

# Statički proračun studentskog doma

---

Radolović, Vanesa

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:123:132636>

*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



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Vanesa Radolović**

**Split, 2021**

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

**Statički proračun studentskog doma**

**Završni rad**

**Split, 2021**

## **Statički proračun studentskog doma**

### **Sažetak:**

U radu je prikazan statički proračun studentskog doma. Studentski dom sastoji se od prizemlja, tri etaže i ravnoga krova. Nosiva konstrukcija građevine je od armiranog betona. Projekt sadrži: tehnički opis, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata te karakteristične građevinske nacрте.

### **Ključne riječi:**

Studentski dom, Statički proračun

## **Static calculation of student dorm**

### **Summary:**

The static calculation of student dorm is presented in this work. The building consist of three stories, ground floor and flat roof. Structure is made of reinforced concrete. The work includes tehcnical description of the structure, calculation of the main structural elements and characteristic structural plans.

### **Keywords:**

Student dorm, Static calculation

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

Split, Matice hrvatske 15

|                            |  |
|----------------------------|--|
| STUDIJ:                    | <b>PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ<br/>GRAĐEVINARSTVA</b> |
| KANDIDAT:                  | <b>Vanessa Radolović</b>                                   |
| BROJ STUDENTSKE ISKAZNICE: | <b>83221608</b>  |
| KATEDRA:                   | <b>Katedra za teoriju konstrukcija</b>                     |
| PREDMET:                   | <b>Građevna statika 1</b>                                  |

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Statički proračun studentskog doma

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 zgrade..

Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- proračun
- građevne nacрте

U Splitu,

Voditelj Završnog rada:

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

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. TEHNIČKI OPIS .....                                   | 1  |
| 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine .....        | 1  |
| 1.2. Geotehnički izvještaj .....                         | 1  |
| 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE.....                  | 2  |
| 3. ANALIZA OPTEREĆENJA .....                             | 4  |
| 3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....                 | 4  |
| 3.2. Stalno opterećenje ( $G_1$ ).....                   | 4  |
| 3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije .....      | 4  |
| 3.2.2. Krovna ploča.....                                 | 5  |
| 3.2.3. Međukatne ploče.....                              | 6  |
| 3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ ) .....             | 6  |
| 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA .....                      | 7  |
| 4.1. Krovna ploča.....                                   | 7  |
| 4.2. Međukatna ploča.....                                | 8  |
| 5. KOMBINACIJE DJELOVANJA .....                          | 9  |
| 6. PRORAČUN PLOČA.....                                   | 10 |
| 6.1. Međukatna ploča.....                                | 10 |
| 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče .....   | 11 |
| 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče ..... | 15 |
| 6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....             | 15 |
| 6.1.4. Kontrola pukotina .....                           | 17 |
| 6.2. Proračun krovne ploče .....                         | 20 |
| 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....       | 21 |
| 6.2.2. Kontrola progiba.....                             | 25 |
| 6.2.3. Kontrola pukotina.....                            | 26 |
| 7. PRORAČUN AB GREDA .....                               | 29 |
| 7.1. Međukatna greda .....                               | 29 |
| 7.1.1. Prikaz rezultata proračuna .....                  | 29 |
| 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja .....         | 30 |
| 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....            | 31 |
| 7.1.4. Kontrola progiba.....                             | 33 |
| 7.1.5. Kontrola pukotina.....                            | 34 |
| 8. PRORAČUN ZIDOVA .....                                 | 36 |

|  |    |
|--|----|
| 8.1. Opći uvjeti .....                       | 36 |
| 8.2. Prikaz modela i dijagrama .....         | 37 |
| 9. PRORAČUN STUPOVA .....                    | 42 |
| 10. PRORAČUN TEMELJA .....                   | 44 |
| 10.1. Proračun trakastih temelja .....       | 46 |
| 10.1.1. Model trakastih temelja .....        | 46 |
| 10.1.2. Proračun širine temeljne stope ..... | 47 |
| 10.1.3. Slijeganje građevine .....           | 48 |
| 11. GRAFIČKI PRILOZI .....                   | 49 |
| 12. LITERATURA .....                         | 50 |

## 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 četiri etaže, pravilnog je tlocrtnog oblika – pravokutnika dimenzija 40.45 x 14.30m.

Ukupna površina građevine iznosi 580 m<sup>2</sup>, a ukupna visina građevine je 13.30 m, mjereno od podne ploče prizemlja.

Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) zidova i stupova te 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 30 cm, te stupovi dimenzija 60 x 60 cm.

Temeljenje je predviđeno na trakastim temeljima od armiranog betona ispod nosivih zidova i stupova, širine 130,160 i 240 cm te visine 80 cm.

U proračunu su dane osnovne dimenzije armature za pojedine konstruktivne elemente.

Elemente koje ne proračunavamo armiraju se konstruktivno.

Za sve betonske radove predviđen je beton C 30/37 (MB-40), te armatura B 500. Skidanje podupirača za ploče može se izvršiti nakon postignute minimalne čvrstoće od 80%.

Za temelje upotrebljena je 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.

### 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 iskopu temeljnu plohu potrebno je ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala.

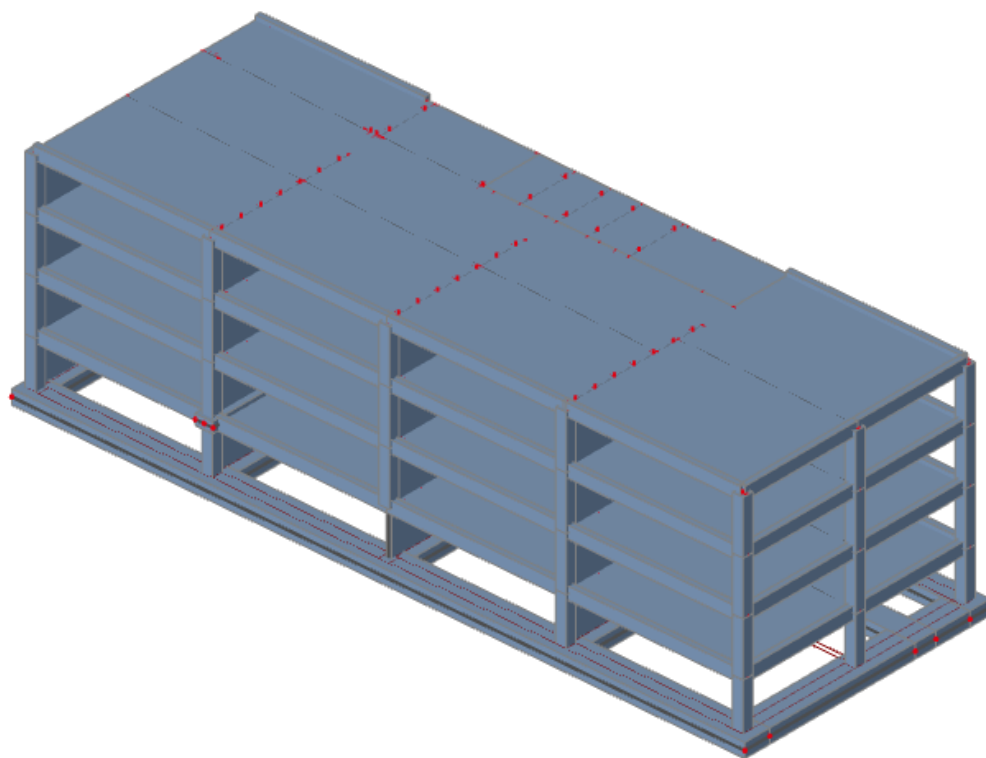
Nakon obavljenog čišćenja temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 (MB-20) do projektirane kote temeljenja.

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

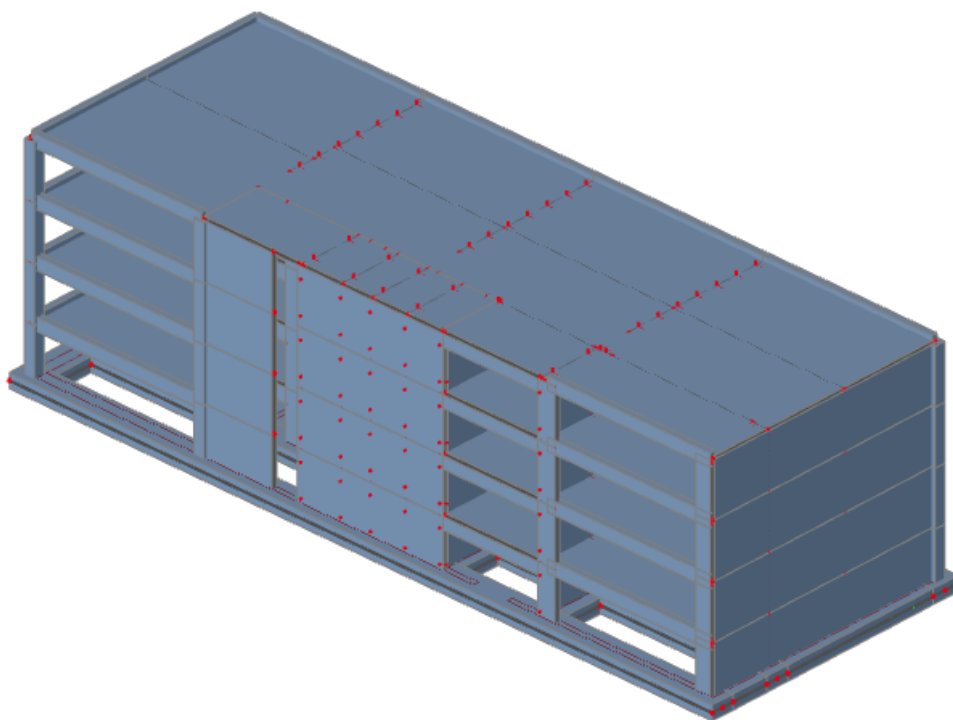
Na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova, dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 400 kPa.



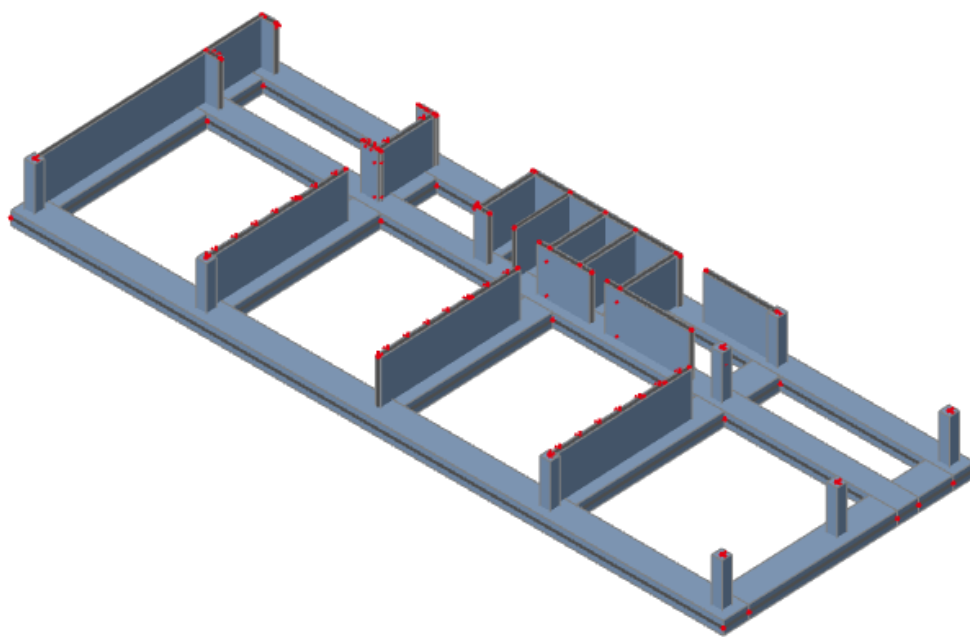
## 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



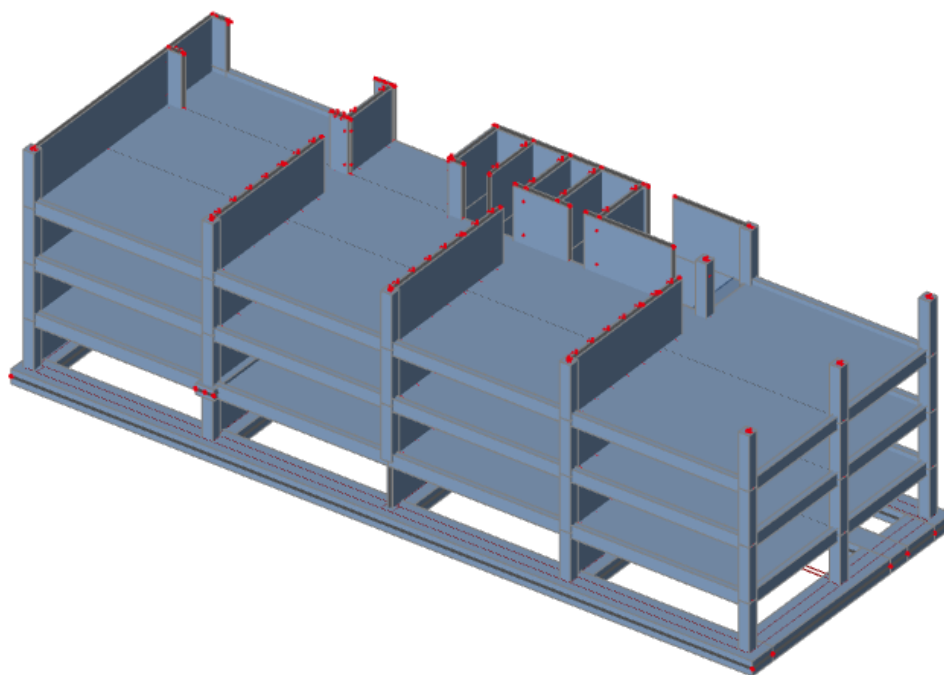
*Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1*



*Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2*



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled 4

### 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

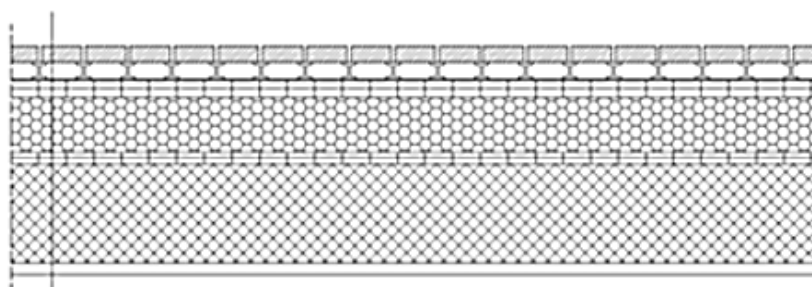
#### 3.2. Stalno opterećenje (G<sub>1</sub>)

##### 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



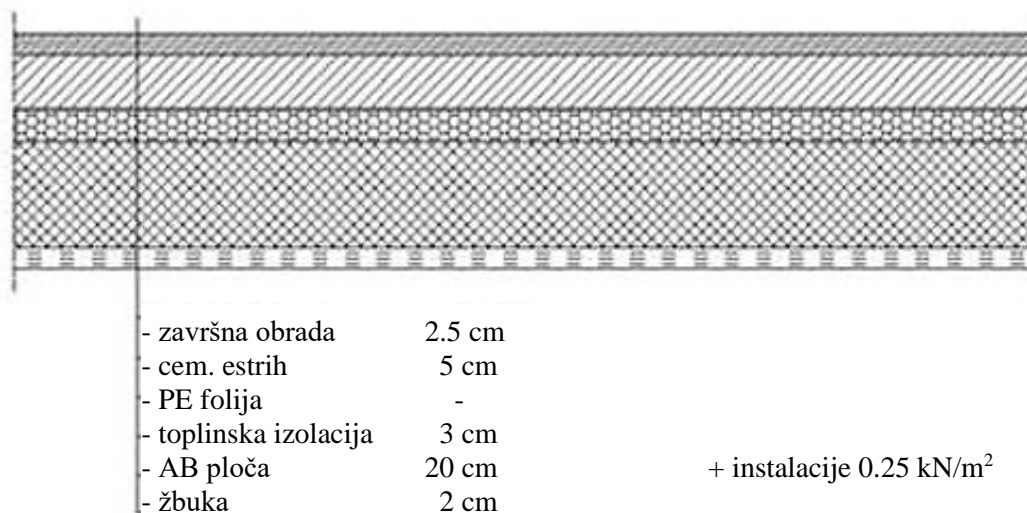
- betonska ploča      3 cm
- podmetači          3 cm
- PE folija            -
- hidroizolacija      1.5 cm
- toplinska izolacija 10 cm
- parna brana         1 cm
- AB ploča            20 cm
- žbuka                2 cm

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>)

