

# Statički proračun parking garaže

---

Vrdoljak, Stipe

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:123:530514>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*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**

**Stipe Vrdoljak**

**Split, 2021**

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

**Statički proračun javne garaže**

**Završni rad**

**Split, 2021**

## Statički proračun javne garaže

### Sažetak:

U radu je prikazan statički proračun javne garaže, koji se sastoji od međukatne i krovne ploče, oslonjene na stupove i nosive zidove. Nosiva konstrukcija građevine izvedena je od armiranog betona.

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

### Ključne riječi:

Public parking garage, Statički proračun

## Static calculation of

### Summary:

The work presents the static calculation of a public garage that consists of an mezzanine and roof slab leaning on pilons and carrier walls. Carrier construction is made of reinforced concrete. The project contains technical description, calculation of carrier construction elements and characteristic construction drawings.

### Keywords:

Public parking garage, Static calculation

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	<b>PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA</b>
KANDIDAT:	<b>Stipe Vrdoljak</b>
BROJ STUDENTSKE ISKAZNICE:	
KATEDRA:	<b>Katedra za teoriju konstrukcija</b>
PREDMET:	<b>Građevna statika</b>

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Statički proračun javne garaže

Opis zadatka: Na temelju zadane tlocrtne podloge, potrebno je izraditi 3-D proračunski model građevine u programu „*Scia Engineer*“. Na temelju dobivenih rezultata proračunavaju se određeni nosivi elementi objekta.

Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- proračun
- građevne nacрте

U Splitu, srpanj 2021

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Boris Trogrlić, dipl.ing. građ

## SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS.....	7
1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine.....	7
2. PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE.....	8
3. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	10
3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....	10
3.2. Stalno opterećenje ( $G_1$ ).....	10
3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije.....	10
3.2.2. Krovna ploča.....	11
3.2.3. Međukatne ploče.....	12
3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ ).....	13
4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA.....	14
4.1. Krovna ploča.....	14
4.2. Međukatna ploča.....	15
5. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA.....	16
6. PRORAČUN PLOČA.....	16
6.1. Proračun krovne ploče.....	16
6.1.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....	17
6.1.2. Kontrola progiba.....	22
6.1.3. Kontrola pukotina.....	23
6.2. Međukatna ploča.....	25
6.2.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče.....	26
6.2.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče.....	30
6.2.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....	30
6.2.4. Kontrola pukotina.....	31
7. PRORAČUN ZIDOVA.....	34
7.1. Opći uvjeti.....	34
7.2. Prikaz modela i dijagrama.....	35
8. PRORAČUN STUPOVA.....	37
9. PRORAČUN TEMELJA.....	39
9.1. Proračun trakastih temelja.....	41
9.1.1. Model trakastih temelja.....	41
9.1.2. Slijevanje građevine.....	43

---

10. GRAFIČKI PRILOZI .....	44
11. LITERATURA .....	46

## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine

Zadatak ovog završnog rada je proračun nosive konstrukcije javne garaže.

Ovaj objekt se sastoji od dvije etaže, pravokutnog oblika dimenzija 72.90 x 35.80 m. Ukupna površina objekta, odnosno prizemlja i dvije etaže, iznosi 7829,5 m<sup>2</sup>, a ukupna visina 8m, mjereno od dna do krovne ploče.

Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) stupova, zidova, međukatne i krovne ploče. Ploče su izrađene od armiranog betona, debljine 30 cm.

Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su stupovi dimenzija 50 x 30 cm, te zidovi debljine 20cm.

Temeljenje je predviđeno na trakastim temeljima od armiranog betona ispod nosivih zidova širine 120 cm te visine 50 cm, a temeljenje ispod stupova predviđeno je na temeljima samcima širine i duljine 200 cm te visine 50 cm.

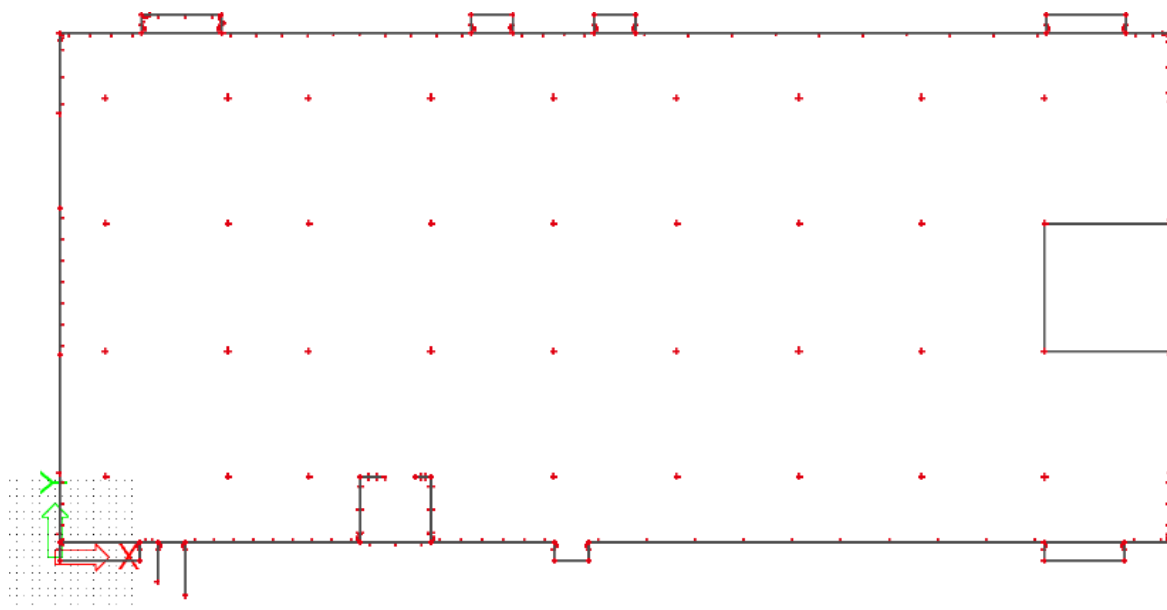
Za sve betonske radove predviđen je beton C 25/30 (MB-30), te armatura B 500.

Za temelje je upotrebljena klasa betona C 25/30 (MB-30).

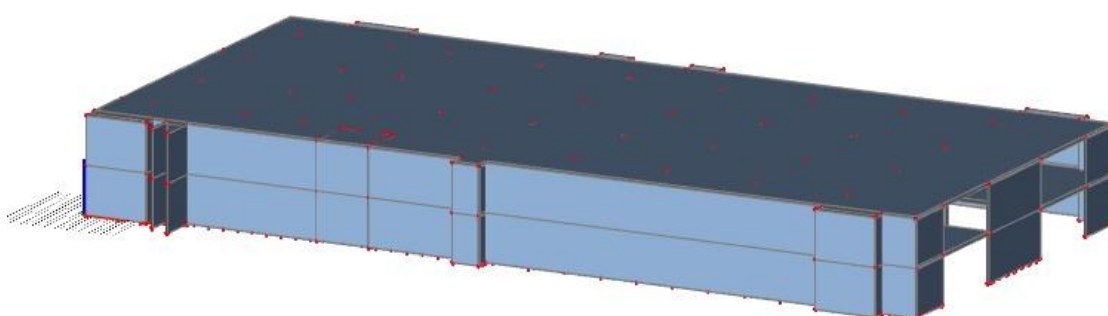
Svi računalni proračuni su izvršeni u programu „Scia Engineer“. Svi ostali podaci i detalji vezani za objekt dani su kroz projektna rješenja.



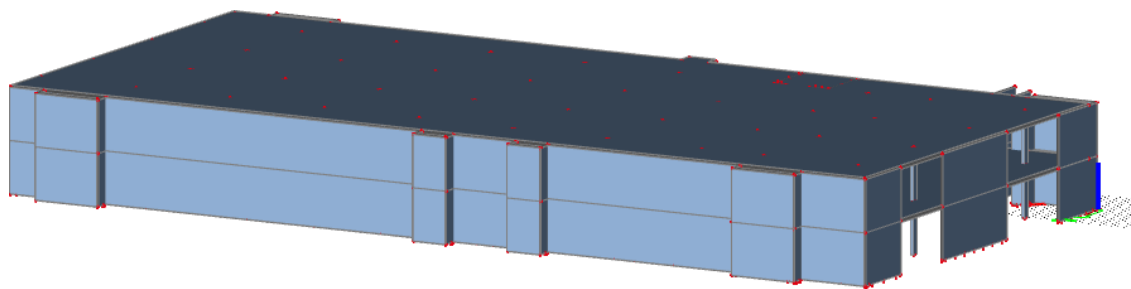
## 2. PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



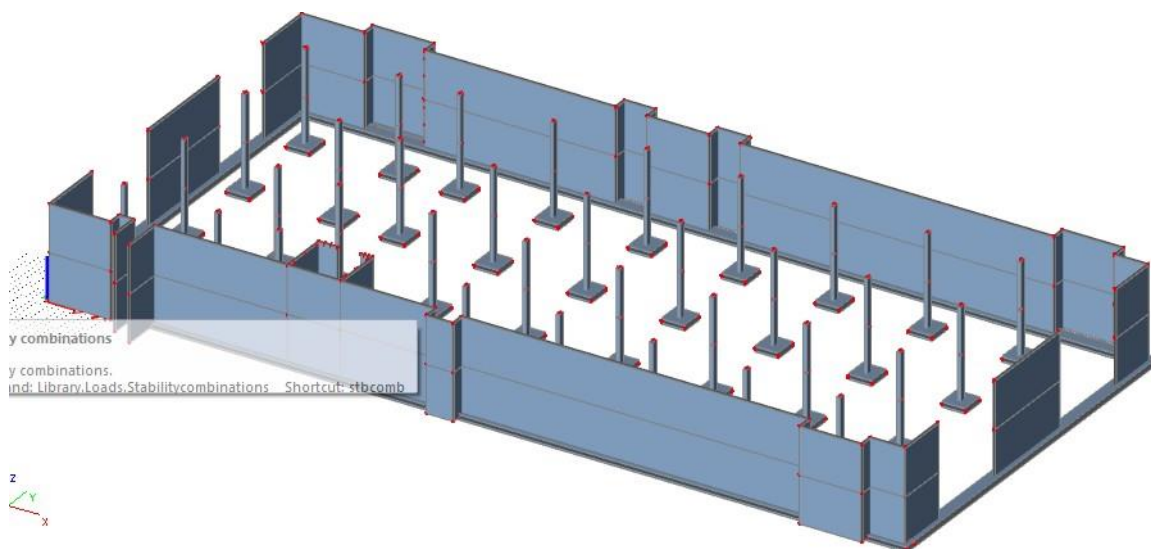
Slika 2.1 Proračunski model objekta – tlocrt



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled 3

### 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 (uračunata u SCIA-u)
<b>G1</b>	Dodatno stalno djelovanje – ostalo stalno djelovanje; pokrov, obloga, stalna oprema itd.
<b>Qi</b>	Promjenjivo – uporabno djelovanje: uporabno opterećenje, pokretna oprema.
<b>W</b>	Vjetar
<b>S</b>	Snijeg
<b>P</b>	Potres

Tablica 3.1 Podaci o osnovnim djelovanjima

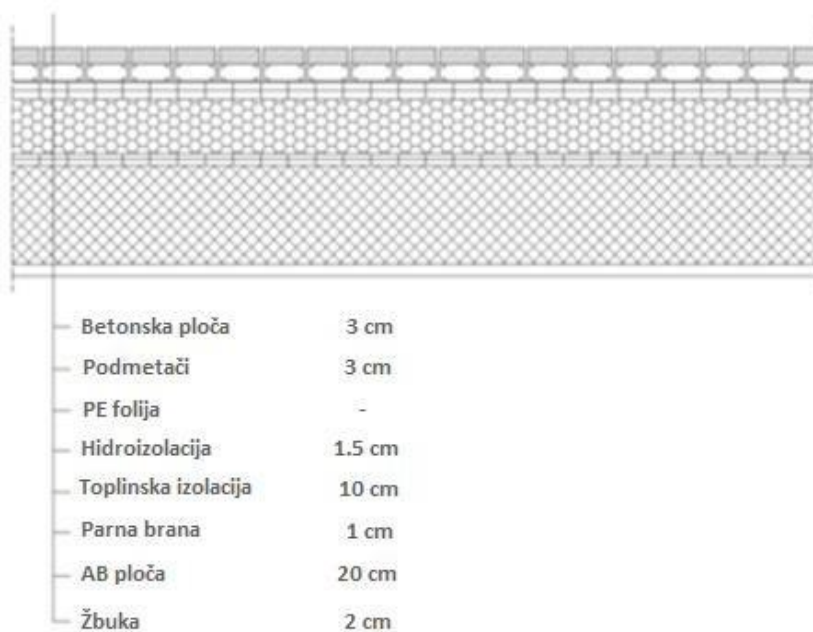
#### 3.2. Stalno opterećenje ( $G_1$ )

##### 3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije

Stalno opterećenje je uključeno u proračun prema sljedećem:

- Specifična težina armiranog betona koja iznosi  $g=25.0 \text{ kN/m}^3$ .
- Stalno opterećenje od vlastite težine elemenata armirano betonske konstrukcije.

