

# Statički proračun stambene zgrade

---

**Vuksan, Martin**

**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:123:564115>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-08**



*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**

**Martin Vuksan**

**Split, 2024.**

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

**Martin Vuksan**

**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: Martin Vuksan

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083223499 (4691)

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. Zgrada se sastoji od prizemlja, jedanaest etaža 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 a residential building**

### ***Abstract:***

The static design of a residential building is presented in this work. The building consists of a ground floor, eleven floors and a flat roof. The supporting structure of the building will be made of reinforced concrete walls and slabs. The project contains: technical description, calculation of load-bearing structural elements and characteristic construction drawings.

### ***Keywords:***

Residential building, Structural analysis

# S a d r Ź a j

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>                            | <b>3</b>  |
| 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine .....        | 3         |
| 1.2. Geotehnički izvještaj .....                         | 3         |
| <b>2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE .....</b>          | <b>4</b>  |
| <b>3. ANALIZA OPTEREĆENJA.....</b>                       | <b>6</b>  |
| 3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....                 | 6         |
| 3.2. Stalno opterećenje ( $G_0$ ).....                   | 6         |
| 3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije .....      | 6         |
| 3.2.2. Krovna ploča.....                                 | 7         |
| 3.2.3. Međukatne ploče.....                              | 8         |
| 3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ ) .....             | 9         |
| <b>4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA.....</b>                | <b>10</b> |
| 4.1. Krovna ploča.....                                   | 10        |
| 4.2. Međukatna ploča.....                                | 11        |
| <b>5. KOMBINACIJE DJELOVANJA .....</b>                   | <b>12</b> |
| <b>6. PRORAČUN PLOČA .....</b>                           | <b>13</b> |
| 6.1. Međukatna ploča.....                                | 13        |
| 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče .....   | 14        |
| 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče ..... | 17        |
| 6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....             | 17        |
| 6.1.4. Kontrola pukotina .....                           | 19        |
| 6.2. Proračun krovne ploče .....                         | 22        |
| 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....       | 23        |
| 6.2.2. Kontrola progiba.....                             | 26        |
| 6.2.3. Kontrola pukotina .....                           | 27        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>7. PRORAČUN AB GREDA .....</b>                | <b>30</b> |
| 7.1. Međukatna greda .....                       | 30        |
| 7.1.1. Prikaz rezultata proračuna .....          | 30        |
| 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja ..... | 31        |
| 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....    | 32        |
| 7.1.4. Kontrola progiba.....                     | 34        |
| 7.1.5. Kontrola pukotina .....                   | 36        |
| <b>8. PRORAČUN ZIDOVA .....</b>                  | <b>38</b> |
| 8.1. Opći uvjeti .....                           | 38        |
| 8.2. Prikaz modela i dijagrama .....             | 39        |
| <b>9. PRORAČUN TEMELJA.....</b>                  | <b>45</b> |
| 9.1. Proračun temeljne ploče .....               | 47        |
| 9.1.1. Model temeljne ploče .....                | 47        |
| 9.1.2. Slijeganje građevine.....                 | 49        |
| <b>10. GRAFIČKI PRILOZI.....</b>                 | <b>50</b> |
| <b>11. LITERATURA .....</b>                      | <b>51</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 dvanaest etaža, pravilnog je tlocrtnog oblika –dimenzija 43,50 x 15,80 m.

Ukupna visina građevine iznosi 37,80 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.

Ravna krovna ploča je debljine 25 cm i izvedena je od armiranog betona.

Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su zidovi debljine 40 cm prve četiri etaže, zatim 30 cm sljedeće četiri etaže i 20 cm posljednje četiri etaže.

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 30/37.

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

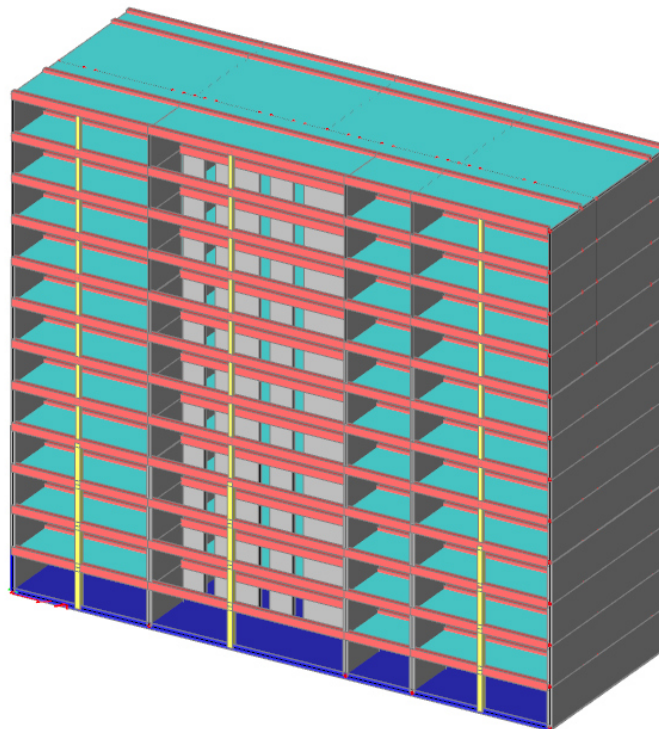
Nakon obavljenog čišćenja temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja.

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.

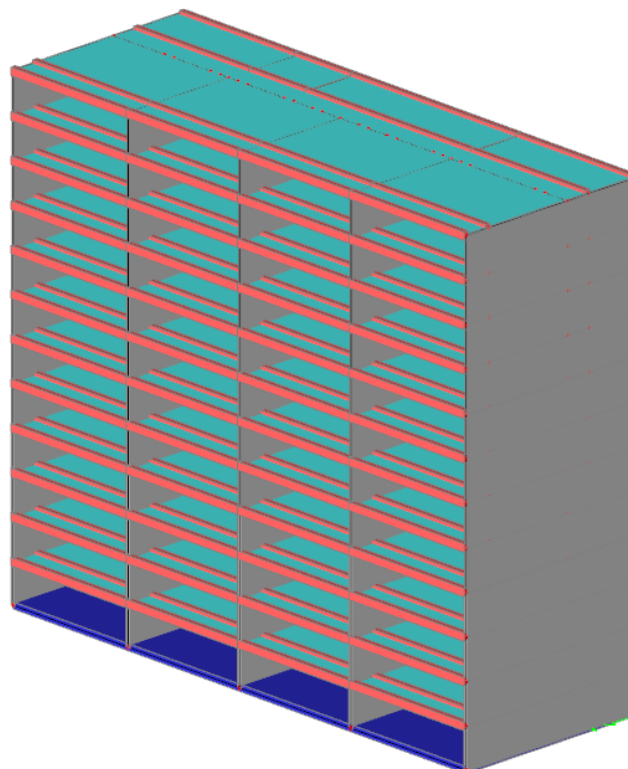
Na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova, dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 400 kPa.



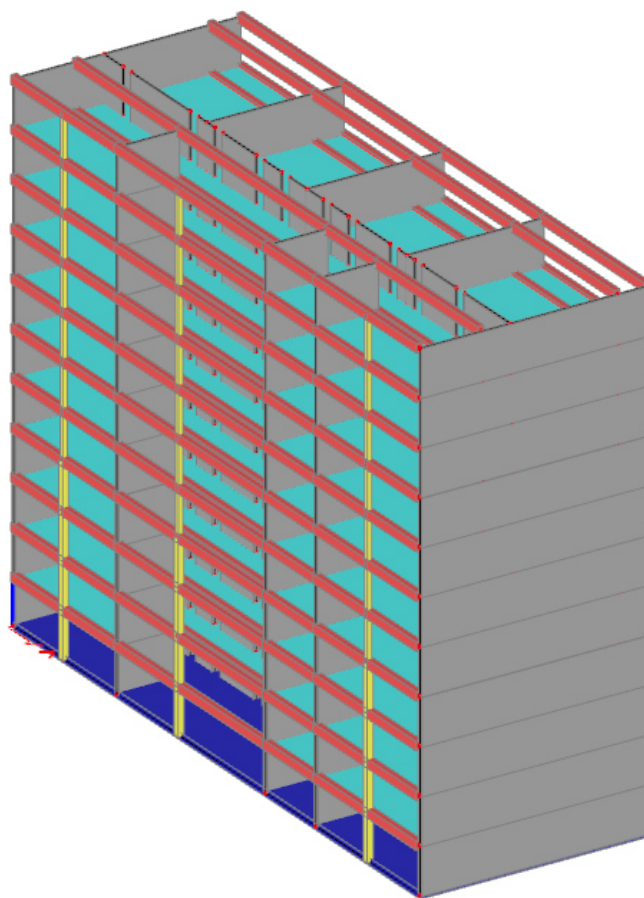
## 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



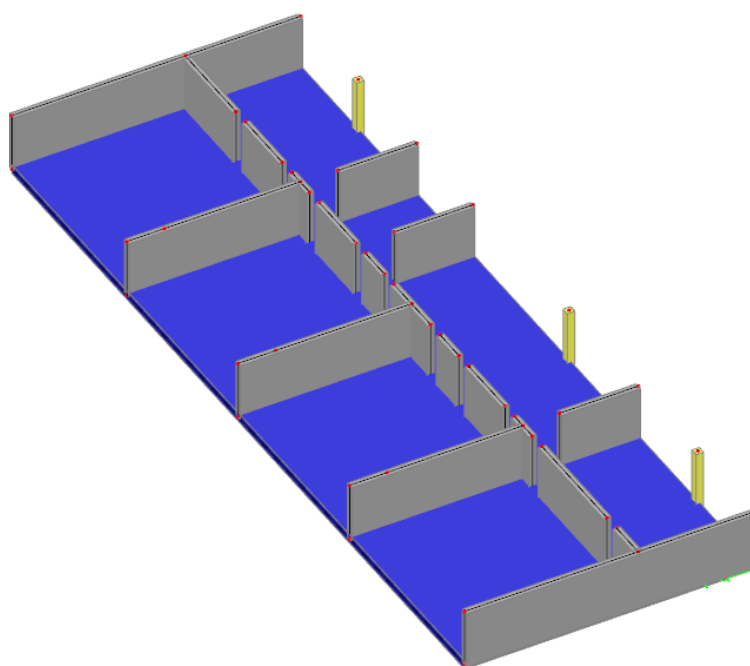
Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled 4

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

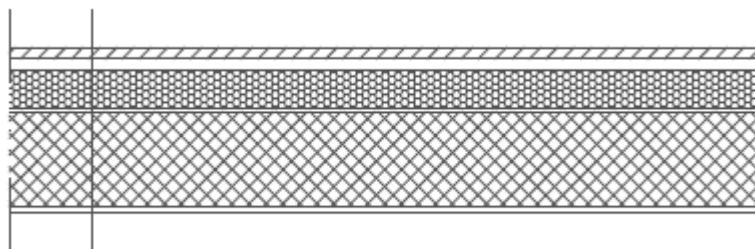
#### 3.2. Stalno opterećenje (G<sub>0</sub>)

##### 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



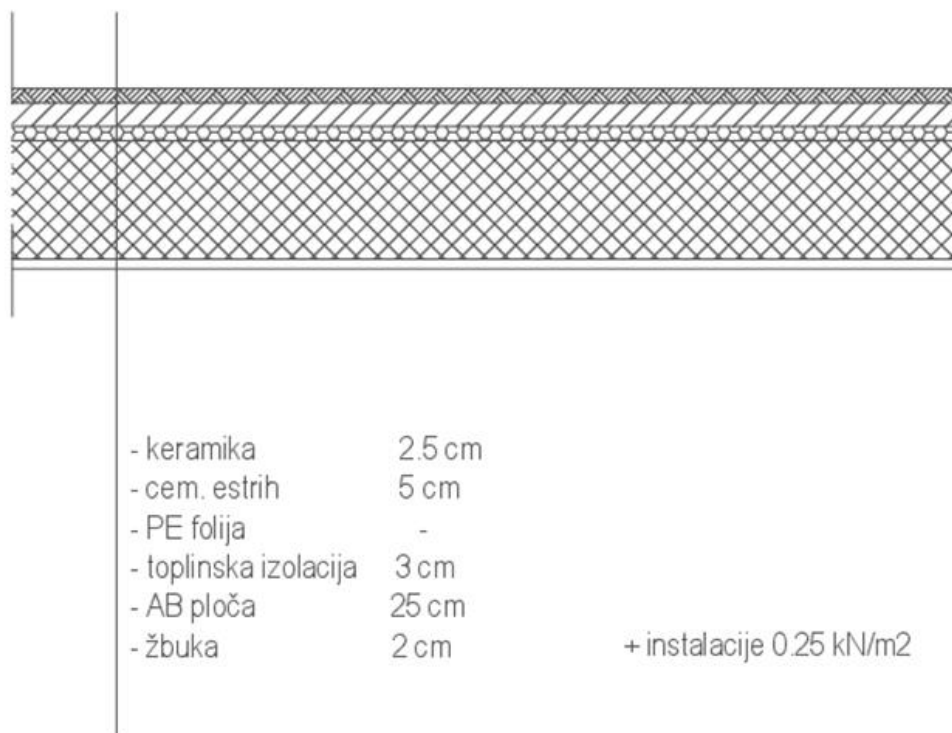
- betonska ploča 3 cm
- podmetači 3 cm
- PE folija -
- hidroizolacija 1.5 cm
- toplinska izolacija 10 cm
- parna brana 1 cm
- AB ploča 25 cm
- žbuka 2 cm

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                                   |
| Toplinska izolacija | 0,10                | 1,50                          | 0,30                                   |
| Parna brana         | 0,01                | 0,15                          | 0,0015                                 |
| AB ploča            | 0,20                | Uključena u SCIA-u            |  |
| Žbuka               | 0,02                | 19,00                         | 0,38                                   |

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 1,52$  (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    | 0,15                | 3,30                          | 0,50                                   |
| 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            | 0,20                | Uključeno u SCIA-u            |  |
| Žbuka               | 0,02                | 0,02                          | 0,38                                   |
| Instalacije         | -                   | -                             | 0,25                                   |

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

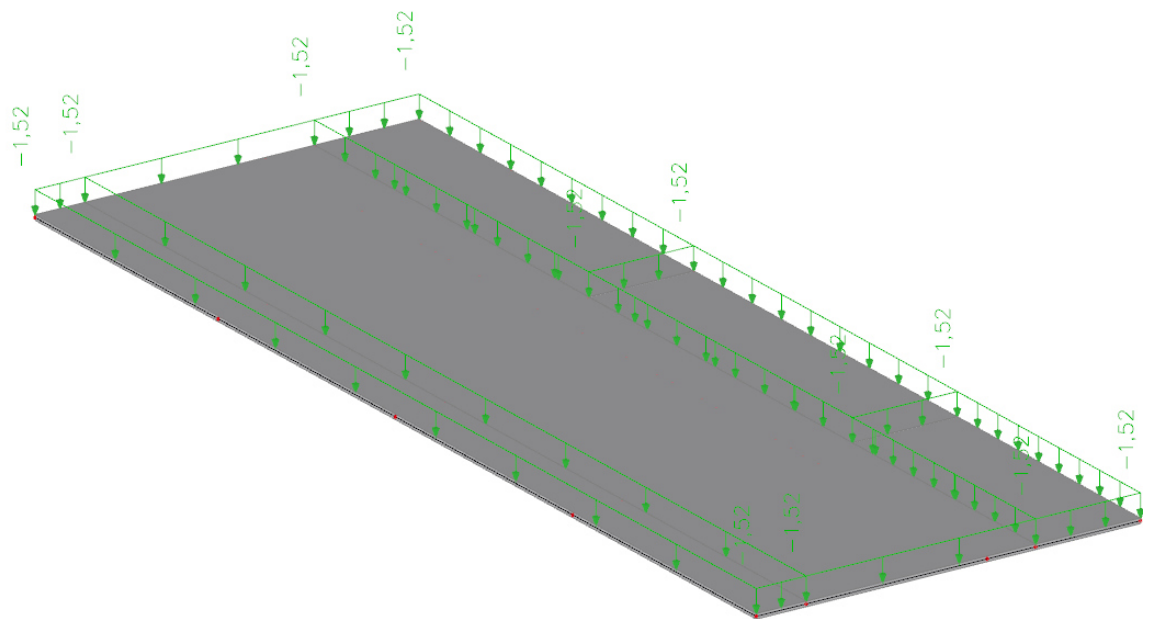
### 3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ )

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:

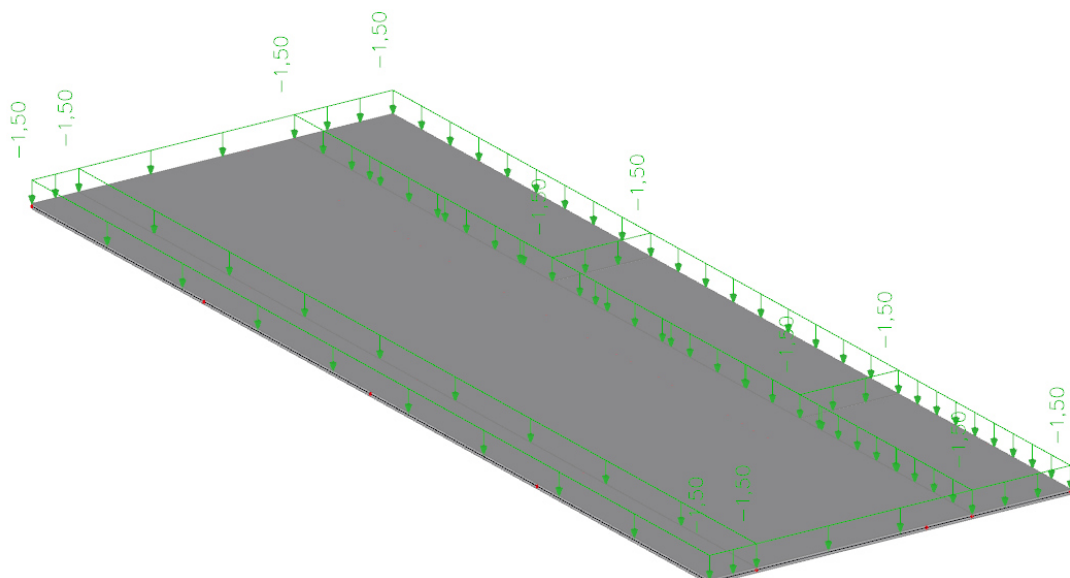
- Ravni krov:  $q = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- Poslovni prostori i stubišta:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$
- Stubišta:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$
- Balkoni i lođe:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

## 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 4.1. Krovna ploča

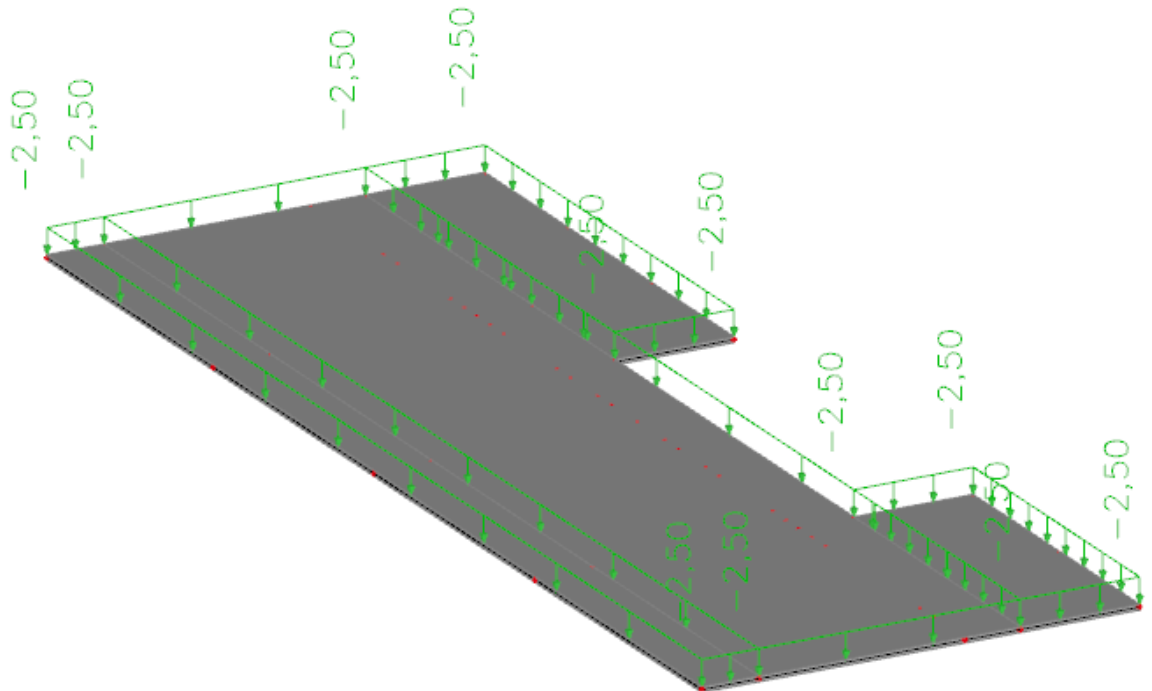


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G_1$  [kN/m<sup>2</sup>]

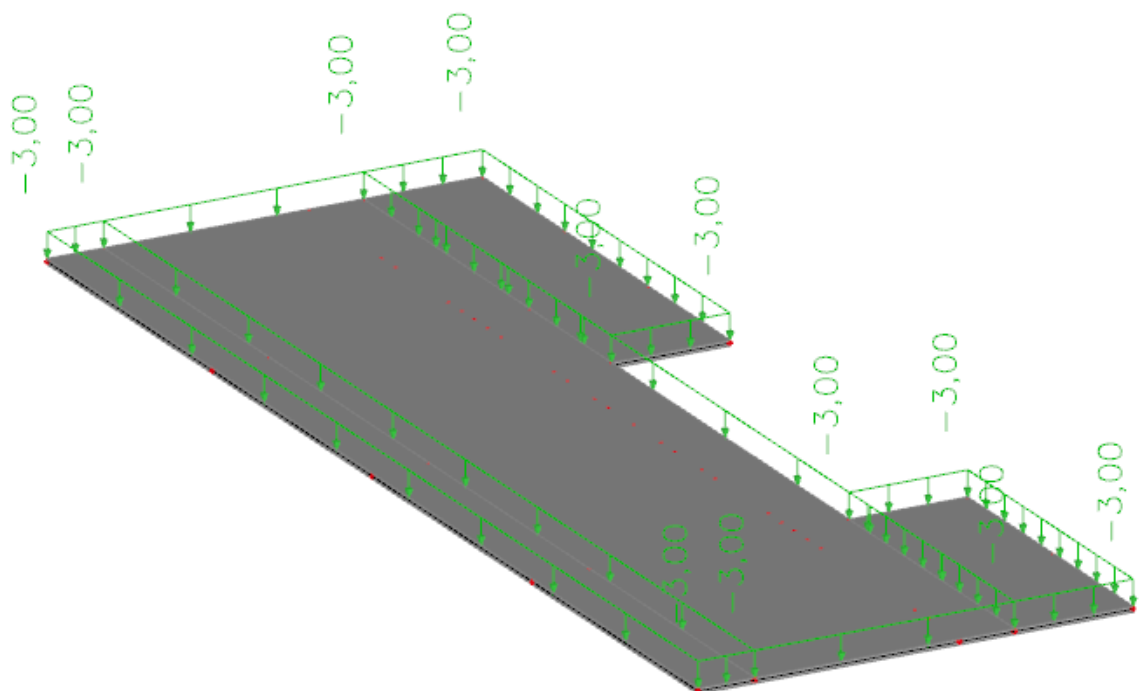


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [kN/m<sup>2</sup>]

## 4.2. Međukatna ploča



Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje  $G_1$  [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**

$$\text{GSN-1 } 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_1$$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

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

Q – uporabno djelovanje

$$\text{GSN-1 } 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_2$$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

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

Q – uporabno djelovanje

- **Granično stanje uporabljivosti**

$$\text{GSU-1 (česta kombinacija) } 1.0 \cdot G + \Psi_{1i} \cdot Q_1$$

$$1.0 \cdot G + 1 \cdot Q_1$$

$$\text{GSU-2 (nazovistalna kombinacija) } 1.0 \cdot G + \Psi_{2i} \cdot Q_2$$

$$1.0 \cdot G + 1 \cdot Q_2$$

## 6. PRORAČUN PLOČA

### 6.1. Međukatna ploča

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.25^2 \cdot 16,67 \cdot 1000 = 165.6 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 25 = 3.75 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{25}{500} = 3.0 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 25 \cdot \frac{16,67}{434.80} = 29,72 \text{ cm}^2 / m$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 17 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.15$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1.89 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.89$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3,85}{25 \cdot 100} = 0.00154$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.89 \cdot (100 \cdot 0.00154 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 250$$

$$V_{Rd,c} = 88.86 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

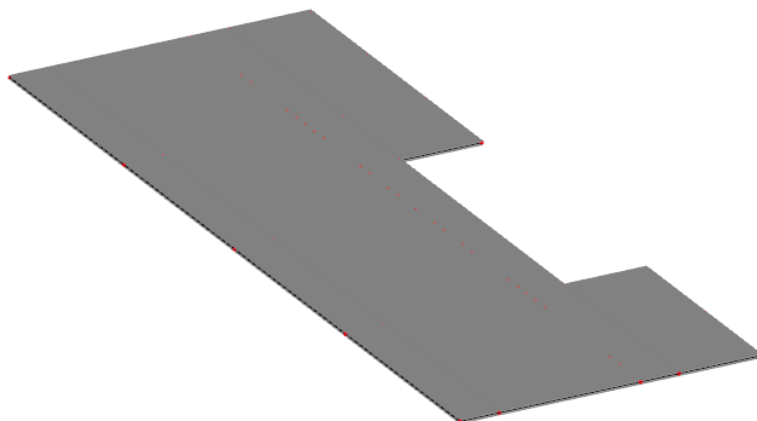
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.89^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.455$$

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

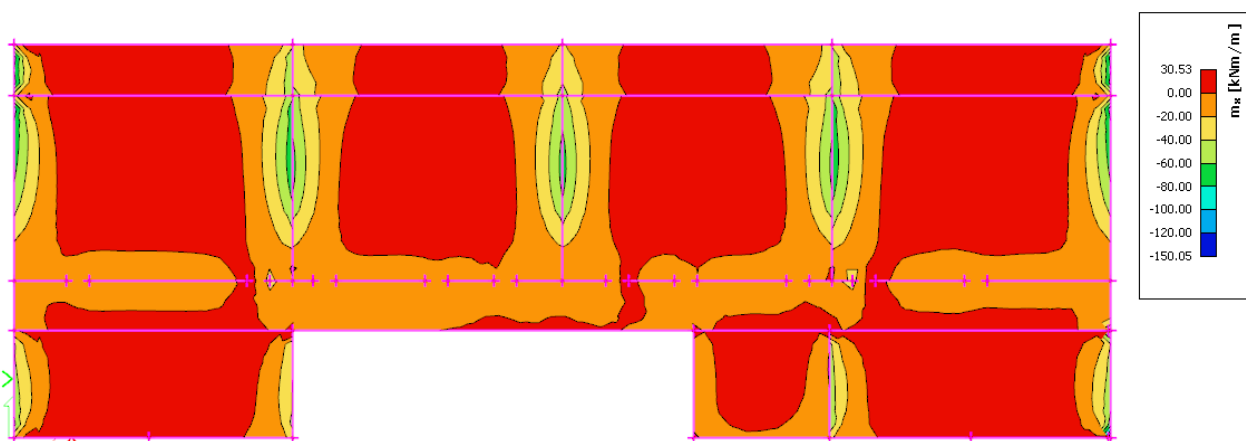
$$V_{Rd,c,min} = 0.455 \cdot 1000 \cdot 250 = 113.75 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

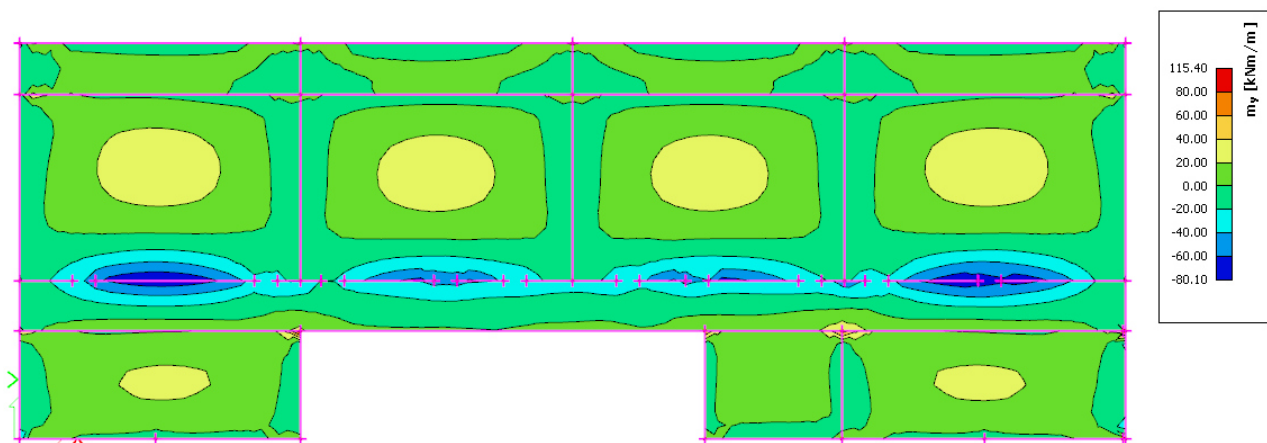
### 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče



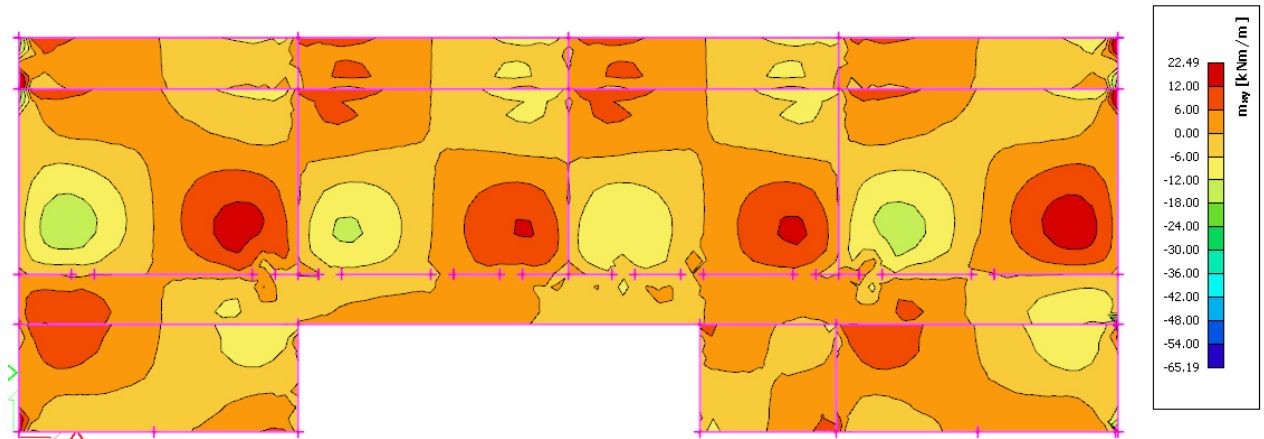
Slika 6.1 Prikaz modela ploče



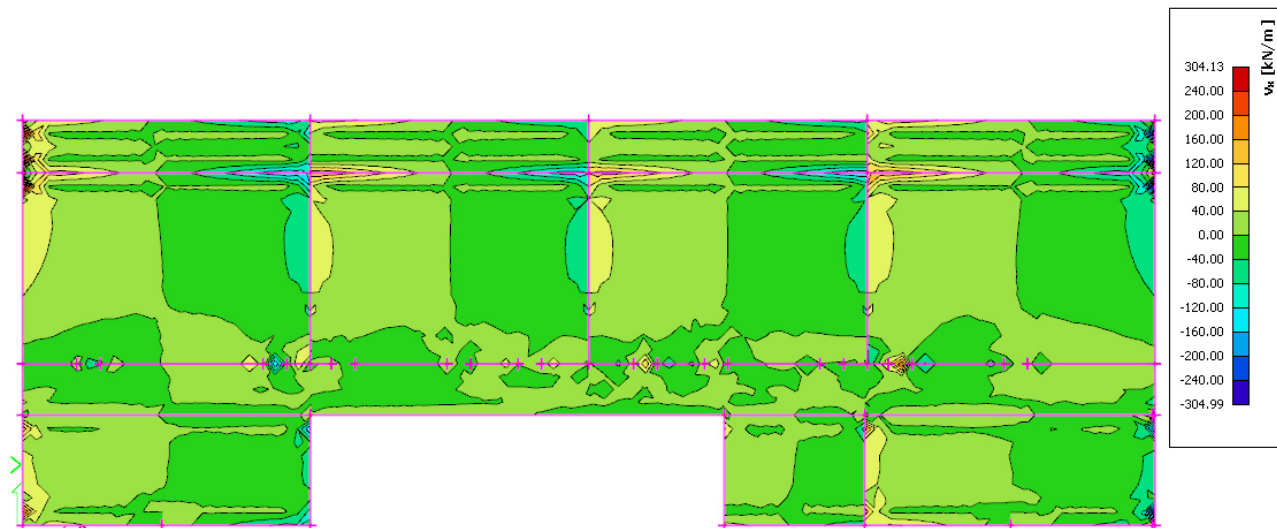
Slika 6.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