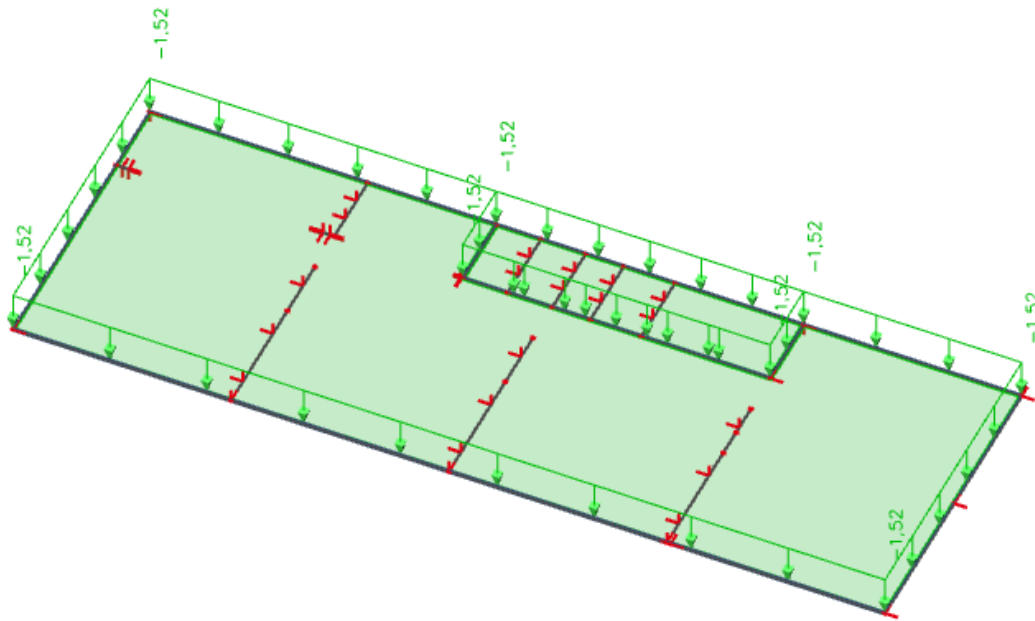
### 3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ )

Minimalno korisno opterećenje za zgrade definirano je u HRN EN1991-1-1. Ovo korisno (pokretno) opterećenje je najmanje koje se smije primijeniti 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:

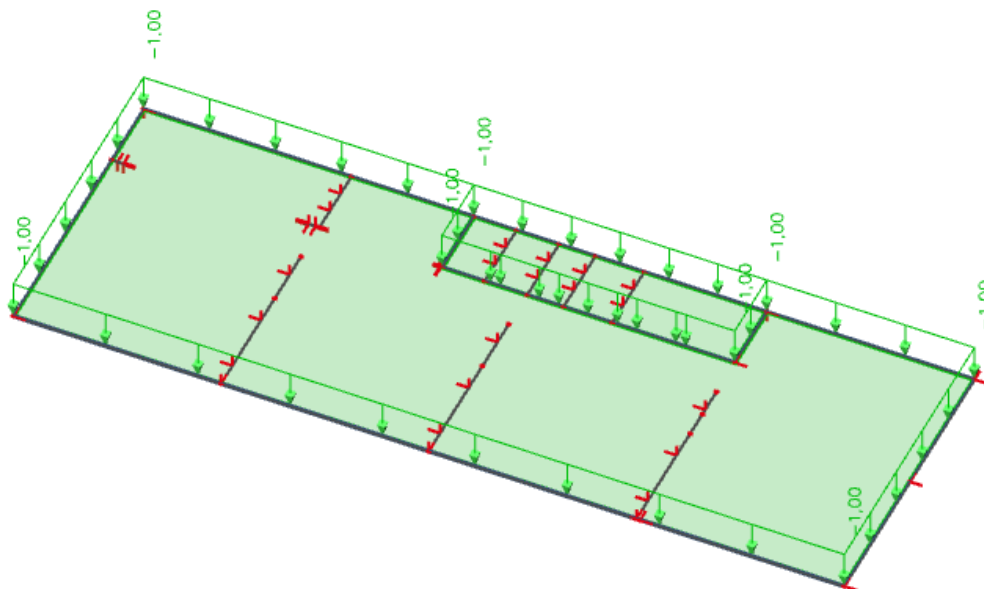
- Ravni krov:  $q = 1,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Poslovni prostori i stubišta:  $q = 3,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Stubišta:  $q = 3,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Balkoni i lođe:  $q = 4,0$  kN/m<sup>2</sup>

## 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 4.1. Krovna ploča

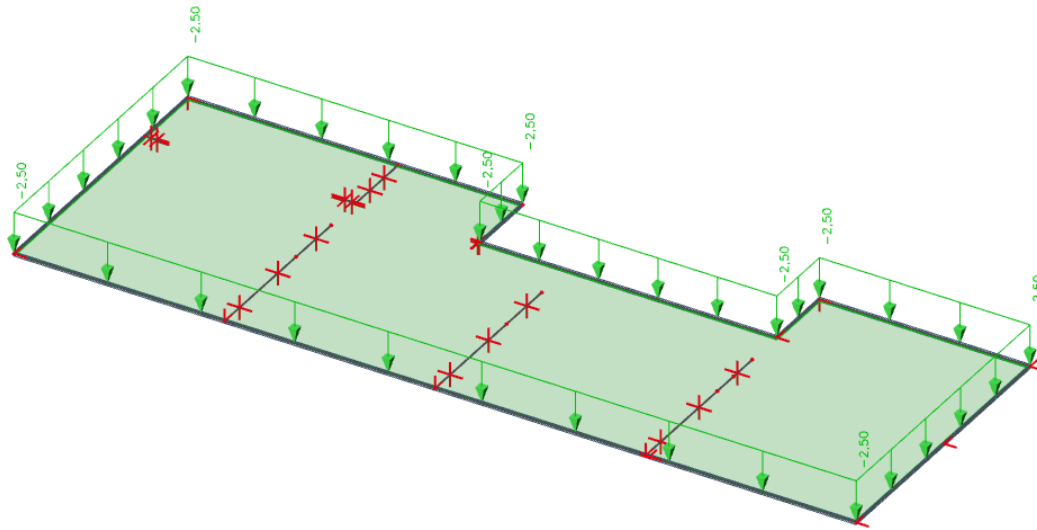


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

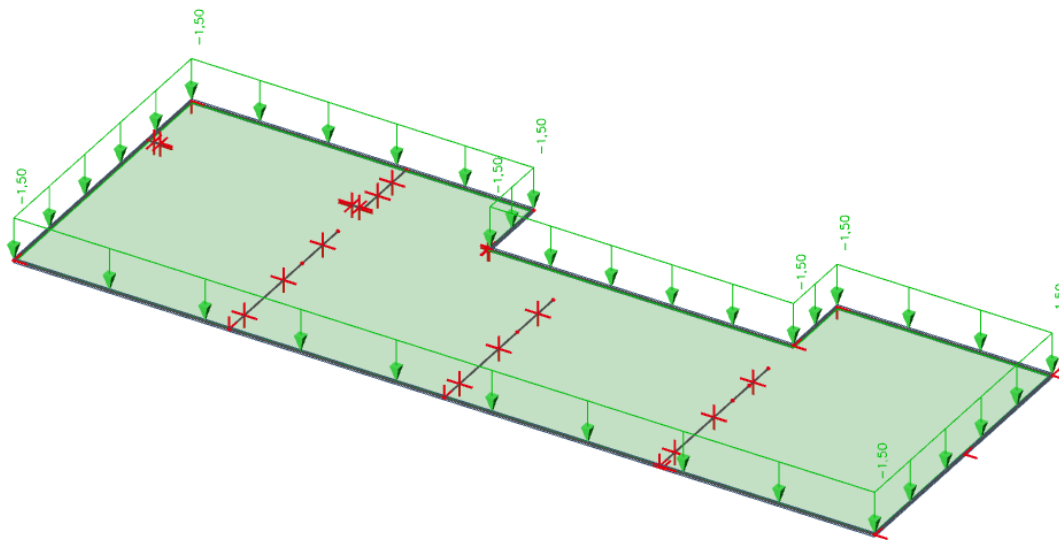


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

## 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. KOMBINACIJE DJELOVANJA

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

- **Granično stanje nosivosti**

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

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

Q – uporabno djelovanje

- **Granično stanje uporabljivosti**

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

$1.0 \cdot G + 0.5 \cdot Q$

$\Psi_{1i} = 0.5$  za promjenjiva djelovanja u stambenim zgradama za čestu kombinaciju.

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

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

$1.0 \cdot G + 0.3 \cdot Q$

$\Psi_{2i} = 0.3$  za promjenjiva djelovanja u zgradama poslovne namjene za nazovistalnu kombinaciju.

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



## 6. PRORAČUN PLOČA

### 6.1. Međukatna ploča

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.20^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 114.80 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 20 = 2.85 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{20}{500} = 2.28 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 20 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 27.09 \text{ cm}^2 / m$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 20 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.134$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2.03 \leq 2.0 \rightarrow k = 2.0$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{4.78}{20 \cdot 100} = 0.0029$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0029 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 200$$

$$V_{Rd,c} = 98.72 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

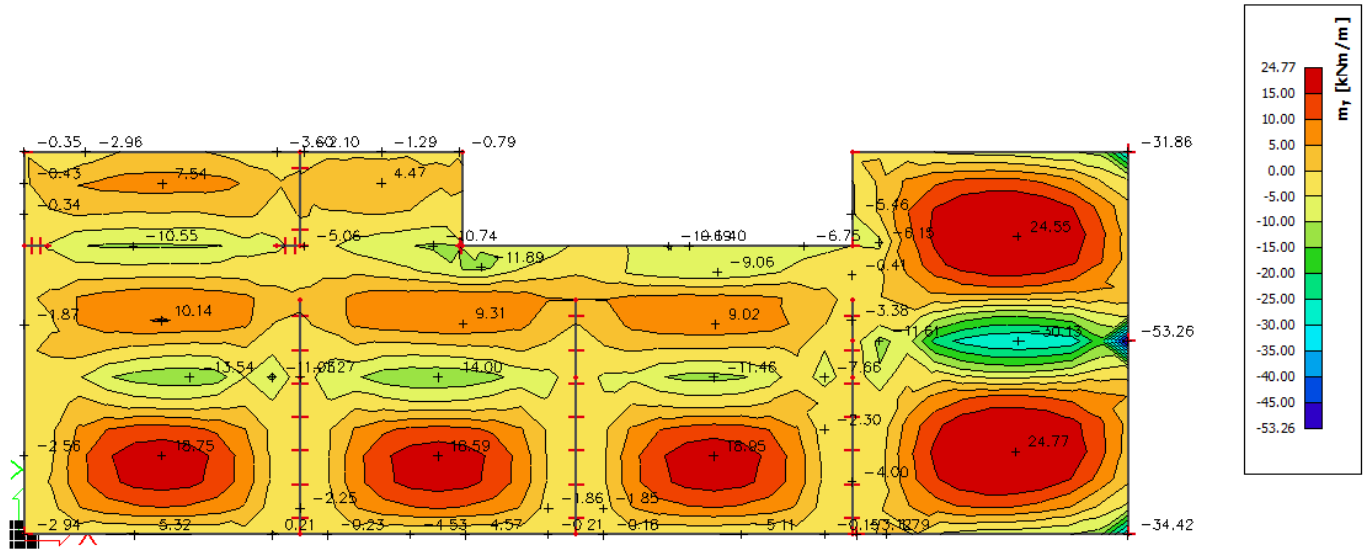
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.542$$

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

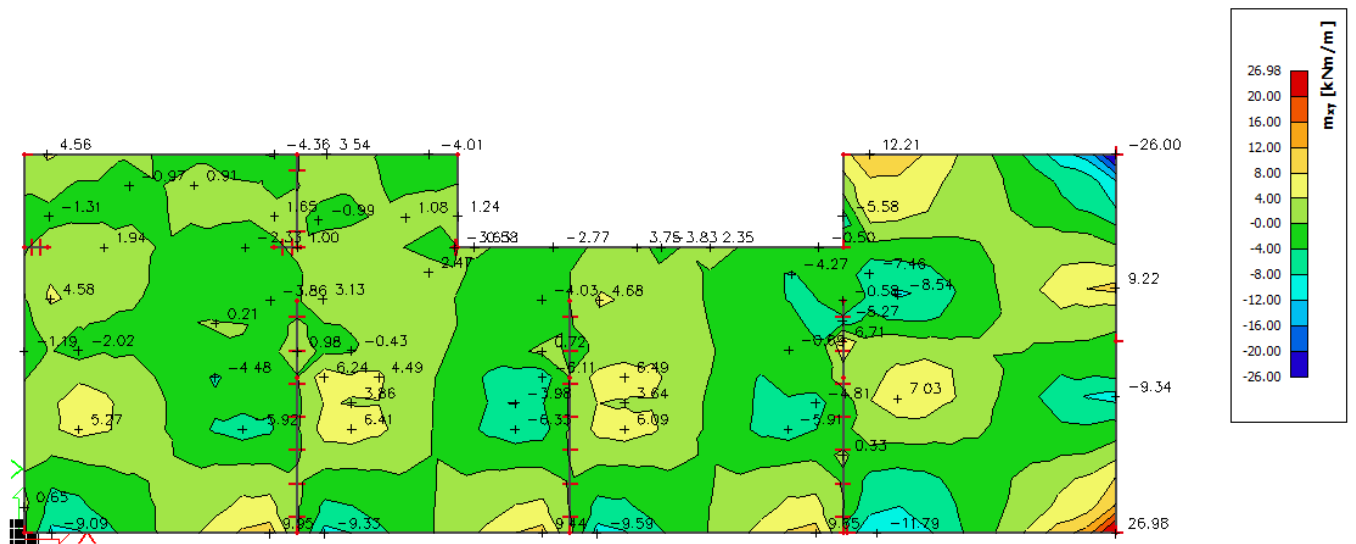
$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 200 = 102.98 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

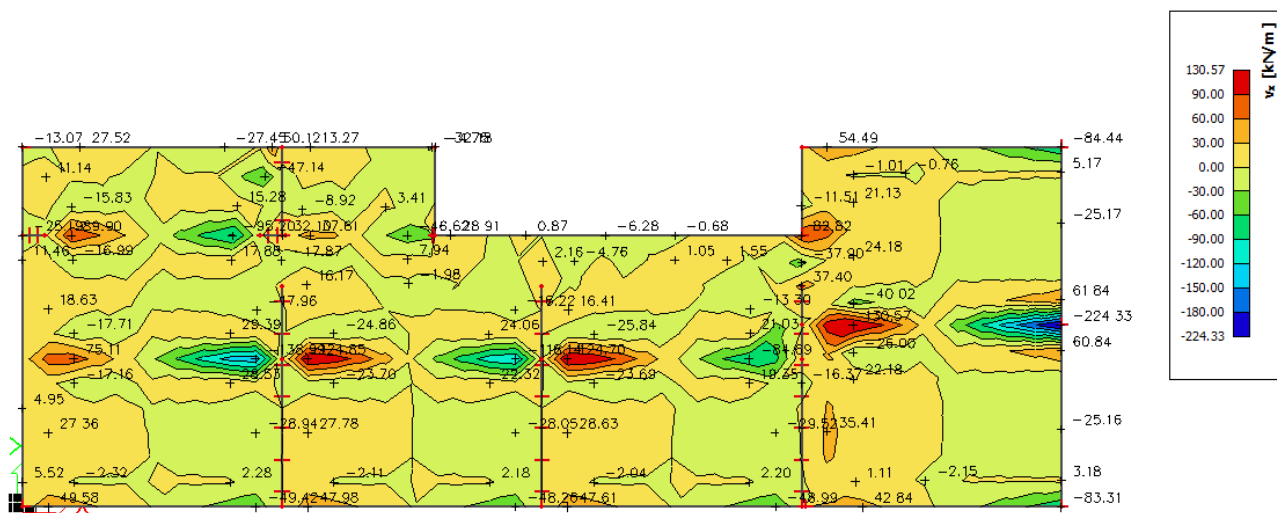




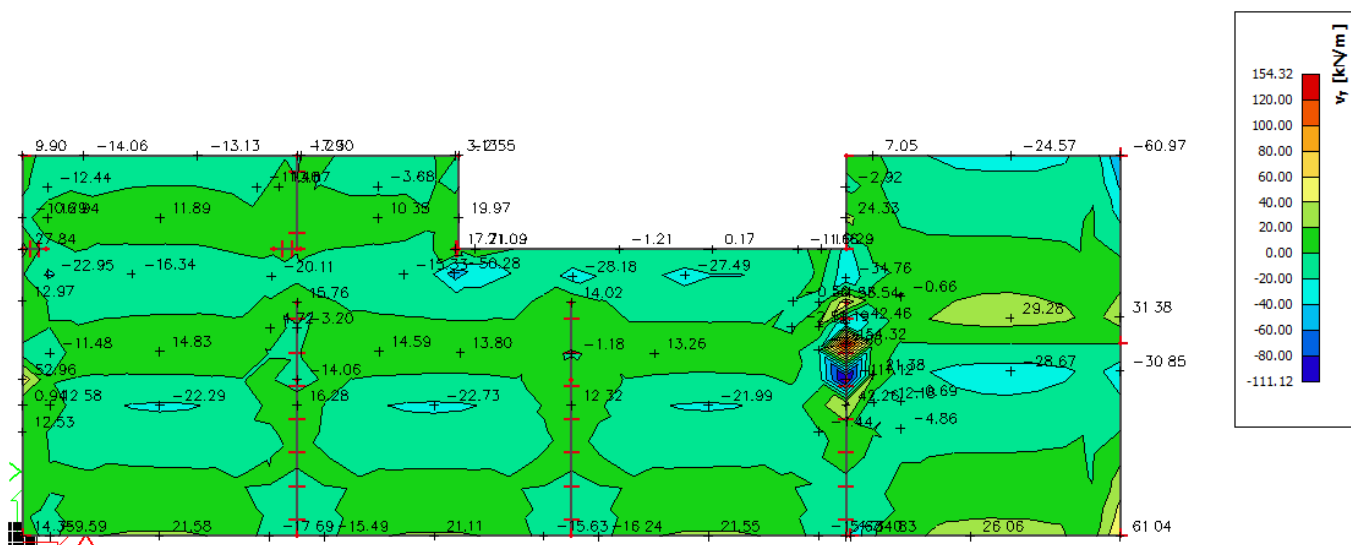
Slika 6.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