### 3.2.2. Krovna ploča

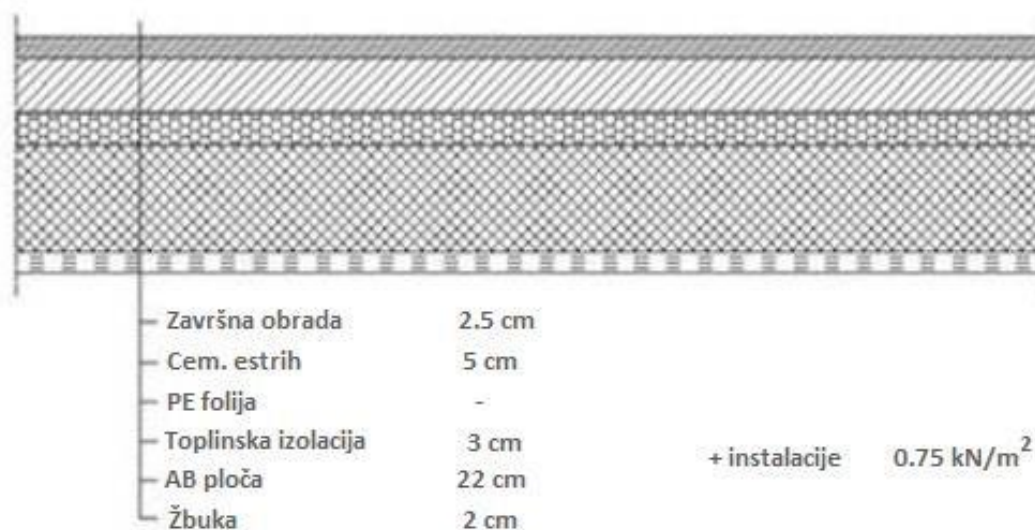


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Betonska ploča	0,03	25,00	0,75
Podmetači	0,03	-	-
PE folija	-	-	-
Hidroizolacija	0,015	5,90	0,09
AB ploča	0,30	Uključena u SCIA-u	
Žbuka	0,02	19,00	0,38

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 1,10$  (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> )
Završna obrada	0,025	9,60	0,24
Cementni estrih	0,05	22,00	1,10
PE folija	-	-	-
Toplinska izolacija	0,03	2,00	0,015
AB ploča	0,3	Uključeno u SCIA-u	
Žbuka	0,02	0,02	0,38
Instalacije	-	-	0,75

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,50$  (kN/m<sup>2</sup>)

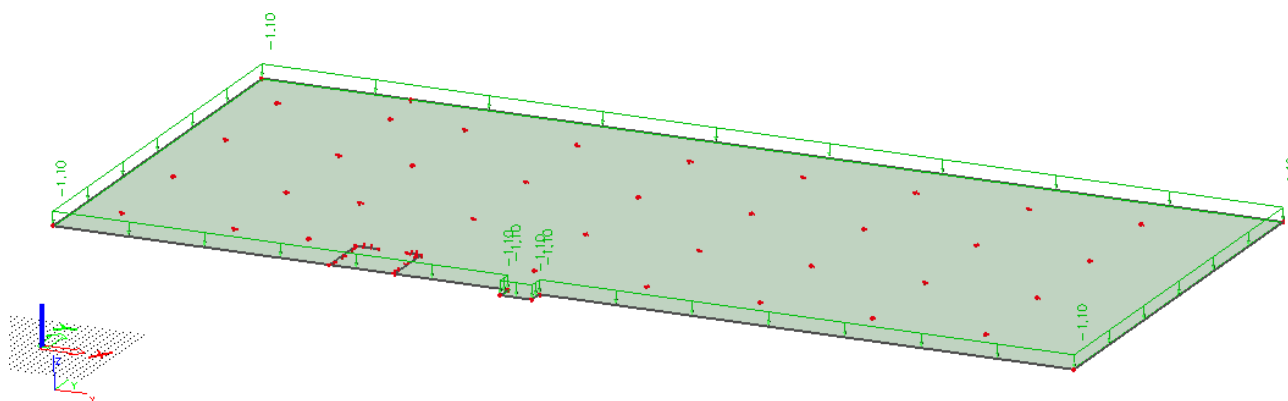
### 3.3. Promjenjivo opterećenje (Qi)

Minimalno korisno opterećenje za garaže i prostor za promet vozila definirano je u normi HRN EN1991-1-1. 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 HRN EN1991-1-1 korištena su sljedeća opterećenja:

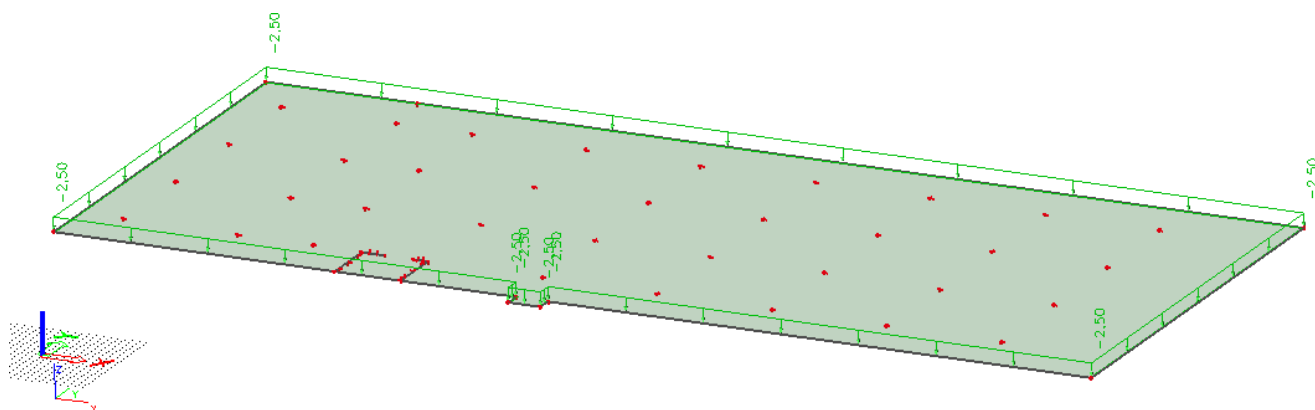
- Nagib krova  $\leq 20^\circ$ :  $q = 0,6 \text{ kN/m}^2$
- Kategorija vozila F:  $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Stubišta:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

## 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 4.1. Krovna ploča

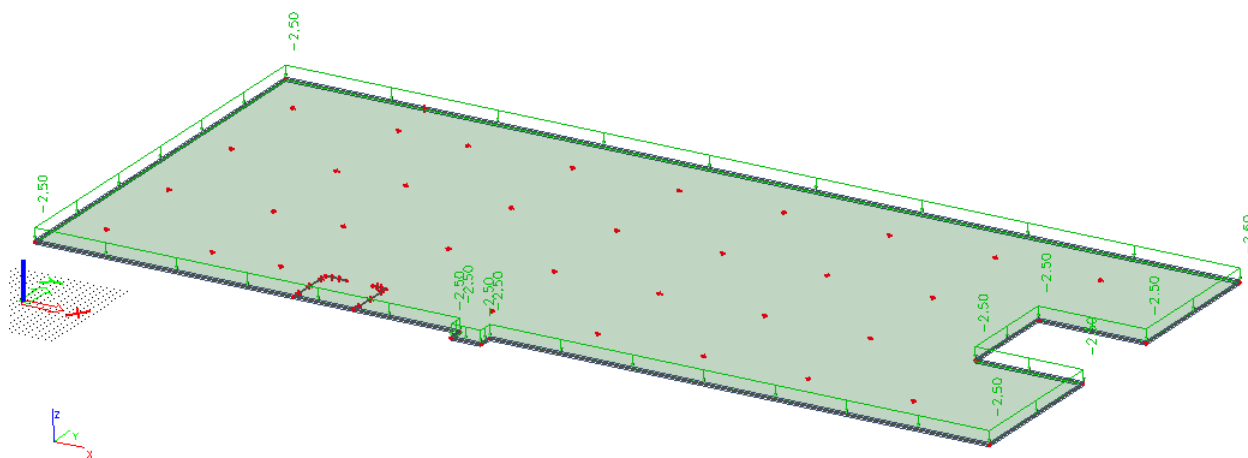


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

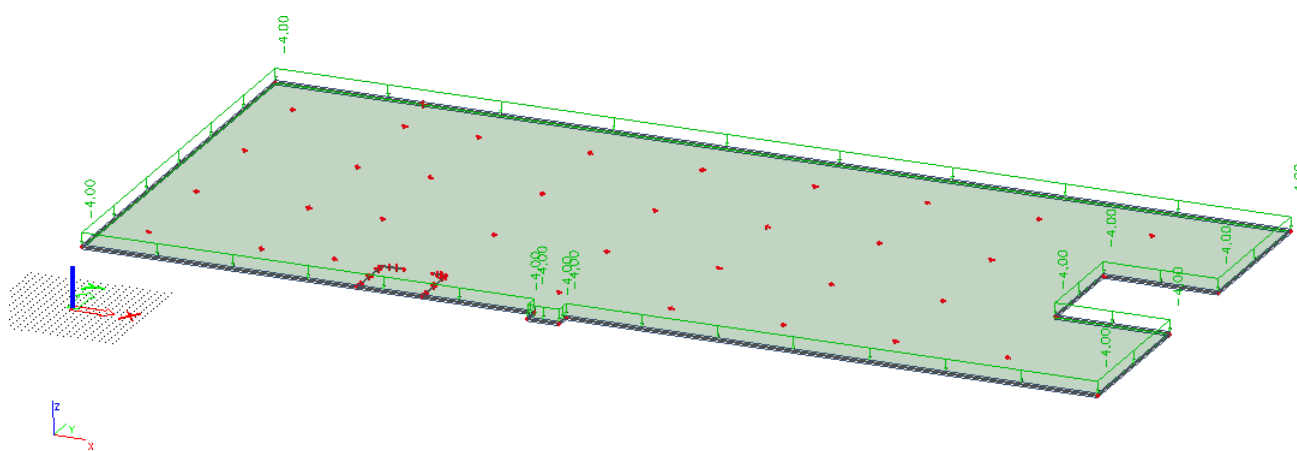


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

## 4.2. Međukatna ploča



Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



Slika 4.2.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



## 5. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

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

- **Granično stanje nosivosti**

**GSN-11.35\*G + 1.5\*Q**

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

*\*vlastita težina je uračunata u programu SCIA Engineer*

Q – uporabno djelovanje

- **Granično stanje uporabljivosti**

**GSU-1 (česta kombinacija) 1.0\*G +  $\gamma_{1i}$ \*Q**

$$1.0 * G + 0.6 * Q$$

$\gamma_{1i} = 0.5$  za promjenjiva djelovanja u garažama i prostorima za promet vozila za čestu kombinaciju.

Česta kombinacija se koristi za kontrolu progiba ploča i greda, te za kontrolu pukotina ploča i greda.

**GSU-2 (nazovistalna kombinacija) 1.0 \* G +  $\gamma_{2i}$ \* Q**

$$1.0 * G + 0.3 * Q$$

Nazovistalna kombinacija se koristi za ograničenje tlačnog naprezanja u armirano betonskim elementima, te za kontrolu dugotrajnih progiba.

## 6. PRORAČUN PLOČA

### 6.1. Proračun krovne ploče

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.30^2 \cdot 16.67 \cdot 1000 = 238.55 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 30 = 4.5 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{30}{500} = 3.6 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 30 \cdot \frac{16.67}{434.80} = 35.66 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 30 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.085$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3} + k_1 \cdot P_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{300}} = 1.82 \leq 2.0 \rightarrow k = 2.0$$

$$k_1 = \frac{0.15}{N_{Ed}}$$

$$P_{cp} = \frac{0.18}{A_c} = 0.0$$

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{2.03}{30 \cdot 100} = 0.00068$$

$$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.00068 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0] \cdot 1000 \cdot 300$$

$$V_{Rd,c} = 85.93 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

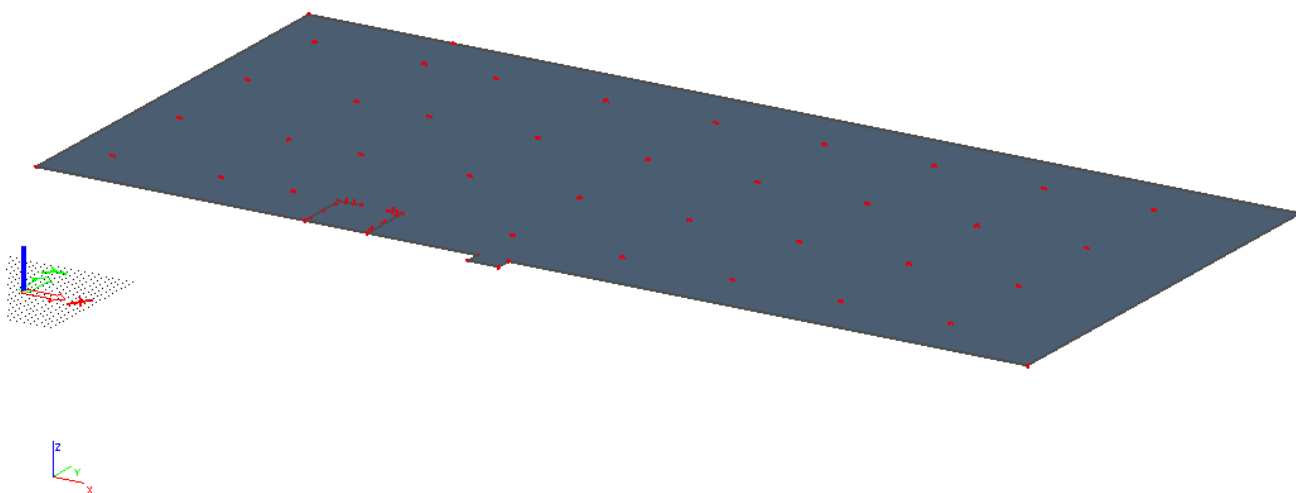
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.495$$

$$P_{cp} = \frac{0.18}{A_c} = 0.0$$

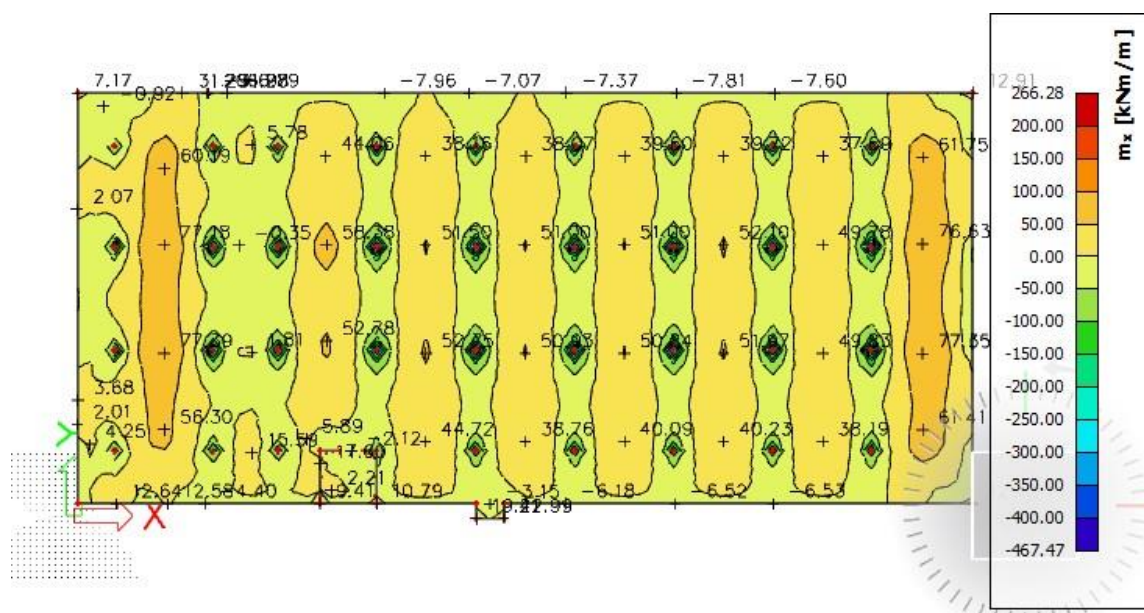
$$V_{Rd,c,min} = 0.495 \cdot 1000 \cdot 300 = 148.5 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