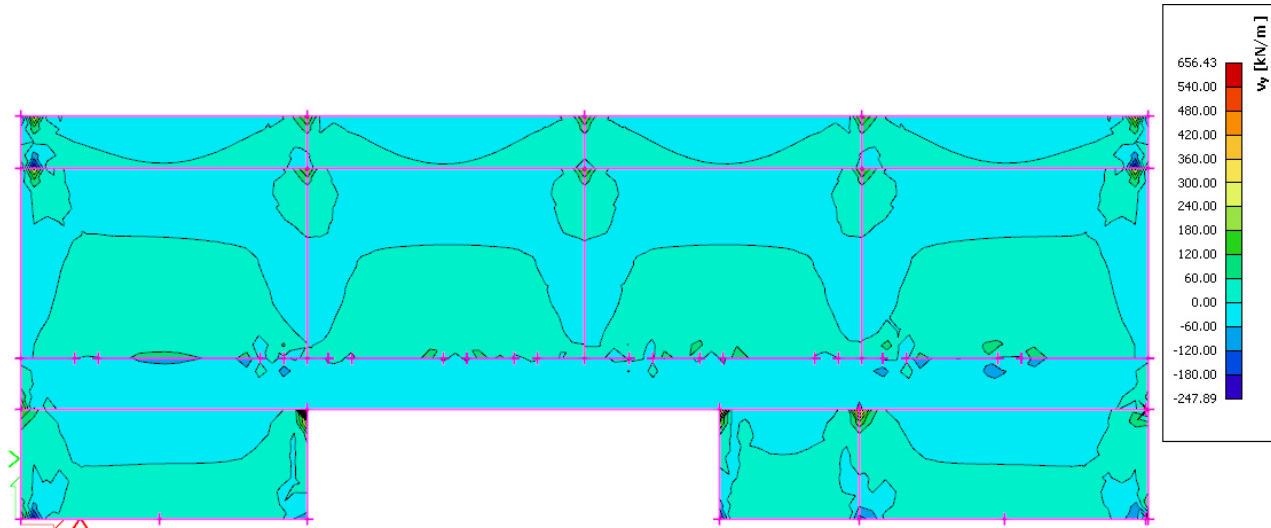
Slika 6.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



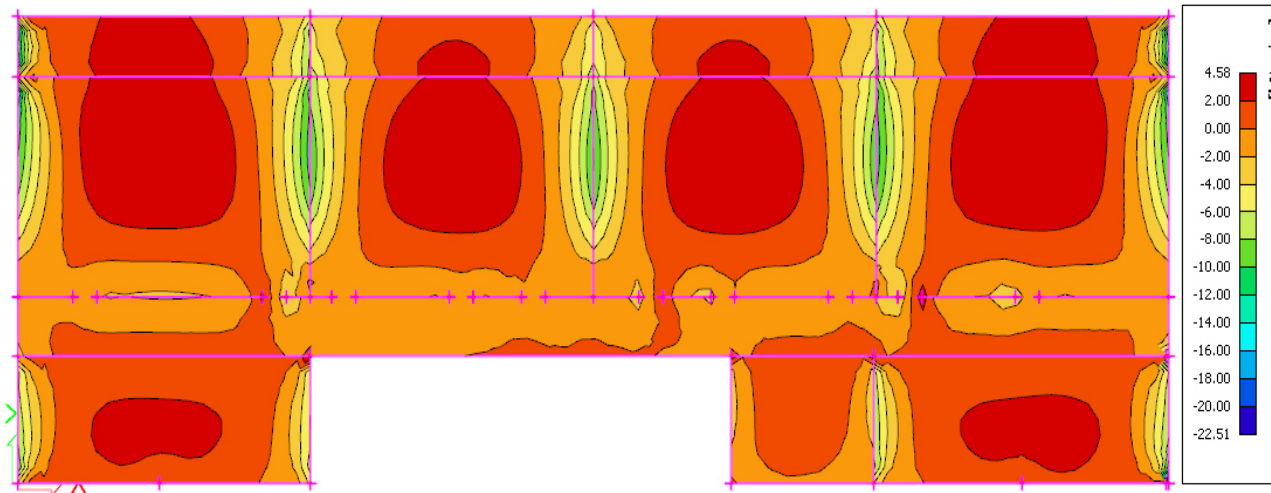
Slika 6.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



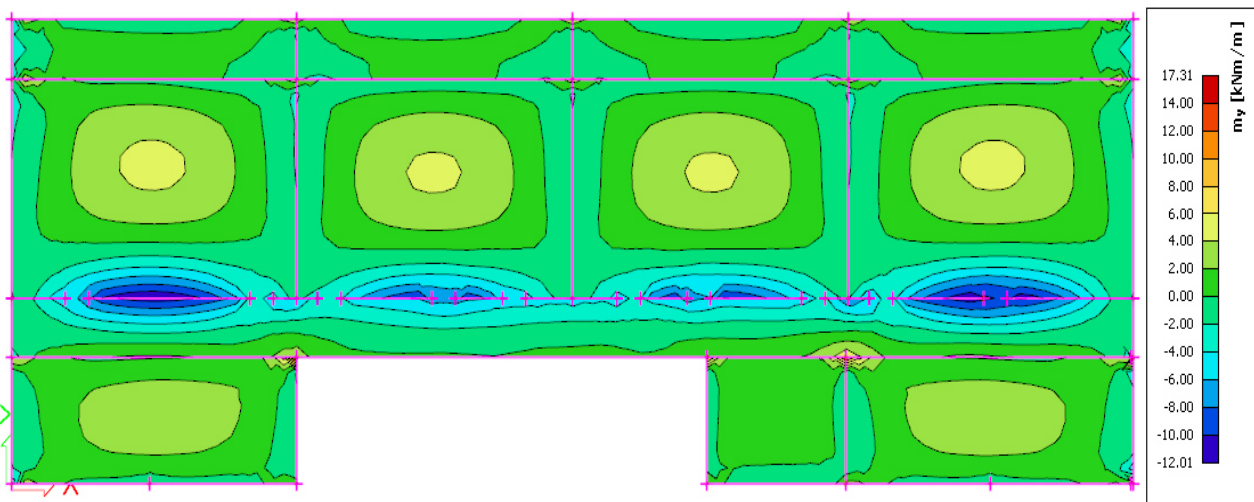
Slika 6.5 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



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



Slika 6.7 Potrebna površina armature  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/m) u x smjeru



Slika 6.8 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:  $A_s = 10.0 \times 0.85 = 8.5 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju:  $A_s = 4.58 \times 1.30 = 5.95 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj: Q-785 ( $7.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ ) + 2 $\emptyset$  10 (mm)

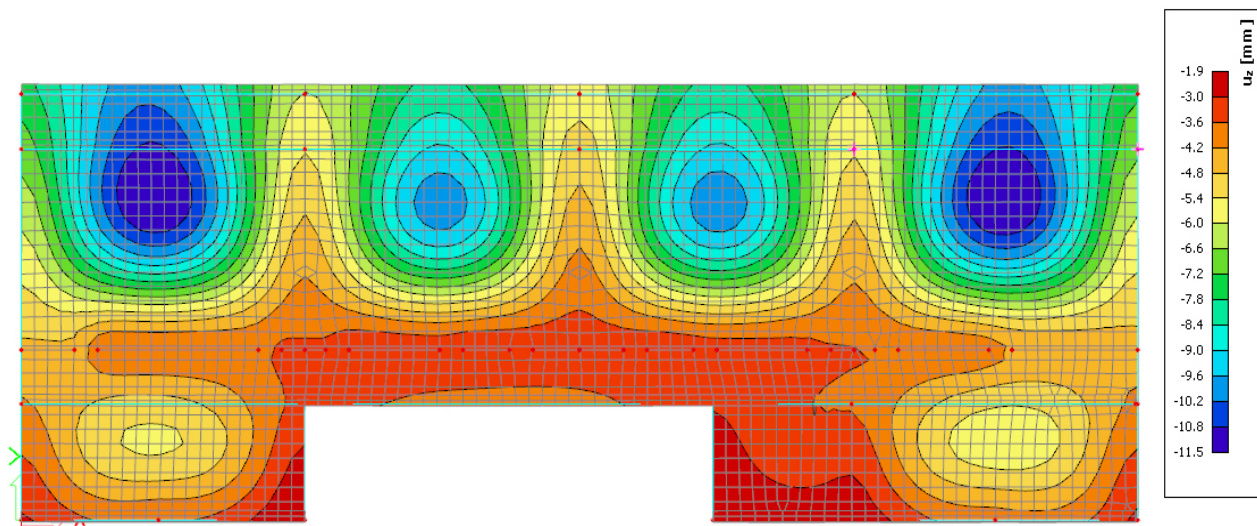
Polje: Q-636 ( $6.36 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

### 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  $11.25 - 1.9 = 9.35 \text{ mm}$ .

Dozvoljen progib  $L/1000 = 11400/1000 = 11.4 \text{ mm}$

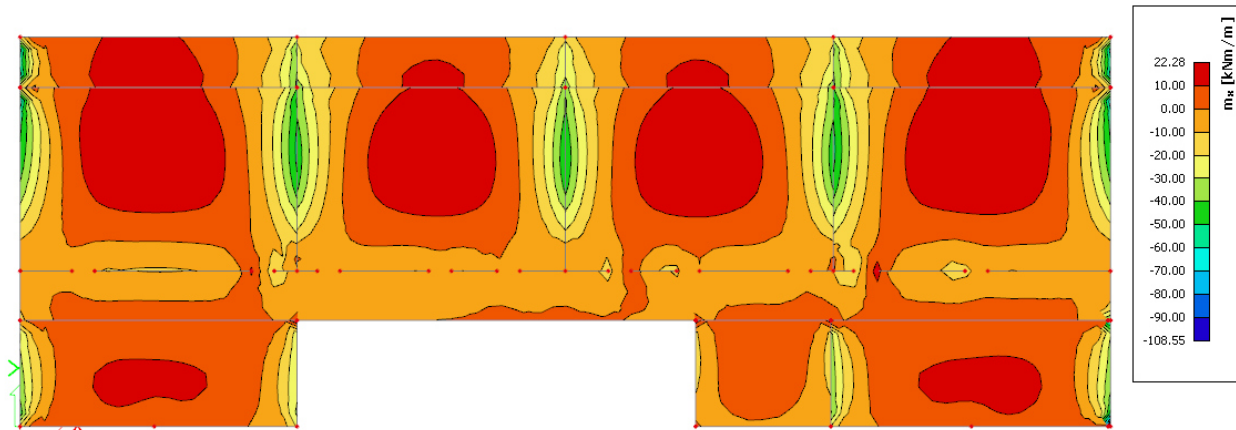
Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

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

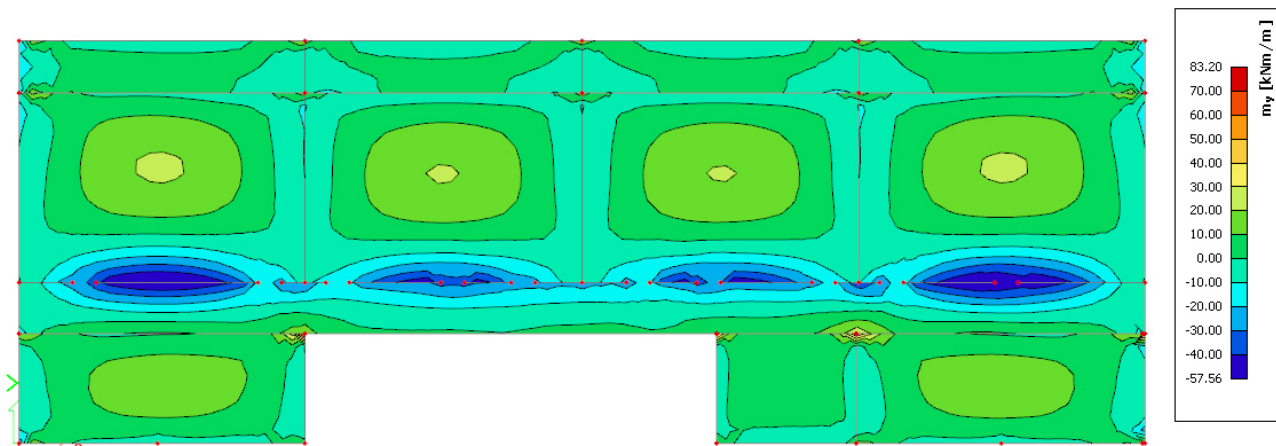
Kod 3-D modela koji su modelirani sa realnim karakteristikama tla bilo bi poželjno napraviti poseban model ploče karakteristične etaže.

