

# Statički proračun studentskog doma

---

Šumelj, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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:123:925752>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



*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**

**Luka Šumelj**

**Split, 2023**

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

**Statički proračun studentskog doma**

**Završni rad**

**Split, 2023**

## Statički proračun stambene zgrade

### Sažetak:

U radu je prikazan statički proračun studentskog doma. Dom se sastoji od prizemlja, pet etaža i ravnoga krova. Nosiva konstrukcija građevine će biti izvedena od armirano betonskih stupova, i ploča.

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

### Ključne riječi:

Studentski dom, Statički proračun

## Static calculation of apartment building

### Summary:

This work presents the static calculation of the student dormitory. The dormitory consists of a ground floor, five floors and a flat roof. The bearing structure of the building will be made of reinforced concrete columns and slabs.

The project contains: technical description, calculation of load-bearing structural elements and characteristic construction drawings.

### Keywords:

Student dormitory, Static calculation

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	<b>PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA</b>
KANDIDAT:	<b>Luka Šumelj</b>
BROJ STUDENTSKE ISKAZNICE:	<b>0083224433</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, rujan 2023

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 ( $G_0$ ).....	10
3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije.....	10
3.2.2. Krovna ploča.....	11
3.2.3. Međukatne ploče.....	12
3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ ).....	13
4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA .....	14
4.1. Krovna ploča.....	14
4.2. Međukatna ploča.....	15
5. KOMBINACIJE DJELOVANJA .....	16
6. PRORAČUN PLOČA .....	17
6.1. Međukatna ploča.....	17
6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče .....	18
6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče.....	21
6.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....	21
6.1.4. Kontrola pukotina .....	22
6.2. Proračun krovne ploče .....	25
6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....	26
6.2.2. Kontrola progiba .....	29
6.2.3. Kontrola pukotina .....	30
7. PRORAČUN AB GREDA.....	33
7.1. Temeljna greda .....	33
7.1.1. Prikaz rezultata proračuna.....	33
7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja .....	33
7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	34
7.1.4. Kontrola progiba .....	36
7.1.5. Kontrola pukotina .....	38
8. PRORAČUN STUPOVA.....	40

9. PRORAČUN TEMELJA .....	42
9.1. Proračun trakastih temelja.....	44
9.1.1. Model trakastih temelja .....	44
9.1.2. Proračun širine temeljne stope .....	45
9.1.3. Slijeganje građevine.....	46
10. GRAFIČKI PRILOZI.....	47
11. LITERATURA.....	48

## 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 sedam etaža, pravilnog je tlocrtnog oblika –dimenzija 43.20 x 15.70 m.

Ukupna visina građevine iznosi 22.15 m, mjereno od podne ploče prizemlja.

Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) stupova te međukatnih konstrukcija koje su izrađene od armiranog betona, lijevane na licu mjesta debljine 25cm. Ravna krovna ploča je debljine 25 cm i izvedena je od armiranog betona. Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su stupovi dimenzija 30x70 cm, 50x50cm te proširenja stupova(kapiteli) 25x125cm.

Temeljenje je predviđeno na trakastim temeljima od armiranog betona ispod nosivih stupova, širine 200 cm i visine 80 cm.

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

Za sve betonske radove predviđen je beton C 30/37 , te armatura B 500B. Skidanje podupirača za ploče može se izvršiti nakon minimlno 10 dana.

Za temelje je upotrebljena klasa betona C 30/37.

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

### 1.2. Geotehnički izvještaj

Za predmetnu građevinu su izvršeni geotehnički istražni radovi.

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

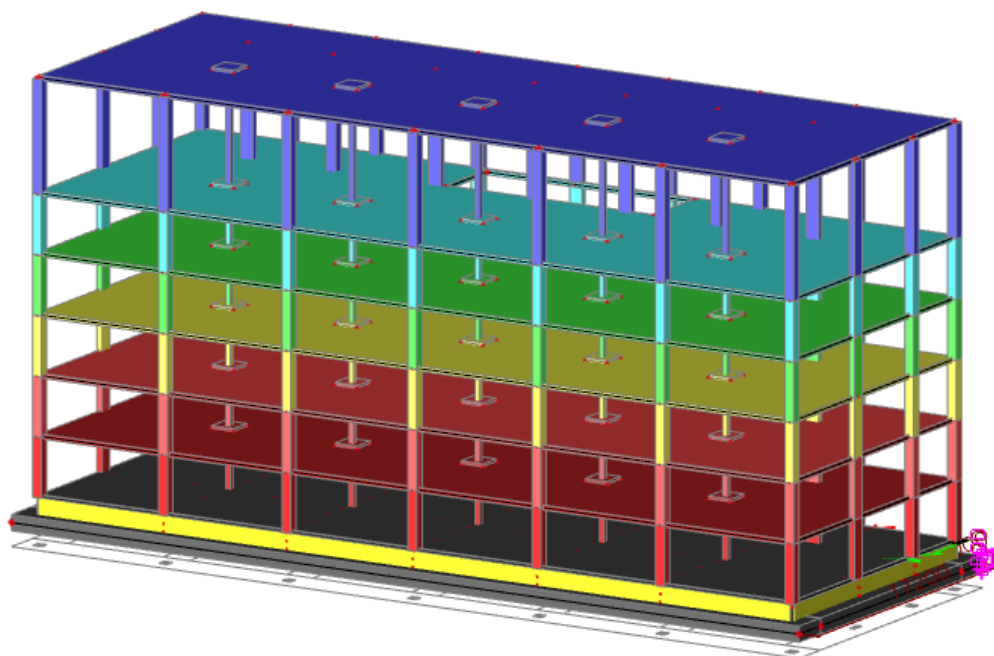
Nakon obavljenog čišćenja temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja.

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

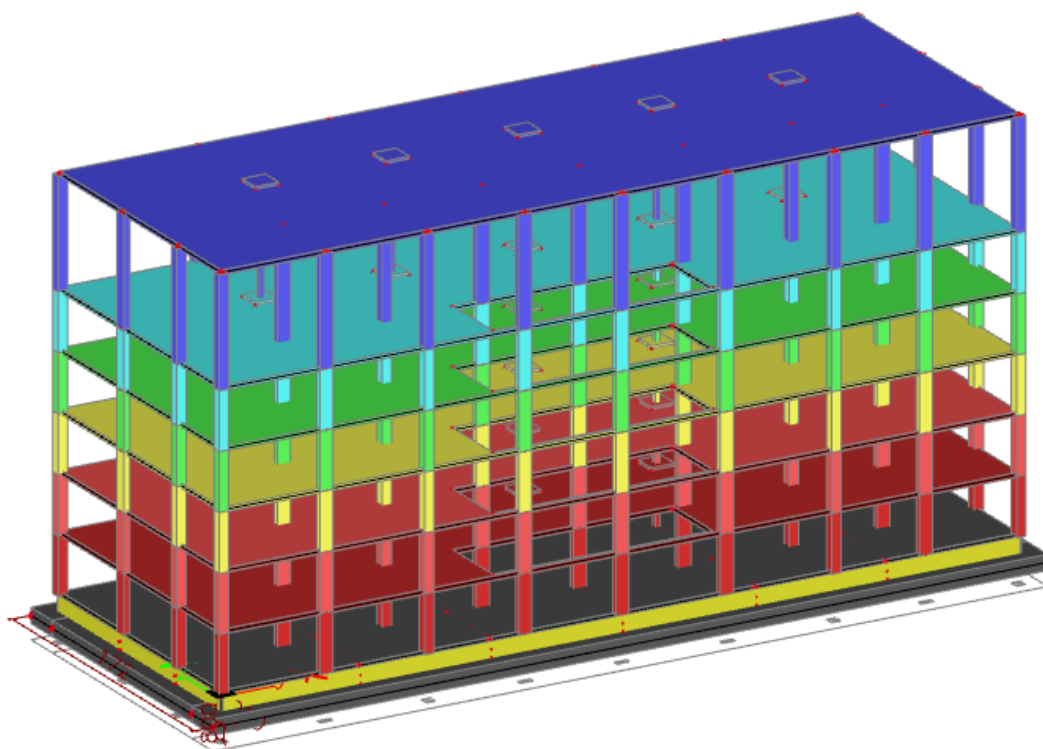
Na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova, dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 400 kPa.



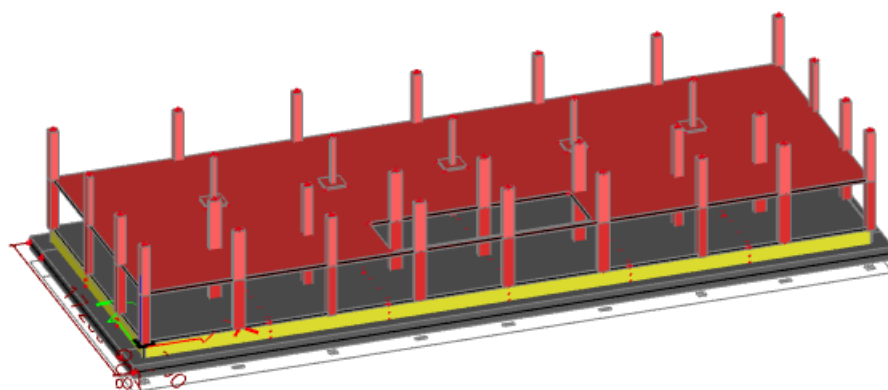
## 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



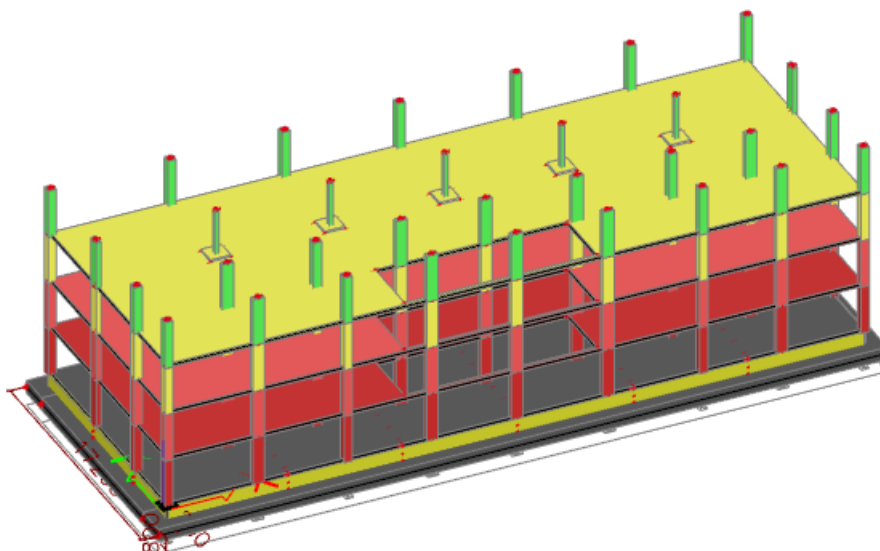
Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled 4