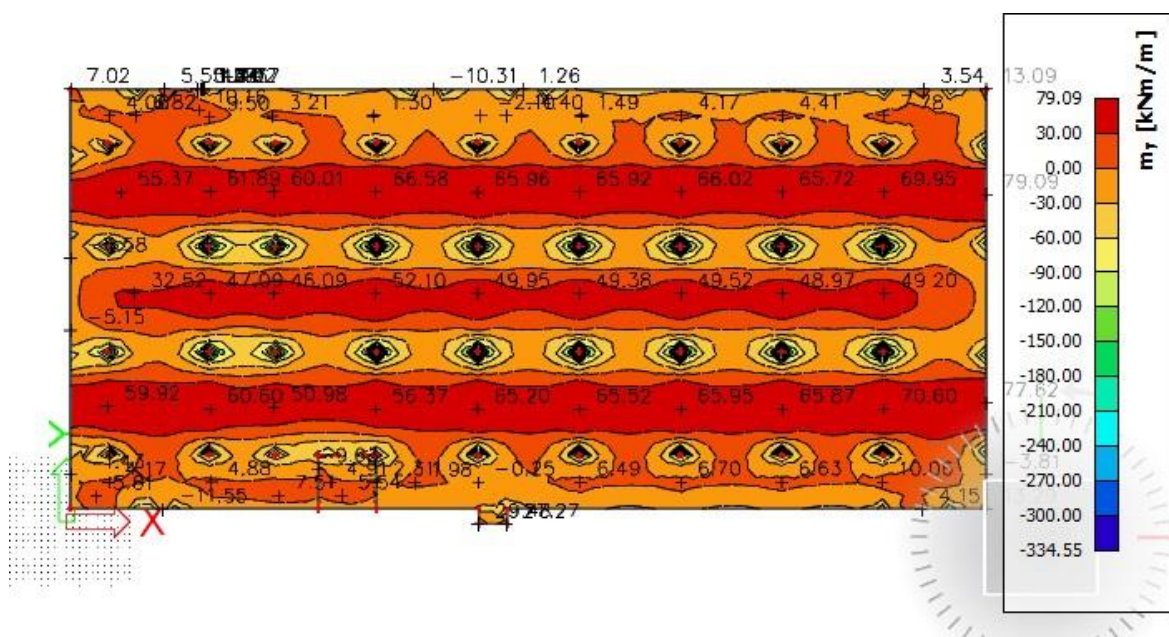
### 6.1.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče



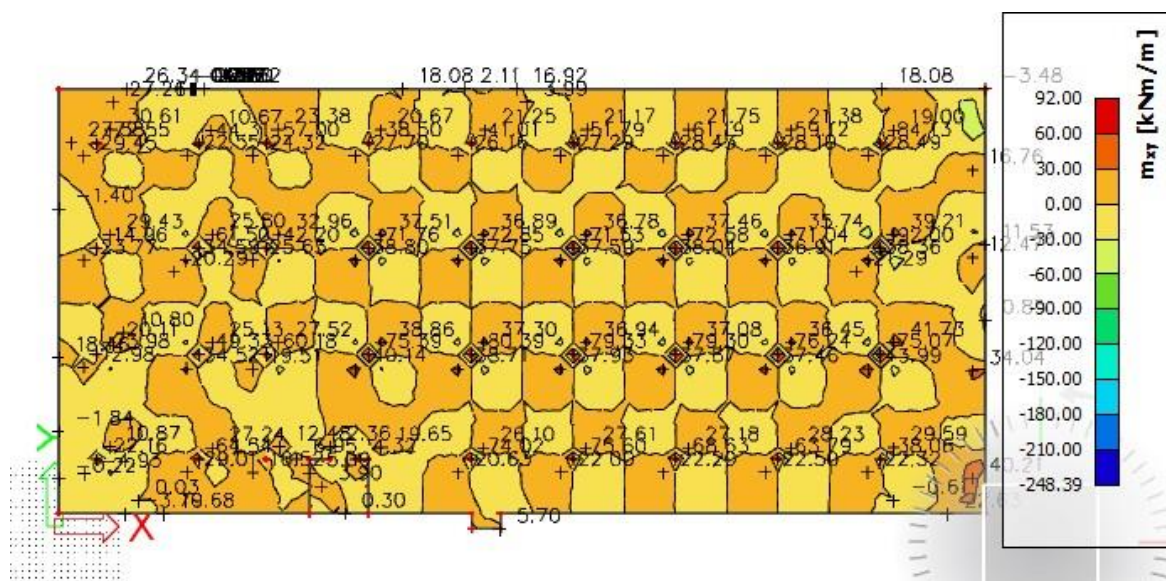
Slika 6.1.1.1 Prikaz modela



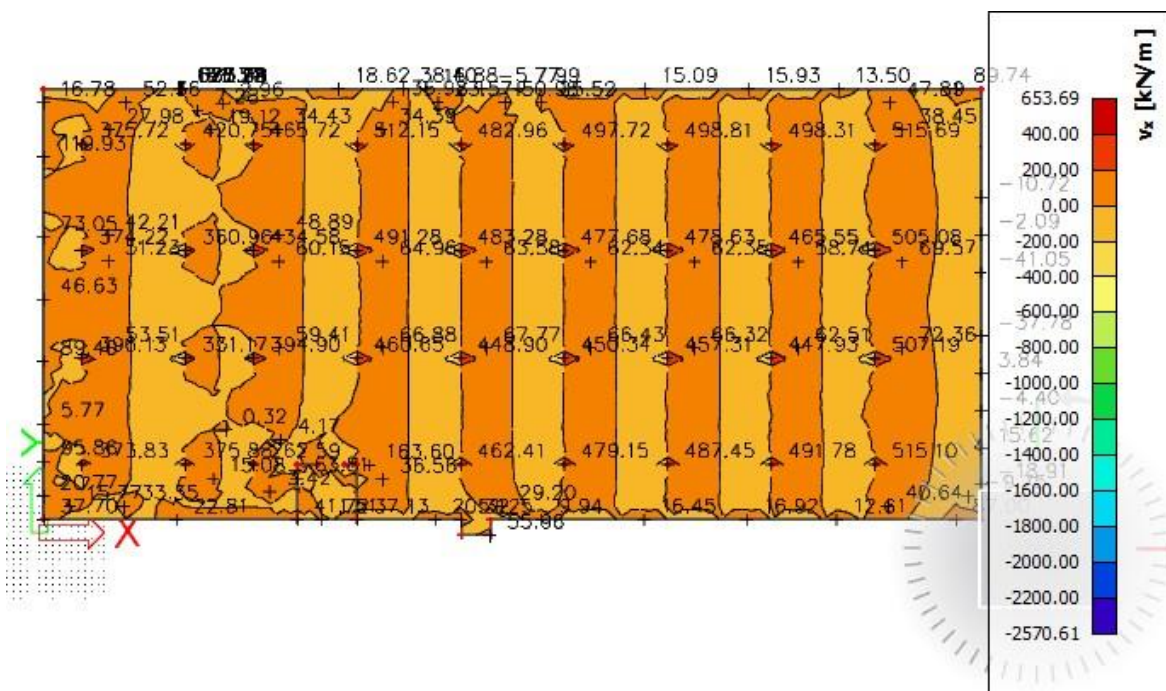
Slika 6.1.1.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



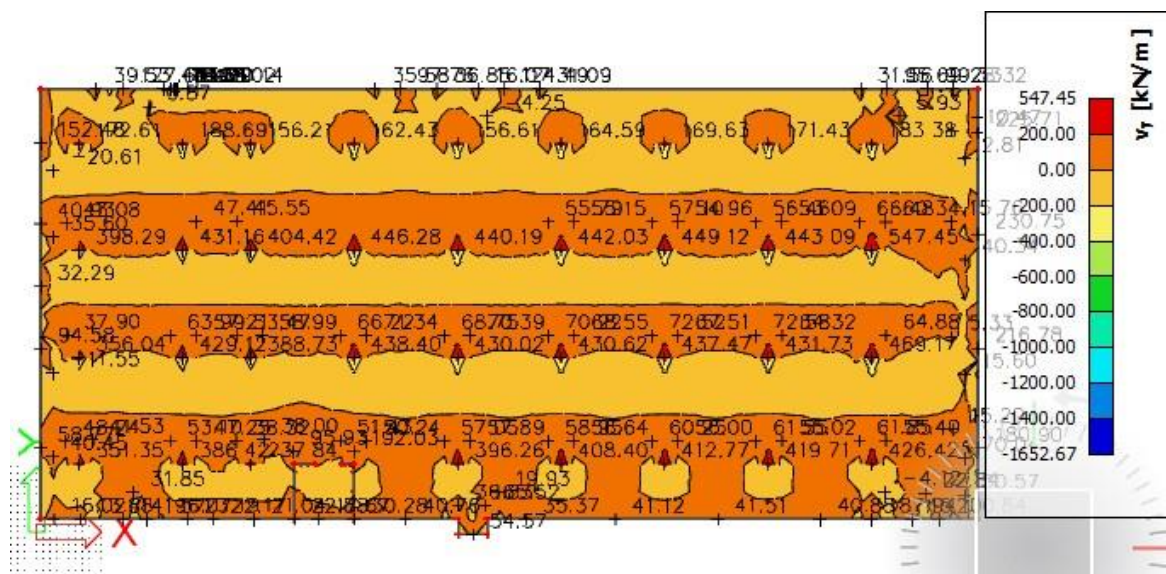
Slika 6.1.1.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



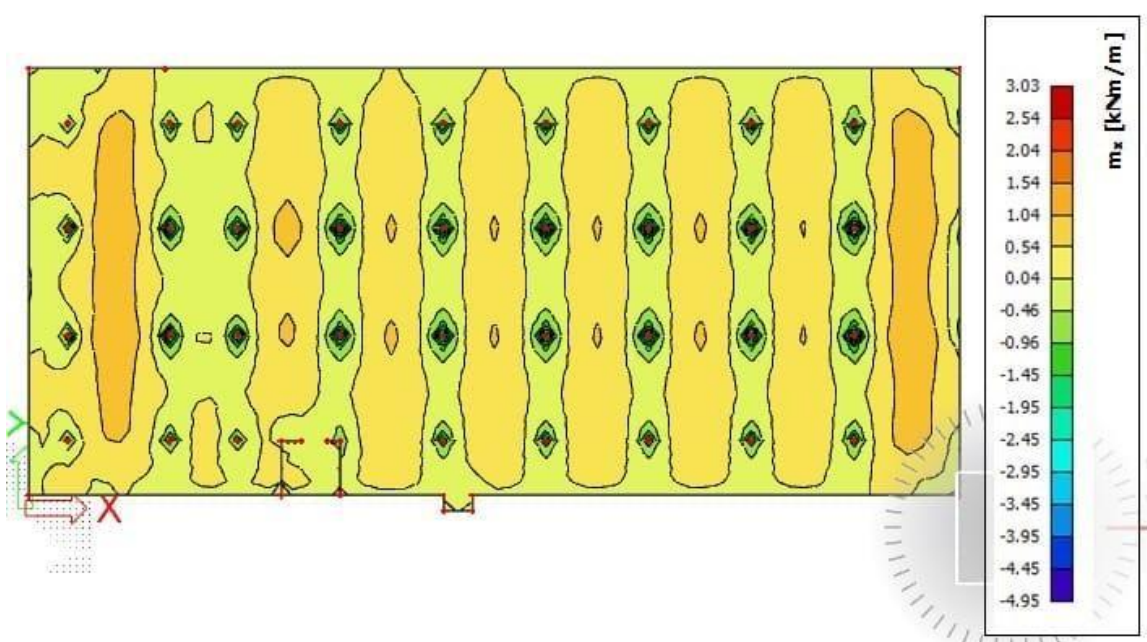
Slika 6.1.1.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  ( $kNm/m$ ) za GSN-1



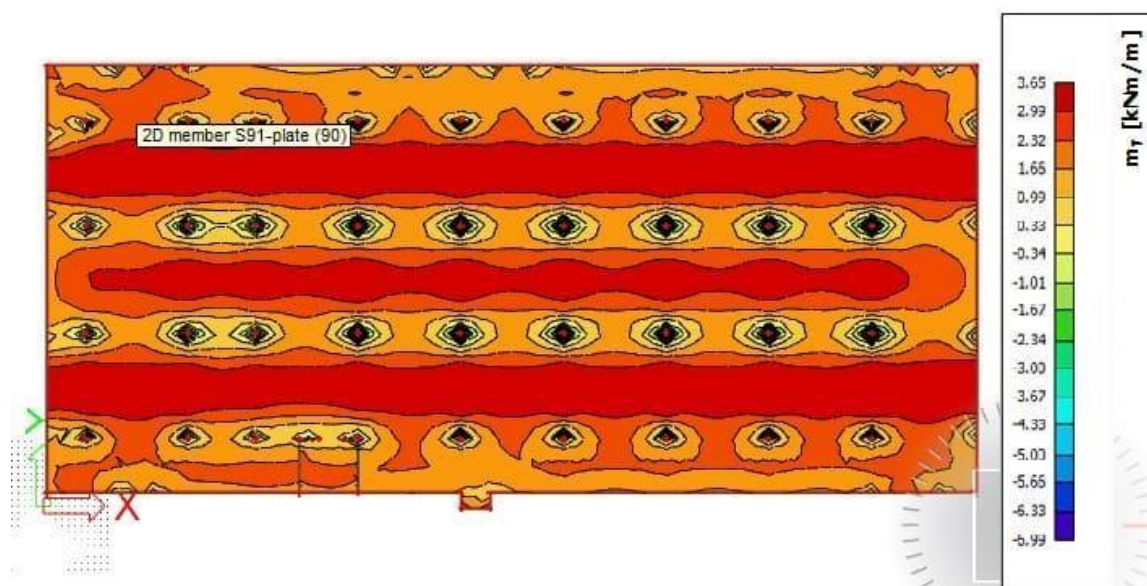
Slika 6.1.1.5 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  ( $kN/m$ ) za GSN-1



Slika 6.1.1.6 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 6.1.1.7 Potrebna površina armature  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/m) u x smjeru



Slika 6.1.1.8 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:  $A_s = 6.99 \times 0.85 = 5.95 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

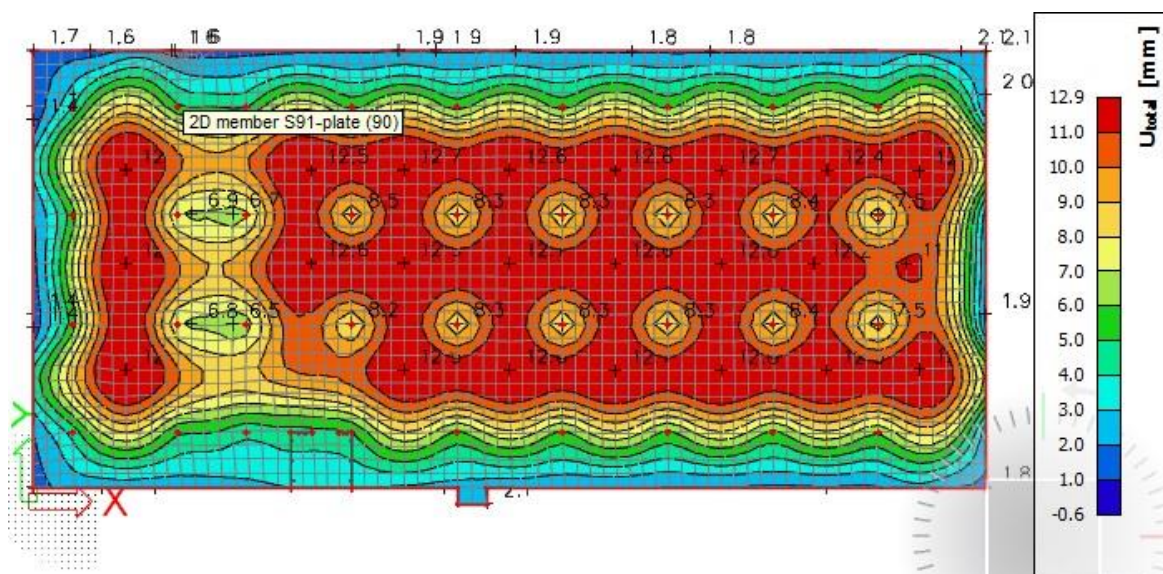
Potrebna armatura u polju:  $A_s = 3.65 \times 1.30 = 4.75 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj: Q-636 ( $6.36 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