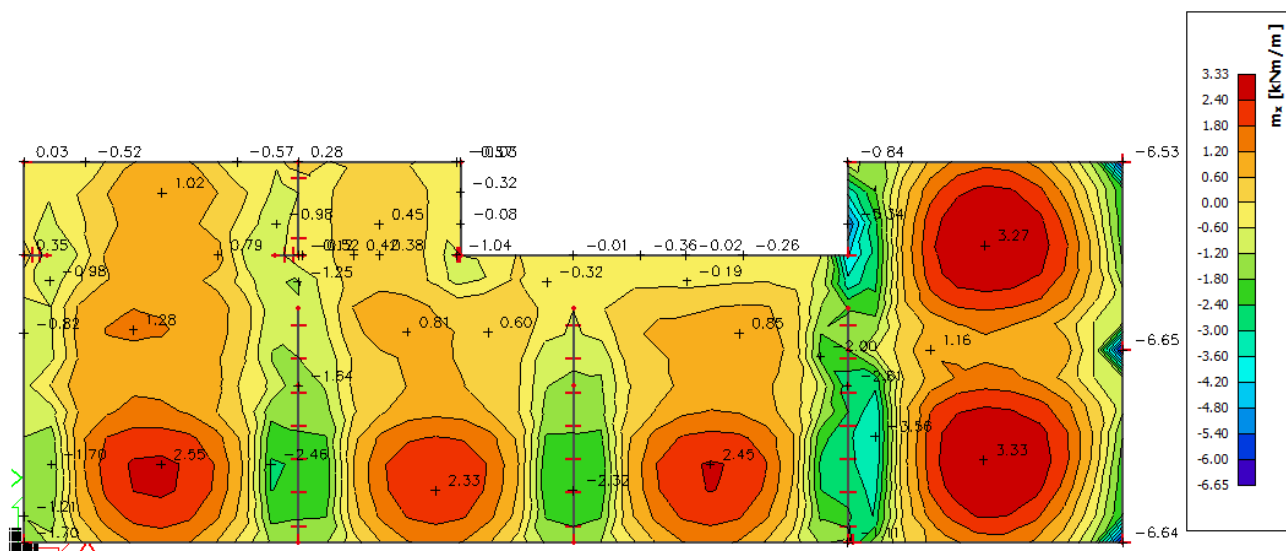
Slika 6.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



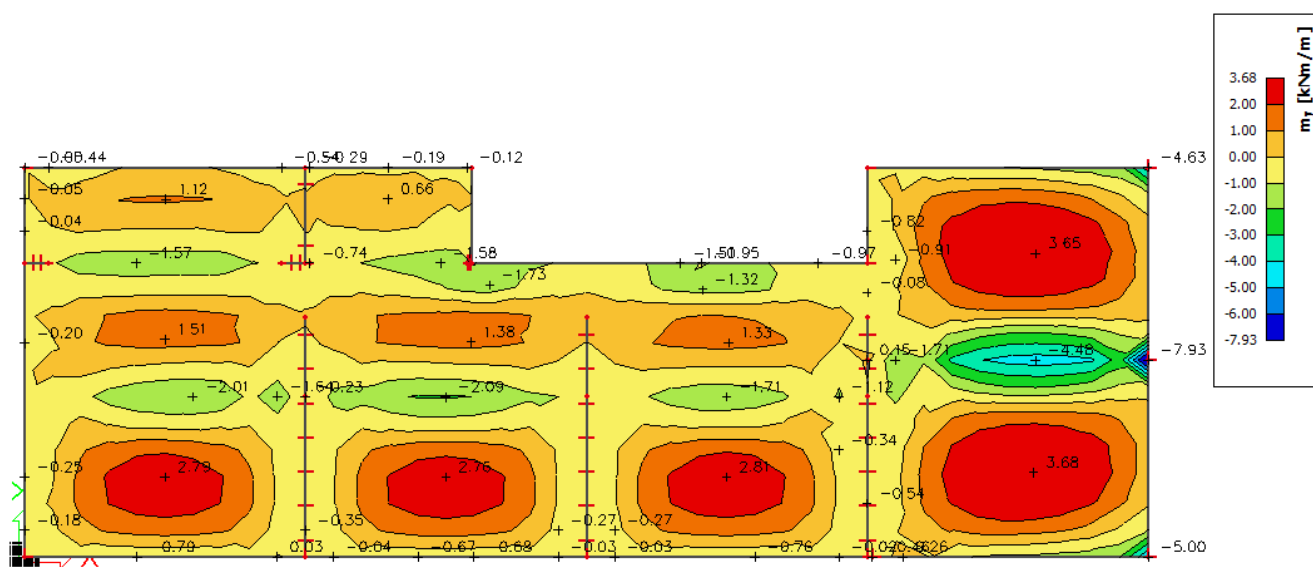
Slika 6.5 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



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



Slika 6.7 Potrebna površina armature  $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$  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:  $A_s = 7.93 \times 0.85 = 6,74 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

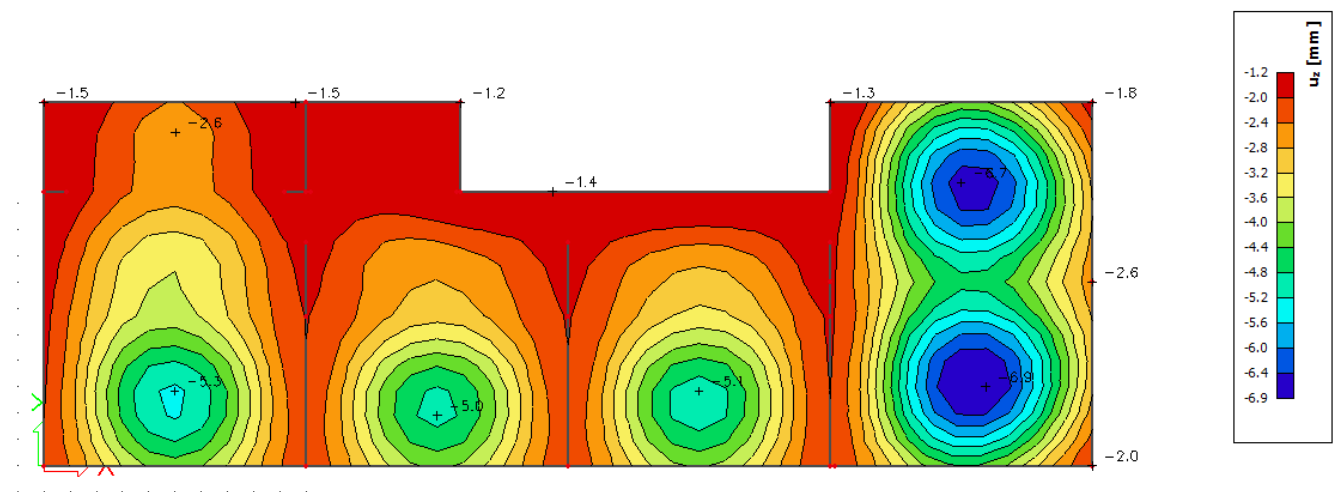
Potrebna armatura u polju:  $A_s = 3.68 \times 1.30 = 4,78 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče

Budući 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 biti 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

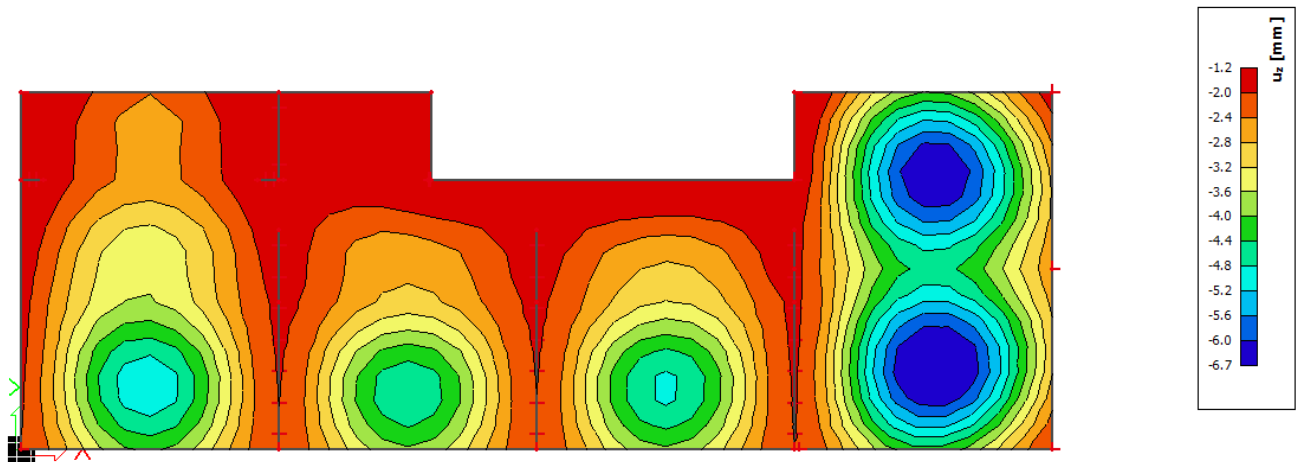


Slika 6.9 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $6.9 - 1.2 = 5.7$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 7450/1000 = 7.45$  mm

Međukatna ploča zadovoljava na progibe.



Slika 6.10 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

Najveći progib iznosa je  $6.7 - 1.2 = 5.5$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 7450/1000 = 7.45$  mm

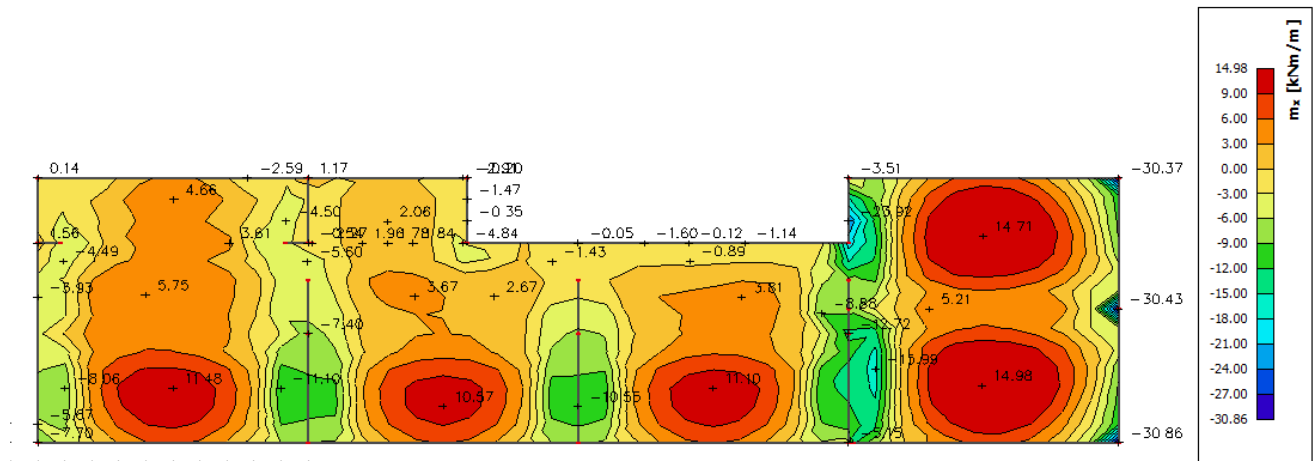
Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

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

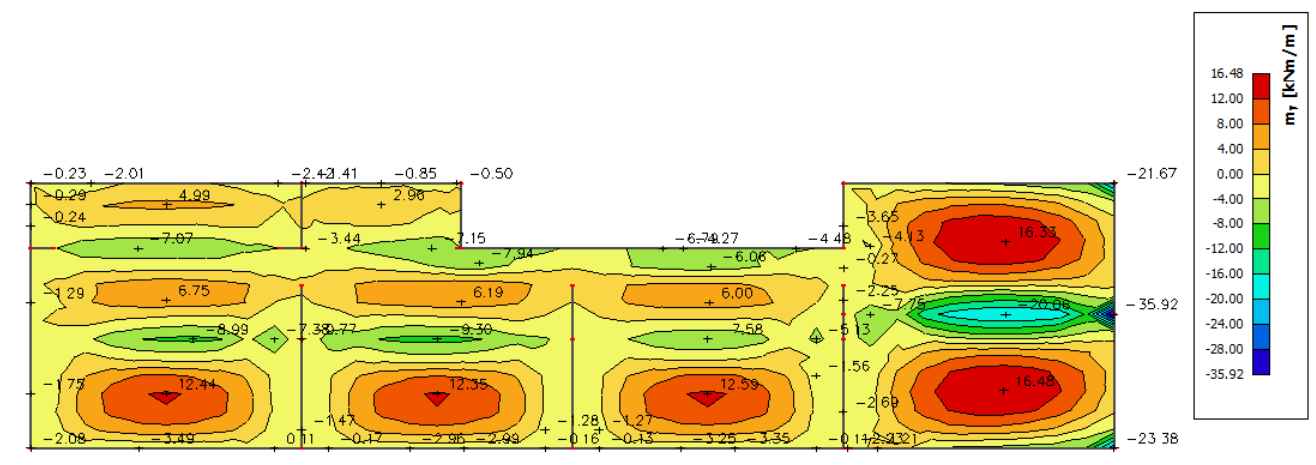
Kod 3-D modela koji su modelirani sa realnim karakteristikama tla bilo bi poželjno napraviti poseban model ploče karakteristične etaže.

### 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  $M = 16.48 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 5.03}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 19}{6.25 \cdot 5.03}} \right) = 3.15 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2207}{\left(19 - \frac{3.15}{3}\right) \cdot 5.03} = 24.44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 244.4 \text{ MPa}$$

Za C 30/37  $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}$

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

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa} = 32\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6.25$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{244.4 - 0.4 \frac{2.9}{0.0067} (1 + 6.25 \cdot 0.0067)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{244.4}{200000}$$

$$-0.00032 \geq 0.00073$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00073$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 8.0 \text{ mm}$  –

$c = 40 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{8}{0.0067} = 339 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 339 \cdot 0.00073 = 0.25 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 6.2. Proračun krovne ploče

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 91.90 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 17 = 2.55 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{17}{500} = 2.04 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 17 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 24.24 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

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

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

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3.10}{17 \cdot 100} = 0.0018$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0018 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 71.58 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

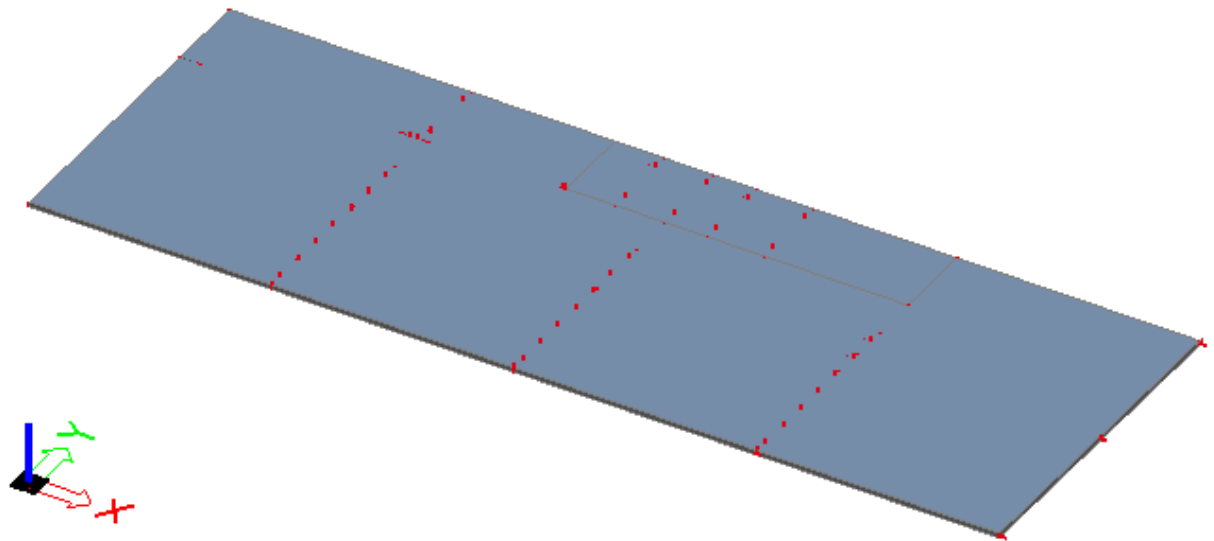
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.542$$