### 3. ANALIZA OPTEREĆENJA

#### 3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima

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

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

Tablica 3.1 Podaci o osnovnim djelovanjima

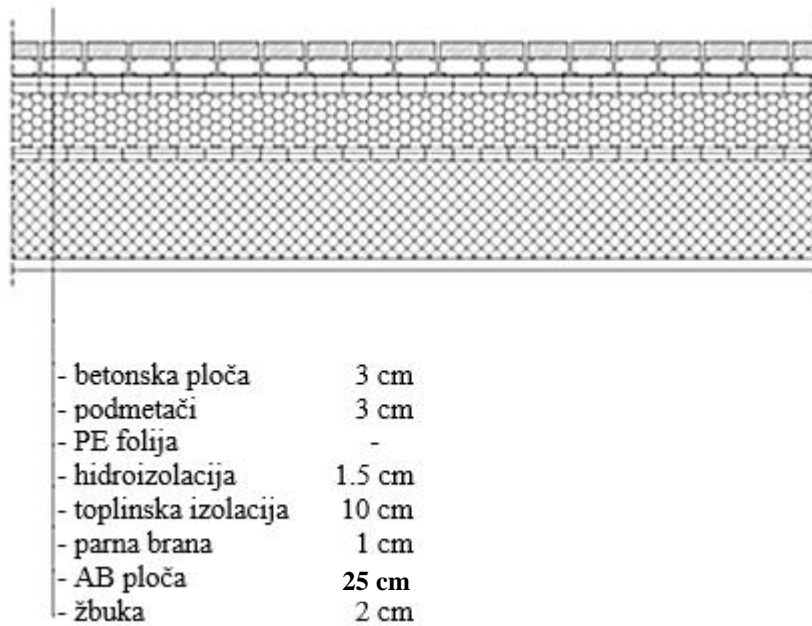
#### 3.2. Stalno opterećenje (G<sub>0</sub>)

##### 3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije

Stalno opterećenje uključeno je u proračun prema sljedećem:

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

### 3.2.2. Krovna ploča

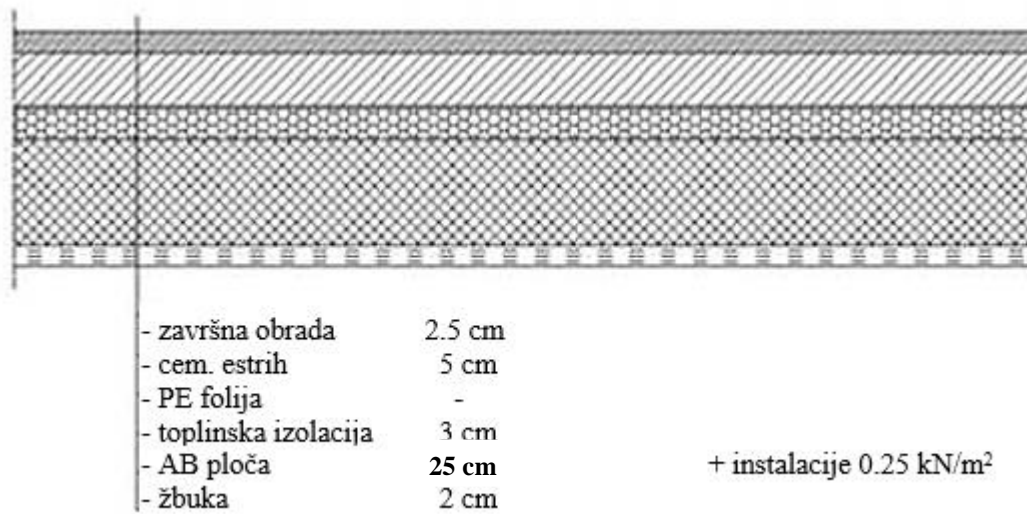


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
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	0,25	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	0,25	Uključeno u SCIA-u	
Žbuka	0,02	0,02	0,38
Instalacije	-	-	0,25

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

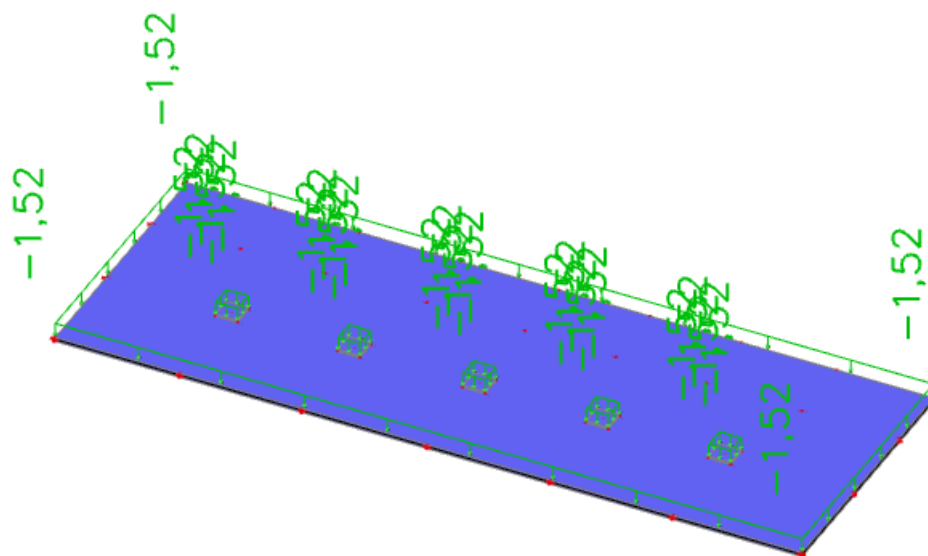
### 3.3. Promjenjivo opterećenje ( $Q_i$ )

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

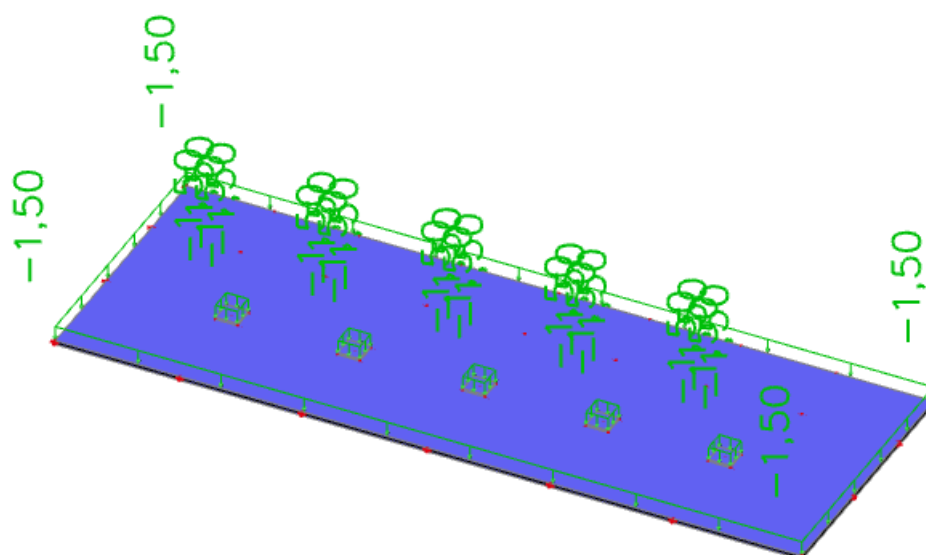
- Ravni krov:  $q = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- Poslovni prostori i stubišta:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$
- Stubišta:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$
- Balkoni i lođe:  $q = 4,0 \text{ kN/m}^2$
- S obzirom da na međukatnim pločama nije rađeno šahovsko opterećenje, promjenjivo opterećenje je povećano za 20%.