Polje: Q-503 ( $5.03 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

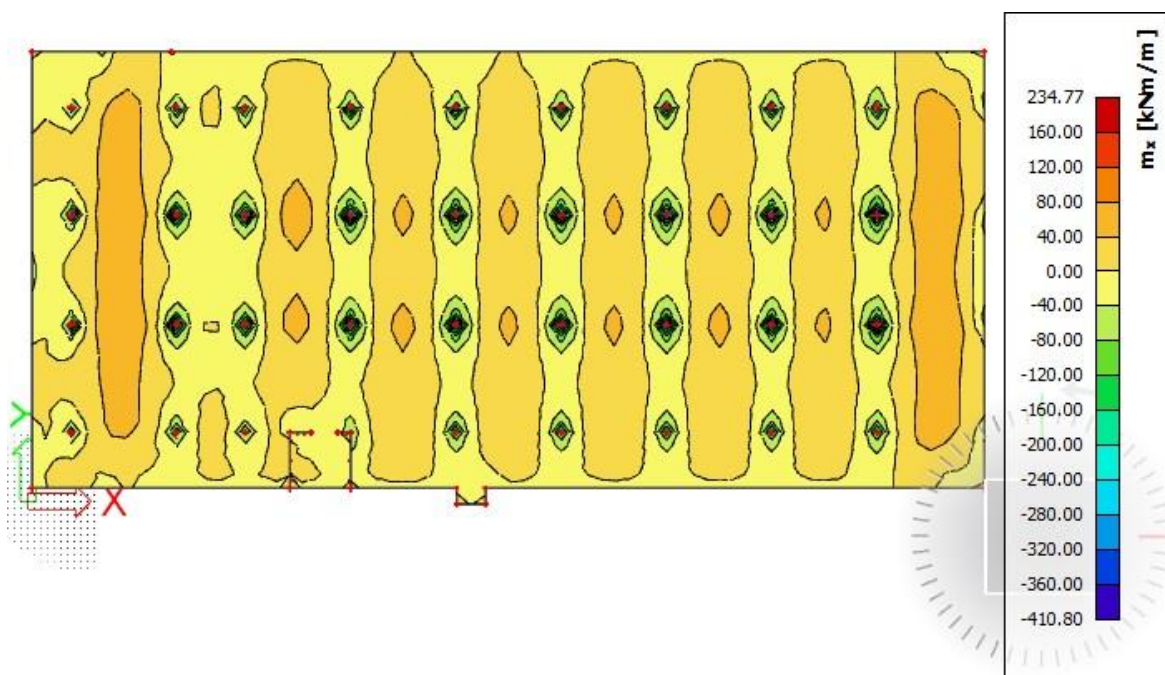
### 6.1.2. Kontrola progiba



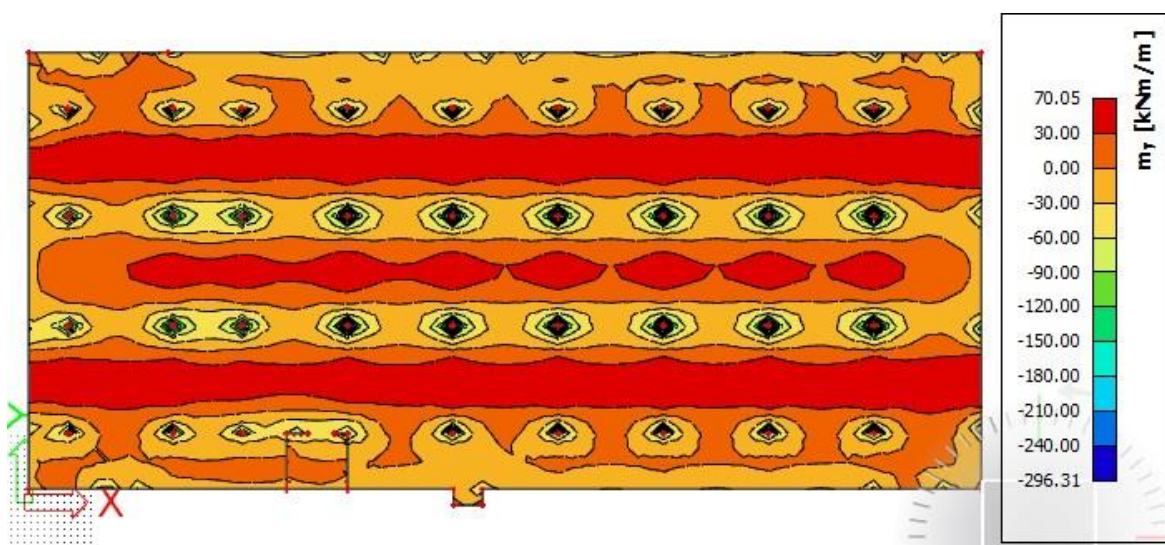
Slika 6.1.2.1 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $12.8 - 6.25 = 6.55$  mm.  
Dozvoljen progib  $L/1000 = 8000/1000 = 8$  mm  
Krovna ploča zadovoljava na progibe.

### 6.1.3. Kontrola pukotina



Slika 6.1.2.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSU-1



Slika 6.1.2.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 234.77 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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



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

$$x = \frac{\alpha_{s1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{s1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.67 \cdot 5.03}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 27}{6.67 \cdot 6.36}} \right) \\ = 4.38 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{23477}{\left(27 - \frac{4.38}{3}\right) \cdot 5.03} = 144.53 \frac{kN}{cm^2} = 1445.3 \text{ MPa}$$

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

$A_{s1} = Q - 503 = 5.03 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 30.0 \text{ GPa} = 30\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{30} = 6.67$  – Odnos modula elastičnosti

$e$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{5.03}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0067$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{1445.3 - 0.4 \frac{2.6}{0.0067} (1 + 6.67 \cdot 0.0067)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{1445.3}{200000}$$

$$0.00066 \geq 0.00043$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00066$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 9.0 \text{ mm}$

$c = 20 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{9}{0.0067} = 296.4 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 296.4 \cdot 0.00066 = 0.2 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 6.2. Međukatna ploča

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.27^2 \cdot 16.57 \cdot 1000 = 192.07 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 27 = 4.05 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{27}{500} = 3.24 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 27 \cdot \frac{16.67}{434.80} = 32.09 \text{ cm}^2 / m$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 27 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.115$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3} + k_1 \cdot P_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{270}} = 1.86 \leq 2.0 \rightarrow k = 2.0$$

$$k_1 = \frac{0.15}{N_{Ed}}$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{6.36}{27 \cdot 100} = 0.0024$$

$$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0024 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0] \cdot 1000 \cdot 270$$

$$V_{Rd,c} = 117.75 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

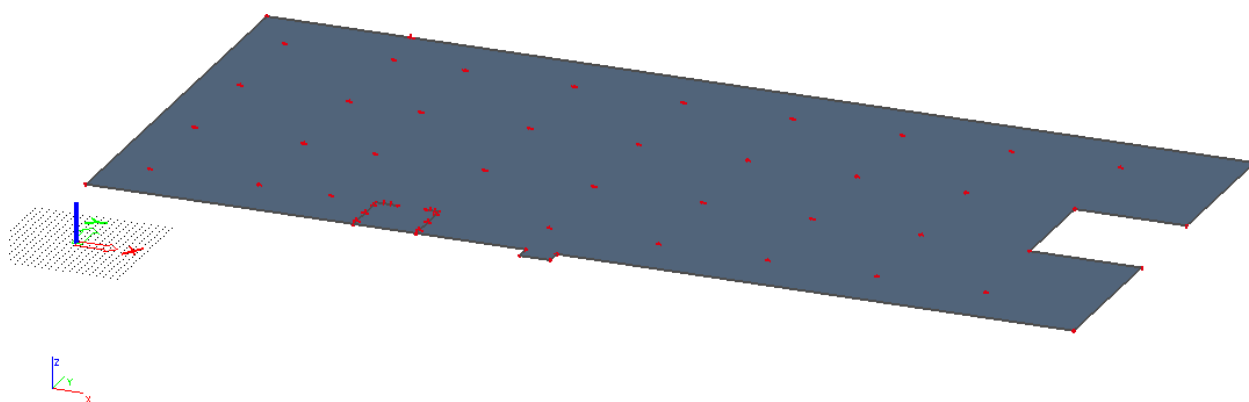
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.495$$

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

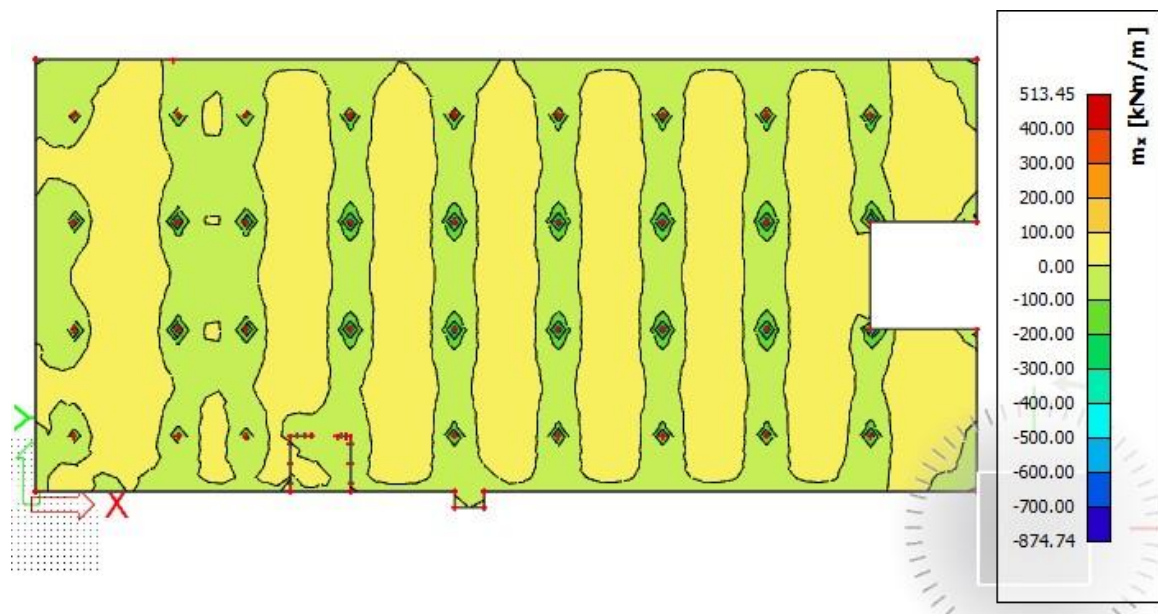
$$V_{Rd,c,min} = 0.495 \cdot 1000 \cdot 270 = 133.65 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

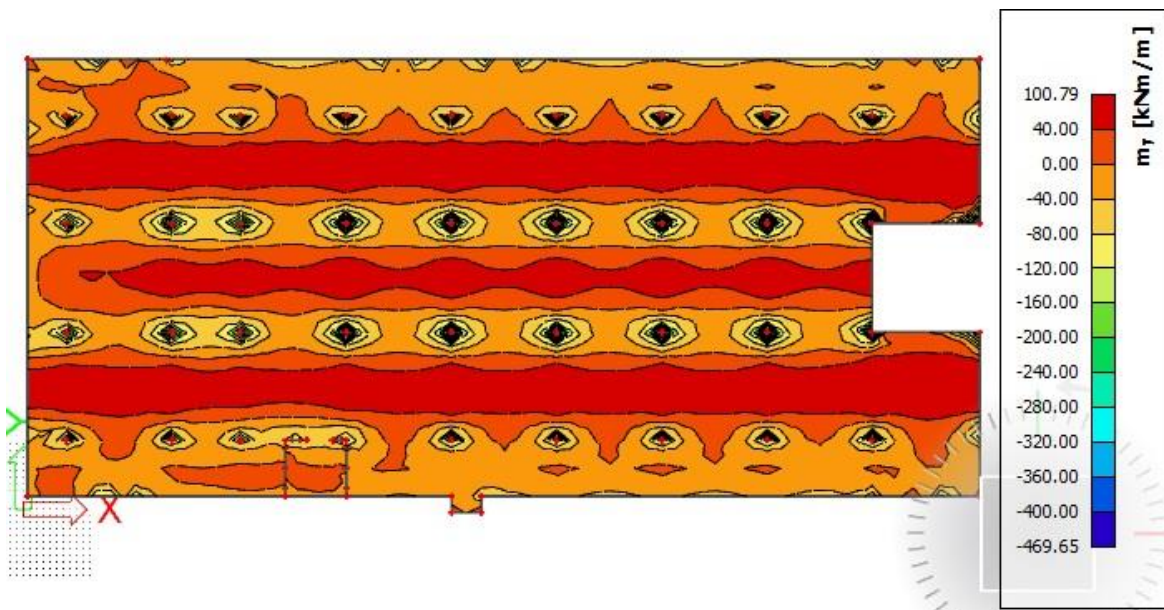
### 6.2.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče



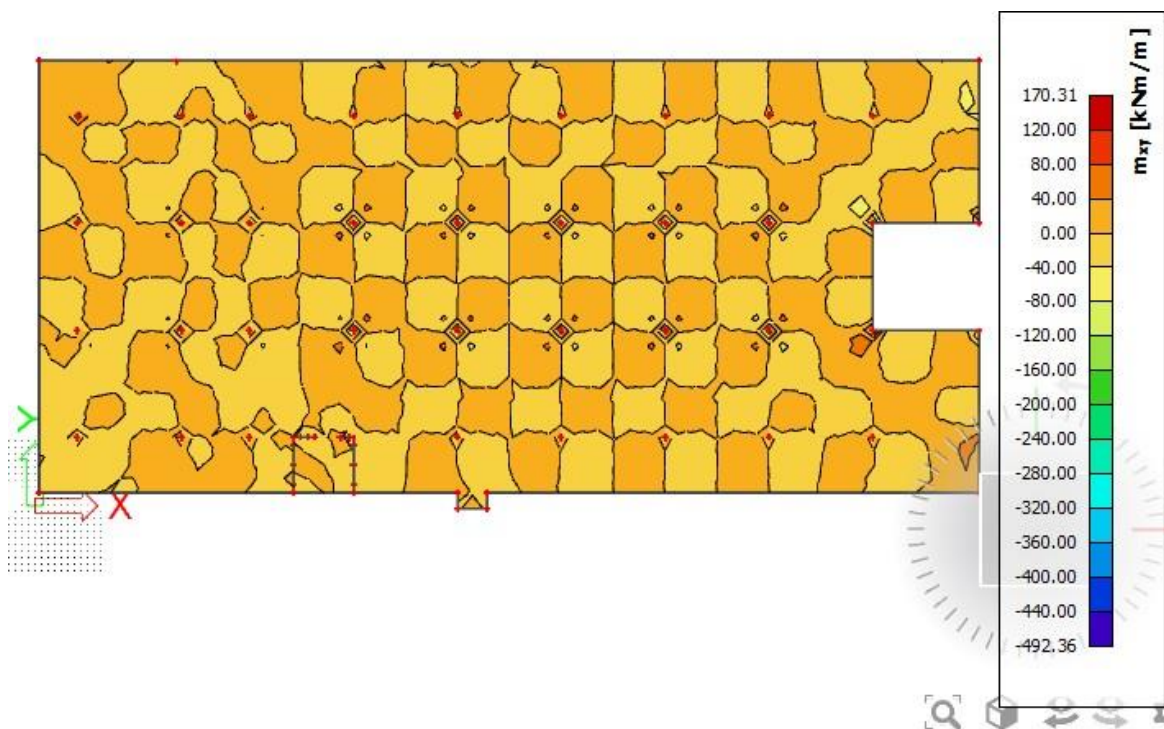
Slika 6.2.1.1 Prikaz modela ploče



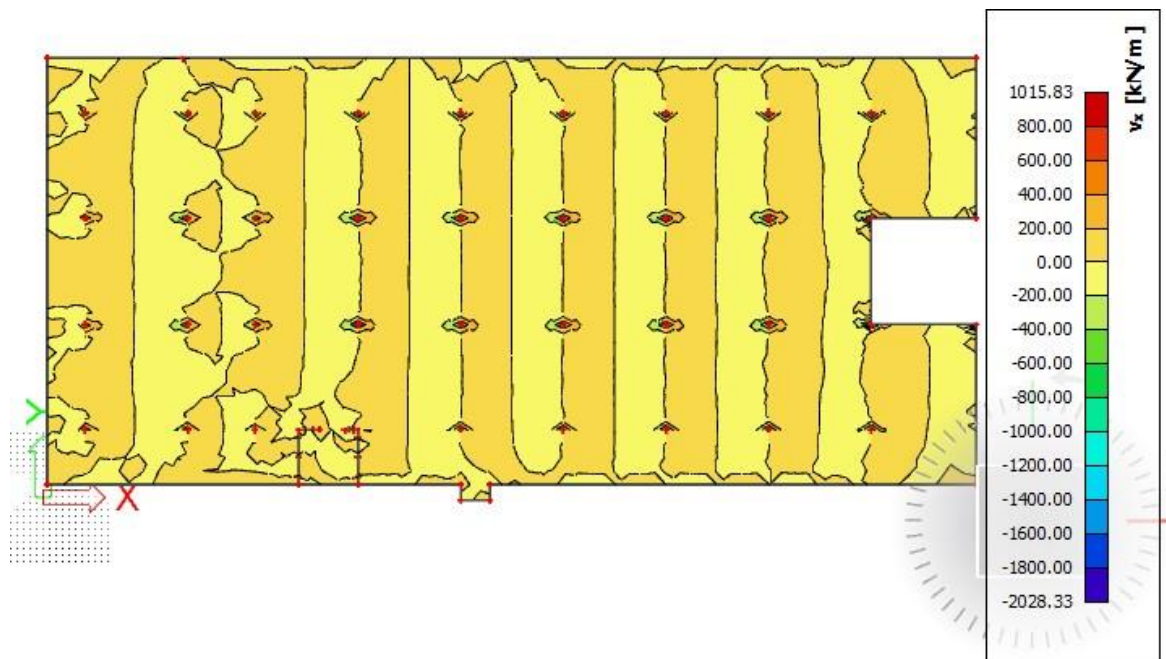
Slika 6.2.1.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



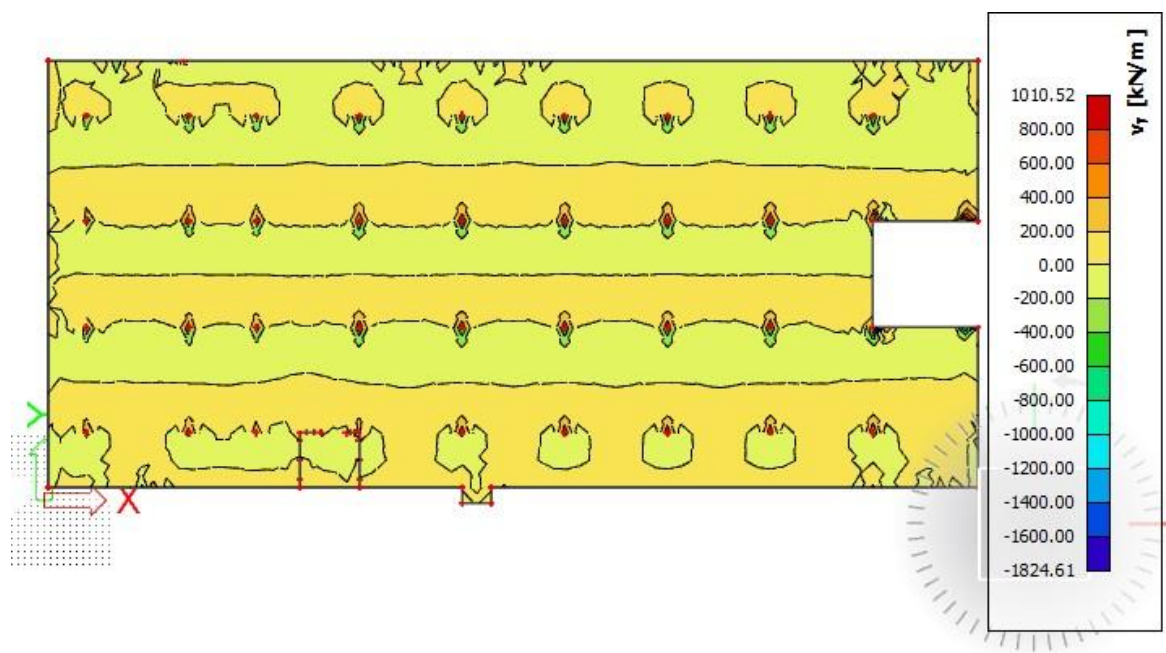
Slika 6.2.1.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  ( $kNm/m$ ) za GSN-1



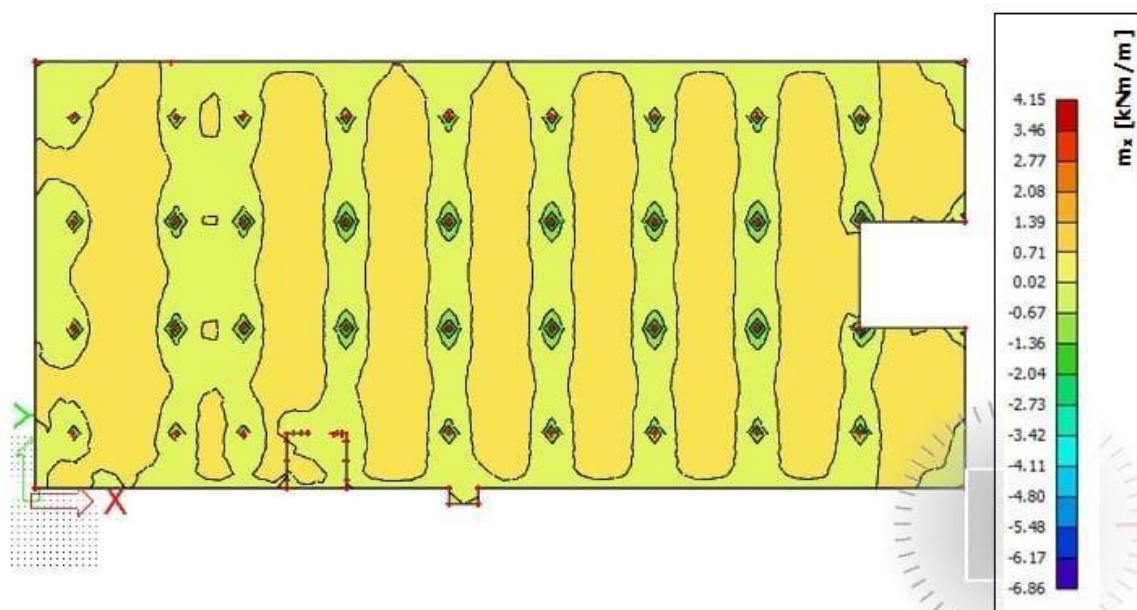
Slika 6.2.1.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  ( $kNm/m$ ) za GSN-1



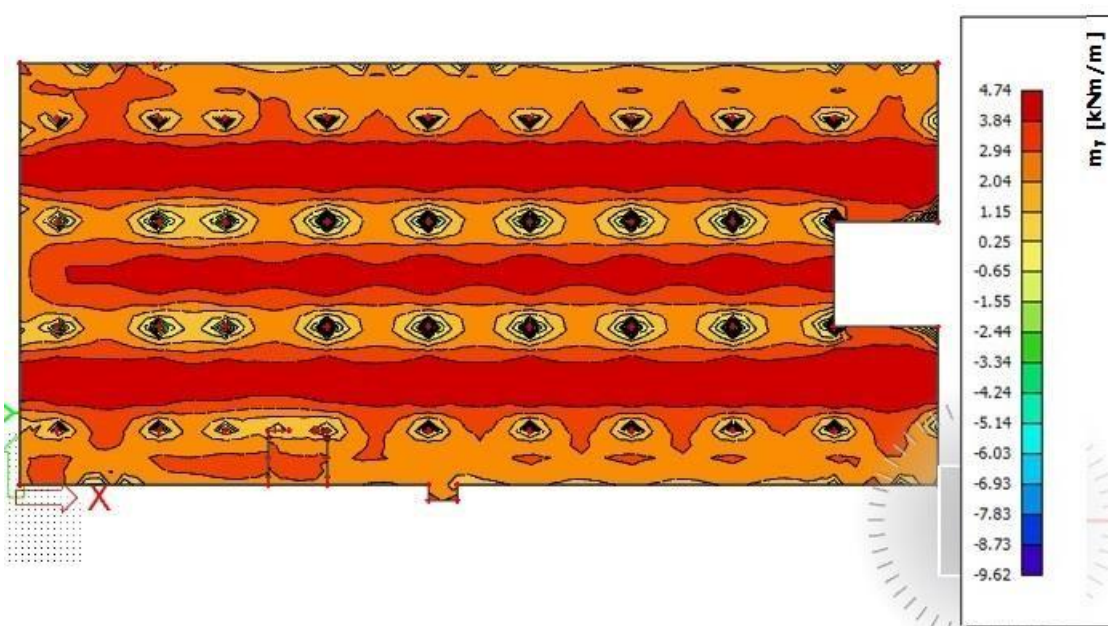
Slika 6.2.1.5 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 6.2.1.6 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 6.2.1.7 Potrebna površina armature  $A_s$  ( $\text{cm}^2/\text{m}$ ) u x smjeru



Slika 6.2.1.8 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:  $A_s = 9.62 \times 0.85 = 8.20 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju:  $A_s = 4.74 \times 1.30 = 6.16 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Ležaj: Q-785 + 3Φ10/33cm(10.21 cm<sup>2</sup> / m')

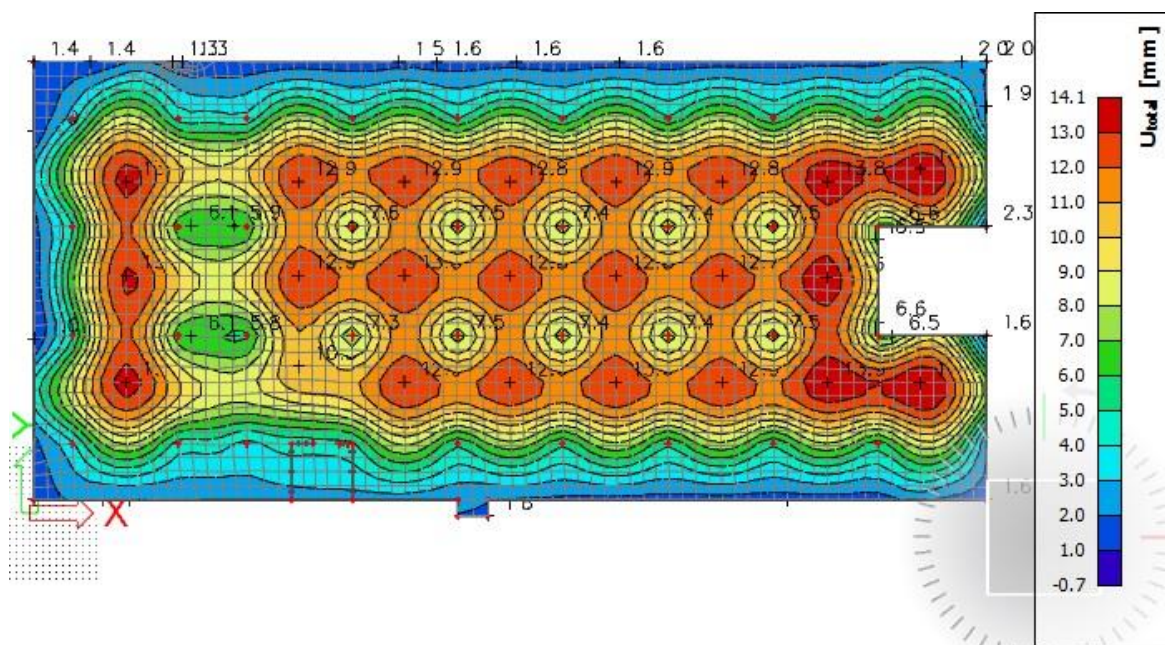
Polje: Q-636(6.36cm<sup>2</sup> / m')

### 6.2.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče

S obzirom da je model građevine modeliran na temeljnom tlu realnih karakteristika cijela građevina će imate 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.