### 6.1.4. Kontrola pukotina

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



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



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

Mjerodavni moment  $M = 22.28 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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



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

$$x = \frac{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 9.42}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 25}{6.45 \cdot 9.42}} \right) \\ = 4.94 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2228}{\left(25 - \frac{4.94}{3}\right) \cdot 9.42} = 10.13 \frac{kN}{cm^2} = 101.3 MPa$$

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

$A_{s1} = Q - 785 = 7.85 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 31.0 \text{ GPa} = 31\,000 \text{ MPa}$  – 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:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{9.42}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.01256$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{101.3 - 0.4 \frac{2.6}{0.01256} (1 + 6.45 \cdot 0.01256)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{101.3}{200000}$$

$$0.0000589 \geq 0.000304$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000304$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 10.0 \text{ mm}$  –

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{10}{0.01256} = 203.4 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 203.4 \cdot 0.000304 = 0.06 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 6.2. Proračun krovne ploče

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.25^2 \cdot 16,67 \cdot 1000 = 165.6 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 25 = 3.75 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{25}{500} = 3.0 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 25 \cdot \frac{16,67}{434.80} = 29,72 \text{ cm}^2 / m$$

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

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

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1.89 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.89$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3,85}{25 \cdot 100} = 0.00154$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.89 \cdot (100 \cdot 0.00154 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 250$$

$$V_{Rd,c} = 88.86 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

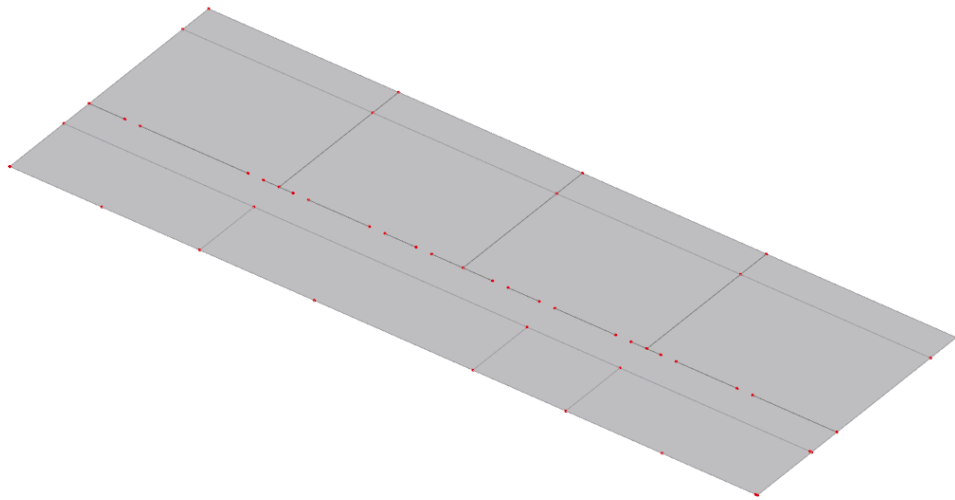
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.89^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.455$$

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

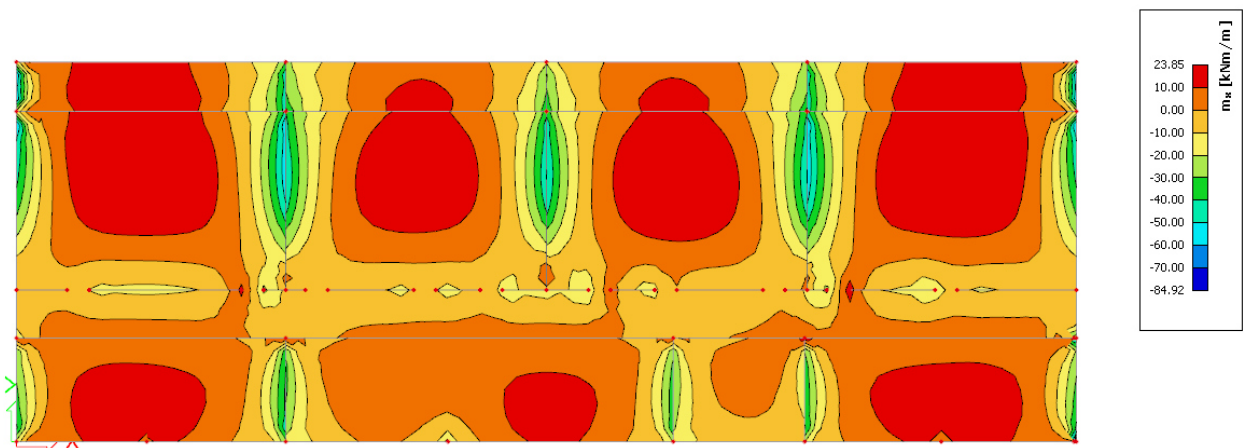
$$V_{Rd,c,min} = 0.455 \cdot 1000 \cdot 250 = 113.75 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

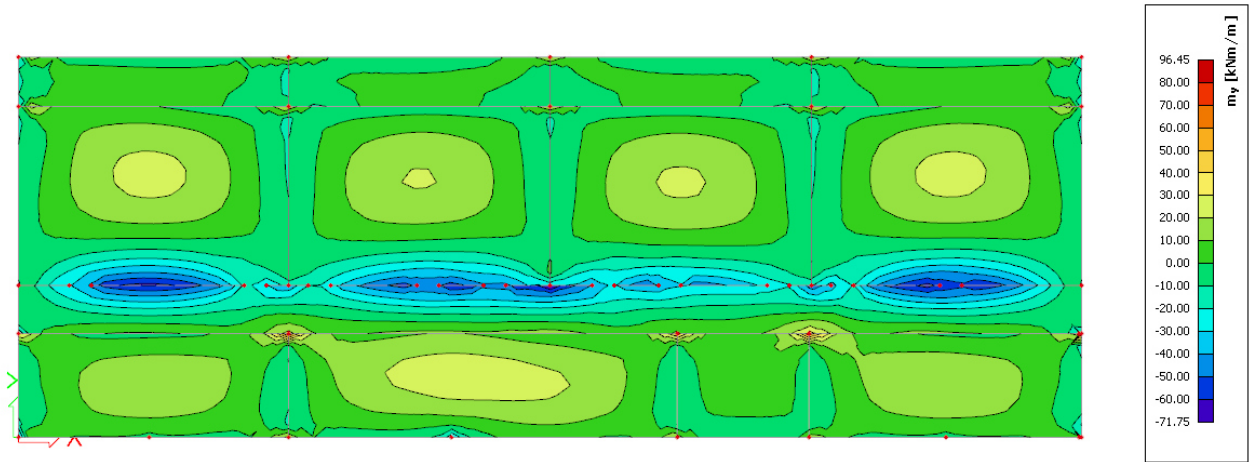
### 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče



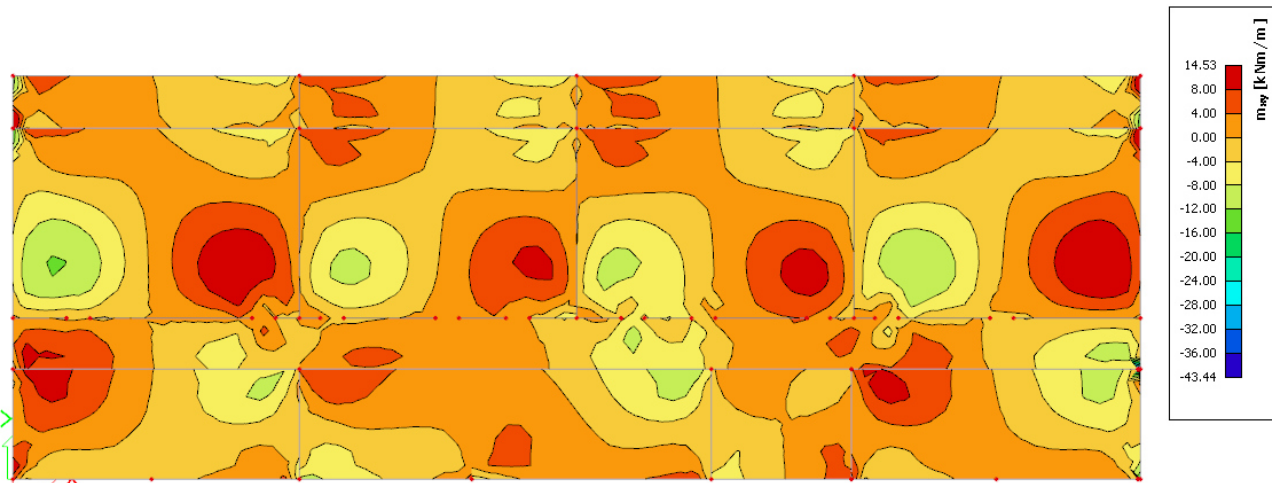
Slika 6.13 Prikaz modela



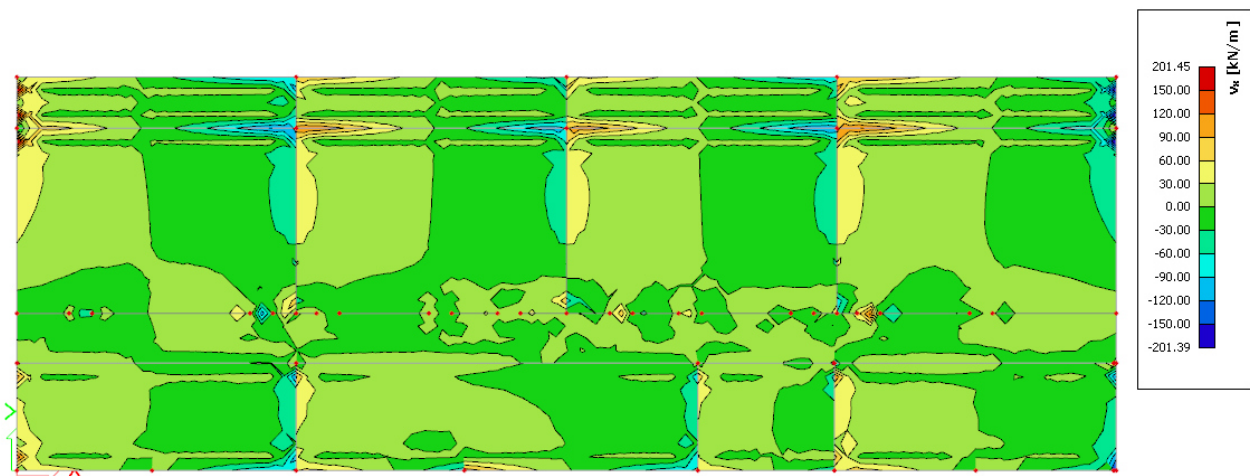
Slika 6.14 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



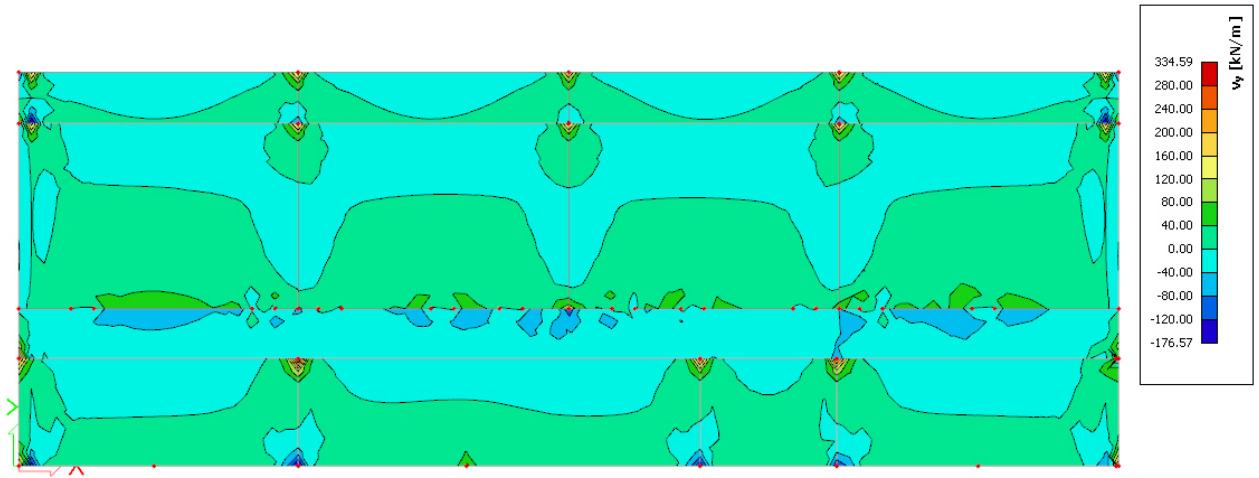
Slika 6.15 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



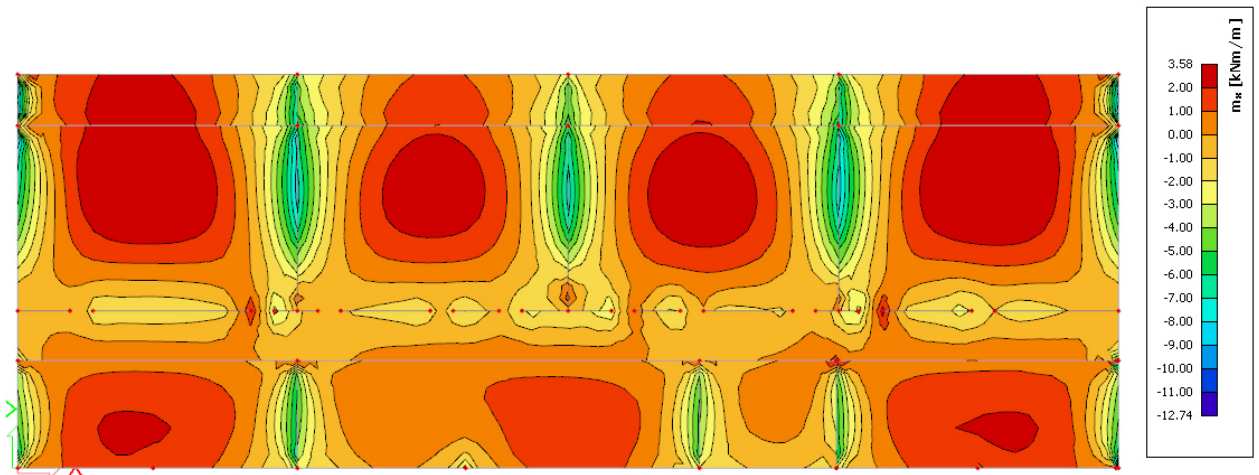
Slika 6.16 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



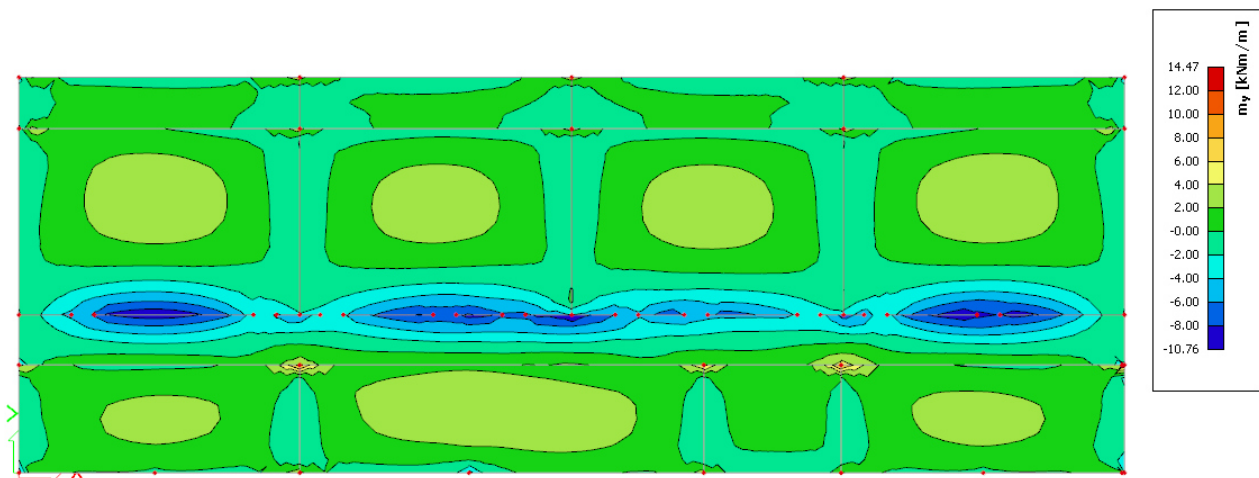
Slika 6.17 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



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



Slika 6.19 Potrebna površina armature  $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$  u x smjeru



Slika 6.20 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:  $A_s = 9 \times 0.85 = 7.65 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

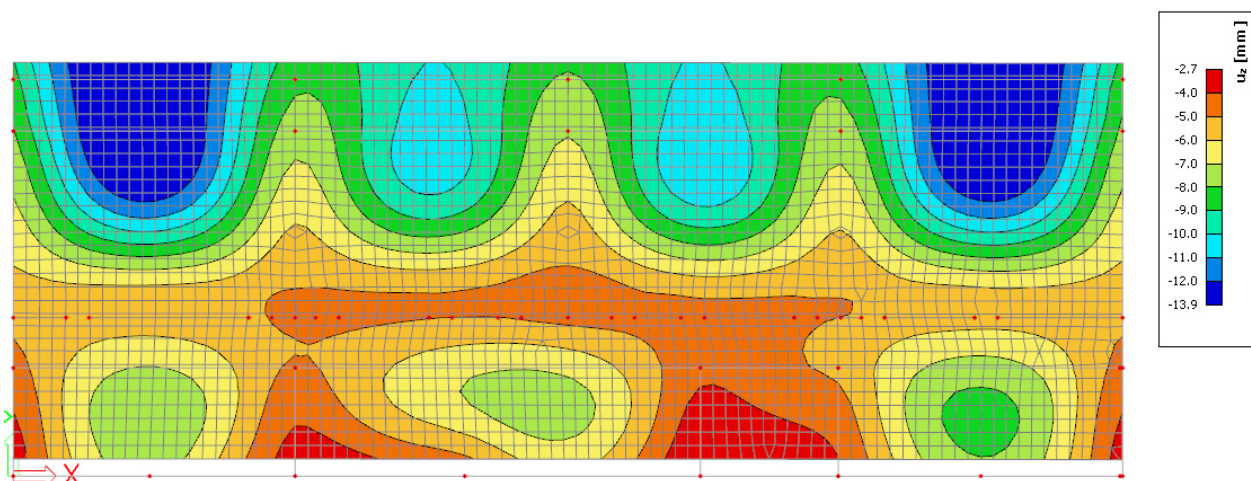
Potrebna armatura u polju:  $A_s = 3.58 \times 1.30 = 4.65 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj: Q-785 ( $7.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