## 4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 4.1. Krovna ploča

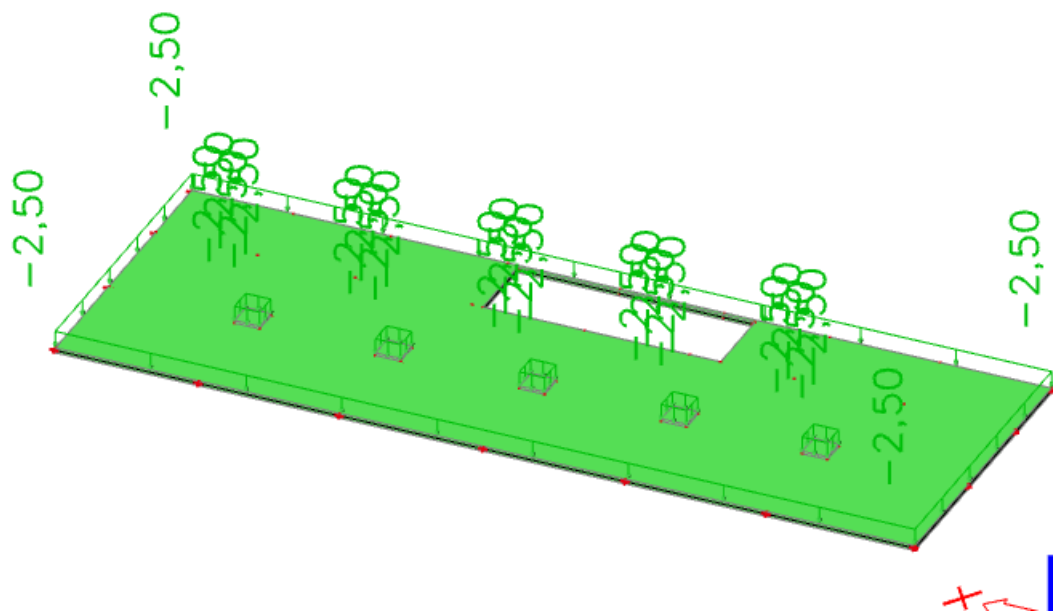


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

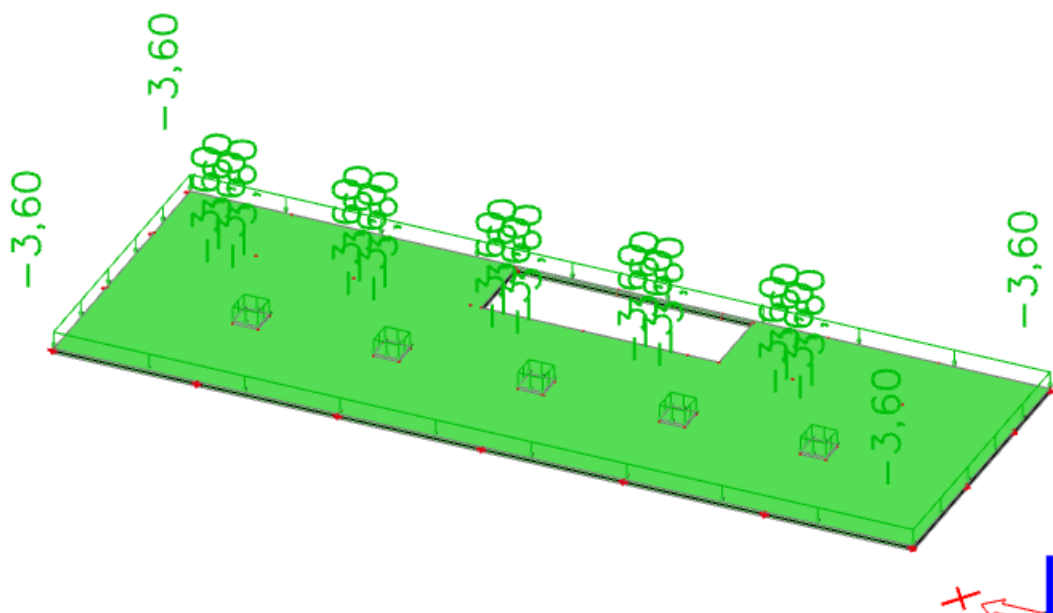


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

## 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)  $1.0 \cdot G + 1 \cdot Q$

$1.0 \cdot G + 1 \cdot Q$

## 6. PRORAČUN PLOČA

### 6.1. Međukatna ploča

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0,22^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 153.912 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 22 = 3.3 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{22}{500} = 2,64 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 22 \cdot \frac{20}{434.80} = 31.37 \text{ cm}^2 / m$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 22 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.150$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{220}} = 1.95 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.95$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3,85}{22 \cdot 100} = 0.00175$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.00175 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 220$$

$$V_{Rd,c} = 84.197 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

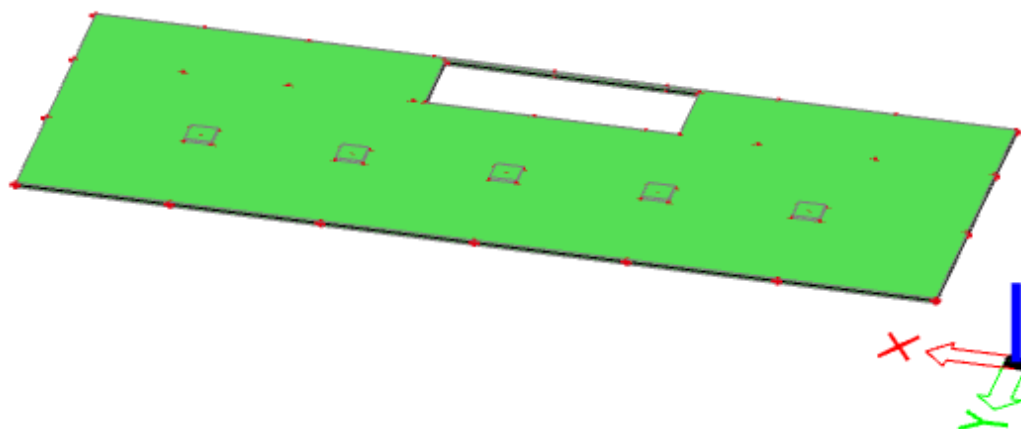
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.95^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.522$$

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

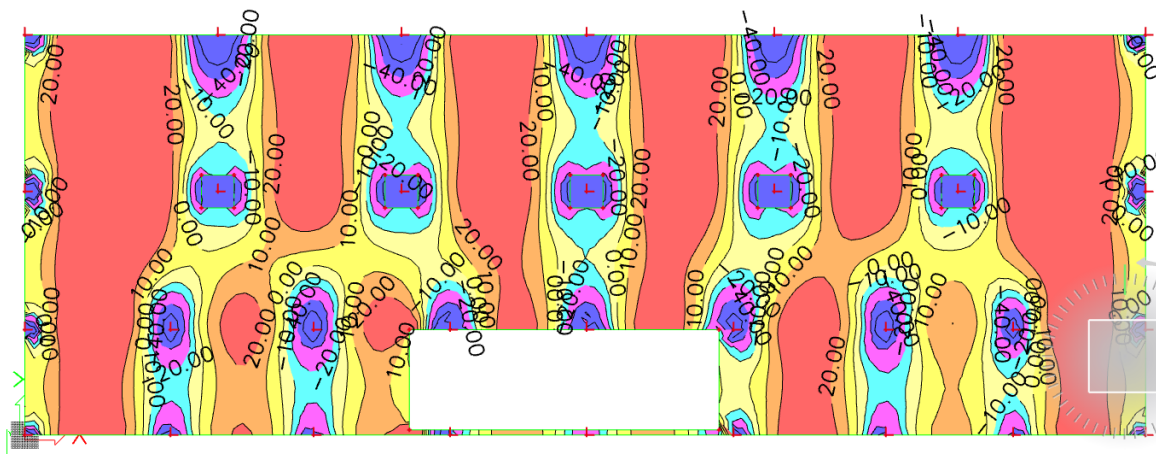
$$V_{Rd,c,min} = 0.522 \cdot 1000 \cdot 220 = 114.84 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

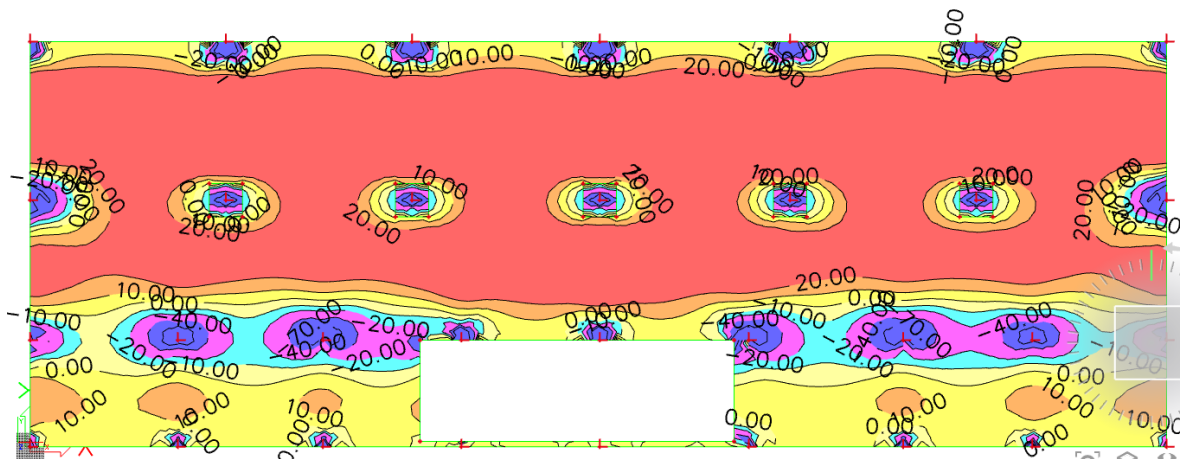
### 6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče



