

Statički proračun obiteljske kuće

Ivančev, Ivan

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:123:801973>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-07**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Ivančev

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Ivan Ivančev

Statički proračun obiteljske kuće

Završni rad

Split, 2024.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: SVEUČILIŠNI / STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVO

KANDIDAT: Ivan Ivančev

MATIČNI BROJ (JMBAG): (4959) 0083228731

KATEDRA: Katedra za teoriju konstrukcija

KOLEGIJ: Građevna statika 2

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Statički proračun obiteljske kuće

Opis zadatka:

Izraditi proračun konstrukcije obiteljske kuće za gravitacijska djelovanja.

Odrediti djelovanja te dokazati mehaničku otpornost karakterističnih elemenata konstrukcije (međukatna ploča, greda, zid, temelj) na računalnom proračunskom modelu.

U Splitu, 12.04.2024.

Mentor: Prof. dr. sc. Boris Trogrlić

Statički proračun obiteljske kuće

Sažetak:

U radu je prikazan statički proračun obiteljske kuće. Kuća se sastoji od podruma, prizemlja, 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:

Obiteljska kuća, Statički proračun

Static calculation of family house

Summary:

The static design of family house is presented in this work. The building consist of basement, ground flour, stori, first flour and flat roof. Structure is made of reinforced concrete consisting og walls and plates.

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

Keywords:

Family house, Structural analysis

Sadržaj

1. TEHNIČKI OPIS	1
1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine	1
1.2. Geotehnički izvještaj	1
2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE	2
3. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	4
3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....	4
3.2. Stalno opterećenje (G_0).....	4
3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije	4
3.2.2. Krovna ploča.....	5
3.2.3. Međukatne ploče.....	6
3.2.4. Nenatkrivena terasa	7
3.3. Promjenjivo opterećenje (Q_i)	7
4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA.....	8
4.1. Krovna ploča.....	8
4.2. Međukatna ploča I kata.....	9
4.3. Međukatna ploča podruma	10
5. KOMBINACIJE DJELOVANJA	11
6. PRORAČUN PLOČA	12
6.1. Proračun ploče podruma.....	12
6.1.1. Prikaz modela i rezultata ploče podruma	12
6.1.2. Kontrola progiba.....	17
6.1.3. Kontrola pukotina	18
6.2. Proračun međukatne ploče prizemlja	21
6.2.1. Prikaz modela i rezultata ploče prizemlja.....	21
6.2.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče	26
6.2.3. Kontrola progiba međukatne ploče.....	26

6.2.4.	Kontrola pukotina	27
6.3.	Proračun krovne ploče	30
6.3.1.	Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....	30
6.3.2.	Kontrola progiba.....	34
6.3.3.	Kontrola pukotina	34
7.	PRORAČUN AB GREDA	37
7.1.	Međukatna greda	37
7.1.1.	Prikaz rezultata proračuna	37
7.1.2.	Dimenzioniranje na moment savijanja	38
7.1.3.	Dimenzioniranje na poprečnu silu	39
7.1.4.	Kontrola progiba.....	41
7.1.5.	Kontrola pukotina	42
8.	PRORAČUN ZIDOVA	44
8.1.	Opći uvjeti	44
8.2.	Prikaz modela i dijagrama	45
9.	PRORAČUN STUPOVA(ČELIČNI).....	48
10.	PRORAČUN TEMELJA.....	50
10.1.	Proračun temelja	52
10.1.1.	Model temelja	52
10.1.2.	Slijeganje građevine.....	53
11.	GRAFIČKI PRILOZI.....	54
12.	LITERATURA	55

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 tri etaže, nepravilnog je tlocrtnog oblika –dimenzija 14,65 x 11,10 m.

Ukupna visina građevine iznosi 6,60 m, mjereno od podne ploče prizemlja.

Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) zidova i međukatnih konstrukcija koje su izrađene od armiranog betona, lijevane na licu mjesta 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 za podrum podna ploča debljine 30 cm ispod zidova prizemlja trakasti temelji (dimenzija 60 x 50 cm) i ispod stupova temelj samac (dimenzije 100 x 40 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 postignute minimalne čvrstoće od 80%.

Za temelje je upotrebljena klasa betona C 30/37.

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

1.2. Geotehnički izvještaj

Za predmetnu građevinu su izvršeni geotehnički istražni radovi.

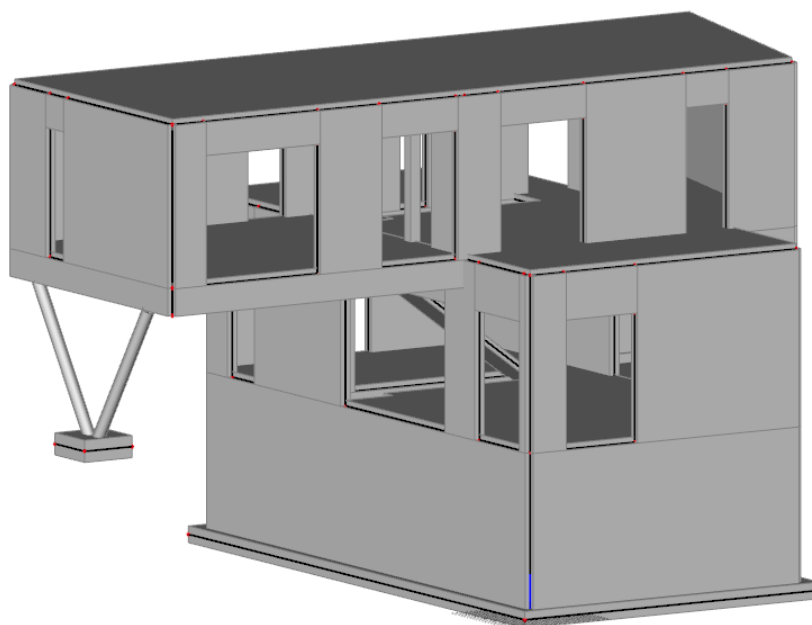
Matična stijena nalazi se na oko 305 cm od površine terena, temeljenje građevine će se izvesti na njoj. Pri završetku iskopa temeljnu plohu potrebno je ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala.

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

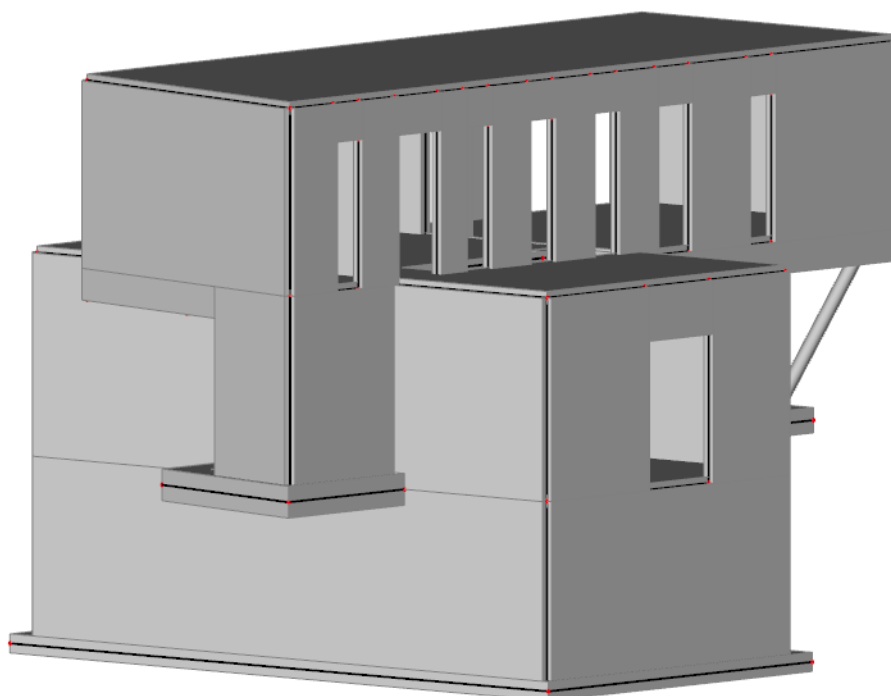
Ukoliko se naiđe na kavernu veće dubine i manje širine, a nije moguće potpuno uklanjanje materijala, sanaciju izvesti tako da se materijal ukloni do dubine 50 cm ispod kote temeljenja, a nastali prostor do projektirane kote zapuni podbetonom.