### 6.2.3. Kontrola progiba međukatne ploče

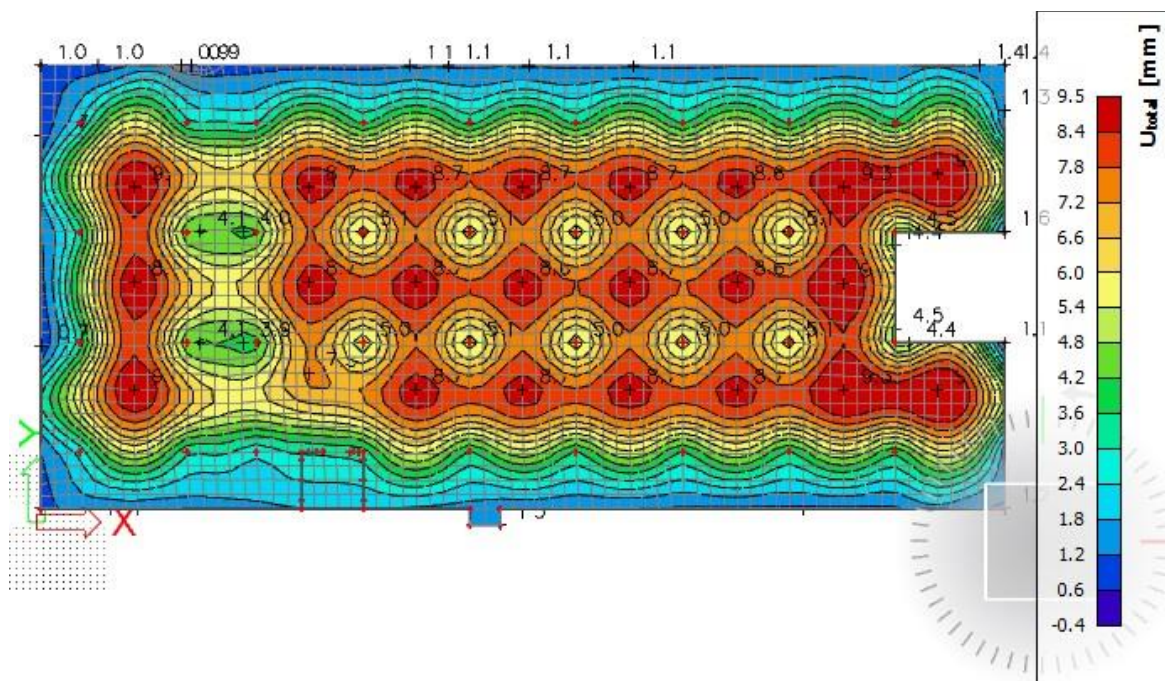


Slika 6.2.3.1 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $14.1 - 6.5 = 7.6$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 8000/1000 = 8$  mm

Međukatna ploča zadovoljava na progibe.



Slika 6.2.3.2 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

Najveći progib iznosa je  $9.5 - 4 = 5.5$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 8000/1000 = 8$  mm

Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

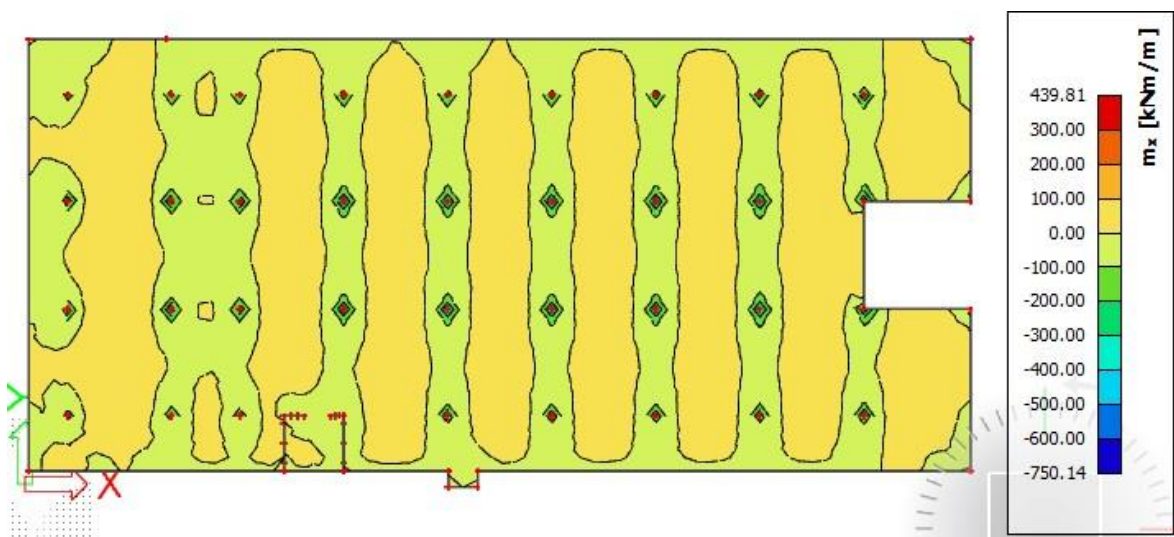
Oduzimanjem translacijske komponente pomaka dobivamo komponentu koja je se analizira odnosno provjerava je li zadovoljava dozvoljene granice.

Kod 3-D modela koji su modelirani sa realnim karakteristikama tla bilo bi poželjno napraviti poseban model ploče karakteristične etaže.

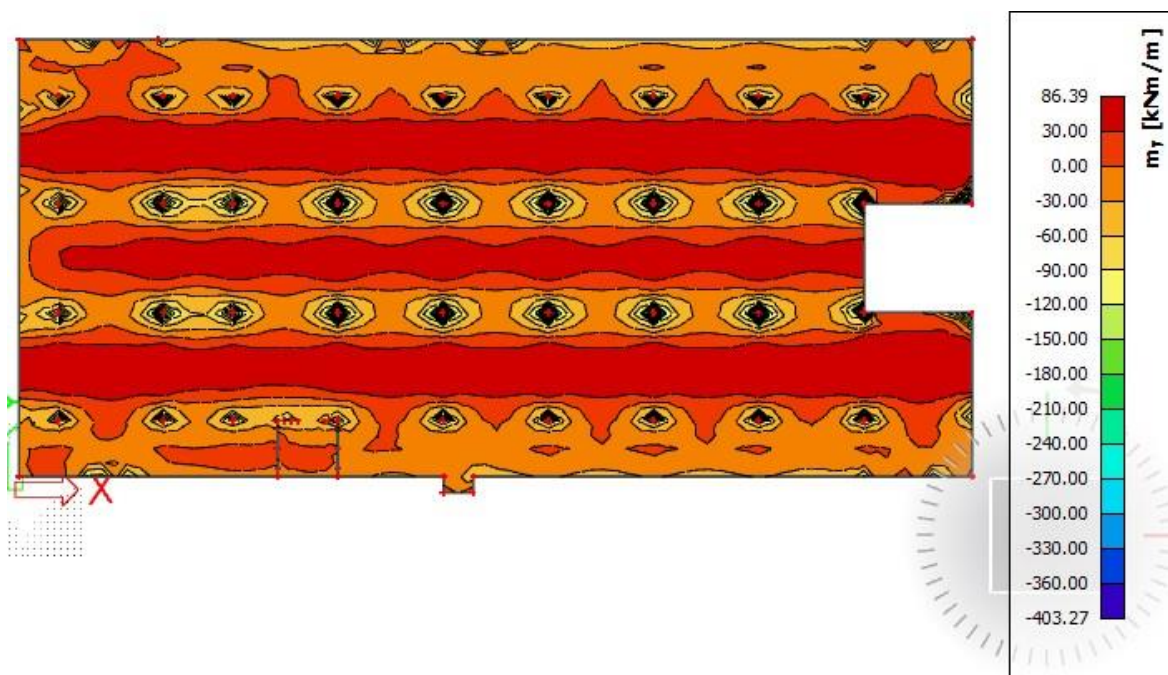
#### 6.2.4. Kontrola pukotina

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





Slika 6.2.4.1 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.2.4.2 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 439.81$  kNm/m

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{s1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{s1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 6.36}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 27}{6.25 \cdot 6.36}} \right) \\ = 4.23 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A} = \frac{43900}{\left(27 - \frac{4.23}{3}\right) \cdot 6.36} = 269.74 \frac{kN}{cm^2} = 2697.4 \text{ MPa}$$

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

$A_{s1} = Q - 636 = 6.36 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 30.0 \text{ GPa} = 30\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{30} = 6.67$  – Odnos modula elastičnosti

<sup>e</sup>

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{6.63}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0084$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{2697.4 - 0.4 \frac{2.6}{0.0084} (1 + 6.25 \cdot 0.0084)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{2697.4}{200000}$$

$$0.00012 \geq 0.00081$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00081$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varnothing = 8.0 \text{ mm}$   
 $c = 20 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature  
 $k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura  
 $k_2 = 0.5$  – Savijanje  
 $k_3 = 3.4$   
 $k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{8}{0.0084} = 229.9 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 229.9 \cdot 0.00081 = 0.19 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7. PRORAČUN ZIDOVA

### 7.1. Opći uvjeti

- Minimalna debljina:  $b_{wo} \geq \max \{0.15 \text{ m}, h_s/20\}$ , ( $h_s$ =svijetla katna visina)
- Ograničenje naprezanja u betonu (srednjeg tlačnog naprezanja) je:

$$v_d = N_{Ed}/A_c f_{cd} \leq 0.40 \text{ (klasa DCM), odnosno } \sigma_{c,Rd} \leq 0.40 \cdot f_{cd}$$

$N_{Ed}$  = uzdužna sila u proračunu potresne proračunske situacije

seizmička kombinacija za C25/30:  $\sigma_{c,Rd,E} \leq 0.40 \cdot (25/1.5) = 6.7 \text{ MPa}$

- Kritično područje:  
 $\min \{2L_w, h_s\} \geq h_{cr} \geq \max \{L_w, h_w/6\}$ , ( $L_w$ =duljina zida,  $h_w$ =ukupna visina zida,  $h_s$ =svijetla katna visina)
- Minimalno armiranje:

na krajevima zida:

$$\text{vertikalno: } \rho_{\min} = 0.5\% \text{ od površine } A_c = L_c \cdot b_w \text{ (} L_c = \max \{0.15 L_w, 1.5 b_w\} \text{)}$$

spone:  $\min \phi 6$ ; max. razmak:  $\min \{8d_{bL}, b_o/2, 175 \text{ mm}\}$  ( $d_{bL}$ =promjer vert. šipki;  $b_o$ =širina jezgre)

ostali dio zida:

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

$$\text{horizontalno: } \rho_{\min} = 0.2\%$$

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

- Lagano armirani zidovi  $L_w \geq \min \{4 \text{ m}, 2/3 h_w\}$
- Najmanji omjer poprečne armature  $\rho_{w,\min}$  velikih slabo armiranih betonskih zidova:  $\rho_{w,\min} = 0.15 \cdot (f_{ct,m}/f_{yd})$ .

C 25/30 ( $f_{ct,m}=2.6$  MPa); B 500B ( $f_y=500$  MPa);  $\rho_{w,min} = 0.15 \cdot (2.6/435) = 0.0009$

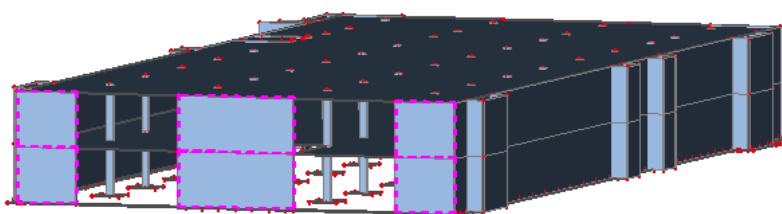
$b_w=16$  cm;  $A_{s,min} = 0.0009 \cdot 16 \cdot 100/2 = 0.72$  cm<sup>2</sup>/m obostrano

$b_w=20$  cm;  $A_{s,min} = 0.0009 \cdot 20 \cdot 100/2 = 0.90$  cm<sup>2</sup>/m obostrano

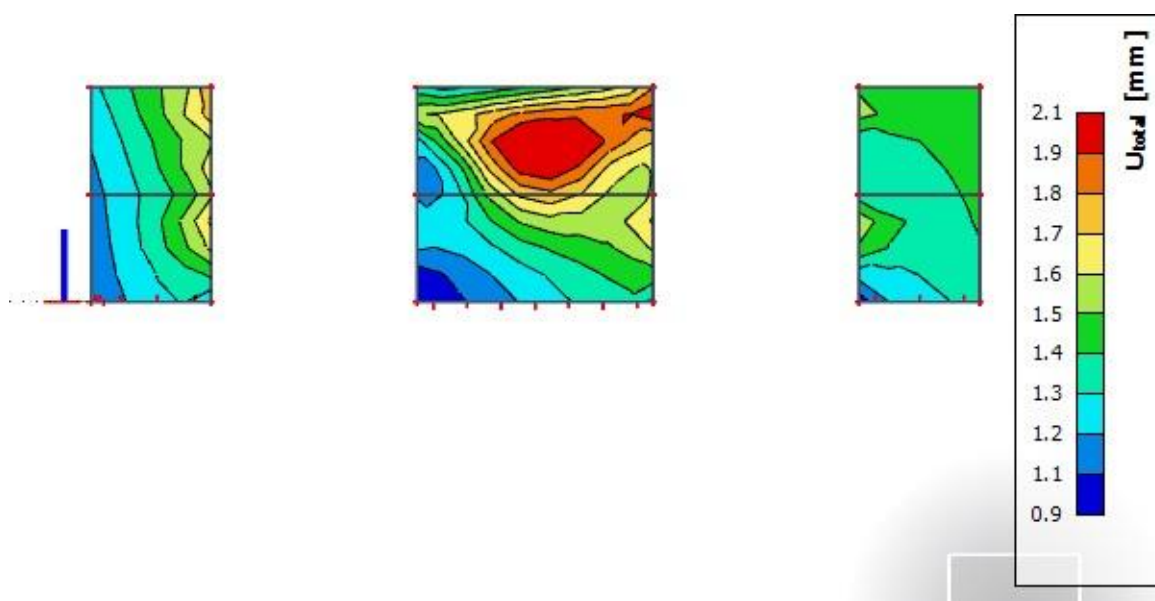
$b_w=30$  cm;  $A_{s,min} = 0.0009 \cdot 30 \cdot 100/2 = 1.35$  cm<sup>2</sup>/m obostrano

$b_w=40$  cm;  $A_{s,min} = 0.0009 \cdot 40 \cdot 100/2 = 1.80$  cm<sup>2</sup>/m obostrano

