

# Statički proračun poslovne zgrade

---

Ćurak, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*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:123:274530>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-18**



*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**

**Marko Ćurak**

**Split, 2020**

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

**Statički proračun poslovne zgrade**

**Završni rad**

**Split, 2020**

## Statički proračun poslovne zgrade

### Sažetak:

U radu je prikazan statički proračun poslovne zgrade. Poslovna zgrada sastoji se od prizemlja, četiri etaže i ravnoga krova. Nosiva konstrukcija građevine izvedena je od armiranog betona.

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

### Ključne riječi:

Poslovna zgrada, Statički proračun

## Static calculation of business building

### Summary:

The static design of business building is presented in this work. The building consist of four stories, ground floor and flat roof. Structure is made of reinforced concrete.

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

### Keywords:

Business building, Static calculation

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

Split, Matice hrvatske 15

|                            |  |
|----------------------------|--|
| STUDIJ:                    | <b>PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ<br/>GRAĐEVINARSTVA</b> |
| KANDIDAT:                  | <b>Marko Ćurak</b>   |
| BROJ STUDENTSKE ISKAZNICE: | <b>832178327</b>   |
| KATEDRA:                   | <b>Katedra za teoriju konstrukcija</b>                     |
| PREDMET:                   | <b>Građevna statika</b>                                    |

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Statički proračun poslovne zgrade

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, rujan 2020

Voditelj Završnog rada:

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

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. TEHNIČKI OPIS .....                                  | 7  |
| 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine.....        | 7  |
| 1.2. Geotehnički izvještaj.....                         | 7  |
| 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE.....                 | 8  |
| 3. ANALIZA OPTEREĆENJA.....                             | 10 |
| 3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....                | 10 |
| 3.2. Stalno opterećenje ( $G_1$ ).....                  | 10 |
| 3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije.....      | 10 |
| 3.2.2. Krovna ploča.....                                | 11 |
| 3.2.3. Međukatne ploče.....                             | 12 |
| 3.2.4. Balkon.....                                      | 13 |
| 3.2.5. Stubište.....                                    | 14 |
| 3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ ).....             | 14 |
| 3.4. Izvanredno djelovanje – potresno opterećenje.....  | 15 |
| 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA .....                     | 18 |
| 4.1. Krovna ploča.....                                  | 18 |
| 4.2. Međukatna ploča.....                               | 19 |
| 4.3. Stubište.....                                      | 20 |
| 4.4. Potresno djelovanje.....                           | 21 |
| 5. KOMBINACIJE DJELOVANJA .....                         | 22 |
| 6. PRORAČUN PLOČA.....                                  | 23 |
| 6.1. Međukatna ploča.....                               | 23 |
| 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče .....  | 24 |
| 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče..... | 28 |
| 6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....            | 28 |
| 6.1.4. Kontrola pukotina .....                          | 30 |
| 6.2. Proračun krovne ploče .....                        | 33 |
| 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....      | 34 |
| 6.2.2. Kontrola progiba .....                           | 38 |
| 6.2.3. Kontrola pukotina .....                          | 40 |
| 7. PRORAČUN AB GREDA.....                               | 43 |
| 7.1. Međukatna greda.....                               | 43 |
| 7.1.1. Prikaz rezultata proračuna.....                  | 43 |

---

|  |    |
|--|----|
| 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja ..... | 44 |
| 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....    | 45 |
| 7.1.4. Kontrola progiba .....                    | 47 |
| 7.1.5. Kontrola pukotina .....                   | 48 |
| 7.2. Krovna greda.....                           | 50 |
| 7.2.1. Prikaz rezultata proračuna.....           | 50 |
| 7.2.2. Dimenzioniranje na moment savijanja ..... | 50 |
| 7.2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....    | 51 |
| 7.2.4. Kontrola progiba .....                    | 53 |
| 7.2.5. Kontrola pukotina .....                   | 54 |
| 8. PRORAČUN ZIDOVA.....                          | 56 |
| 8.1. Opći uvjeti.....                            | 56 |
| 8.2. Prikaz modela i dijagrama .....             | 57 |
| 9. PRORAČUN STUPOVA.....                         | 61 |
| 10. PRORAČUN STUBIŠTA .....                      | 63 |
| 10.1. Mjerodavne rezne sile .....                | 63 |
| 10.2. Dimenzioniranje stubišta .....             | 63 |
| 11. PRORAČUN TEMELJA .....                       | 65 |
| 11.1. Proračun trakastih temelja.....            | 67 |
| 11.1.1. Model trakastih temelja .....            | 67 |
| 11.1.2. Proračun širine temeljne stope.....      | 68 |
| 11.1.3. Slijeganje građevine .....               | 69 |
| 12. GRAFIČKI PRILOZI.....                        | 70 |
| 13. LITERATURA.....                              | 71 |

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine

Predmet ovog završnog rada je proračun nosive konstrukcije građevine poslovne namjene. Građevina se sastoji od ukupno pet etaža, pravilnog je tlocrtnog oblika – pravokutnika dimenzija 39.38 x 27.20 m, s balkonom na istočnoj strani dimenzija 15.35 x 2.88.

Ukupna površina građevine je iznosi 1116 m<sup>2</sup>, a ukupna visina 21.90 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 22cm.

Stubišta su također izvedena u armiranom betonu debljine 18 cm.

Ravna krovna ploča je debljine 20 cm i izvedena je od armiranog betona.

Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su zidovi debljine 25 cm, te stupovi dimenzija 50 x 50 cm.

Temeljenje je predviđeno na trakastim temeljima od armiranog betona ispod nosivih zidova i stupova, širine 180 cm i visine 100 cm.

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

Elementi koji se ne proračunavaju armiraju se konstruktivno.

Građevina se nalazi u području za koje se uz povratni period od 475 godina očekuje potres sa ubrzanjem tla od  $a_g = 0.25g$ . Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armirano betonskih zidova sukladno prema EC-8.

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

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

## 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.

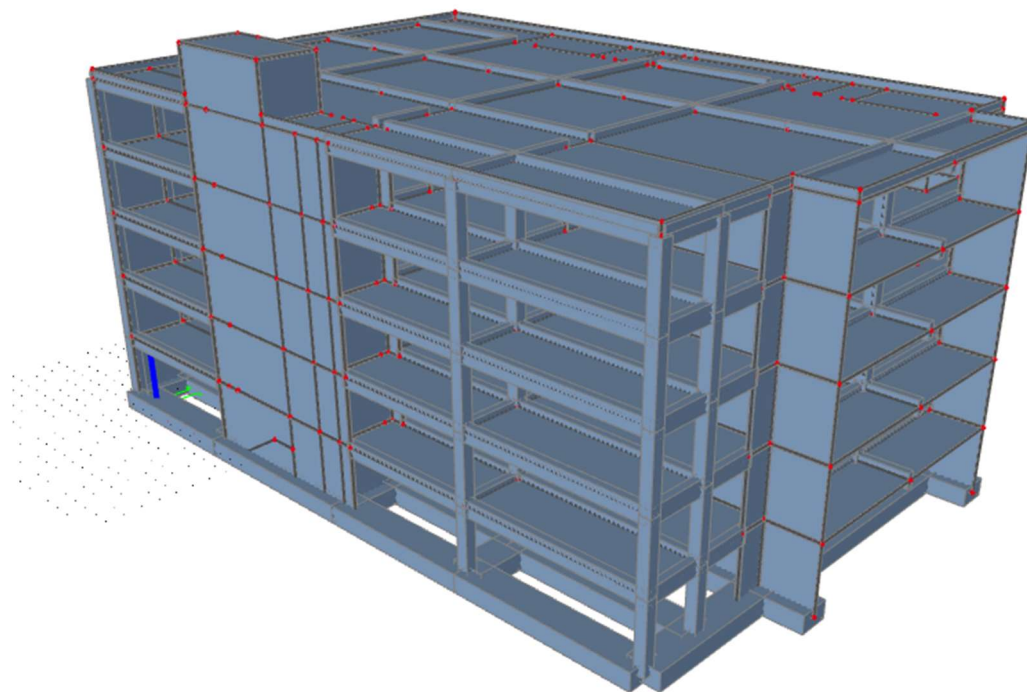
Nakon obavljenog čišćenja temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 (MB-20) do projektirane kote temeljenja.

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.

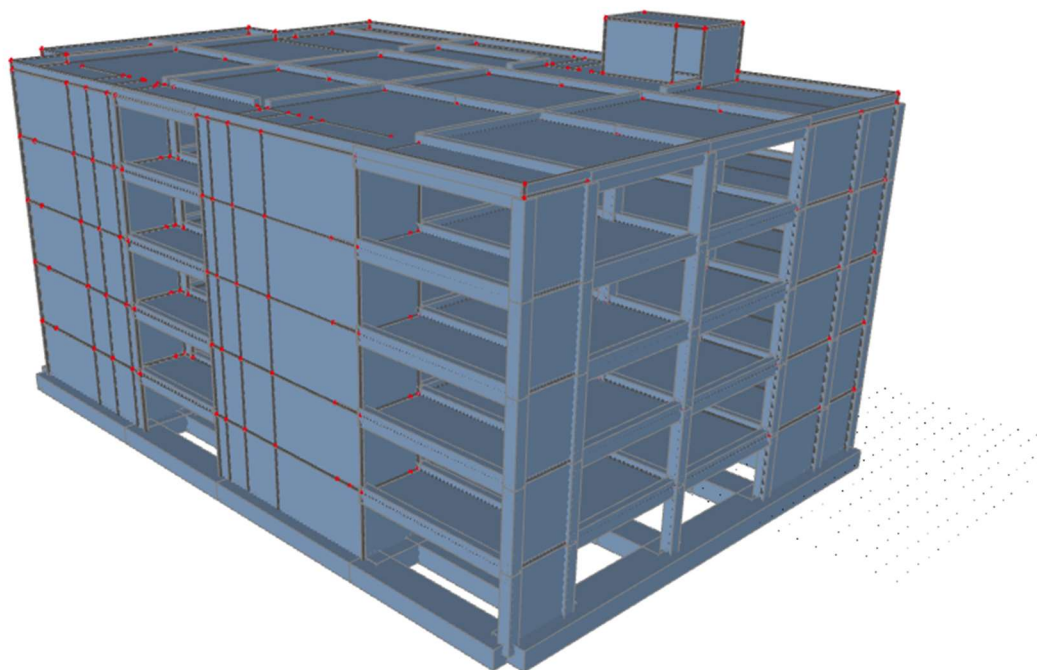
Na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova, dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 600 kPa.



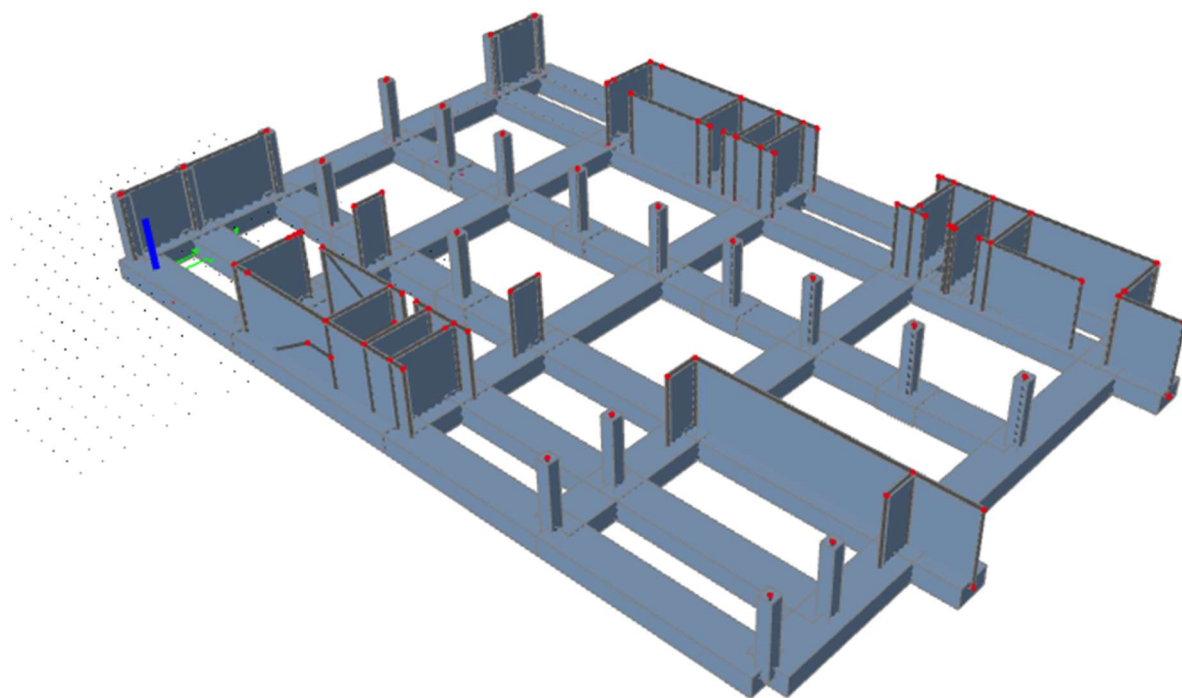
## 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



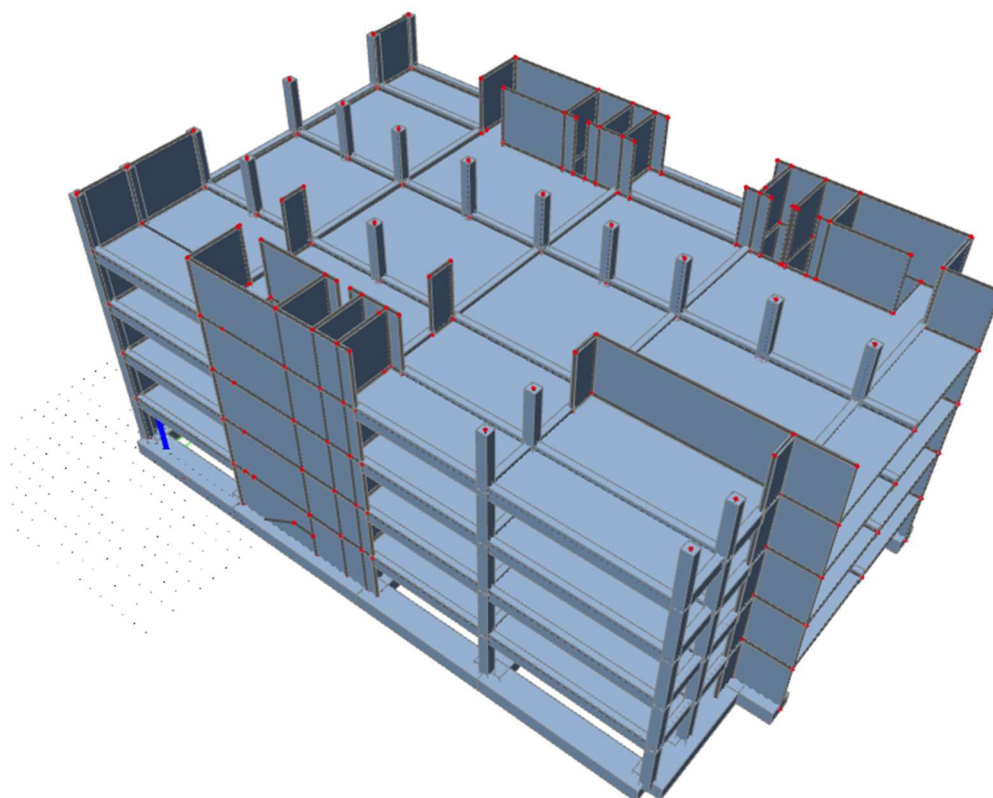
Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



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

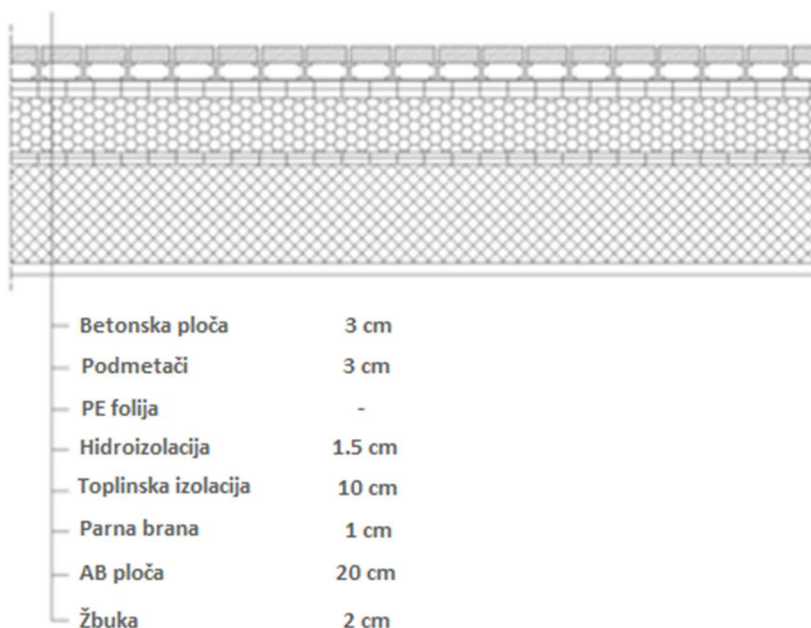
#### 3.2. Stalno opterećenje (G<sub>1</sub>)

##### 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

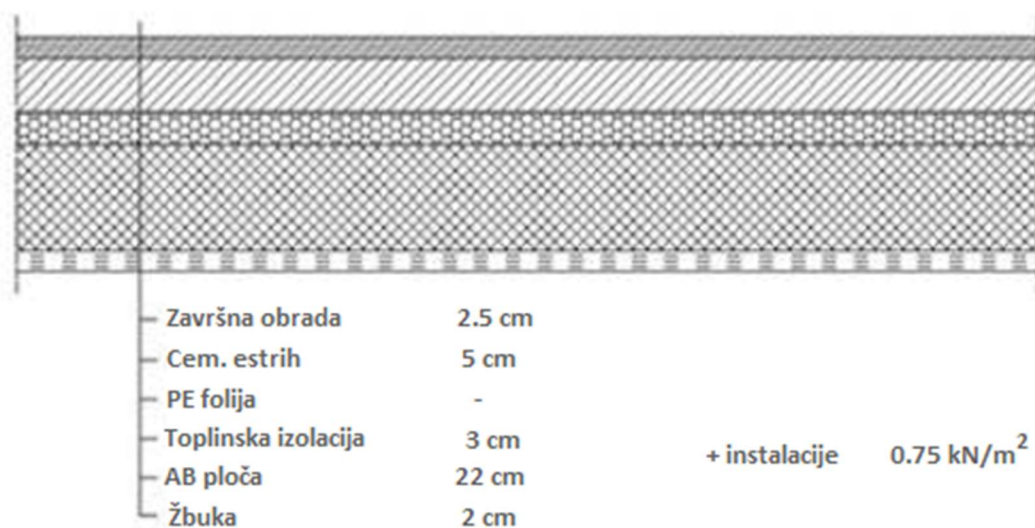


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

| 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

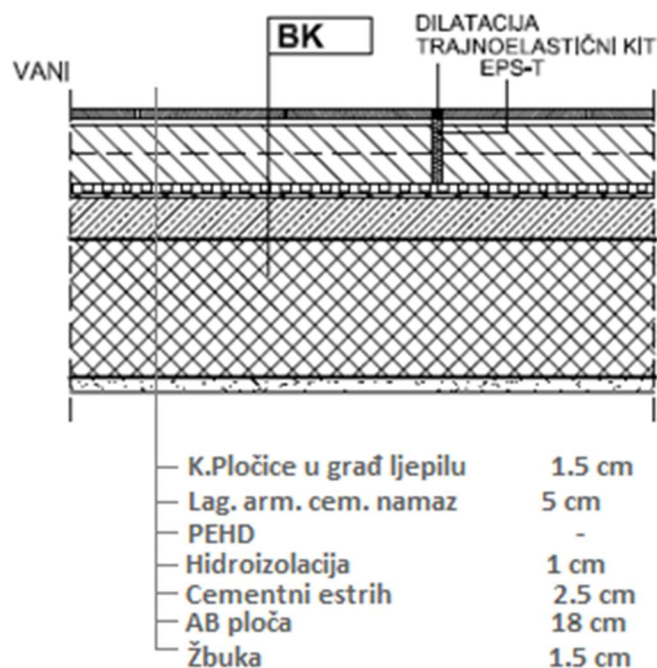


Tablica 3.2.2 Slojevi poda međukatnih konstrukcija

| Sloj:               | Debljina sloja (m): | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|---------------------|-------------------------------|--|
| 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            | 0,22                | Uključeno u SCIA-u            |  |
| Žbuka               | 0,02                | 0,02                          | 0,38                                   |
| Instalacije         | -                   | -                             | 0,75                                   |

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

## 3.2.4. Balkon

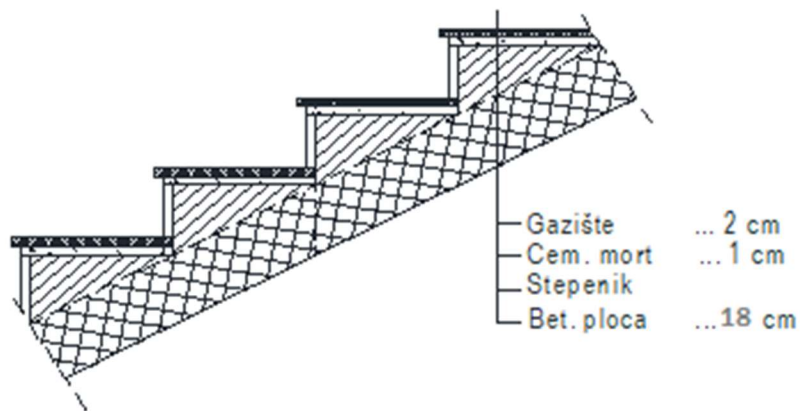


Tablica 3.2.3 Slojevi poda balkona

| Sloj:  | Debljina sloja (m): | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--|---------------------|-------------------------------|--|
| Keramičke pločice u građevinskom ljepilu       | 0,015               | 18,00                         | 0,27                                   |
| Lagano armirani cementni namaz                 | 0,05                | 22,00                         | 1,10                                   |
| Drenažna traka s čepićima prema dolje ( PEHD ) | -                   | -                             | -                                      |
| Hidroizolacija                                 | 0,01                | 10,00                         | 0,10                                   |
| Zaglađeni cementni estrih                      | 0.025               | 24.0                          | 0.60                                   |
| AB ploča                                       | 0,18                | Uključeno u SCIA-u            |  |
| Završna fasadna žbuka                          | 0,015               | 15,00                         | 0,23                                   |

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,30$  (kN/m<sup>2</sup>)

### 3.2.5. Stubište



Tablica 3.2.4 Slojevi poda stubišta

| Sloj:         | Debljina sloja (m): | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------|---------------------|-------------------------------|--|
| Kamene ploče  | 0,02                | 28,00                         | 0,56                                   |
| Cementni mort | 0,01                | 20,00                         | 0,20                                   |
| Stube         | 0,07                | 24,00                         | 1,68                                   |
| AB ploča      | 0,18                | Uključeno u SCIA-u            |  |

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:  $q = 1,0$  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>

### 3.4. Izvanredno djelovanje – potresno opterećenje

#### Analiza težine konstrukcije

##### $W_{krov}$

- (ploča)  $\rightarrow A_{ploče} \times h_{pl} \times \gamma_B \times (\Delta g + 0.5q) = 10817.1 \text{ kN}$
- (grede)  $\rightarrow \sum L \times A_{grede} \times \gamma_B = 1264 \text{ kN}$
- (zidovi)  $\rightarrow \sum L \times d \times h \times \gamma_B = 662.2 \text{ kN}$

$$W_{krov} = 12743.0 \text{ kN}$$

##### $W_{kat}$

- (ploča)  $\rightarrow A_{ploče} \times h_{pl} \times \gamma_B \times (\Delta g + 0.5q) = 21934 \text{ kN}$
- (grede)  $\rightarrow \sum L \times A_{grede} \times \gamma_B = 1264 \text{ kN}$
- (stupovi)  $\rightarrow A_{stupa} \times h \times n \times \gamma_B = 472.5 \text{ kN}$
- (zidovi)  $\rightarrow \sum L \times d \times h \times \gamma_B = 3230.7 \text{ kN}$

$$W_{kat} = 26901.2 \text{ kN}$$

Napomena: Etaže 100 – 400 su jednake težine.

Ukupna težina konstrukcije:  $W_{uk} = 4 \times W_{kat} + W_{krov} = 120347.8 \text{ kN}$

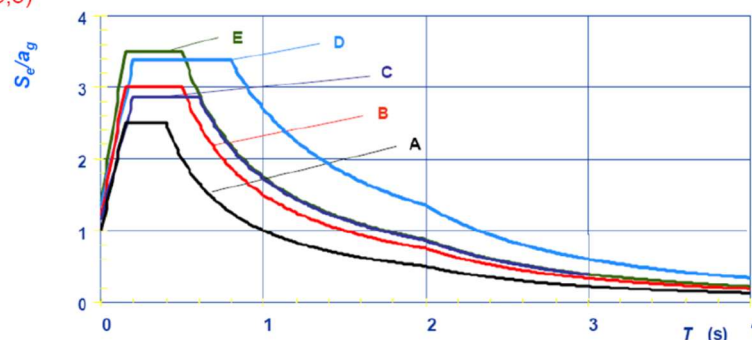
Ukupna masa konstrukcije:  $m = \frac{W}{g} = \frac{120347.8}{9.81} = 12267.9 \text{ (t)}$

Specifična računsa težina zgrade:  $w = \frac{\sum W_i}{A_{uk}} = \frac{120347.8}{5059} = 23.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Usvajamo da se prvi period konstrukcije ( $T_1$ ) nalazi između vrijednosti  $T_B$  i  $T_C$  elastičnog spektra odziva.

#### Ulazni projektni spektar - Spektar tipa 1, tlo A

Elastični spektar odgovora  
Tip 1 ( $M_s > 5,5$ )



| Ground type | $S$  | $T_B$ (s) | $T_C$ (s) | $T_D$ (s) |
|-------------|------|-----------|-----------|-----------|
| A           | 1,0  | 0,15      | 0,4       | 2,0       |
| B           | 1,2  | 0,15      | 0,5       | 2,0       |
| C           | 1,15 | 0,20      | 0,6       | 2,0       |
| D           | 1,35 | 0,20      | 0,8       | 2,0       |
| E           | 1,4  | 0,15      | 0,5       | 2,0       |



Budući da se zgrada nalazi an tlu klase A, uzimamo da je parametar koji prikazuje utjecaj tla na povećanje seizmičkih sila na građevinu  $S = 1$ .