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

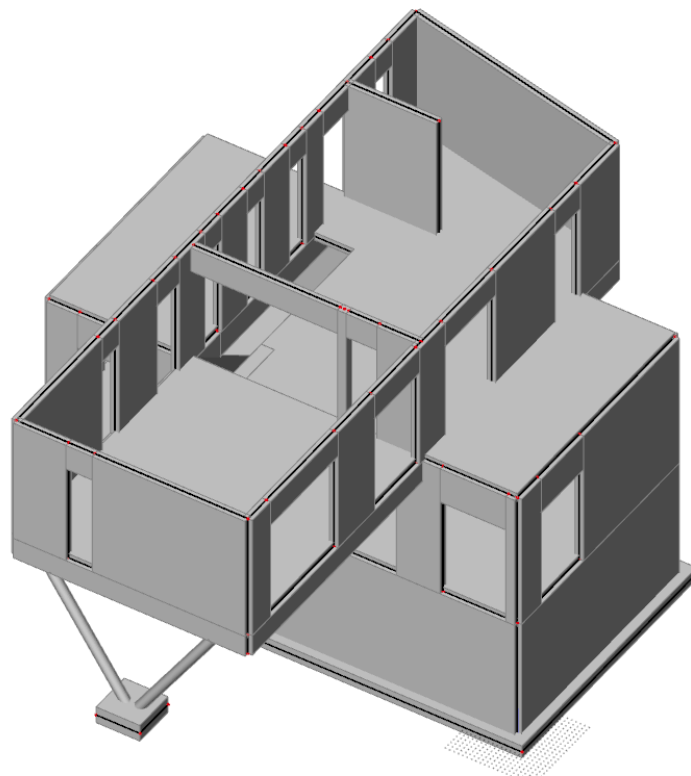
2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



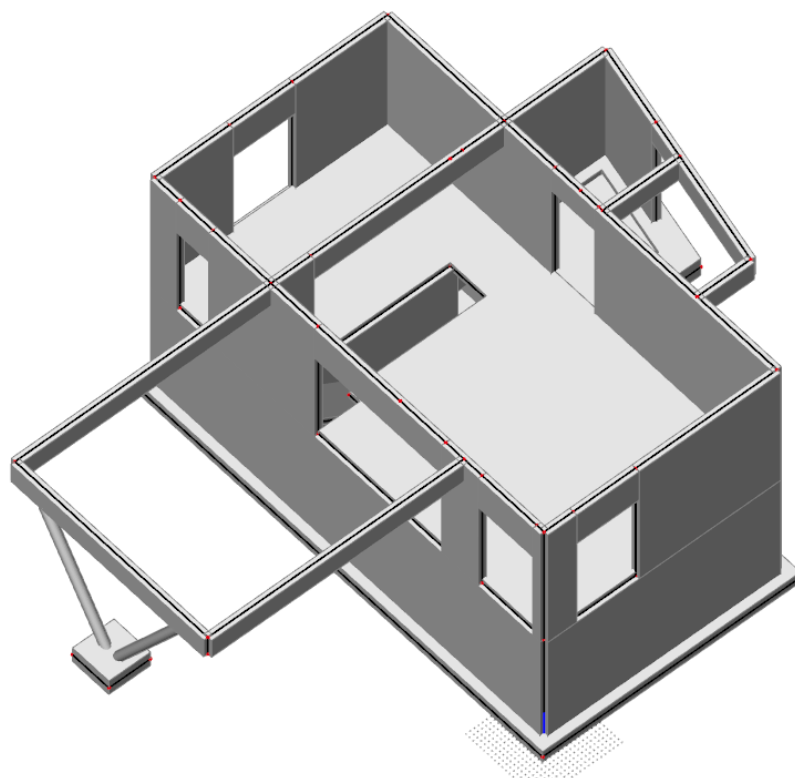
Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled

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
G0	Stalno djelovanje – vlastita težina elemenata nosive konstrukcije
G1	Dodatno stalno djelovanje – ostalo stalno djelovanje; pokrov, obloga, stalna oprema itd.
Qi	Promjenjivo – uporabno djelovanje: uporabno opterećenje, pokretna oprema.

Tablica 3.1 Podaci o osnovnim djelovanjima

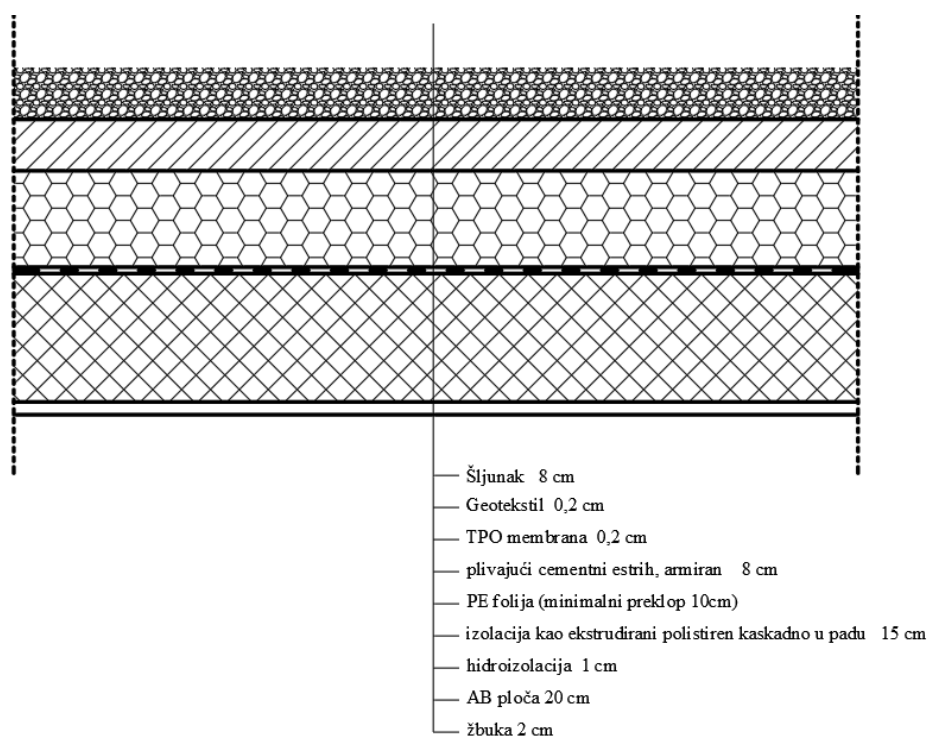
3.2. Stalno opterećenje (G₀)

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

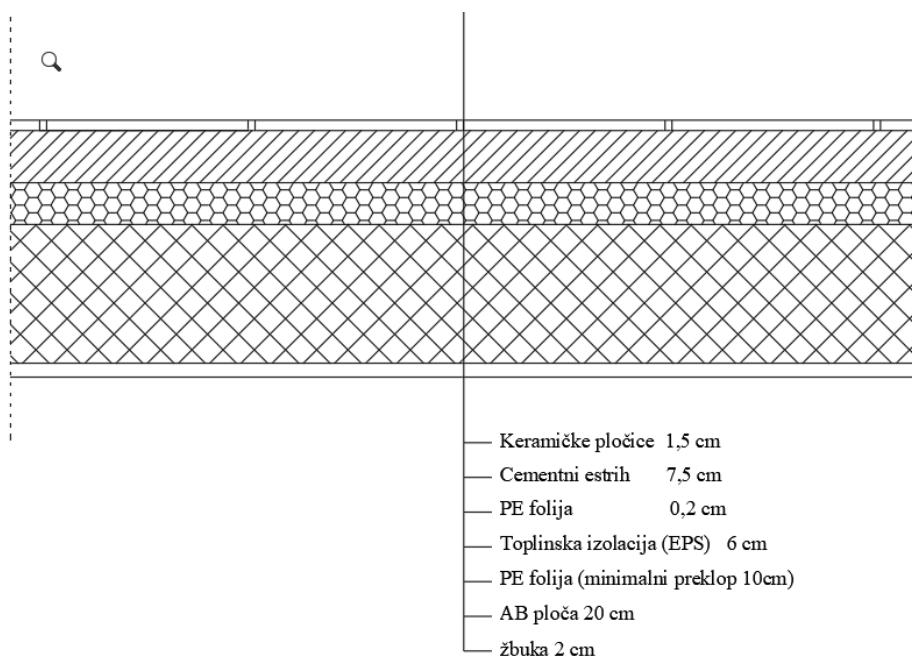


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
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	Uključeno u proračunskom modelu	
Žbuka	0,02	22,0	0,44

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,68$ (kN/m²)

