

# Statički proračun stambene zgrade

---

Lovrinčević, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:556528>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Marko Lovrinčević**

**U Splitu, 2024.**

**Mentor: Prof.dr.sc. Boris Trogrlić, dipl.ing.grad.**

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

**Statički proračun stambene zgrade**

**Završni rad**

**Split, 2024**

## Statički proračun stambene zgrade

### Sažetak:

U radu je prikazan statički proračun zgrade. Zgrada se sastoji od prizemlja, 3 kata i ravnoga krova. Nosiva konstrukcija građevine će biti izvedena od armirano betonskih zidova i ploča.

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

### Ključne riječi:

Zgrada, Statički proračun

## Static calculation of apartment building

### Summary:

The static design of an apartment building is presented in this work. The building consist of a ground floor, 3 more floors and a flat roof. Structure is made of reinforced concrete consisting of walls and plates.

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

### Keywords:

Apartment building, Static calculation

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	<b>PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA</b>
KANDIDAT:	<b>Marko Lovrinčević</b>
BROJ STUDENTSKE ISKAZNICE:	<b>00883227942</b>
KATEDRA:	<b>Katedra za teoriju konstrukcija</b>
PREDMET:	<b>Građevna statika 1</b>

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Statički proračun stambene 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, svibanj 2024

Mentor:

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.....	9
3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....	9
3.2. Stalno opterećenje ( $G_0$ ).....	9
3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije.....	9
3.2.2. Krovna ploča.....	10
3.2.3. Međukatne ploče.....	11
3.2.4. Nenatkrivena terasa.....	12
4. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE ( $Q_i$ ) .....	13
5. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA .....	14
5.1. Krovna ploča.....	14
5.2. Međukatna ploča.....	15
6. KOMBINACIJE DJELOVANJA .....	16
7. PRORAČUN PLOČA.....	17
7.1. Međukatna ploča.....	17
7.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče .....	18
7.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče.....	22
7.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....	22
7.1.4. Kontrola pukotina .....	23
7.2. Proračun krovne ploče .....	26
7.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....	27
7.2.2. Kontrola progiba .....	31
7.2.3. Kontrola pukotina .....	32
8. PRORAČUN AB GREDA.....	35
8.1. Međukatna greda.....	35
8.1.1. Prikaz rezultata proračuna.....	35
8.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja .....	36
8.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	37
8.1.4. Kontrola progiba .....	39
8.1.5. Kontrola pukotina .....	40

---

9. PRORAČUN ZIDOVA.....	42
9.1. Opći uvjeti.....	42
9.2. Prikaz modela i dijagrama .....	43
10. PRORAČUN STUPOVA.....	46
11. PRORAČUN TEMELJA .....	48
11.1. Proračun trakastih temelja.....	50
11.1.1. Model trakastih temelja .....	50
11.1.2. Proračun širine temeljne stope.....	51
11.1.3. Slijeganje građevine .....	52
12. GRAFIČKI PRILOZI.....	53
13. LITERATURA.....	54

## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine

Predmet ovog završnog rada je proračun nosive konstrukcije građevine stambene namjene. Građevina se sastoji od ukupno četiri etaže, pravokutnog je tlocrtnog oblika –dimenzija 18 x 15 m.

Ukupna visina građevine iznosi 12.5 m, mjereno od vrha podne ploče prizemlja do vrha nadozida.

Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) zidova i međukatnih konstrukcija koje su izrađene od armiranog betona, lijevane na licu mjesta debljine 20 cm. Ravna krovna ploča je debljine 20 cm i izvedena je od armiranog betona. Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su zidovi debljine 20 cm. Temeljenje je predviđeno ispod zidova prizemlja (trakasti temelji (dimenzija L x 80 x 65 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 25/30 , te armatura B 500B. Skidanje podupirača za ploče može se izvršiti nakon postignute minimalne čvrstoće od 80%.

Za temelje je upotrebljena klasa betona C 25/30.

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

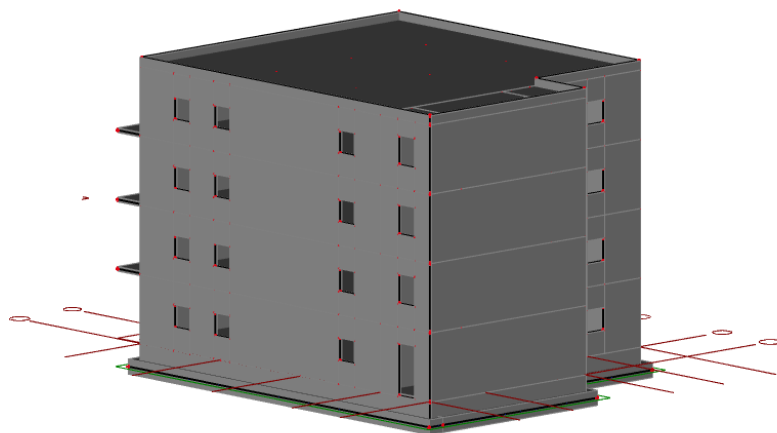
Nakon obavljenog čišćenja temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja.

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.

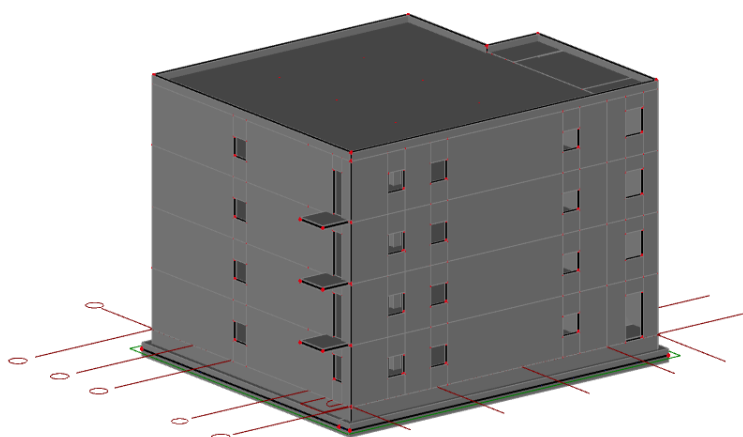
Na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova, dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 400 kPa.



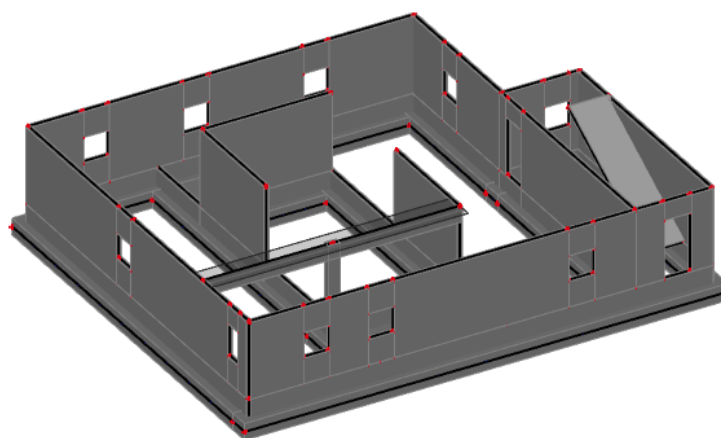
## 2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3

### 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

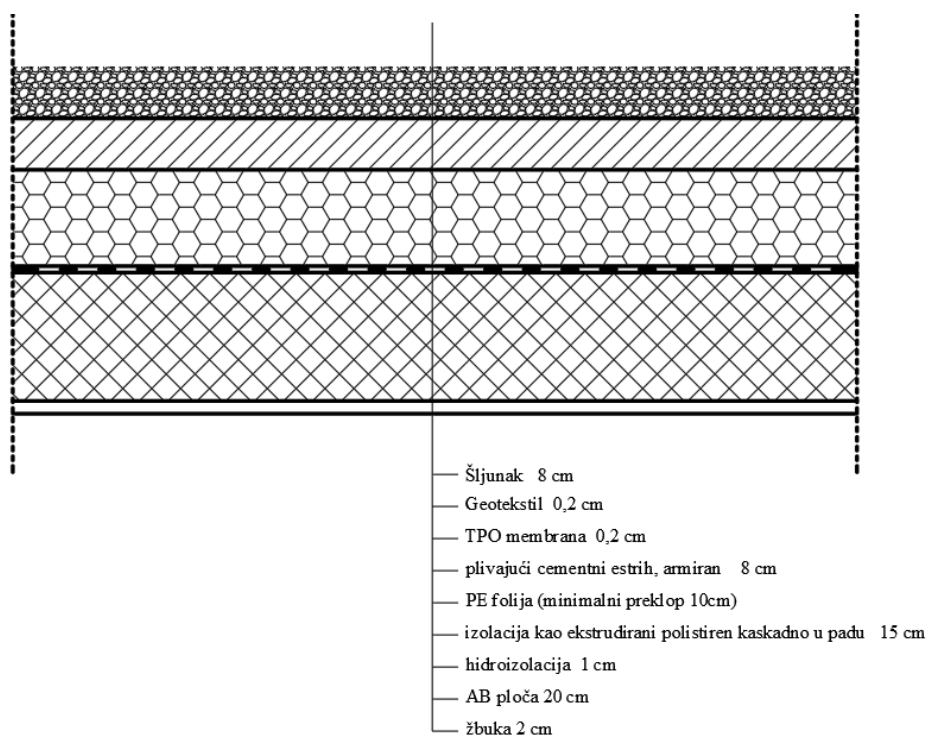
#### 3.2. Stalno opterećenje (G<sub>0</sub>)

##### 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

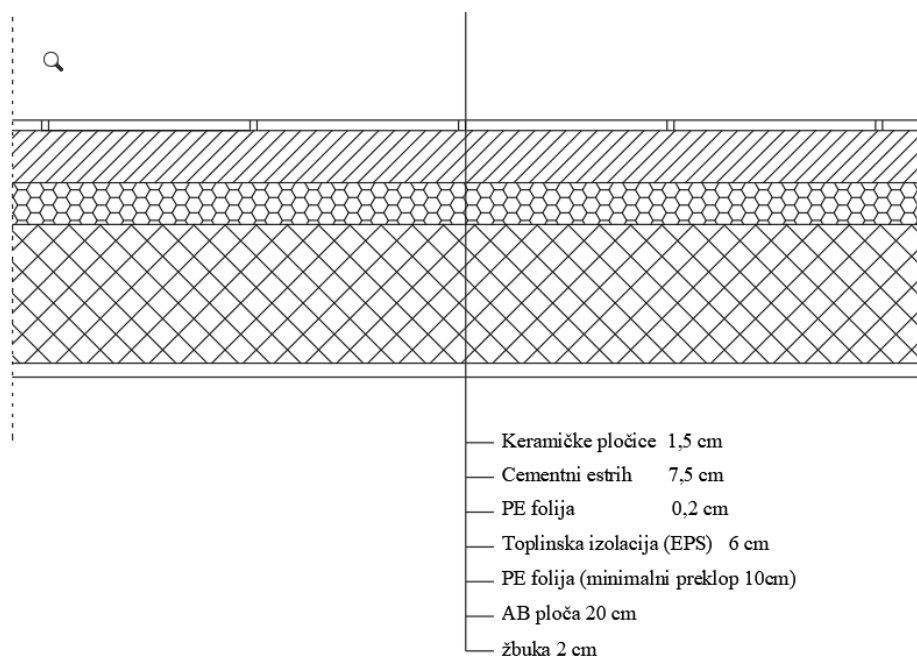


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Šljunak	0,08	18,0	1,44
Geotekstil	0,002	-	-
TPO membrana	0,002	-	-
Cementni estrih	0,08	5,90	0,47
Toplinska izolacija(EPS)	0,15	1,50	0,23
Hidroizolacija	0,01	10,0	0,1
AB ploča	0,20	Uključena u proračunskom modelu	
Žbuka	0,02	22,0	0,44

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,68$  (kN/m<sup>2</sup>)

## 3.2.3. Međukatne ploče

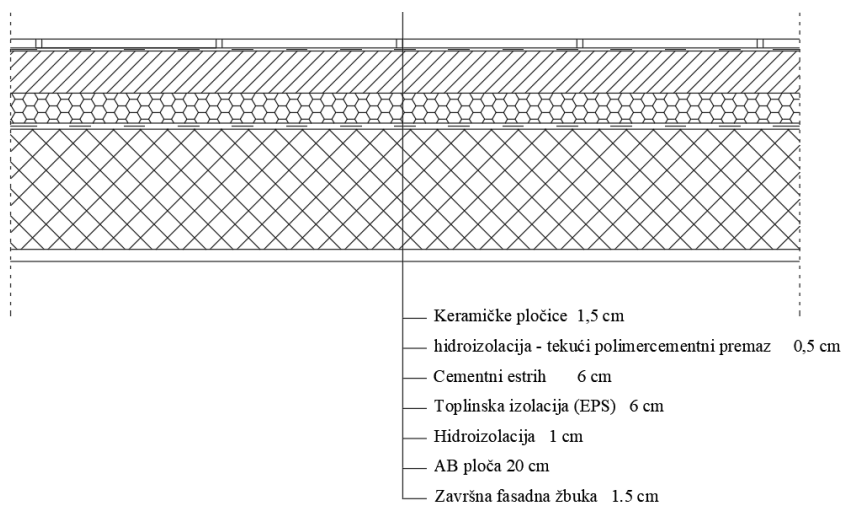


Tablica 3.2.2 Slojevi poda međukatnih konstrukcija

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Pregradni zidovi	0,10	3,30	0,33
Završna obrada	0,015	24,0	0,36
Cementni estrih	0,075	22,00	1,65
PE folija	-	-	-
Toplinska izolacija(EPS)	0,06	1,5	0,09
AB ploča	0,20	Uključena u proračunskom modelu	
Žbuka	0,02	21,0	0,42
Instalacije	-	-	0,25

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 3,10$  (kN/m<sup>2</sup>)