Zgrada ima pet etaža i uzimamo da pripada srednjoj klasi duktilnosti (DCM), pa je faktor ponašanja  $q$ :

$$q = q_0 \cdot k_w = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} \cdot 1.0 = 3 \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 3.6$$

Tablica X. Odabir koeficijenta  $q_0$

| STRUCTURAL TYPE                                | DCM                    | DCH                    |
|--|------------------------|------------------------|
| Frame system, dual system, coupled wall system | $3.0\alpha_u/\alpha_1$ | $4.5\alpha_u/\alpha_1$ |
| Uncoupled wall system                          | 3.0                    | $4.0\alpha_u/\alpha_1$ |
| Torsionally flexible system                    | 2.0                    | 3.0                    |
| Inverted pendulum system                       | 1.5                    | 2.0                    |

Vrijednost  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2$  za višekratne

okvire

$k_w$  - faktor prevladavajućeg načina loma, za okvirne sustave i sustave

istovrijedne okvirnim iznos 1.0

Iz toga slijedi da je projektni spektar odgovora:

$$S_d(T_1) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} = 0.25 \cdot 1.0 \cdot \frac{2.5}{3.6} = 0.174$$

Ukupna sila iznosi:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot W_{uk} \cdot \lambda = 0.174 \cdot 120347.8 \cdot 0.85 = 17800 \text{ kN}$$

gdje je  $\lambda$  korekcijski faktor koji iznosi 0.85 kada je  $T_1 \leq 2T_c$  i kada konstrukcija ima više od 2 kata, u suprotnom iznosi 1.0.

Raspodjela sila vrši se prema izrazu:

$$F_{b,i} = F_b \times \frac{z_i \times m_i}{\sum_i z_i}$$

$z_i$  – visinski položaj masa mjereno od gornjeg ruba temelja

$m_i$  – katne mase

$F_{b,i}$  - horizontalna sila koja djeluje na  $i$ -tom katu

$F_b$  – ukupna seizmička sila

$$F_{100} = 17800 \times \frac{3,78 \times 26901}{1266640} = 1430 \text{ (kN)}$$

$$F_{200} = 17800 \times \frac{7,56 \times 26901}{1266640} = 2858 \text{ (kN)}$$

$$F_{300} = 17800 \times \frac{11,34 \times 26901}{1266640} = 4287 \text{ (kN)}$$

$$F_{400} = 17800 \times \frac{15,12 \times 26901}{1266640} = 5716 \text{ (kN)}$$

$$F_{500} = 17800 \times \frac{18,9 \times 12743}{1266640} = 3384 \text{ (kN)}$$

$$\Sigma \sim 17800 \text{ (kN)}$$

Izračun sile  $f$  (kN/m) na svakoj pojedinoj etaži u smjeru x, i u smjeru y :

$$f_{x,100} = 1430 \text{ (kN)} / 42 \text{ (m)} = 34.05 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{x,200} = 2858 \text{ (kN)} / 42 \text{ (m)} = 68.05 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{x,300} = 4287 \text{ (kN)} / 42 \text{ (m)} = 102.07 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{x,400} = 5716 \text{ (kN)} / 42 \text{ (m)} = 136.10 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{x,500} = 3384 \text{ (kN)} / 42 \text{ (m)} = 80.57 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{y,100} = 1430 \text{ (kN)} / 27 \text{ (m)} = 52.96 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{y,200} = 2858 \text{ (kN)} / 27 \text{ (m)} = 105.85 \text{ (kN/m)}$$

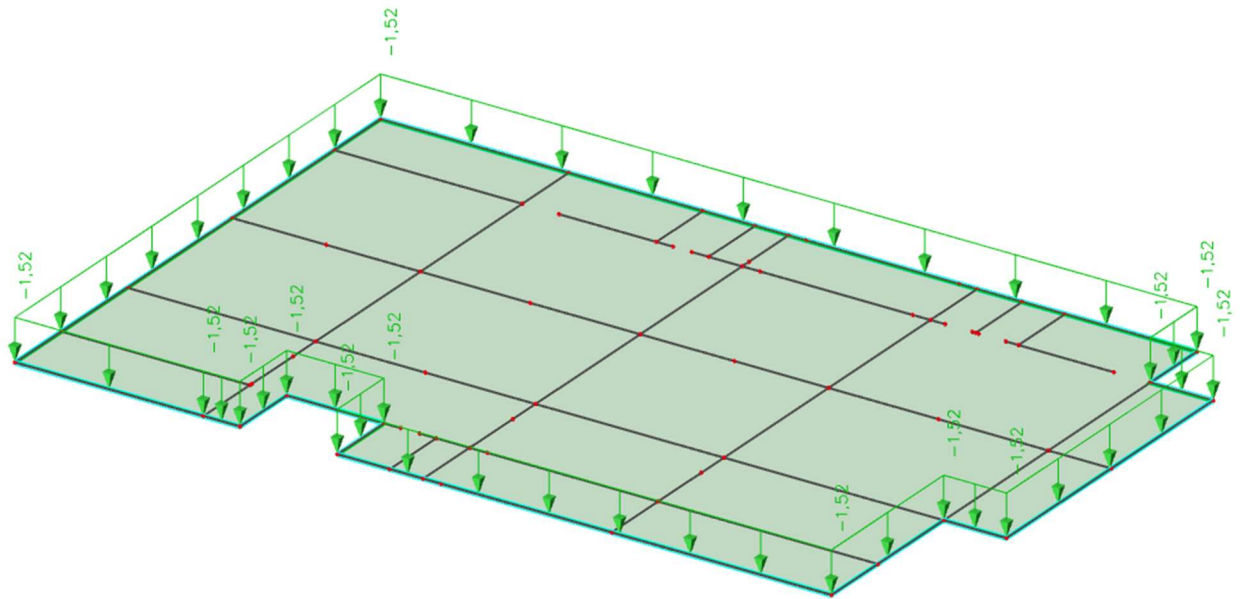
$$f_{y,300} = 4287 \text{ (kN)} / 27 \text{ (m)} = 158.78 \text{ (kN/m)}$$

$$f_{y,400} = 5716 \text{ (kN)} / 27 \text{ (m)} = 211.71 \text{ (kN/m)}$$

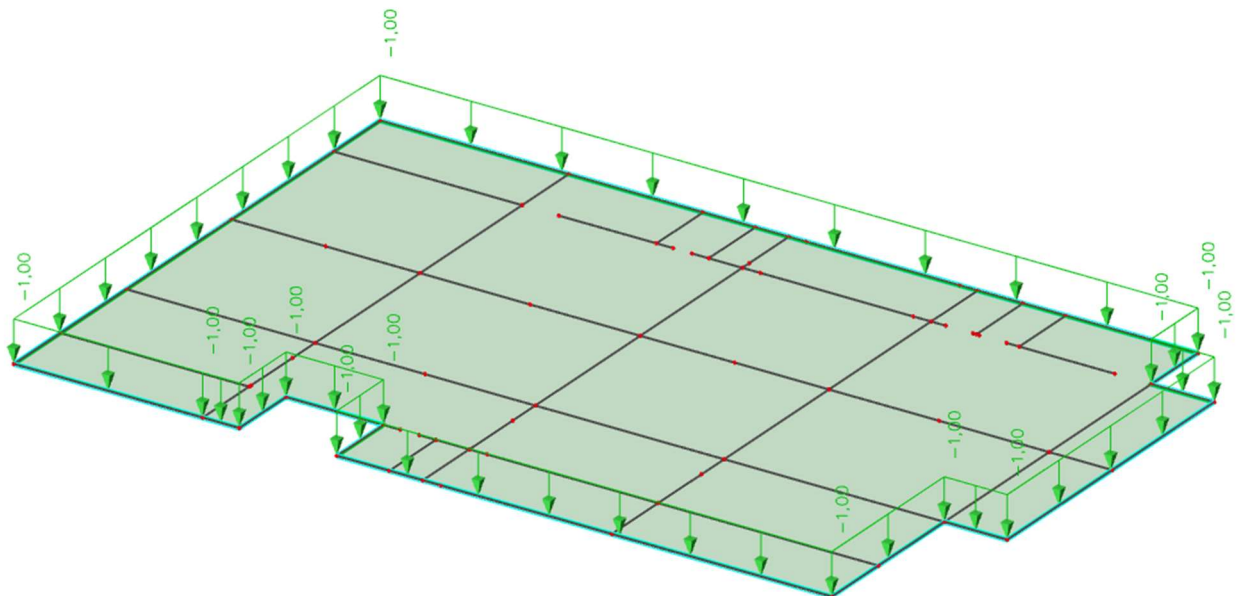
$$f_{y,500} = 3384 \text{ (kN)} / 27 \text{ (m)} = 125.33 \text{ (kN/m)}$$

## 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 4.1. Krovna ploča

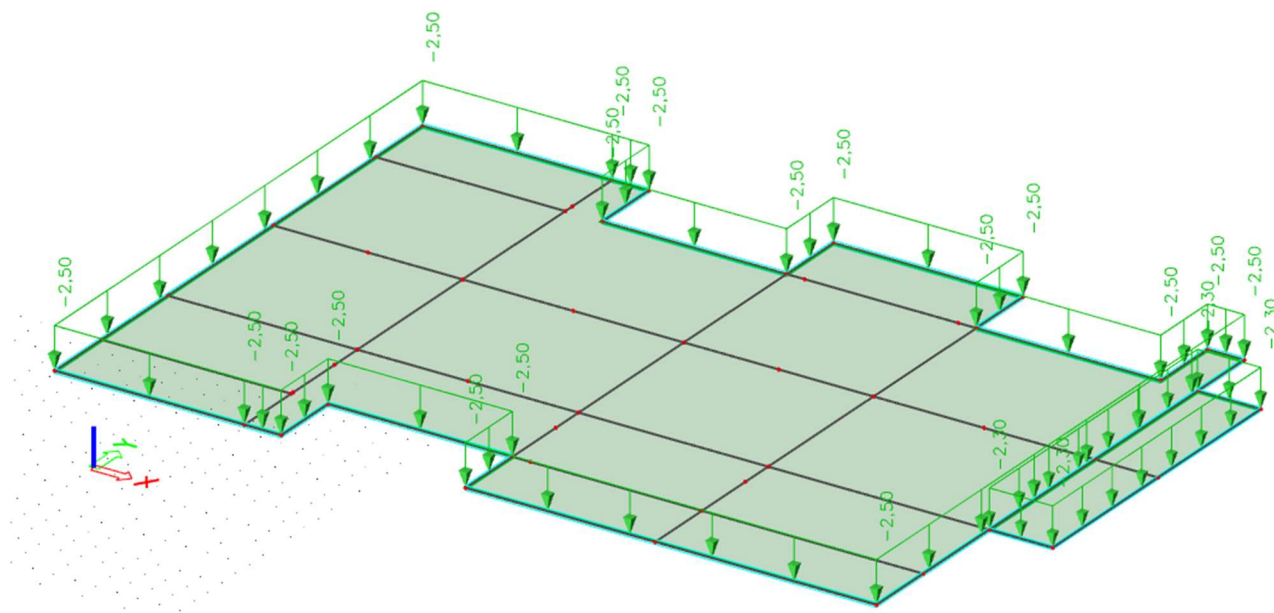


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G_1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

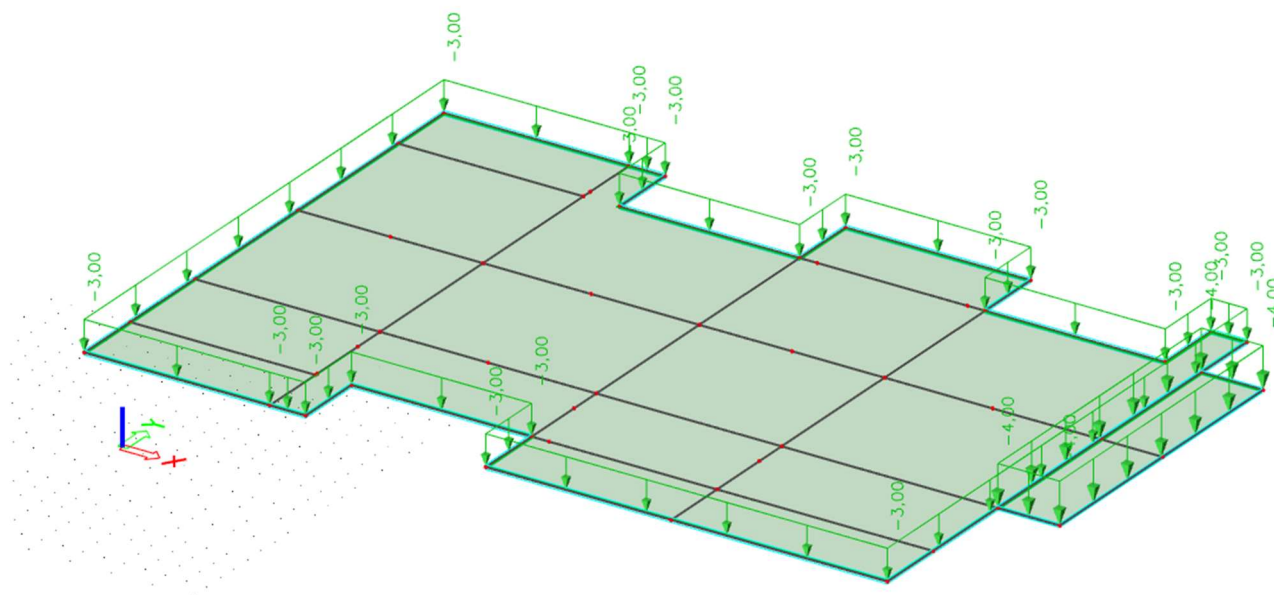


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

## 4.2. Međukatna ploča

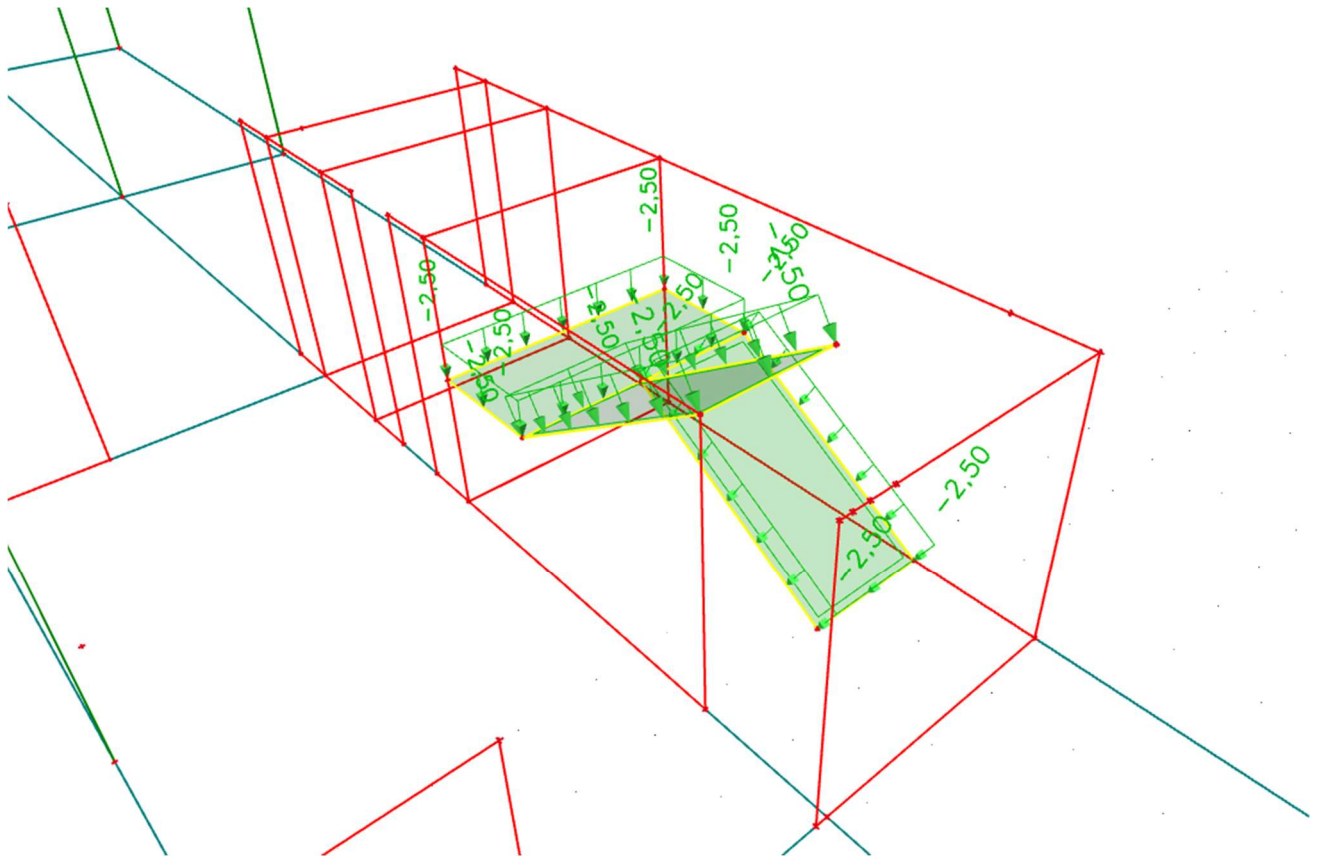


Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje  $G_1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

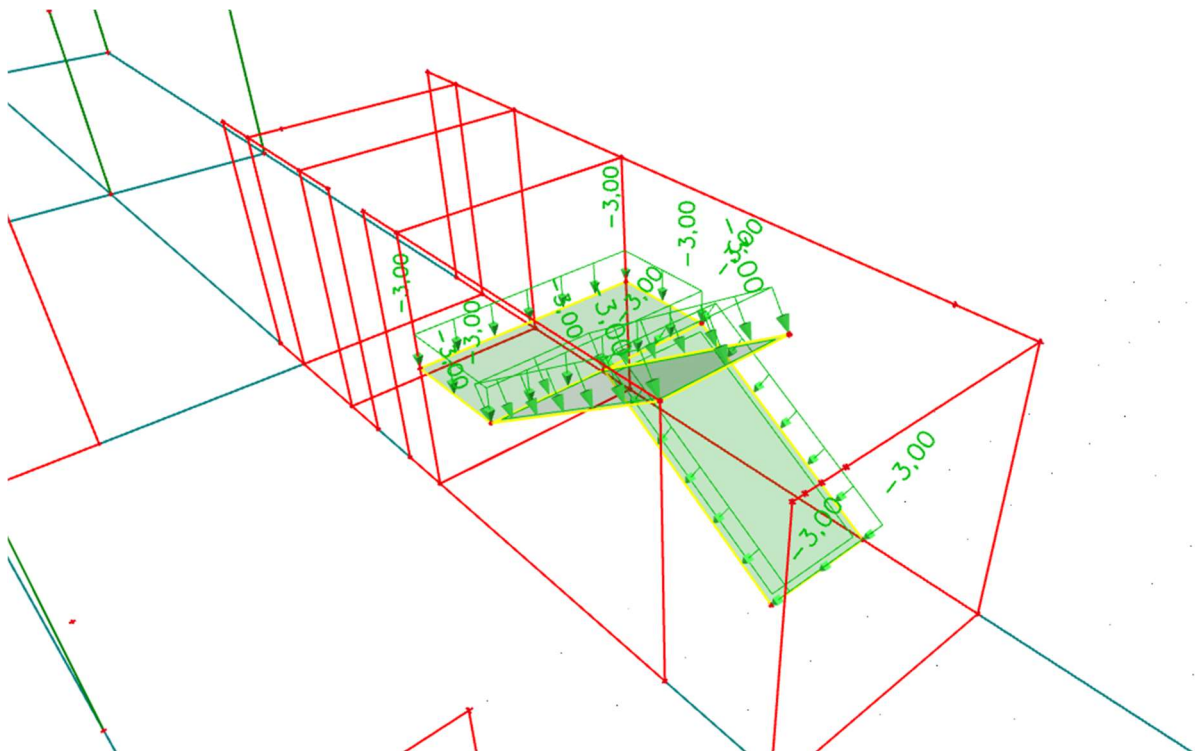


Slika 4.2.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

### 4.3. Stubište

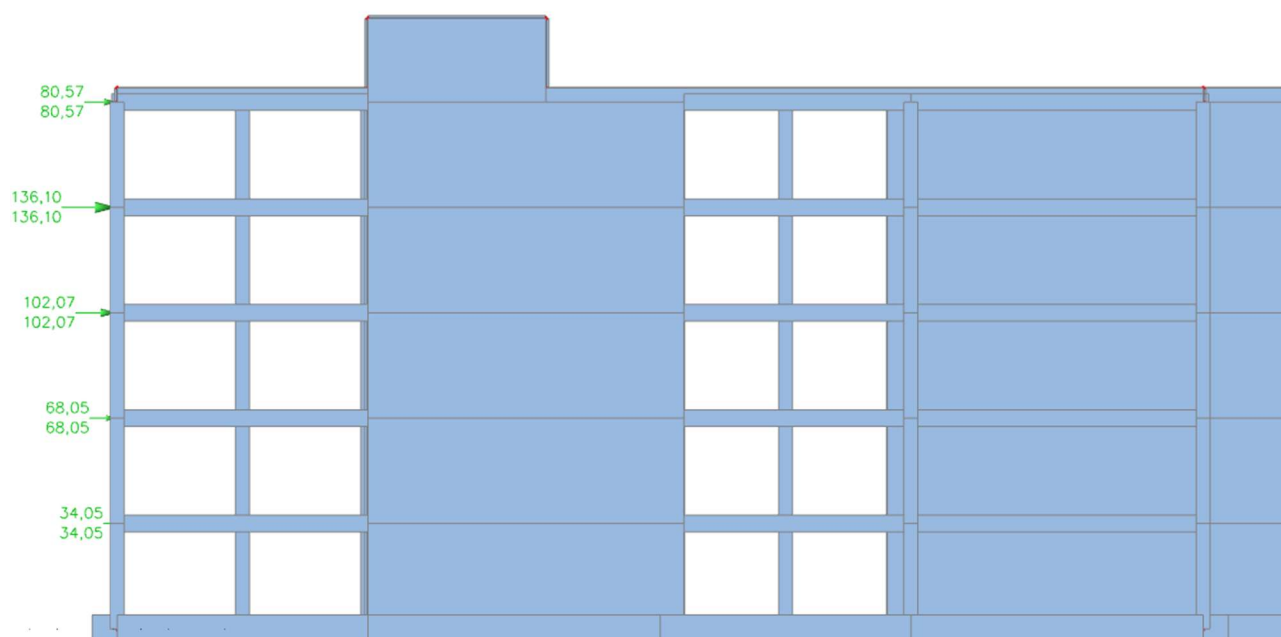


Slika 4.3.1 Dodatno stalno djelovanje  $G_1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

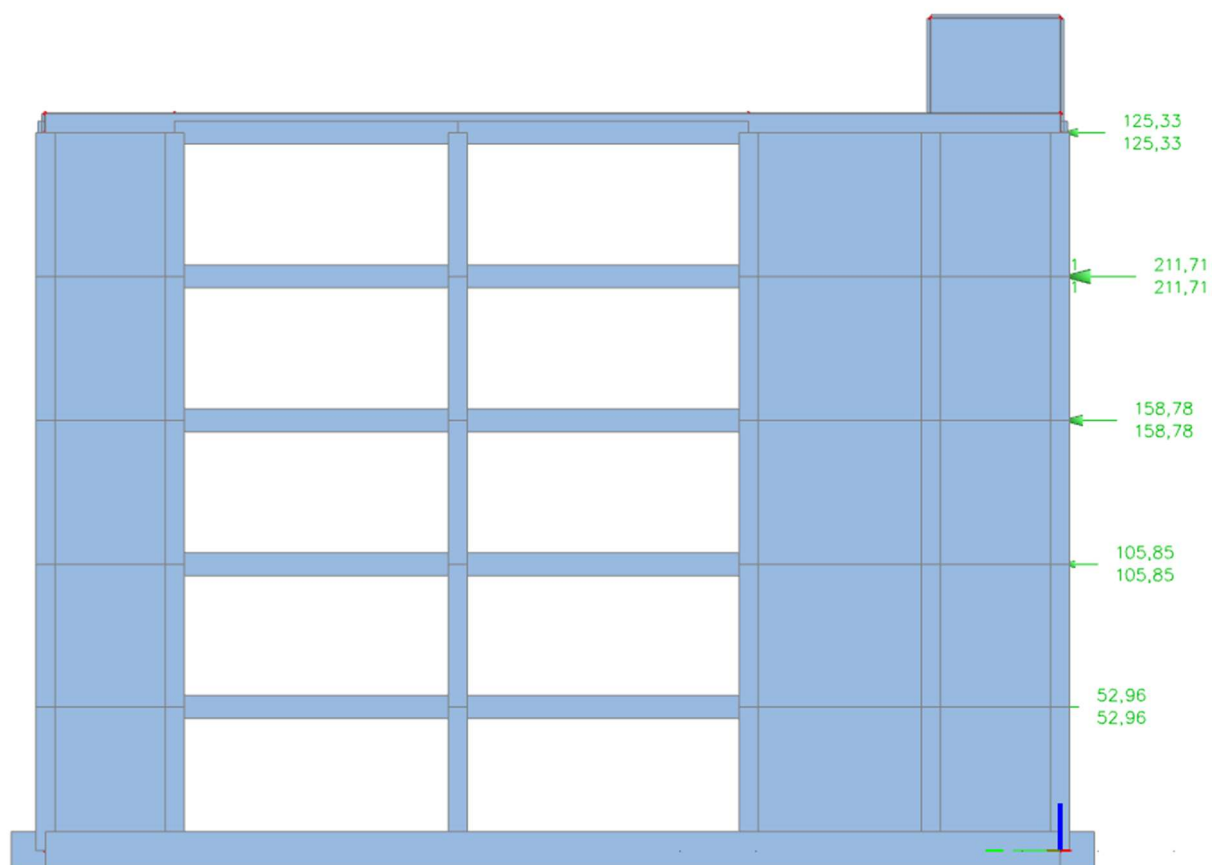


Slika 4.3.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

#### 4.4. Potresno djelovanje



Slika 4.4.1 Potresno djelovanje  $P$  u smjeru  $x$ -osi [  $kN/m^2$  ]



Slika 4.4.2 Potresno djelovanje  $P$  u smjeru  $y$ -osi [  $kN/m^2$  ]

## 5. KOMBINACIJE DJELOVANJA

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

- **Granično stanje nosivosti**

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

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

Q – uporabno djelovanje

- **Izvanredne kombinacije (potres)**

$$\text{GSN-1x } 1.0 \cdot G + 0.6 \cdot Q + 1.0 \cdot P_x$$

$$\text{GSN-1y } 1.0 \cdot G + 0.6 \cdot Q + 1.0 \cdot P_y$$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

Q – vodeće promjenjivo djelovanje

P<sub>x</sub> – potresno djelovanje u smjeru x-osi

P<sub>y</sub> – potresno djelovanje u smjeru y-osi

Granično stanje nosivosti koristimo za dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije. Uobičajena kombinacija se koristi za dimenzioniranje međukatnih ploča, dok potresne kombinacije koristimo prilikom dimenzioniranja temelja.

- **Granično stanje uporabljivosti**

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

$$1.0 \cdot G + 0.5 \cdot Q$$

$\Psi_{1i} = 0.5$  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.