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

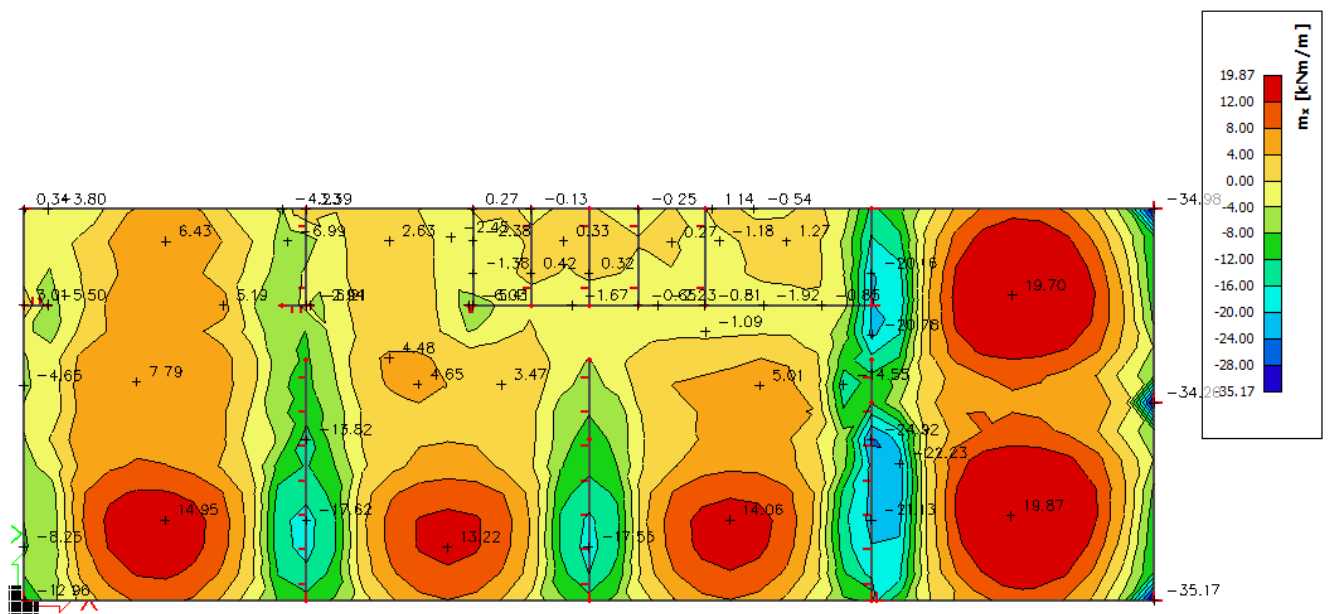
$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 170 = 92.14 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

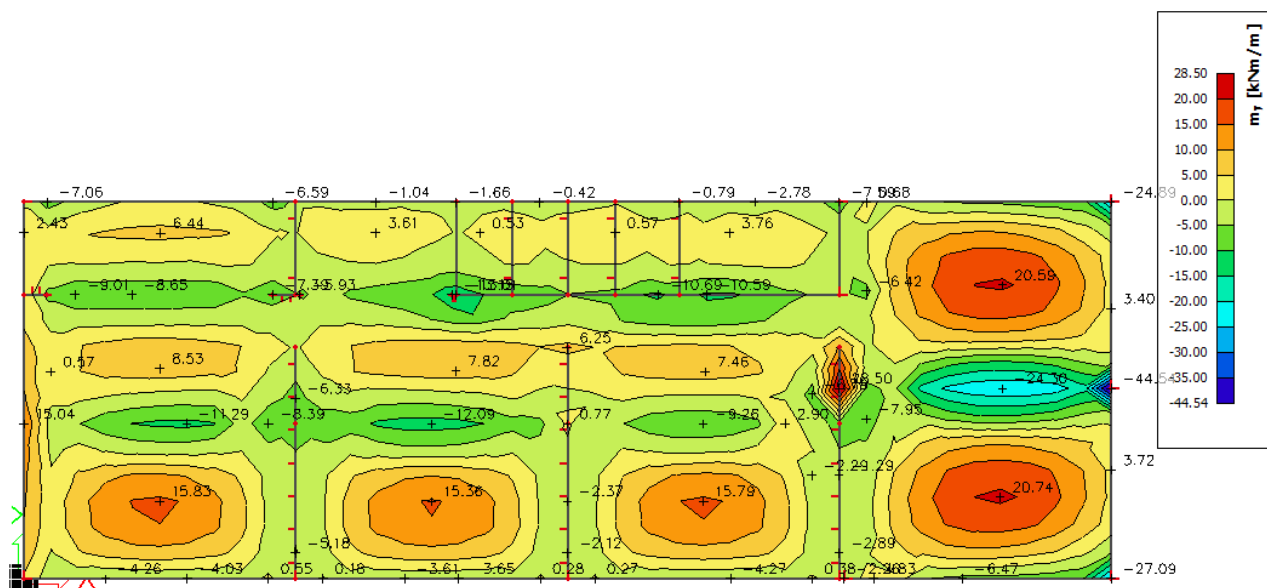
### 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče



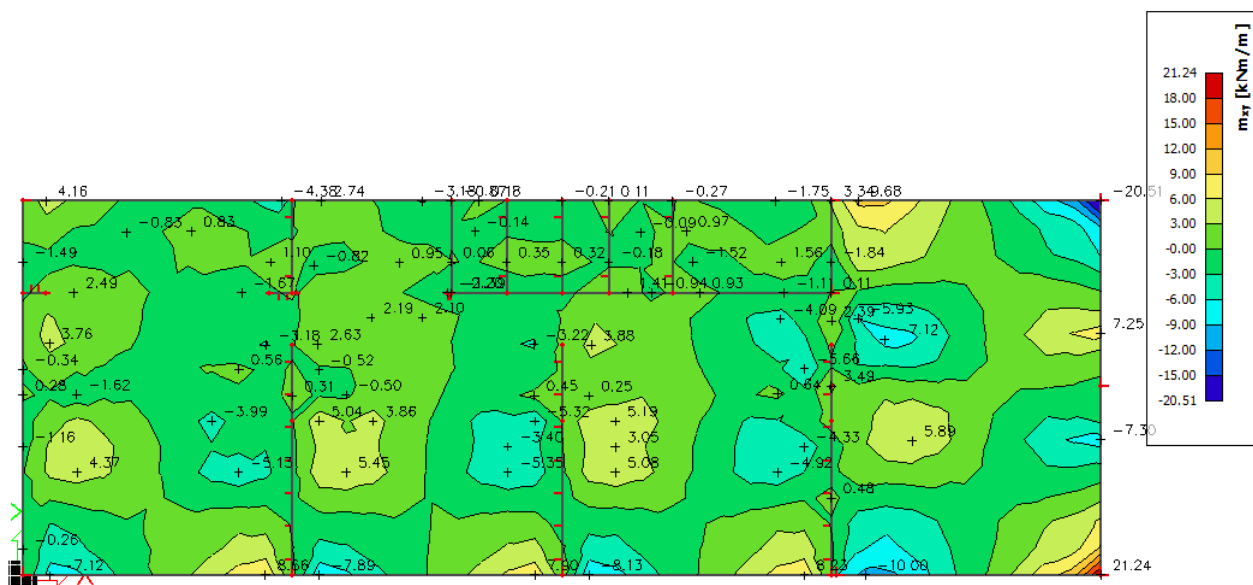
Slika 6.13 Prikaz modela



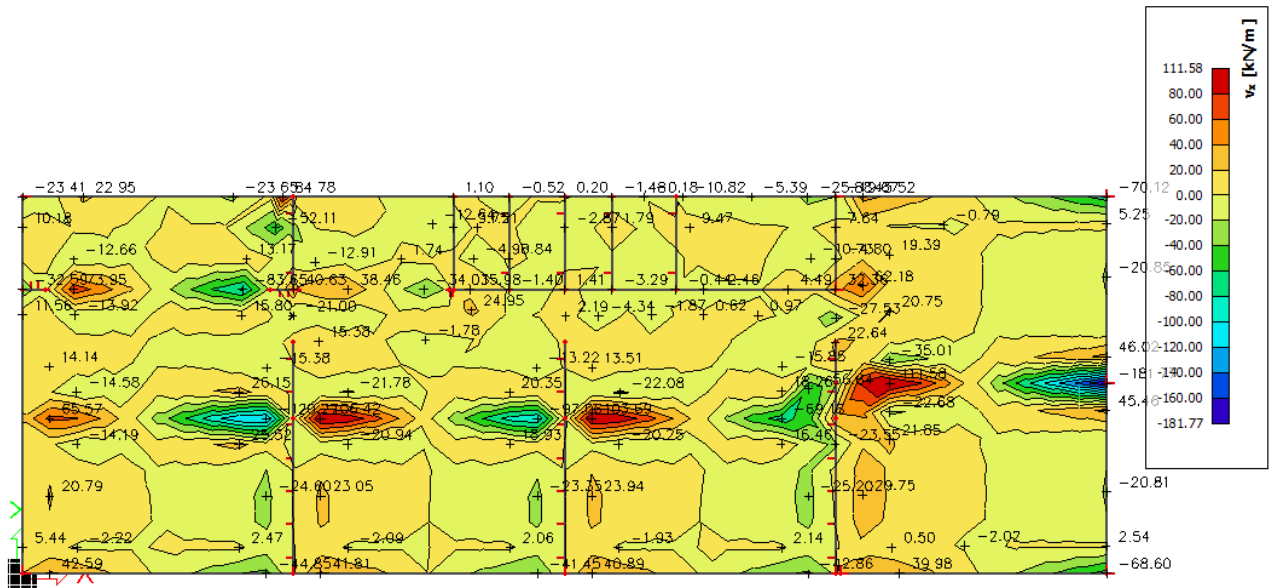
Slika 6.14 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



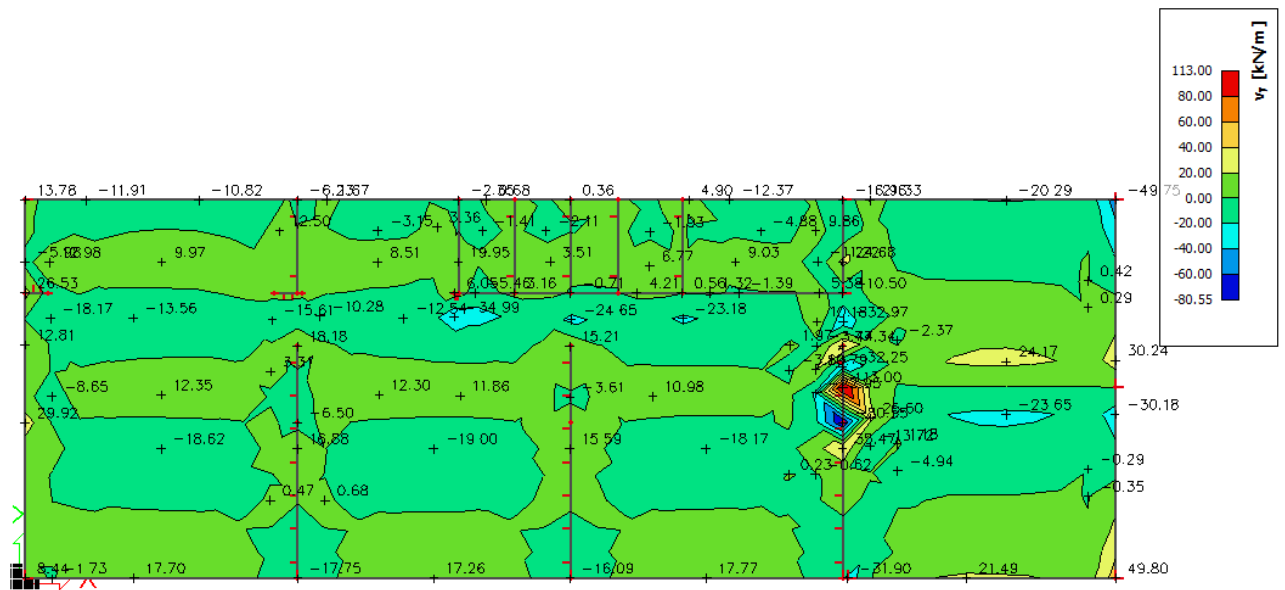
Slika 6.15 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



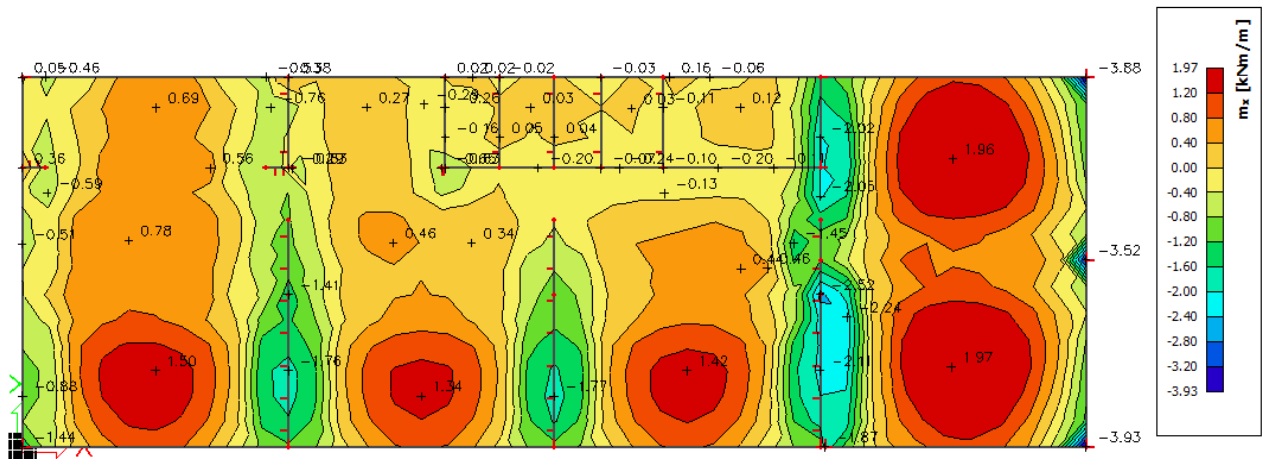
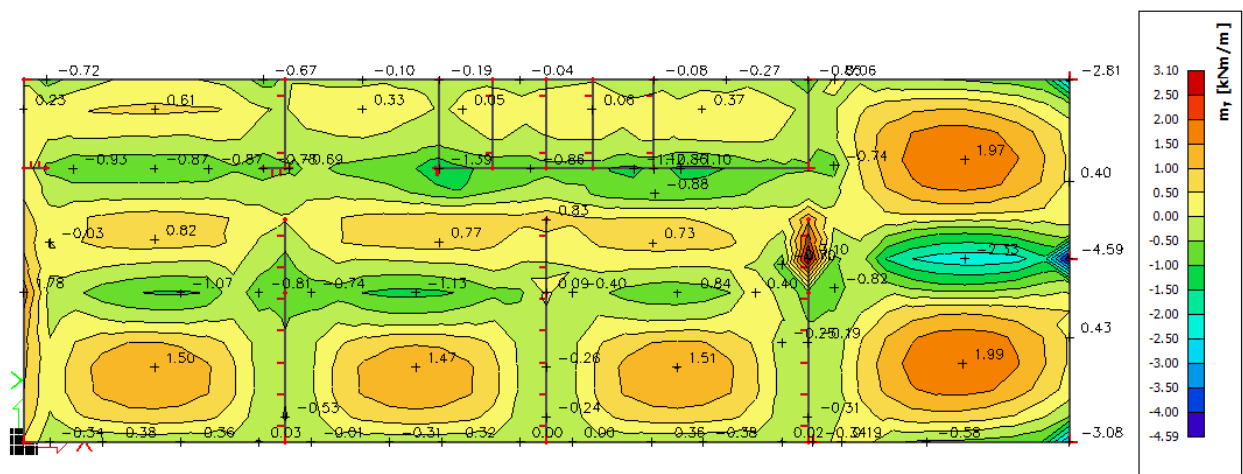
Slika 6.16 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



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  $A_s$ (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:  $A_s = 4.59 \times 0.85 = 3.90 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