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

### 6.2.2. Kontrola progiba



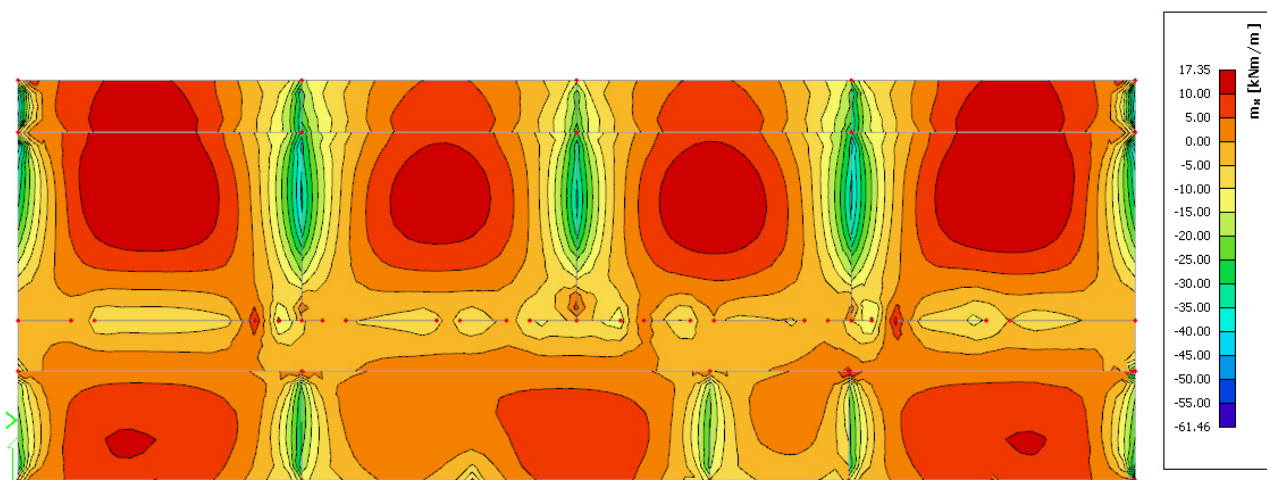
Slika 6.21 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $13.9 - 2.7 = 11.2 \text{ mm}$ .

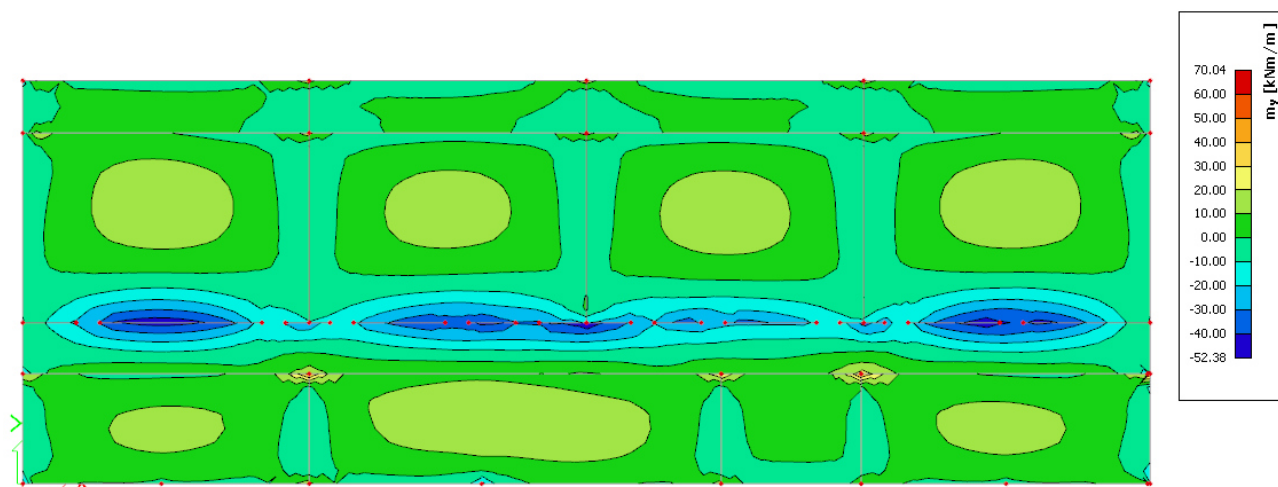
Dozvoljen progib  $L/1000 = 11400/1000 = 11.4 \text{ mm}$

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  $M = 17.35$  kNm/m

Prognozna širina pukotine:

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

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



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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 5.03}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 25}{6.45 \cdot 5.03}} \right) \\ = 3.72 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1735}{\left(25 - \frac{3.72}{3}\right) \cdot 5.03} = 18.39 \frac{kN}{cm^2} = 183.9 \text{ MPa}$$

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

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

$E_{cm} = 31.0 \text{ GPa} = 31\,000 \text{ MPa}$  – 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:

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{183.9 - 0.4 \frac{2.6}{0.0067} (1 + 6.45 \cdot 0.0067)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{183.9}{200000}$$

$$-0.000109 \geq 0.000552$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000552$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 8.0 \text{ mm}$  –

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{8}{0.0067} = 270 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 270 \cdot 0.000552 = 0.149 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Ra,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 0.4 \cdot 0.57^2 \cdot 16.67 \cdot 1000 = 344.46 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 40 \cdot 57 = 3.42 \text{ cm}^2$$

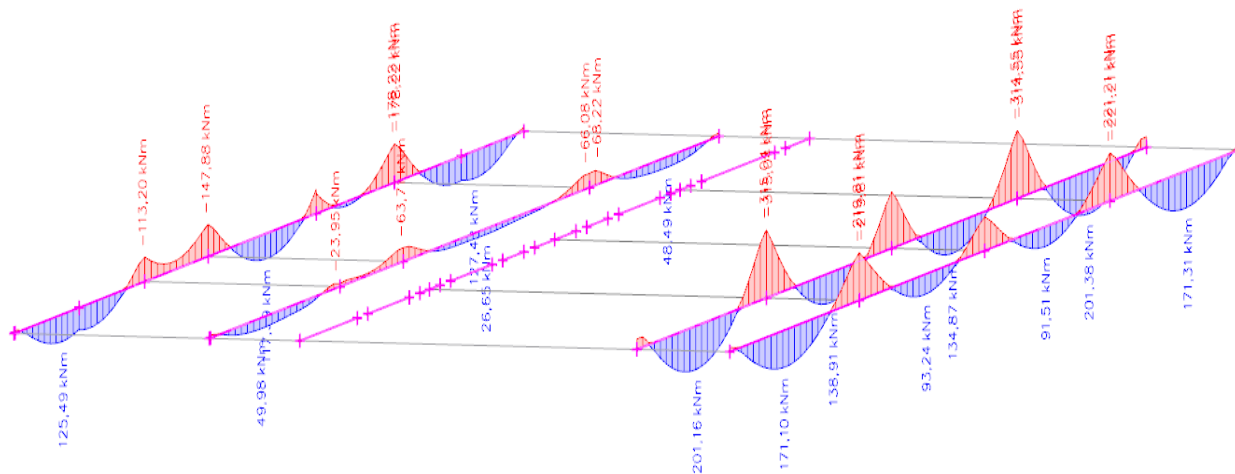
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 143.7 \cdot 57 = 12.86 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 40 \cdot 57 \cdot \frac{16.67}{434.78} = 27.1 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 143.7 \cdot 60 \cdot \frac{16.67}{434.78} = 280.99 \text{ cm}^2$$

### 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%.

$$M_{max}^{polje} = 201.16 \cdot 1.30 = 261,51 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 315.04 \cdot 0.85 = 259.3 \text{ kNm}$$

### 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

#### Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 40 + \frac{0.85 \cdot 1140}{5} = 193.8 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = 261.51 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{261.51 \cdot 100}{193.8 \cdot 57^2 \cdot 16.67} = 0.00249$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.2 \quad \xi = 0.020 \quad \zeta = 0.993$$

$$x = \xi \cdot d = 0.020 \cdot 57 = 1.14 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{261.51 \cdot 100}{0.993 \cdot 57 \cdot 43.48} = 10.63 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø20 ( $A_s = 12.57 \text{ cm}^2$ )

#### Ležaj:

$$M_{Ed} = 259.3 \text{ kNm}$$

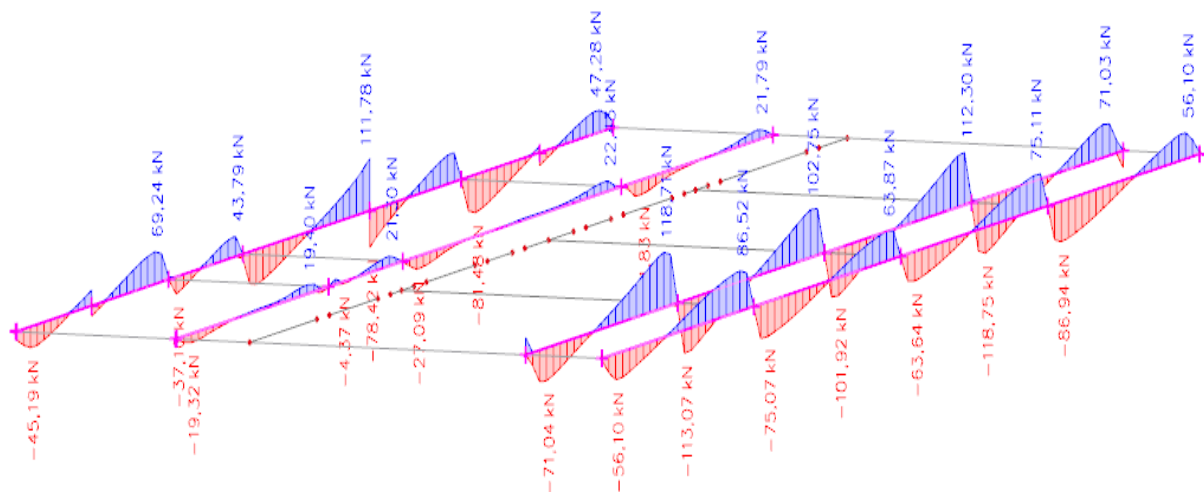
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{259.3 \cdot 100}{40 \cdot 57^2 \cdot 16.67} = 0.0119$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.2 \text{ ‰ } \xi = 0.020 \quad \zeta = 0.993$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{259.3 \cdot 100}{0.993 \cdot 57 \cdot 43.48} = 10.54 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø20 ( $A_s = 12.57 \text{ cm}^2$ )

### 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu



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

$$V_{Ed} = 118.71 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{1140}} = 0.42 \leq 2.0 \rightarrow k = 0.42$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{25.14}{40 \cdot 60} = 0.0105$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 0.42 \cdot (100 \cdot 0.0105 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 400 \cdot 570$$

$$V_{Rd,c} = 329.53 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 0.42^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.048$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.048 \cdot 400 \cdot 570 = 109.44 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 118.71 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.54 \cdot 400 \cdot 570 \cdot 16.67 = 1026.2 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{118.71}{1026.21} \approx 0.116 \rightarrow V_{Ed} = 0.116 V_{Rd,max}$$

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

$$\min\{0.75 \cdot 57 = 42.75, 30.0\} \rightarrow s_{max} =$$

30.0 cm

$$\rho_{min} = 0.0009$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0009 \cdot 30.00 \cdot 40.00}{2} = 0.54 \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 57) \cdot 43.48 \cdot 2 = 117.47 \text{ kN}$$

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

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 57)}{118.71} = 29.7 \text{ cm}$$

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

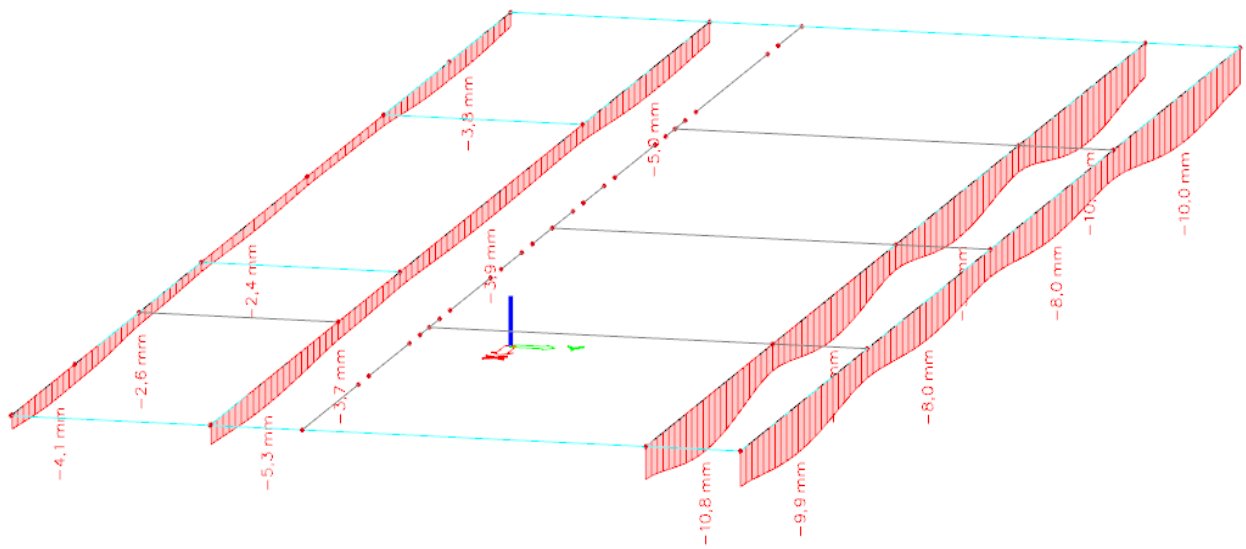
$w_2$  – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

$w_3$  – 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

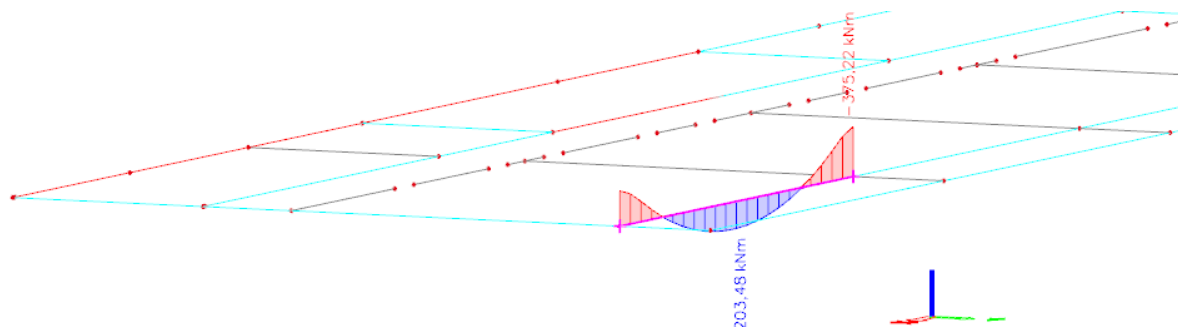
Najveći progib iznosa je 10,8 mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 1140/1000 = 11,4$  mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.