3.2.3. Međukatne ploče

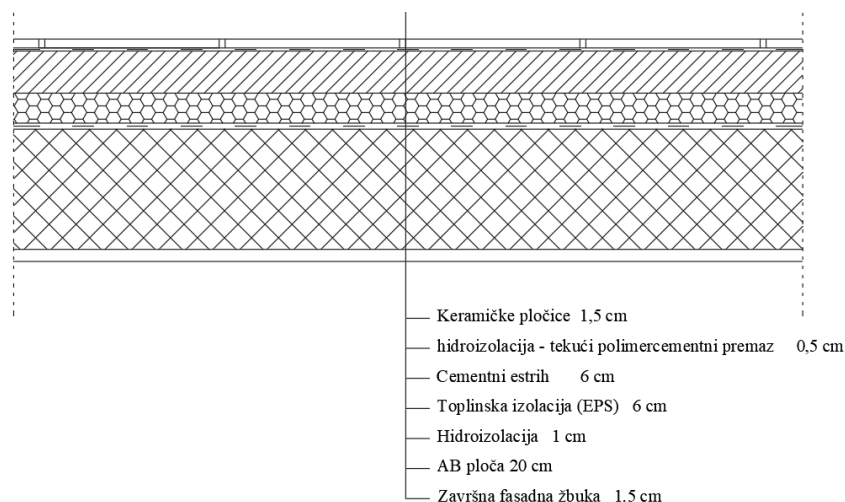


Tablica 3.2.2 Slojevi poda međukatnih konstrukcija

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
Pregradni zidovi			0,5
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	Uključeno u proračunskom modelu	
Žbuka	0,02	21,0	0,42
Instalacije	-	-	0,25

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 3,37$ (kN/m²)

3.2.4. Nenatkrivena terasa



Tablica 3.2.3 Slojevi poda terase

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
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	Uključeno u proračunskom modelu	
Završna fasadna žbuka	0,015	15,00	0,23

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,12$ (kN/m²)

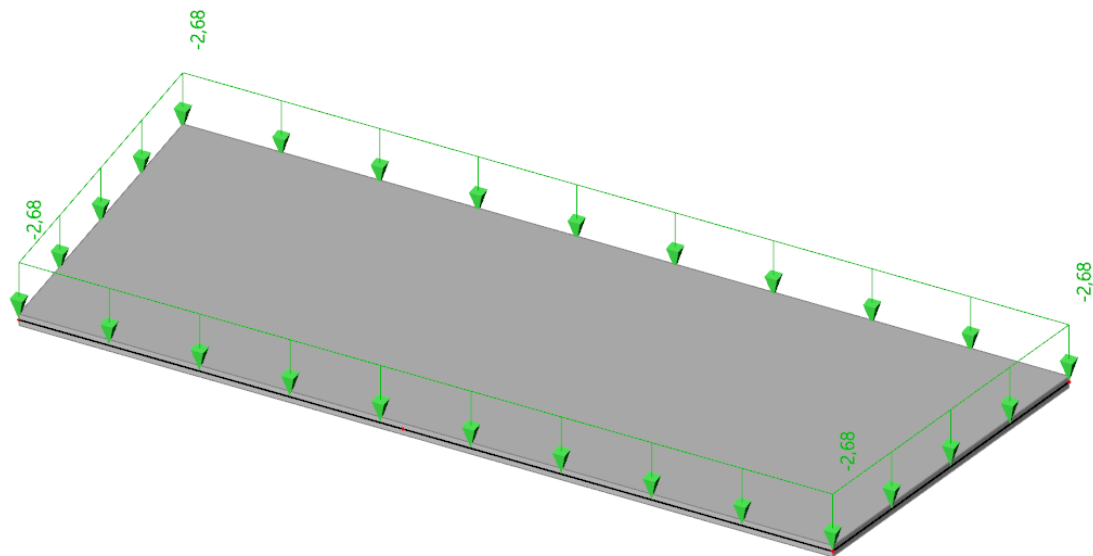
3.3. Promjenjivo opterećenje (Q_i)

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

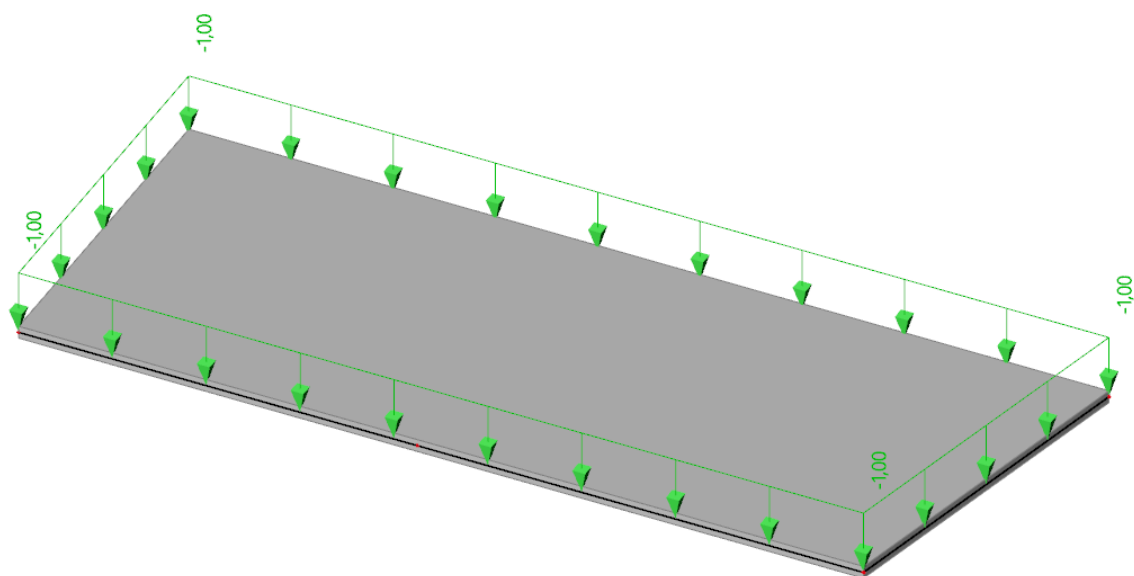
- Ravni krov: $q = 1,0$ kN/m²
- Uobičajne prostorije: $q = 2,0$ kN/m²
- Stubišta: $q = 3,0$ kN/m²
- Balkoni i lođe: $q = 4,0$ kN/m

4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

4.1. Krovna ploča

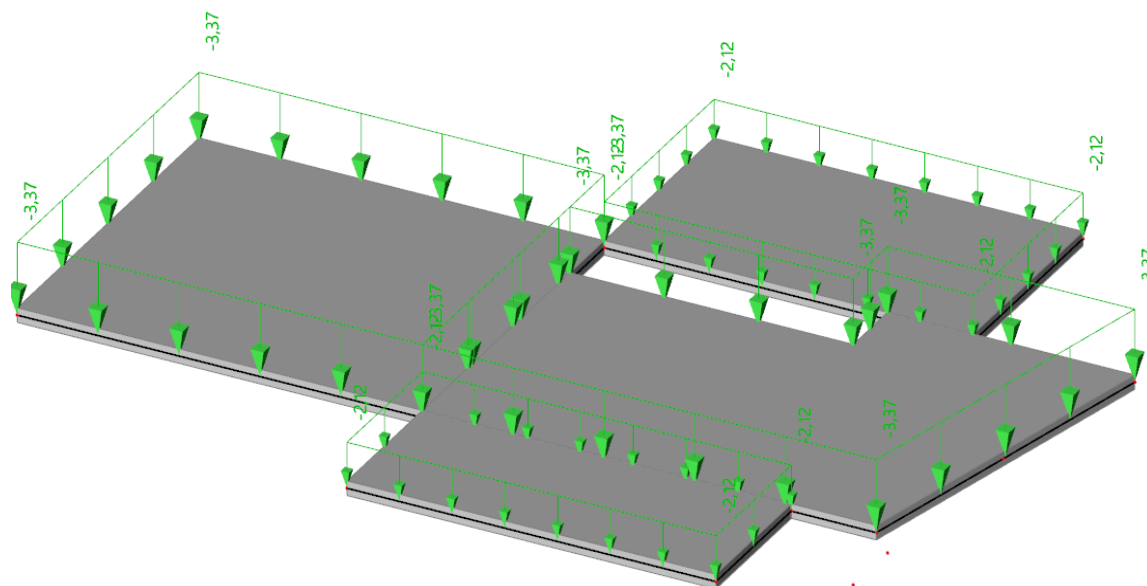


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje $G1$ [kN/m^2]