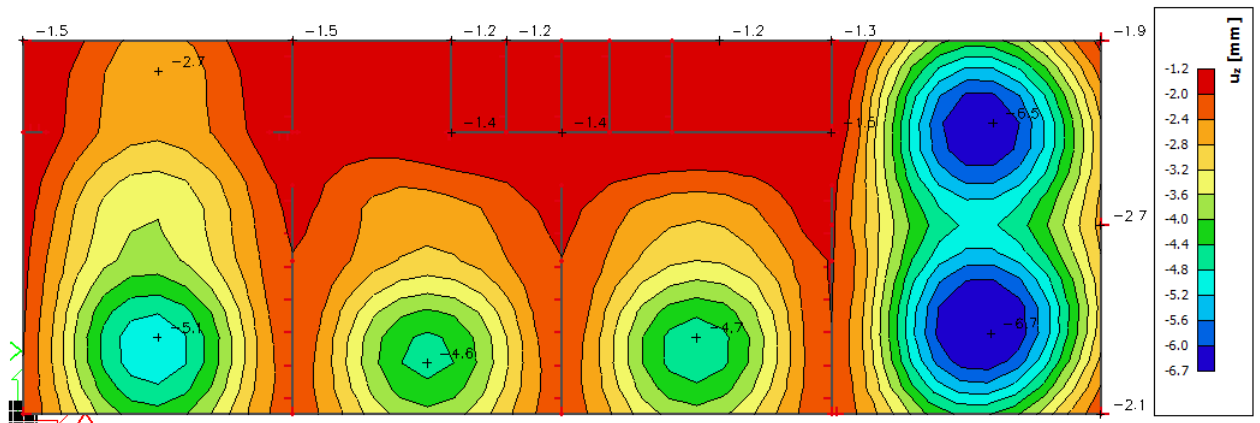
Potrebna armatura u polju:  $A_s = 3.10 \times 1.30 = 4.03 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj: Q-424 (4.24 cm<sup>2</sup> / m')

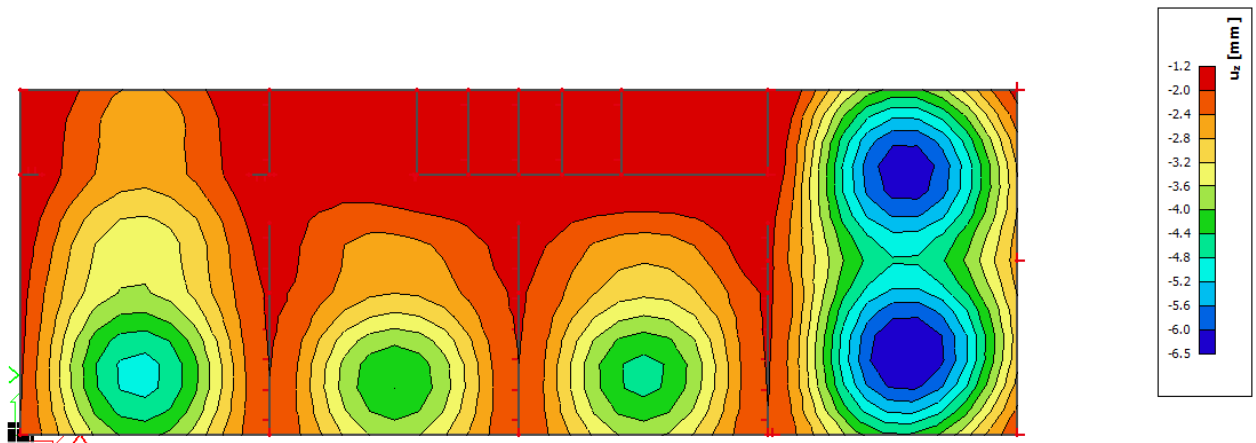
Polje: Q-424 (4.24 cm<sup>2</sup> / m')

### 6.2.2. Kontrola progiba



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

Najveći progib iznosa je  $6.7 - 1.2 = 5.5$  mm.  
 Dozvoljen progib  $L/1000 = 7450/1000 = 7.45$  mm  
 Krovna ploča zadovoljava na progibe.

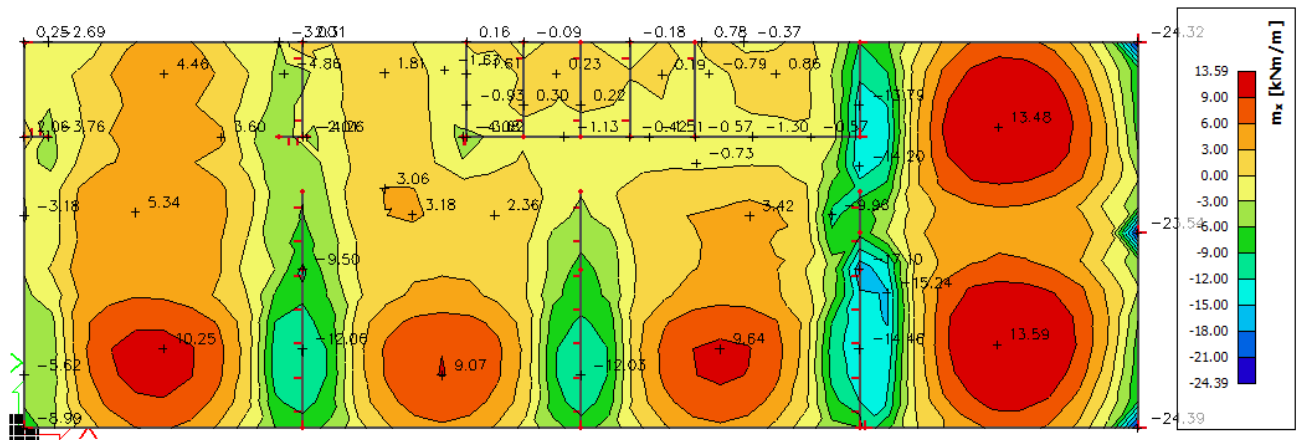


Slika 6.22 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

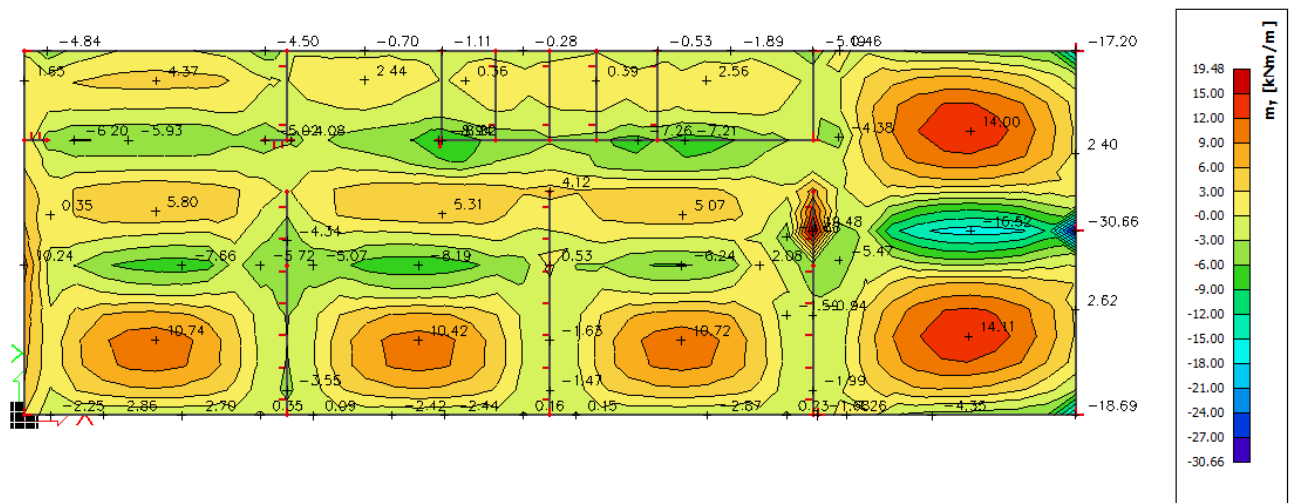
Najveći progib iznosa je  $6.5 - 1.2 = 5.3$  mm.  
 Dozvoljen progib  $L/1000 = 7450/1000 = 7.45$  mm  
 Krovna ploča zadovoljava na progibe.



### 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  $M = 19.48 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 4.24}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.25 \cdot 4.24}} \right) = 2.75 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1669}{\left(17 - \frac{3.15}{3}\right) \cdot 3.85} = 27.18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 271.8 \text{ MPa}$$

Za C 30/37  $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}$

$A_{s1} = Q - 424 = 4.24 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa} = 32\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6.25$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{4.24}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0057$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{271.8 - 0.4 \frac{2.9}{0.0057} (1 + 6.25 \cdot 0.0057)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{271.8}{200000}$$

$$0.00031 \geq 0.00078$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00078$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 7.0 \text{ mm}$  –

$c = 40 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{7}{0.0057} = 345 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 345 \cdot 0.00078 = 0.27 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 0.3 \cdot 0.72^2 \cdot 20.00 \cdot 1000 = 494.55 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 30 \cdot 72 = 3.24 \text{ cm}^2$$

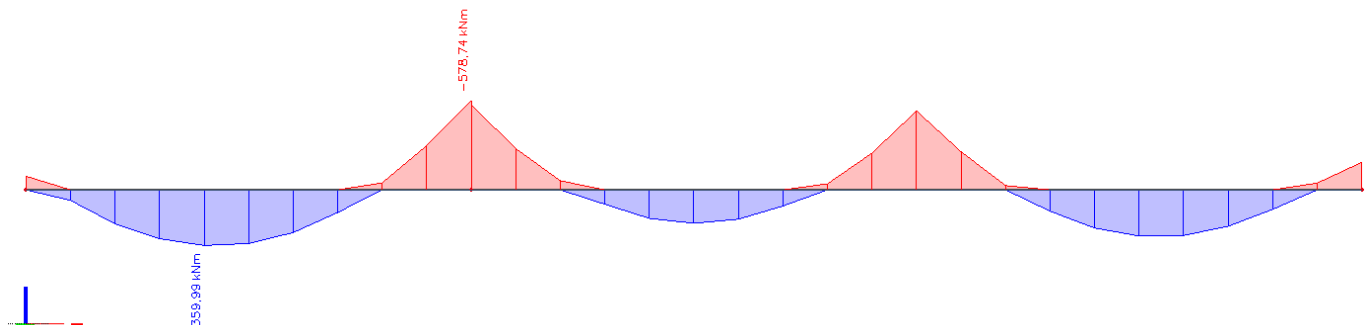
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 190 \cdot 72 = 20.52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 30 \cdot 72 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 30.80 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 190 \cdot 75 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 557.15 \text{ cm}^2$$

### 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%.

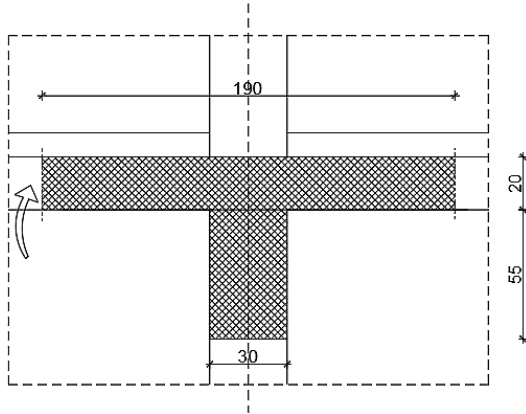
$$M_{max}^{polje} = 359.99 \cdot 1.30 = 467.99 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 578.74 \cdot 0.85 = 491.93 \text{ kNm}$$

### 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

#### Polje:

Utjecajna širina:  $b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 30 + \frac{0.85 \cdot 940}{5} = 190 \text{ cm}$



$M_{Ed} = 467.99 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{467.99 \cdot 100}{190 \cdot 72^2 \cdot 2.0} = 0.024$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 1.0$   $\xi = 0.083$   $\zeta = 0.971$

$$x = \xi \cdot d = 0.083 \cdot 72 = 5.98 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{467.99 \cdot 100}{0.971 \cdot 72 \cdot 43.48} = 15.39 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø25 ( $A_s = 19.63 \text{ cm}^2$ )

#### Ležaj:

$M_{Ed} = 491.93 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{491.93 \cdot 100}{30 \cdot 72^2 \cdot 2.0} = 0.158$$

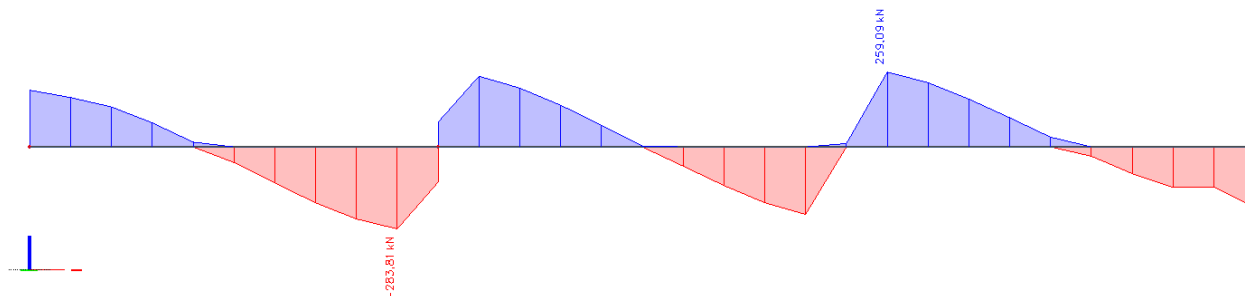
Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 2.7 \text{ ‰}$   $\xi = 0.259$   $\zeta = 0.892$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{491.93 \cdot 100}{0.892 \cdot 72 \cdot 43.48} = 17.62 \text{ cm}^2$$

Izračunata armatura na ležaju je manja od minimalne zadane uvjetom, stoga usvajamo potrebnu površinu armature koja je iznad minimalnih  $20.52 \text{ cm}^2$ .

Odabrano 4Ø28 ( $A_s = 24.63 \text{ cm}^2$ )

### 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu



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

$$V_{Ed} = 259.09 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{720}} = 1.53 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.53$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{24.63}{30 \cdot 75} = 0.0109$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.53 \cdot (100 \cdot 0.0109 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 300 \cdot 720$$

$$V_{Rd,c} = 126.82 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.53^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.363$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.363 \cdot 300 \cdot 720 = 78.41 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 259.09 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{30}{250} \right] = 0.528$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 300 \cdot 720 \cdot 20.0 = 1140.48 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{259.09}{1140.48} \approx 0.23 \rightarrow V_{Ed} = 0.23 V_{Rd,max}$$

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

$$\min\{0.75 \cdot 72 = 54, 30.0\} \rightarrow s_{max} = 30.0 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0.0010$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0010 \cdot 30.00 \cdot 30.00}{2} = 0.45 \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 72) \cdot 43.48 \cdot 2 = 148.39 \text{ kN}$$

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

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 72)}{259.09} = 17.18 \text{ cm}$$

Postaviti spone  $\emptyset 10/15$  ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

#### 7.1.4. Kontrola progiba



Slika 7.3 Prikaz progiba grede

$w_c$  – nadvišenje neopterećenog konstruktivnog elementa

$w_1$  – početni progib od stalnog opterećenja

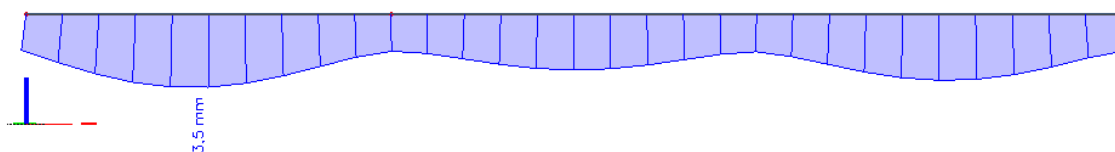
$w_2$  – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

$w_3$  – 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

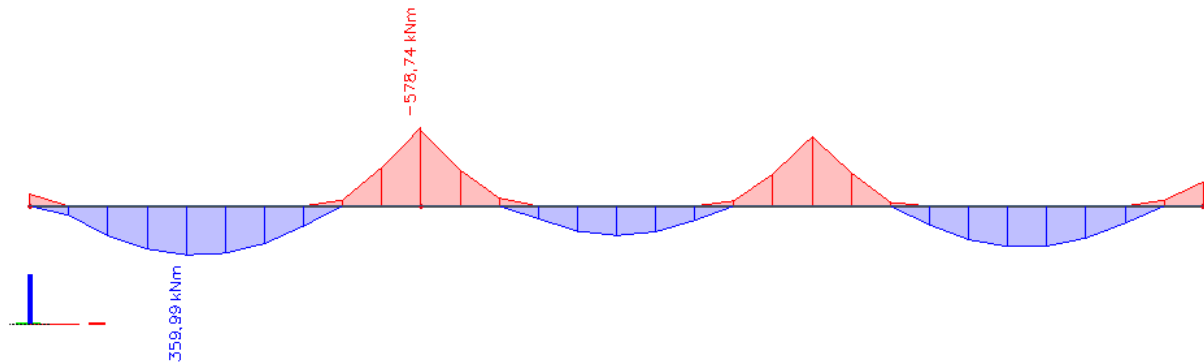
Najveći progib iznosa je 3.5 mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 940/1000 = 9.40$  mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.