## 3.2.4. Nenatkrivena terasa

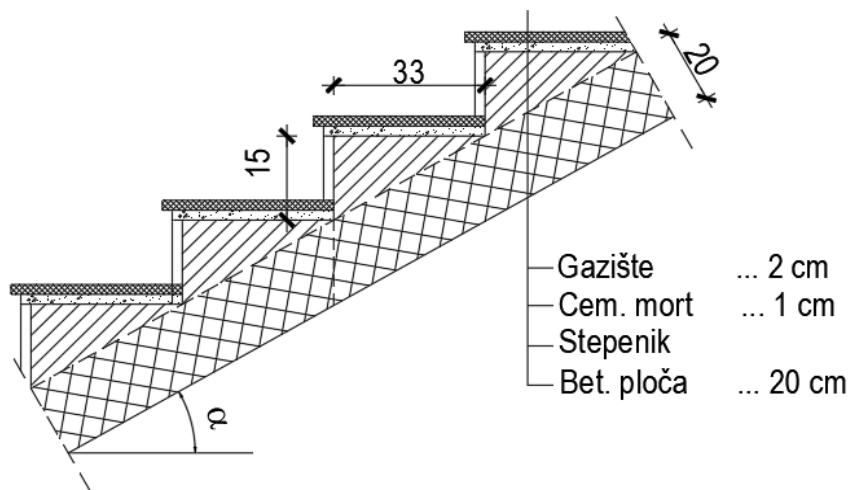


Tablica 3.2.3 Slojevi poda balkona

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	24,00	0,27
hidroizolacija – tekući polimercementni premaz	0,005	22,00	0,11
Cementni estrih	0,06	22,00	1,32
Termoizolacija(XPS)	0,06	1,5	0,09
hidroizolacija	0,01	10	0,10
AB ploča	0,20	Uključena u proračunskom modelu	
Završna fasadna žbuka	0,015	15,00	0,23

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,12$  (kN/m<sup>2</sup>)

### 3.2.5 Stubište



Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$d \times \gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )
Završna obrada gazišta – kamena ploča	0.02	28.0	0.56
Cementni namaz (max. 1.0 cm)	0.01	20.0	0.20
Stuba	0.075	25.0	1.875
AB ploča	0,20	Uključena u proračunskom modelu	

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 2,56$  (kN/m<sup>2</sup>)

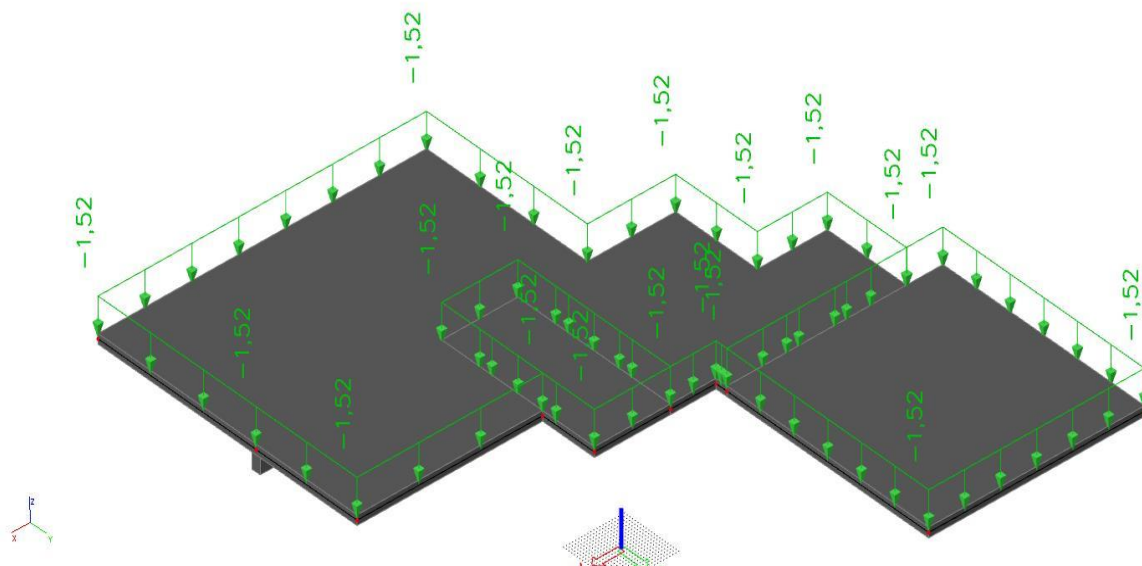
## 4. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE (Qi)

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:

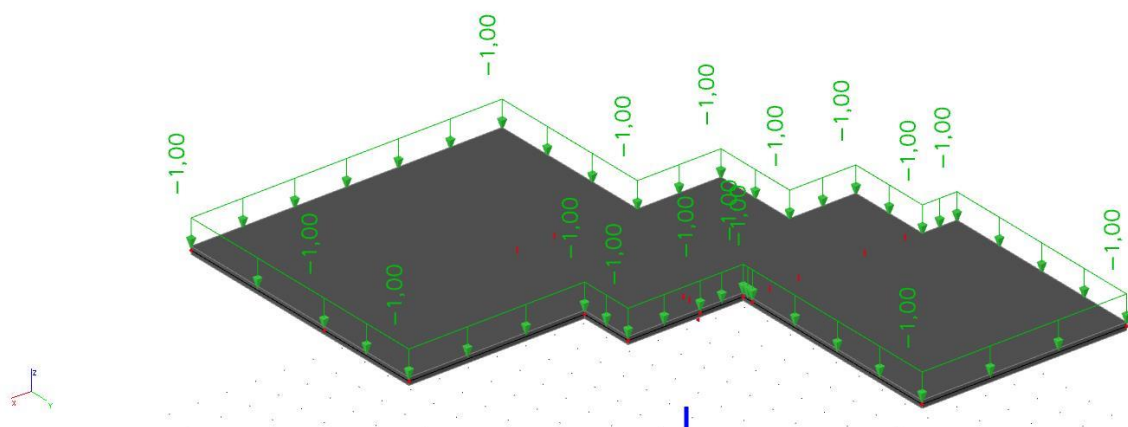
- Ravni krov:  $q = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Uobičajne prostorije:  $q = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Stubišta:  $q = 3,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Balkoni i lođe:  $q = 4,0$  kN/m

## 5. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

### 5.1. Krovna ploča

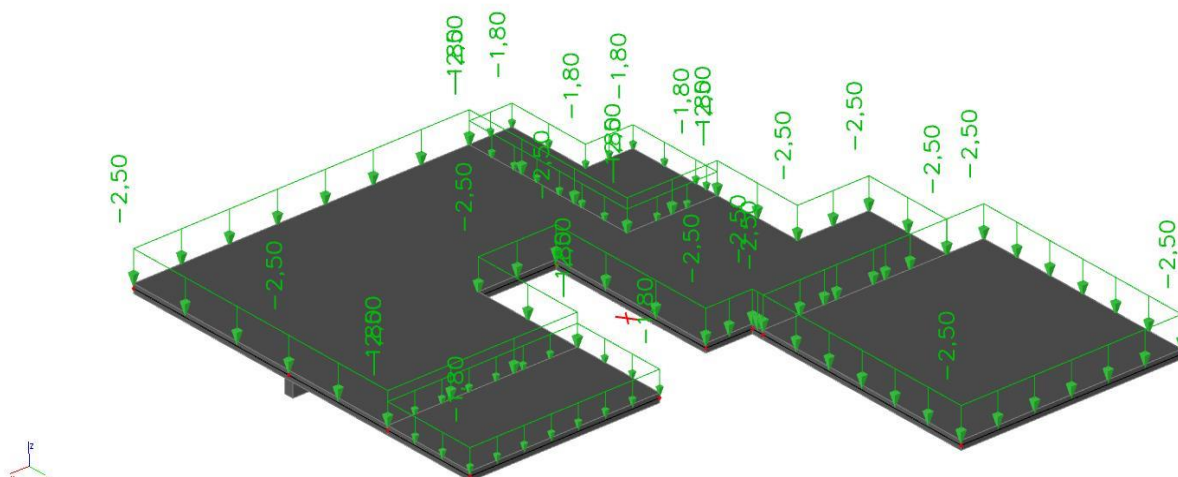


Slika 5.1.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

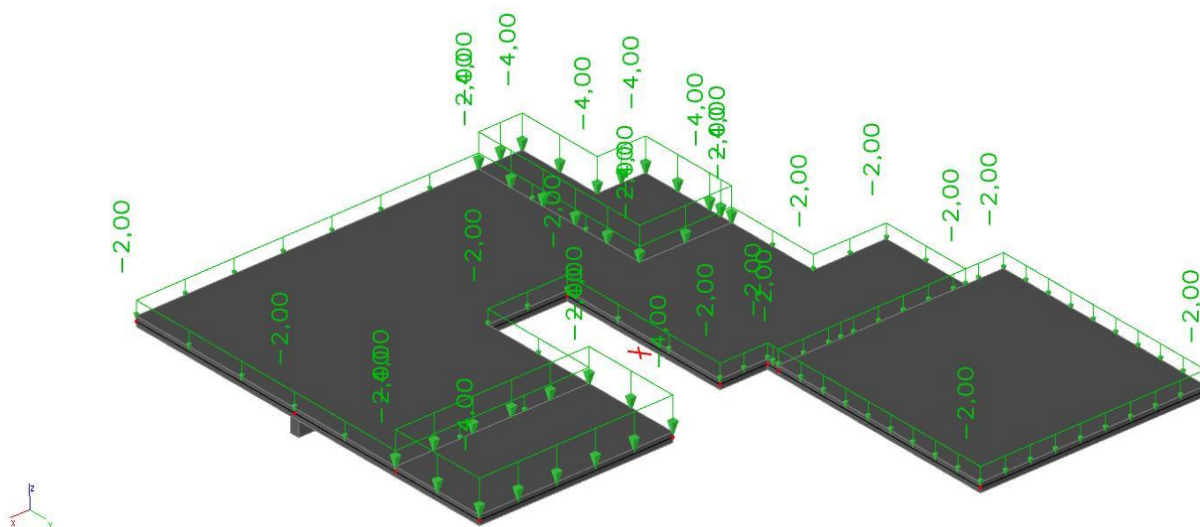


Slika 5.1.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

## 5.2. Međukatna ploča



Slika 5.2.1 Dodatno stalno djelovanje  $G1$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



Slika 5.2.2 Promjenjivo djelovanje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



## 6. KOMBINACIJE DJELOVANJA

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

- **Granično stanje nosivosti**

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

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

Q – uporabno djelovanje

- **Granično stanje uporabljivosti**

$$\text{GSU } 1.0 \cdot G + \Psi_{2,i} \cdot Q_1$$

$$\text{GSU } 1.0 \cdot G + 1.0 \cdot Q_1$$

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

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

Q – uporabno djelovanje

## 7. PRORAČUN PLOČA

### 7.1. Međukatna ploča

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 16,67 \cdot 1000 = 90.09 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 16.67 = 2.17 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 16.67 \cdot \frac{2.9}{500} = 2.51 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,max} = 0.015 \cdot A_c = 0.015 \cdot 100 \cdot 20 = 30 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

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

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

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{170}} = 2.09 \leq 2.0 \rightarrow k = 2$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{7.85}{20 \cdot 100} = 0.003925$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0.003925 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 86.68 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.494$$

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

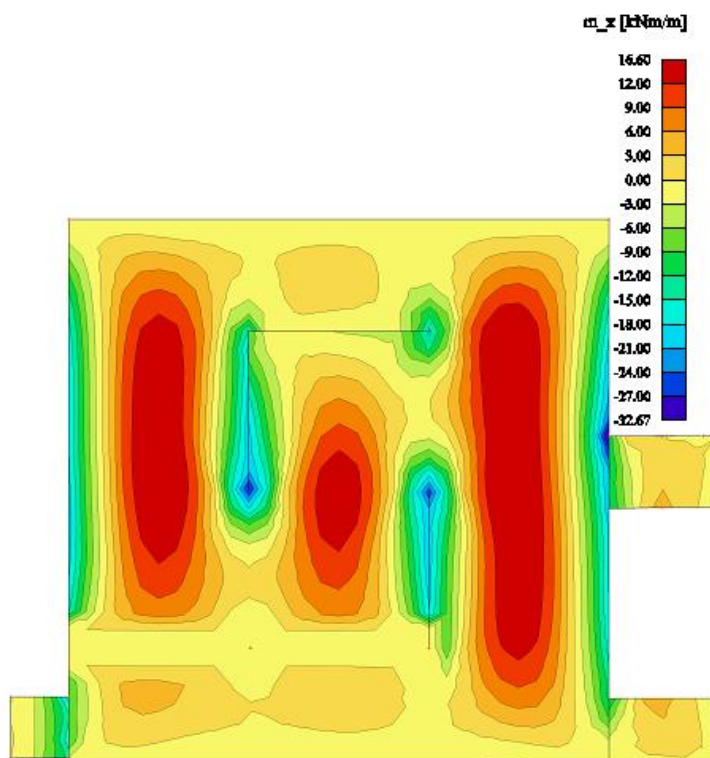
$$V_{Rd,c,min} = 0.455 \cdot 1000 \cdot 170 = 83.9 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