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

$$1.0 \cdot G + 0.3 \cdot Q$$

$\Psi_{2i} = 0.3$  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:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0.19^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 114.80 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 19 = 2.85 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{19}{500} = 2.28 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 19 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 27.09 \text{ cm}^2 / m$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 19 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.134$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{190}} = 2.03 \leq 2.0 \rightarrow k = 2.0$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{6.36}{19 \cdot 100} = 0.0033$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0033 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 190$$

$$V_{Rd,c} = 97.91 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

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

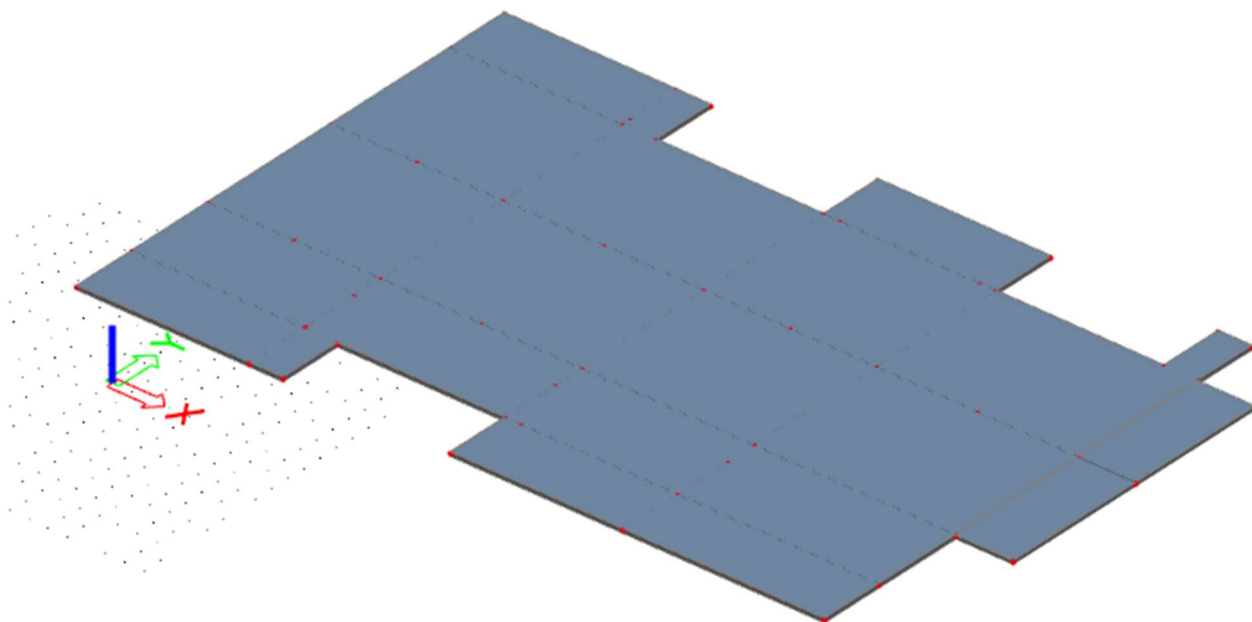
$$\vartheta_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 190 = 102.98 \text{ kN/m}$$

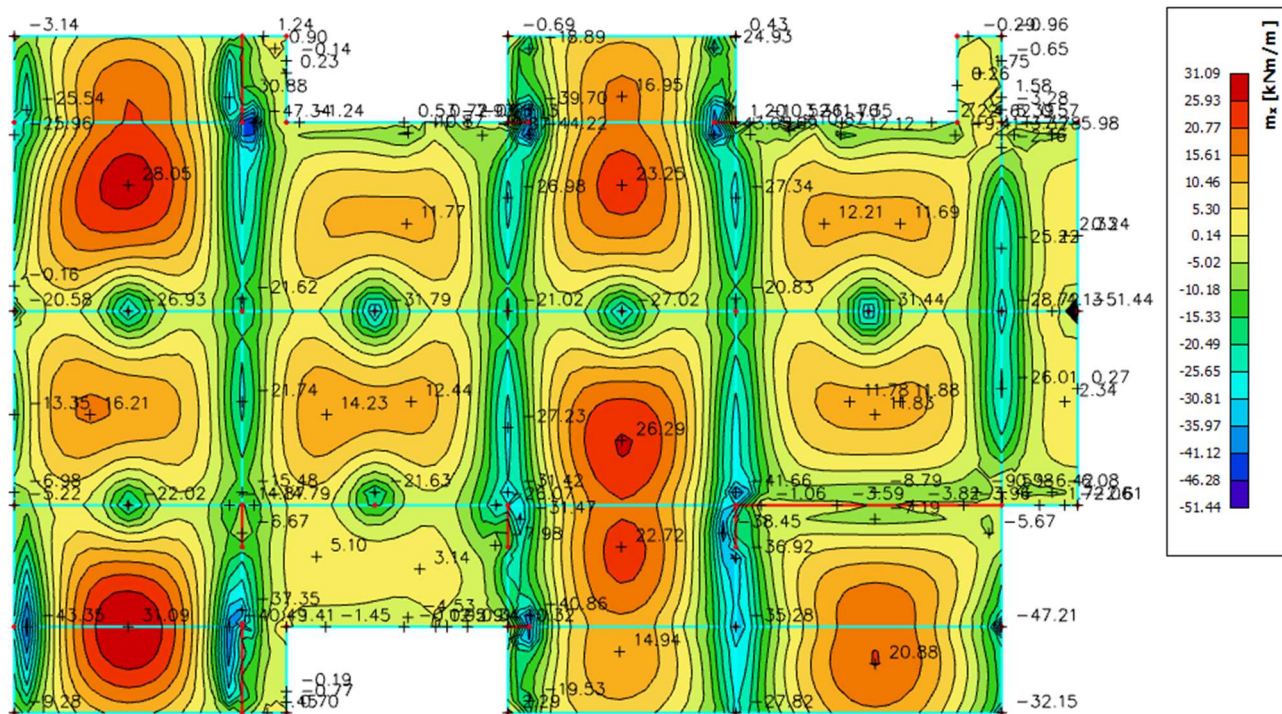
Uvjet je zadovoljen.

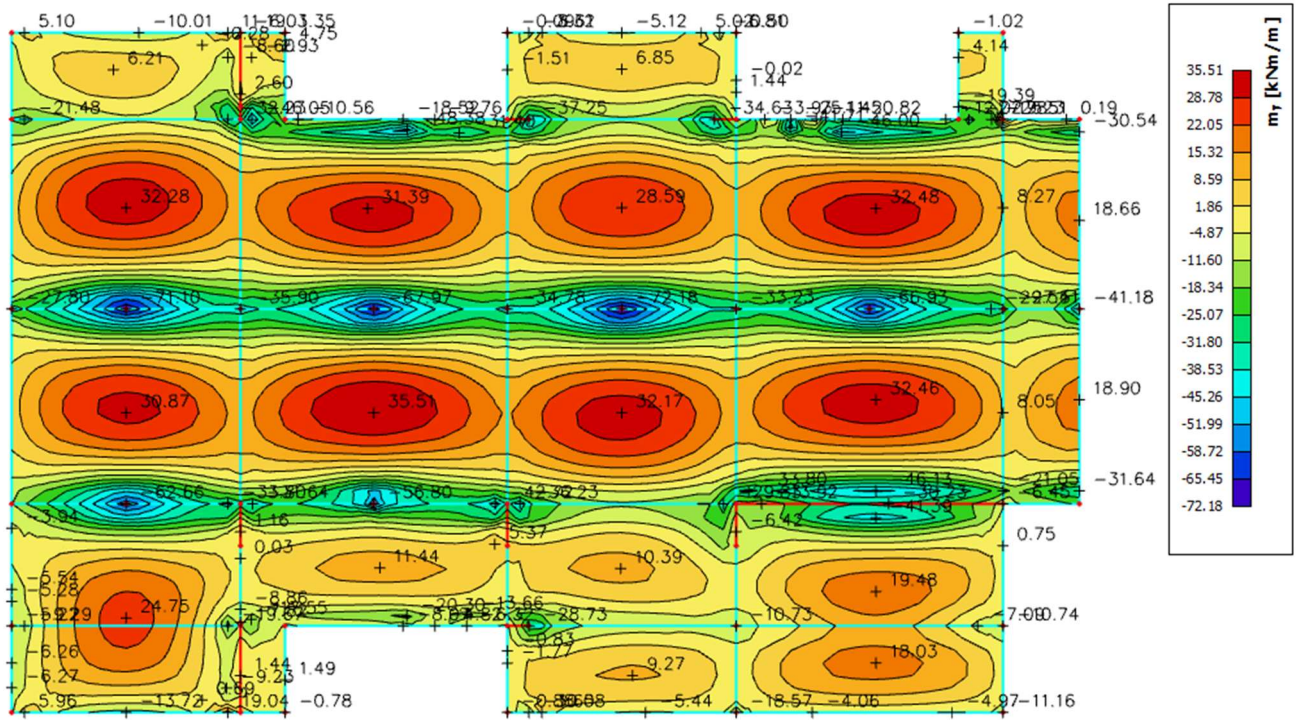


## 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče

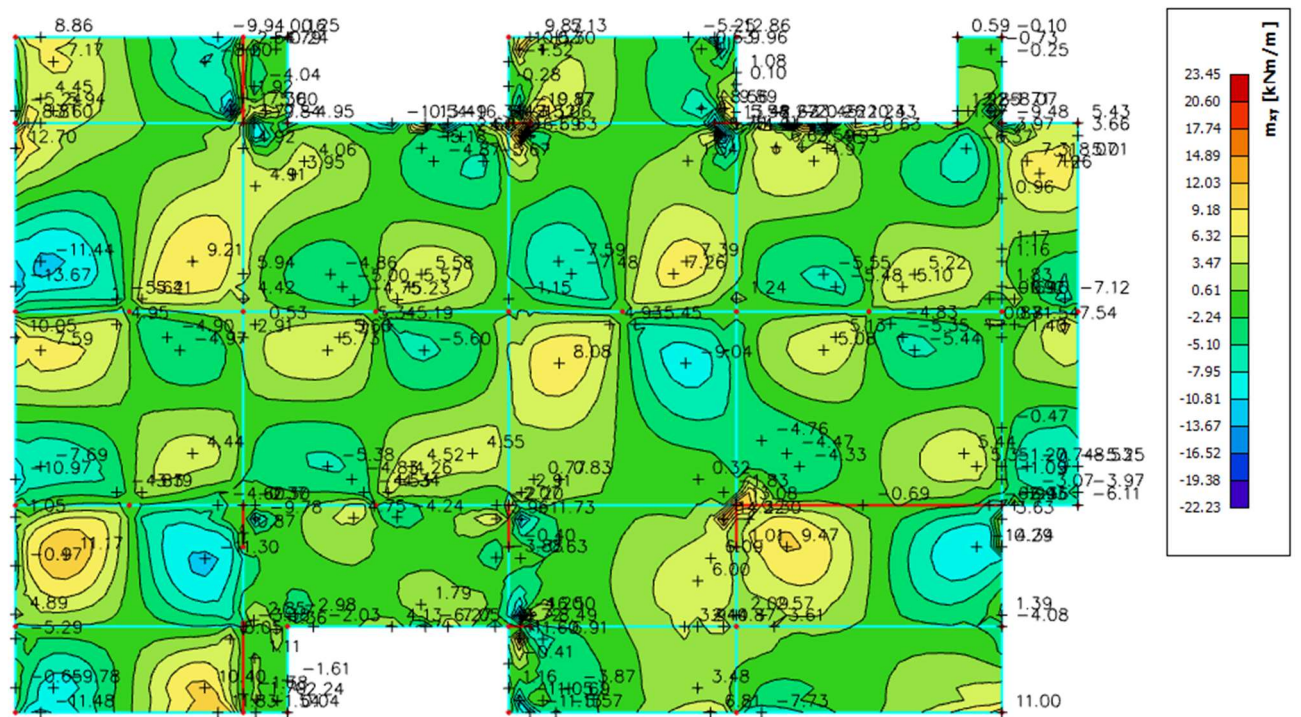


Slika 6.1 Prikaz modela ploče

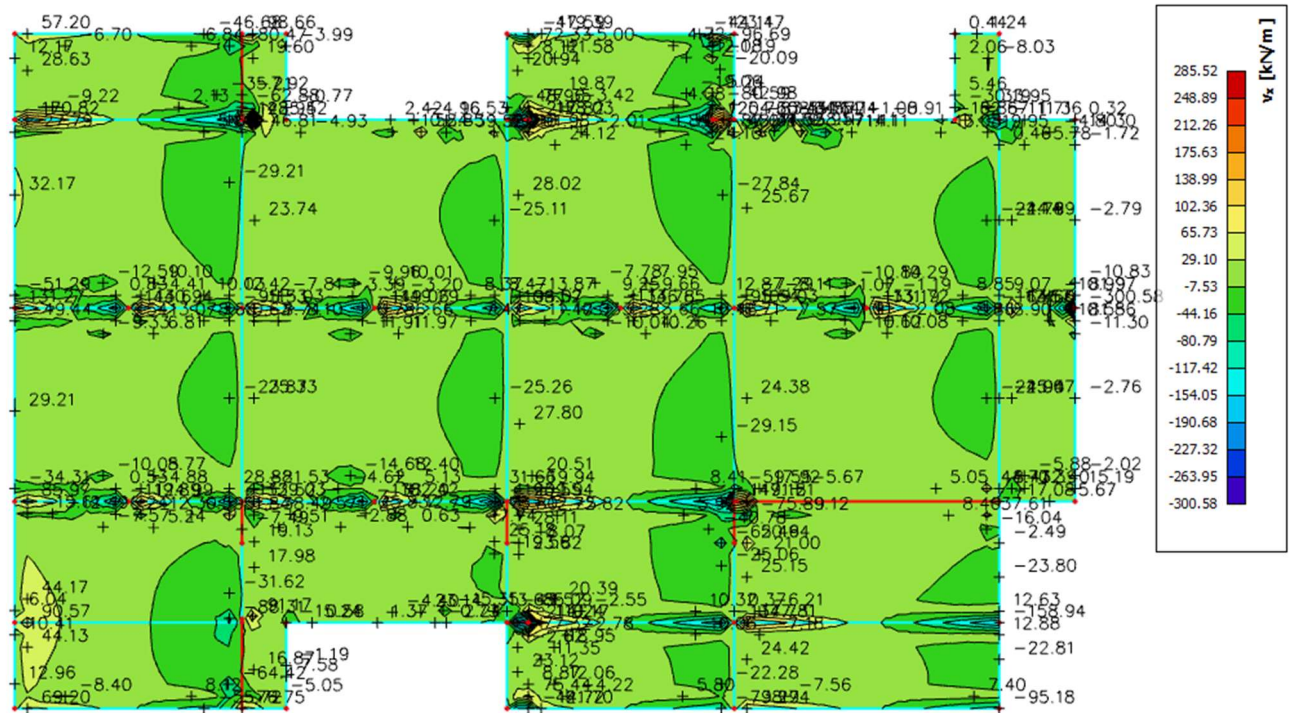
Slika 6.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



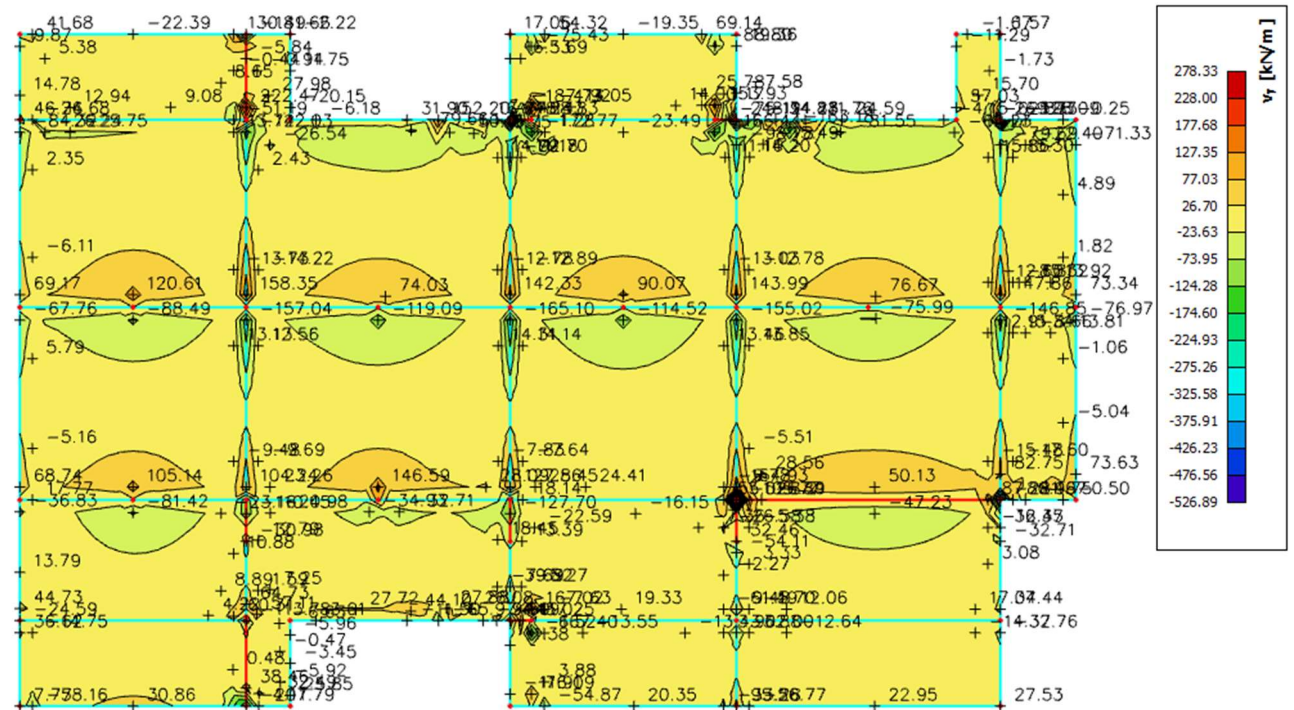
Slika 6.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



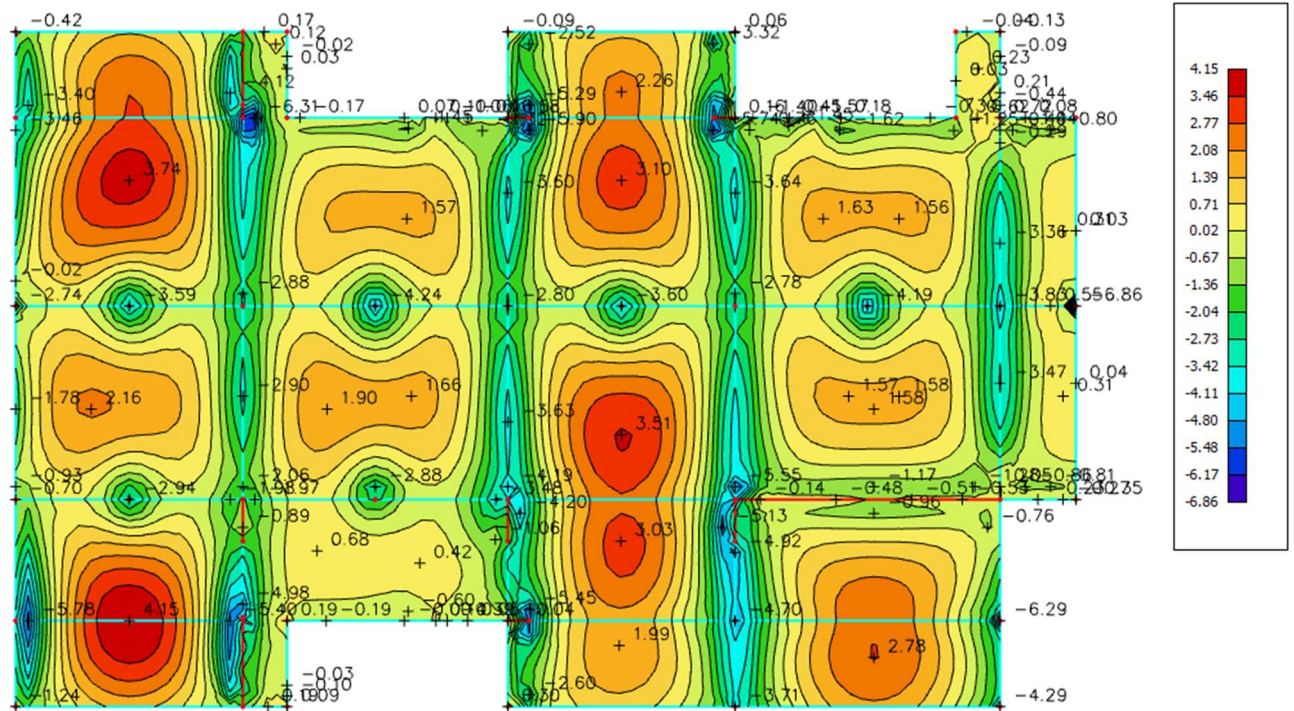
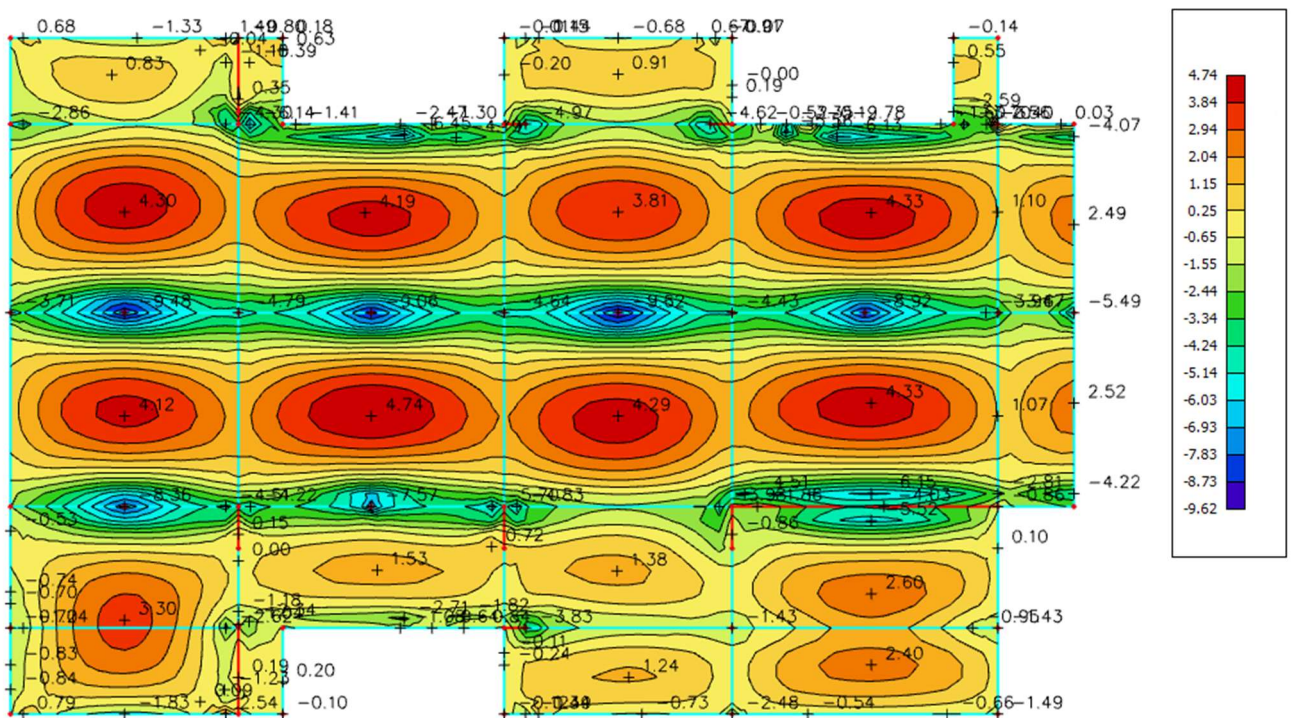
Slika 6.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



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  $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$  u x smjeruSlika 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:  $A_s = 9.62 \times 0.85 = 8.20 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

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

## Odabrana armatura

Ležaj: Q-785 + 3  $\Phi$ 10/33cm (10.21 cm<sup>2</sup> / m')

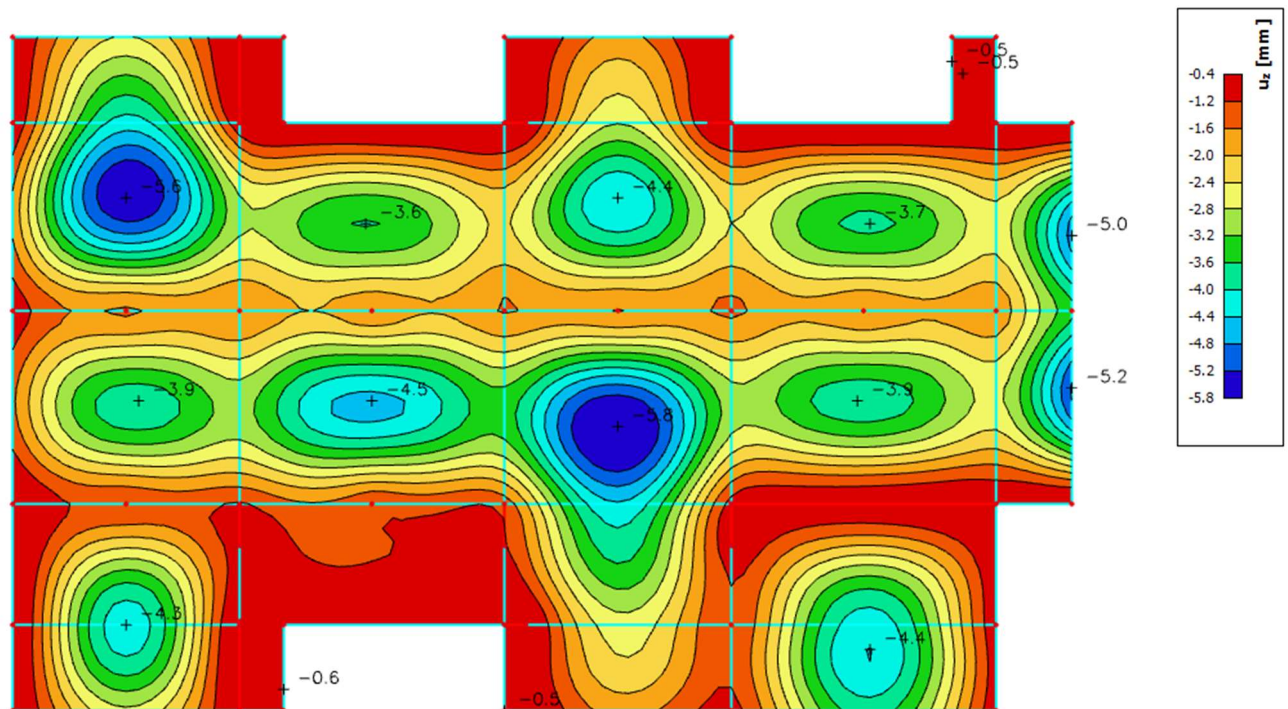
Polje: Q-636 (6.36 cm<sup>2</sup> / m')

### 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče

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

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

### 6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče

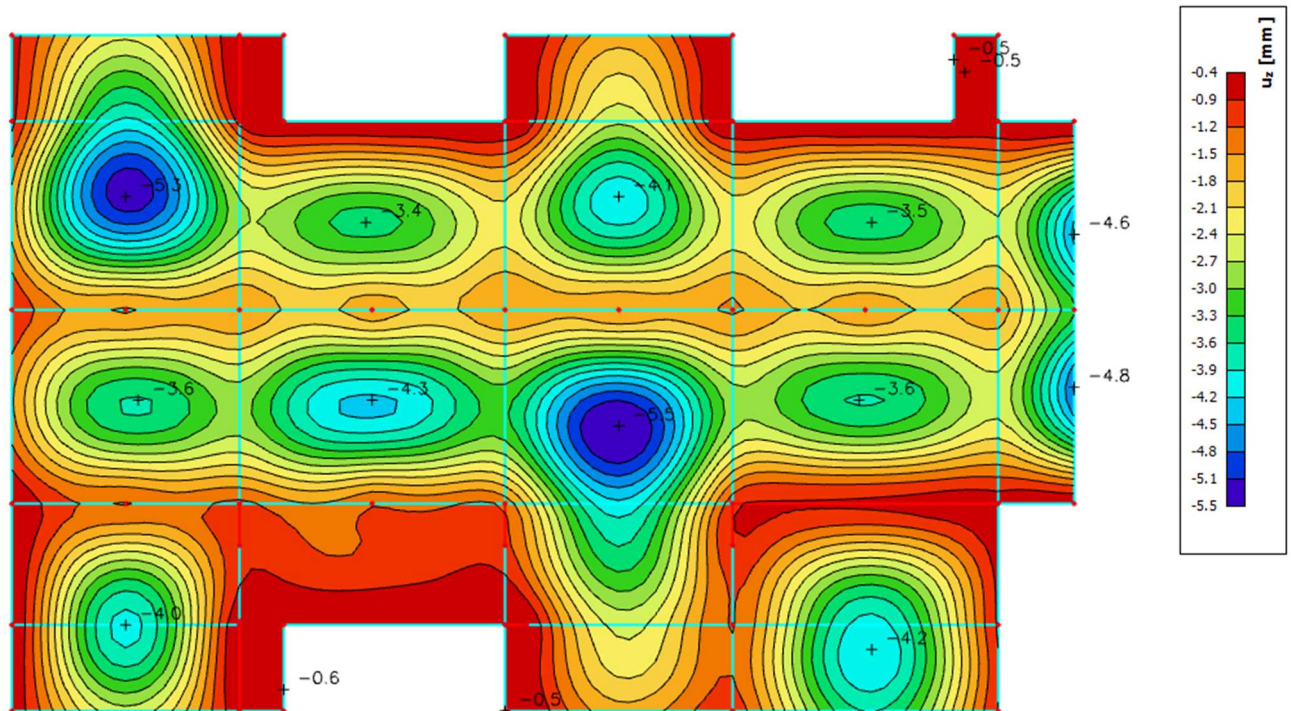


Slika 6.9 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $5.8 - 0.8 = 5.0$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 7650/1000 = 7.65$  mm

Međukatna ploča zadovoljava na progibe.