### 7.1.5. Kontrola pukotina



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

$$M_{\max} = 203.48 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 12.57}{40} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 57}{6.45 \cdot 12.57}} \right) = 13.35 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{20348}{\left(57 - \frac{13.35}{3}\right) \cdot 12.57} = 30.80 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 308.1 \text{ MPa}$$

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

$A_{s1} = 4\emptyset 20$  ( $A_s = 12.57 \text{ cm}^2$ )

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{12.57}{40 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.042$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{203.48 - 0.4 \cdot \frac{2.2}{0.042} (1 + 12.57 \cdot 0.042)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{203.48}{200000}$$

$$-0.000857 \geq 0.00061$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000857$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 20.0 \text{ mm}$$

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{20}{0.042} = 149 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 149 \cdot 0.000857 = 0.128 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 8. PRORAČUN ZIDOVA

### 8.1. Opći uvjeti

- Minimalna debljina:  $b_{wo} \geq \max \{0.15 \text{ m}, h_s/20\}$ , ( $h_s$ =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:

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

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:

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

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:  $\rho_{w,min} = 0.15 \cdot (f_{ct,m}/f_{yd})$ .

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

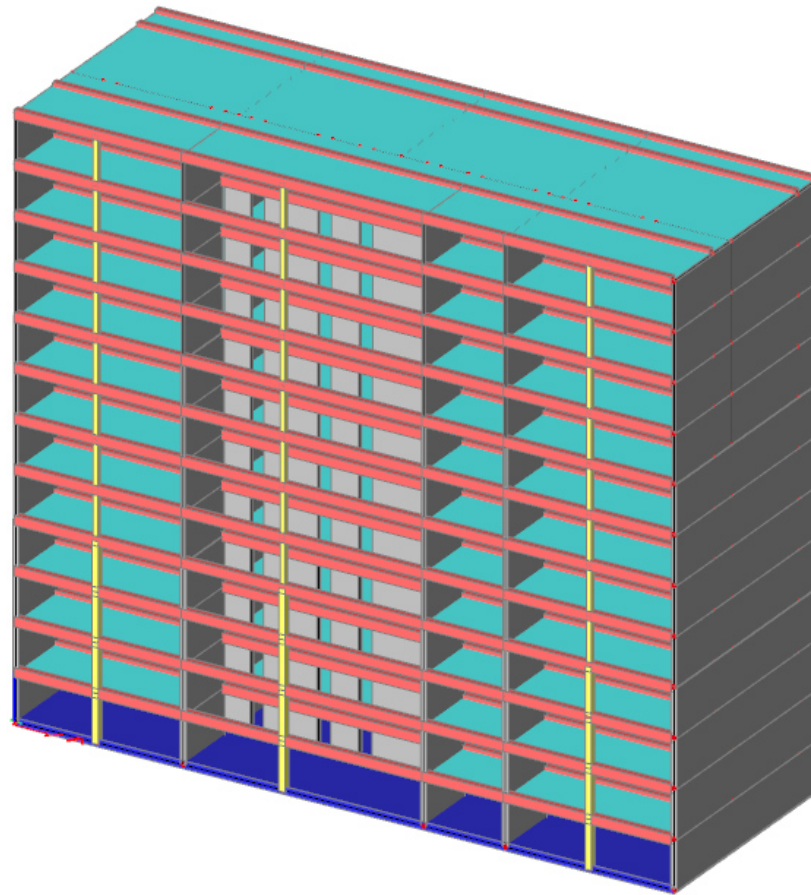
$b_w=16 \text{ cm}; A_{s,min} = 0.0009 \cdot 16 \cdot 100/2 = 0.72 \text{ cm}^2/m$  obostrano

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

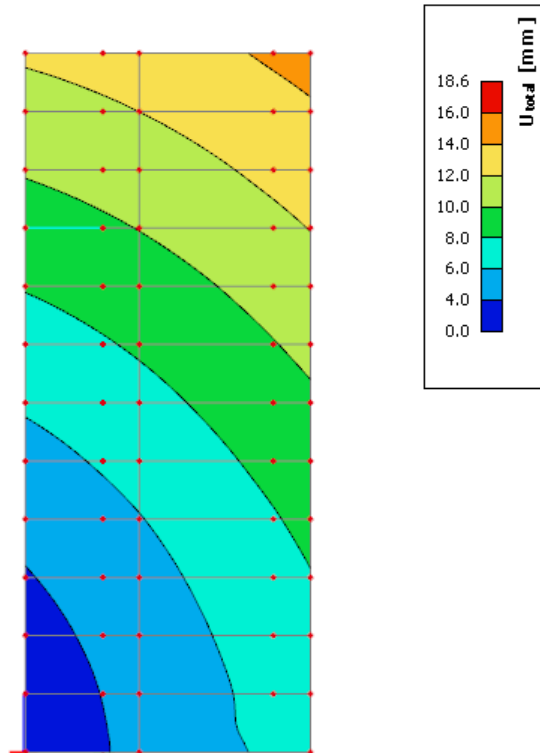
$b_w=30 \text{ cm}; A_{s,min} = 0.0009 \cdot 30 \cdot 100/2 = 1.35 \text{ cm}^2/m$  obostrano

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

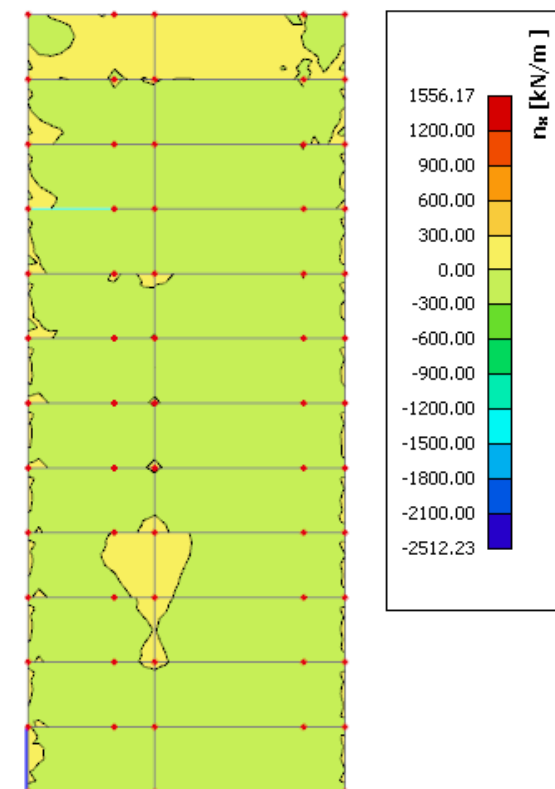
## 8.2. Prikaz modela i dijagrama



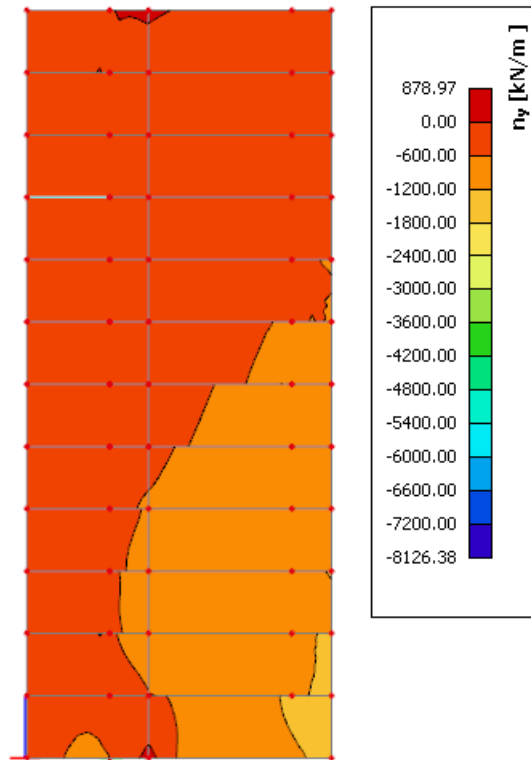
*Slika 8.2.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun*



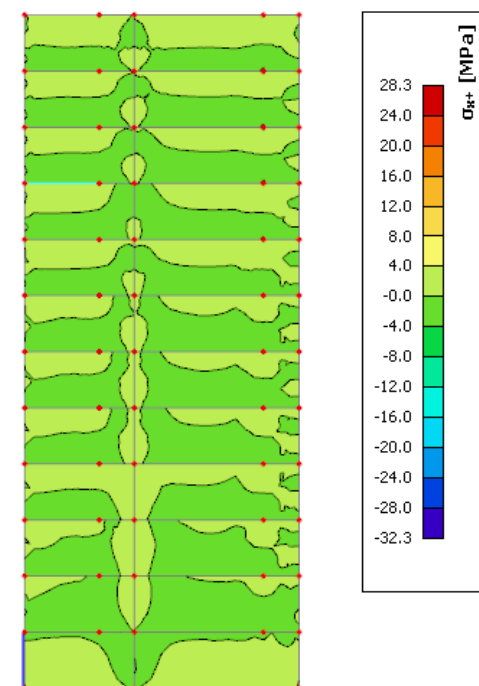
Slika 8.2.2 Pomaci (mm) za nazovistalnu kombinaciju GSU2



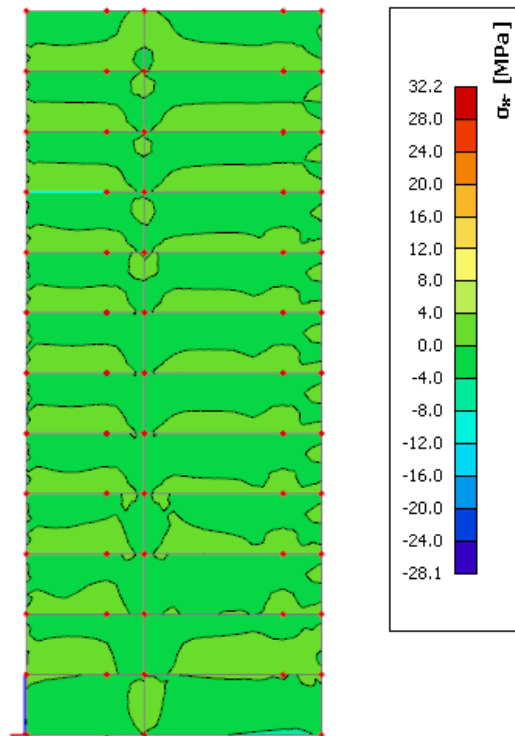
Slika 8.2.3 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru X, u zidovima za anvelopu GSN



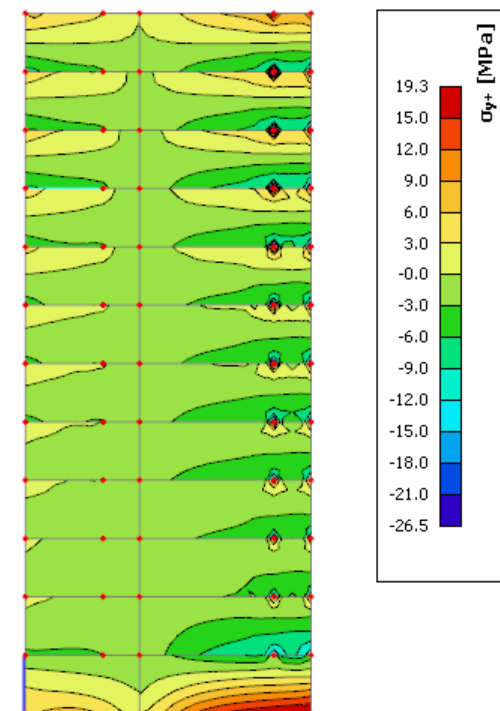
Slika 8.2.4 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru Y, u zidovima za anvelopu GSN



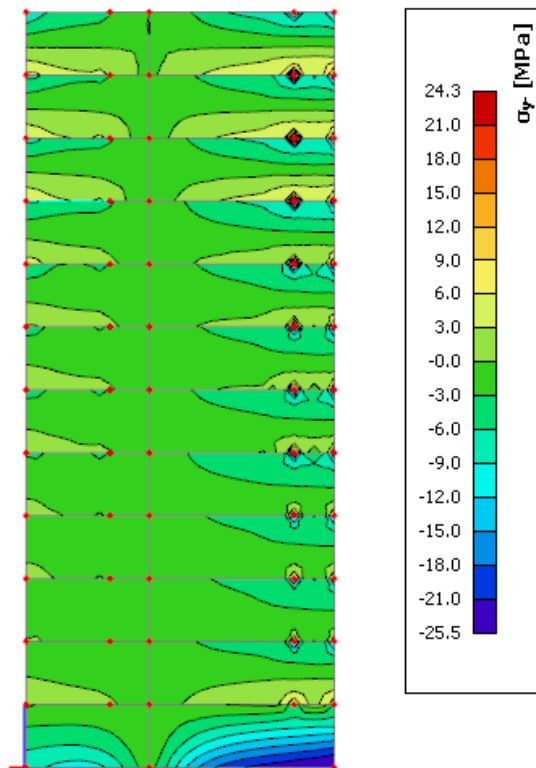
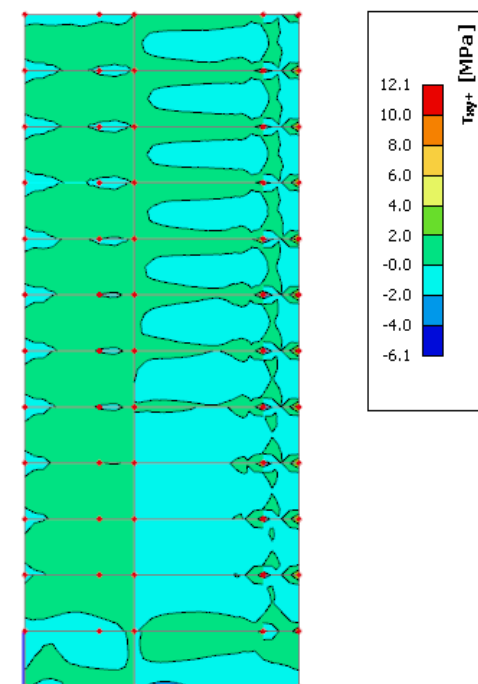
Slika 8.2.5 Naprezanja u zidu  $\sigma_{x+}$  za kombinaciju GSN-1



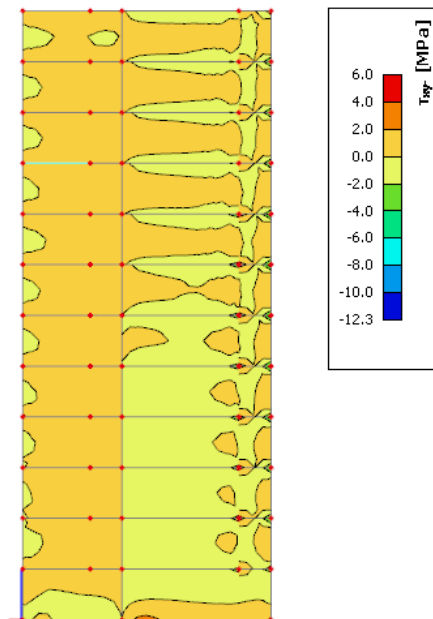
Slika 8.2.6 Naprezanja u zidu  $\sigma_x$ - za kombinaciju GSN-1



Slika 8.2.7 Naprezanja u zidu  $\sigma_{y+}$  za kombinaciju GSN-1

Slika 8.2.7 Naprezanja u zidu  $\sigma_y^+$  za kombinaciju GSN-1Slika 8.2.8 Naprezanja u zidu  $\sigma_y^-$  za kombinaciju GSN-1



Slika 8.2.9 Posmična naprezanja u zidu  $\tau_{xy+}$  za kombinaciju GSN-1Slika 8.2.10 Posmična naprezanja u zidu  $\tau_{xy-}$  za kombinaciju GSN-1

## 9. PRORAČUN TEMELJA

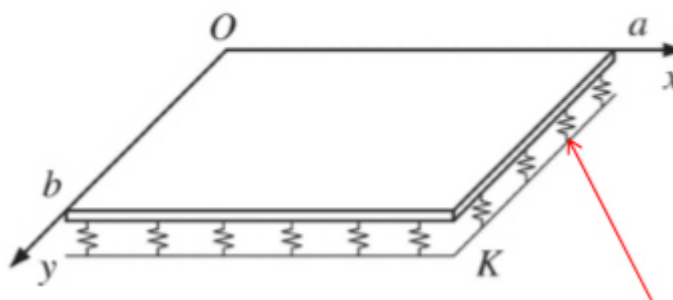
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom temeljne ploče..