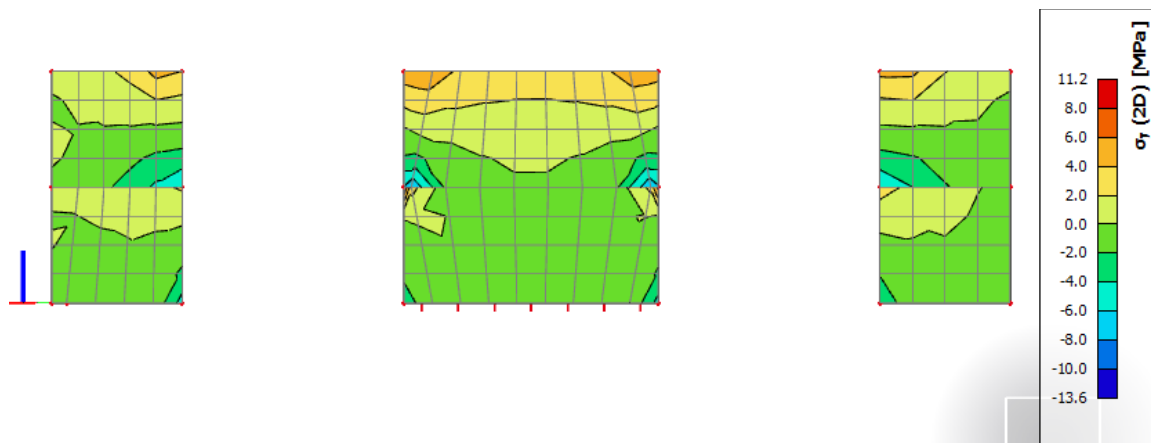
## 7.2. Prikaz modela i dijagrama



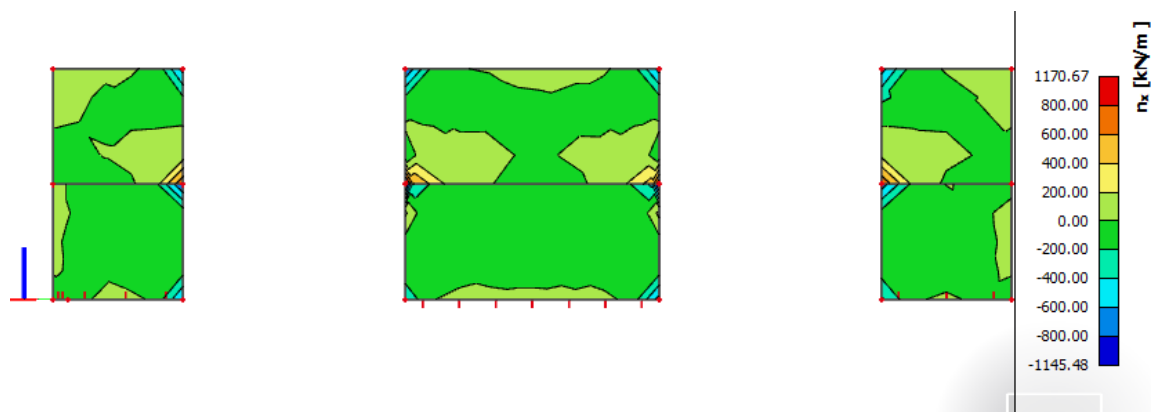
Slika 7.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun



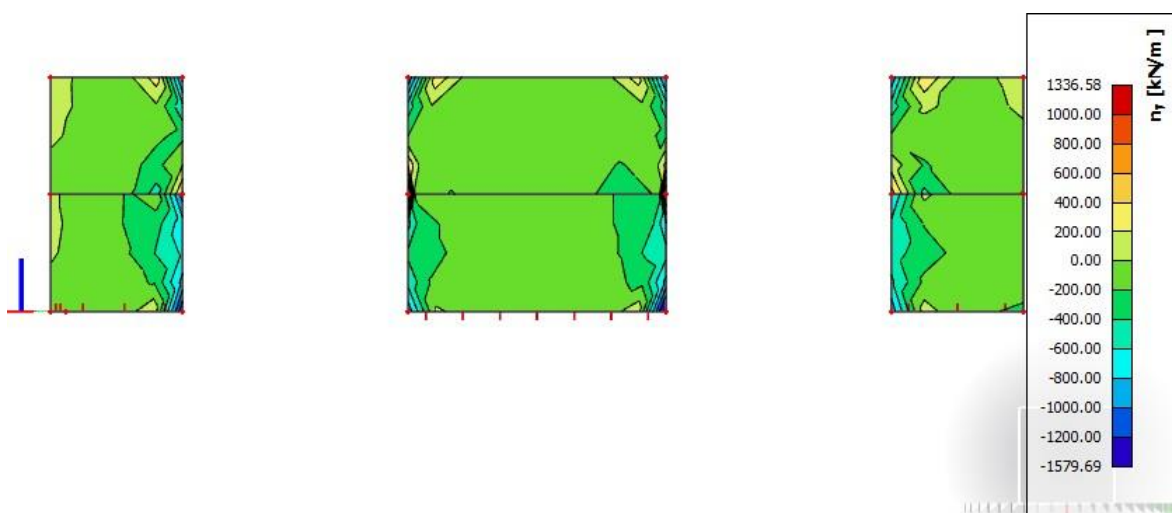
Slika 7.2 Pomaci (mm) za nazovistalnu kombinaciju GSU2



Slika 7.3 Glavna tlačna naprezanja  $\sigma_{c,Ed}$  [MPa] u zidu za nazovistalnu kombinaciju GSU2



Slika 7.4 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru X, u zidovima za anvelopu GSN



Slika 7.5 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru Y, u zidovima za anvelopu GSN

## 8. PRORAČUN STUPOVA

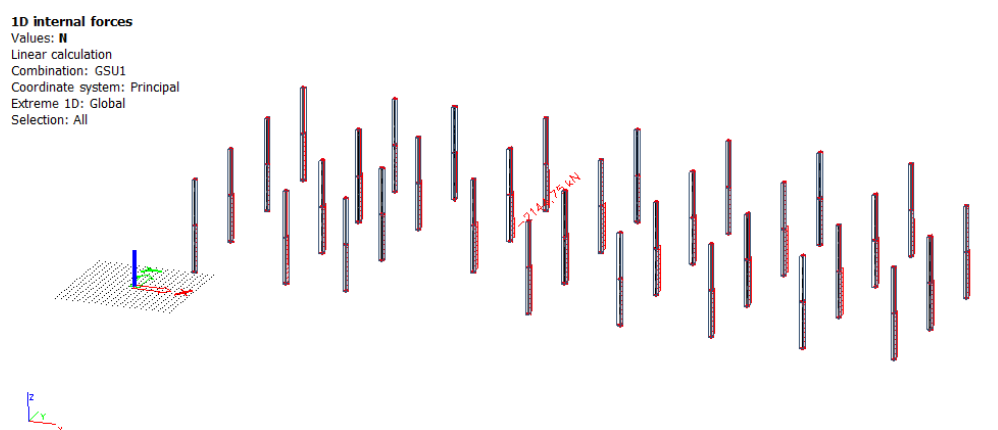
### Ograničenja naprezanja u betonu

Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja:

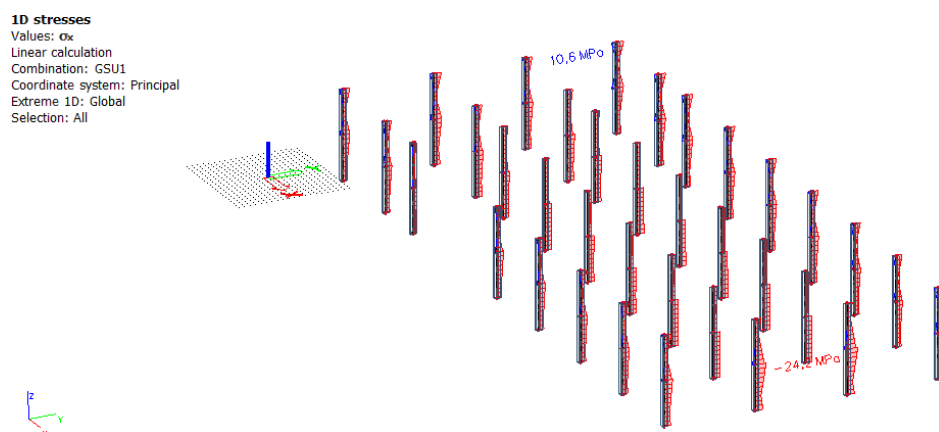
$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$  za kombinaciju GSU-1

GSU-1=1.0G +  $\Psi_2$ Q=1.0G + 0.5Q za C25/30,

$\sigma_c \leq 0.45 \cdot 25 = 11.25 \text{ MPa}$



Slika 9.1 Uzdužne sile u stupovima  $N_{ed}$  (kN) za GSU-1



Slika 9.2 Srednje tlačno naprezanje u stupovima  $\sigma_{c,Ed}$  (MPa) za GSU-1

Beton: C25/30;  $f_{ck}=25\text{Mpa}$

Kontrolira se srednje tlačno naprezanje u stupu za kombinaciju:

$$\text{GSU-1} = 1.0G + \Psi_{2i} * Q_i = 1.0G + 0.5Q$$

$$\sigma_{c,ed} \leq 0.45 f_{ck}$$

$$\text{za C 25/30: } 0.45 f_{ck} = 0.45 * 25 = 11.25 \text{ MPa}$$

Unitijednom stupu (dimenzije prema planu pozicija) nije prekoračeno srednje tlačno naprezanje.

Stup spada u razred duktilnosti M, stoga treba biti zadovoljen uvjet:

$$N_{sd} = 2144.75 \text{ kN}$$

$$b \times h \geq N_{sd} / 0.65 \times f_{cd} \rightarrow 1500 \geq 1083.55 = A_{c,potr}$$

Poprečni presjek stupa:  $b/h = 50 \times 30 \text{ cm}$

Minimalna vertikalna armatura stupa:

- $A_{s,min} = 8\Phi 12 (9.05 \text{ cm}^2)$
- $A_{s,min} = 0.15 \times N_{sd} / f_{yd} = 0.15 \times 2144.75 / 43.48 = 7.39 \text{ cm}^2$
- $A_{s,min} = 0.003 \times A_c = 4.5 \text{ cm}^2$
- $A_{s,min} = 0.01 \times A_c = 15 \text{ cm}^2$

Odabrana vertikalna armatura:  $4\Phi 25 (19.63 \text{ cm}^2)$

Minimalna poprečna armatura stupa:

- $e_w = 12\Phi_{s,min} = 26.4 \text{ cm}$
- $e_w \leq b = 50 \text{ cm}$
- $e_w \leq 25 \text{ cm}$
- $e_w \leq 12.5 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura: spone  $\Phi 8/12.5 \text{ cm}$ .

*Napomena: Na područjima neposredno u blizini ležaja u dužini od 50 cm te na preklopima armature progustiti razmak na 8 cm.*

## 9. PRORAČUN TEMELJA

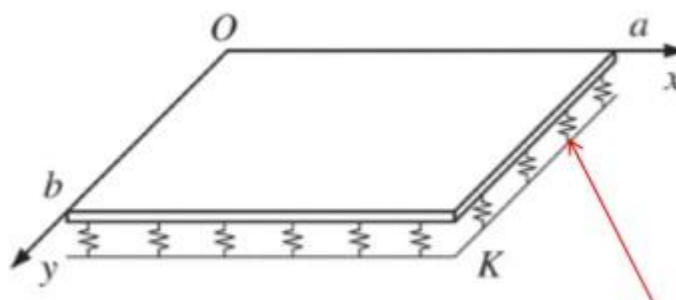
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja..

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 9.1 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.

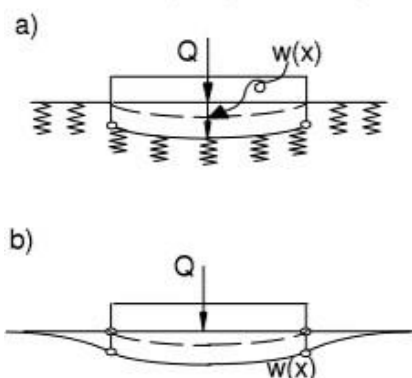


$$K = \frac{q}{w} \left[ \frac{kN}{m^3} \right]$$

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 9.2 Winklerov model (a) i stvarni nosač (b)

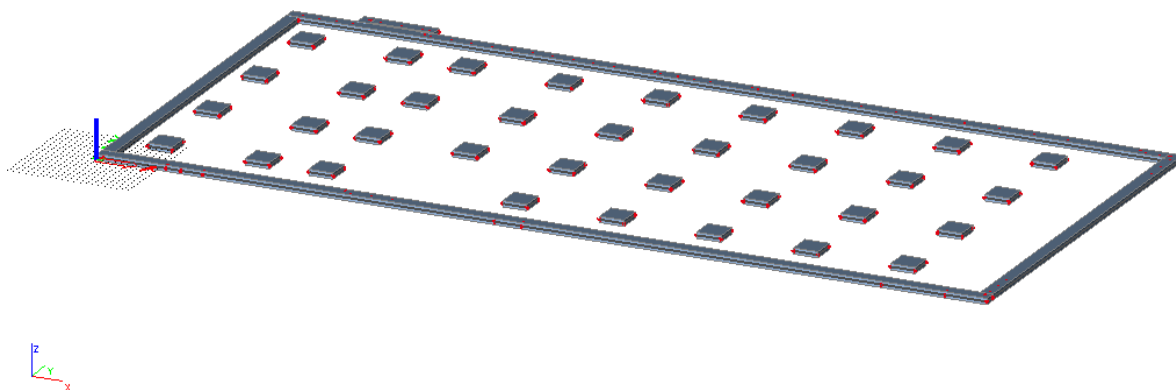
Nedostatci ovog modela :

- Opterećenje skraćuje samo ona pera na kojima greda izravno leži ( zanemaruje se međusobni utjecaj )
- Na tlo se može prenijeti kao pritisak tako i zatezanje
- Određivanje koeficijenta 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

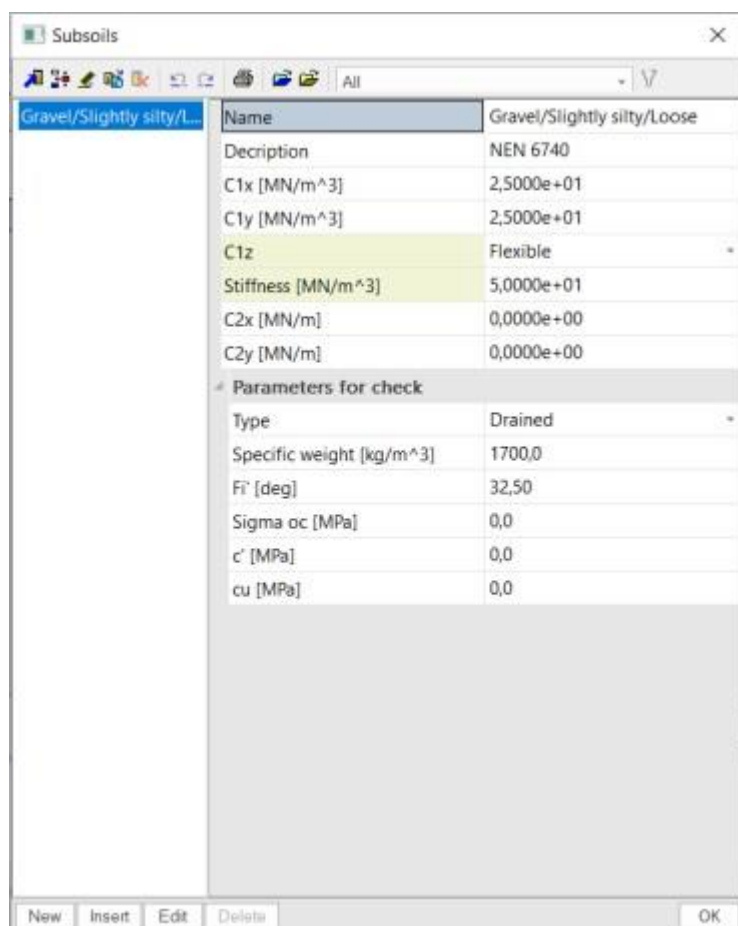
### 9.1.1. Model trakastih temelja

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



Slika 9.3 Model trakastih temelja

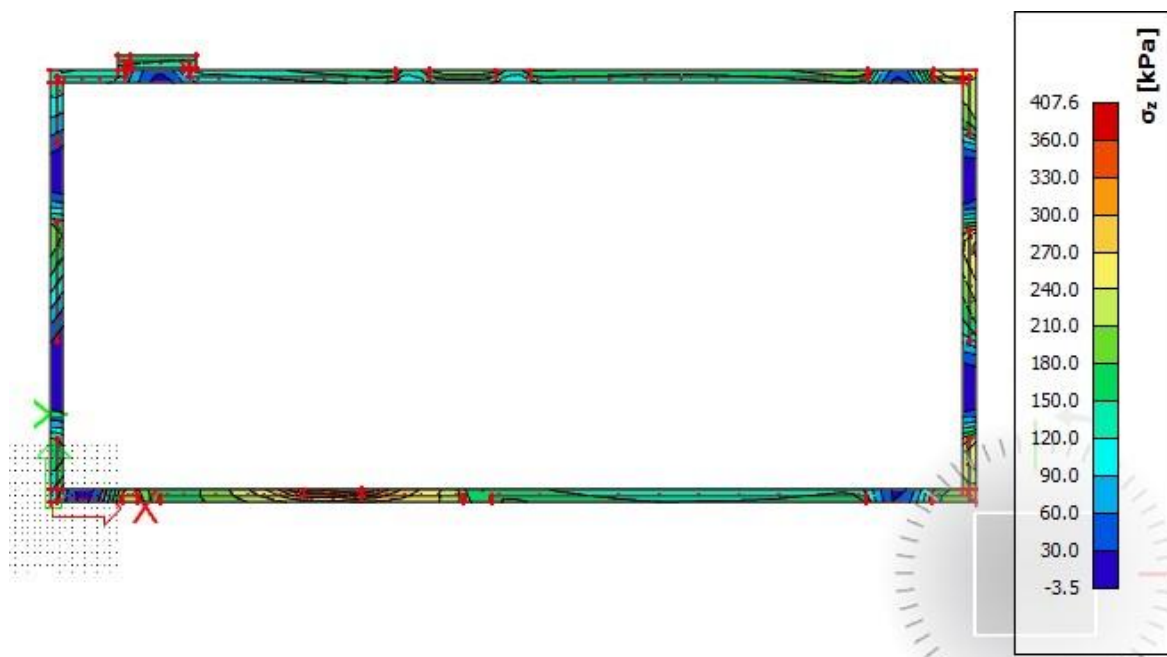
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla. Ostali pomaci i zaokreti su spriječeni.