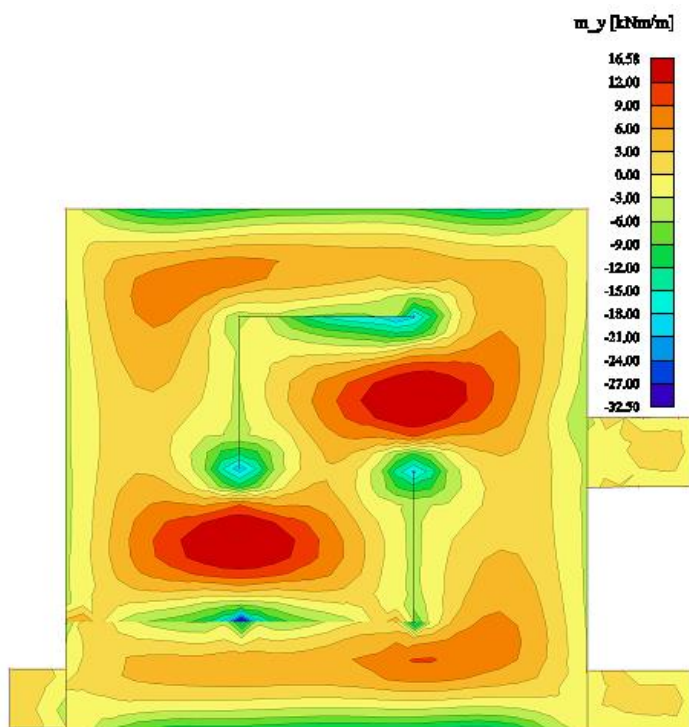
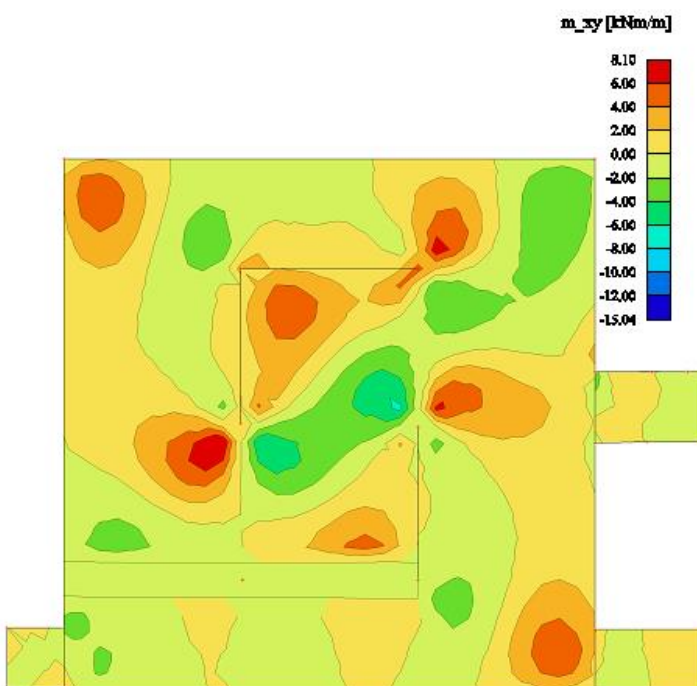
### 7.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče

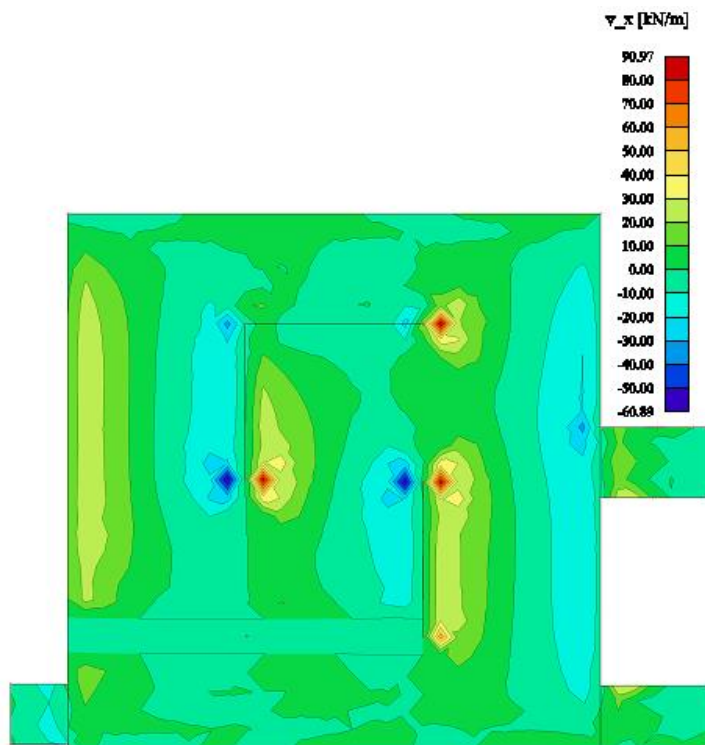


Slika 7.1 Prikaz modela ploče

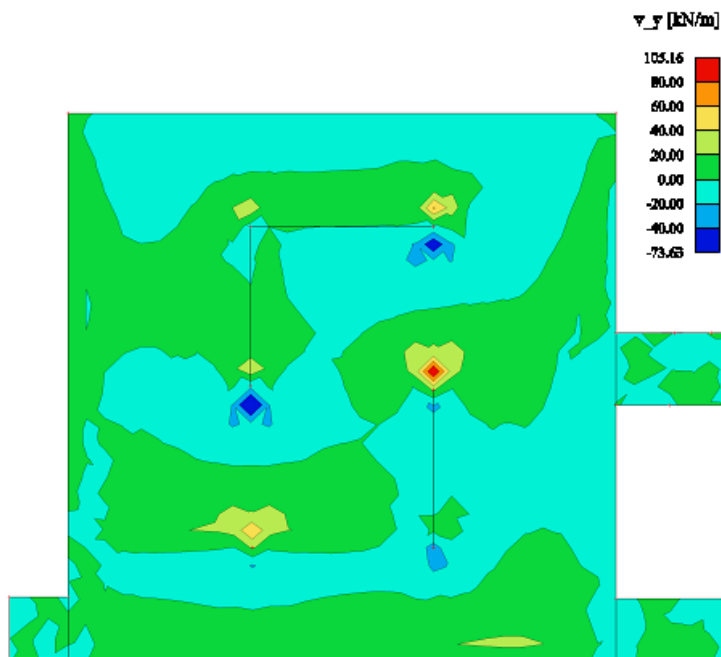


Slika 7.2 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1

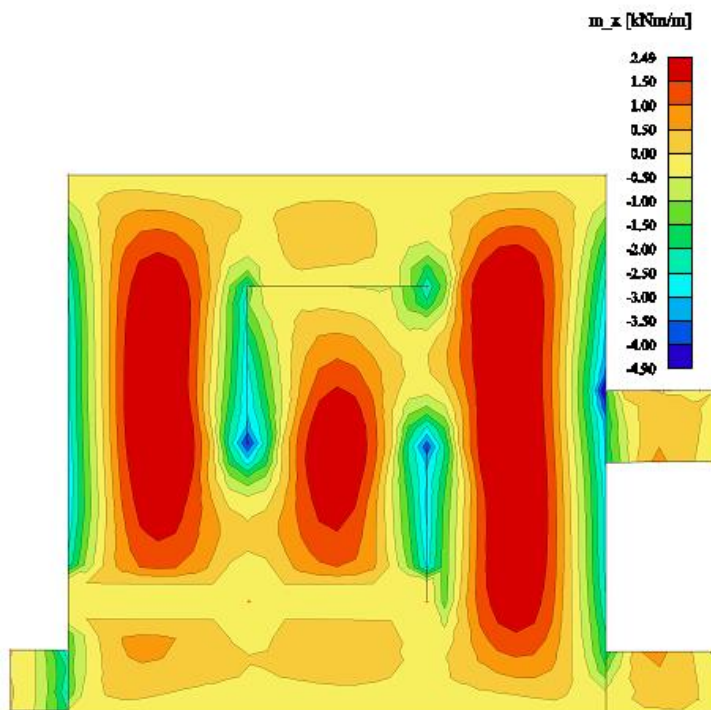
Slika 7.3 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1Slika 7.4 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



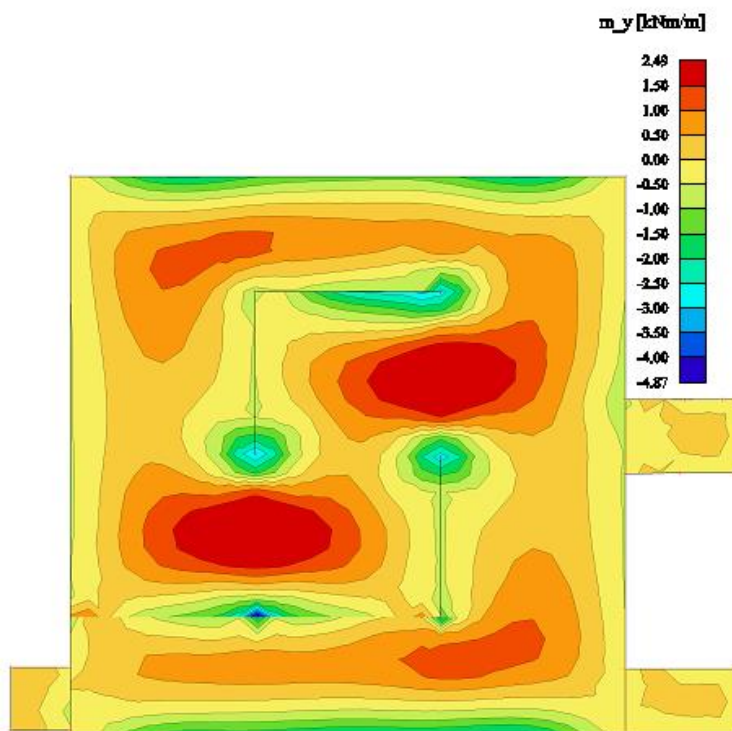
Slika 7.5 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 7.6 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 7.7 Potrebna površina armature  $A_s$  ( $\text{cm}^2/\text{m}$ ) u x smjeru



Slika 7.8 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:  $A_s = 4.9 \times 0.85 = 4.17 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju:  $A_s = 2.49 \times 1.30 = 3.23 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

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

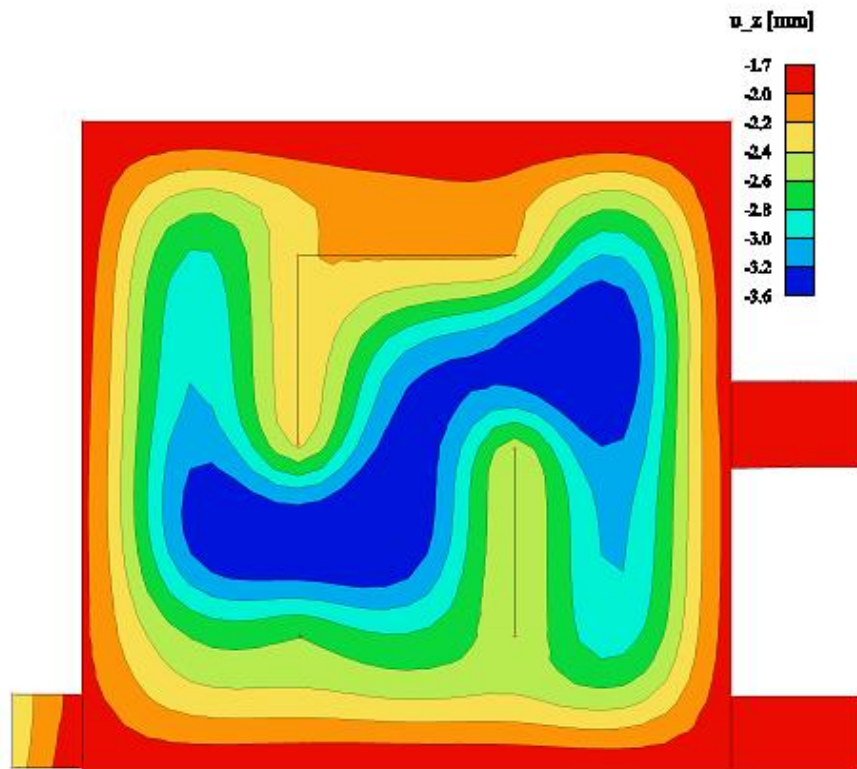
Polje: Q-385 ( $3.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

#### 7.1.2. 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 prikazat pravo ponašanje ploče od ukupnih pomaka oduzet ćemo translacijsku komponentu pomaka, te na taj način dobivamo deformacijsku komponentu pomaka koja će se analizirati.

#### 7.1.3. Kontrola progiba međukatne ploče



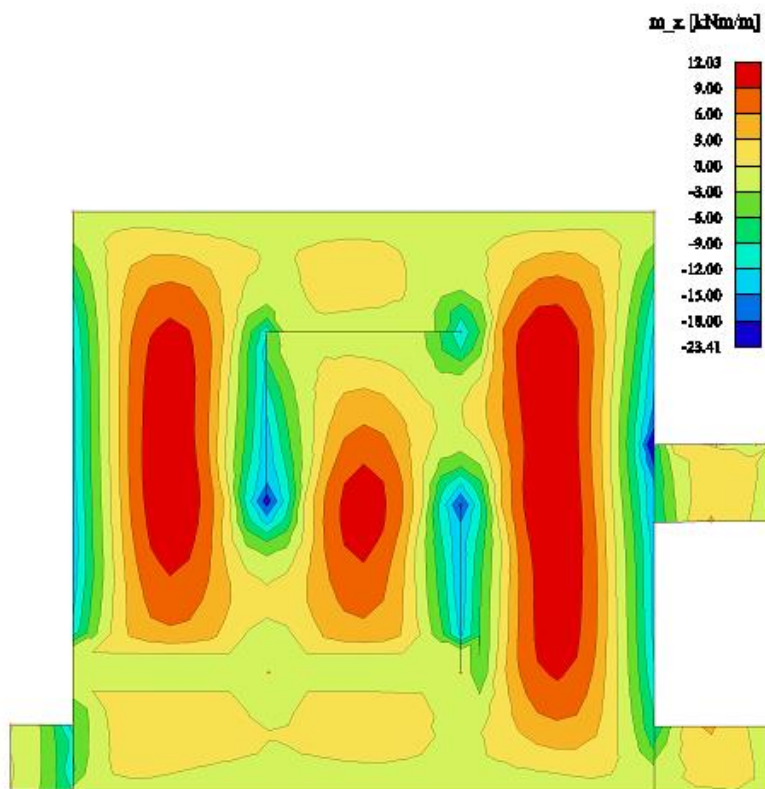
Slika 7.9 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 3,6 mm.  
Dozvoljen progib  $L/1000 = 4250/1000 = 4.25$  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.