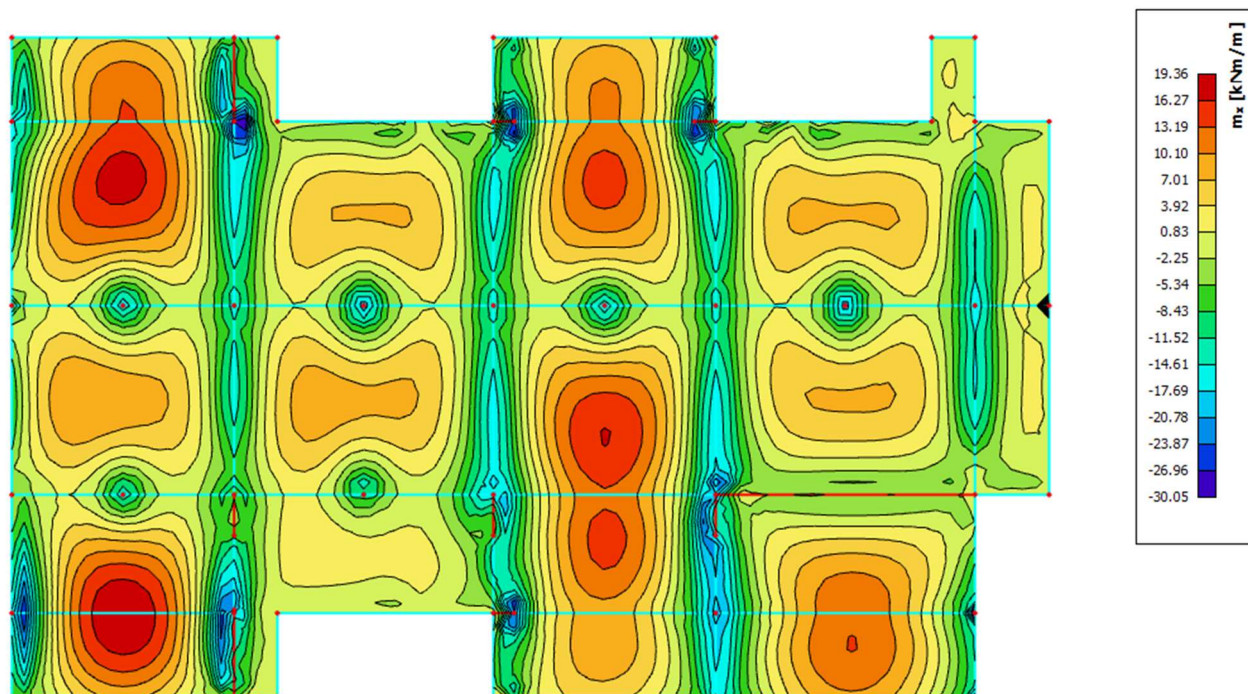
Slika 6.10 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

Najveći progib iznosa je  $5.5 - 1.5 = 5.0$  mm.  
 Dozvoljen progib  $L/1000 = 7650/1000 = 7.65$  mm  
 Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

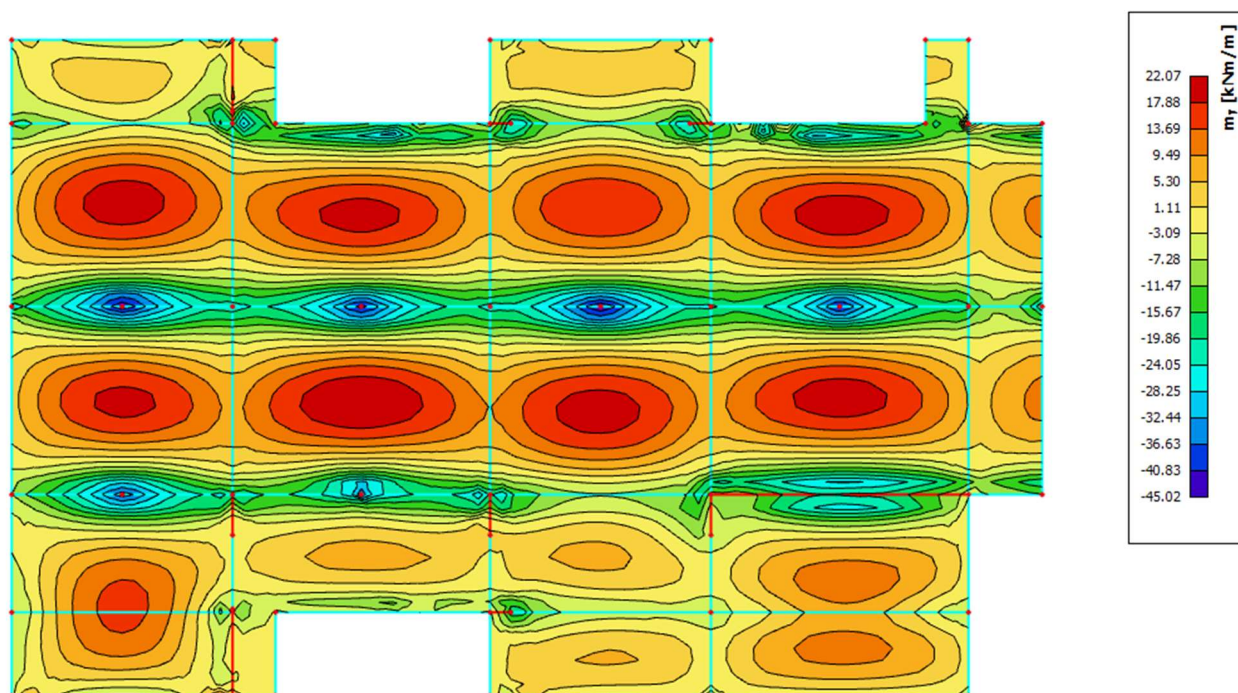
Oduzimanjem translacijske komponente pomaka dobivamo komponentu koja je se analizira odnosno provjerava je li zadovoljava dozvoljene granice.  
 Kod 3-D modela koji su modelirani sa realnim karakteristikama tla bilo bi poželjno napraviti poseban model ploče karakteristične etaže.

#### 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  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSU-1



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

Mjerodavni moment  $M = 22.07 \text{ kNm/m}$

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:

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

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

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

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 :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3.35}{17 \cdot 100} = 0.0020$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0020 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 74.14 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

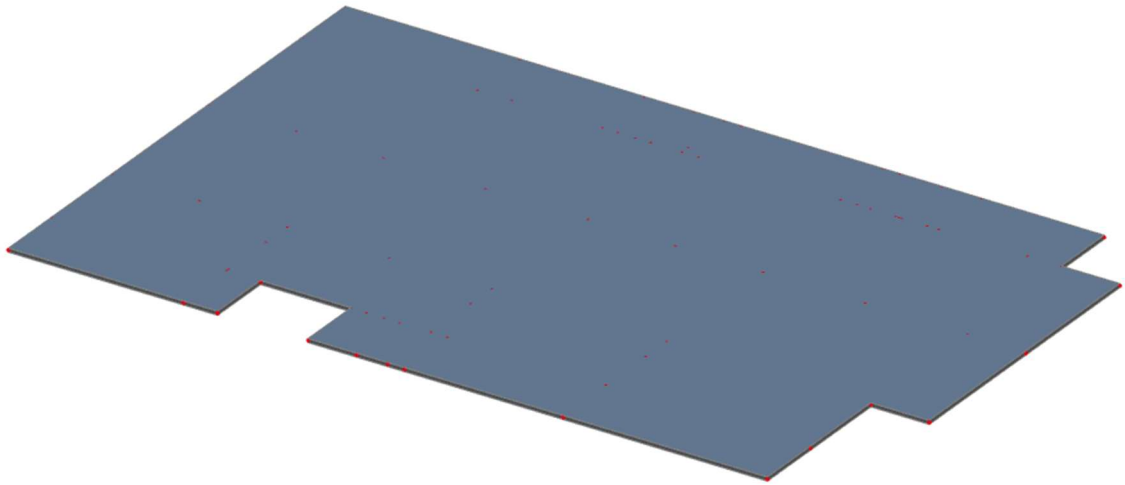
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.542$$

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

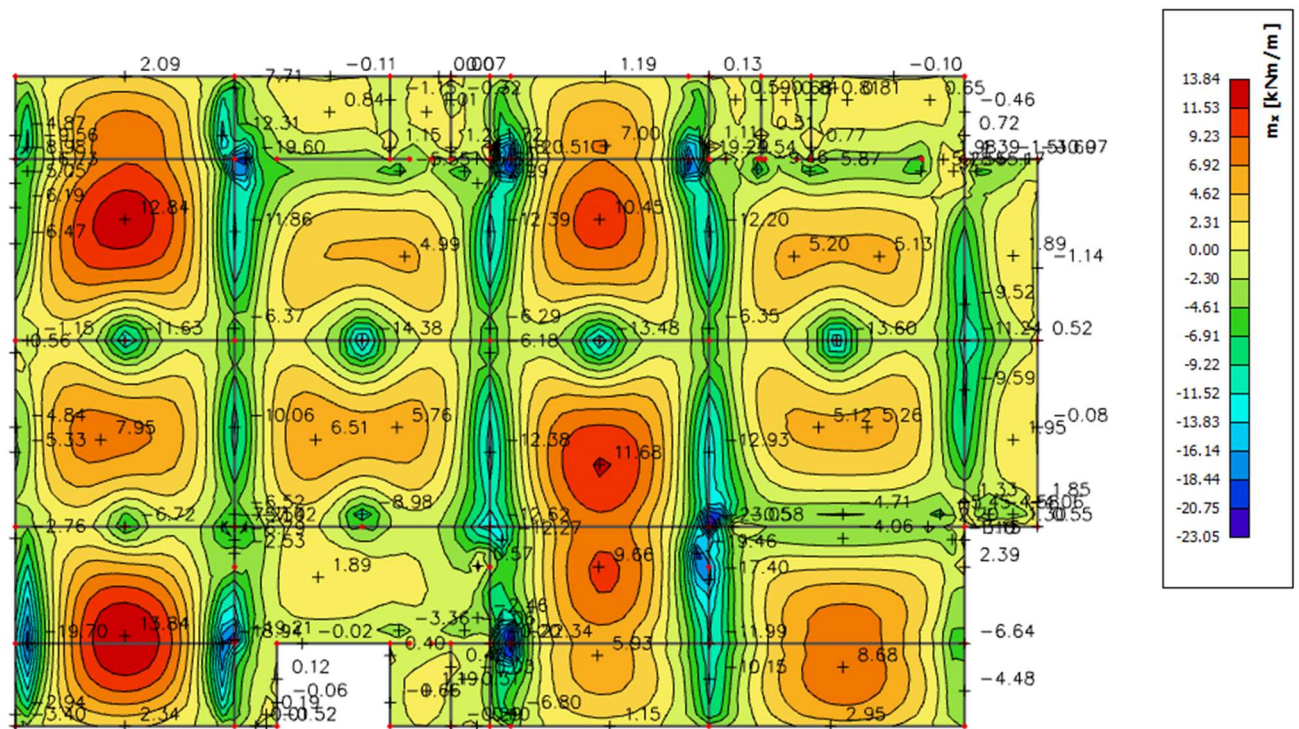
$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 170 = 92.14 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

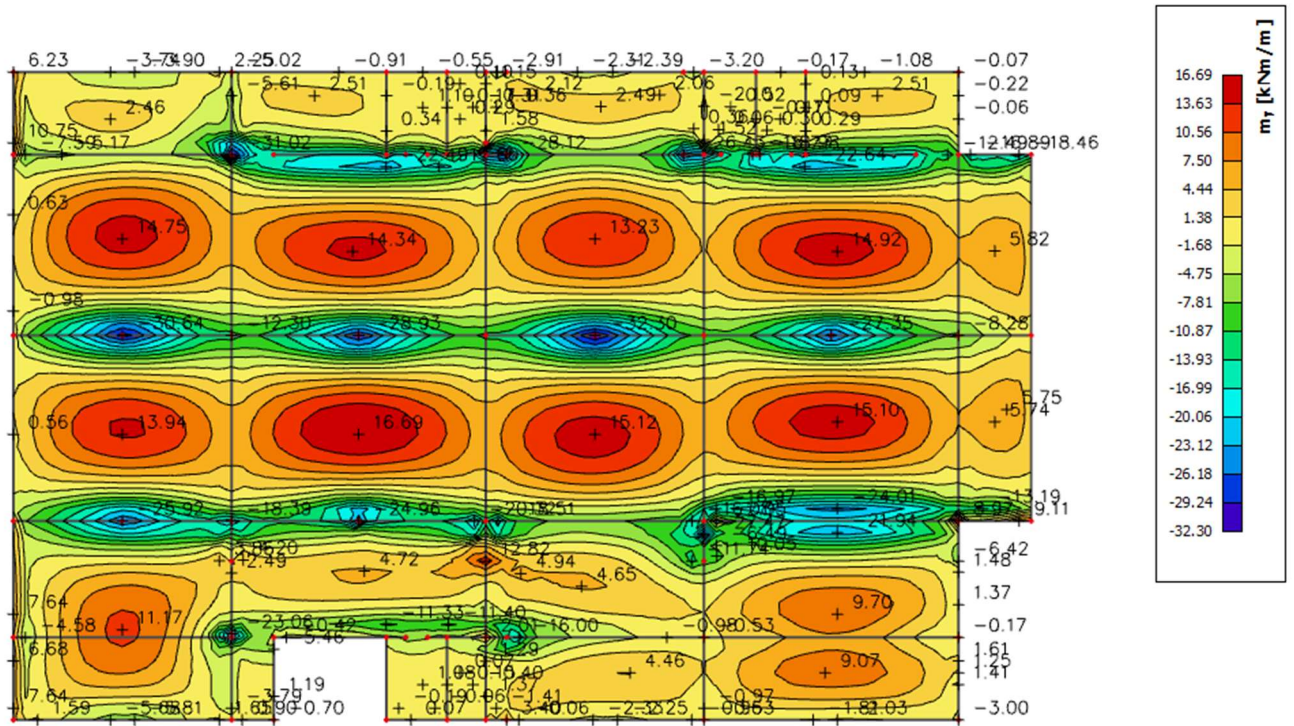
### 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovnne ploče



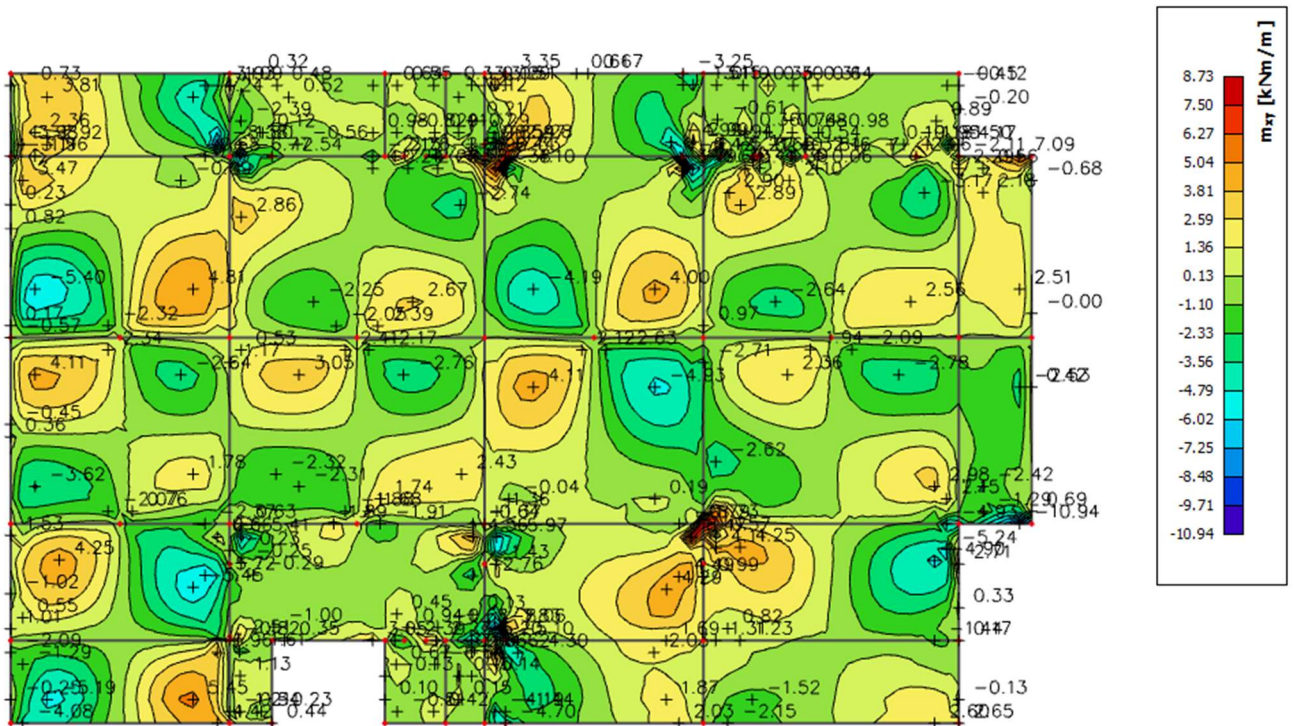
Slika 6.13 Prikaz modela



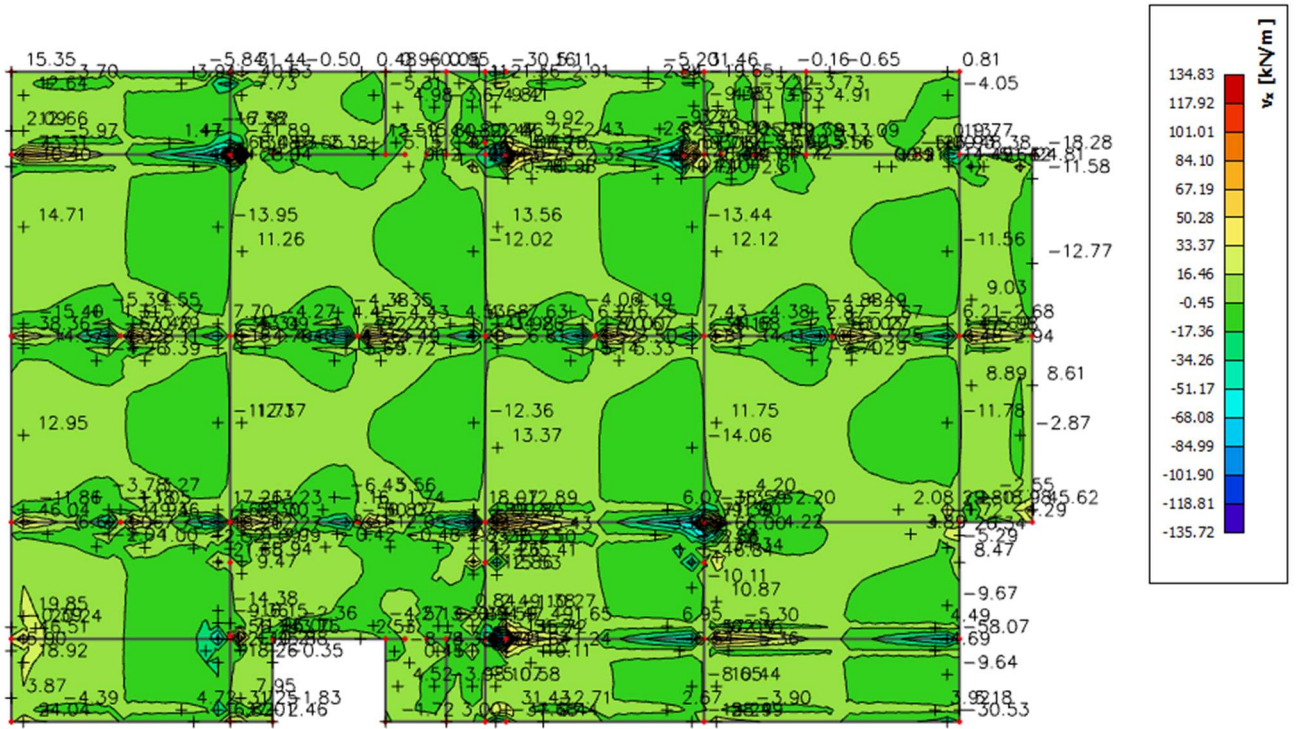
Slika 6.14 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



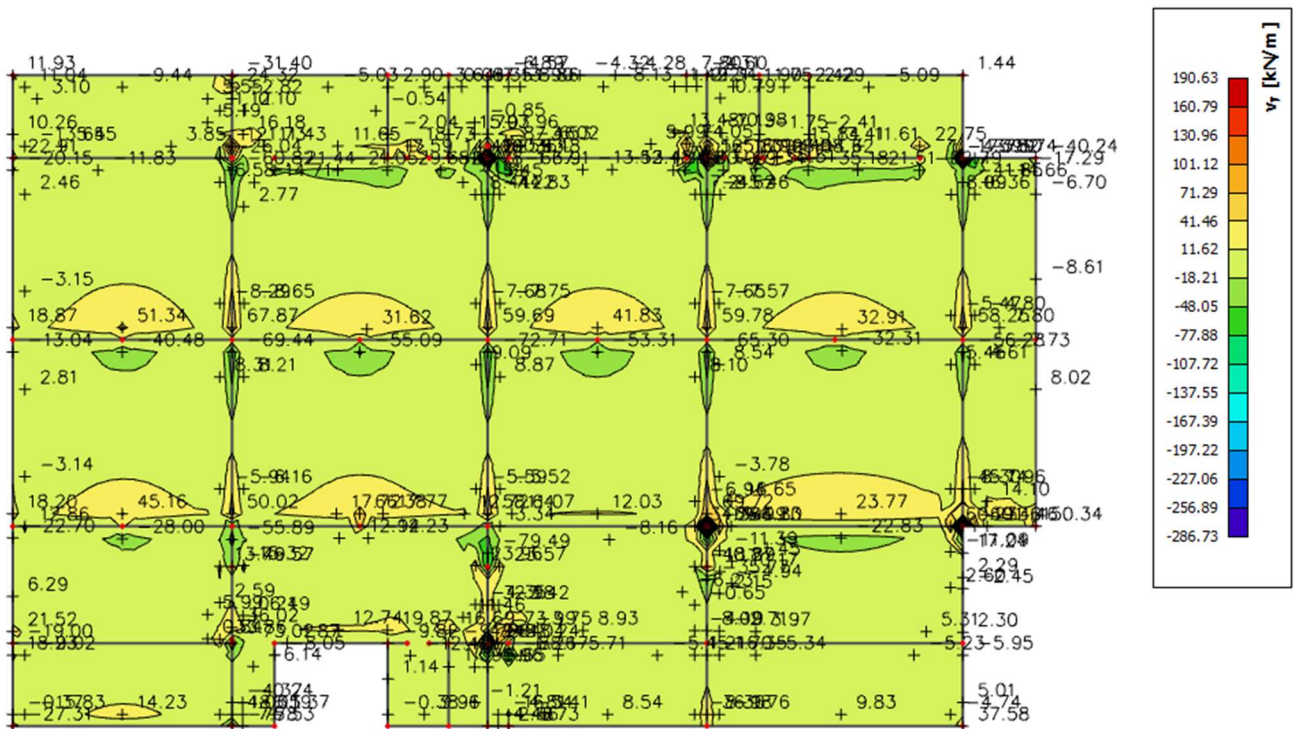
Slika 6.15 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSN-1