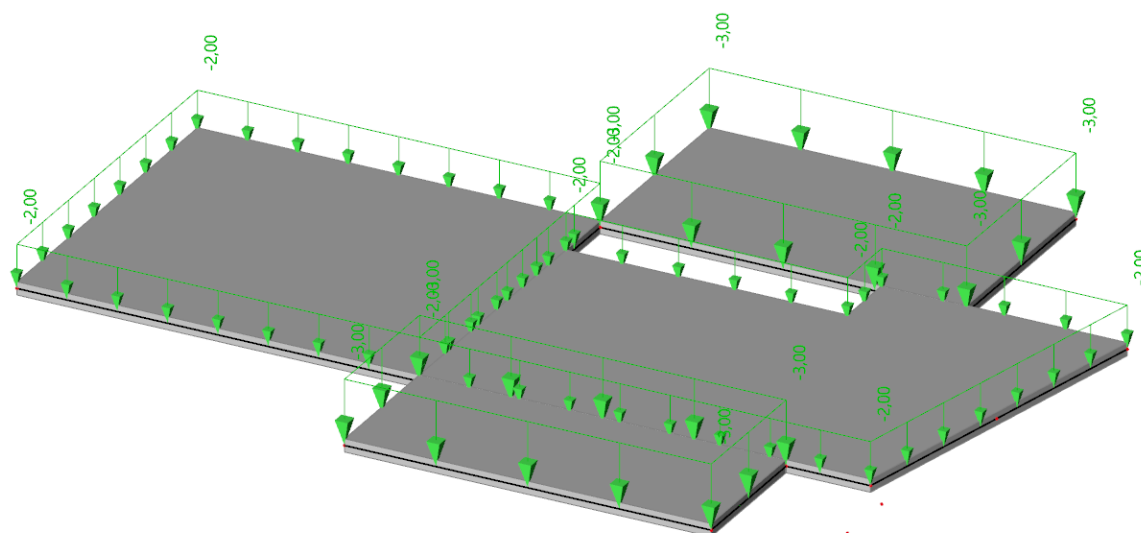


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje Q [kN/m^2]

4.2. Međukatna ploča I kata

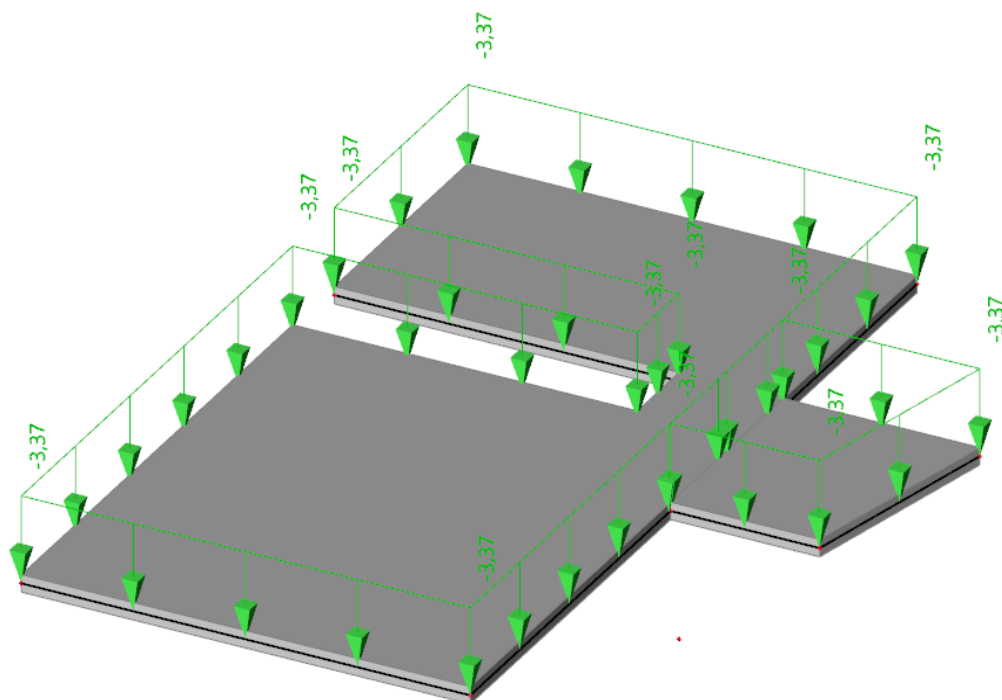


Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje G_1 [kN/m^2]

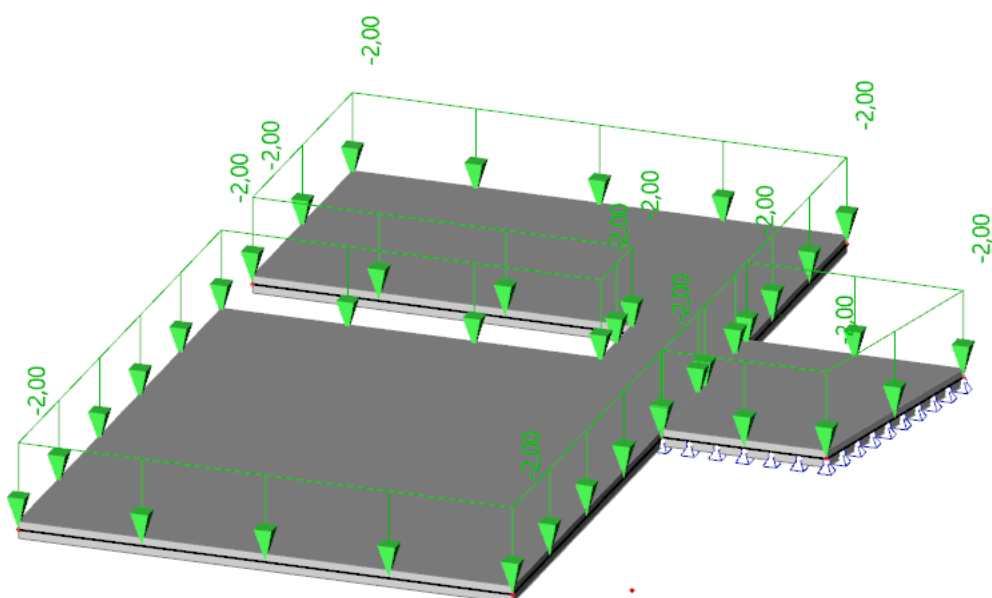


Slika 4.2.2 Promjenjivo djelovanje Q [kN/m^2]

4.3. Međukatna ploča podruma



Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje G_1 [kN/m²]



Slika 4.2.2 Promjenjivo djelovanje Q [kN/m²]

5. KOMBINACIJE DJELOVANJA

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

- **Granično stanje nosivosti**

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

**vlastita težina je uračunata u programu SCIA Engineer*

Q – uporabno djelovanje

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

**vlastita težina je uračunata u programu SCIA Engineer*

Q – uporabno djelovanje

- **Granično stanje uporabljivosti**

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

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

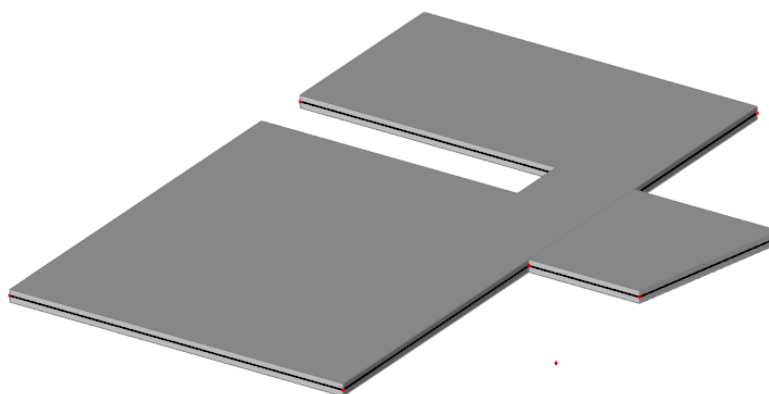
$$\text{GSU-2 (nazovistalna kombinacija) } 1.0 \cdot G + \Psi_{2i} \cdot Q_2$$