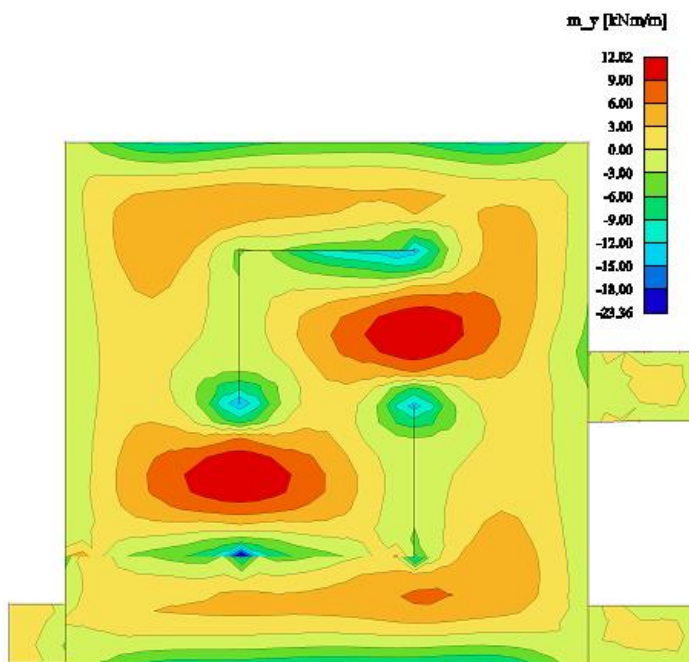
#### 7.1.4. Kontrola pukotina

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



Slika 7.10 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  ( $\text{kNm/m}$ ) za GSU-1



Slika 7.12 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 12.03$  kNm/m

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 3.85}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.45 \cdot 3.85}} \right) = 4.55 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1203}{\left(17 - \frac{4.55}{3}\right) \cdot 3.85} = 15.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 151.65 \text{ MPa}$$

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

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

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

$E_s = 200.0$  GPa = 200 000 MPa – modul elastičnosti armature

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3.85}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0105$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{106.61 - 0.4 \cdot \frac{2.6}{0.0105} (1 + 6.45 \cdot 0.0105)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{151.65}{200000}$$

$$-0.000004 \geq 0.00045$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00045$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 8.0$  mm –

$c = 20$  mm – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$  – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$  – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{8}{0.0105} = 230 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 230 \cdot 0.00045 = 0.1 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 7.2. Proračun krovne ploče

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 16,67 \cdot 1000 = 90.09 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 16.67 = 2.17 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 16.67 \cdot \frac{2.9}{500} = 2.51 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,max} = 0.015 \cdot A_c = 0.015 \cdot 100 \cdot 20 = 30 \text{ cm}^2 / m$$

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 :

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{170}} = 2.09 \leq 2.0 \rightarrow k = 2$$

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3.85}{20 \cdot 100} = 0.003925$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0.003925 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 86.68 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

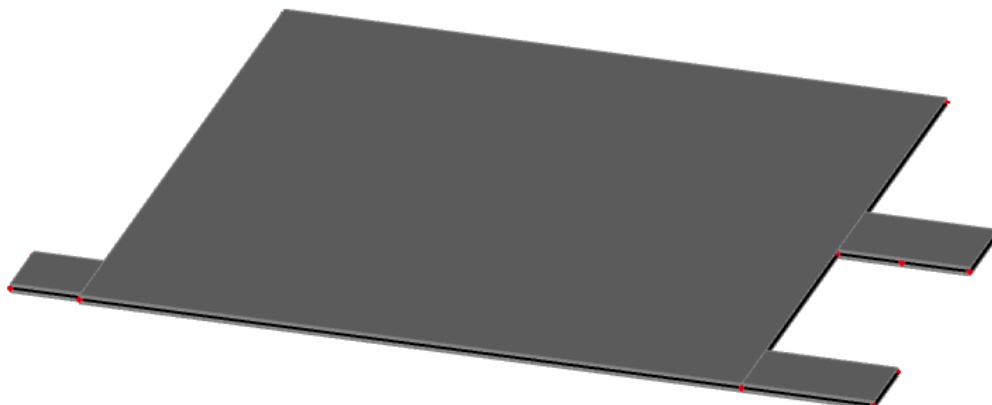
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.494$$

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

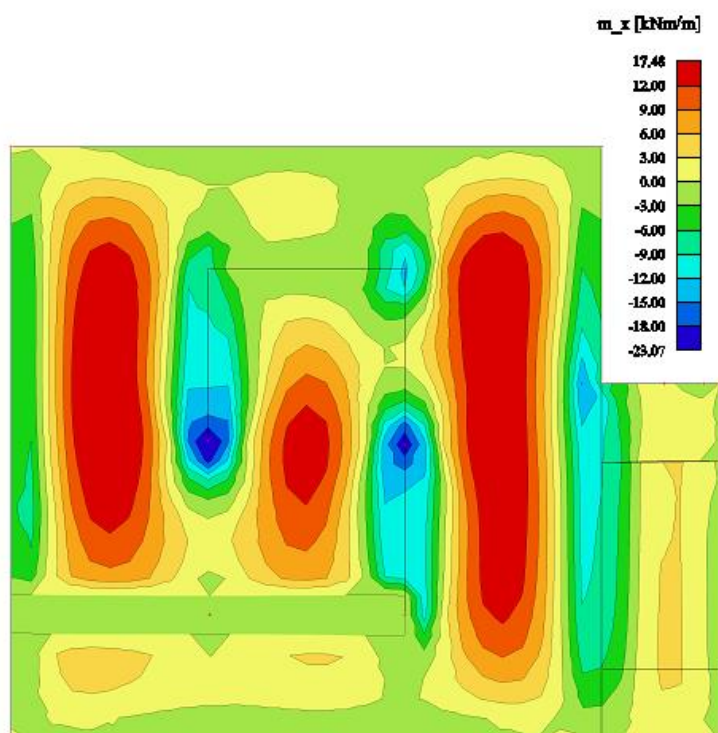
$$V_{Rd,c,min} = 0.455 \cdot 1000 \cdot 170 = 83.9 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

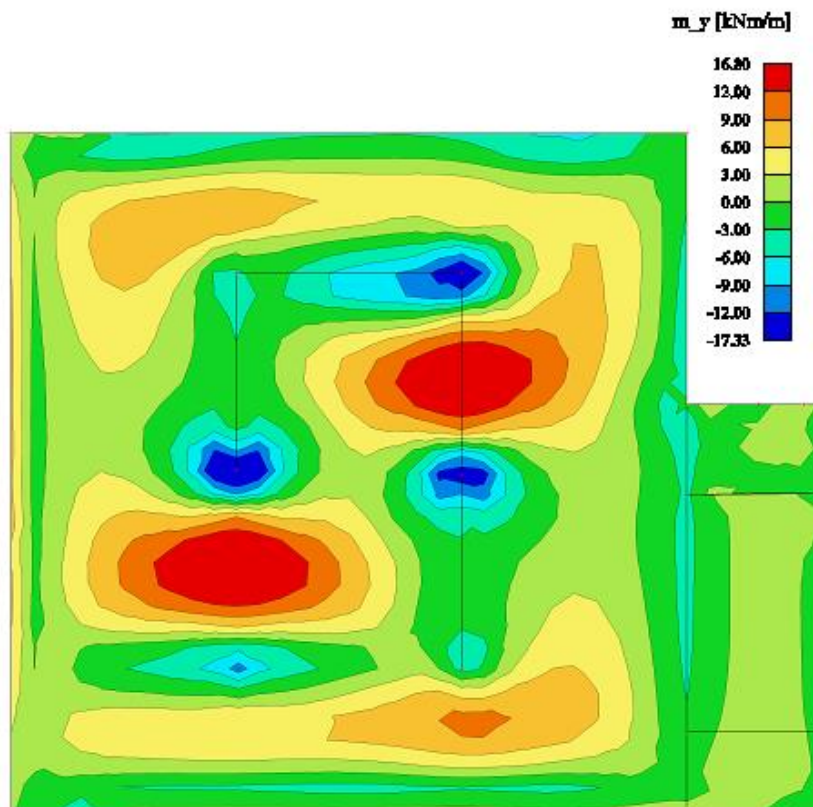
### 7.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče



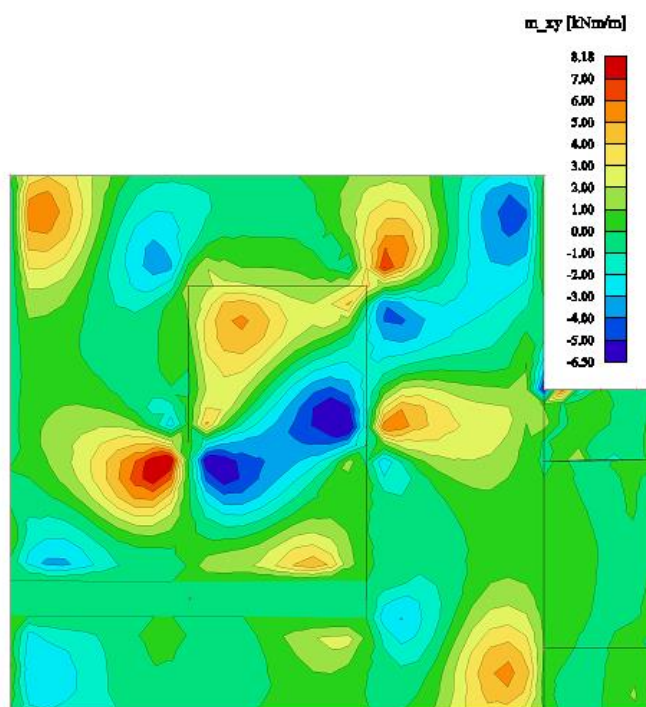
Slika 7.13 Prikaz modela



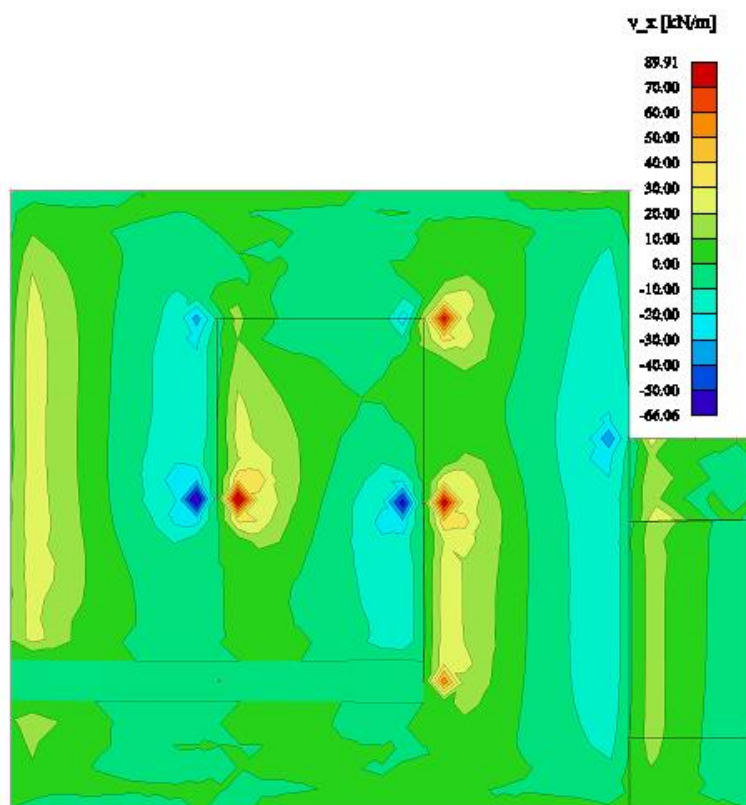
Slika 7.14 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSN-1



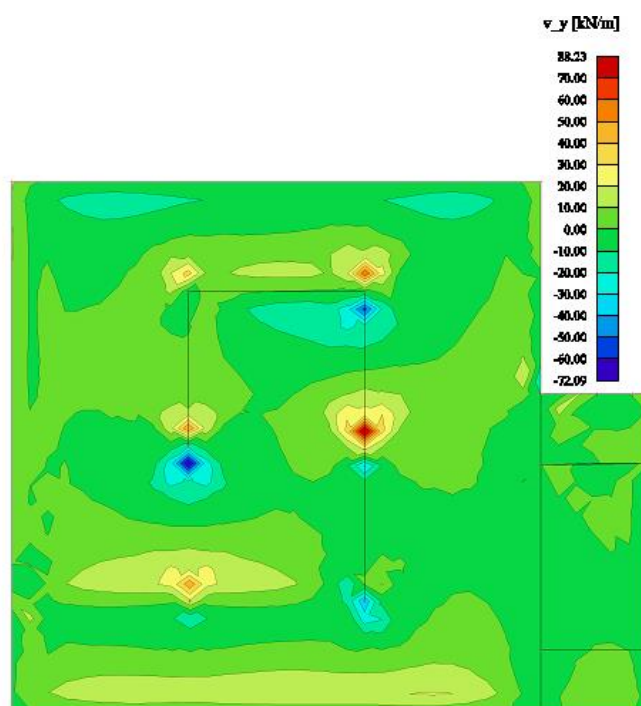
Slika 7.15 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN-1