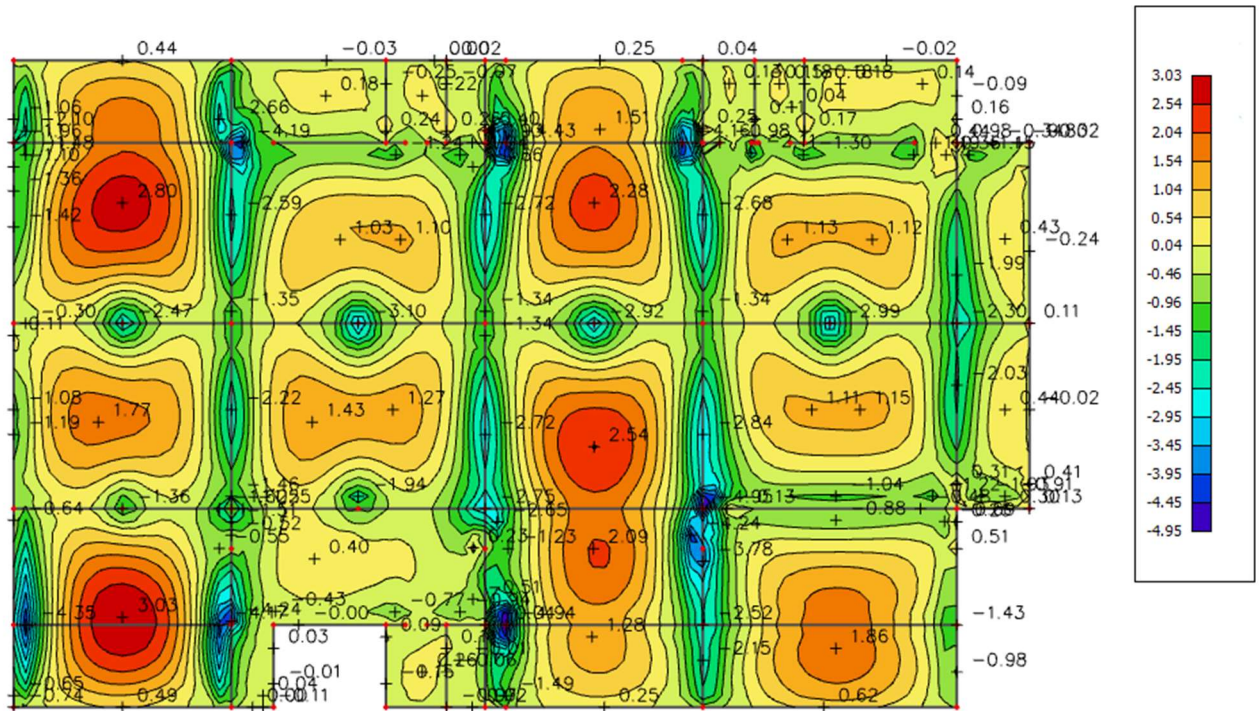
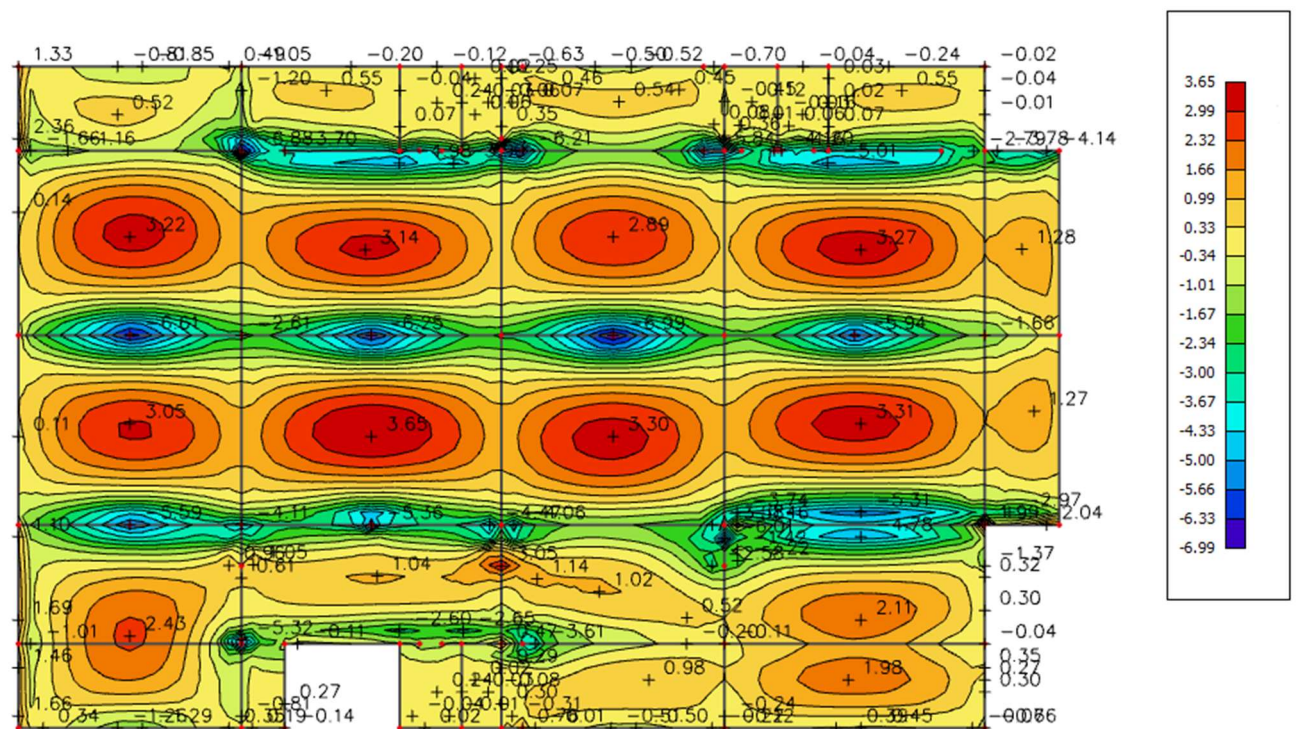
Slika 6.16 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSN-1



Slika 6.17 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-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 smjeruSlika 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:  $A_s = 6.99 \times 0.85 = 5.95 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

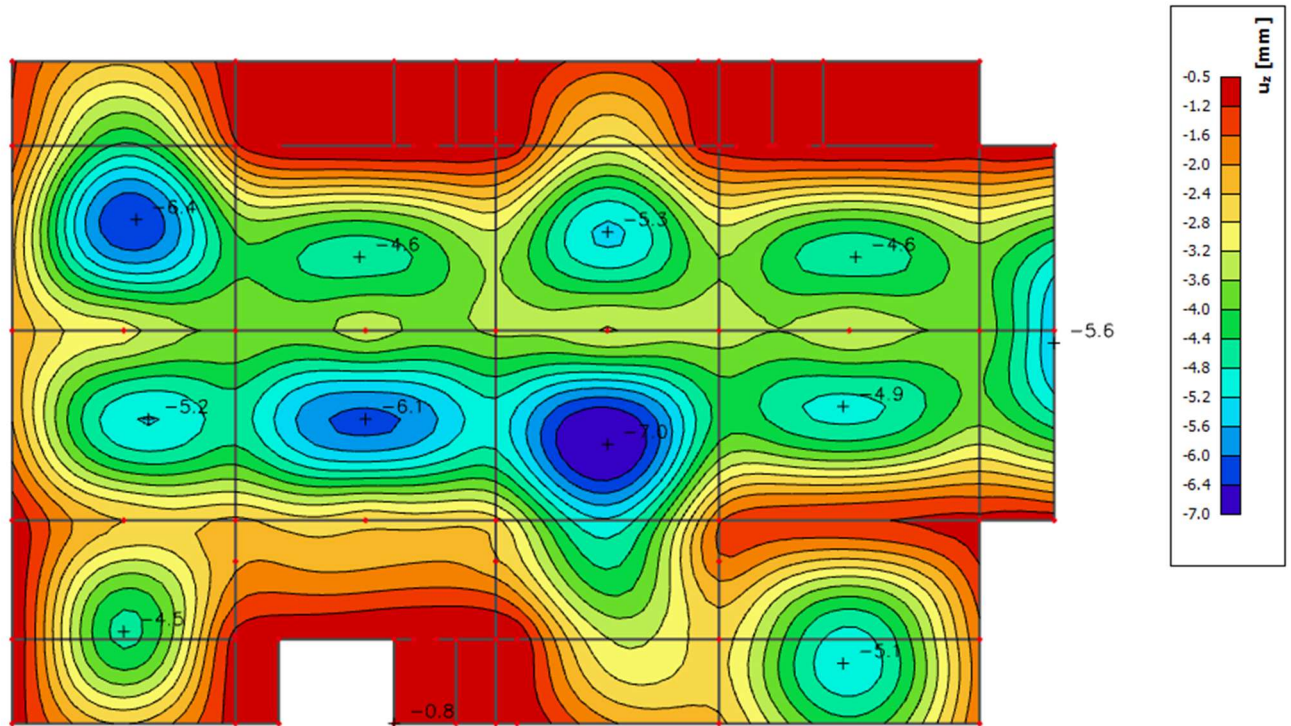
Potrebna armatura u polju:  $A_s = 3.65 \times 1.30 = 4.75 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

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

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

### 6.2.2. Kontrola progiba

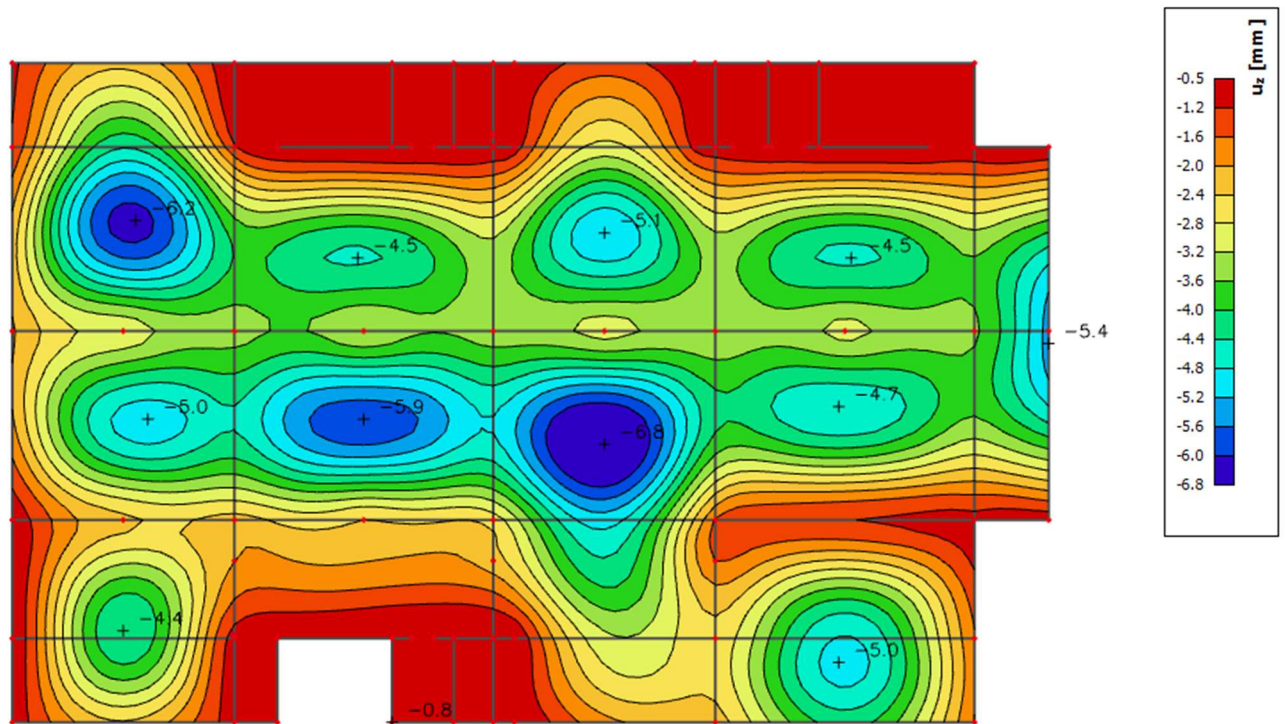


Slika 6.21 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $7.0 - 2.8 = 4.2 \text{ mm}$ .

Dozvoljen progib  $L/1000 = 7650/1000 = 7.65 \text{ mm}$

Krovna ploča zadovoljava na progibe.

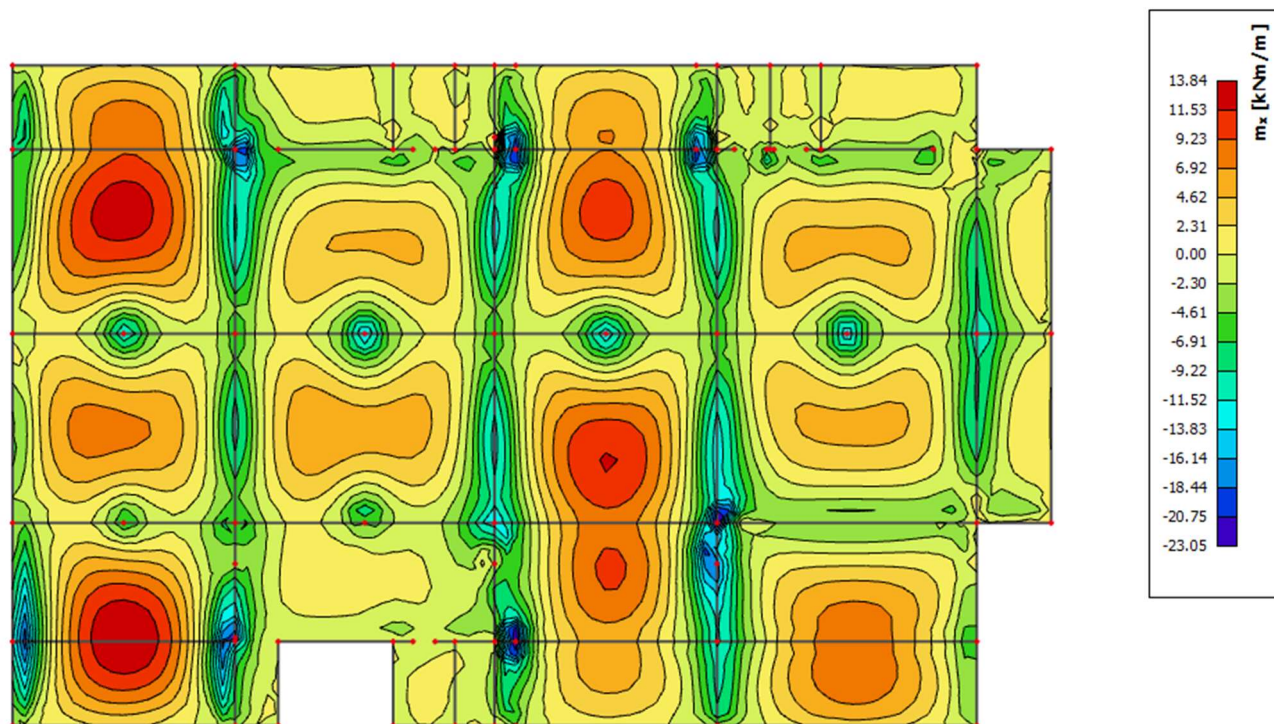
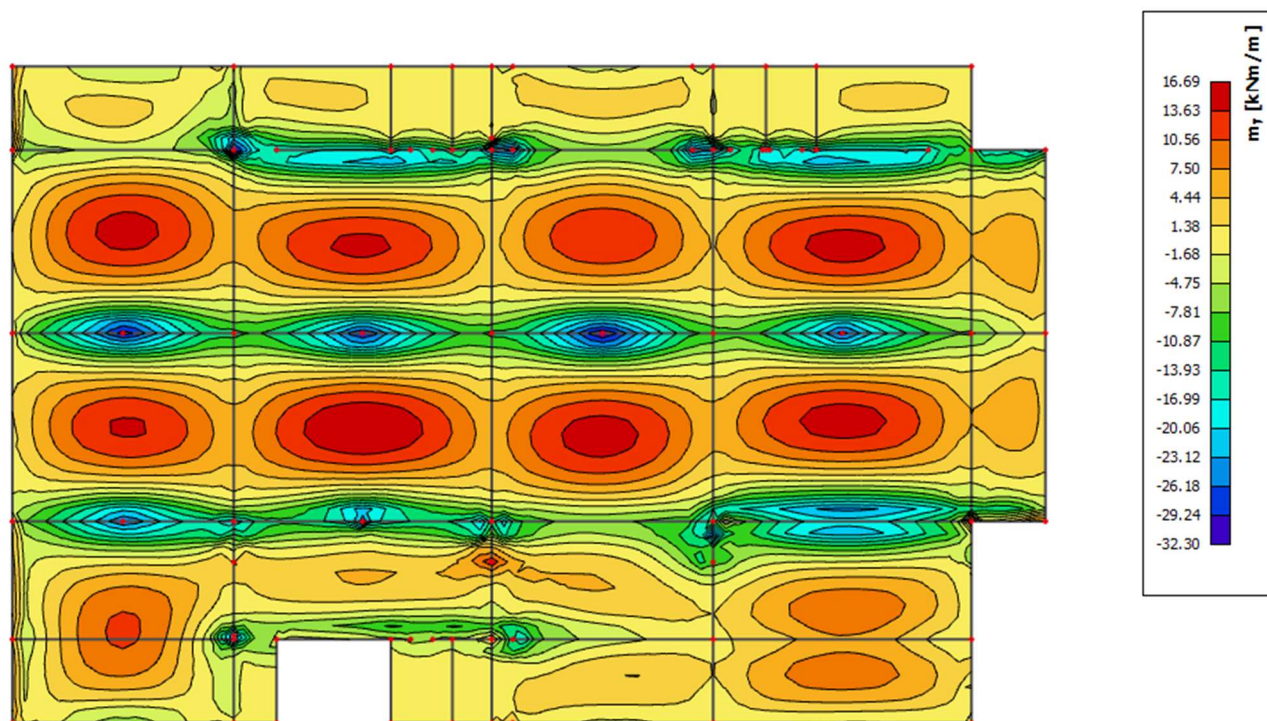


Slika 6.22 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

Najveći progib iznosa je  $6.8 - 2.6 = 4.2$  mm.  
Dozvoljen progib  $L/1000 = 7650/1000 = 7.65$  mm  
Krovna ploča zadovoljava na progibe.



## 6.2.3. Kontrola pukotina

Slika 6.23 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSU-1Slika 6.24 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 16.69 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.25 \cdot 3.85}} \right) \\ = 2.63 \text{ cm}$$

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

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

$A_{s1} = Q - 385 = 3.85 \text{ cm}^2$

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa} = 32\,000 \text{ MPa}$  – 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:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3.85}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0051$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{271.8 - 0.4 \frac{2.9}{0.0051} (1 + 6.25 \cdot 0.0051)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{271.8}{200000}$$

$$-0.00019 \geq 0.00078$$

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

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

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{7}{0.0051} = 370 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 370 \cdot 0.00078 = 0.28 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 0.4 \cdot 0.57^2 \cdot 20.00 \cdot 1000 = 413.27 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

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

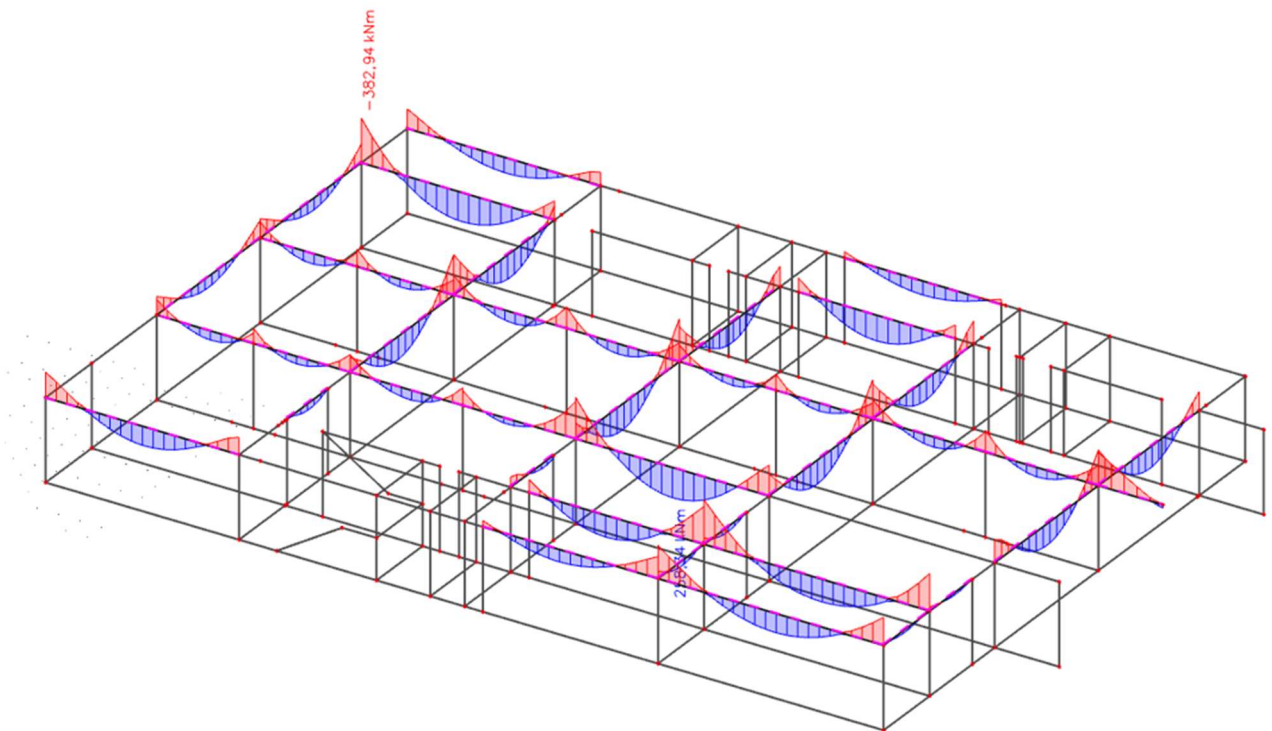
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 193 \cdot 57 = 16.51 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 40 \cdot 57 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 32.51 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 193 \cdot 60 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 452.76 \text{ cm}^2$$

### 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%.

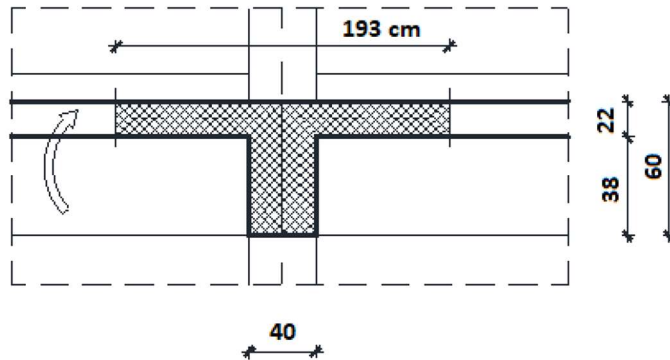
$$M_{max}^{polje} = 258.34 \cdot 1.30 = 335.84 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 382.94 \cdot 0.85 = 325.50 \text{ kNm}$$

### 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

#### Polje:

Utjecajna širina:  $b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 40 + \frac{0.85 \cdot 900}{5} = 193 \text{ cm}$



$M_{Ed} = 335.84 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{335.84 \cdot 100}{193 \cdot 57^2 \cdot 2.0} = 0.027$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 1.0$   $\xi = 0.091$   $\zeta = 0.968$

$$x = \xi \cdot d = 0.091 \cdot 57 = 5.187 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{335.84 \cdot 100}{0.968 \cdot 57 \cdot 43.48} = 14.00 \text{ cm}^2$$

Oabrano  $4\emptyset 22$  ( $A_s = 15.21 \text{ cm}^2$ )

#### Ležaj:

$M_{Ed} = 325.50 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{325.50 \cdot 100}{40 \cdot 57^2 \cdot 2.0} = 0.125$$

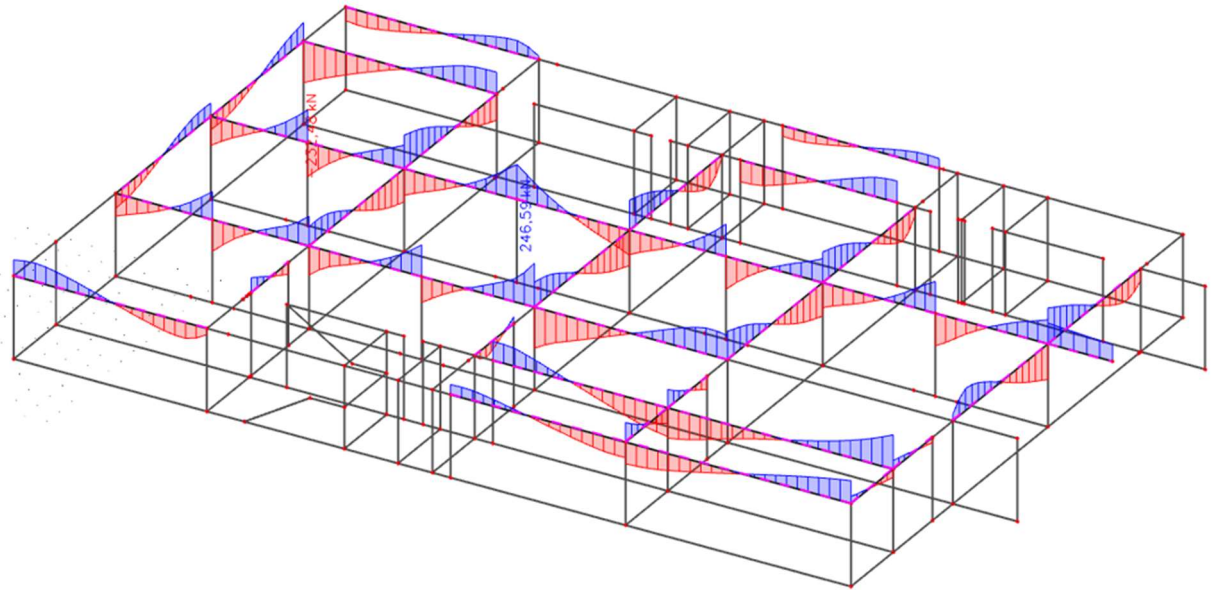
Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 2.7 \text{ ‰}$   $\xi = 0.213$   $\zeta = 0.916$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{325.50 \cdot 100}{0.916 \cdot 57 \cdot 43.48} = 14.33 \text{ cm}^2$$

Izračunata armatura na ležaju je manja od minimalne zadane uvjetom, stoga usvajamo potrebnu površinu armature koja je iznad minimalnih  $16.51 \text{ cm}^2$ .