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

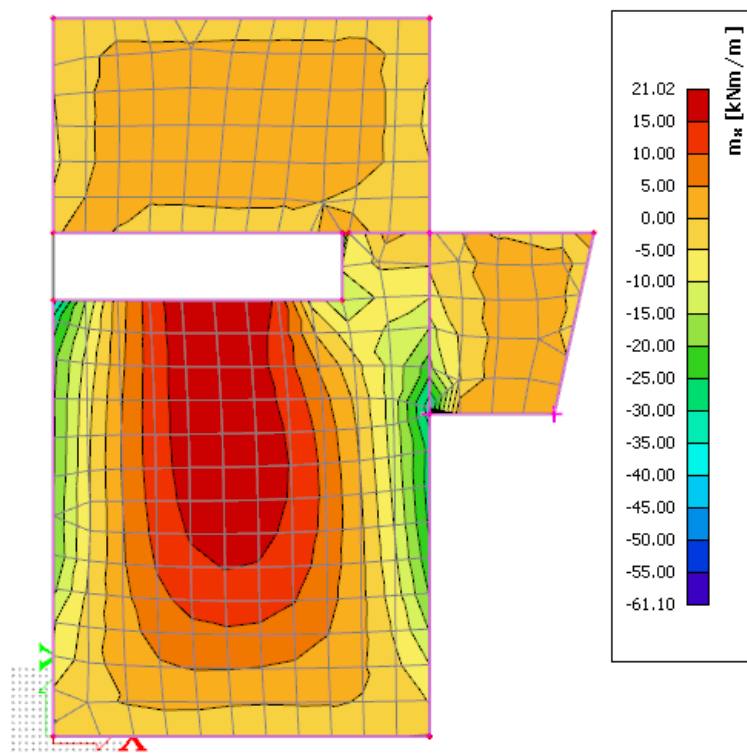
6. PRORAČUN PLOČA

6.1. Proračun ploče podruma

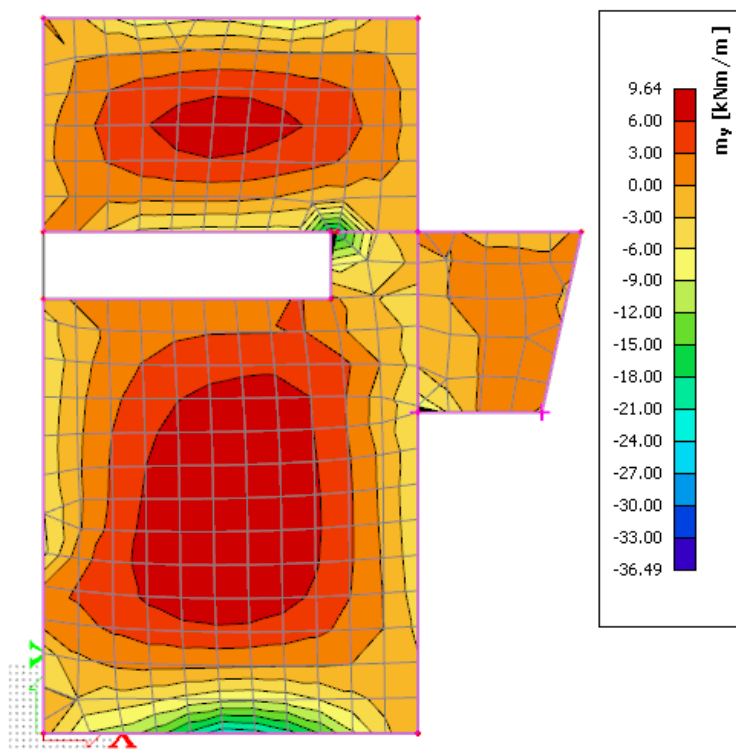
6.1.1. Prikaz modela i rezultata ploče podruma



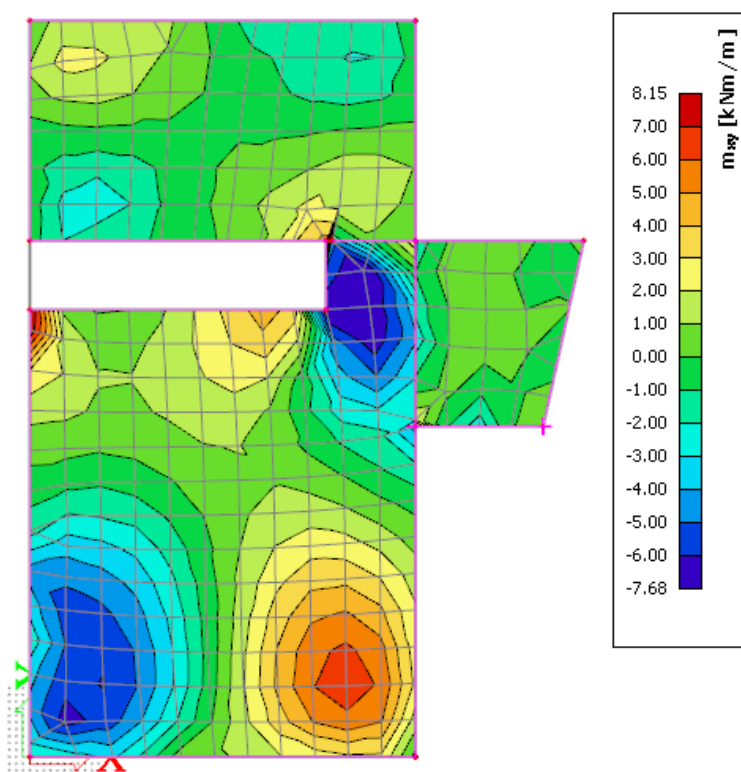
Slika 6.1 Prikaz modela



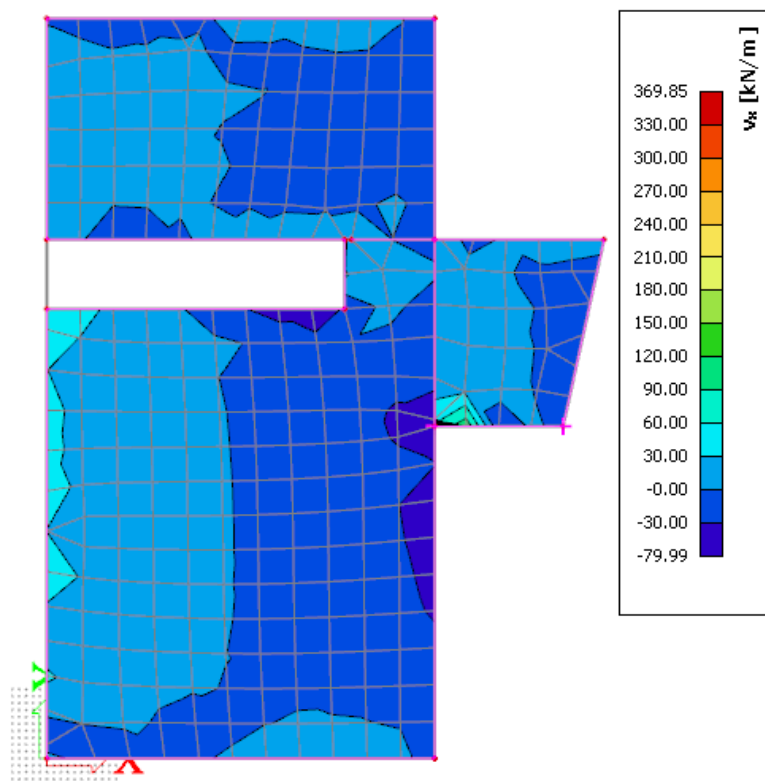
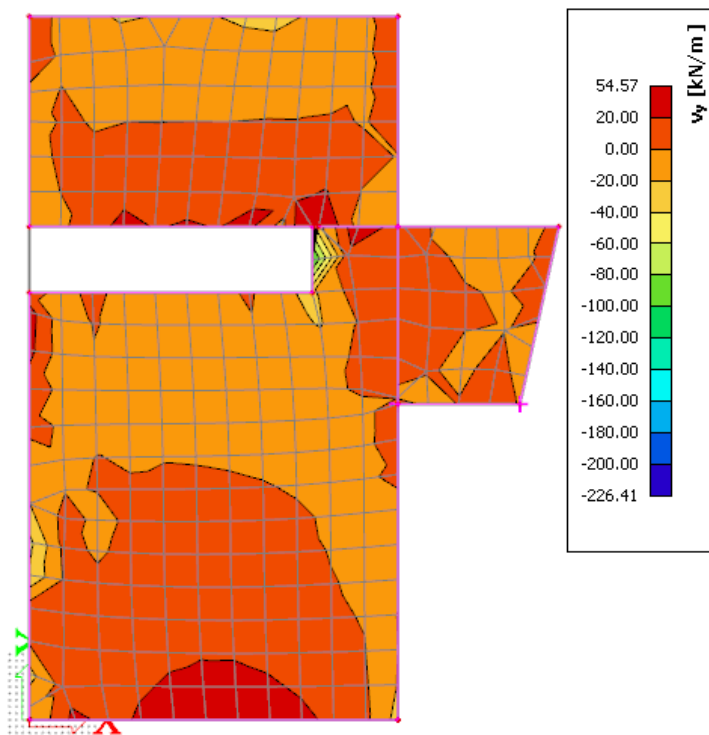
Slika 6.2 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSN-1



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



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

Slika 6.5 Poprečne sile $V_{Ed,x}$ (kN/m) za GSN-1Slika 6.6 Poprečne sile $V_{Ed,y}$ (kN/m) za GSN

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 108,1 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