### 7.1.5. Kontrola pukotina



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

$$M_{\max} = 578.74 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 19.63}{30} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 30 \cdot 72}{6.25 \cdot 19.63}} \right) = 24.61 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{57874}{\left(72 - \frac{24.61}{3}\right) \cdot 19.63} = 46.21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 462.10 \text{ MPa}$$

Za C 30/37  $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}$

$A_{s1} = 4\emptyset 25$  ( $A_s = 19.63 \text{ cm}^2$ )

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa} = 32\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6.25$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{19.63}{30 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.087$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{461.2 - 0.4 \frac{2.9}{0.087} (1 + 19.63 \cdot 0.087)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{462.10}{200000}$$

$$0.002126 \geq 0.00139$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00139$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 25.0 \text{ mm}$$

$c = 40 \text{ mm}$  – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{25}{0.087} = 150.85 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 150.85 \cdot 0.00139 = 0.21 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

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:

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

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

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

$$\text{C 30/37 (} f_{ct,m} = 2.9 \text{ MPa); B 500B (} f_y = 500 \text{ MPa); } \rho_{w,min} = 0.15 \cdot (2.9/435) = 0.0010$$

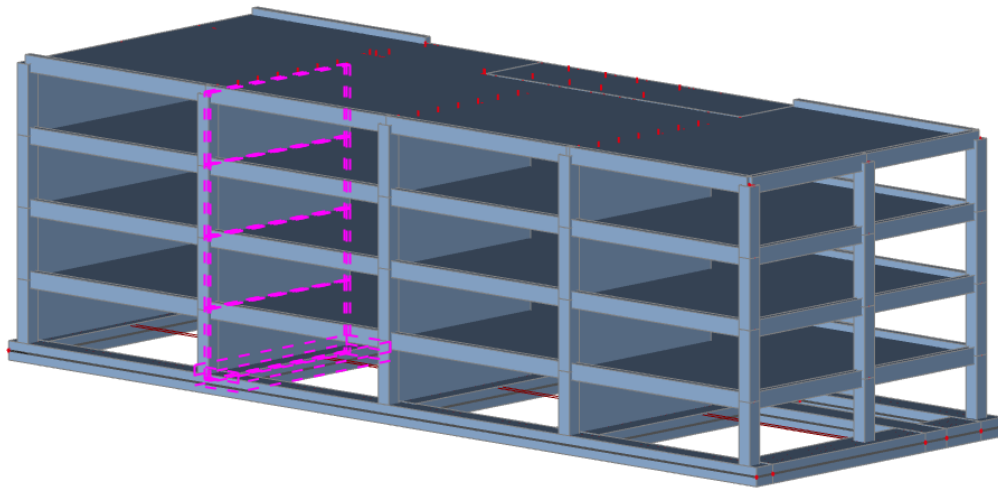
$$b_w = 16 \text{ cm; } A_{s,min} = 0.0010 \cdot 16 \cdot 100/2 = 0.80 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

$$b_w = 20 \text{ cm; } A_{s,min} = 0.0010 \cdot 20 \cdot 100/2 = 1.00 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

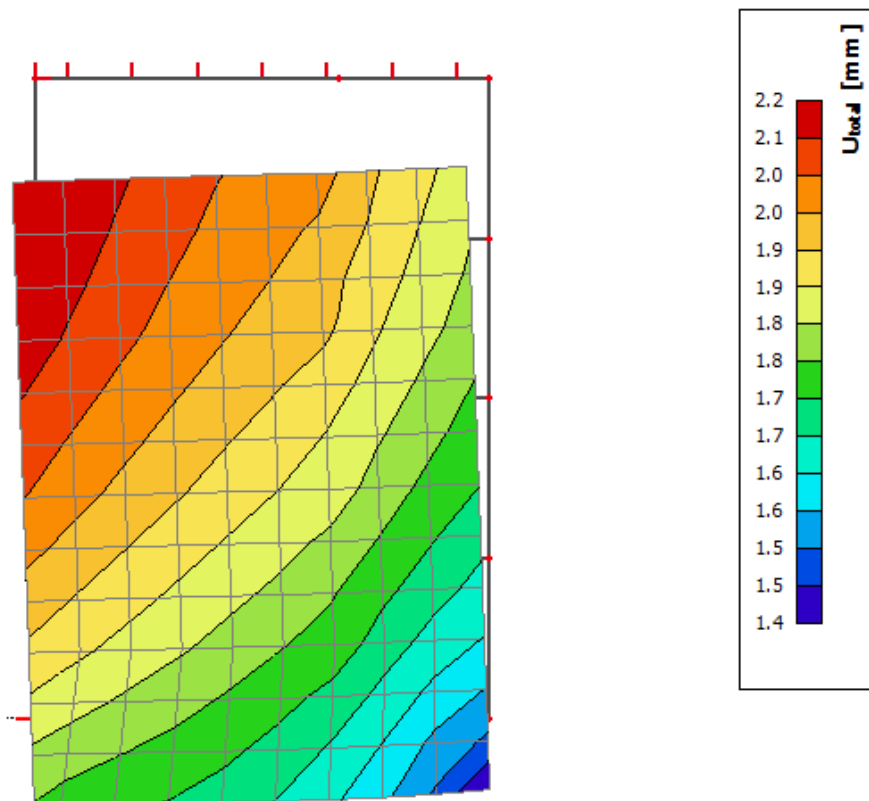
$$b_w = 30 \text{ cm; } A_{s,min} = 0.0010 \cdot 30 \cdot 100/2 = 1.50 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

$$b_w = 40 \text{ cm; } A_{s,min} = 0.0010 \cdot 40 \cdot 100/2 = 2.00 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

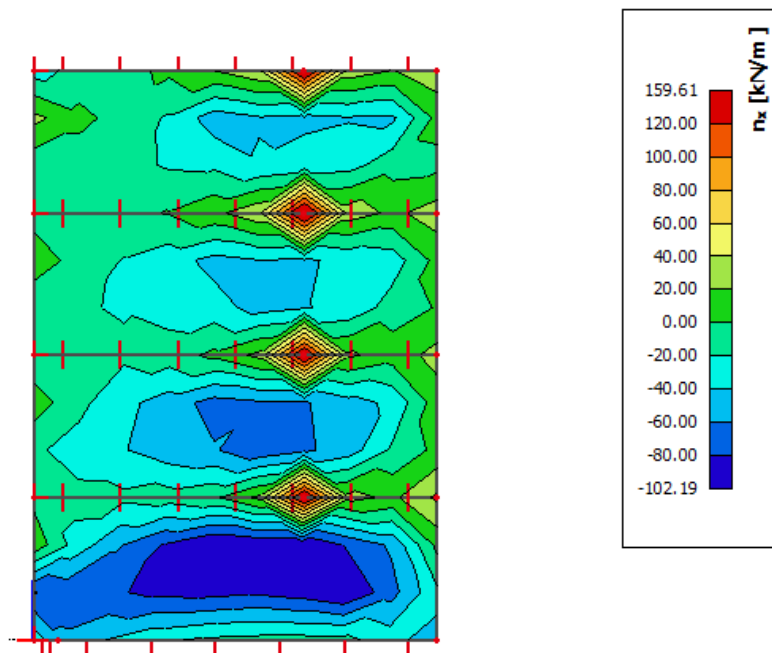
## 8.2. Prikaz modela i dijagrama



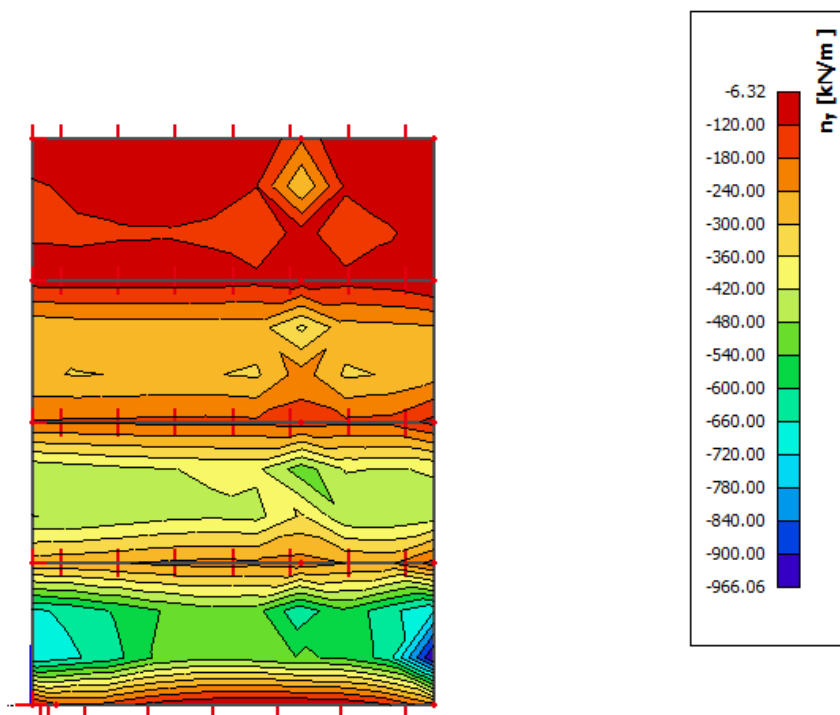
Slika 8.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun



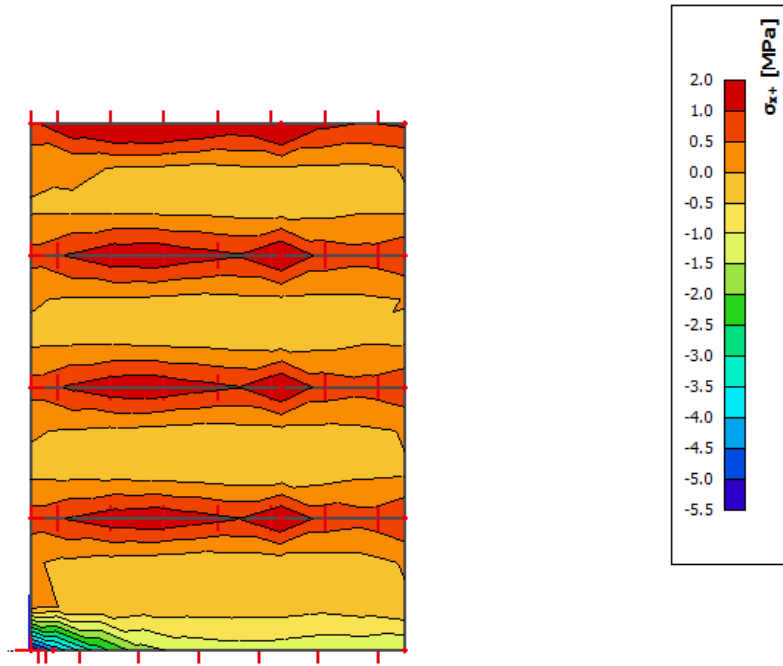
Slika 8.2 Pomaci (mm) za nazovistalnu kombinaciju GSU-2



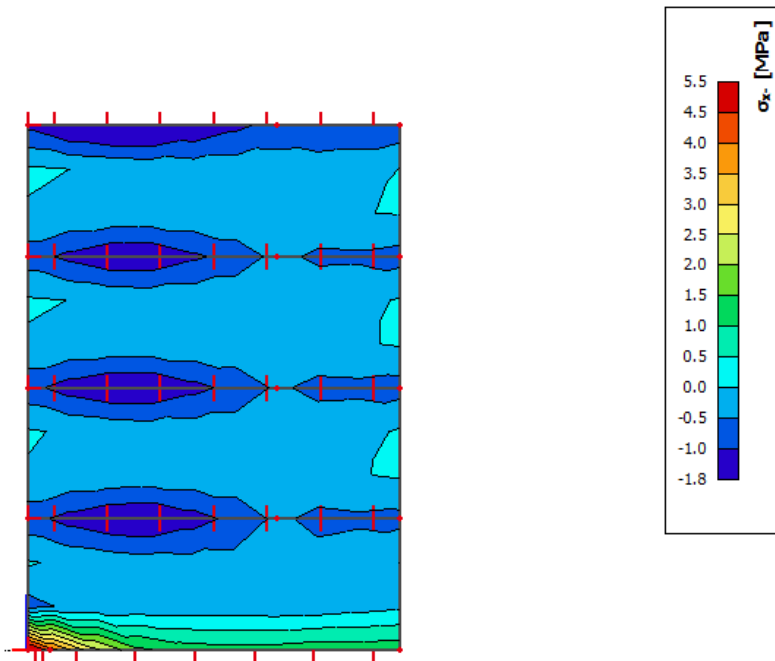
Slika 8.3 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru X, u zidovima za anvelopu GSN-1



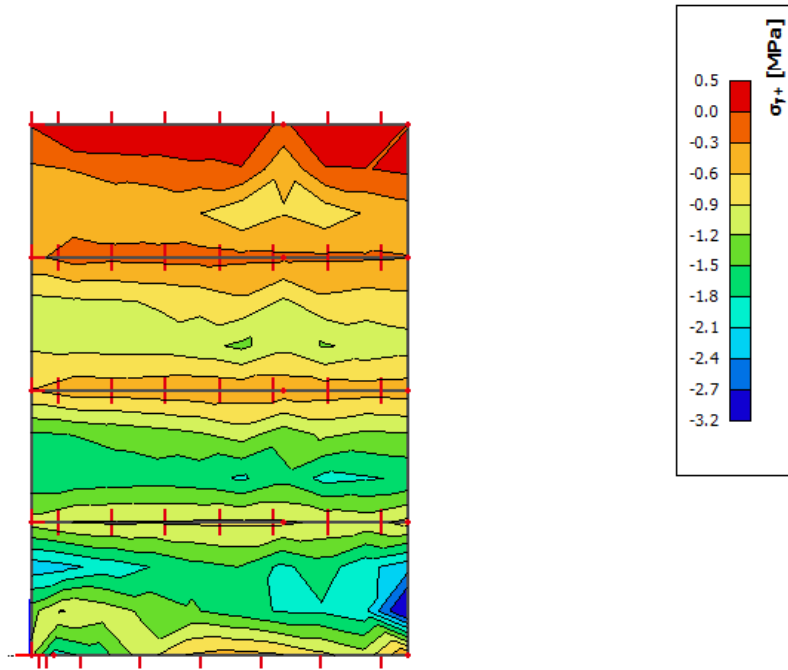
Slika 8.4 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru Y, u zidovima za anvelopu GSN-1



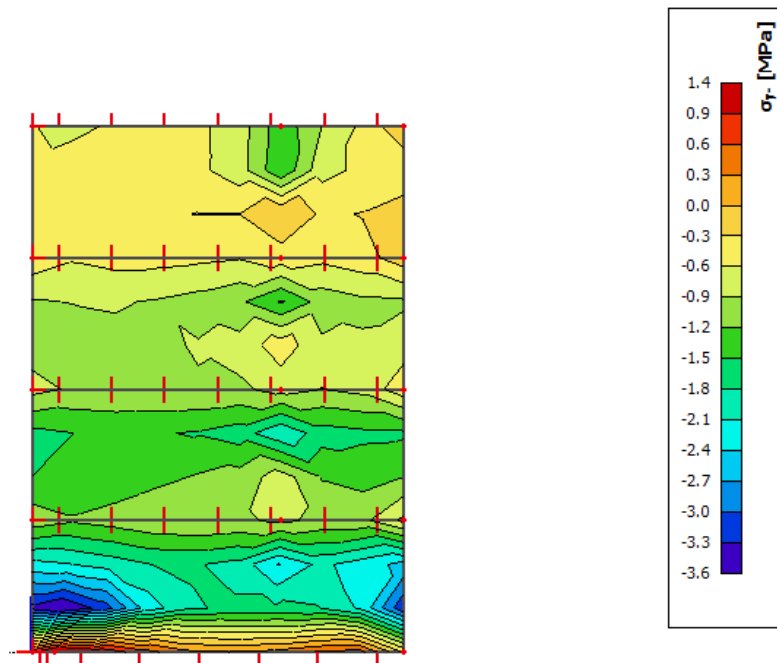
Slika 8.5 Naprezanja u zidu  $\sigma_{x+}$  za kombinaciju GSN-1



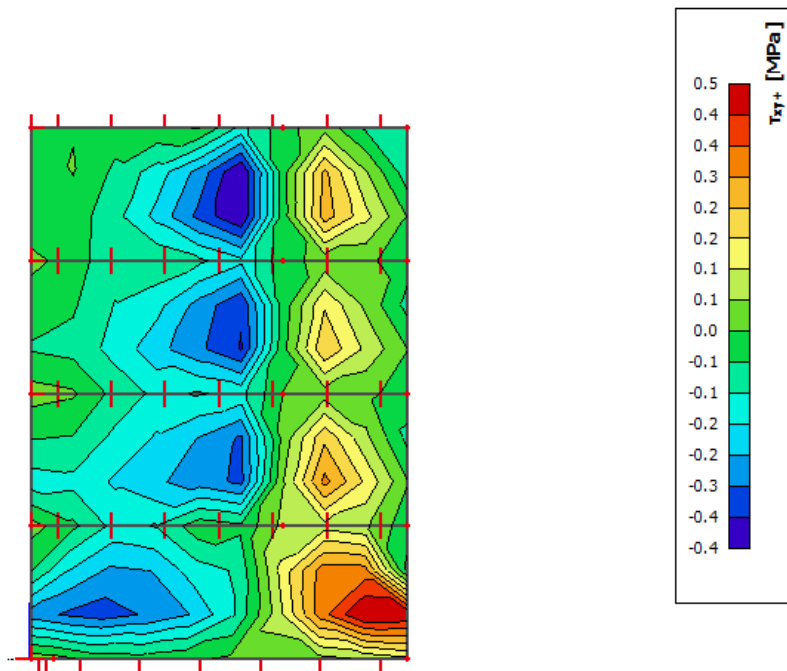
Slika 8.6 Naprezanja u zidu  $\sigma_{x-}$  za kombinaciju GSN-1