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

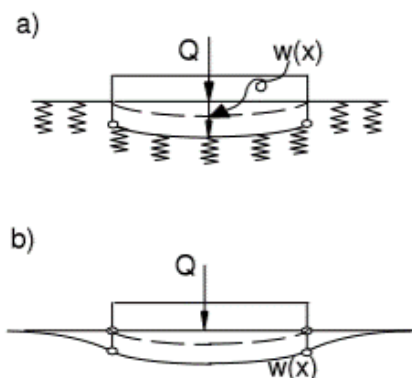
Koeficijent reakcije podloge  $K$  je odnos između dodirnog naprezanja  $q$  kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja  $w$ , koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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.



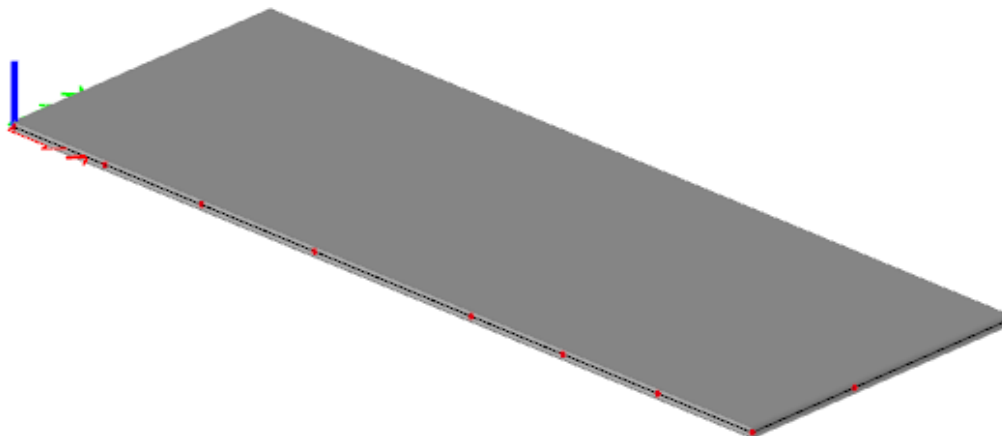
Slika 10.2 Winklerov model (a) i stvarni nosač (b)

Nedostatci ovog modela :

- Opterećenje skraćuje samo ona pera na kojima gređa 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 gređe, svojstvima materijala gređe, svojstvima temeljnog tla ispod gređe

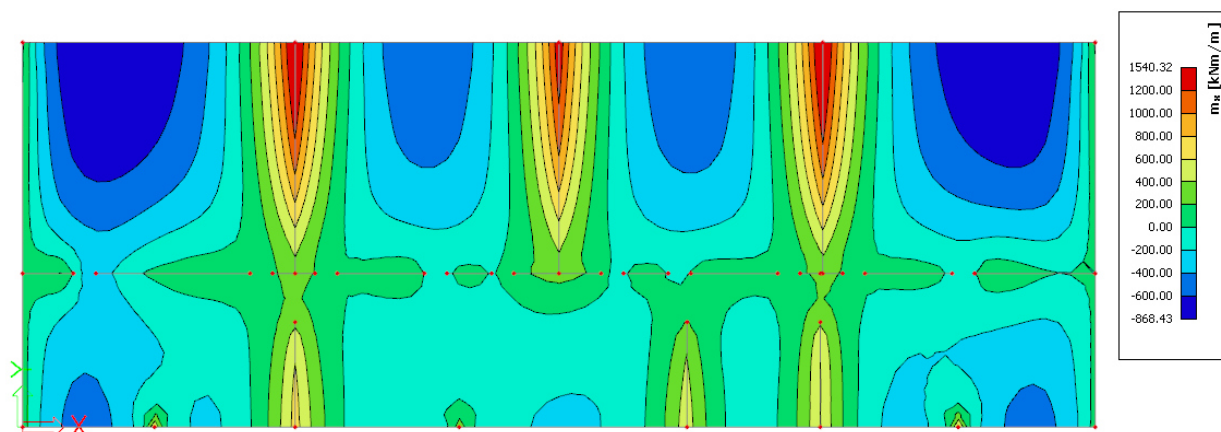
## 9.1. Proračun temeljne ploče

### 9.1.1. Model temeljne ploče

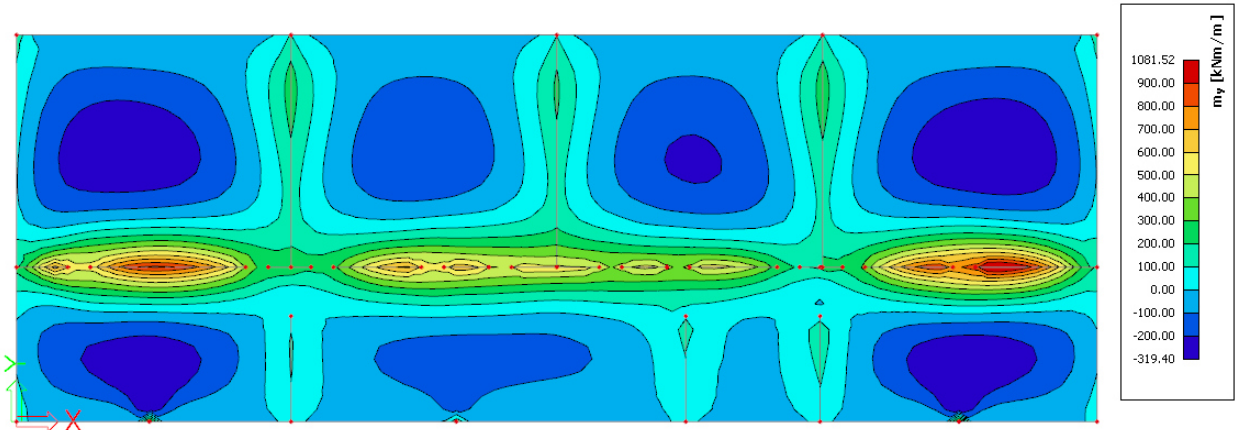


Slika 10.3 Model temeljne ploče

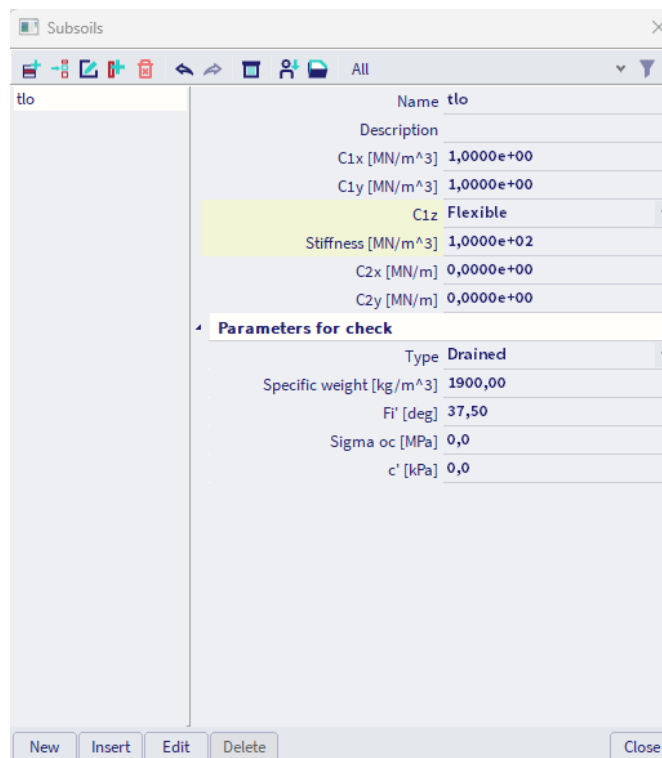
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla. Ostali pomaci i zaokreti su spriječeni.



Slika 10.4 naprezanja u temelju u smjeru osi x za kombinaciju GSN



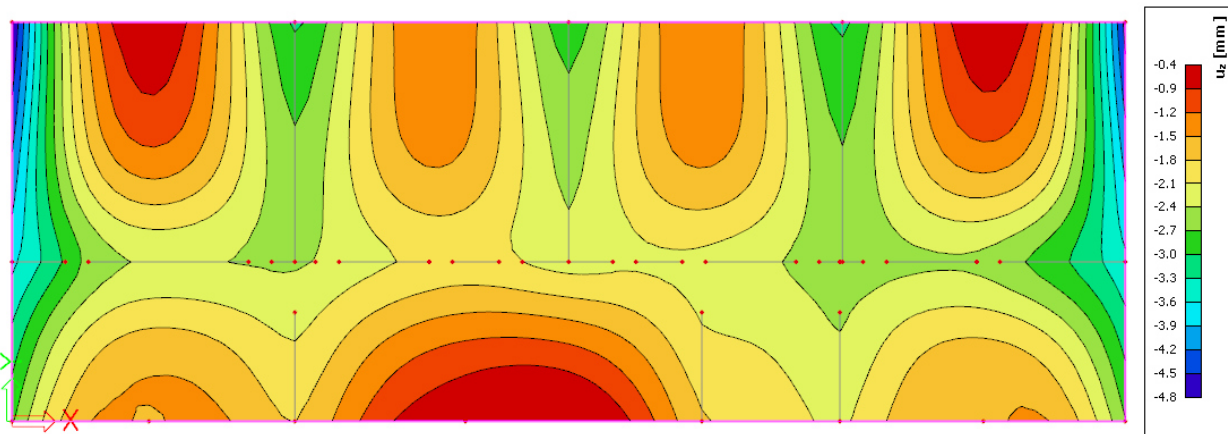
Slika 10.5 naprezanja u temelju u smjeru osi y za kombinaciju GSN



Slika 10.6 Model fleksibilnih linijskih ležajev

### 9.1.2. Slijeganje građevine

Iz dijagrama je vidljivo da su naprezanja ispod temeljne ploče 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 temeljne ploče za kombinaciju GSN

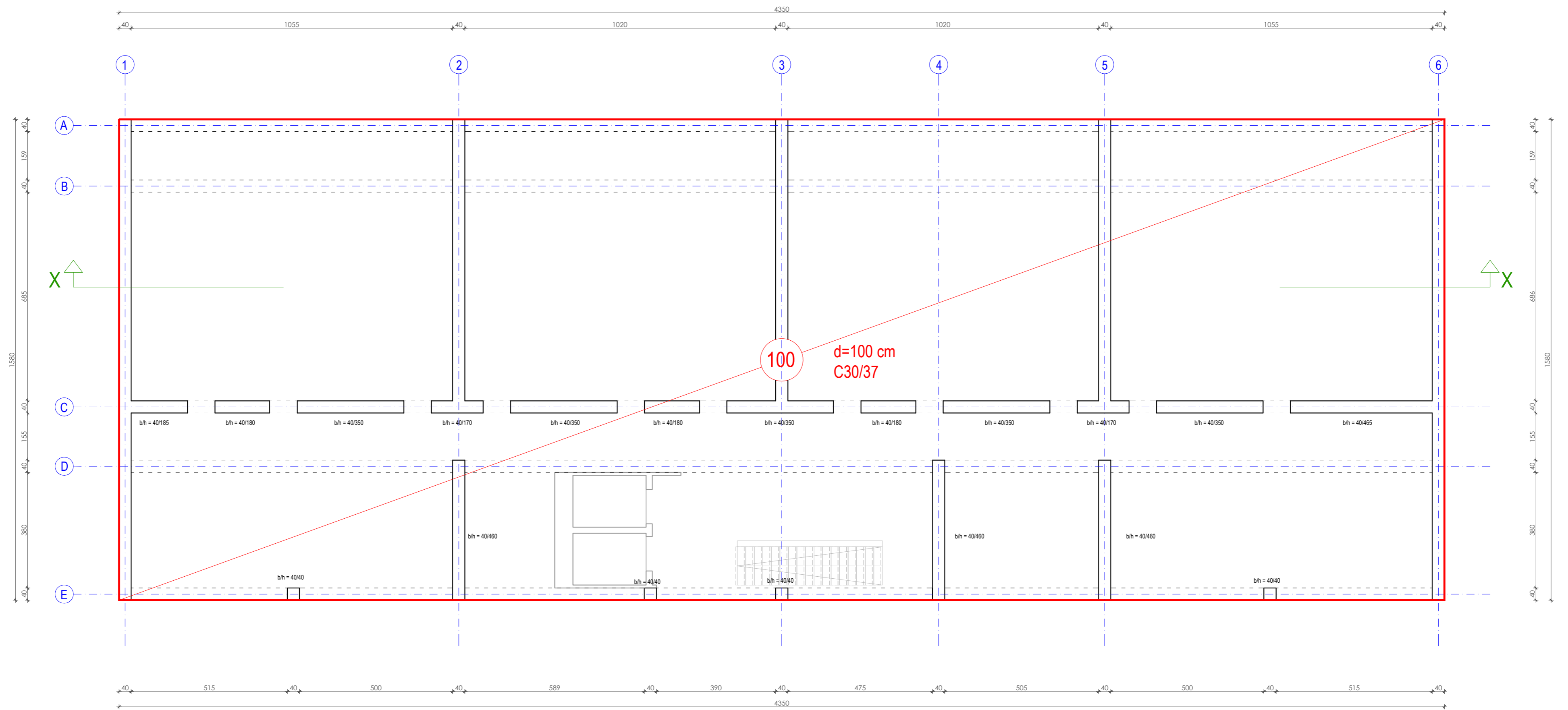
Na slici vidimo da se građevina ravnomjerno slegnula odnosno izbjegli smo pojavu diferencijalnog slijeganja.