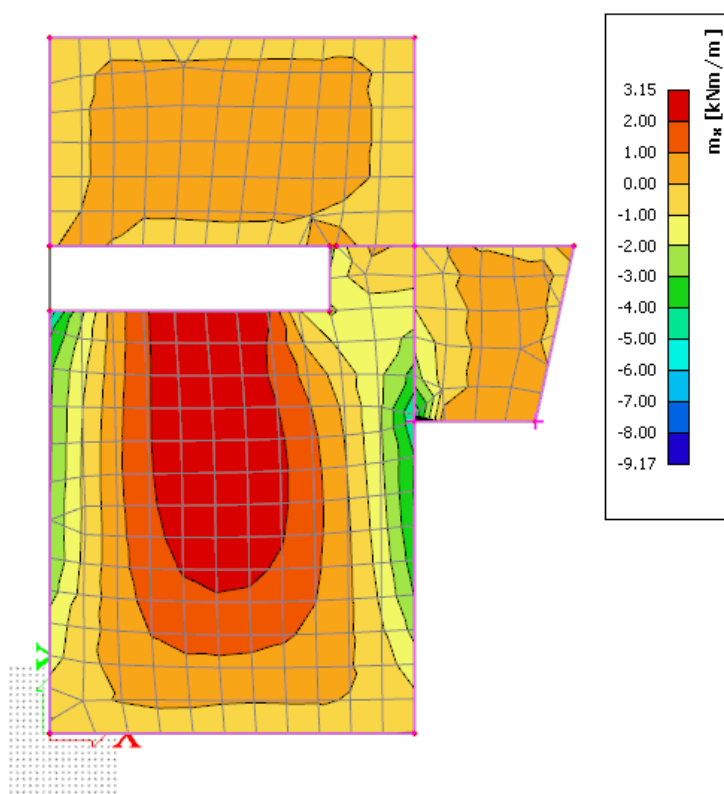
$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 17 = 2.55 \text{ cm}^2 / m$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{17}{500} = 2,04 \text{ cm}^2 / m$$

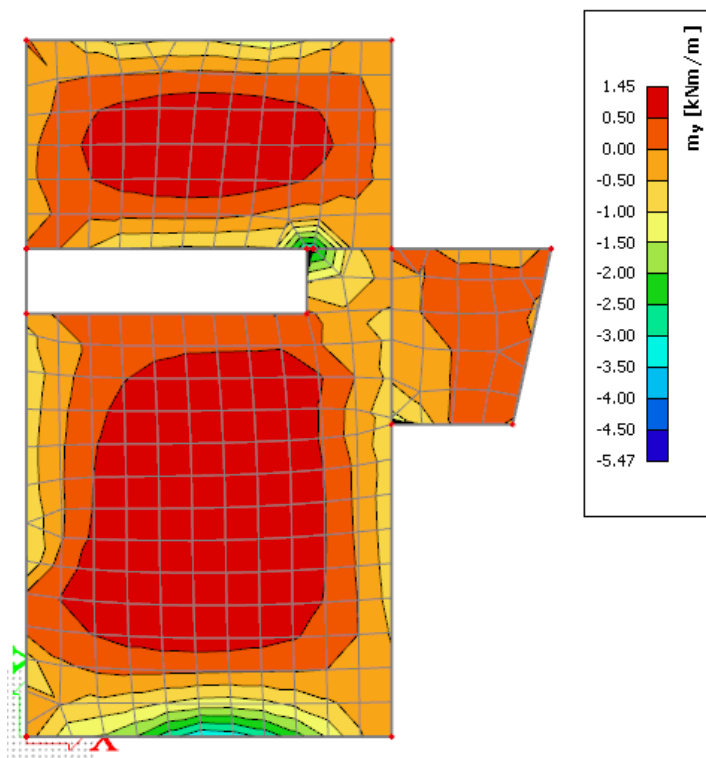
$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 17 \cdot \frac{20}{434.80} = 24,24 \text{ cm}^2 / m$$

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

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



Slika 6.7 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u x smjeru



Slika 6.8 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u y smjeru

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

Potrebna armatura na ležaju u smjeru x: $A_s = 4 \times 0.85 = 3.4 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura na ležaju u smjeru y: $A_s = 2.5 \times 0.85 = 2.13 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju: $A_s = 3.15 \times 1.30 = 4.1 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Odabrana armatura

Ležaj u smjeru x: Q-385 ($3.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

Ležaj u smjeru y: Q-283 ($2.83 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

Polje: Q-424 ($4.24 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{4,24}{17 \cdot 100} = 0.0025$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0025 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 79.86 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

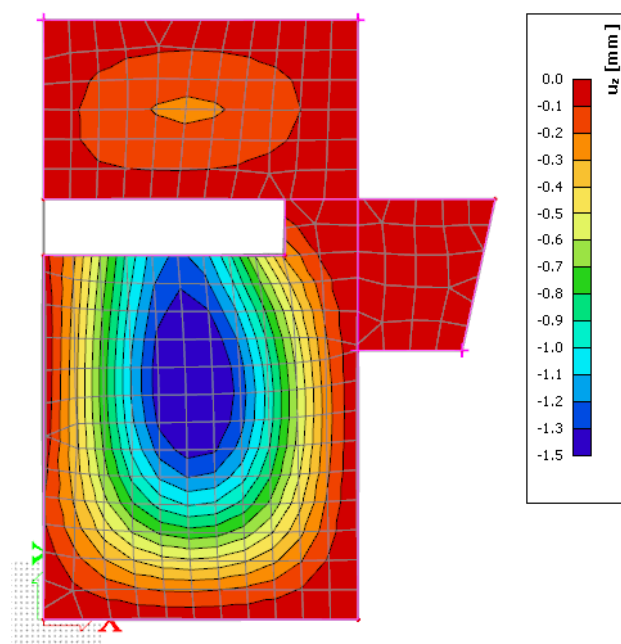
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.542$$

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

$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 170 = 92,14 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

6.1.2. Kontrola progiba



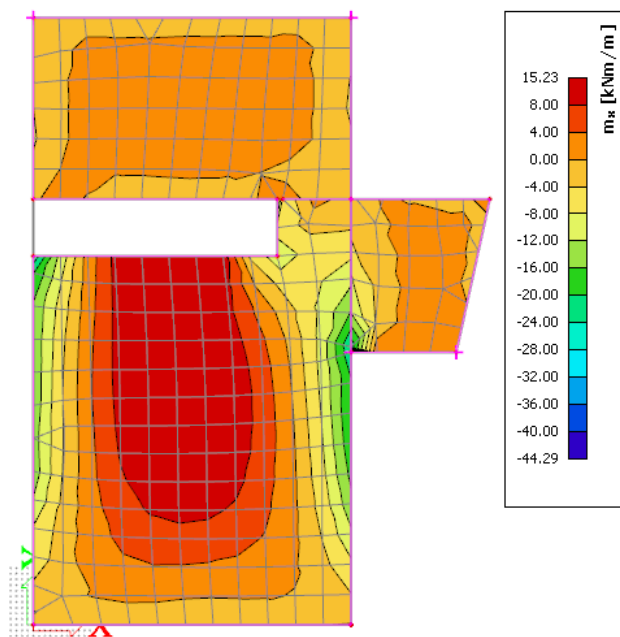
Slika 6.9 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 1.5 mm.

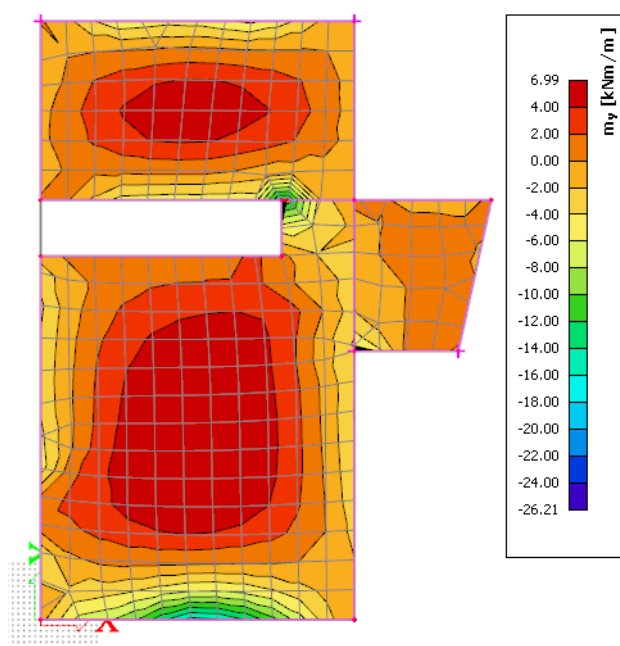
Dozvoljen progib $L/1000 = 5800/1000 = 5.80 \text{ mm}$

Krovna ploča zadovoljava na progibe.

