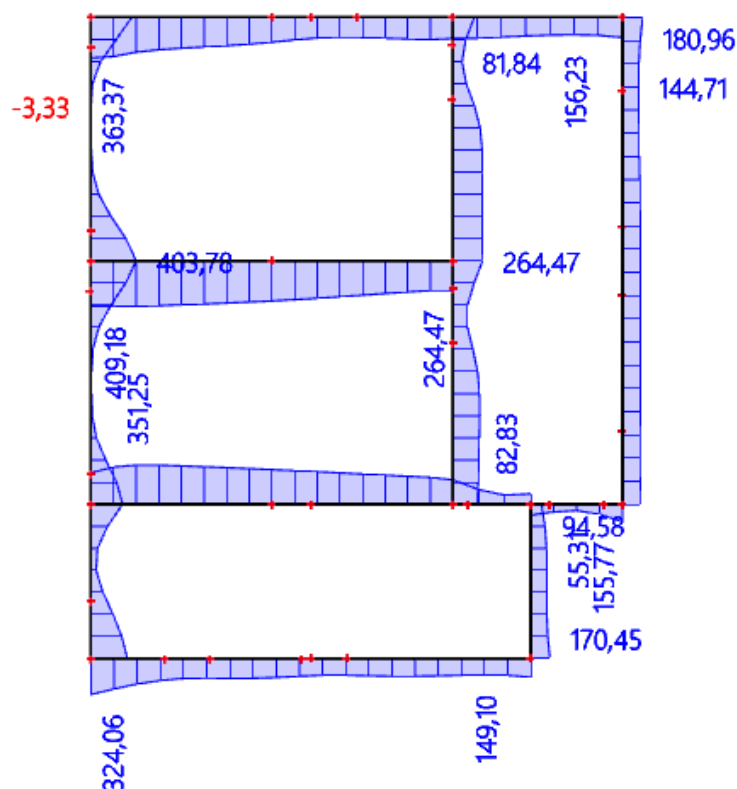
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla. Ostali pomaci i zaokreti su spriječeni.



Slika 10.4 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

### 9.1.2. Proračun širine temeljne stope

Širine temeljnih stopa odabrali smo na način da nam zadovolje naprezanja koja nam tlo može prenijeti. Nosivost tla dobili smo iz geomehaničkog elaborata. Na osnovu geotehničkih istražnih radova dobiveni su rezultati za osnovna opterećenja od 310 kPa.



Slika 10.5 Linijske reakcije na mjestima oslanjanja zidova na temeljne trake (Kn/m) za kombinaciju GSN

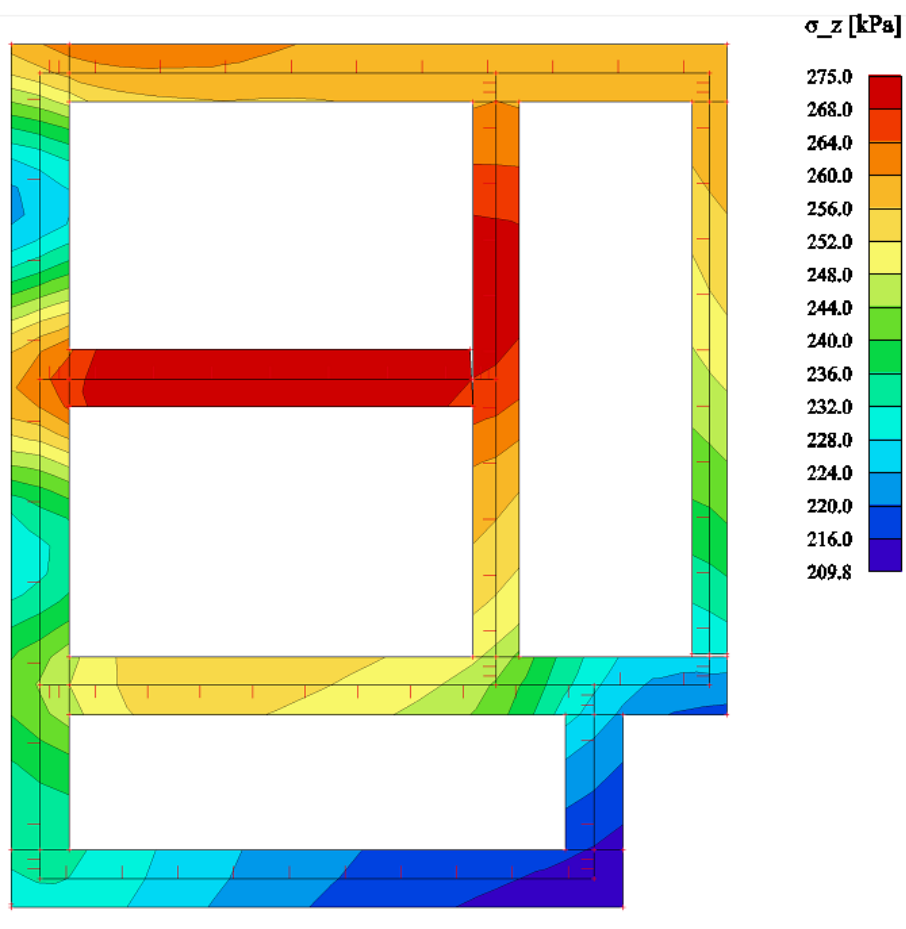
Odabrana je maksimalna prosječna linijska reakcija u iznosu od 334 kN/m. Vrijednost dopuštenog kontaktnog naprezanja je 310 kN/m<sup>2</sup>.