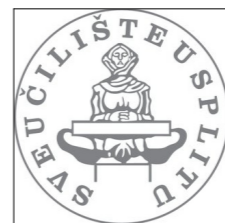

## **10. GRAFIČKI PRILOZI**

Redom su priloženi:

- Tlocrt karakteristične etaže M 1:100
- Presjek 1-1 M 1:100
- Presjek 2-2 M 1:100

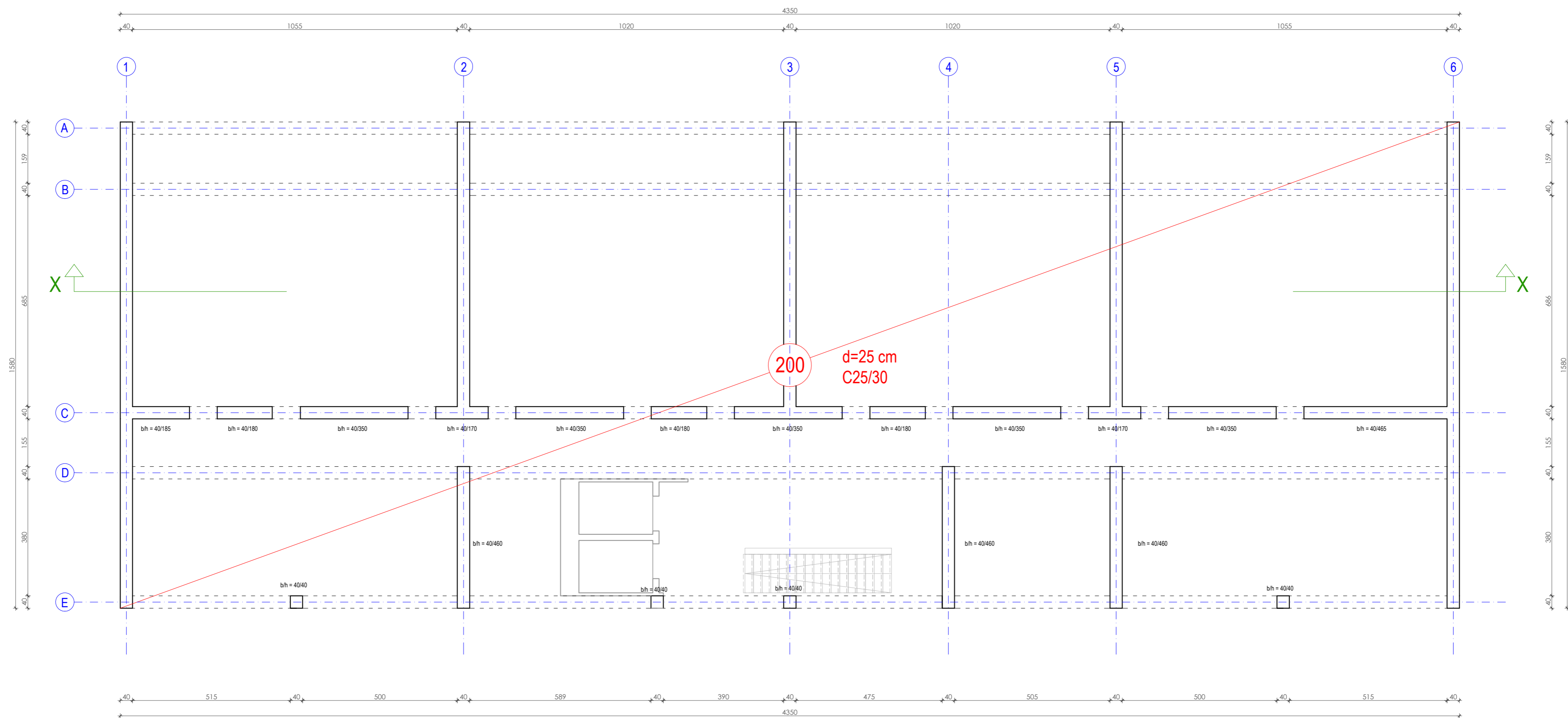
# TLOCRT TEMELJA




|   |                       |               |   |                                  |
|---|-----------------------|---------------|---|----------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I<br/>GEODEZIJE<br/>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | <b>ZAVRŠNI RAD</b>    |               |  |                                  |
|   | PRORAČUN KONSTRUKCIJE |               |   |                                  |
|   | student:              | MARTIN VUKSAN | mentor:   | BORIS TROGRLIĆ, dipl. ing. grad. |
|   | datum izrade:         |               |   | 09/2024                          |
| sažetak:  | TLOCRT TEMELJNE PLOČE |               | mjerilo: 1:100  |                                  |
|   |                       |               | broj lista: 1   |                                  |

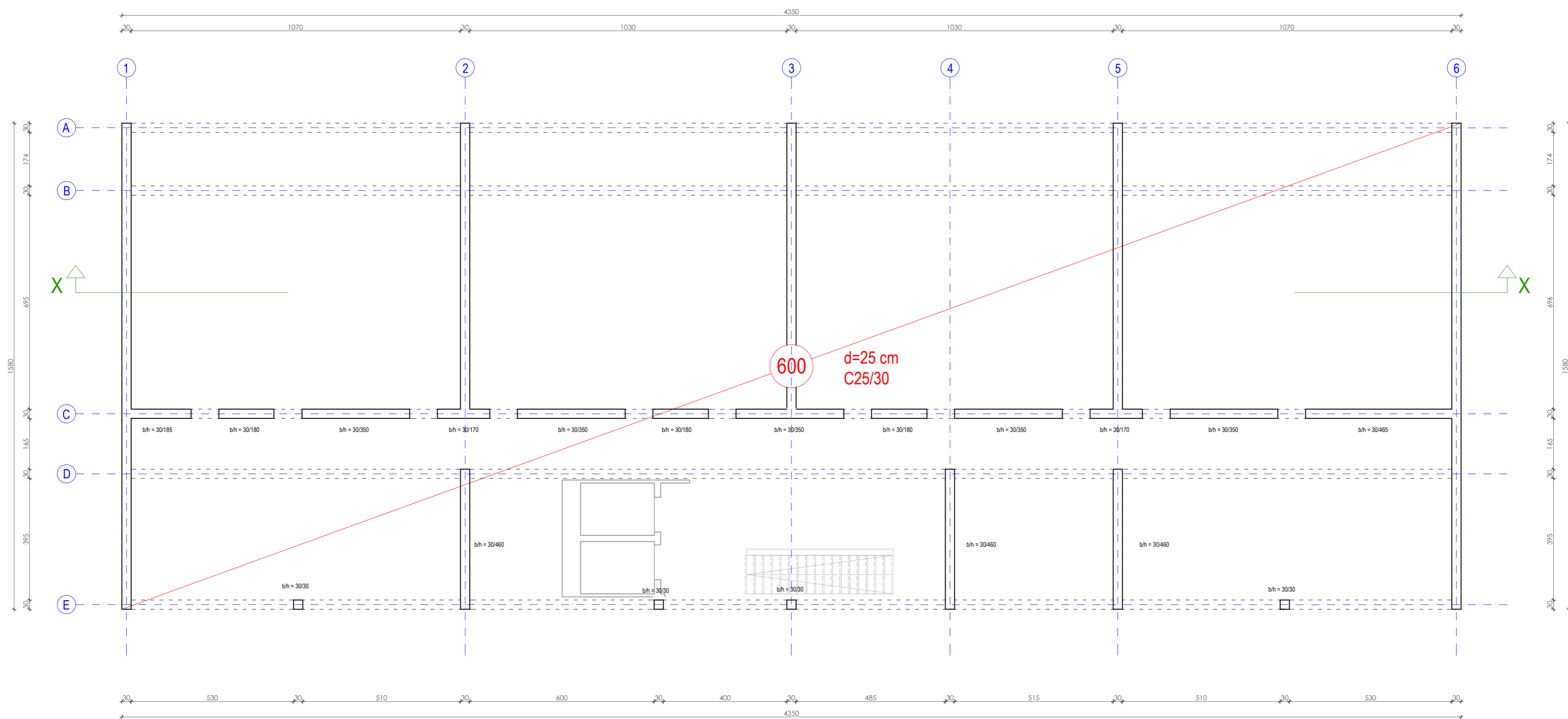


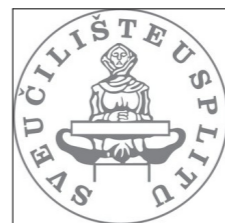

# TLOCRTI PRIZEMLJA, 1. KATA, 2. KATA, 3. KATA SU IDENDIČNI



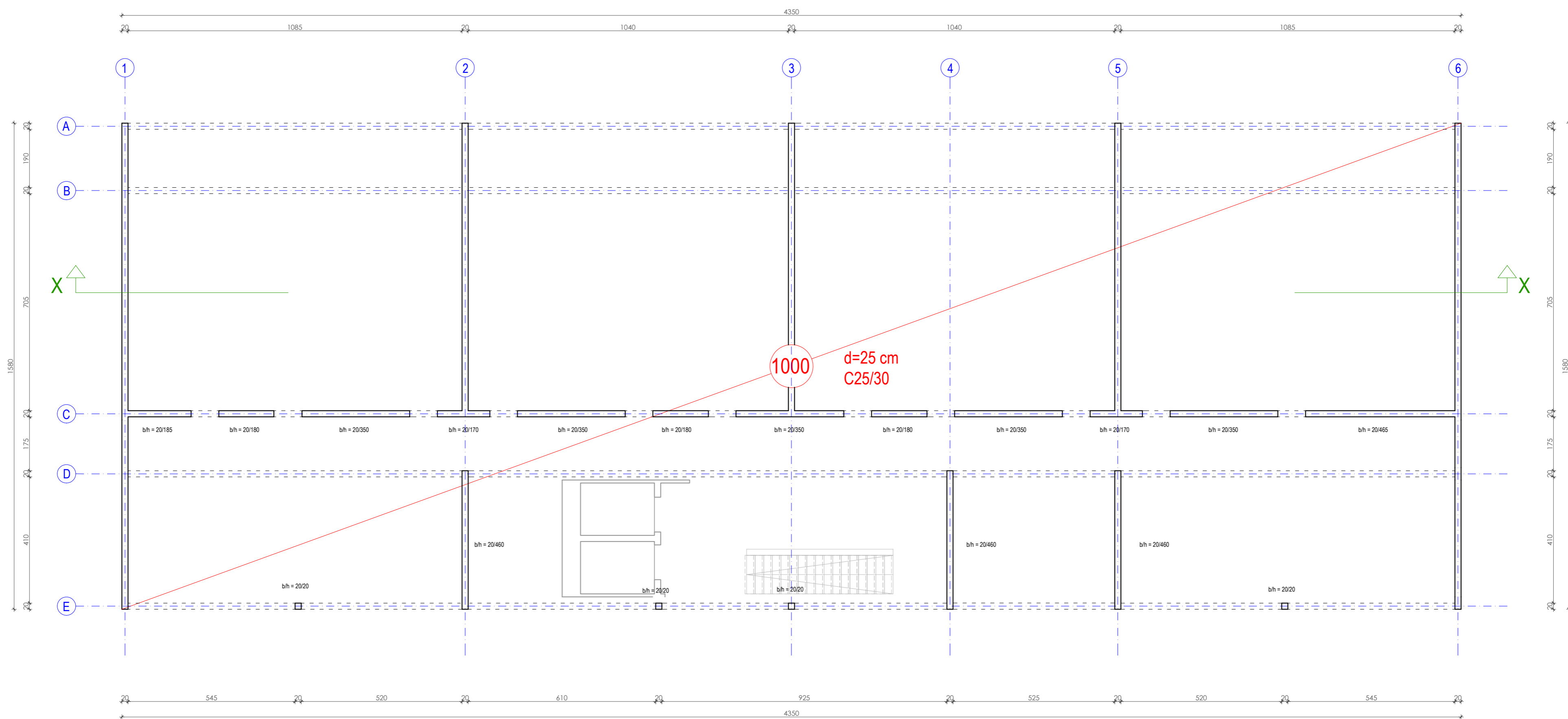
|  |                       |               |   |                                  |
|--|-----------------------|---------------|---|----------------------------------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I<br>GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | <b>ZAVRŠNI RAD</b>    |               |  |                                  |
|  | PRORAČUN KONSTRUKCIJE |               |   |                                  |
|  | student:              | MARTIN VUKSAN | mentor:   | BORIS TROGRLIĆ, dipl. ing. grad. |
|  | datum izrade:         | 09/2024       |   | broj lista:                      |
| sažetak:   | TLOCRT PRIZEMLJA      |               | mjerilo:  | 1:100                            |

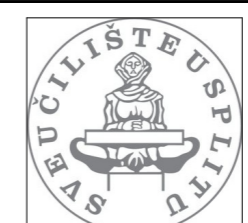

# TLOCRTI 4. KATA, 5. KATA, 6. KATA, 7. KATA SU IDENTIČNI



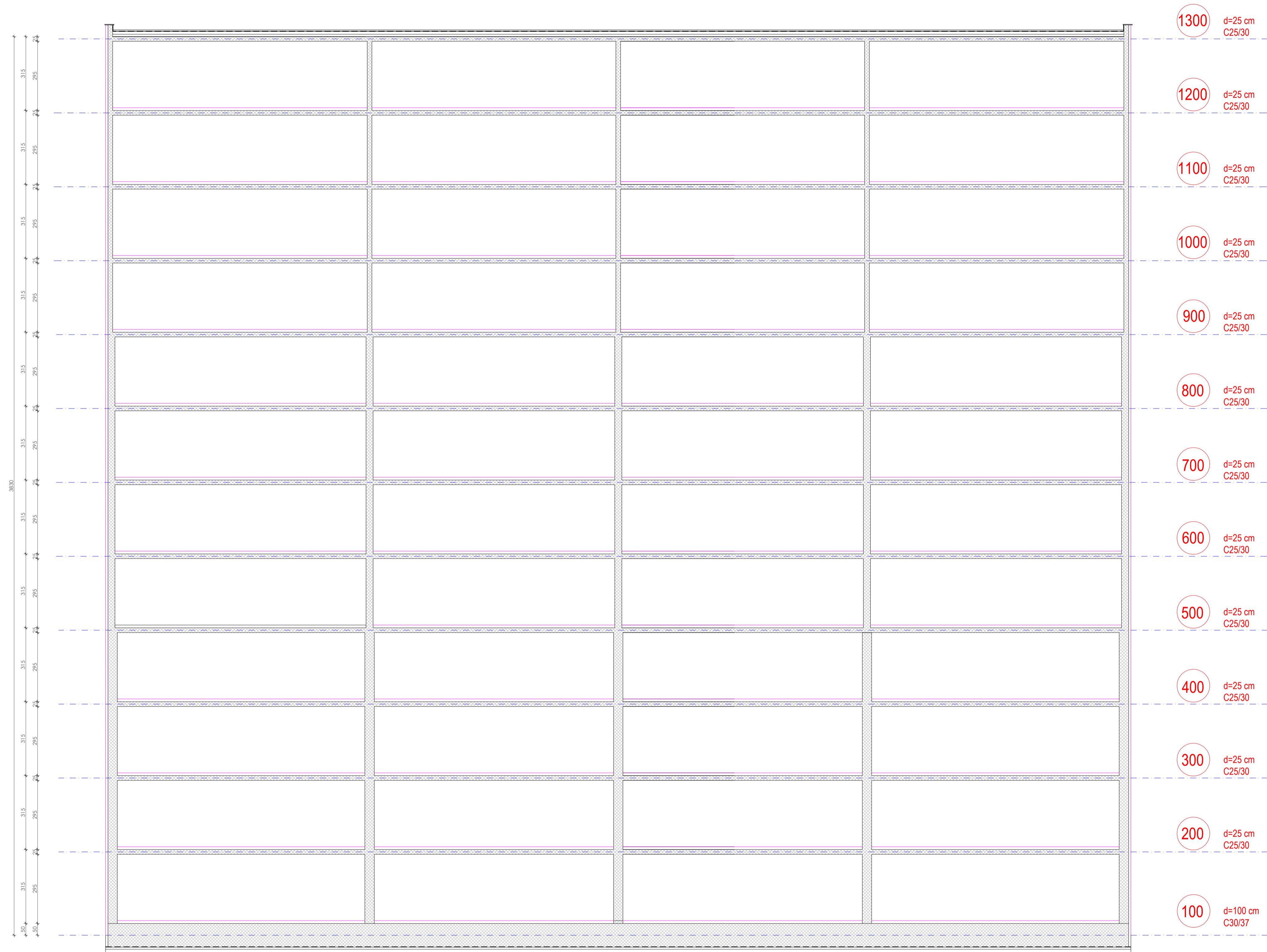
|   |                       |                |   |                                 |               |             |
|---|-----------------------|----------------|---|---------------------------------|---------------|-------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I<br/>GEODEZIJE<br/>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | <b>ZAVRŠNI RAD</b>    |                |  |                                 |               |             |
|   | PRORAČUN KONSTRUKCIJE |                |   |                                 |               |             |
|   | student:              | MARTIN VUKSAN  | mentor:   | BORIS TROGLIČ, dipl. ing. grad. | datum izrade: | 09/2024     |
|   | sadržaj:              | TLOCRT 4. KATA |   | mjerilo:                        | 1:100         | broj lista: |

# TLOCRT 8. KATA, 9. KATA, 10. KATA, 11. KATA SU IDENTIČNI



|  |                       |               |   |                                  |
|--|-----------------------|---------------|---|----------------------------------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I<br>GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | <b>ZAVRŠNI RAD</b>    |               |  |                                  |
|  | PRORAČUN KONSTRUKCIJE |               |   |                                  |
|  | student:              | MARTIN VUKSAN | mentor:   | BORIS TROGRLIĆ, dipl. ing. grad. |
|  | datum izrade          | 09/2024       |   |                                  |
| sažetak:   | TLOCRT 8. KATA        |               | mjerilo: 1:100<br>broj lista: 4   |                                  |

# PRESJEK X-X



## 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.