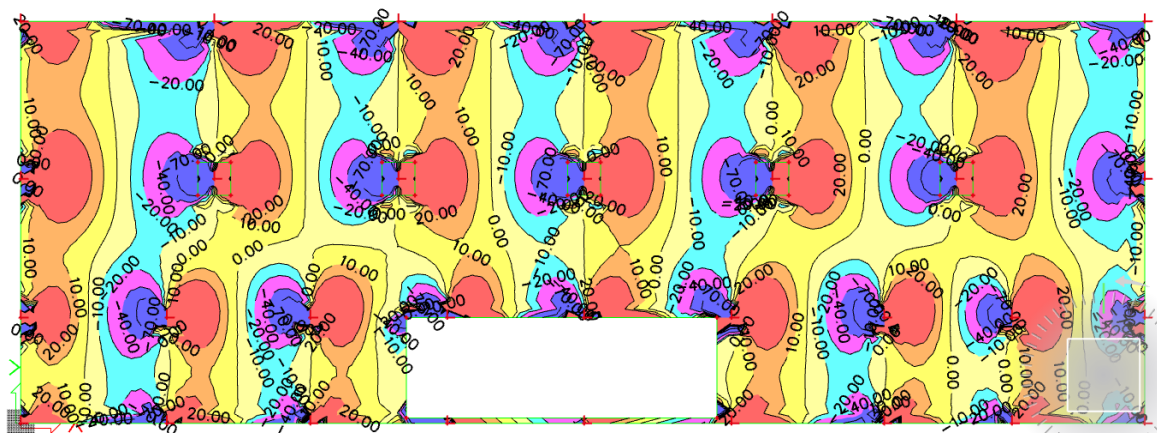
Slika 6.1 Prikaz modela ploče



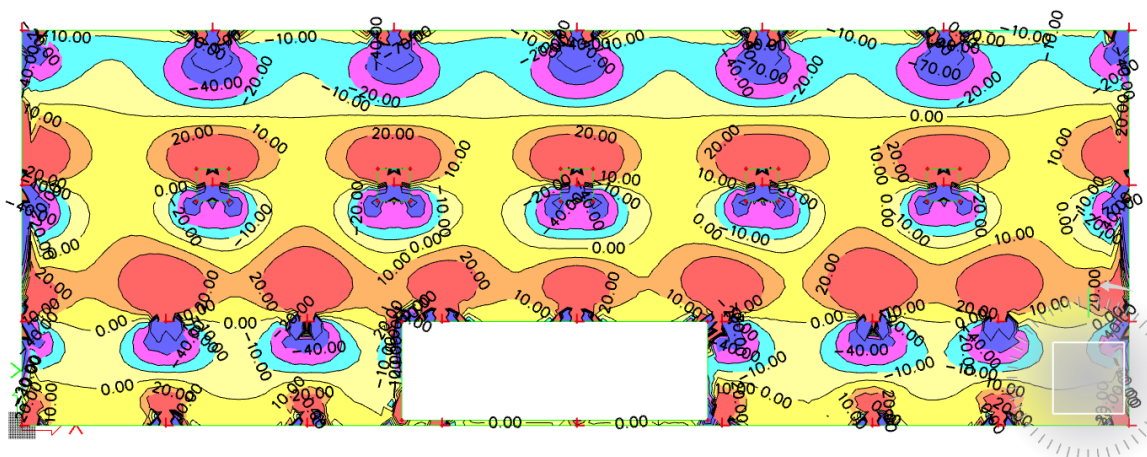
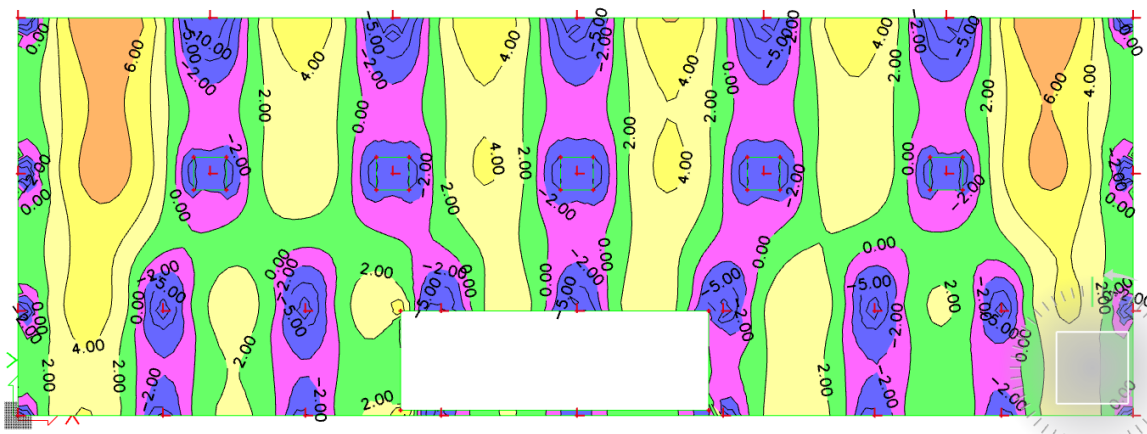
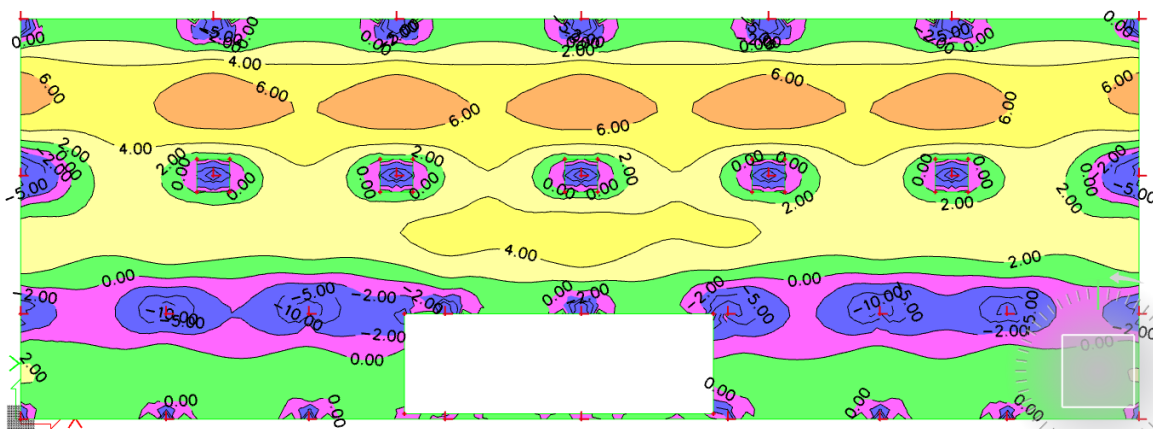
Slika 6.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN



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



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

Slika 6.6 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSNSlika 6.7 Potrebna površina armature  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/m) u x smjeruSlika 6.8 Potrebna površina armature  $A_s$  (cm<sup>2</sup>/m) u y smjeru

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

Potrebna armatura na ležaju:  $A_s = 10 \times 0.85 = 8,5 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju:  $A_s = 6 \times 1.30 = 7,8 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj: Q-785 ( $7.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ ) + fi 8/20 ( $2.51 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ ) = ( $10.36 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

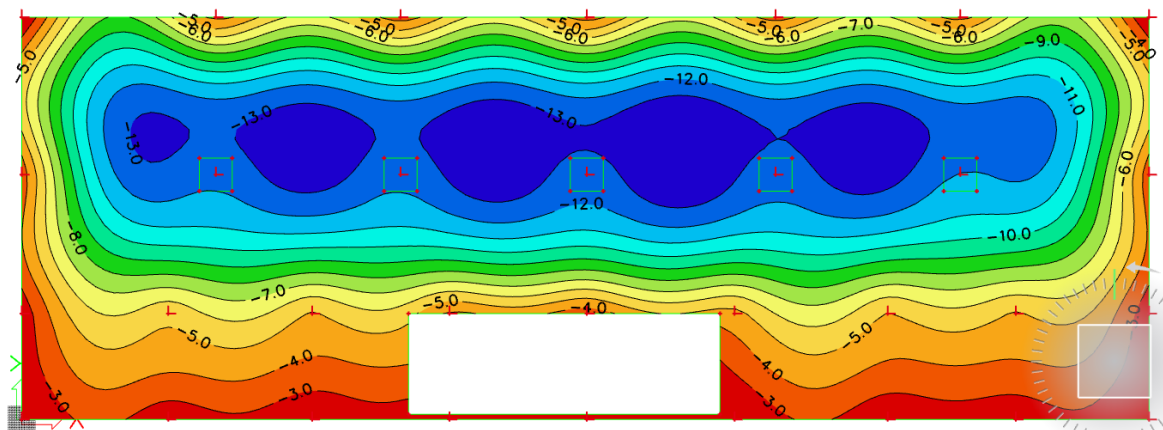
Polje: Q-785 ( $7.8 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

#### 6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče

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

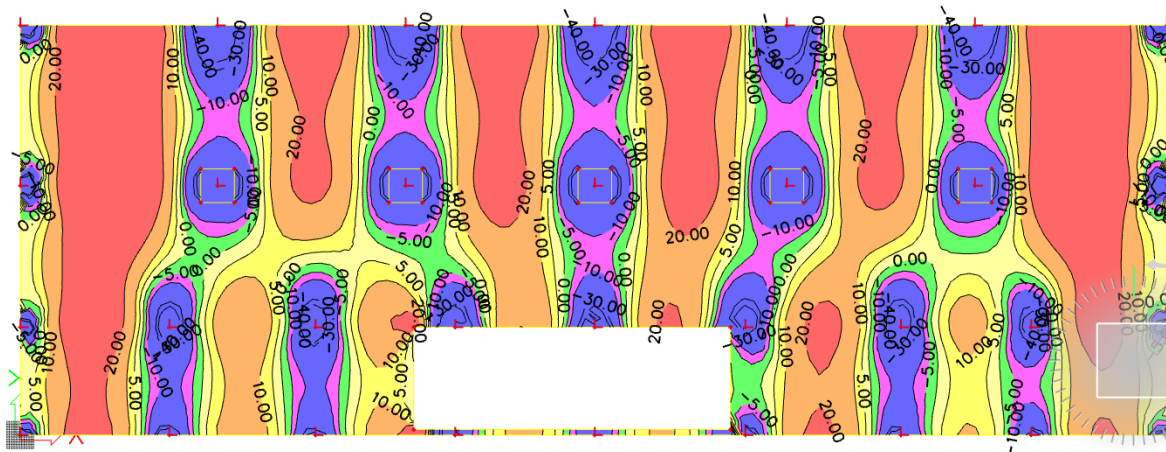
Najveći progib iznosa je 13 mm.

Dozvoljen progib  $L/350 = 5950/350 = 17 \text{ mm}$

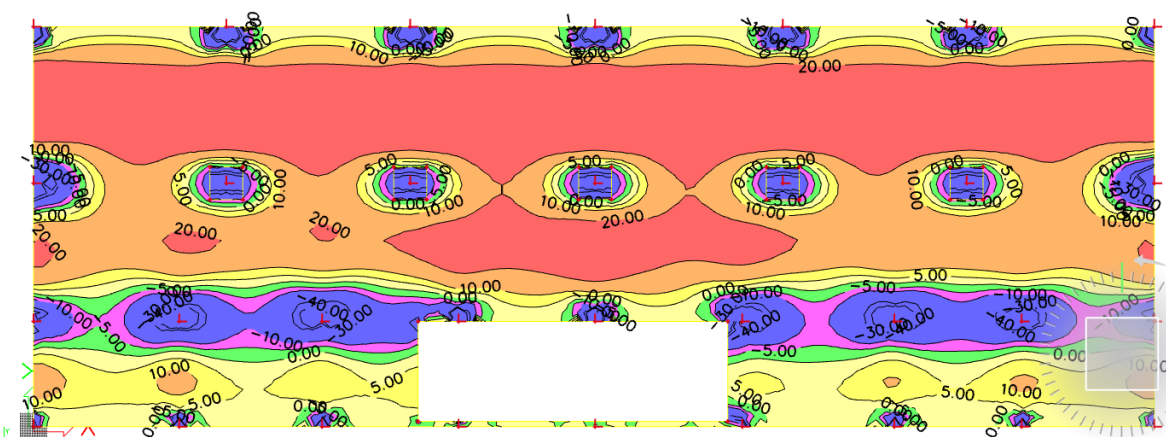
Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

### 6.1.4. Kontrola pukotina

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



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



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

Mjerodavni moment  $M = 20 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.06 \cdot 7.85}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 22}{6.06 \cdot 7.85}} \right) \\ = 4.1 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2000}{\left(22 - \frac{4.1}{3}\right) \cdot 7.85} = 12.35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 123.5 \text{ MPa}$$

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

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

$E_{cm} = 33.0 \text{ GPa} = 33\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{7.85}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0104$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{123.5 - 0.4 \frac{2.9}{0.0104} (1 + 6.06 \cdot 0.0104)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{123.5}{200000}$$

$$0.000247 \geq 0.00037$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000247$$

Srednji razmak pukotina:



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

$\varnothing = 8.0 \text{ mm}$  –

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{10}{0.0104} = 231,46mm$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 306 \cdot 0.00056 = 0.06mm < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 6.2. Proračun krovne ploče

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 1.0 \cdot 0,22^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 153.912 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 22 = 3.3 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{22}{500} = 2,64 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 22 \cdot \frac{20}{434.80} = 31.37 \text{ cm}^2 / m$$

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

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed} \cdot 100}{0.9 \cdot 22 \cdot 43.48} = M_{Ed} \cdot 0.150$$