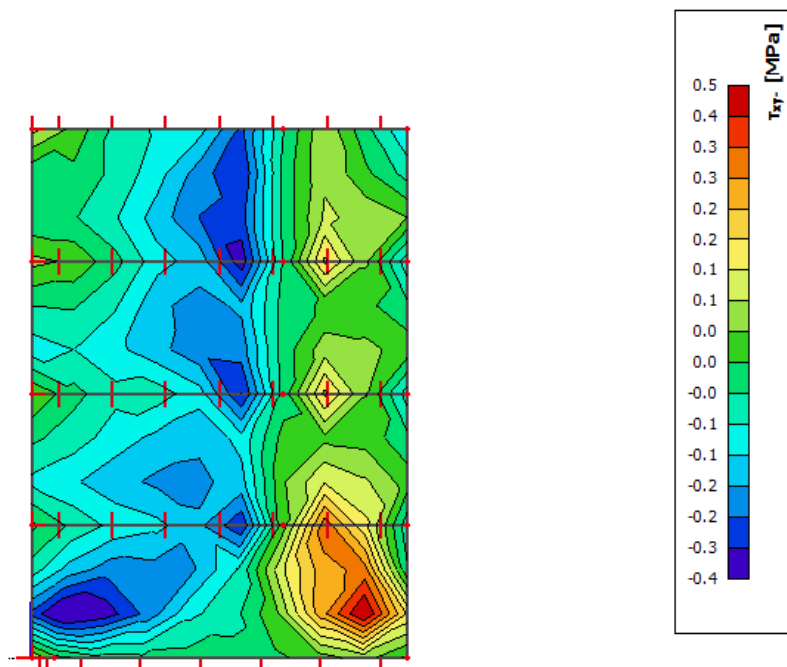
Slika 8.7 Naprezanja u zidu  $\sigma_{y+}$  za kombinaciju GSN-1



Slika 8.8 Naprezanja u zidu  $\sigma_{y-}$  za kombinaciju GSN-1



Slika 8.8 Posmična naprezanja u zidu  $\tau_{xy+}$  za kombinaciju GSN-1



Slika 8.8 Posmična naprezanja u zidu  $\tau_{xy-}$  za kombinaciju GSN-1



## 9. PRORAČUN STUPOVA

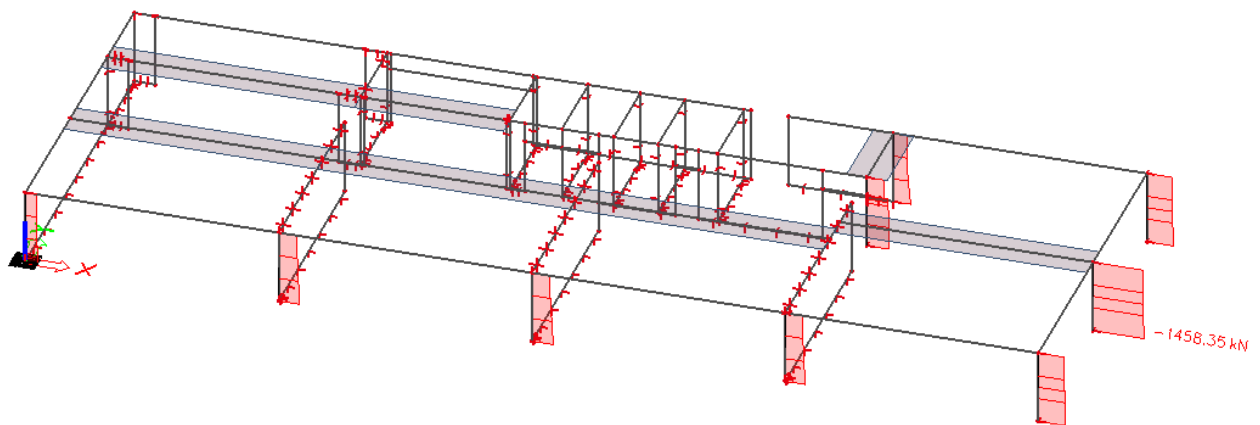
### Ograničenja naprezanja u betonu

Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja:

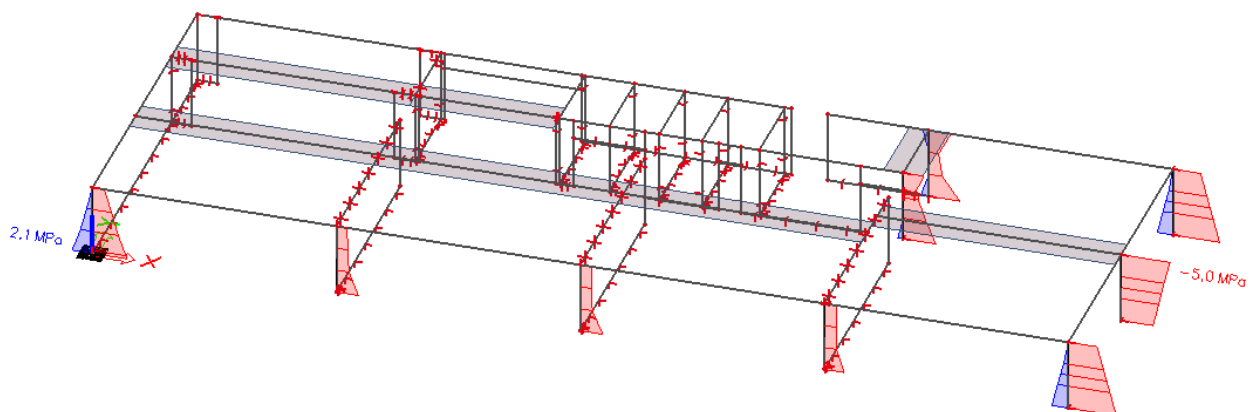
$$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck} \text{ za kombinaciju GSU-1}$$

$$\text{GSU-1} = 1.0G + \Psi_2Q = 1.0G + 0.5Q \text{ za C30/37,}$$

$$\sigma_c \leq 0.45 \cdot 30 = 13.5 \text{ MPa}$$



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: C30/37;  $f_{ck}=30\text{Mpa}$

Kontrolira se srednje tlačno naprezanje u stupu za kombinaciju:

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

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

$$\text{za C 30/37: } 0.45 f_{ck} = 0.45 * 30 = 13.5 \text{ MPa}$$

U niti jednom stupu (dimenzije prema planu pozicija) nije prekoračeno srednje tlačno naprezanje.

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

$$N_{sd} = 1458.35 \text{ kN}$$

$$b \times h \geq N_{sd} / 0.65 \times f_{cd} \rightarrow 3600 \geq 1721.04 = A_{c,potr}$$

Poprečni presjek stupa:  $b/h = 60 \times 60 \text{ cm}$

Minimalna vertikalna armatura stupa:

- a)  $A_{s,min} = 8\Phi 12 (9.05 \text{ cm}^2)$
- b)  $A_{s,min} = 0.15 \times N_{sd} / f_{yd} = 0.15 \times 1458.35 / 43.48 = 5.03 \text{ cm}^2$
- c)  $A_{s,min} = 0.003 \times A_c = 10.8 \text{ cm}^2$
- d)  $A_{s,min} = 0.01 \times A_c = 36 \text{ cm}^2$

Odabrana vertikalna armatura:  $8\Phi 25 (39.27 \text{ cm}^2)$

Minimalna poprečna armatura stupa:

- a)  $e_w = 12 \Phi_{s,min} = 26.4 \text{ cm}$
- b)  $e_w \leq b = 60 \text{ cm}$
- c)  $e_w \leq 30 \text{ cm}$
- d)  $e_w \leq 15 \text{ cm}$

Odabrana poprečna armatura: spone  $\Phi 6/15 \text{ cm}$ .

*Napomena: Na područjima neposredno u blizini ležaja u dužini od 50 cm te na preklopima armature progustiti razmak na 9 cm.*

## 10. PRORAČUN TEMELJA

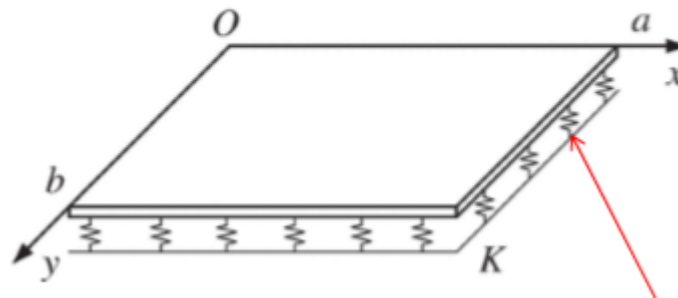
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja.

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 11.1 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

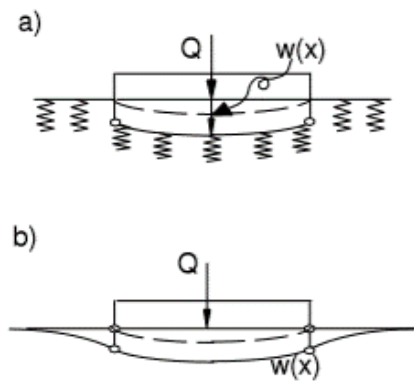
Koeficijent reakcije podloge  $K$  je odnos između dodirnog naprezanja  $q$  kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja  $w$ , koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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

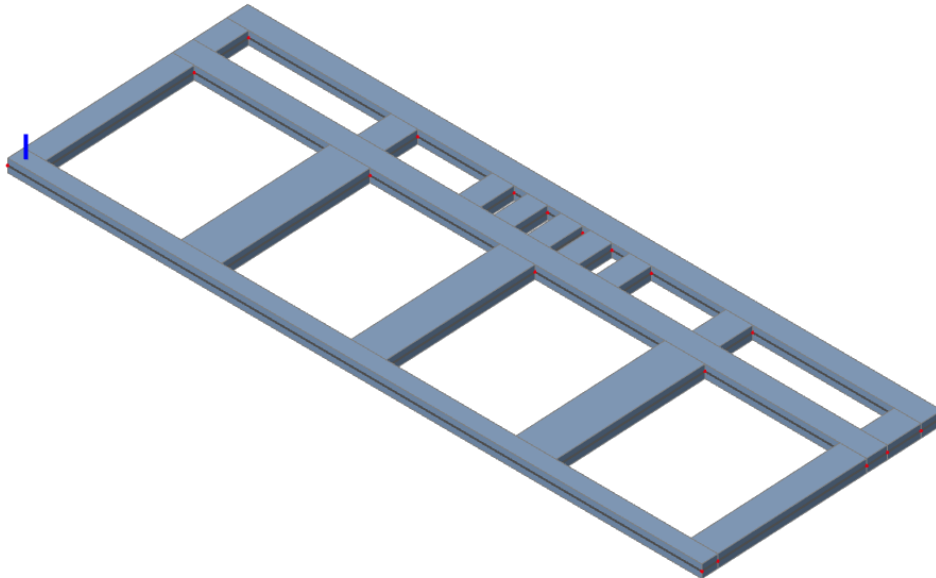
Nedostatci ovog modela :

- 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

## 10.1. Proračun trakastih temelja

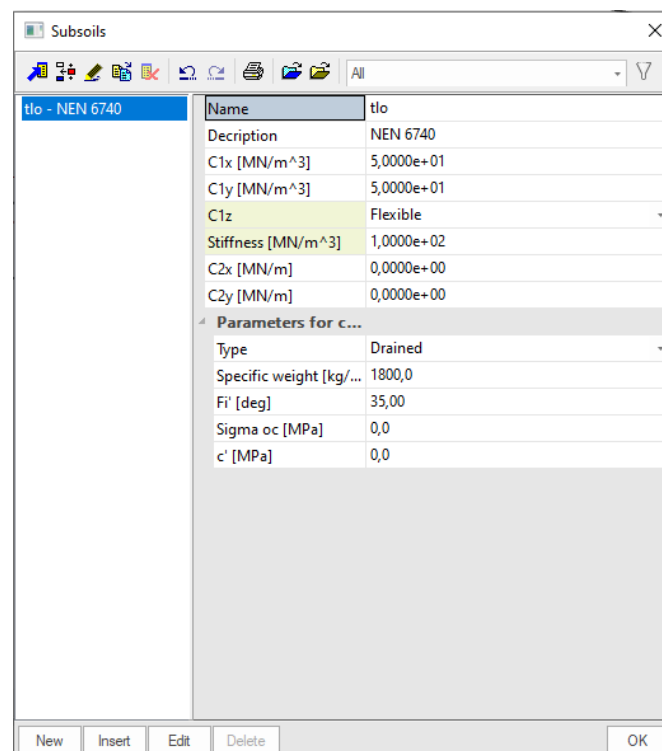
### 10.1.1. Model trakastih temelja

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



Slika 11.3 Model trakastih temelja

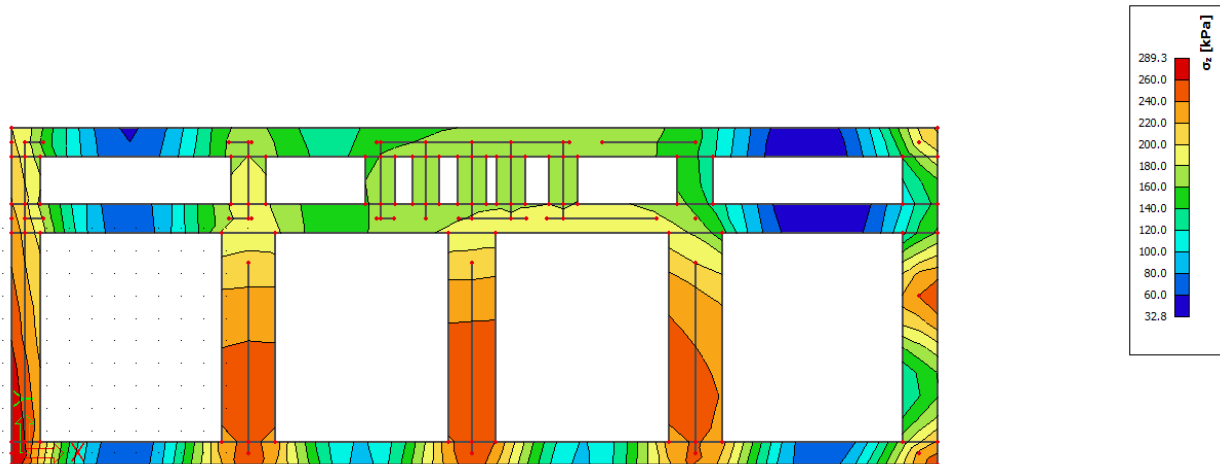
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla.



Slika 11.4 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

### 10.1.2. 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 geomehničkog elaborata. Na osnovu geotehničkih istražnih radova dobiveni su rezultati za osnovna opterećenja od 400 kPa.



Slika 11.5 Naprezanje građevine na mjestima oslanjanja temeljne stope na tlo (kPa) za kombinaciju GSN-1

Cilj proračuna je dobiti približno jednak omjer računске nosivosti i nosivosti tla - u granicama od 60% do 70% iskoristivosti tla, tako da slijeganje temelja bude što ujednačenije.

Reakcije su dobivene iz programa „Scia Engineer“.

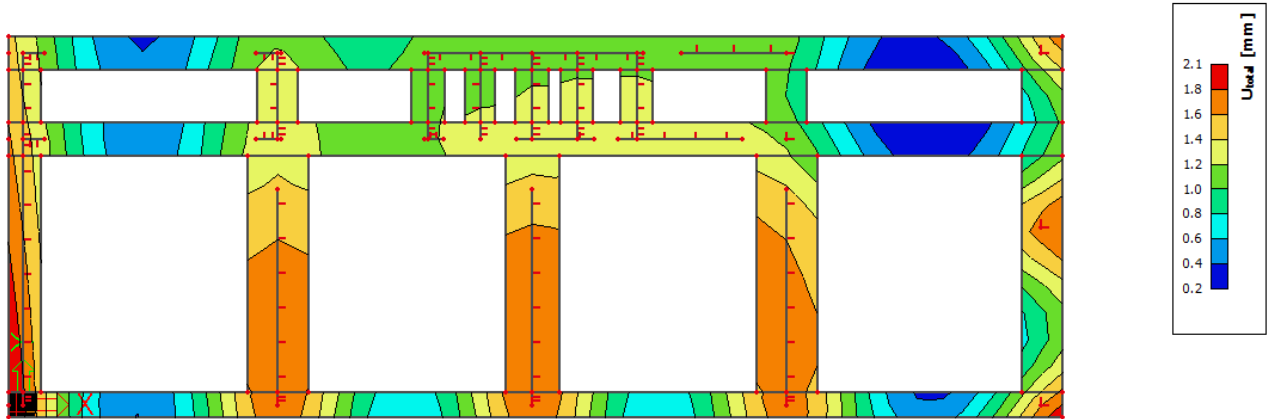
Vrijednost računskog kontaktnog naprezanja je 400 kN/m<sup>2</sup>.