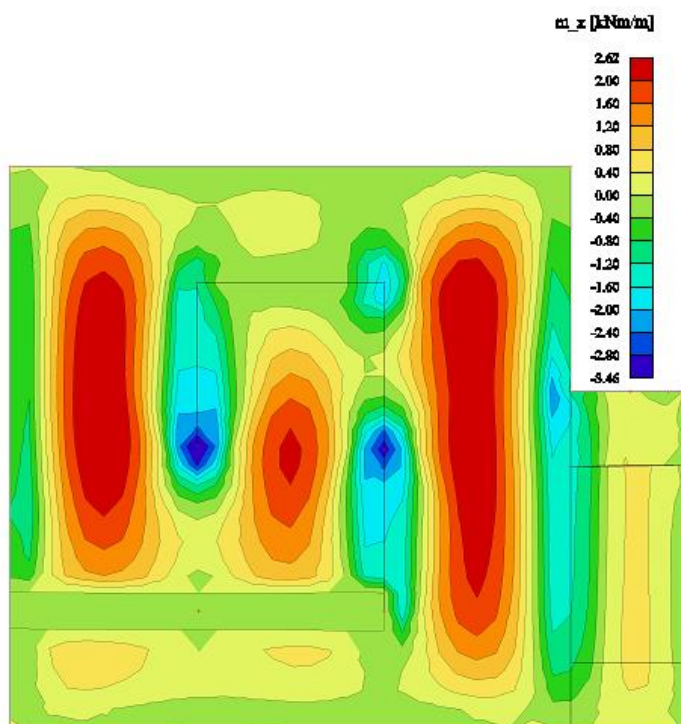
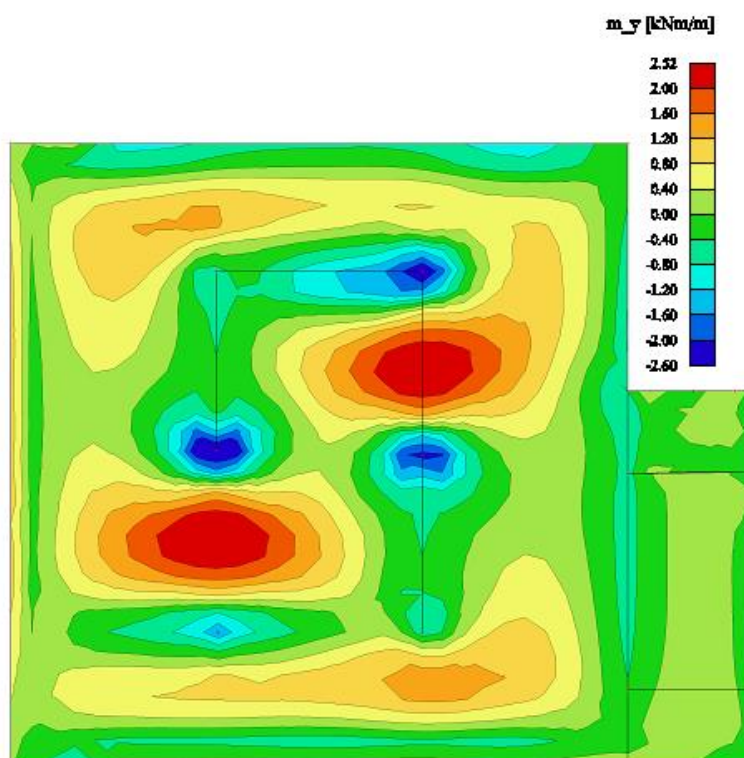
Slika 7.16 Moment savijanja  $M_{Ed,xy}$  (kNm/m) za GSN-1



Slika 7.17 Poprečne sile  $V_{Ed,x}$  (kN/m) za GSN-1



Slika 7.18 Poprečne sile  $V_{Ed,y}$  (kN/m) za GSN

Slika 7.19 Potrebna površina armature  $A_s$ (cm<sup>2</sup>/m) u x smjeruSlika 7.20 Potrebna površina armature  $A_s$ (cm<sup>2</sup>/m) u y smjeru

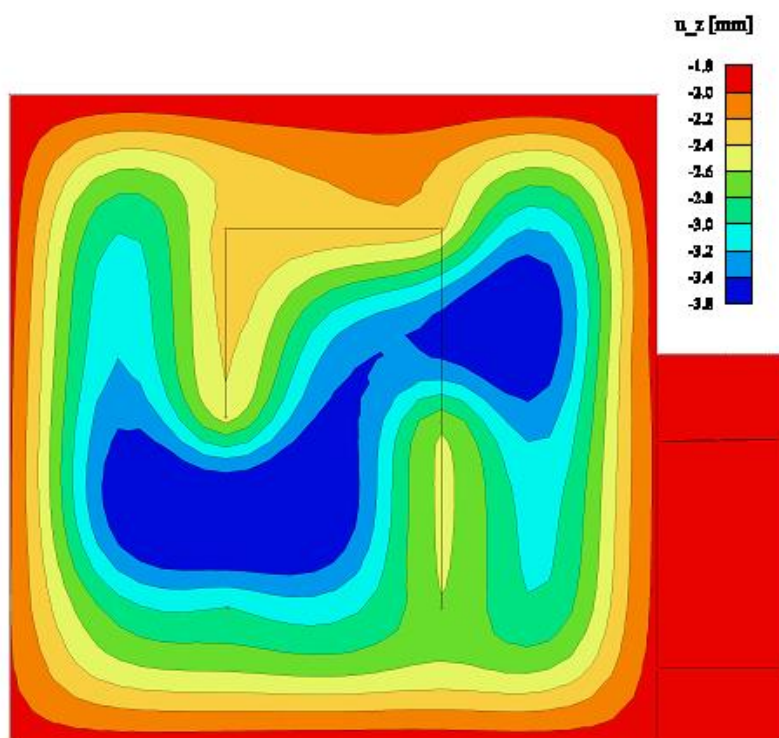
*Napomena:* Dobivenu armaturu zbog preraspodjele umanjiti za 15% nad ležajem i povećati za 30% u polju.

Potrebna armatura na ležaju:  $A_s = 0.85 \times 3.46 = 2.94 \text{ cm}^2 / \text{m}'$   
 Potrebna armatura u polju:  $A_s = 2.62 \times 1.30 = 3.41 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

### Odabrana armatura

Ležaj: Q-335 ( $3.35 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )  
 Polje: Q-385 ( $3.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$ )

### 7.2.2. Kontrola progiba

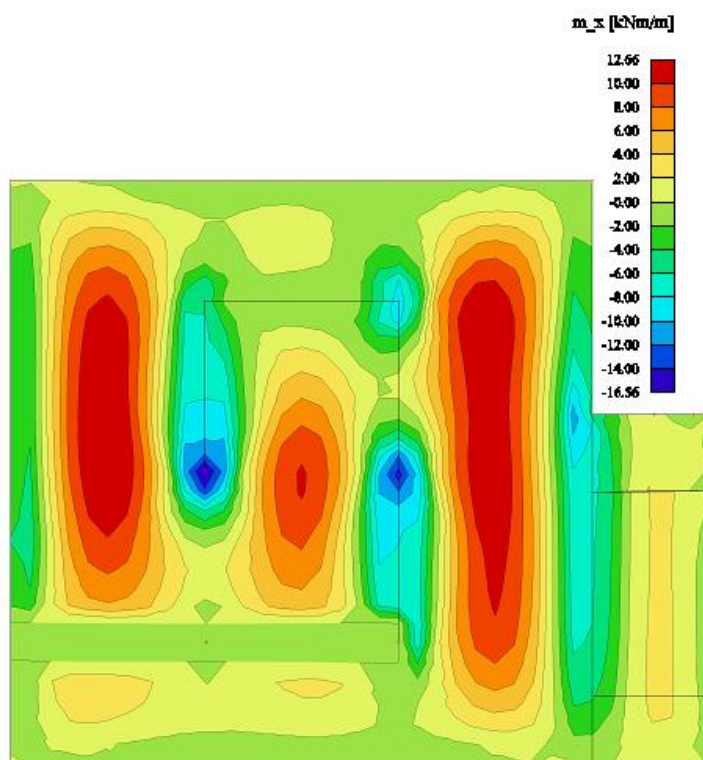
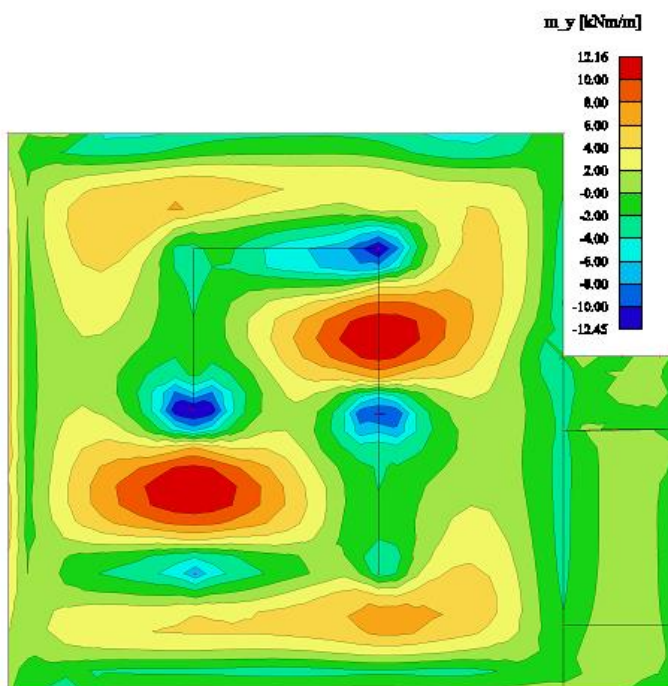


Slika 7.21 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 3.8 mm.  
 Dozvoljen progib  $L/1000 = 4250/1000 = 4.25 \text{ mm}$   
 Krovna ploča zadovoljava na progibe.



## 7.2.3. Kontrola pukotina

Slika 7.22 Moment savijanja  $M_{Ed,x}$  (kNm/m) za GSU-1Slika 7.23 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment  $M = 12.66 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 3.85}{100} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.45 \cdot 3.85}} \right) \\ = 3.72 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{12.66}{\left(17 - \frac{3.72}{3}\right) \cdot 3.85} = 15.34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 153.35 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3.85}{100 \cdot (2.0 \cdot 3.0)} = 0.0067$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{153.35 - 0.4 \frac{2.6}{0.0067} (1 + 6.45 \cdot 0.0067)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{153.35}{200000}$$

$$-0.000049 \geq 0.00046$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00046$$

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

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

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

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 270 \cdot 0.00046 = 0.124 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 8. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 0.3 \cdot 0.57^2 \cdot 16.67 \cdot 1000 = 297.34 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 30 \cdot 57 = 2.565 \text{ cm}^2$$

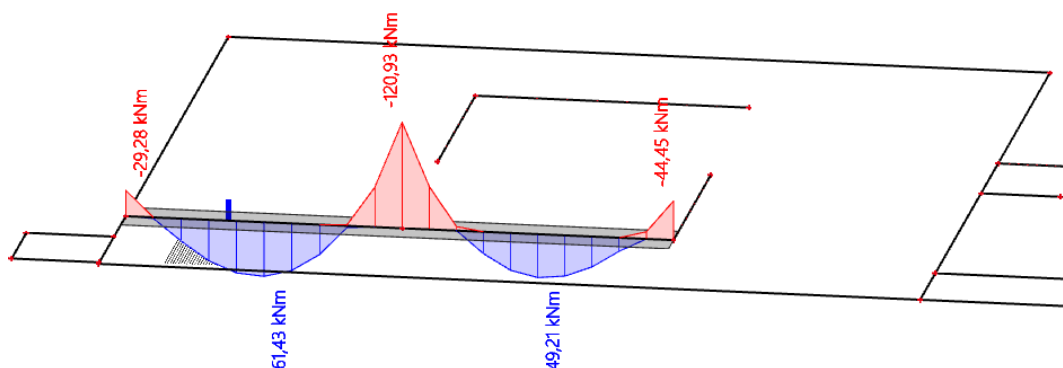
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 115 \cdot 57 = 9.83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 30 \cdot 57 \cdot \frac{16.67}{434.78} = 20.32 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 115 \cdot 60 \cdot \frac{16.67}{434.78} = 224.87 \text{ cm}^2$$

### 8.1. Međukatna greda

#### 8.1.1. Prikaz rezultata proračuna



Slika 8.1 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%.

$$M_{max}^{polje} = 61.43 \cdot 1.30 = 79.86 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 120.93 \cdot 0.85 = 102.79 \text{ kNm}$$

### 8.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

#### Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 30 + \frac{0.85 \cdot 500}{5} = 115 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = 79.86 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{79.86 \cdot 100}{115 \cdot 57^2 \cdot 16.67} = 0.00128$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.2 \quad \xi = 0.02 \quad \zeta = 0.993$$

$$x = \xi \cdot d = 0.02 \cdot 57 = 1.14 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{79.86 \cdot 100}{0.992 \cdot 57 \cdot 43.48} = 3.24 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø12 ( $A_s = 4.52 \text{ cm}^2$ )

#### Ležaj:

$$M_{Ed} = 102.79 \text{ kNm}$$

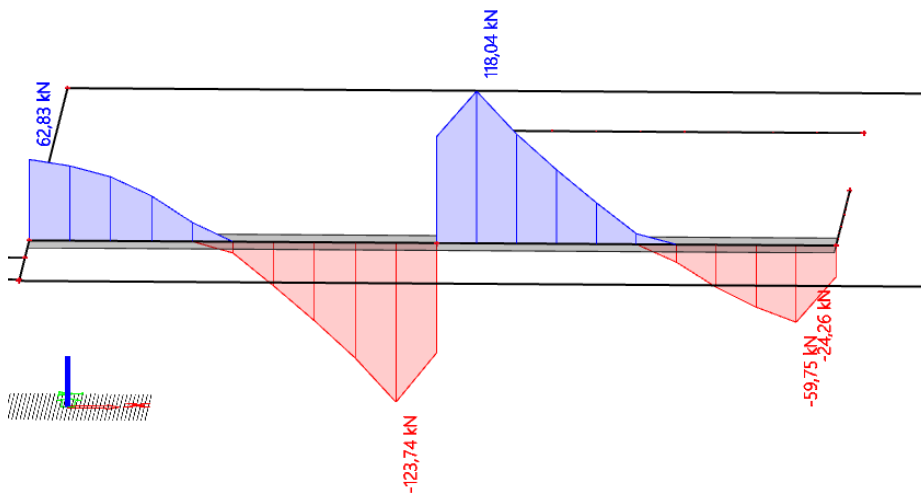
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{102.79 \cdot 100}{40 \cdot 57^2 \cdot 16.67} = 0.00474$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.4 \text{ ‰ } \quad \xi = 0.038 \quad \zeta = 0.987$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{102.79 \cdot 100}{0.987 \cdot 57 \cdot 43.48} = 4.20 \text{ cm}^2$$

Odabrano 4Ø14 ( $A_s = 6.16 \text{ cm}^2$ )

## 8.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

Slika 8.2 Poprečne sile  $V_{Ed,z}$  (kN/m) za GSN

$$V_{Ed} = 123.74 \text{ kN}$$

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

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

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{10.68}{30 \cdot 60} = 0.0059$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.59 \cdot (100 \cdot 0.0059 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 300 \cdot 570$$

$$V_{Rd,c} = 79.30 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.59^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.351$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.351 \cdot 400 \cdot 570 = 60.021 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 123.74 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.54 \cdot 300 \cdot 570 \cdot 16.67 = 769.65 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{123.74}{769.65} \approx 0.16 \rightarrow V_{Ed} = 0.16 V_{Rd,max}$$

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

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

$$\rho_{min} = 0.0009$$

Potrebna računaska poprečna 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:  $\emptyset 8/25$  ( $A_{sw} = 2.0 \text{ cm}^2$ )