6.1.3. Kontrola pukotina



Slika 6.10 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSU-1



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

Mjerodavni moment $M = 15,23 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.06 \cdot 4.24}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.06 \cdot 4.24}} \right) = 2.71 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1523}{\left(17 - \frac{2.71}{3}\right) \cdot 4.24} = 22.32 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 223.15 \text{ MPa}$$

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

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

$E_{cm} = 33.0 \text{ GPa} = 33\,000 \text{ MPa}$ – 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:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{4.24}{100 \cdot (20 - 2.71)/3} = 0.0074$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{223.15 - 0.4 \frac{2.9}{0.0074} (1 + 6.06 \cdot 0.0074)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{223.15}{200000}$$

$$0.000029 \leq 0.00067$$

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

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 9.0 \text{ mm}$$

$c = 30 \text{ mm}$ – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{9}{0.0074} = 308.76 \text{ mm}$$

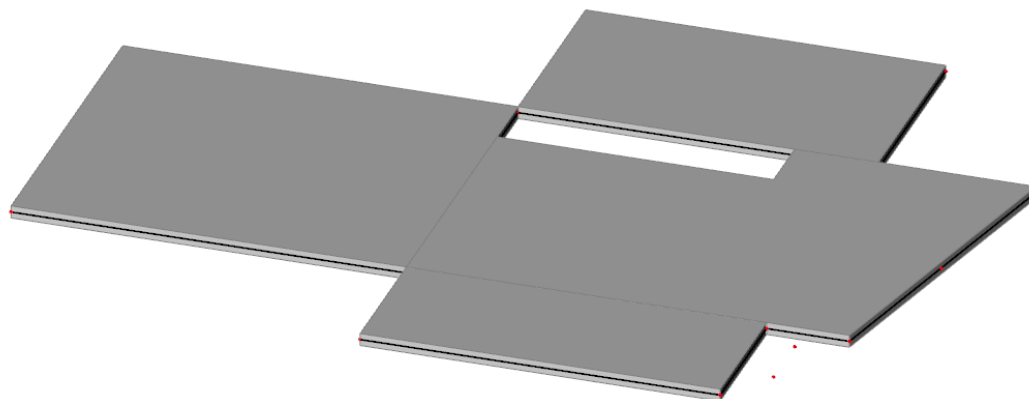
Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 308.76 \cdot 0.00067 = 0.207 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

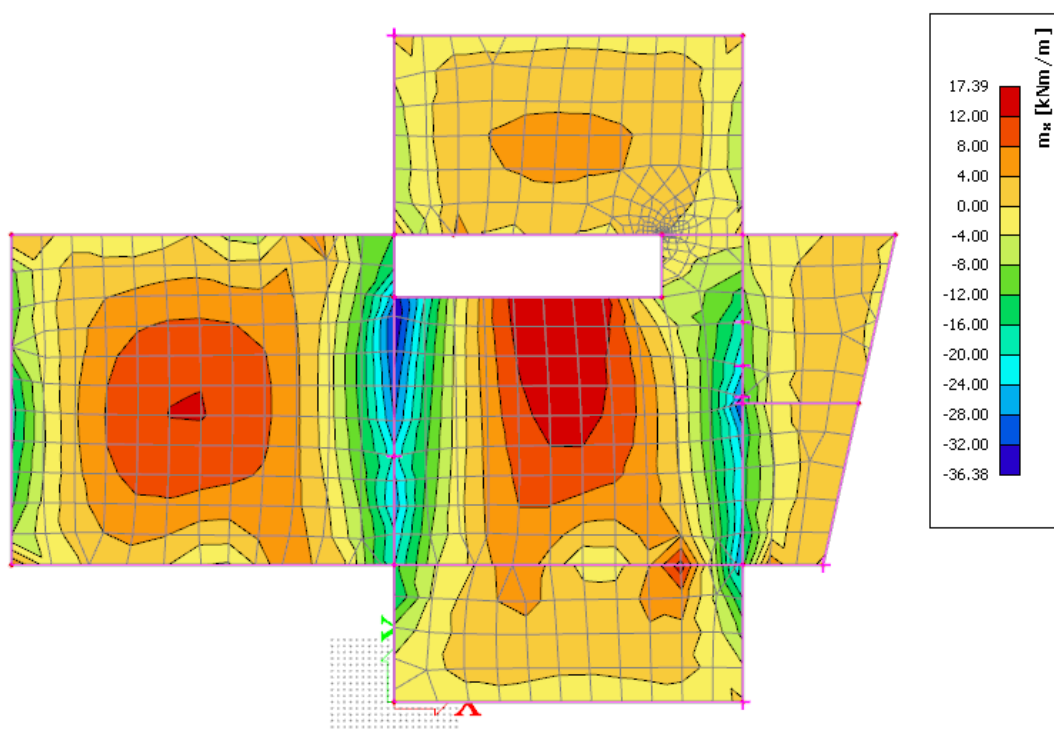
Pukotine zadovoljavaju!

6.2. Proračun međukatne ploče prizemlja

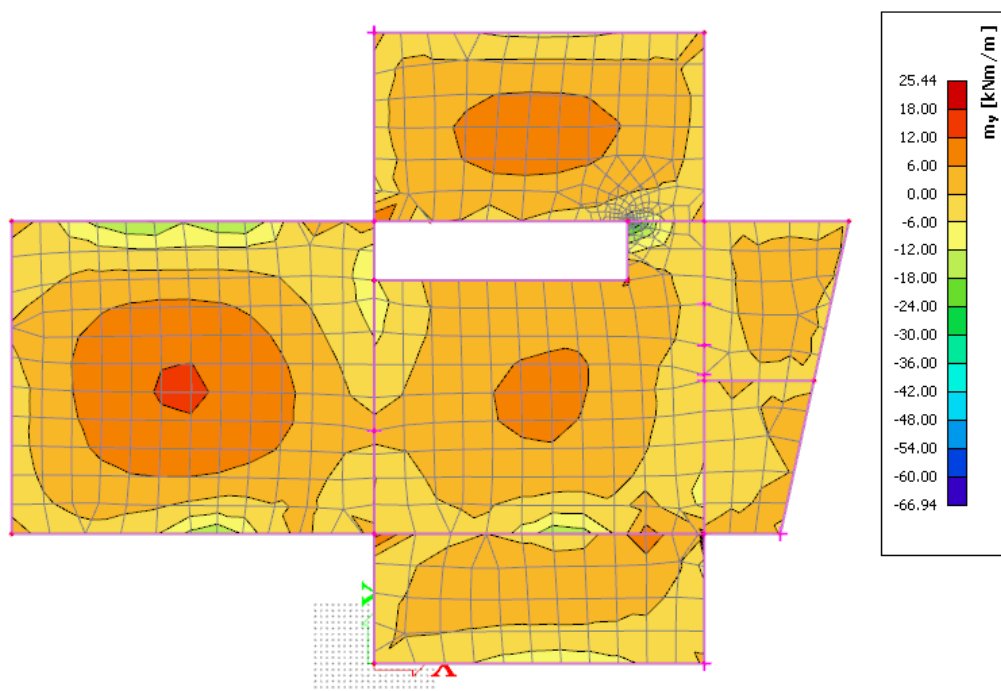
6.2.1. Prikaz modela i rezultata ploče prizemlja