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{220}} = 1.95 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.95$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3,85}{22 \cdot 100} = 0.00175$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.00175 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 220$$

$$V_{Rd,c} = 84.197 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

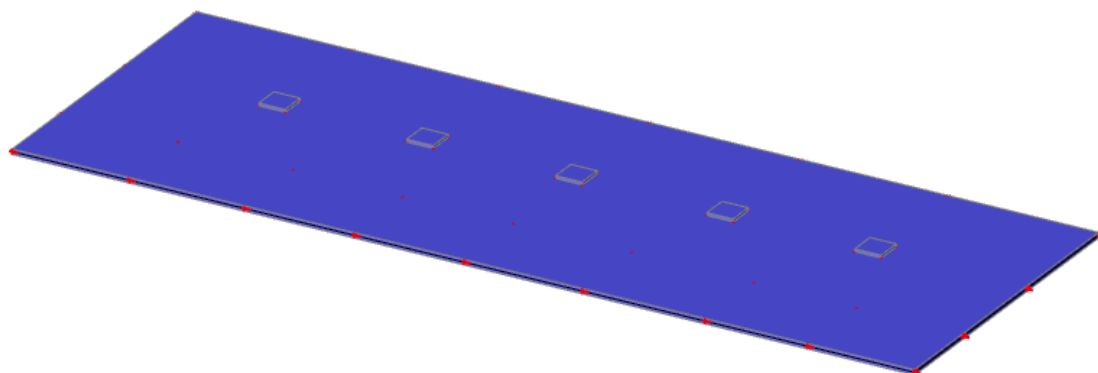
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.95^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.522$$

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

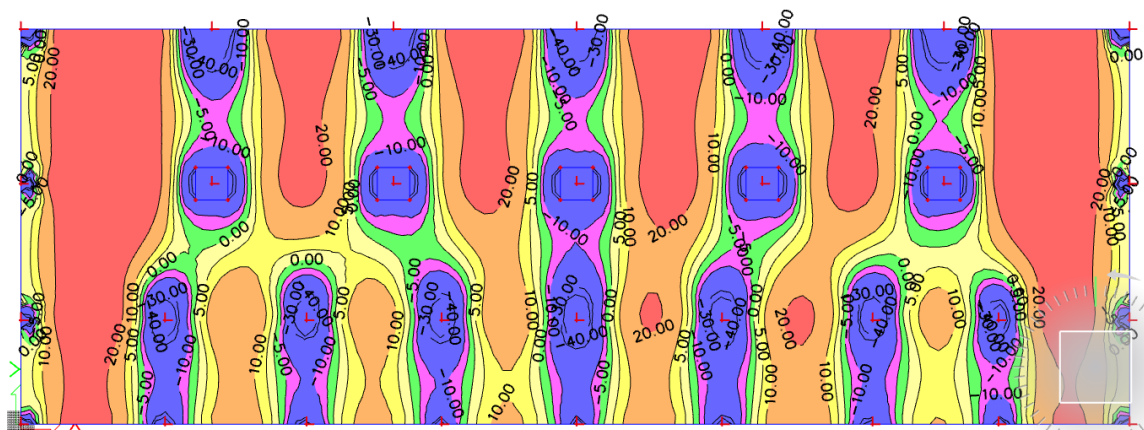
$$V_{Rd,c,min} = 0.522 \cdot 1000 \cdot 220 = 114.84 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

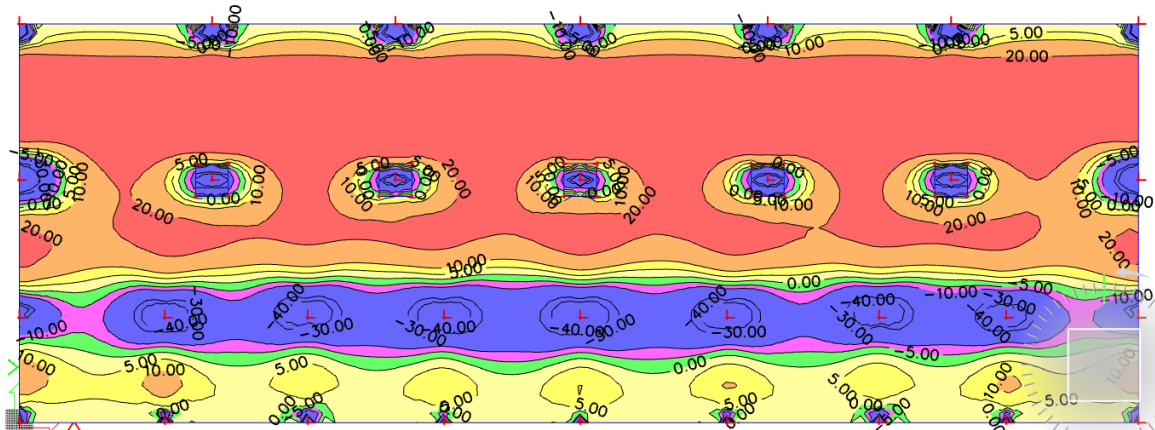
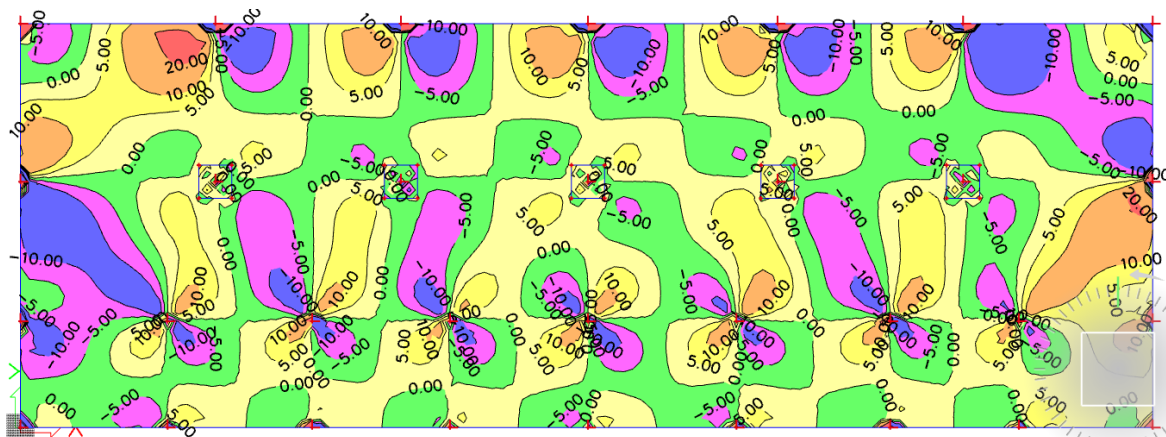
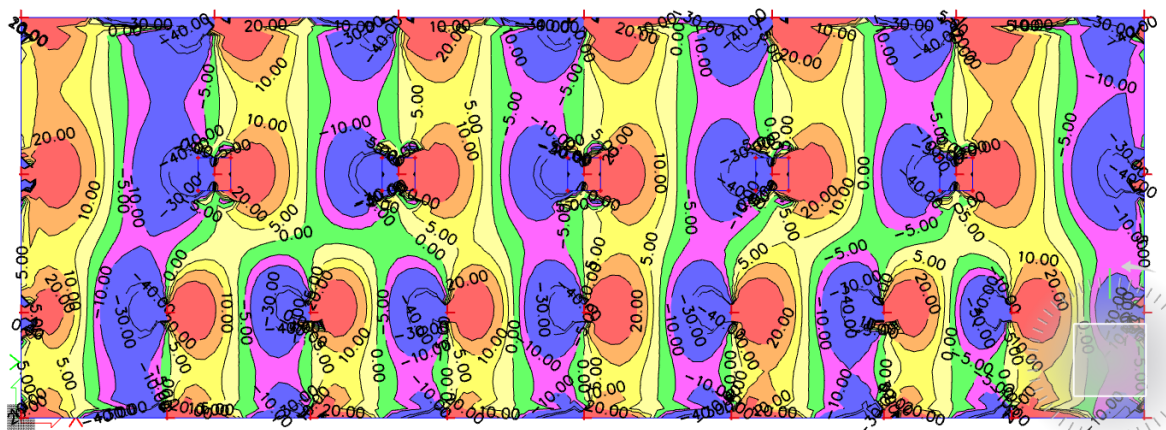
### 6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče

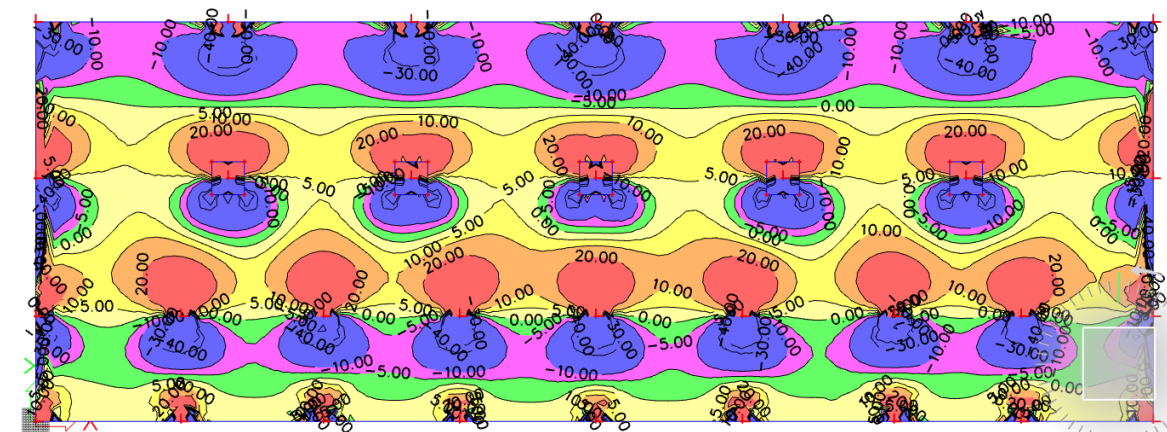


Slika 6.13 Prikaz modela

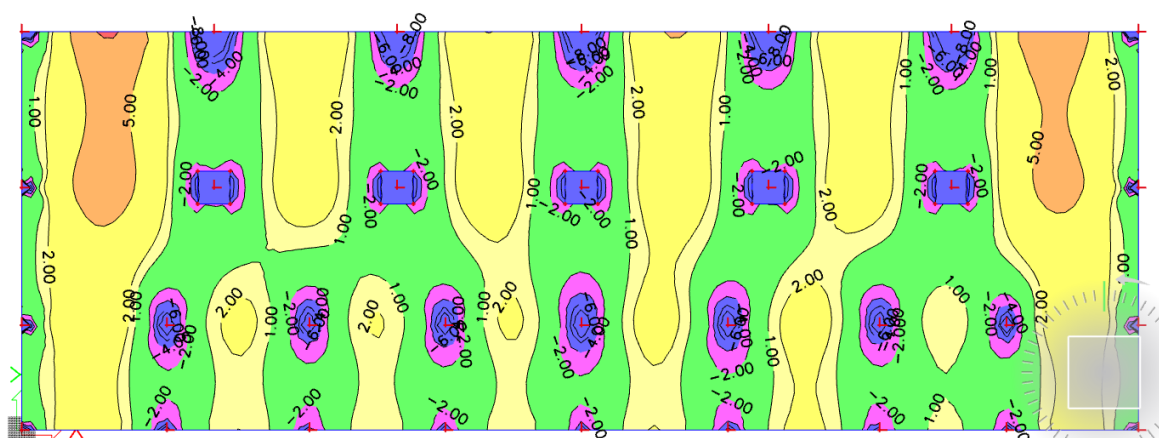


Slika 6.14 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN

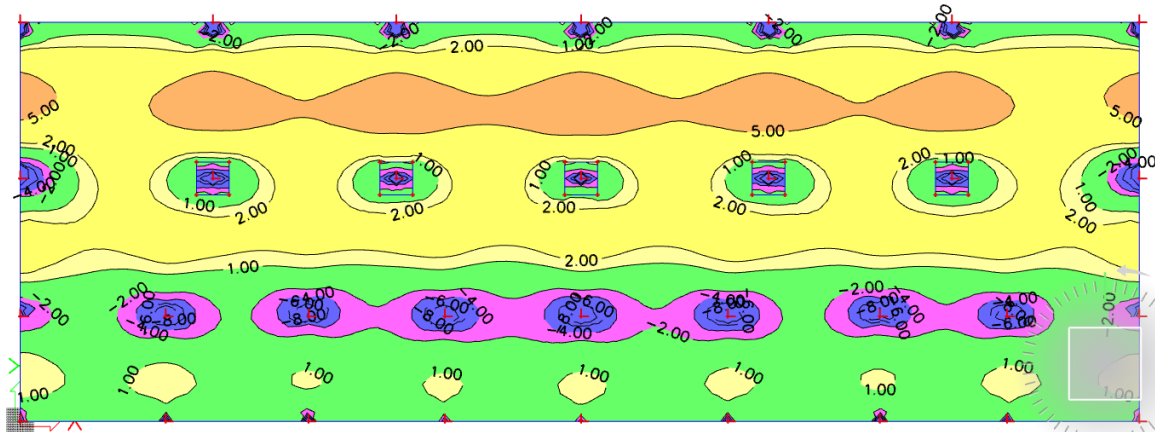
Slika 6.15 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSNSlika 6.16 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSNSlika 6.17 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  ( $\text{kN/m}$ ) za GSN



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 smjeru



Slika 6.20 Potrebna površina armature  $A_s$  ( $\text{cm}^2/\text{m}$ ) u y smjeru

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

Potrebna armatura na ležaju:  $A_s = 8 \times 0.85 = 6.8 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

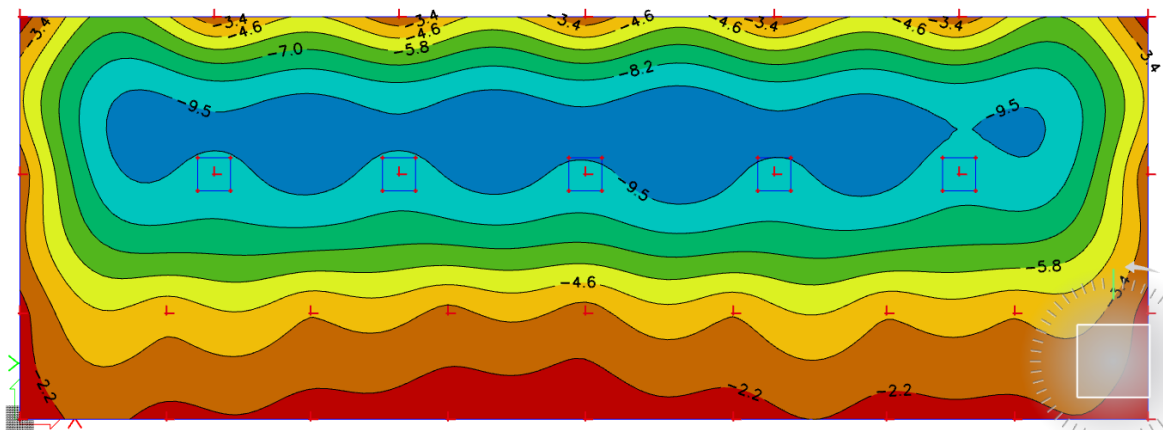
Potrebna armatura u polju:  $A_s = 5.0 \times 1.30 = 6.5 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

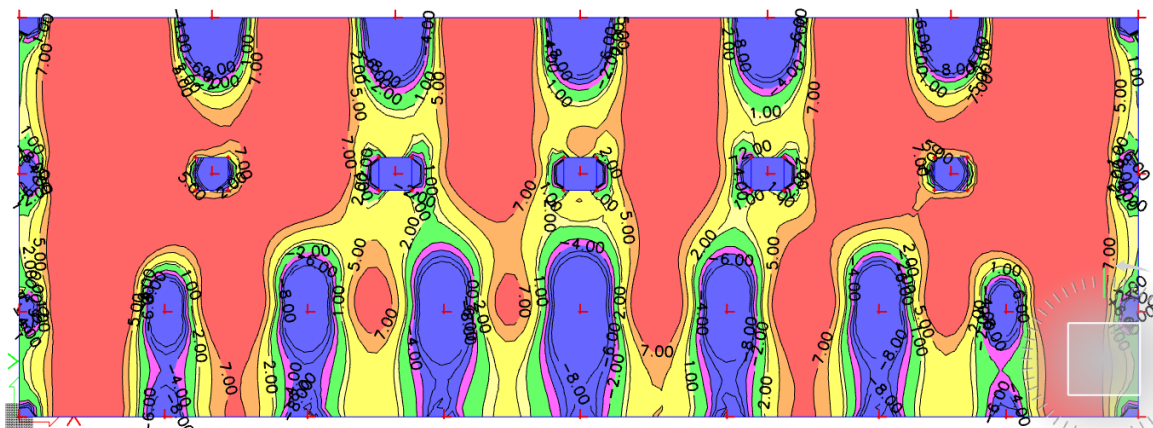
Ležaj: Q-785 ( $7.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

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

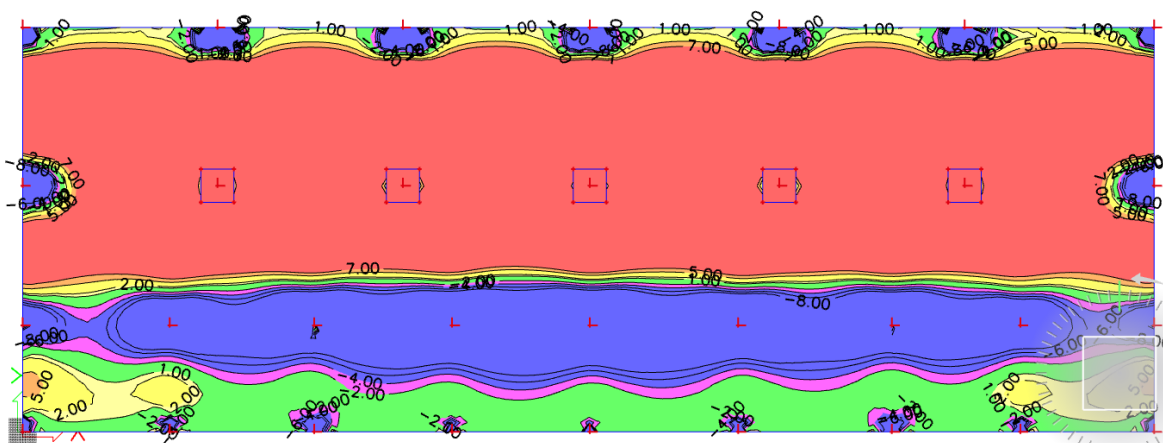
### 6.2.2. Kontrola progiba



### 6.2.3. Kontrola pukotina



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



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

Mjerodavni moment  $M = 8 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.06 \cdot 7.85}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 22}{6.06 \cdot 7.85}} \right) \\ = 4.1 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2000}{\left(22 - \frac{4.1}{3}\right) \cdot 7.85} = 12.35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 123.5 \text{ MPa}$$

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

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

$E_{cm} = 33.0 \text{ GPa} = 33\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{7.85}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0104$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{123.5 - 0.4 \frac{2.9}{0.0104} (1 + 6.06 \cdot 0.0104)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{123.5}{200000}$$

$$0.000247 \geq 0.00037$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000247$$



Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 8.0 \text{ mm}$  –

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{10}{0.0104} = 231,46mm$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 306 \cdot 0.00056 = 0.06mm < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 30 \cdot 120^2 \cdot 2 \cdot 0.01 = 1373.76 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 30 \cdot 115 = 5.175 \text{ cm}^2$$

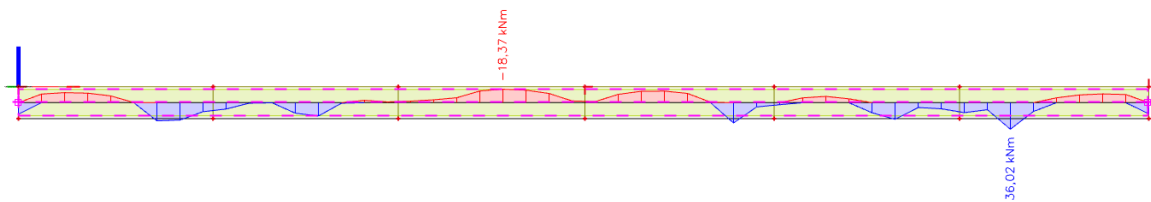
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 30 \cdot 115 = 5.175 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 30 \cdot 115 \cdot \frac{20}{434.78} = 49.2 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 30 \cdot 115 \cdot \frac{20}{434.78} = 49.2 \text{ cm}^2$$

### 7.1. Temeljna 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%.

$$M_{max}^{polje} = 18.38 \cdot 1.30 = 23.894 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 36.02 \cdot 0.85 = 30.617 \text{ kNm}$$

#### 7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 30 + \frac{0.85 \cdot 595}{5} = 131.5 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = 23.894 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23.894 \cdot 100}{131.5 \cdot 115^2 \cdot 20} = 0.00068$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 0.1$   $\xi = 0.010$   $\zeta = 0.997$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{23.894 \cdot 100}{0.997 \cdot 115 \cdot 43.48} = 0.48 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø10 ( $A_s = 3.14 \text{ cm}^2$ )