Oabrano  $5\emptyset 22$  ( $A_s = 19.01 \text{ cm}^2$ )

### 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu



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

$$V_{Ed} = 246.59 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{570}} = 1.59 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.59$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{20.30}{40 \cdot 60} = 0.0085$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.59 \cdot (100 \cdot 0.0085 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 400 \cdot 570$$

$$V_{Rd,c} = 128.04 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.59^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.384$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.384 \cdot 400 \cdot 570 = 87.55 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 246.59 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 400 \cdot 570 \cdot 20.0 = 1203.84 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{246.59}{1203.84} \approx 0.20 \rightarrow V_{Ed} = 0.20 V_{Rd,max}$$

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

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

$$\rho_{min} = 0.0010$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0010 \cdot 30.00 \cdot 40.00}{2} = 0.6 \text{ cm}^2$$

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:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 57)}{246.59} = 14.29 \text{ cm}$$

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

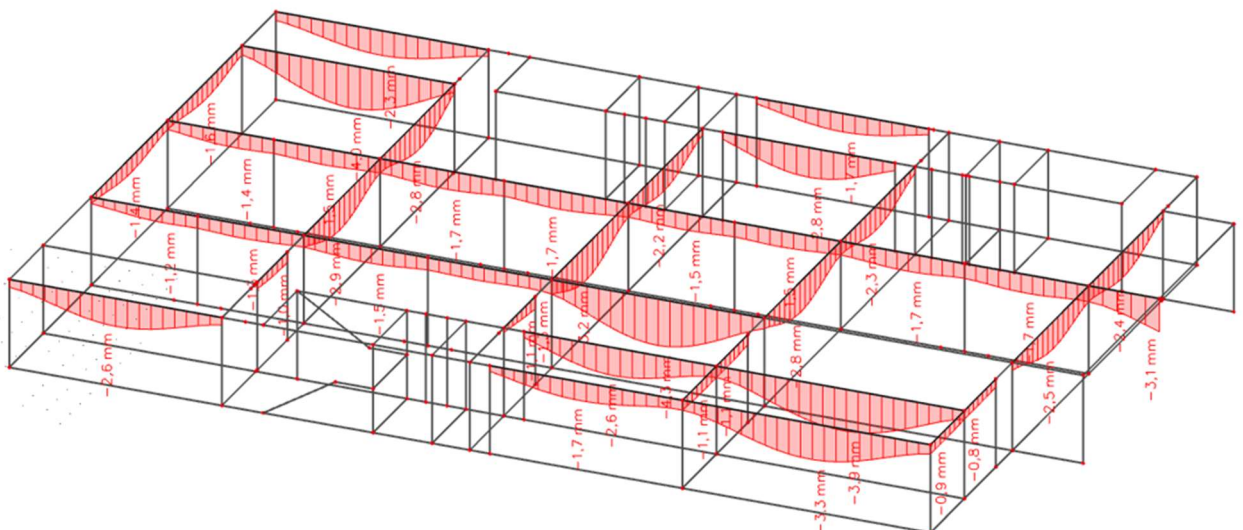
$w_2$  – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

$w_3$  – 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 nesavjetljivim 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

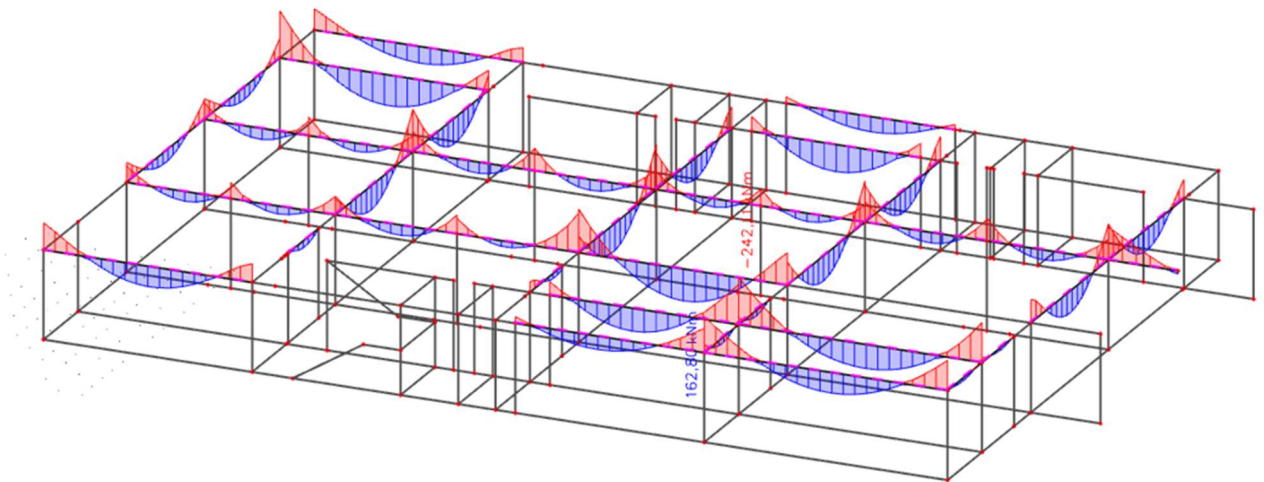
Najveći progib iznosa je  $4.3 - 1.2 = 3.1$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 900/1000 = 9.0$  mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.



### 7.1.5. Kontrola pukotina



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

$$M_{\max} = 162.80 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 15.21}{40} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 57}{6.25 \cdot 15.21}} \right) = 14.25 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{16280}{\left(57 - \frac{14.25}{3}\right) \cdot 15.21} = 20.49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 204.90 \text{ MPa}$$

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

$A_{s1} = 4\emptyset 22$  ( $A_s = 15.21 \text{ cm}^2$ )

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa} = 32\,000 \text{ MPa}$  – 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:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{15.21}{40 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.051$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{204.90 - 0.4 \cdot \frac{2.9}{0.051} (1 + 15.21 \cdot 0.051)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{204.90}{200000}$$

$$-0.00099 \geq 0.00061$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00061$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 22.0 \text{ mm}$$

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

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

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

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{22}{0.051} = 209.33 \text{ mm}$$

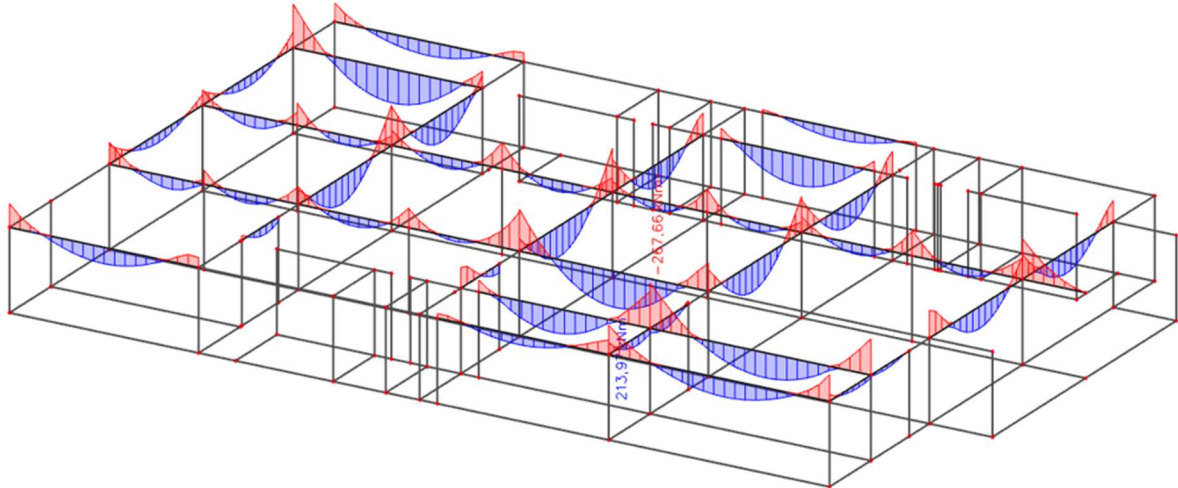
Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 209.33 \cdot 0.00061 = 0.13 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7.2. Krovna greda

### 7.2.1. Prikaz rezultata proračuna



Slika 7.6 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN

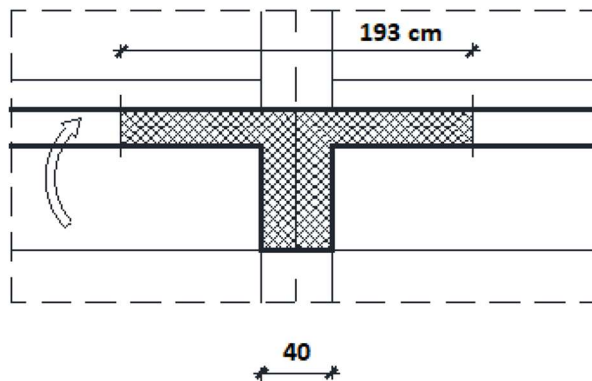
$$M_{max}^{polje} = 213.97 \cdot 1.30 = 278.16 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 267.66 \cdot 0.85 = 227.51 \text{ kNm}$$

### 7.2.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 40 + \frac{0.85 \cdot 900}{5} = 193 \text{ cm}$$



$$M_{Ed} = 278.16 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{278.16 \cdot 100}{193 \cdot 57^2 \cdot 2.0} = 0.022$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.9 \text{ ‰ } \xi = 0.083 \quad \zeta = 0.971$$

$$x = \xi \cdot d = 0.083 \cdot 57 = 4.731 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{278.16 \cdot 100}{0.971 \cdot 57 \cdot 43.48} = 11.56 \text{ cm}^2$$

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

**Ležaj:**

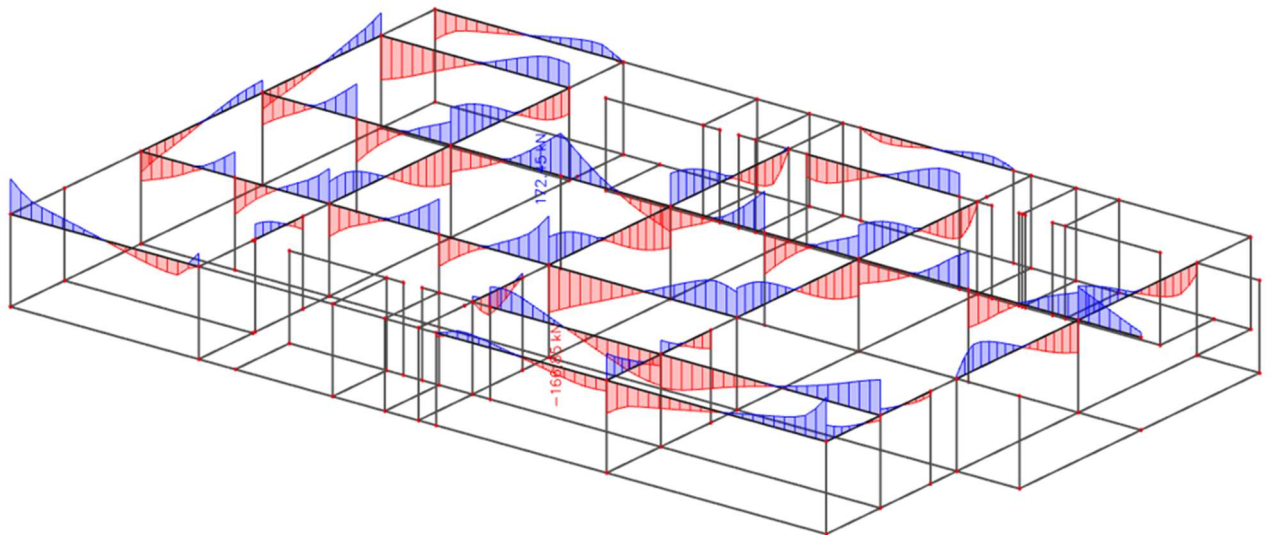
$$M_{Ed} = 227.51 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{227.51 \cdot 100}{40 \cdot 57^2 \cdot 2.0} = 0.088$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 2.0 \text{ ‰} \quad \xi = 0.167 \quad \zeta = 0.938$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{227.51 \cdot 100}{0.938 \cdot 57 \cdot 43.48} = 9.79 \text{ cm}^2$$

Oabrano 4Ø18 ( $A_s = 10.18 \text{ cm}^2$ )

**7.2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Slika 7.7 Poprečne sile  $V_{Ed,z}$  (kN/m) za GSN

$$V_{Ed} = 172.45 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{570}} = 1.59 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.59$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{18.22}{40 \cdot 57} = 0.0080$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.59 \cdot (100 \cdot 0.008 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 400 \cdot 570$$

$$V_{Rd,c} = 125.48 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.59^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.384$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.384 \cdot 400 \cdot 570 = 87.55 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 172.45 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 400 \cdot 570 \cdot 20.0 = 1203.84 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{172.45}{1203.84} \approx 0.14 \rightarrow V_{Ed} = 0.14 V_{Rd,max}$$

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

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

$$\rho_{min} = 0.0010$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0010 \cdot 30.00 \cdot 40.00}{2} = 0.6 \text{ cm}^2$$

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

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

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

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

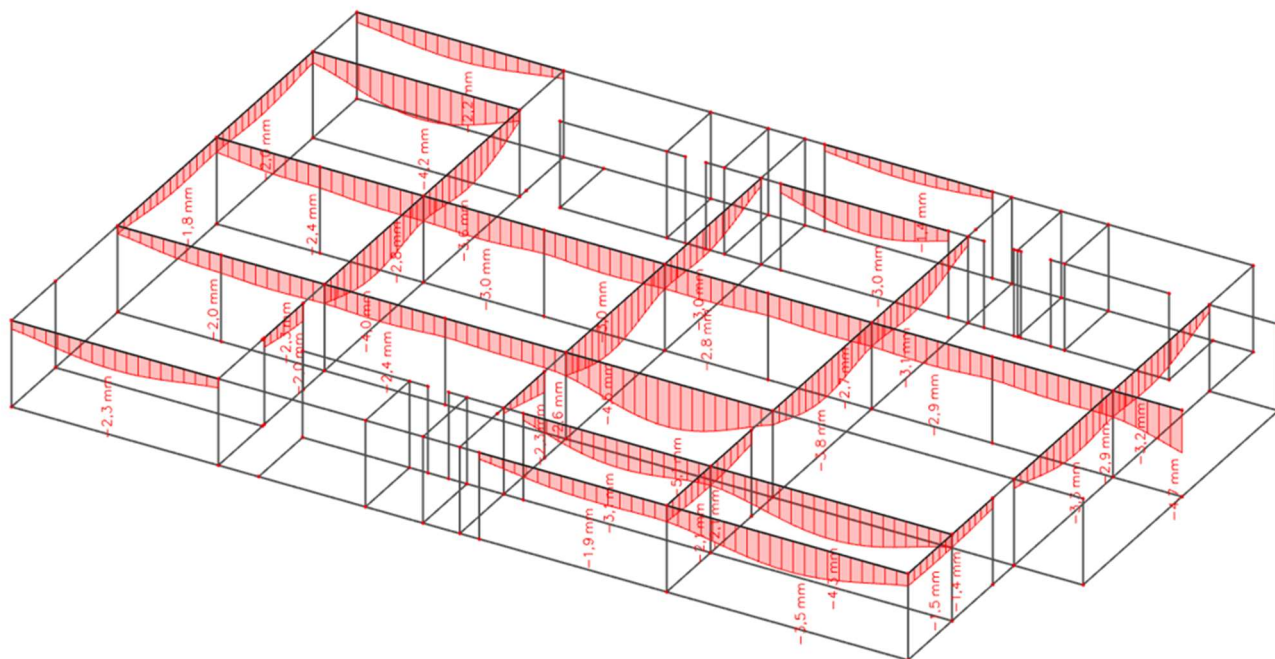
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 57)}{172.45} = 20.44 \text{ cm}$$

Postaviti spone  $\emptyset 10/25$  ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

### 7.2.4. Kontrola progiba



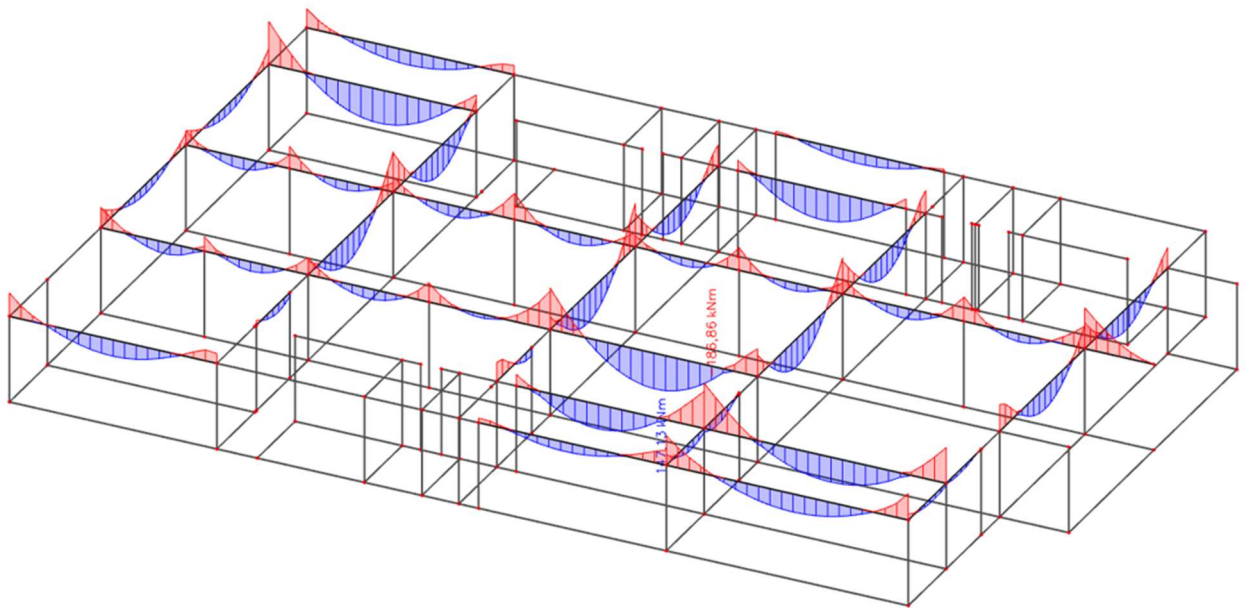
Slika 7.8 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je  $5.1 - 2.1 = 3.0$  mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 900/1000 = 9$  mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.

### 7.2.5. Kontrola pukotina



Slika 7.9 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm) za GSU-1

$$M_{\max} = 147.13 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 12.57}{40} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 57}{6.25 \cdot 12.57}} \right) = 13.13 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{14713}{\left(57 - \frac{13.13}{3}\right) \cdot 12.57} = 22.24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 222.40 \text{ MPa}$$

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

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

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa} = 32\,000 \text{ MPa}$  – 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:

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{222.40 - 0.4 \cdot \frac{2.9}{0.042} (1 + 12.57 \cdot 0.042)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{222.40}{200000}$$

$$-0.009 \geq 0.00067$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00067$$

Srednji razmak pukotina:

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

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

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{20}{0.042} = 216.95 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 222.40 \cdot 0.00067 = 0.15 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

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:

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

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

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

- 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  $A_c = L_c * b_w$  ( $L_c = \max \{0.15 L_w, 1.5 b_w\}$ )

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

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

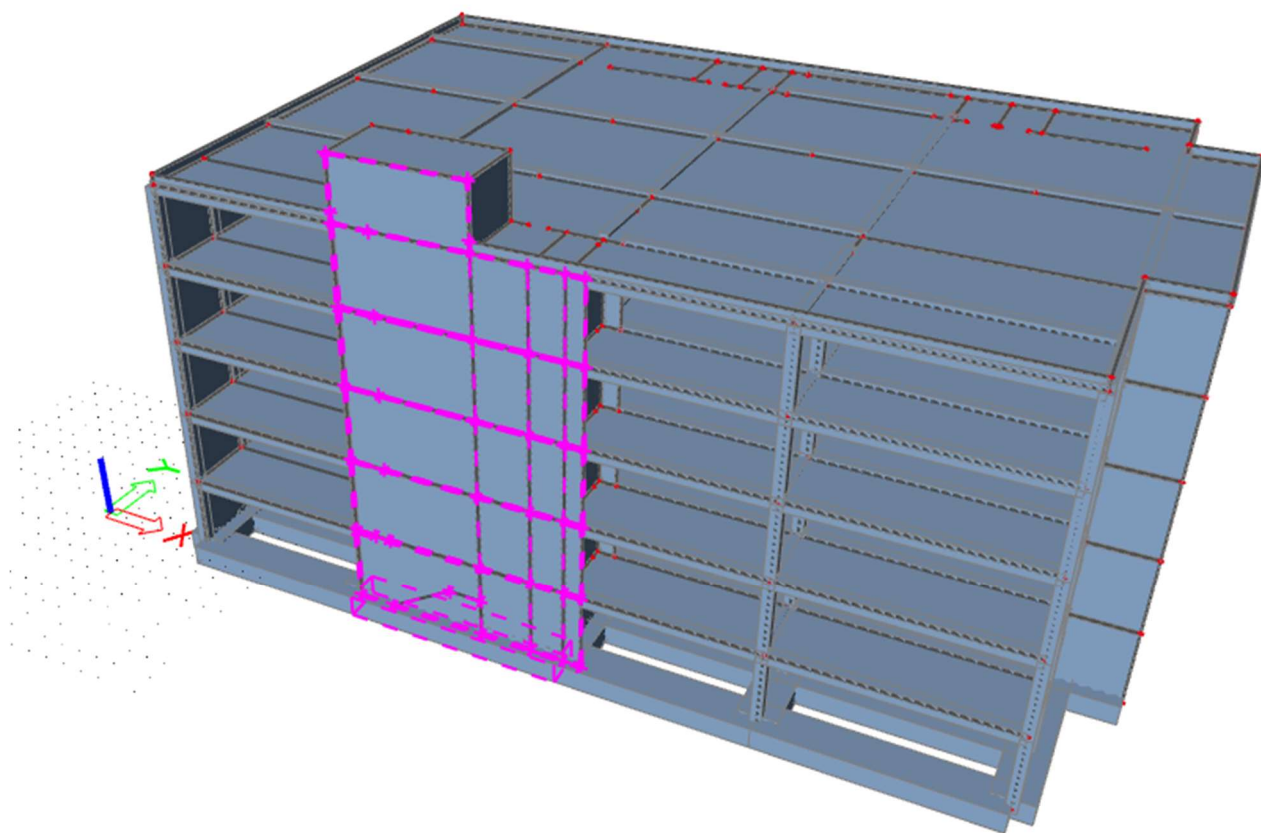
$$b_w=16 \text{ cm}; A_{s,min} = 0.0009 * 16 * 100/2 = 0.72 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

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

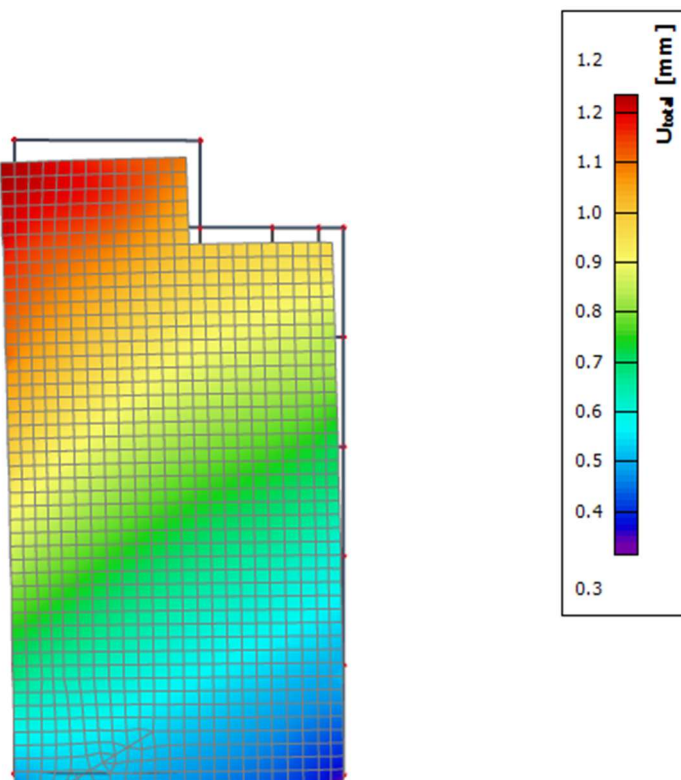
$$b_w=30 \text{ cm}; A_{s,min} = 0.0009 * 30 * 100/2 = 1.35 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

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

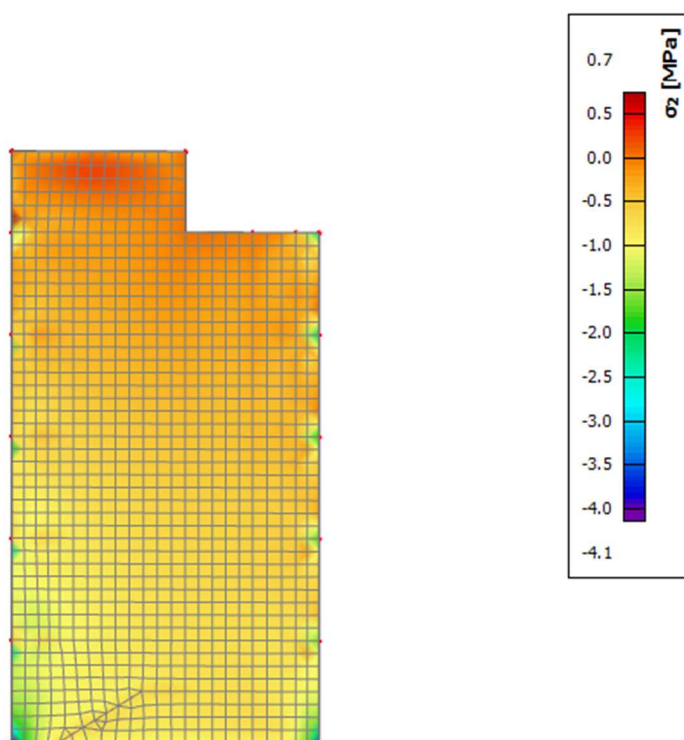
## 8.2. Prikaz modela i dijagrama



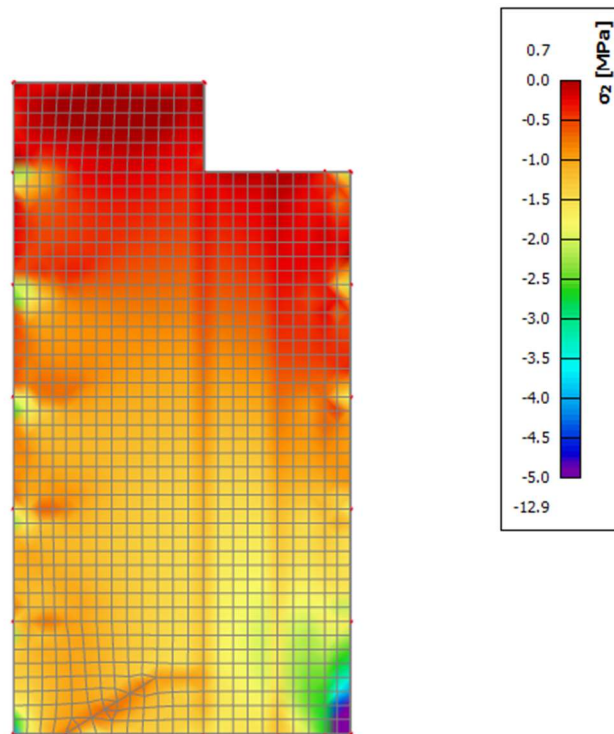
*Slika 8.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun*



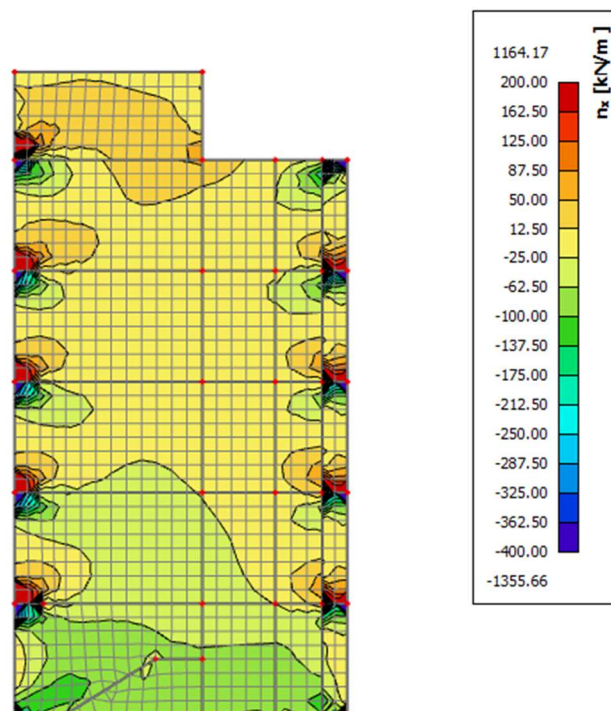
Slika 8.2 Pomaci (mm) za nazovistalnu kombinaciju GSU2