Maksimalno naprezanje na građevini iznosi 289.3 kN/m<sup>2</sup> što znači da je omjer računске nosivosti i nosivosti tla u iznosu od  $\sigma_{Ed}/\sigma_{Rd}$  72%

Napomena: visina svih temeljnih stopa je 0.8 metara.

### 10.1.3. Slijeganje građevine

Iz gornjeg proračuna vidljivo je 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 11.6 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSU-2

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

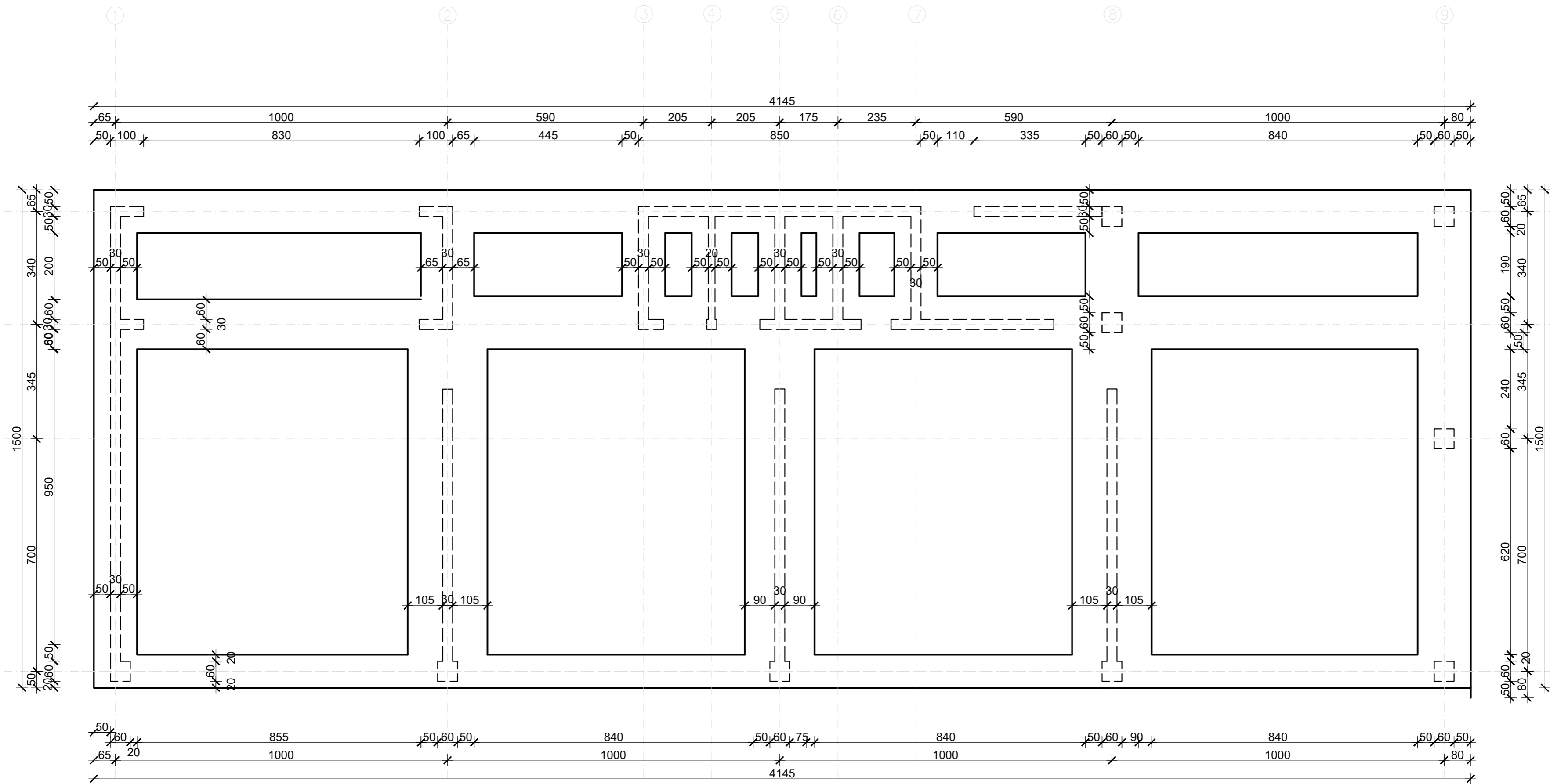
## **11. GRAFIČKI PRILOZI**


Redom su priloženi:

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

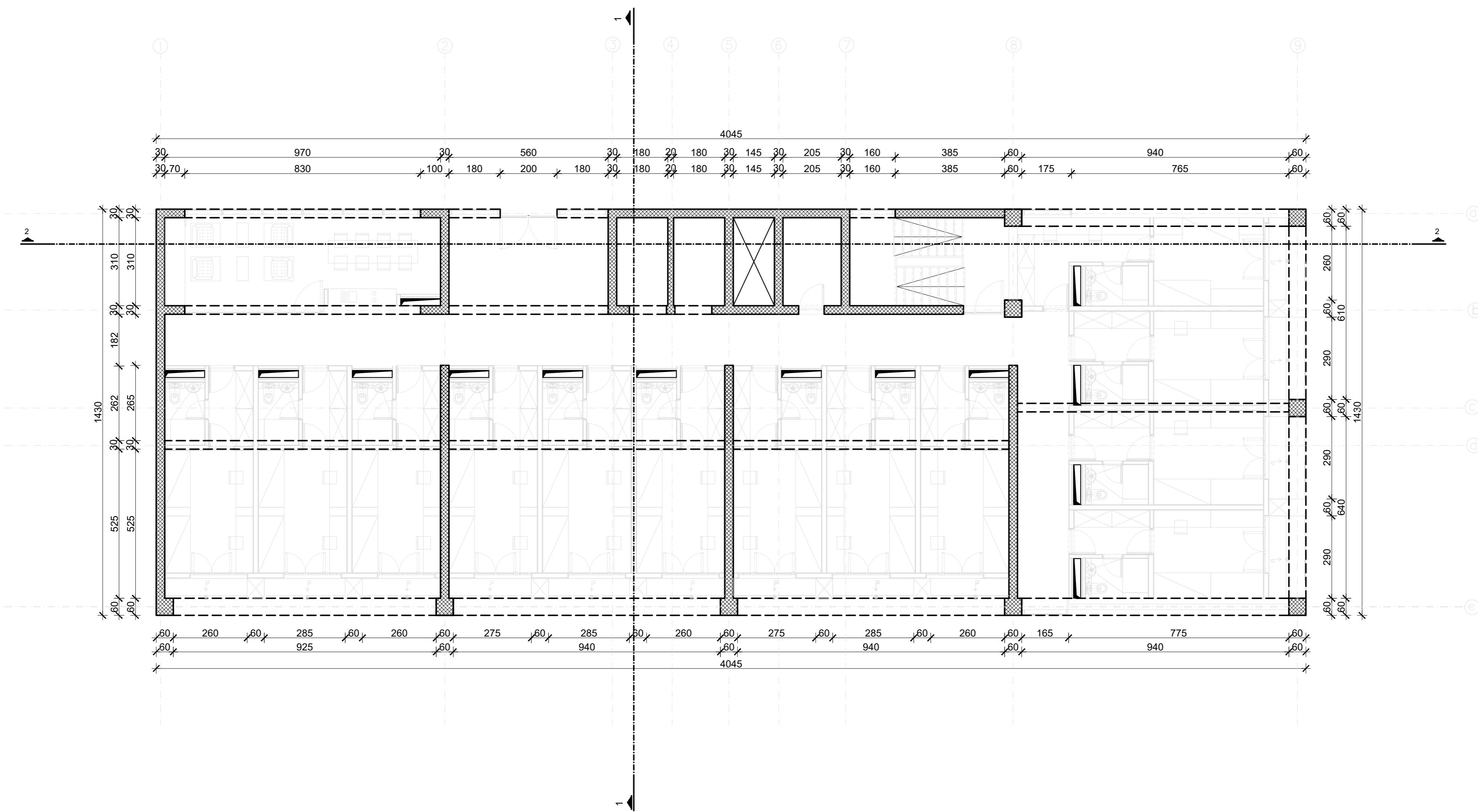



TLOCRT TEMELJA  
M 1:100



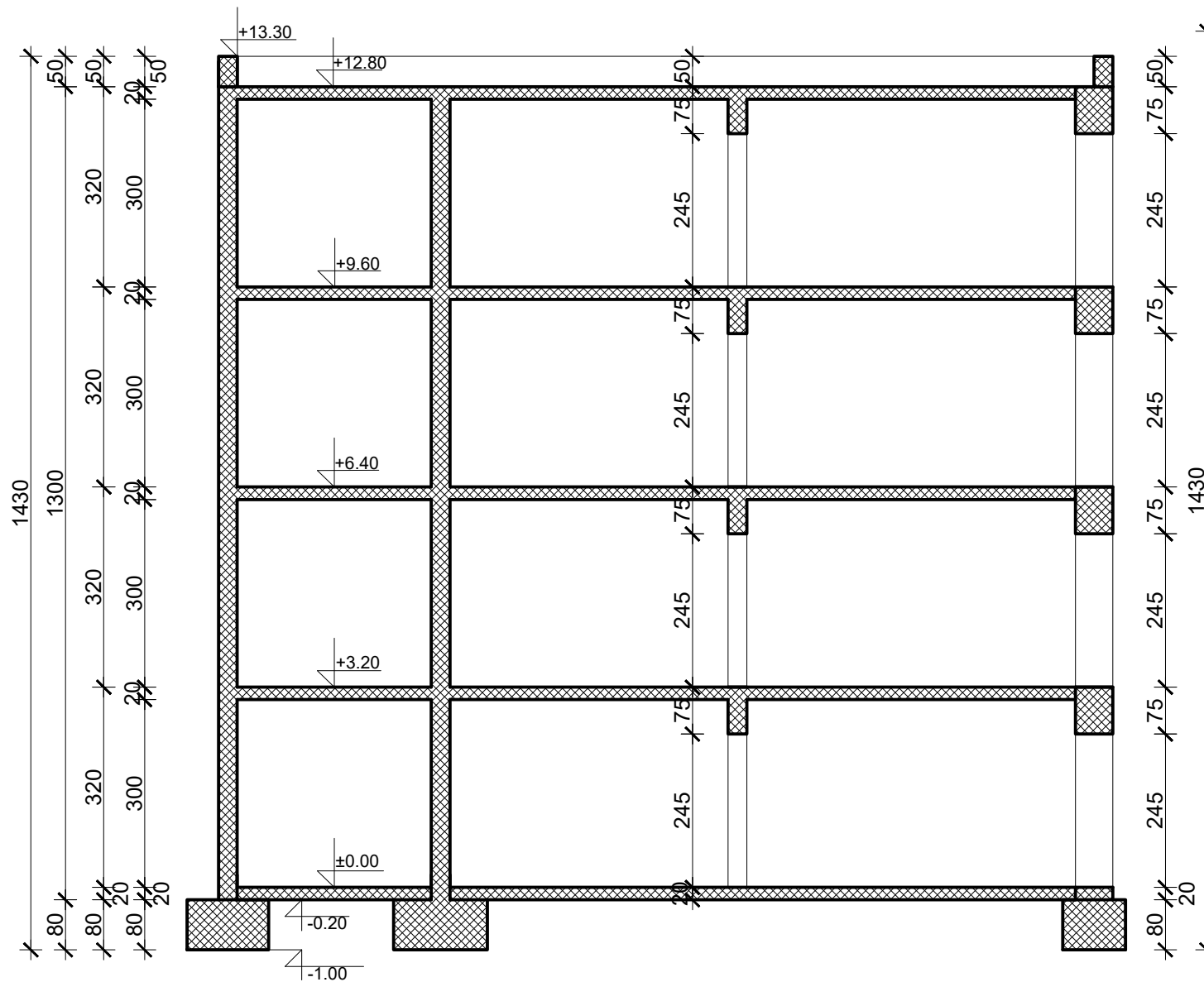
|  |  |                          |
|--|--|--------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | <p>Gradska statika 1</p>                           |                          |
|  | <p>TEMA<br/>Statički proračun studentskog doma</p> |                          |
|  | <p>STUDENT<br/>Vanesa Radolović</p>                |                          |
|  | <p>SADRŽAJ<br/>Tlocrt temelja</p>                  | <p>MJERILO<br/>1:100</p> |
| <p>DATUM<br/>07/2021</p>   | <p>BROJ PRILOGA<br/>1</p>                          |                          |

TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA  
M 1:100



|  |   |                                  |
|--|---|----------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | <p>TEMA<br/><b>Građevna statika 1</b></p>             |                                  |
|  | <p>STUDENT<br/><b>Vanesa Radolović</b></p>            |                                  |
|  | <p>SADRŽAJ<br/><b>Karakteristični tlocrt kata</b></p> | <p>MJERILO<br/>1:100</p>         |
|  | <p>DATUM<br/>07/2021</p>                              | <p>BROJ PRILOGA<br/><b>2</b></p> |

PRESJEK 1-1  
M 1:100

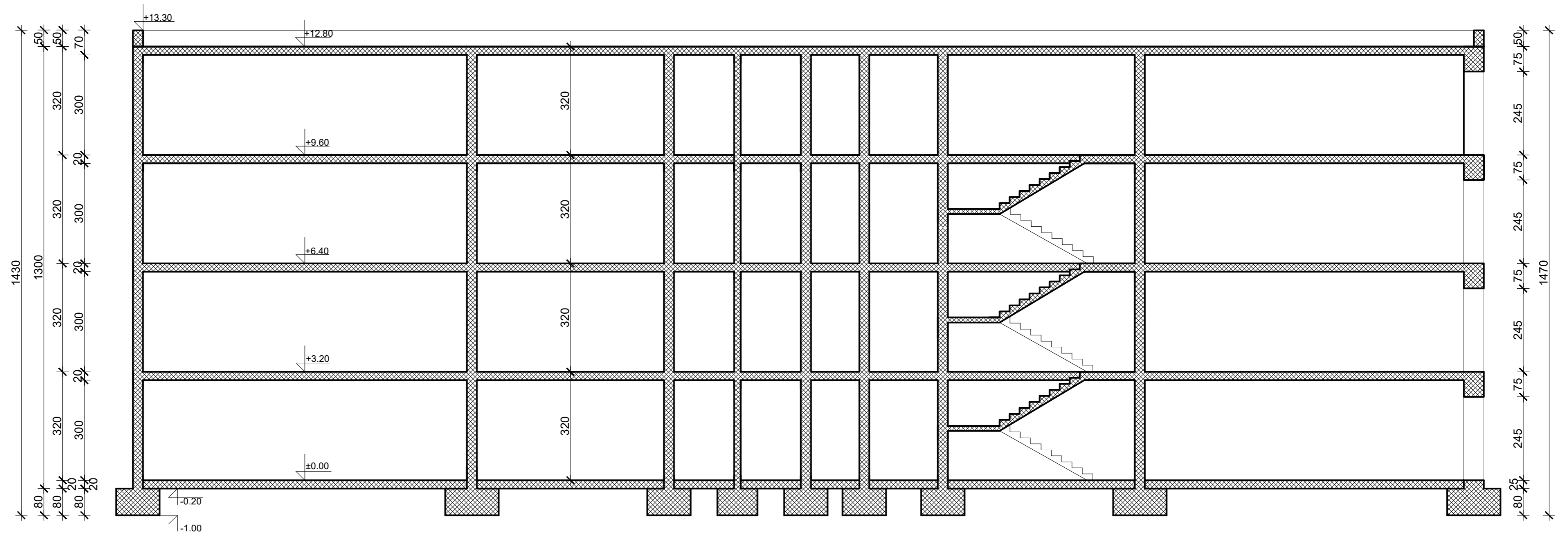



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

|         |             |                                    |       |
|---------|-------------|------------------------------------|-------|
| TEMA    |             | Građevna statika 1                 |       |
|         |             | Statički proračun studentskog doma |       |
| STUDENT |             | Vanesa Radolović                   |       |
| SADRŽAJ | Presjek 1-1 | MJERILO                            | 1:100 |
| DATUM   | 07/2021     | BROJ PRILOGA                       | 3     |

# PRESJEK 2-2

## M 1:100



|  |                    |                                    |
|--|--------------------|------------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>         GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>         21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Građevna statika 1 |                                    |
|  | TEMA               | Statički proračun studentskog doma |
|  | STUDENT            | Vanesa Radolović                   |
|  | SADRŽAJ            | Presjek 2-2                        |
| DATUM  | 07/2021            | MJEILO 1:100<br>BROJ PRILOGA 4     |

## 12.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, Nikola Grgić, Marija Smilović Zulim, Marina Sunara, Ante Buzov, **Osnove betonskih konstrukcija**, interna skripta, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2020.