**Ležaj:**

$M_{Ed} = 30.17 \text{ kNm}$

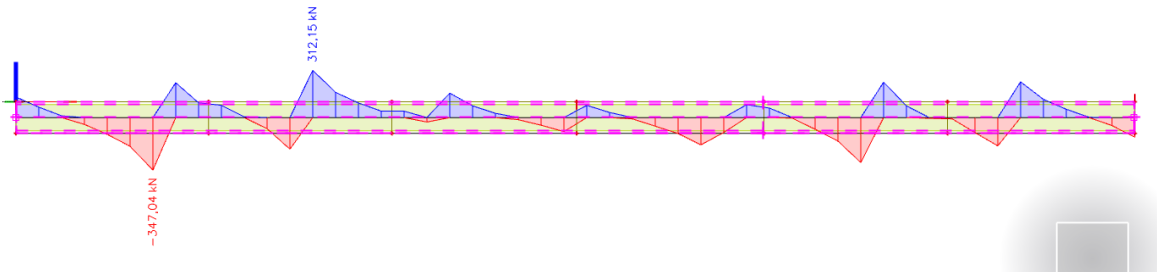
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{30.17 \cdot 100}{30 \cdot 115^2 \cdot 20} = 0.00038$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{c2} = 0.1 \text{ ‰}$   $\xi = 0.010$   $\zeta = 0.997$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{30.17 \cdot 100}{0.997 \cdot 115 \cdot 43.48} = 0.603 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø10 ( $A_s = 3.14 \text{ cm}^2$ )

### 7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu



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

$V_{Ed} = 347.04 \text{ kN}$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{1150}} = 1.41 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.41$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3.14}{30 \cdot 120} = 0.0087$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.41 \cdot (100 \cdot 0.0013 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 300 \cdot 1150$$

$$V_{Rd,c} = 91.88 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.41^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.241$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.241 \cdot 300 \cdot 1150 = 83.145 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 347 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 300 \cdot 1150 \cdot 20 = 1821.6 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{347}{1821.6} \approx 0.19 \rightarrow V_{Ed} = 0.19 V_{Rd,max}$$

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

$$\min\{0.75 \cdot 1150 = 862.5 ; 30.0\} \rightarrow s_{max} =$$

30.0 cm

$$\rho_{min} = 0.0009$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0009 \cdot 30.00 \cdot 30.00}{2} = 0.405 \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 115) \cdot 43.48 \cdot 2 = 237.01 \text{ kN}$$

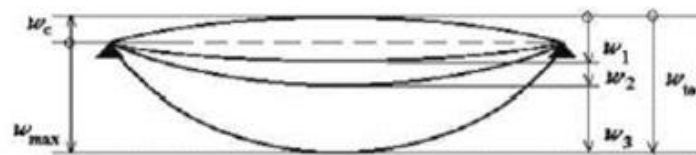
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 115)}{347} = 20 \text{ cm}$$

Postaviti spone  $\emptyset 10/20$  ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

#### 7.1.4. Kontrola progiba



Slika 7.3 Prikaz progiba grede

$w_c$  – nadvišenje neopterećenog konstruktivnog elementa

$w_1$  – početni progib od stalnog opterećenja

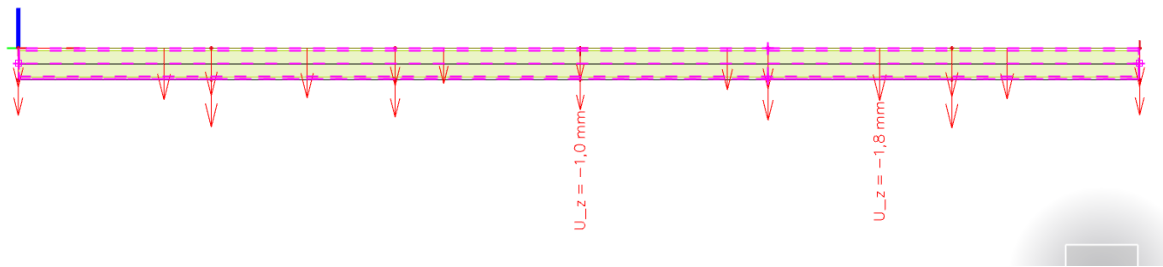
$w_2$  – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

$w_3$  – 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



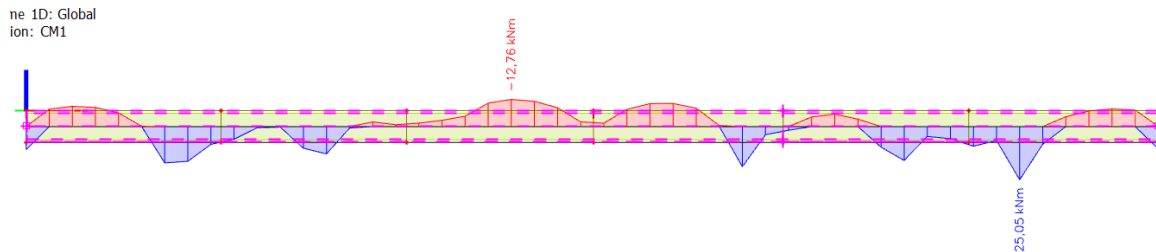
Slika 7.4 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU

Najveći progib iznosa je 1.8 mm.

Dozvoljen progib  $L/350 = 5950/350 = 17 \text{ mm}$ .

Međukatna greda zadovoljava na progibe.

### 7.1.5. Kontrola pukotina



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

$$M_{\max} = 12.76 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.06 \cdot 3.14}{30} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 30 \cdot 115}{6.06 \cdot 3.14}} \right) = 11.5 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1276}{\left(115 - \frac{11.5}{3}\right) \cdot 3.14} = 3.66 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 36.6 \text{ MPa}$$

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

$A_{s1} = 4\emptyset 10$  ( $A_s = 3.14 \text{ cm}^2$ )

$E_{cm} = 33.0 \text{ GPa} = 33\,000 \text{ MPa}$  – modul elastičnosti betona

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$  – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3.14}{30 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.014$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{36.6 - 0.4 \frac{2.9}{0.014} (1 + 3.14 \cdot 0.014)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{36.6}{200000}$$

$$-0.000251 \geq 0.00011$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.000251$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 10.0 \text{ mm}$$

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

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{10}{0.014} = 189.43 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 189.43 \cdot 0.000251 = 0.05 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!



## 8. PRORAČUN STUPOVA

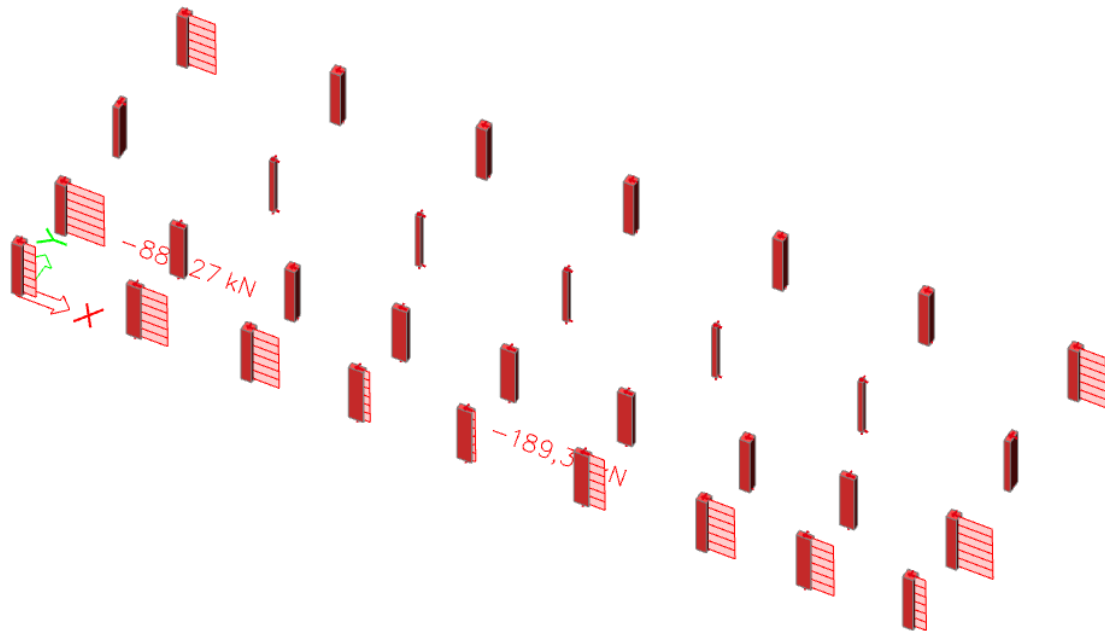
### Ograničenja naprezanja u betonu

Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja:

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

GSU-1 = 1.0G +  $\Psi_2$ Q = 1.0G + 0.5Q za C30/37,

$\sigma_c \leq 0.45 \cdot 30 = 13,5 \text{ MPa}$



Slika 9.1 Uzdužne sile u stupu  $N_{ed}$  (kN) za GSU

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

Kontrolira se srednje tlačno naprezanje u stupu za nazovistalnu

kombinaciju: GSU-1 = 1.0G +  $\Psi_{2i}$ \*Qi = 1.0G + 0.5Q

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

za C 30/37:  $0.45 f_{ck} = 0.45 \cdot 30 = 13,5 \text{ MPa}$

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

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

$$N_{sd} = 881,27 \text{ kN}$$

$$b \times h \geq N_{sd} / 0.65 \times f_{cd} \rightarrow 2500 \geq 677,9 = A_{c,potr}$$

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

Minimalna vertikalna armatura stupa:

- a)  $A_{s,min} = 8\Phi 12 \text{ (} 9.05 \text{ cm}^2 \text{)}$
- b)  $A_{s,min} = 0.15 \times N_{sd} / f_{yd} = 0.15 \times 881,27 / 43.48 = 3,04 \text{ cm}^2$
- c)  $A_{s,min} = 0.003 \times A_c = 7,5 \text{ cm}^2$
- d)  $A_{s,min} = 0.001 \times A_c = 2,5 \text{ cm}^2$

Odabrana vertikalna armatura:  $8\Phi 12 \text{ (} 9.05 \text{ cm}^2 \text{)}$

Minimalna poprečna armatura stupa:

- a)  $e_w = 12 \Phi_{s,min} = 26.4 \text{ cm}$
- b)  $e_w \leq b = 20 \text{ cm}$
- 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.*

## 9. PRORAČUN TEMELJA

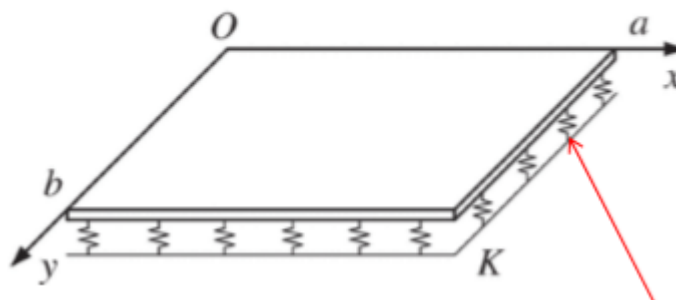
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja.