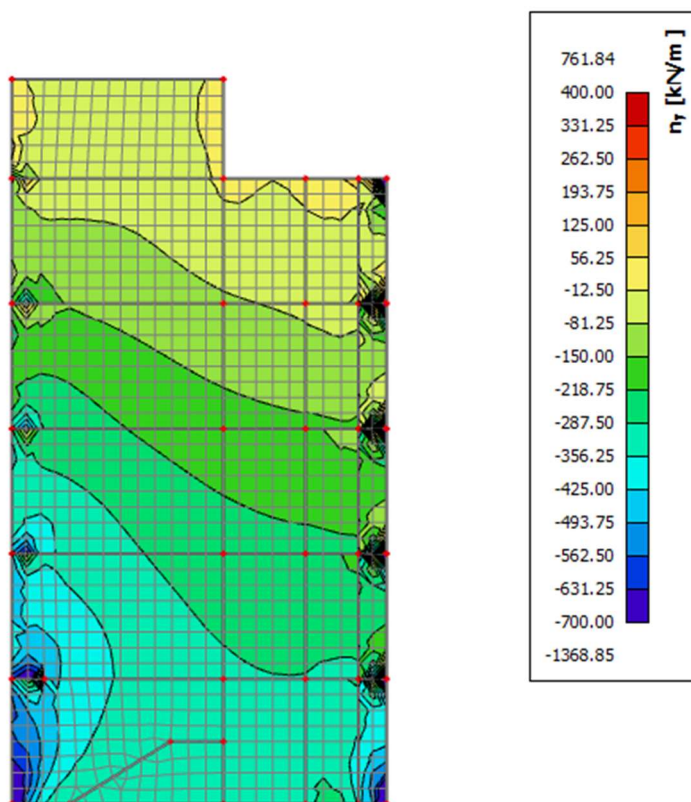
Slika 8.3 Glavna tlačna naprezanja  $\sigma_{c,Ed}$  [MPa] u zidu za nazovistalnu kombinaciju GSU2



Slika 8.4 Glavna tlačna naprezanja  $\sigma_{c,Ed}$  [MPa] u zidovima za anvelopu GSN-1y



Slika 8.5 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [kN/m] u smjeru X, u zidovima za anvelopu GSN



Slika 8.6 Uzdužne sile  $n_{Ed}$  [ $kN/m$ ] u smjeru Y, u zidovima za anvelopu GSN

## 9. PRORAČUN STUPOVA

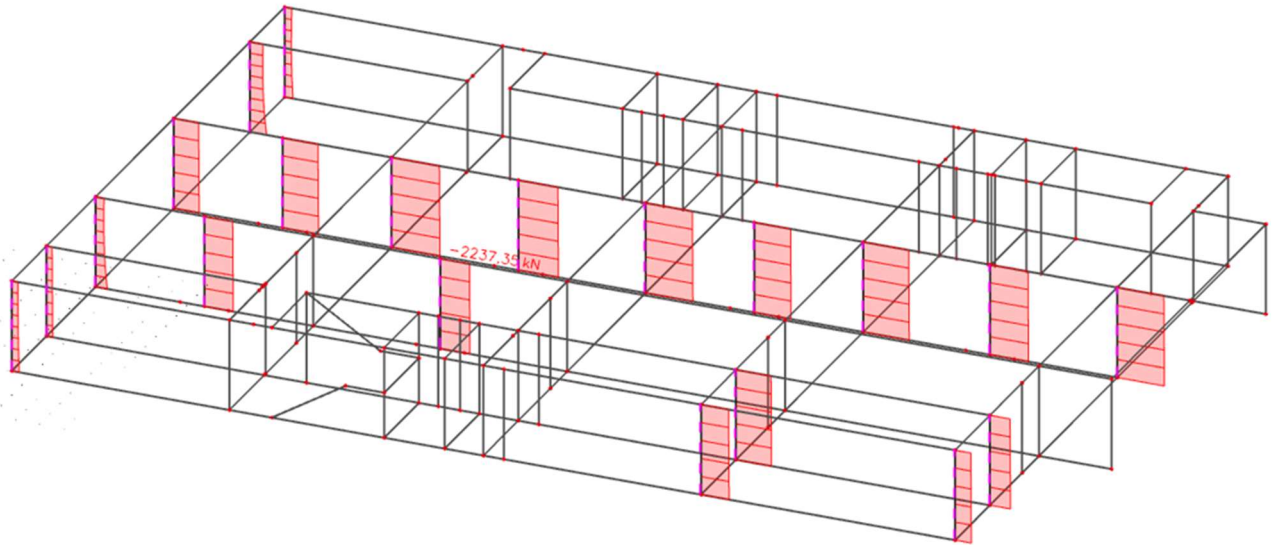
### Ograničenja naprezanja u betonu

Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja:

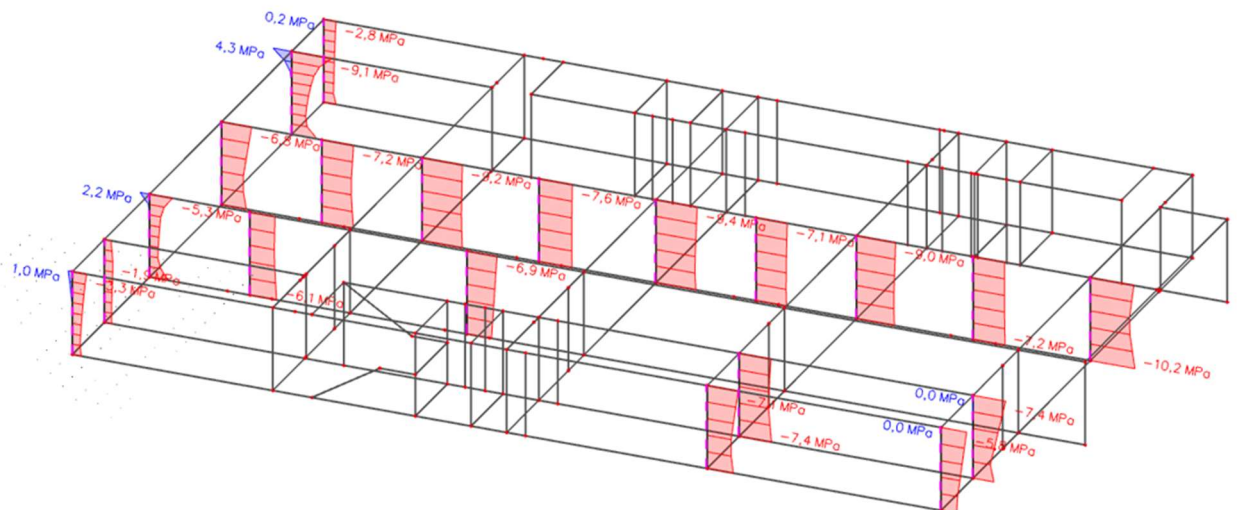
$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$  za nazovistalnu kombinaciju GSU-2

GSU-2 = 1.0G +  $\Psi_2$ Q = 1.0G + 0.3Q 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-2



Slika 9.2 Srednje tlačno naprezanje u stupovima  $\sigma_{c,Ed}$  (MPa) za GSU-2

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

Kontrolira se srednje tlačno naprezanje u stupu za nazovistalnu

kombinaciju:  $\text{GSU-2} = 1.0\text{G} + \Psi_{2i} \cdot \text{Qi} = 1.0\text{G} + 0.3\text{Q}$

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

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

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

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

$$N_{sd} = 2237.35 \text{ kN}$$

$$b \times h \geq N_{sd} / 0.65 \times f_{cd} \rightarrow 2500 \geq 1721.04 = A_{c,potr}$$

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

Minimalna vertikalna armatura stupa:

- a)  $A_{s,min} = 8\Phi 12 (9.05 \text{ cm}^2)$
- b)  $A_{s,min} = 0.15 \times N_{sd} / f_{yd} = 0.15 \times 2237.35 / 43.48 = 7.72 \text{ cm}^2$
- c)  $A_{s,min} = 0.003 \times A_c = 7.5 \text{ cm}^2$
- d)  $A_{s,min} = 0.01 \times A_c = 25 \text{ cm}^2$

Odabrana vertikalna armatura:  $8\Phi 20 (25.13 \text{ cm}^2)$

Minimalna poprečna armatura stupa:

- a)  $e_w = 12 \Phi_{s,min} = 26.4 \text{ cm}$
- b)  $e_w \leq b = 50 \text{ cm}$
- c)  $e_w \leq 30 \text{ cm}$
- d)  $e_w \leq 15 \text{ cm}$  (potres – za duktilnost M)

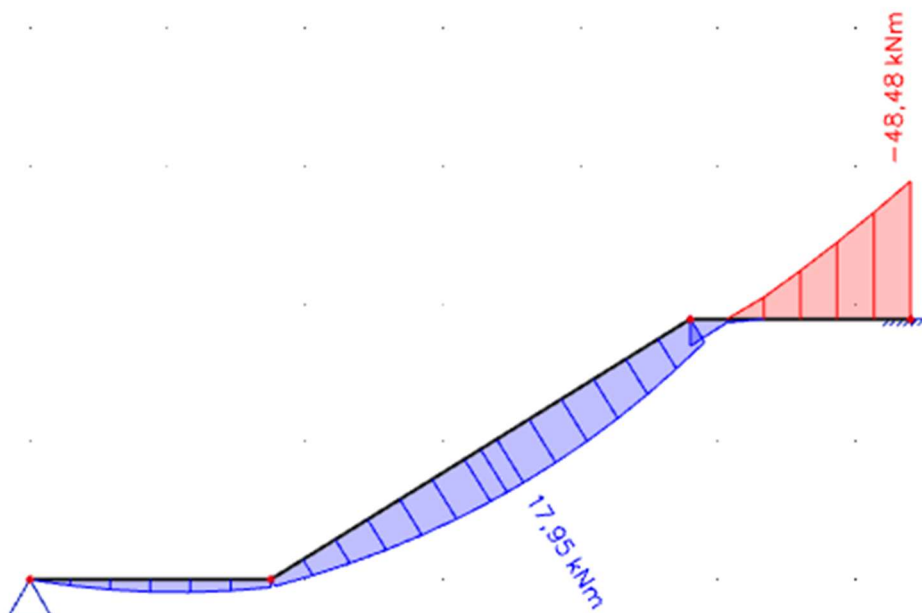
Odabrana poprečna armatura: spone  $\Phi 6/15 \text{ cm}$ .

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

## 10. PRORAČUN STUBIŠTA

### 10.1. Mjerodavne rezne sile

GSN-1: 1.35G + 1.5Q



Napomena: Dobivenu armaturu zbog predraspodjele umanjiti nad ležajem za 15% i povećati u polju 25%.

Mjerodavni moment u polju: 23.34 kNm

Mjerodavni moment na ležaju: 41.21 kNm

### 10.2. Dimenzioniranje stubišta

$h = 18 \text{ cm}$

zaštitni sloj:  $a = 3 \text{ cm}$  ;  $d = 15 \text{ cm}$

Beton : C 30/37

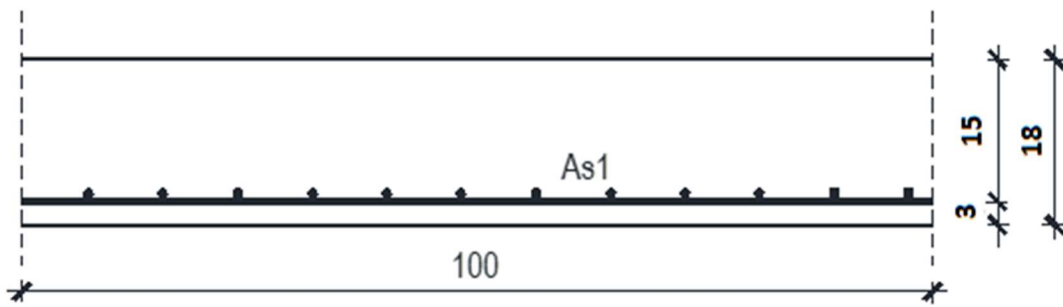
$f_{ck} = 25.0 \text{ MPa}$

$E_{cm} = 32.0 \text{ GPa}$

Armatura : B 500B

$f_{yk} = 500.0 \text{ MPa}$



**Polje**

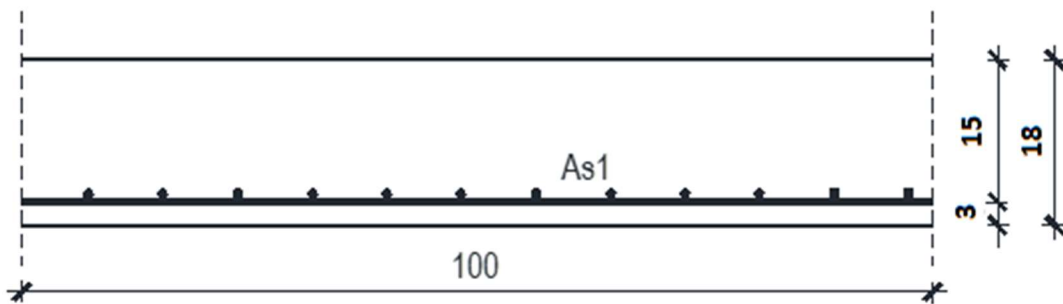
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23.34 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2.0} = 0,052$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 1.4$   $\xi = 0.123$   $\zeta = 0.956$

$$x = \xi \cdot d = 0.123 \cdot 15 = 1.845 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{23.34 \cdot 100}{0.956 \cdot 15 \cdot 43.48} = 3.74 \text{ cm}^2$$

Odabrana mreža Q-385 ( $A_s = 3.85 \text{ cm}^2$ )

**Ležaj**

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{41.21 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2.0} = 0,092$$

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

$$x = \xi \cdot d = 0.057 \cdot 15 = 0.855 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{41.21 \cdot 100}{0.981 \cdot 15 \cdot 43.48} = 6.44 \text{ cm}^2$$

Odabrana mreža R-785 ( $A_s = 7.85 \text{ cm}^2$ )

## 11. PRORAČUN TEMELJA

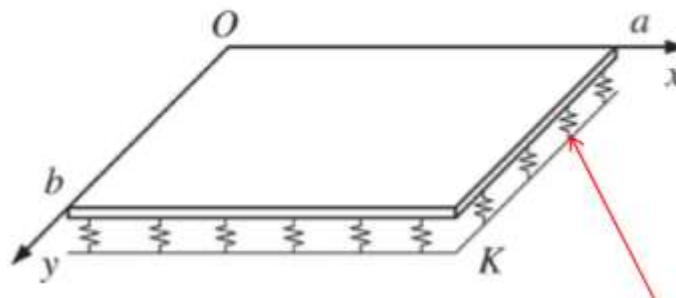
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja..

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

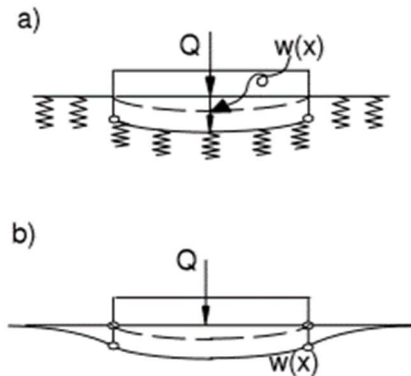
Koeficijent reakcije podloge  $K$  je odnos između dodirnog naprezanja  $q$  kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja  $w$ , koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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)

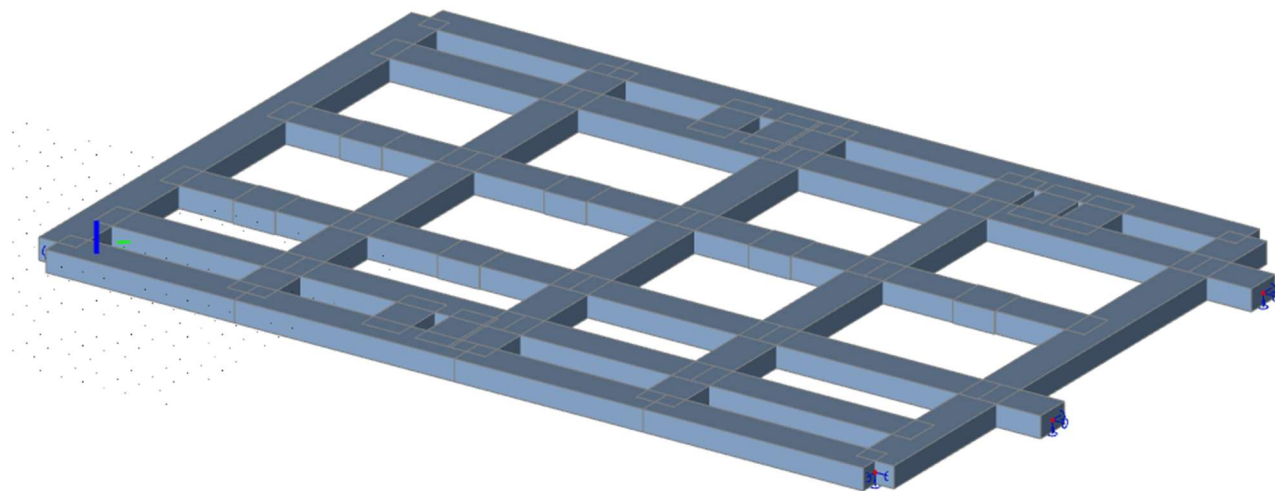
Nedostatci ovog modela :

- 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

## 11.1. Proračun trakastih temelja

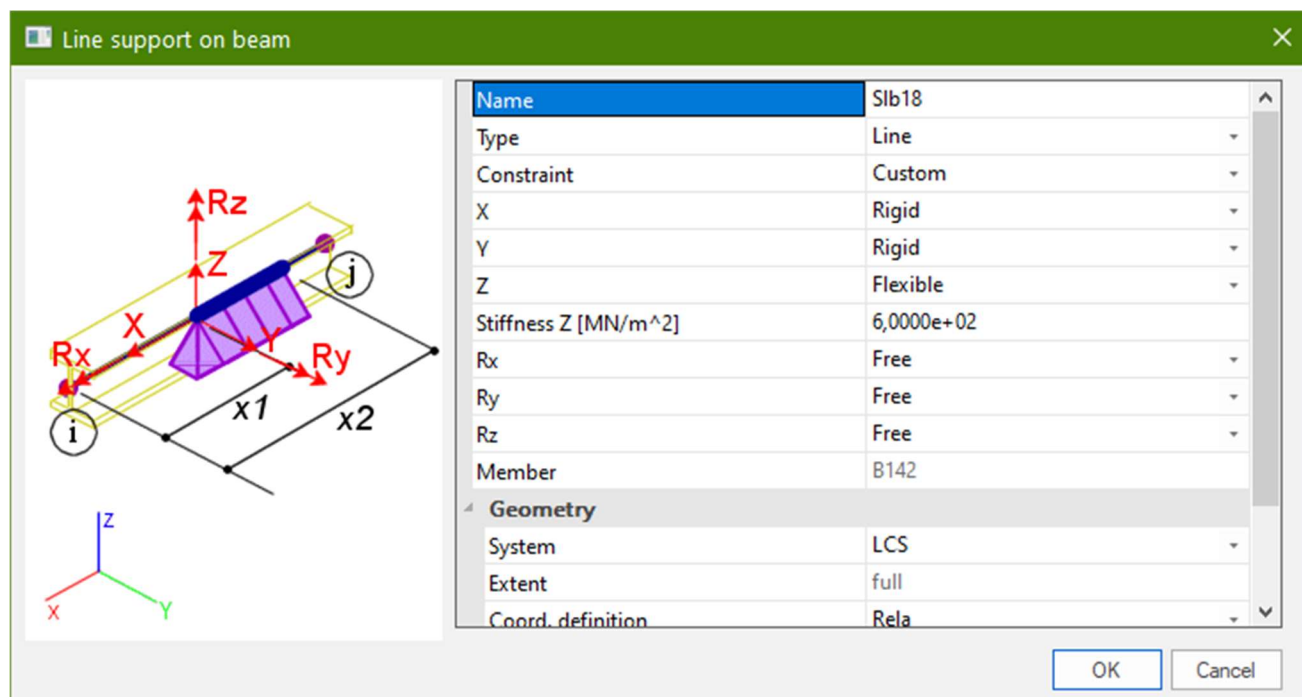
### 11.1.1. Model trakastih temelja

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



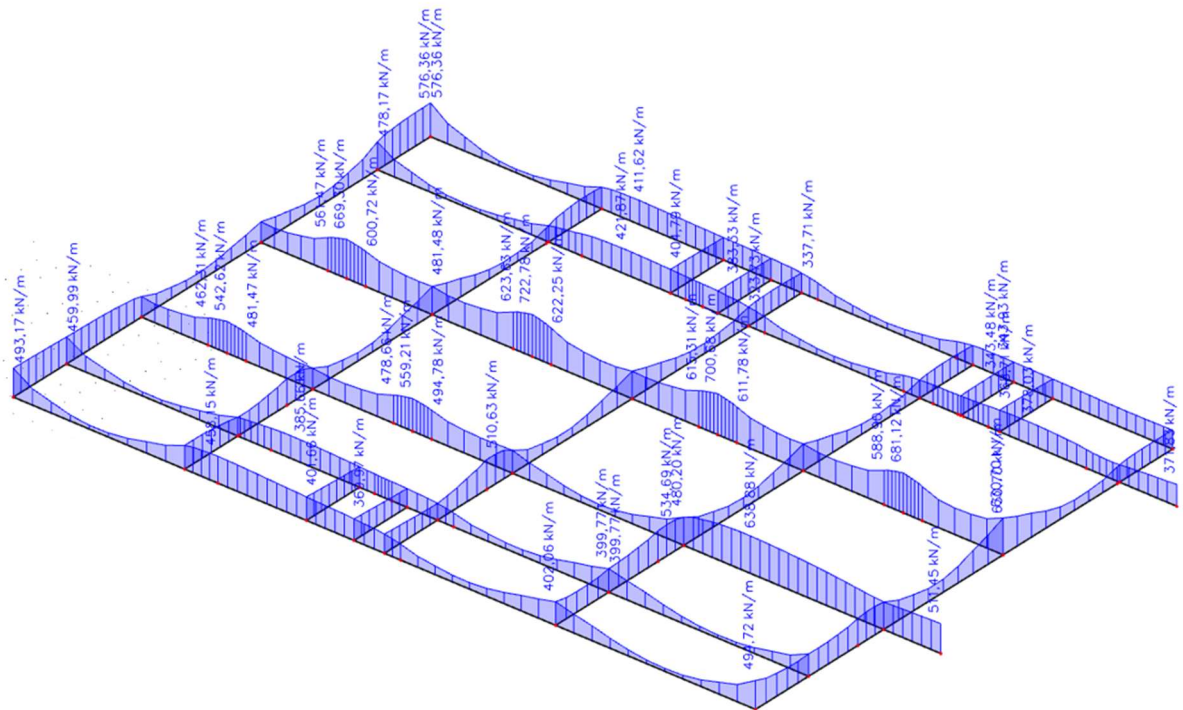
Slika 11.3 Model trakastih temelja

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



Slika 11.4 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

### 11.1.2. Proračun širine temeljne stope



Slika 11.5 Linijske reakcije na mjestima oslanjanja zidova na temeljne trake (Kn/m) za kombinaciju GSN-1

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

Reakcije su dobivene iz programa „Scia Engineer“.

Vrijednost dopuštenog kontaktnog napreznja je  $600 \text{ kN/m}^2$ .

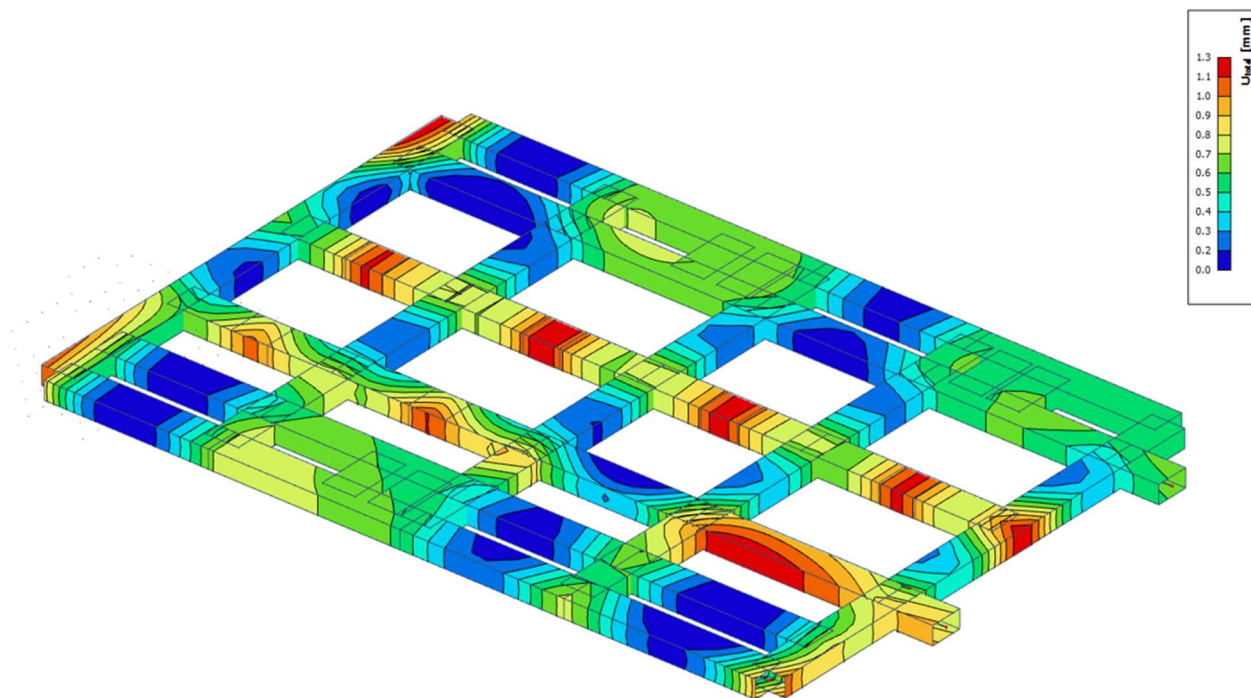
$$\sigma_{Ed} = F / b \text{ [kN]}$$

|           | Reakcija<br>F [kN/m] | Nosivost<br>tla<br>$\sigma_{Rd}$ [kN] | Širina temeljne<br>stope<br>b [m] | Računska<br>nosivost<br>$\sigma_{Ed}$ [kN] | $\sigma_{Ed}/\sigma_{Rd}$<br>[%] |
|-----------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| <b>T1</b> | 725                  | 600,00                                | 1,8                               | 403  | 0,67                             |

Napomena: Visina svih temeljnih stopa je 1 metar.