Širina temeljne trake određena je na sljedeći način:

$$b = 334/310 = 1.07$$

Usvoje na širina temeljne trake je 1,0 m; b/h=100/60 cm.

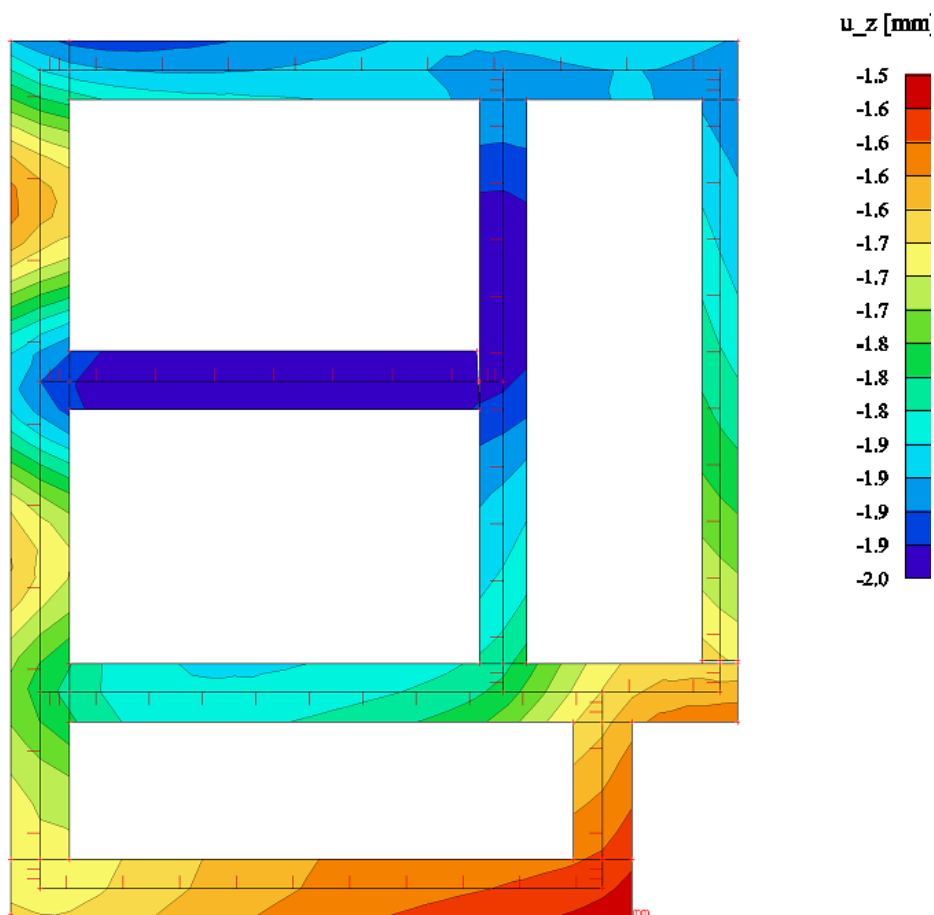
Usvojene su još dvije širine temelja radi razlike u opterećenju tj. Bolje iskoristivosti temelja (može se vidjeti u tlocrtu temelja).



Slika 10.6 Naprezanja u temeljima za kombinaciju GSN

### 9.1.3. Slijeganje građevine

Iz tablice je vidljivo da su naprezanja ispod temeljnih traka približno jednaka odnosno postignuto je ravnomjerno naprezanje na kontaktu temelja i nosivog tla. Ravnomjernim naprezanjem dobiva se ravnomjerno slijeganje temeljnog tla, na taj način izbjegava se pojava diferencijalnog slijeganja.



Slika 10.7 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSN

Na slici vidimo da se građevina ravnomjerno slegnula odnosno izbjegli smo pojavu diferencijalnog slijeganja.



## 10. GRAFIČKI PRILOZI

Redom su priloženi:

- Tlocrt temelja M 1:75
- Tlocrt prizemlja M 1:75
- Tlocrt karakteristične etaže M 1:75
- Presjek 1-1 M 1:75
- Presjek 2-2 M 1:75

## 11.LITERATURA

- Ante Mihanović, Boris Trogrlić, **Građevna statika I**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- Ante Mihanović, Boris Trogrlić, **Građevna statika II**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- Ivan Tomičić, **Betonske konstrukcije**, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Zagreb 1996.
- Jure Radnić, Alen Harapin, **Osnove betonskih konstrukcija**, interna skripta, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2015.
- HRN EN 1992-1-1:2013; Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010)