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

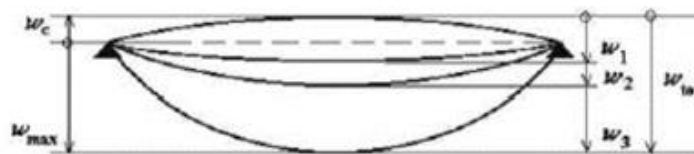
$$V_{Rd} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{2.0}{30} \cdot (0.9 \cdot 57) \cdot 43.48 \cdot 2 = 297.35 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

Postaviti spone  $\emptyset 8/25$  ( $A_{sw} = 2.0 \text{ cm}^2$ )

### 8.1.4. Kontrola progiba



Slika 8.3 Prikaz progiba grede

$w_c$  – nadvišenje neopterećenog konstruktivnog elementa

$w_1$  – početni progib od stalnog opterećenja

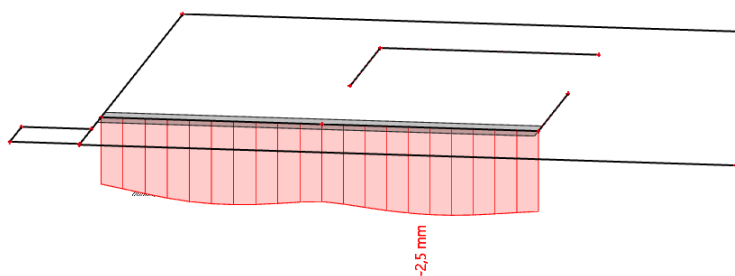
$w_2$  – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

$w_3$  – progib od promjenjivog opterećenja

$w_{max}$  – ukupni progib

Konstrukcija	$w_{max}$	$w_2 + w_3$
Krovišta	$L/200$	$L/250$
Prohodna krovišta	$L/250$	$L/300$
Stropovi	$L/250$	$L/300$
Stropovi/krovovi sa žbukom ili drugim krhkim završnim slojevima ili nesavitljivim pregradama	$L/300$	$L/350$
Stropovi koje podupiru stupovi (osim ako je progib uzet u sklopu proračuna za granično stanje nosivosti)	$L/400$	$L/500$
Kada $w_{max}$ može narušiti izgled zgrade	$L/250$	-

Tablica 7.1 Ograničenje vertikalnih progiba za karakterističnu kombinaciju



Slika 8.4 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU-1

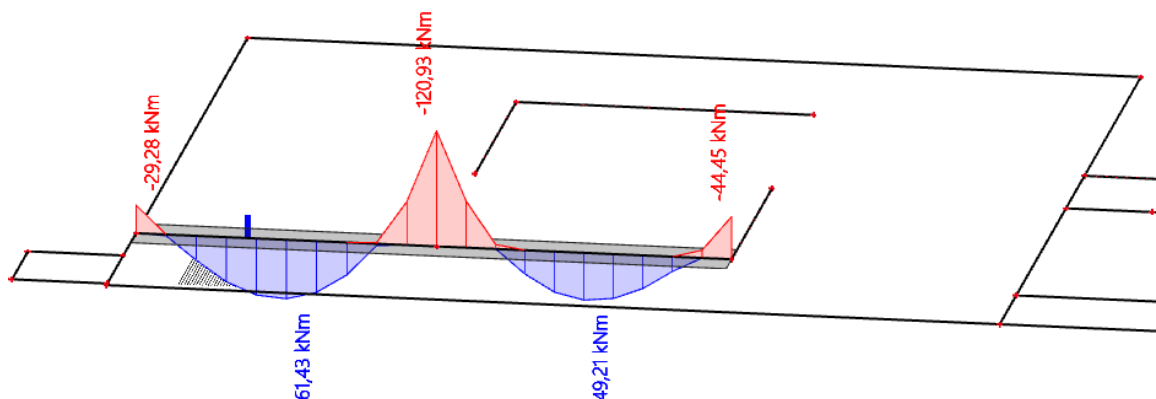
Najveći progib iznosa je 2.5 mm.

Dozvoljen progib  $L/1000 = 5000/1000 = 5.0$  mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.



## 8.1.5. Kontrola pukotina

Slika 8.5 Moment savijanja  $M_{Ed,y}$  (kNm/m) za GSN

$$M_{\max} = 120.93 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.45 \cdot 10.18}{30} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 30 \cdot 57}{6.45 \cdot 6.16}} \right) = 12.13 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{12093}{\left(57 - \frac{12.13}{3}\right) \cdot 6.16} = 33.57 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{6.16}{30 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.027$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{33.57 - 0.4 \cdot \frac{2.2}{0.027} (1 + 6.16 \cdot 0.027)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{33.57}{200000}$$

$$-0.00001 \geq 0.0001$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.0001$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 14.0 \text{ mm}$$

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

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

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

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 20 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{14}{0.033} = 140 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 140 \cdot 0.0001 = 0.014 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

## 9. PRORAČUN ZIDOVA

### 9.1. 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:

$$v_d = N_{Ed}/A_c f_{cd} \leq 0.40 \text{ (klasa DCM), odnosno } \sigma_{c,Rd} \leq 0.45 \cdot f_{ck}$$

$$0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 25 = 11,25 \text{ MPa}$$

- Kritično područje:

$$\min \{2L_w, h_s\} \geq h_{cr} \geq \max \{L_w, h_w/6\}, \text{ (} L_w \text{=duljina zida, } h_w \text{=ukupna visina zida, } h_s \text{=svijetla katna visina)}$$

- Minimalno armiranje:

na krajevima zida:

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

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

ostali dio zida:

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

$$A_s = 0.002 \cdot 100 \cdot 20 = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

$$A_s = 0.002 \cdot 100 \cdot 20 = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{sponse: } \min 4\phi 6/\text{m}^2$$

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

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

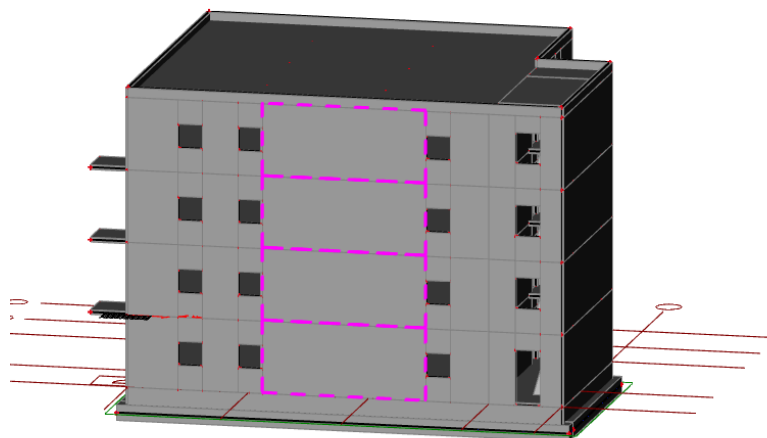
$$b_w = 16 \text{ cm; } A_{s,\min} = 0.0009 \cdot 16 \cdot 100/2 = 0.72 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

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

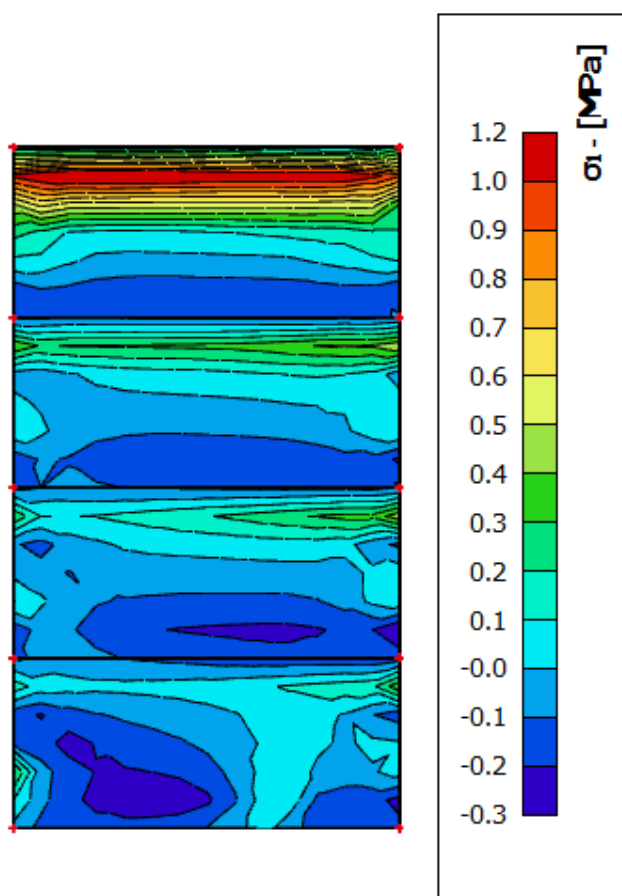
$$b_w = 30 \text{ cm; } A_{s,\min} = 0.0009 \cdot 30 \cdot 100/2 = 1.35 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

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

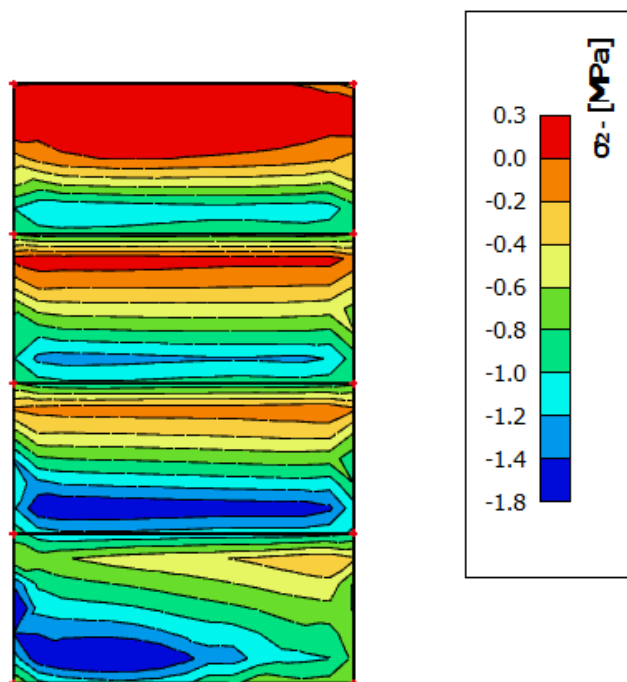
## 9.2. Prikaz modela i dijagrama



Slika 9.2.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun

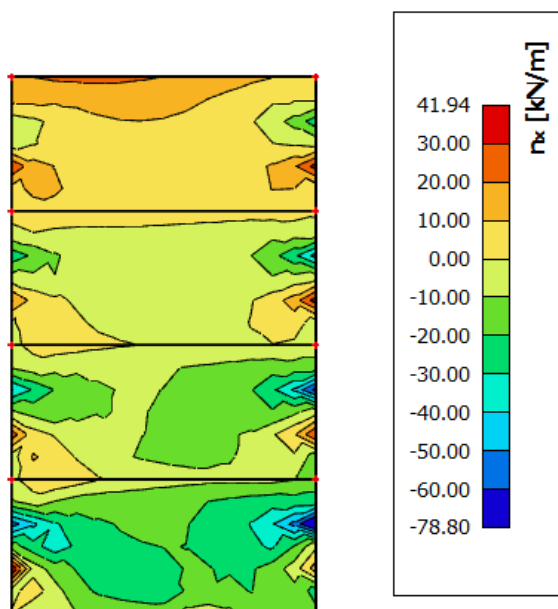


Slika 9.2.2 Tlačna naprezanja  $\sigma_x$ - (Mpa) za nazovistalnu kombinaciju GSU

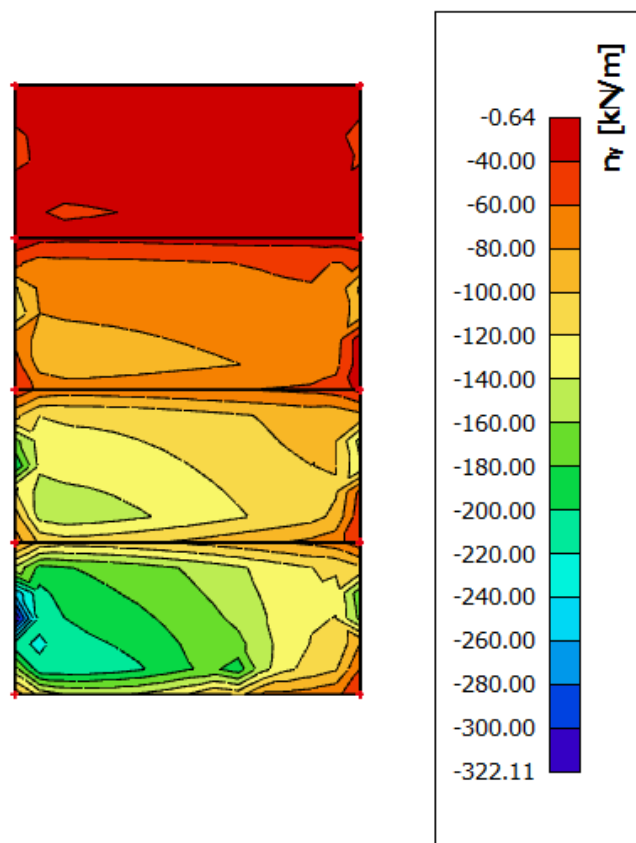


Slika 9.2.3 Tlačna naprezanja  $\sigma_z$  (Mpa) za nazovistalnu kombinaciju GSU

**Tlačna naprezanja u zidu zadovoljavaju uvjet  $\sigma < 0.45 f_{ck}$  (drobljenje betona)**



Slika 9.2.4 Uzdužne sile  $n_x$  [kN/m] u smjeru X, u zidovima za kombinaciju GSN



Slika 9.2.5 Uzdužne sile  $n_y$  [kN/m] u smjeru Y, u zidovima za kombinaciju GSN  
Mjerodavna uzdužna sila  $N_y = 280 \text{ kN/m}'$

$$A_{s1,2} = \frac{N_y}{f_{yd}} = \frac{260}{43.5} = 5.97 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{5.97}{2} = 2.99 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: Q-335 obostrano.