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

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

U rješavanju problema tlo se modelira na dva osnovna pristupa :

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



Slika 10.1 Međudjelovanje konstrukcija – tlo modelirano Winkler- ovim modelom

U rješavanju problema koristio se Winklerovom model temeljenja.

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

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

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

Koeficijent reakcije (odgovora) podloge – Winklerov koeficijent

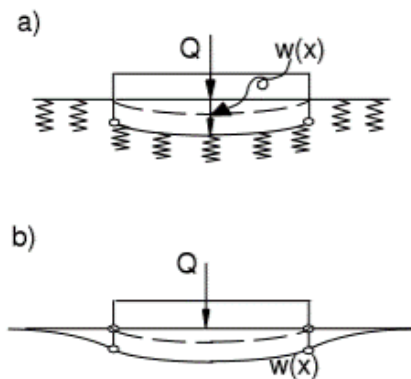
Koeficijent reakcije podloge  $K$  je odnos između dodirnog naprezanja  $q$  kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja  $w$ , koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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

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

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



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

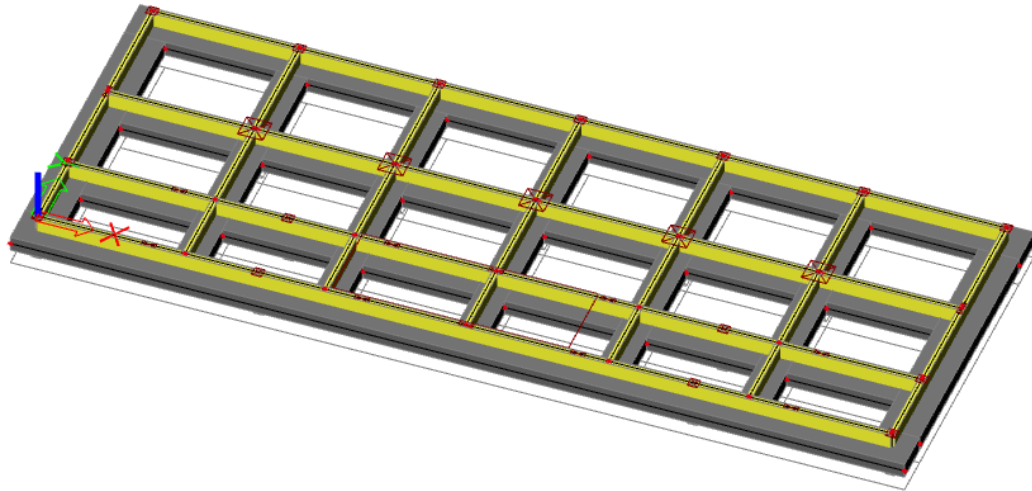
Nedostatci ovog modela :

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

## 9.1. Proračun trakastih temelja

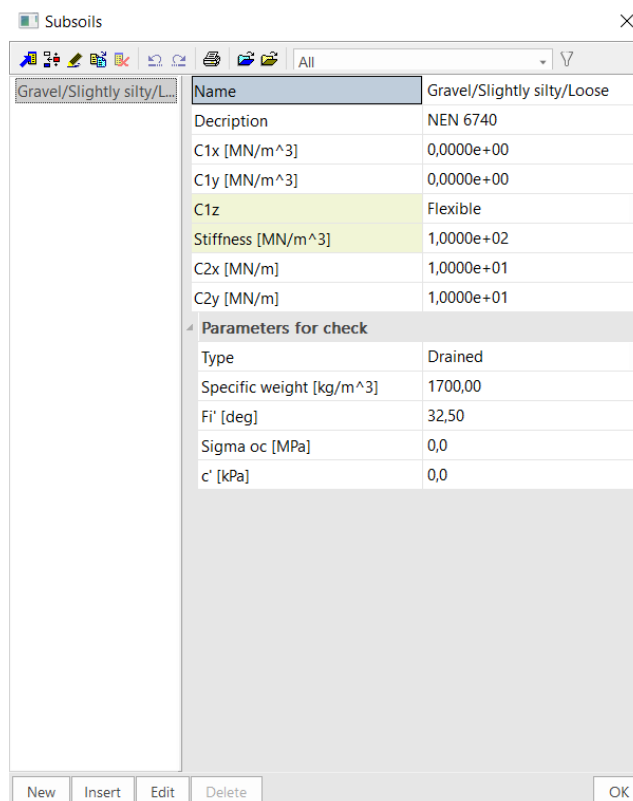
### 9.1.1. Model trakastih temelja

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



Slika 10.3 Model trakastih temelja

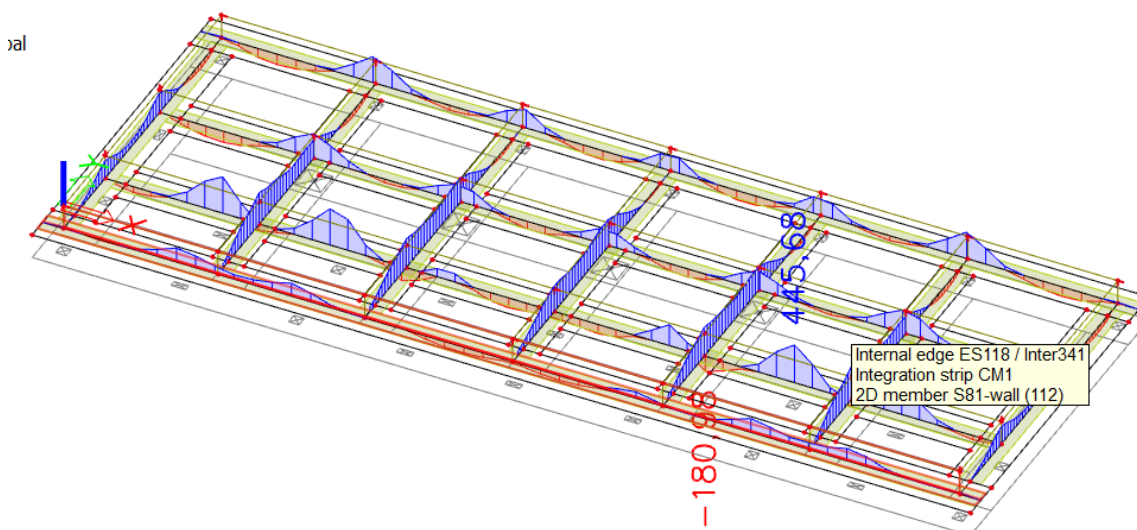
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla. Ostali pomaci i zaokreti su spriječeni.



Slika 10.4 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

### 9.1.2. Proračun širine temeljne stope

Širine temeljnih stopa odabrali smo na način da nam zadovolje naprezanja koja nam tlo može prenijeti. Nosivost tla dobili smo iz geomehaničkog elaborata. Na osnovu geotehničkih istražnih radova dobiveni su rezultati za osnovna opterećenja od 400 kPa.



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

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 dopuštenog kontaktnog napreznja je 400 kN/m<sup>2</sup>.

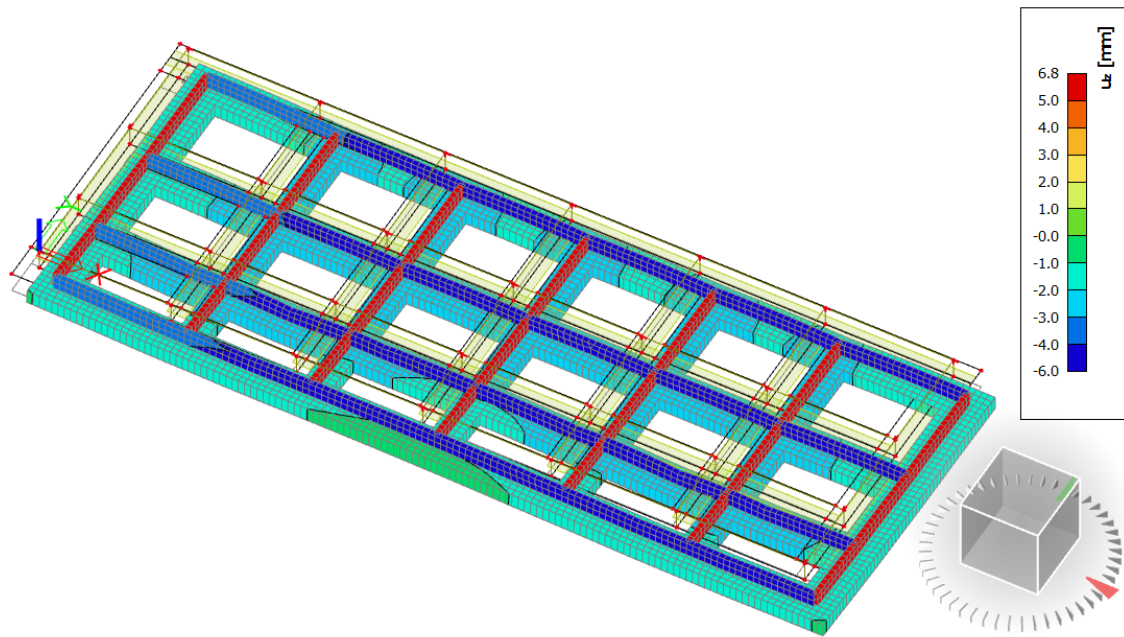
$$\sigma_{Ed} = F / b \text{ [kN]}$$

	Reakcija F[kN/m]	Nosivost tla $\sigma_{Rd}$ [kN]	Širina temeljne stope b[m]	Računska nosivost $\sigma_{Ed}$ [kN]	$\sigma_{Ed}/\sigma_{Rd}$ [%]
<b>T1</b>	445,68	400,00	2,0	800	0,56

Napomena: Visina svih temeljnih stopa je 0.8 metara.

### 9.1.3. Slijeganje građevine

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



Slika 10.6 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSN

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

## 10. GRAFIČKI PRILOZI

Redom su priloženi:

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



## 11.LITERATURA

- Ante Mihanović, Boris Trogrlić, **Građevna statika I**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- Ante Mihanović, Boris Trogrlić, **Građevna statika II**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- Ivan Tomičić, **Betonske konstrukcije**, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Zagreb 1996.
- Jure Radnić, Alen Harapin, **Osnove betonskih konstrukcija**, interna skripta, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2015.