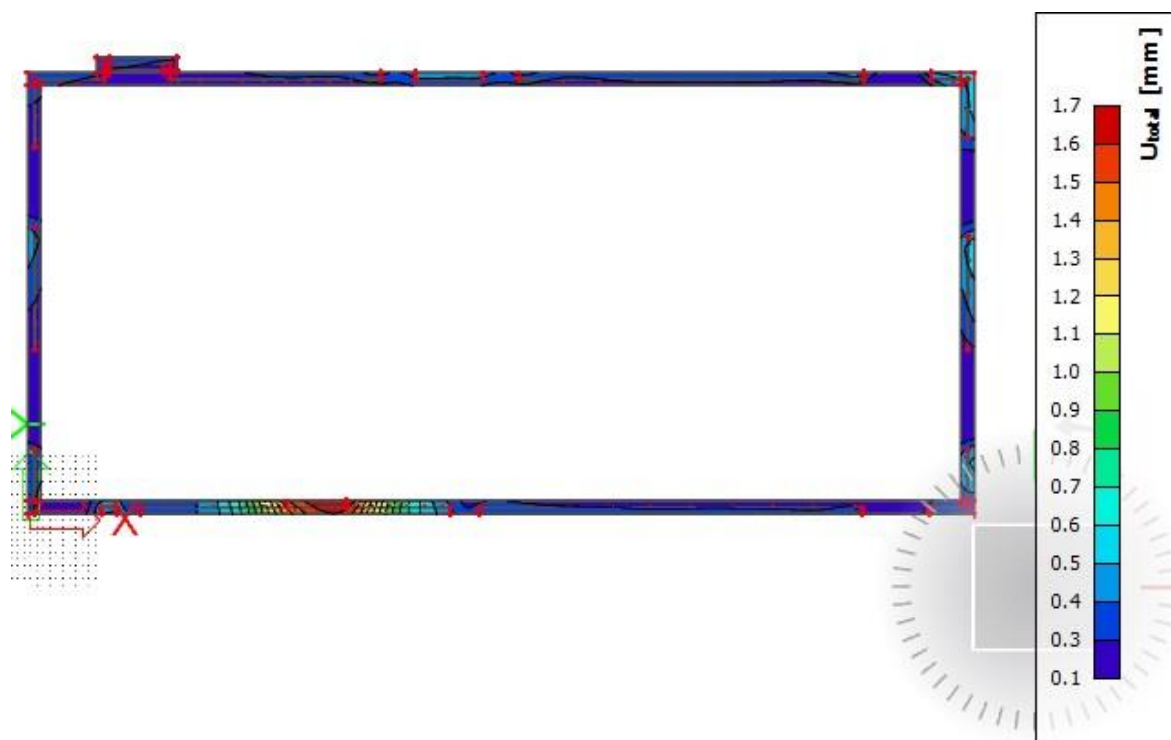
Name	Gravel/Slightly silty/Loose
Description	NEN 6740
C1x [MN/m <sup>3</sup> ]	2,5000e+01
C1y [MN/m <sup>3</sup> ]	2,5000e+01
C1z	Flexible
Stiffness [MN/m <sup>3</sup> ]	5,0000e+01
C2x [MN/m]	0,0000e+00
C2y [MN/m]	0,0000e+00
Parameters for check	
Type	Drained
Specific weight [kg/m <sup>3</sup> ]	1700,0
Fr [deg]	32,50
Sigma oc [MPa]	0,0
c' [MPa]	0,0
cu [MPa]	0,0

Slika 9.4 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

### 9.1.2. Slijeganje građevine



Slika 9.5 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSN



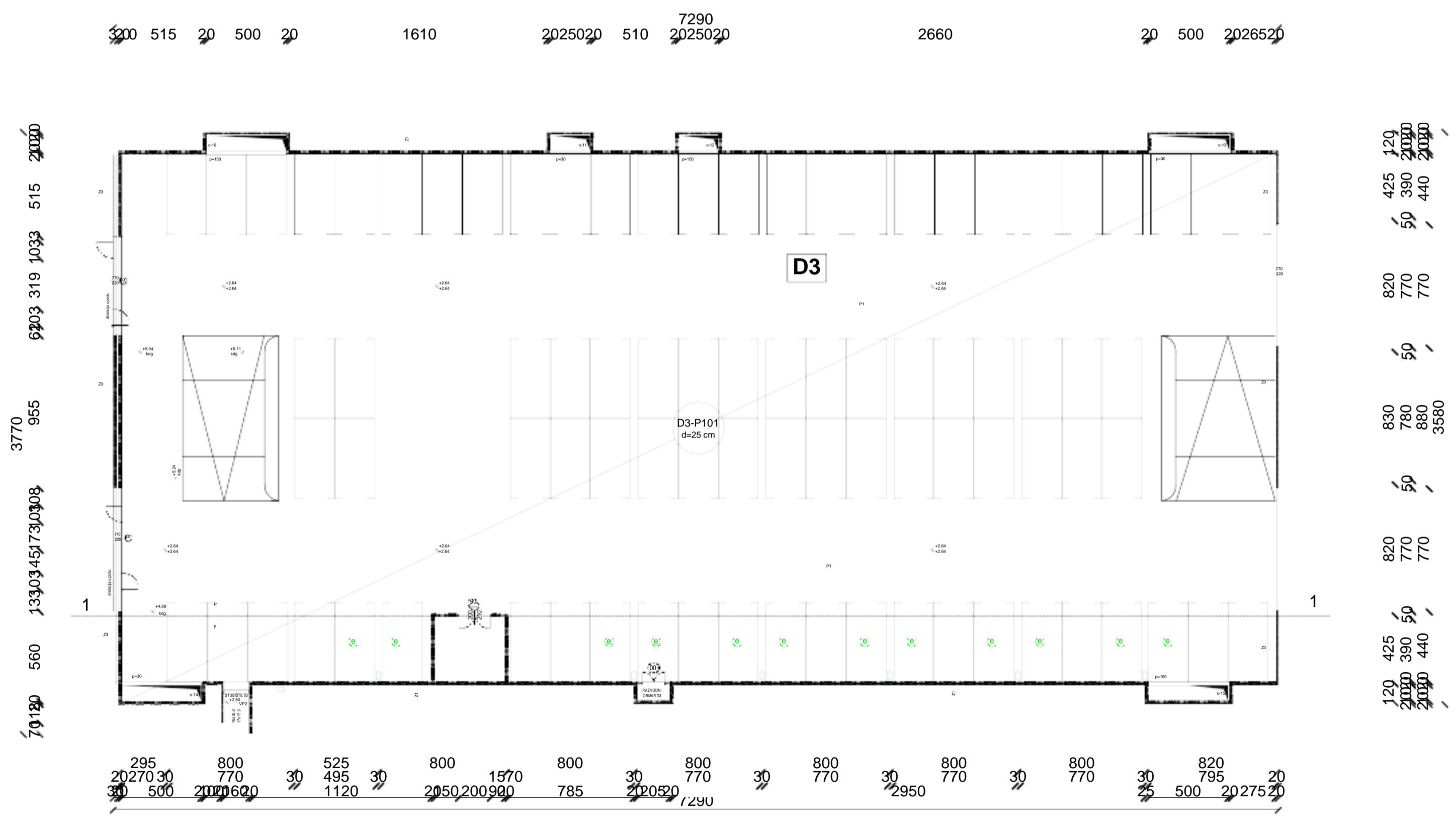
Slika 9.6 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSU-1

## 10. GRAFIČKI PRILOZI

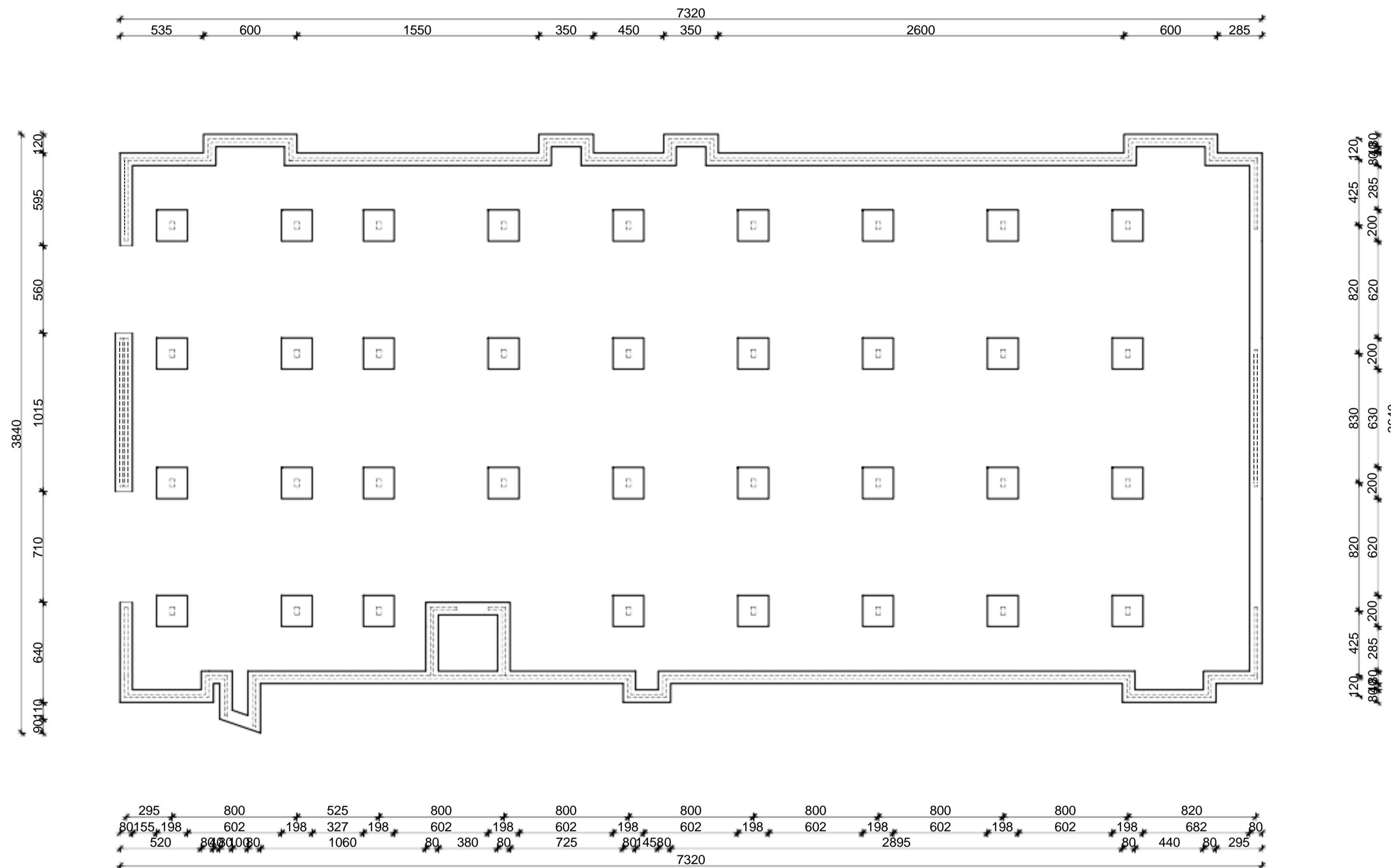
Redom su priloženi:

- Tlocrt karakteristične etaže
- Tlocrt temelja
- Presjek 1-1

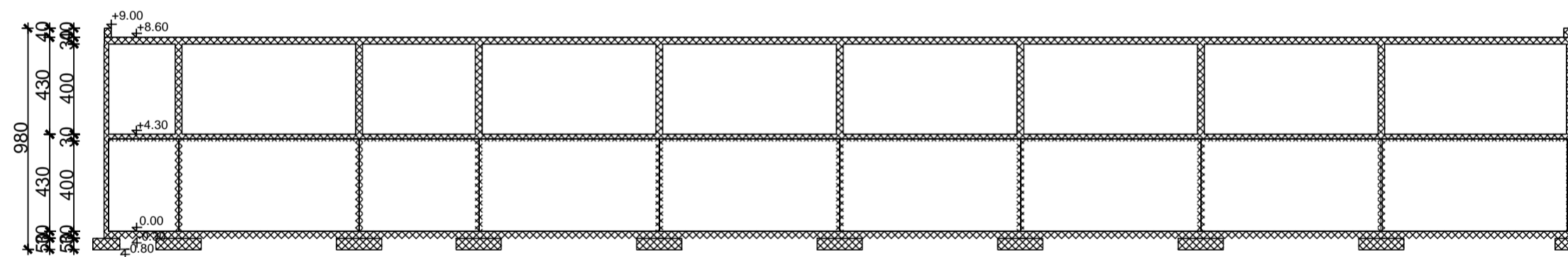
TLOCRT PRIZEMLJA  
 GARAŽE  
 M 1:100



TLOCRT TEMELJA  
GARAŽE  
M 1:100



PRESJEK 1-1  
M 1:100





## 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.