Napomena: Uz otvore zidova postaviti dodatnu armaturu 2  $\emptyset 10$ .

## 10. PRORAČUN STUPOVA

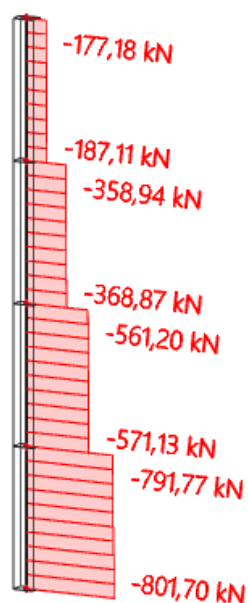
### Ograničenja naprezanja u betonu

Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja:

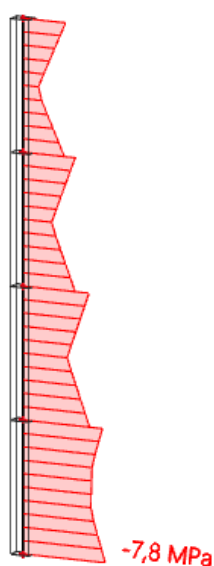
$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$  za nazovistalnu kombinaciju GSU

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

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



Slika 10.1 Uzdužne sile u stupu  $N_{ed}$  (kN) za GSU



Slika 10.2 tlačno naprezanje u stupovima  $\sigma_{c,Ed}$  (MPa) za GSU

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

Kontrolira se srednje tlačno naprezanje u stupu za nazvistanu

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

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

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

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

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

$$N_{sd} = 801.76 \text{ kN}$$

$$b \times h \geq N_{sd} / 0.65 \times f_{cd} \rightarrow 1200 \geq 602.83 = A_{c,potr}$$

Poprečni presjek stupa:  $b/h = 40 \times 30 \text{ cm}$

Minimalna vertikalna armatura stupa:

- $A_{s,min} = 8\Phi 12 (9.05 \text{ cm}^2)$
- $A_{s,min} = 0.15 \times N_{sd} / f_{yd} = 0.15 \times 801.76 / 43.48 = 2.76 \text{ cm}^2$
- $A_{s,min} = 0.002 \times A_c = 2.4 \text{ cm}^2$
- $A_{s,min} = 0.01 \times A_c = 4 \text{ cm}^2$

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

Minimalna poprečna armatura stupa:

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

Odabrana poprečna armatura: spone  $\Phi 8/15 \text{ cm}$ .

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



## 11. PRORAČUN TEMELJA

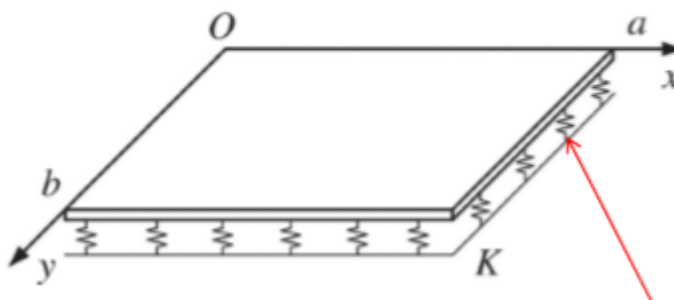
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja.

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

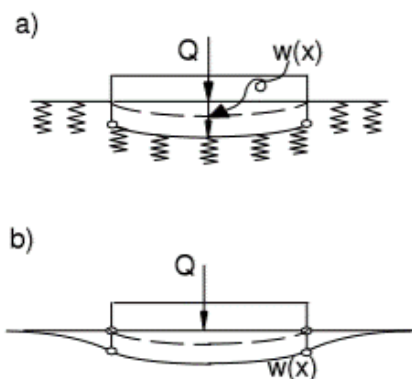
Koeficijent reakcije podloge  $K$  je odnos između dodirnog naprezanja  $q$  kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja  $w$ , koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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)

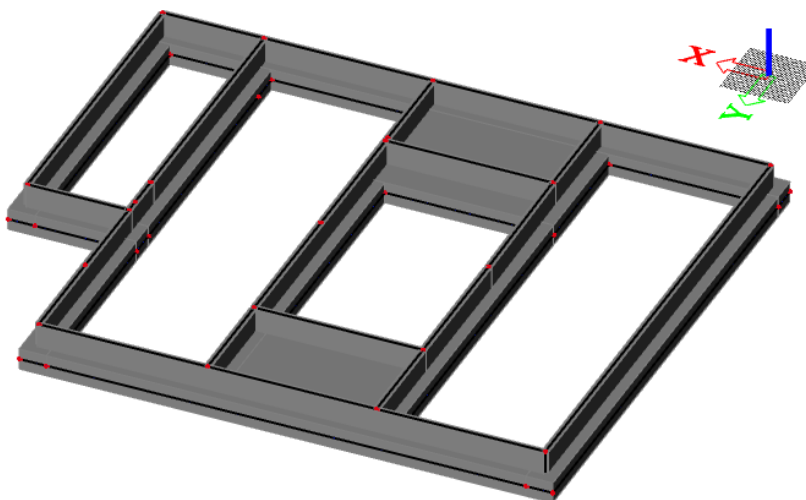
Nedostatci ovog modela :

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

## 11.1. Proračun trakastih temelja

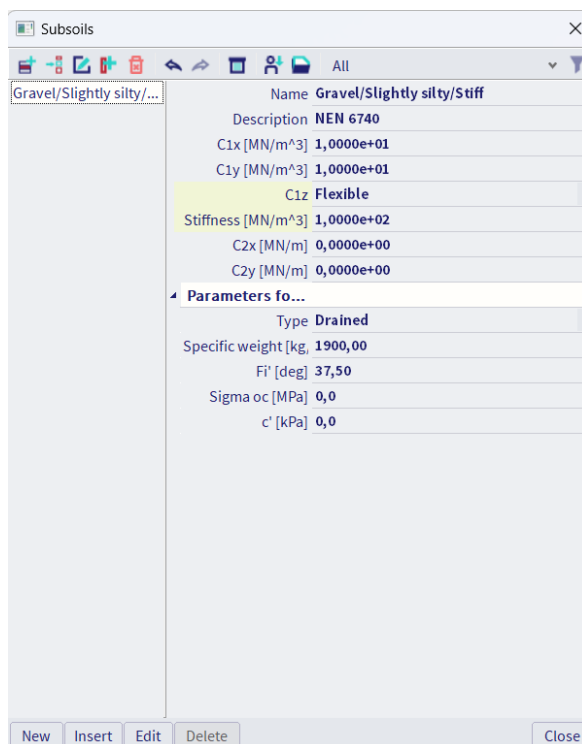
### 11.1.1. Model trakastih temelja

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



Slika 11.1.1. Model trakastih temelja

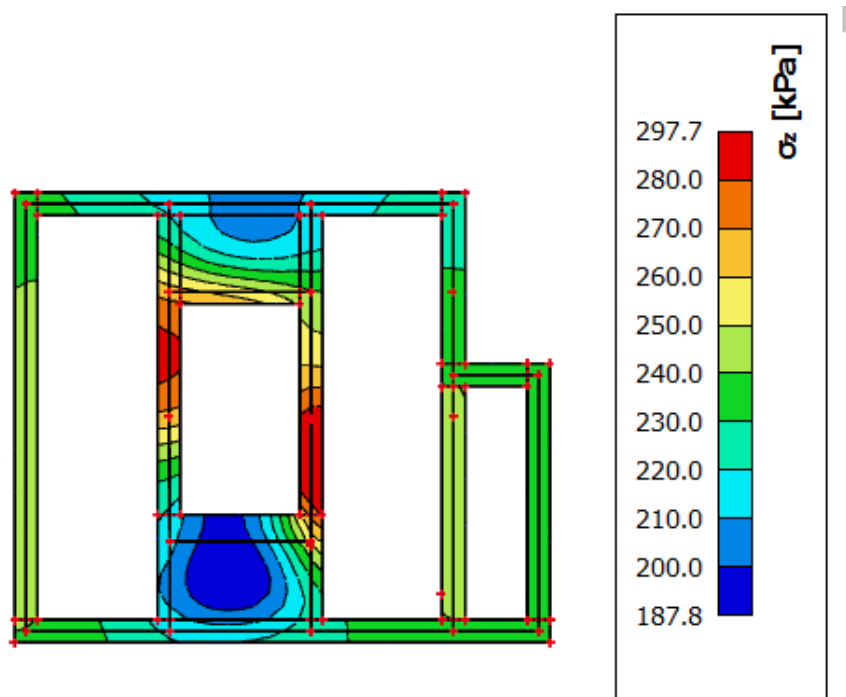
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla. Ostali pomaci i zaokreti su spriječeni.



Slika 11.1.2 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

### 11.1.2. 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 11.1.3 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 slijeganje temelja bude što ujednačenije.

Reakcije su dobivene iz programa „Scia Engineer“.

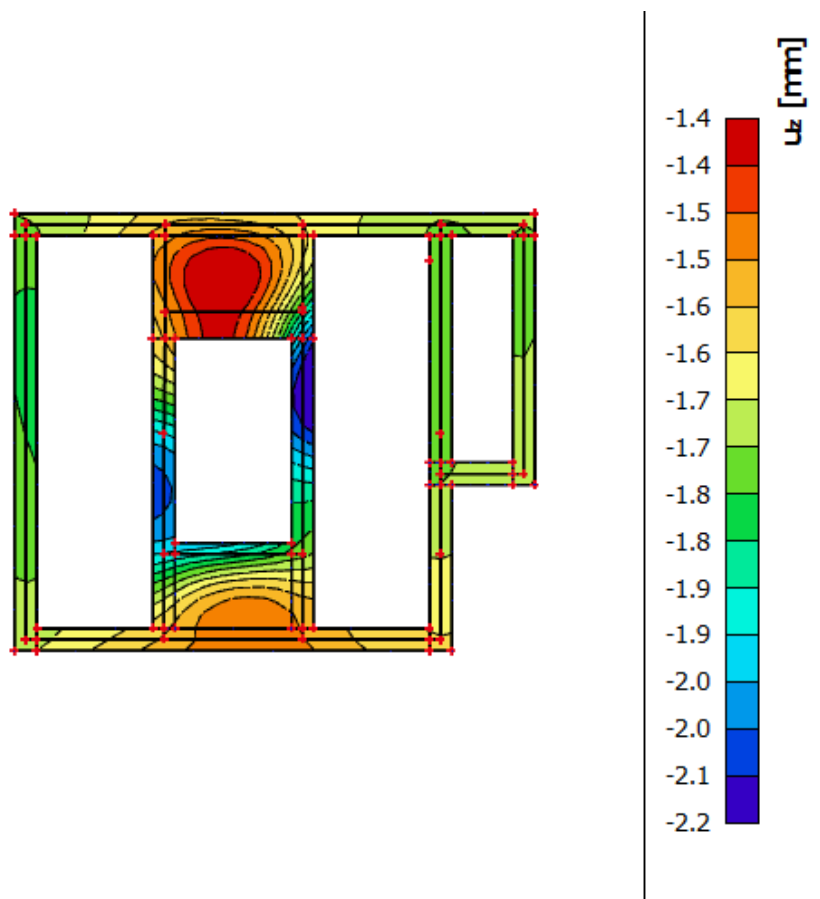
Vrijednost dopuštenog kontaktnog naprezanja je 400 kN/m<sup>2</sup>.

Temelji zadovoljavaju na kontaktna naprezanja s iskoristivošću  $\lambda = 74\%$

Napomena: temeljne trake unutrašnjih nosivih zidova su povezane s vanjskim temeljnim trakama zbog izbjegavanje pojave diferencijalnog slijeganja.

### 11.1.3. Slijeganje građevine

Naprezanja ispod temeljnih traka približno su 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 11.1.3 Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSN

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

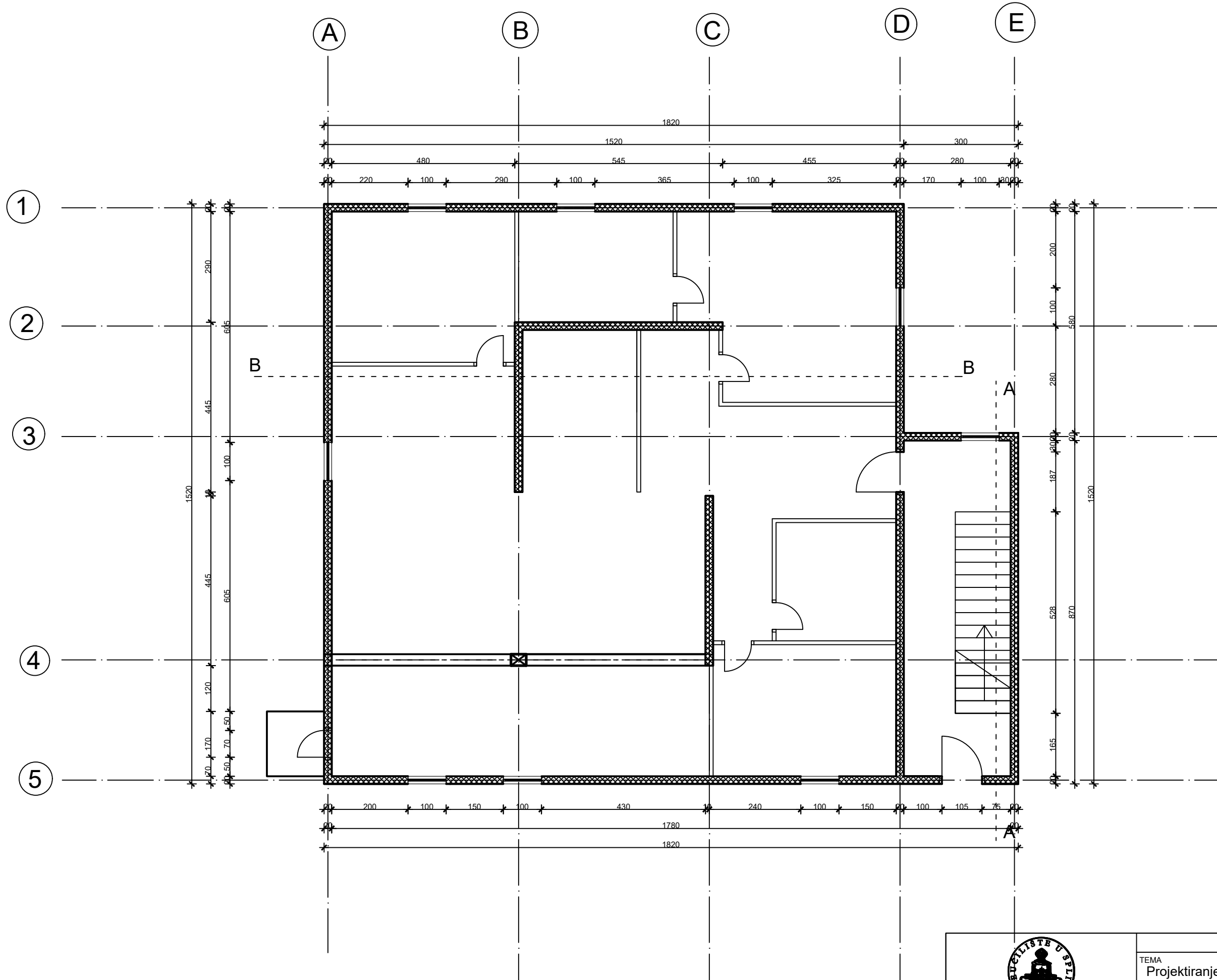
## 12. GRAFIČKI PRILOZI

Redom su priloženi:

- Tlocrt karakteristične etaže M 1:100
- Tlocrt temelja M 1:100
- Presjek A-A M 1:75
- Presjek B-B M 1:75

### 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.

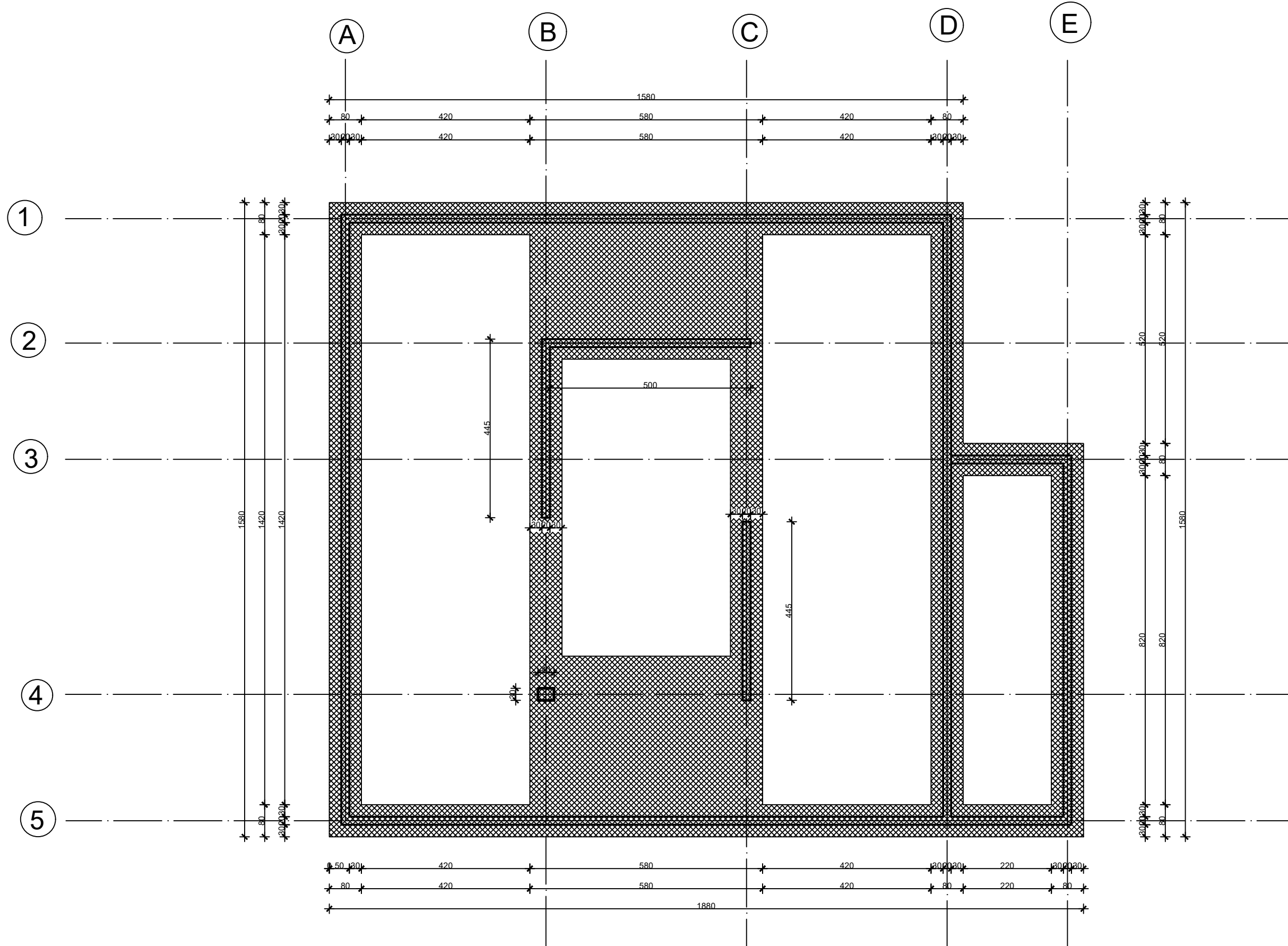



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
 GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

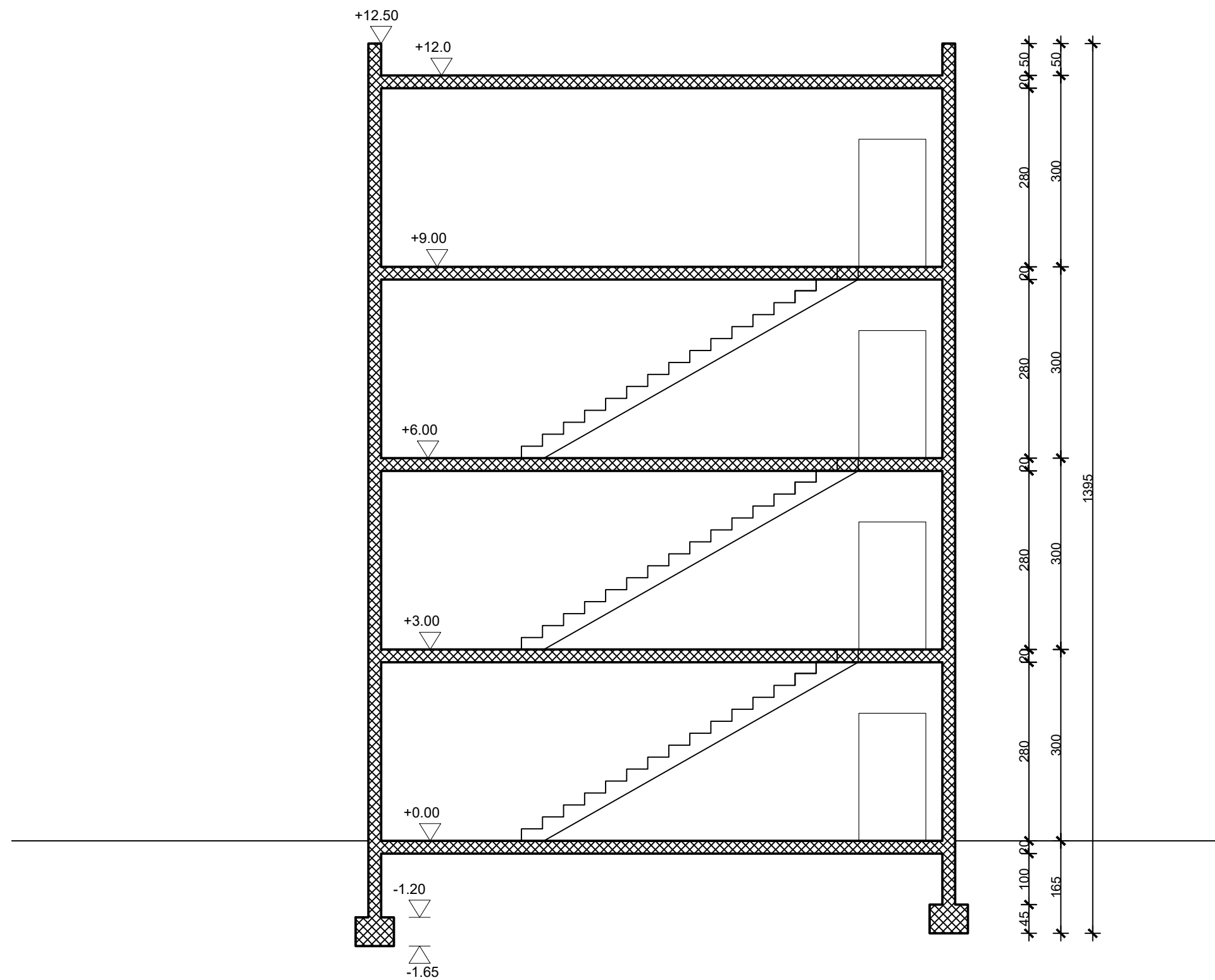
Statika 1 završni rad


TEMA	Projektiranje i dimenzioniranje nosivih konstrukcija	
STUDENTI	Marko Lovrinčević	
SADRŽAJ	Tlocrt kata	MJERILO 1:100
DATUM	svibanj 2024.	BROJ PRILOGA 1

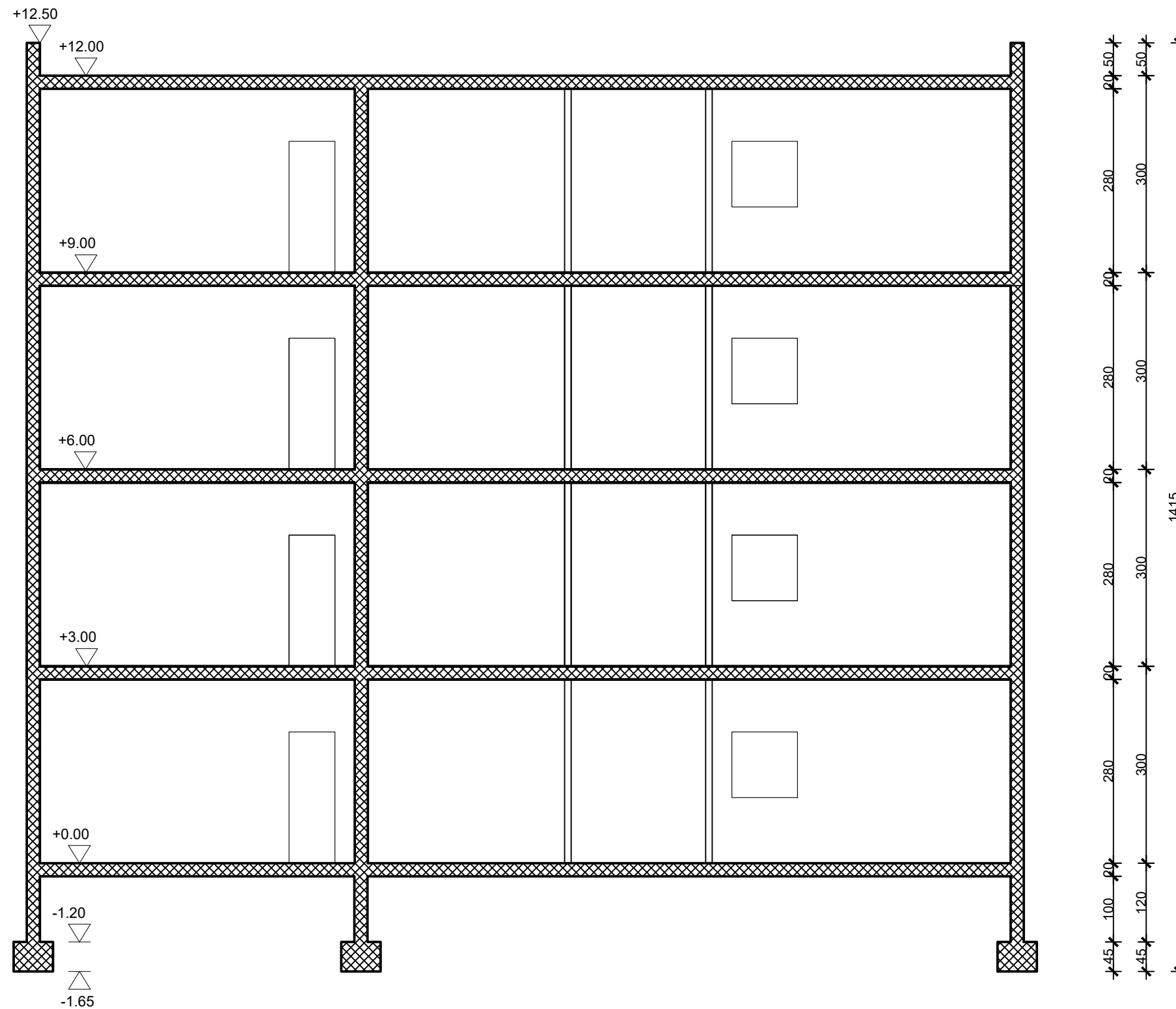




 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU          GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET          21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Statika 1 završni rad		
	TEMA Projektiranje i dimenzioniranje nosivih konstrukcija		
	STUDENTI Marko Lovrinčević		
	SADRŽAJ Tlocrt temelja	MJERILO 1:100	BROJ PRILOGA 2
	DATUM svibanj 2024.		



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	<b>Statika 1 završni rad</b>	
	TEMA Projektiranje i dimenzioniranje nosivih konstrukcija	
	STUDENTI Marko Lovrinčević	
	SADRŽAJ Presjek A-A	MJERILO 1:75
	DATUM svibanj 2024.	BROJ PRILOGA <b>3</b>



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	<b>Statika 1 završni rad</b>	
	TEMA Projektiranje i dimenzioniranje nosivih konstrukcija	
	STUDENTI Marko Lovrinčević	
	SADRŽAJ Presjek B-B	MJERILO 1:75
	DATUM svibanj 2024.	BROJ PRILOGA 4