### 11.1.3. Slijeganje građevine

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



Slika 11.6 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSN

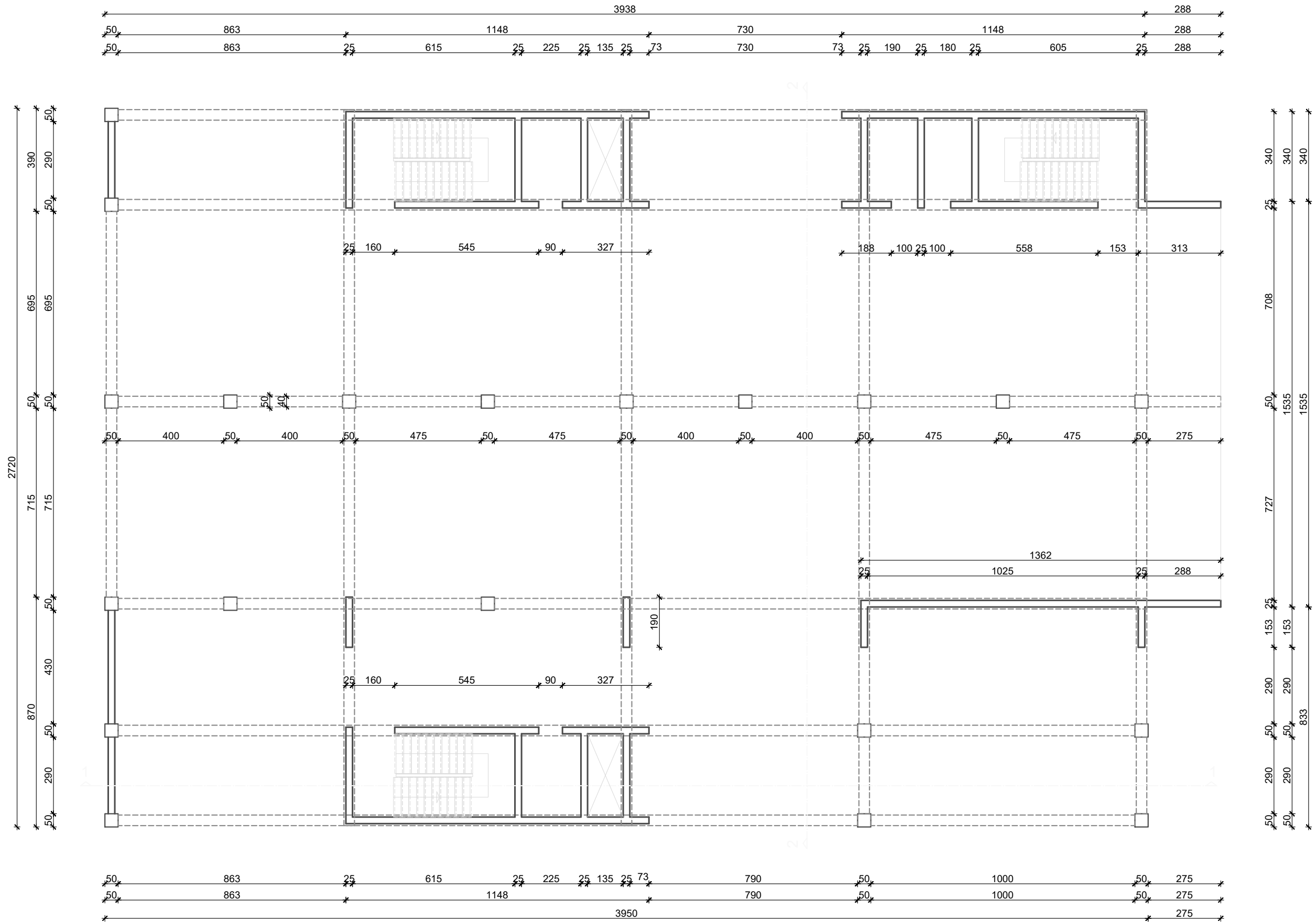
Na slici vidimo da se građevina ravnomjerno slegnula odnosno izbjegli smo pojavu diferencijalnog slijeganja.


## 12. GRAFIČKI PRILOZI

Redom su priloženi:

- Tlocrt karakteristične etaže M 1:150
- Presjek 1-1 M 1:150
- Presjek 2-2 M 1:150
- Pogled 1
- Pogled 2
- Pogled 3
- Pogled 4

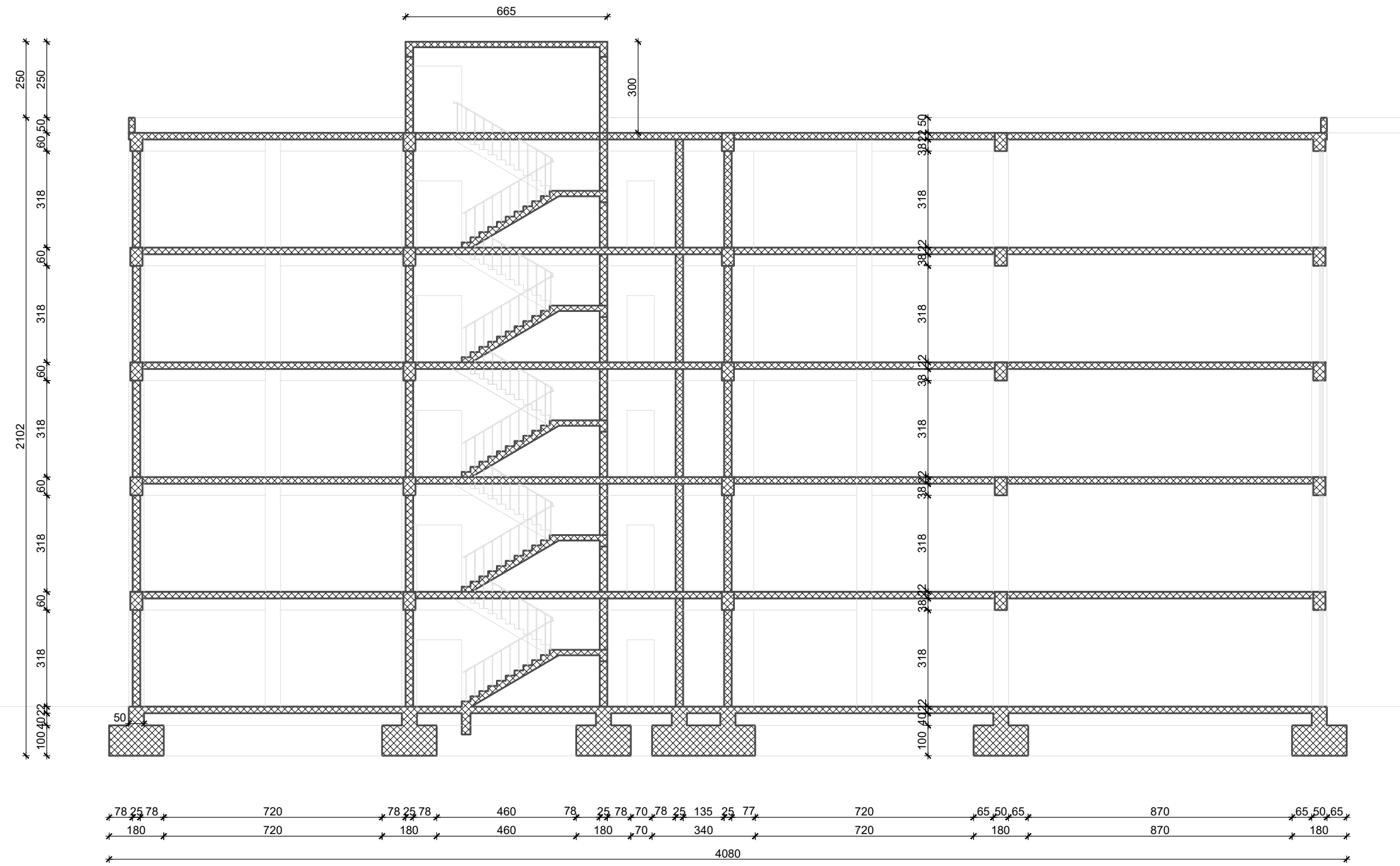
# TLOCRT KARAKTERISTIČNE ETAŽE M 1:150




|  |  |                   |
|--|--|-------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>         GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>         21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | TEMA<br>Građevna statika                     |                   |
|  | STUDIJE<br>STATIČKI PRORAČUN POSLOVNE ZGRADE |                   |
|  | STUDENT<br>Marko Čurak, br.indeksa 4377      |                   |
|  | SADRŽAJ<br>TLOCRT KATA                       | MJERILO<br>1:150  |
| DATUM<br>18.9.2020   |  | BROJ PRILOGA<br>1 |

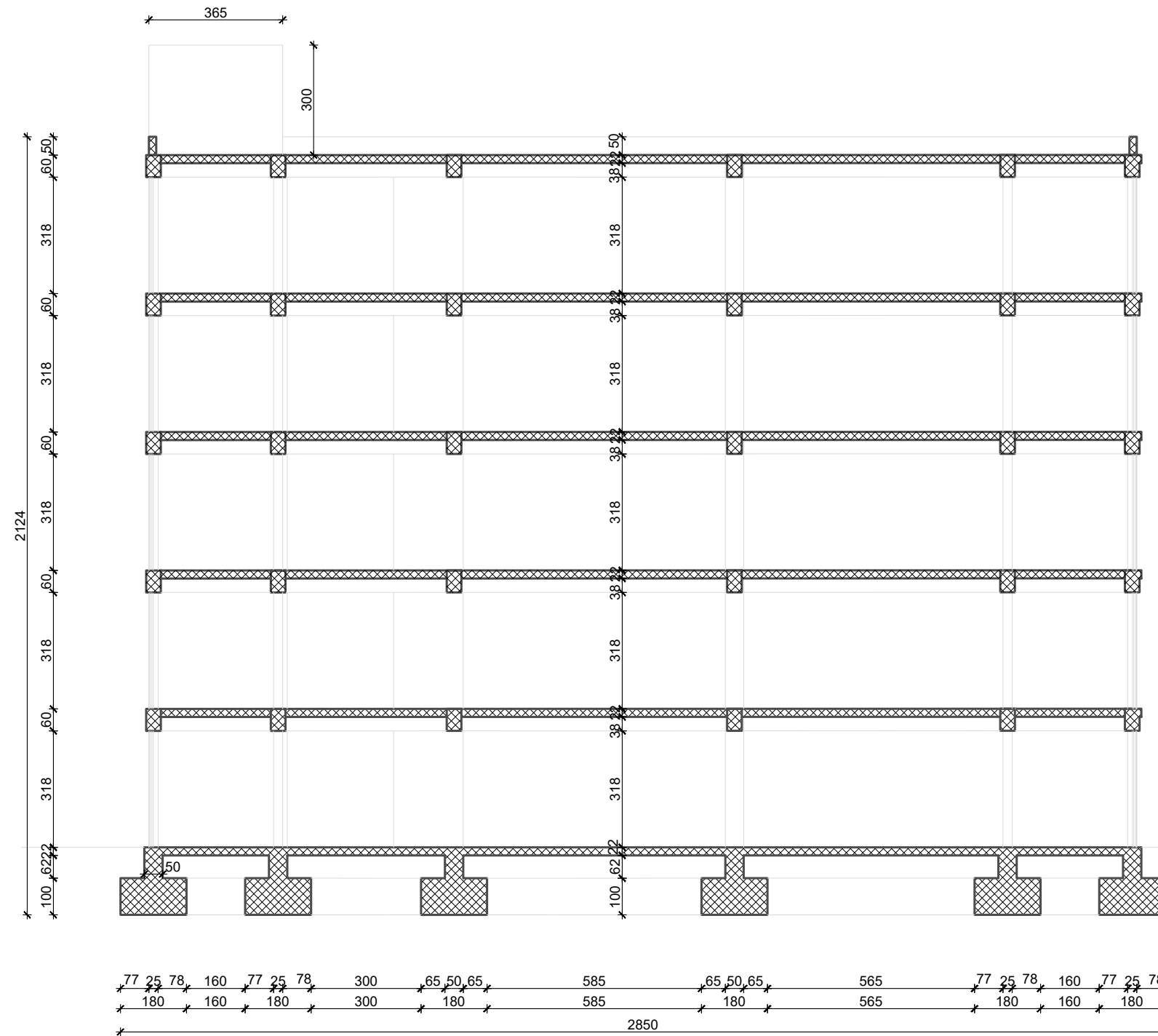



# PRESJEK 1-1 M 1:150

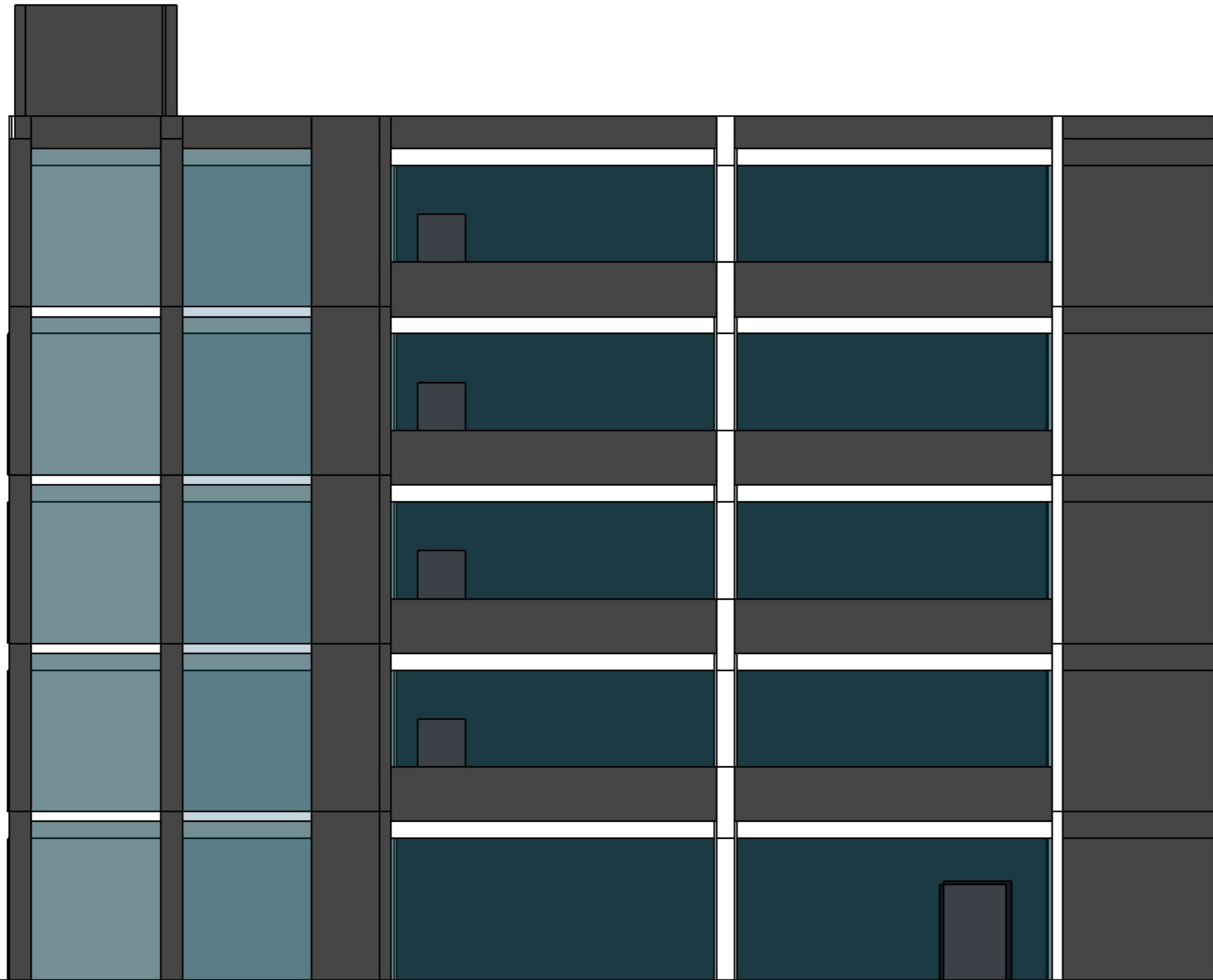


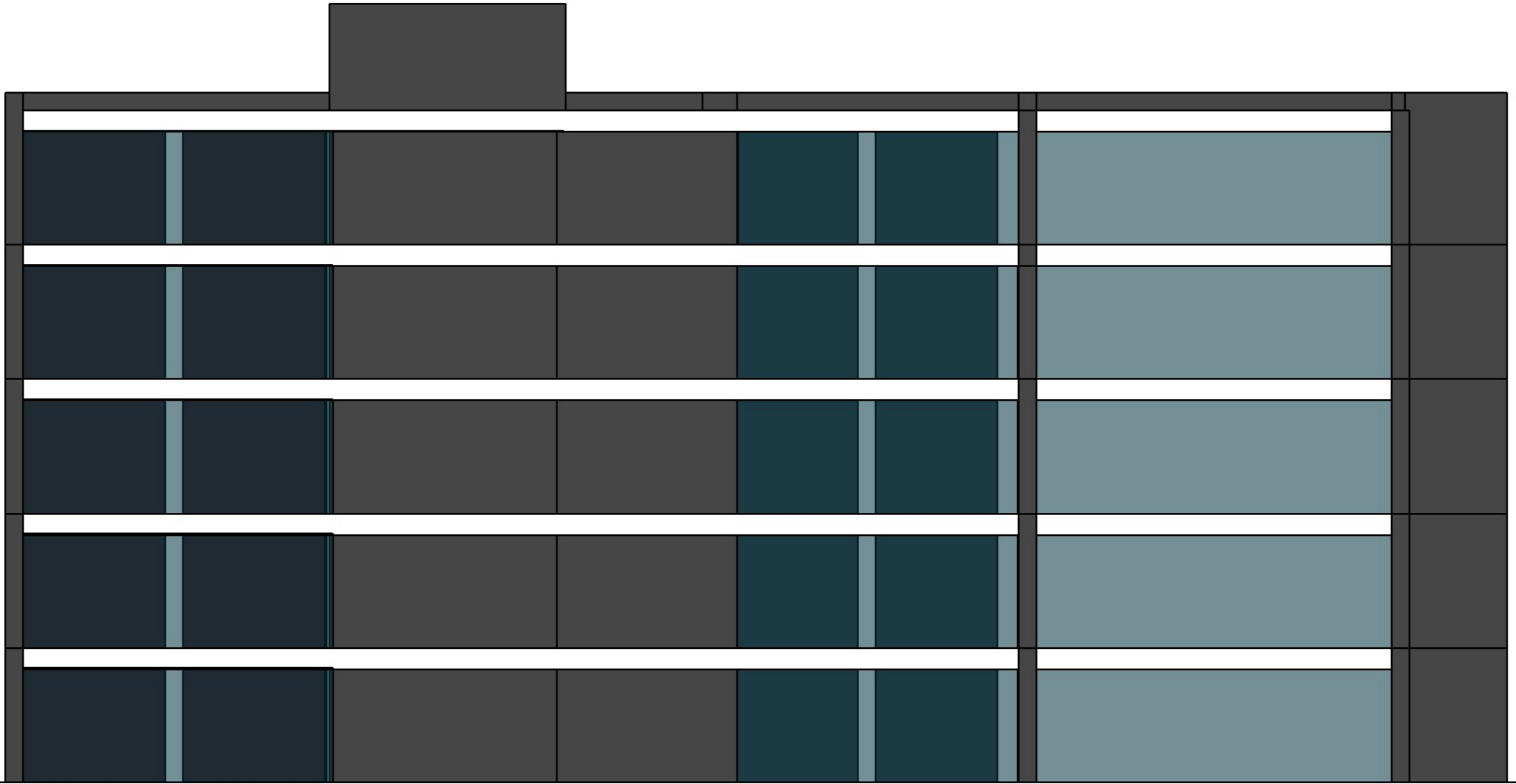
|  |                  |                                   |                         |
|--|------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Građevna statika |                                   |                         |
|  | TEMA             | STATIČKI PRORAČUN POSLOVNE ZGRADE |                         |
|  | STUDENT          | Marko Ćurak, br.indeksa 4377      |                         |
|  | SADRŽAJ          | PRESJEK 1-1                       | MJERILO<br>BROJ PRILOGA |
| DATUM  | 18.9.2020        |                                   |                         |

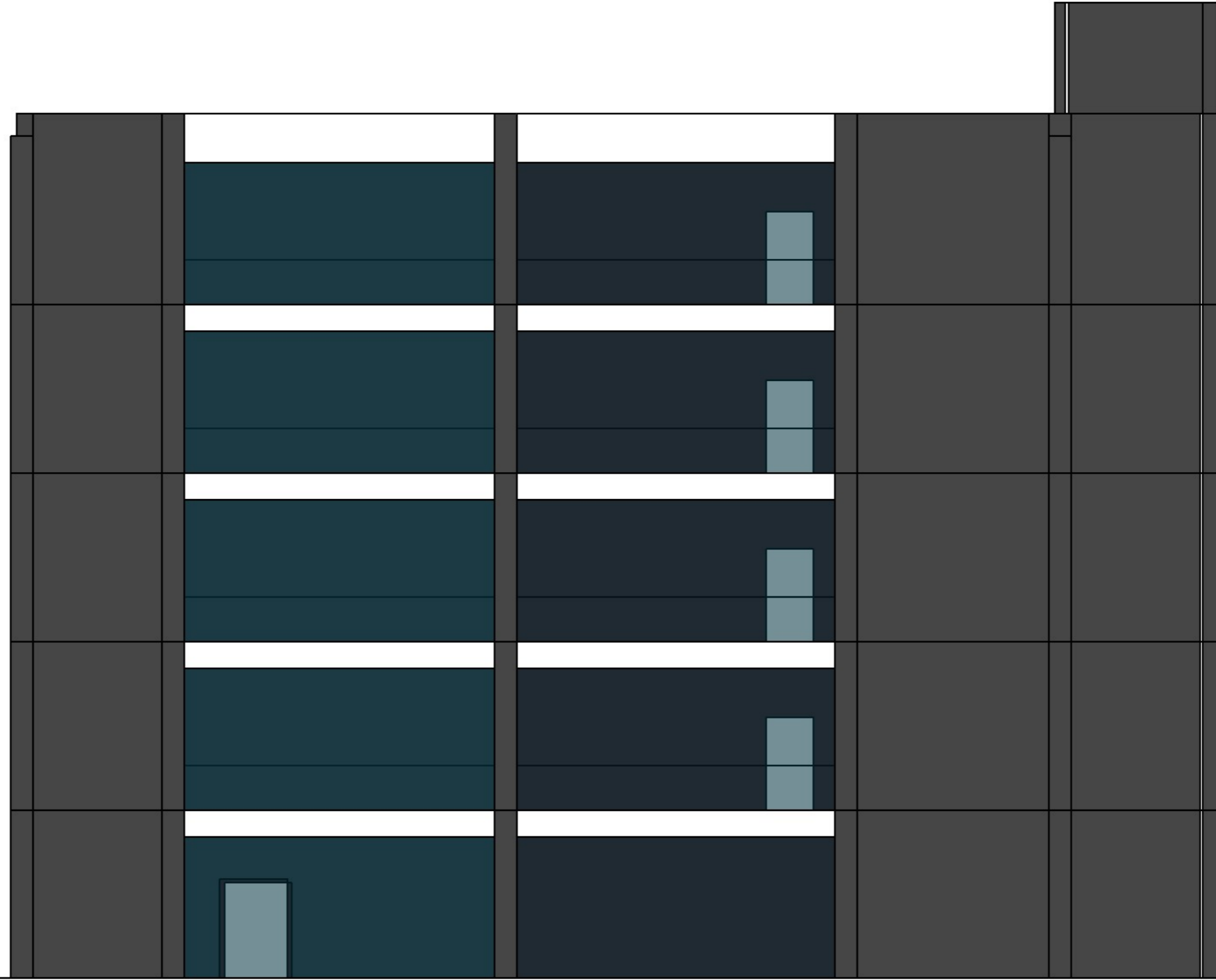
# PRESJEK 2-2 M 1:150

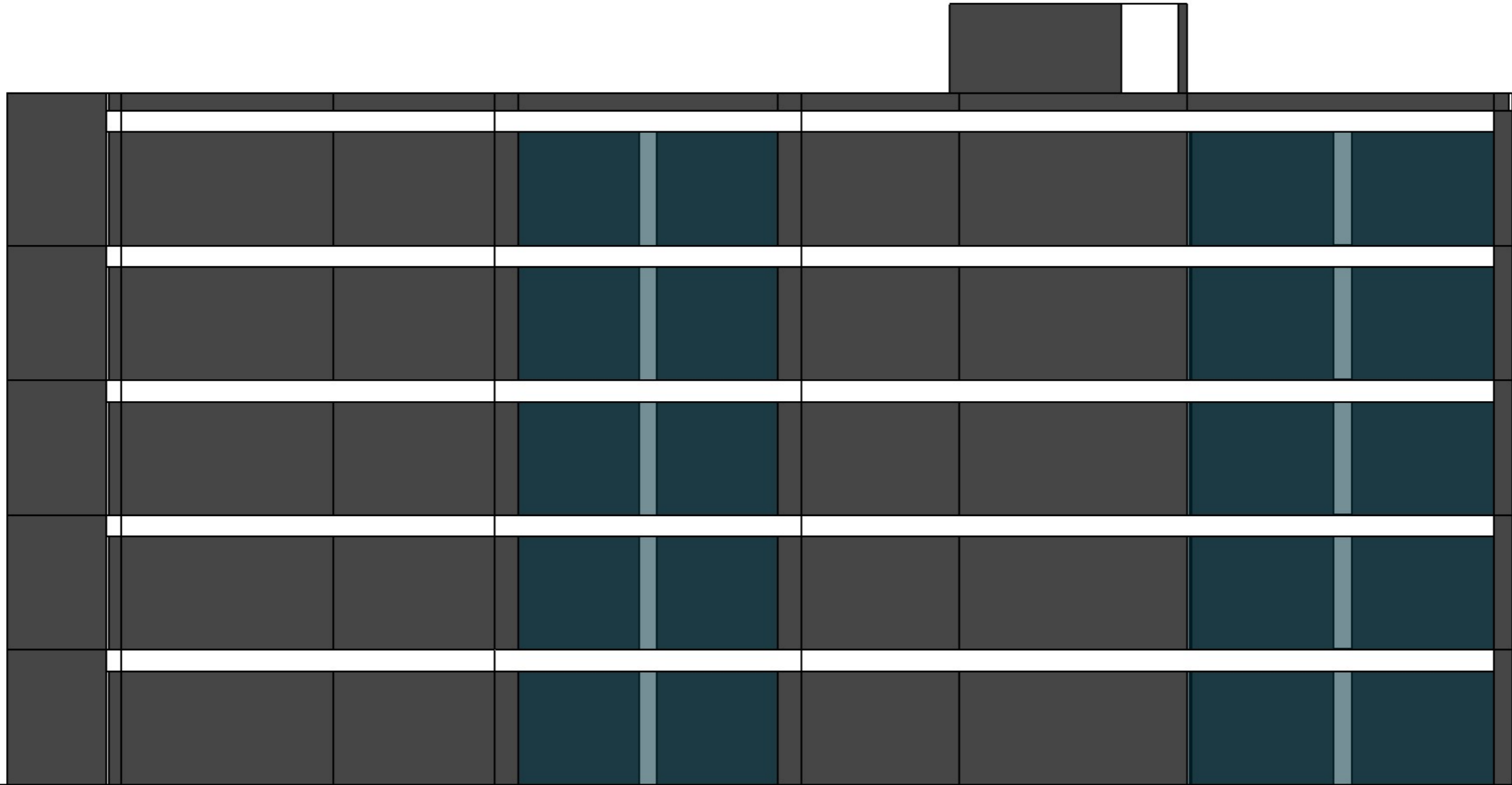


|  |                  |                                   |
|--|------------------|-----------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>         GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>         21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Građevna statika |                                   |
|  | TEMA             | STATIČKI PRORAČUN POSLOVNE ZGRADE |
|  | STUDENT          | Marko Čurak, br.indeksa 4377      |
|  | SADRŽAJ          | PRESJEK 2-2                       |
|  | DATUM            | 18.9.2020                         |
|  | MJERILO          | 1:150                             |
|  | BROJ PRILOGA     | 3                                 |









### 13. 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.