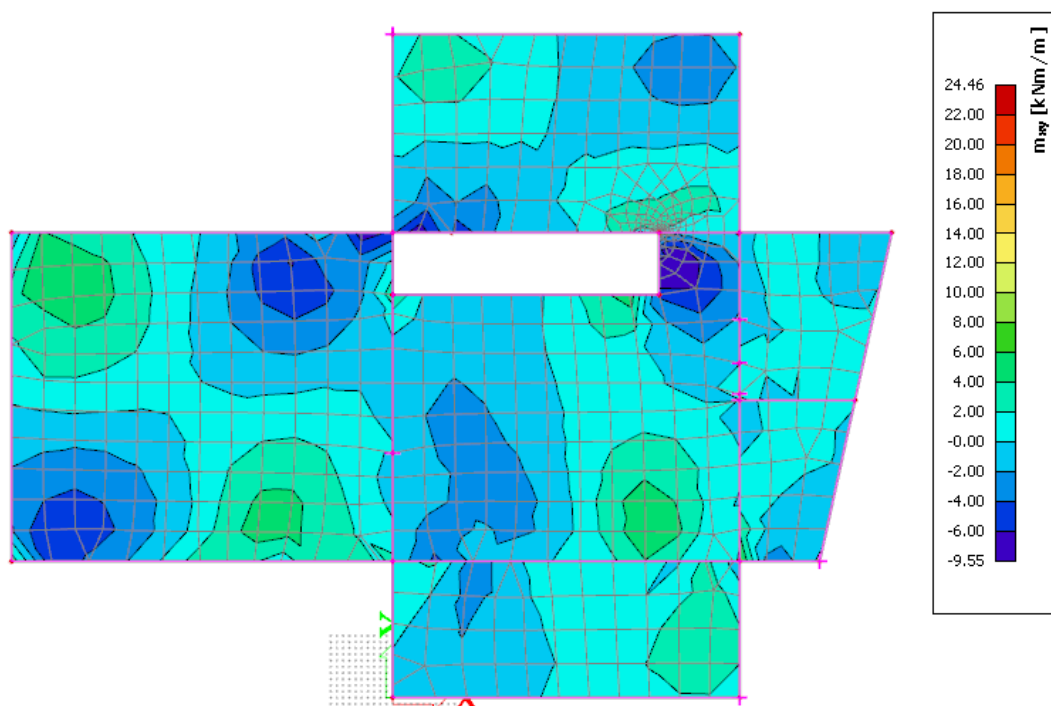
Slika 6.12 Prikaz modela ploče



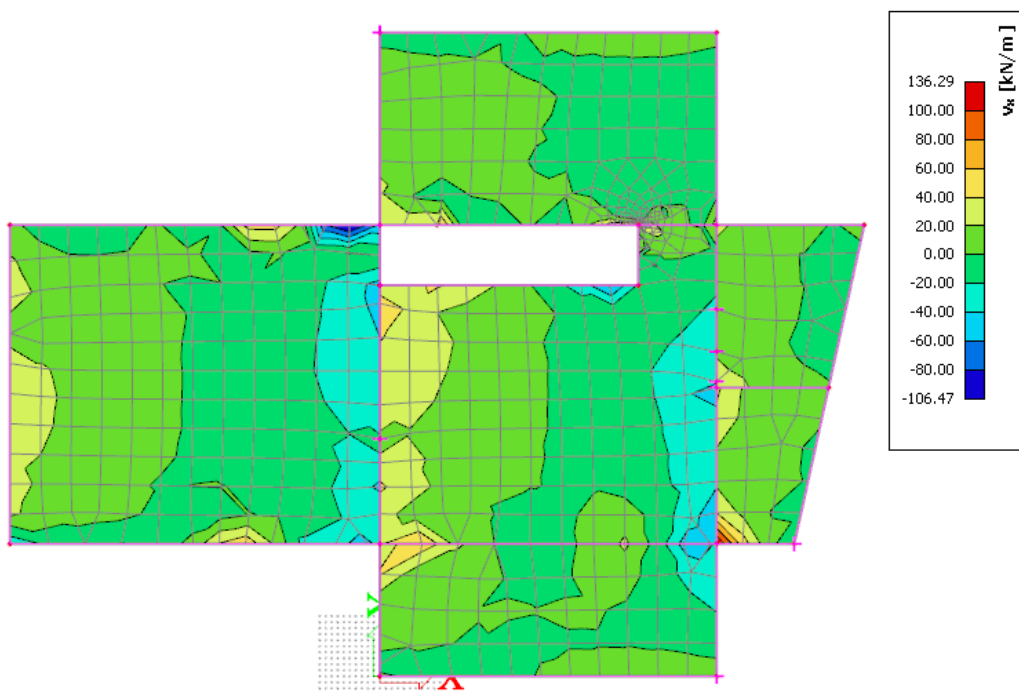
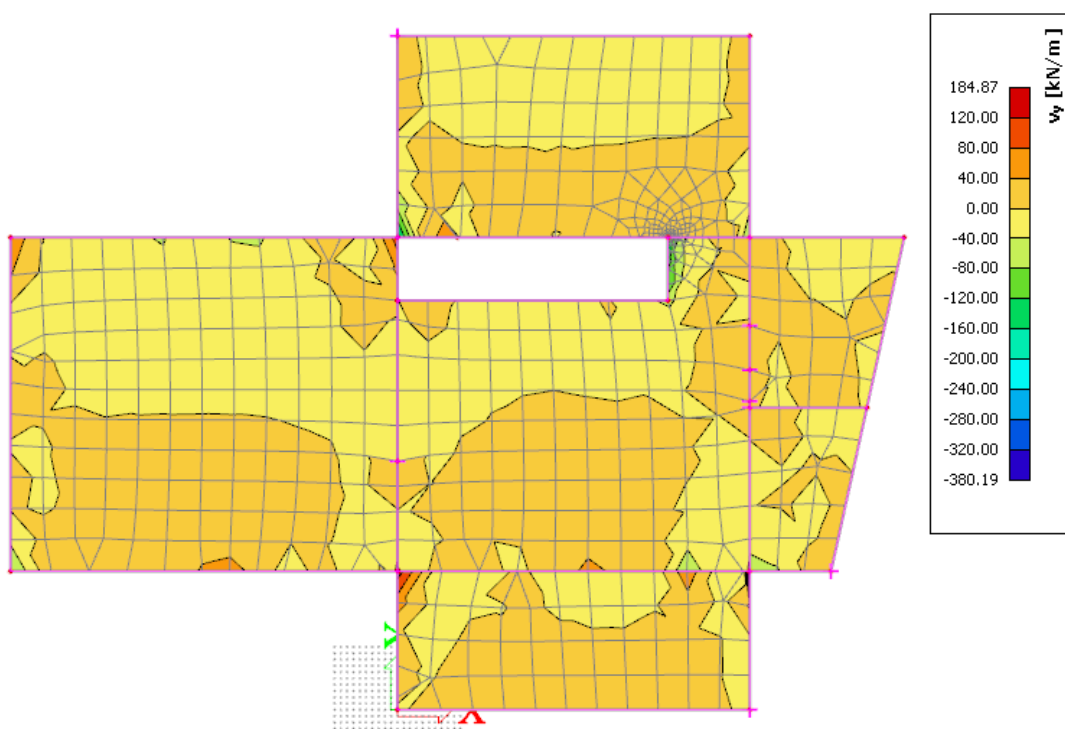
Slika 6.13 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSN-1



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



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

Slika 6.16 Poprečne sile $V_{Ed,x}$ (kN/m) za GSN-1Slika 6.17 Poprečne sile $V_{Ed,y}$ (kN/m) za GSN-1

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 108,1 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

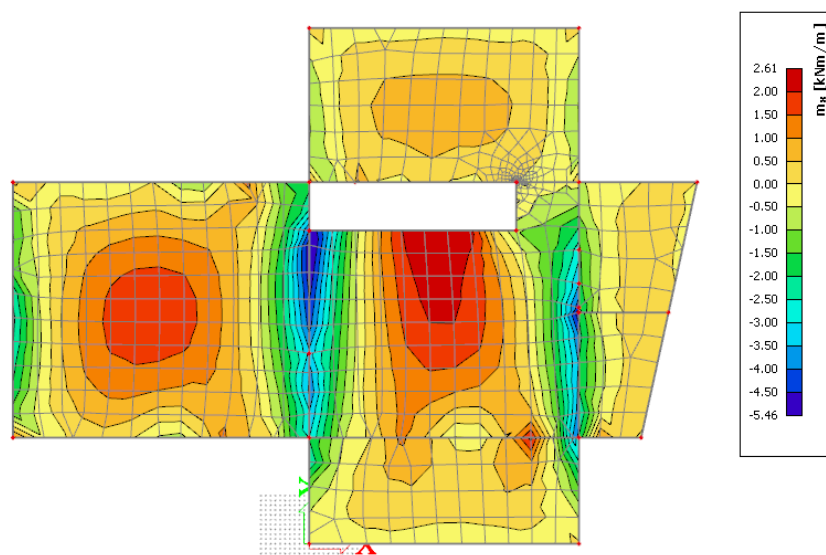
$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 17 = 2.55 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{17}{500} = 2,04 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

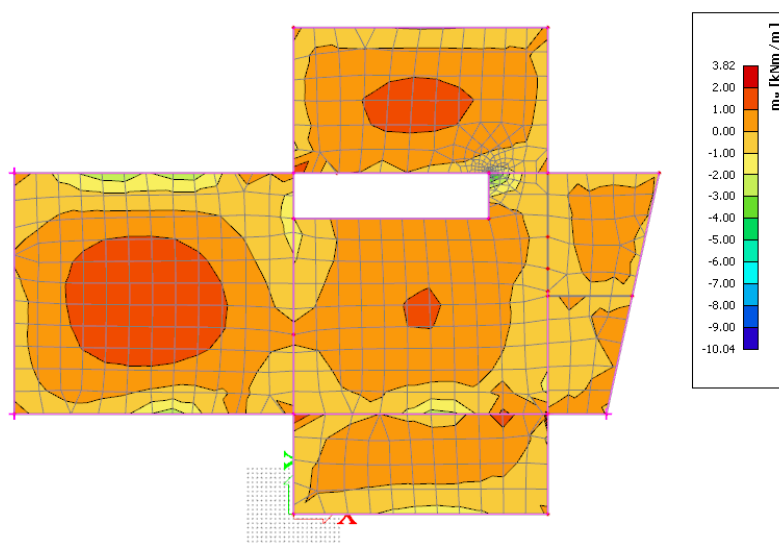
$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 17 \cdot \frac{20}{434.80} = 24,24 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

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

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



Slika 6.18 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u x smjeru



Slika 6.19 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 u smjeru x: $A_s = 5 \times 0.85 = 4,25 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura na ležaju u smjeru y: $A_s = 4 \times 0.85 = 3,4 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju: $A_s = 3.82 \times 1.30 = 4.966 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Odabrana armatura

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

Ležaj u smjeru y: Q-385 ($3.85 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

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

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{5,03}{17 \cdot 100} = 0.0029$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0029 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 85,80 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

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

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

$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 170 = 92,14 \text{ kN/m}$$

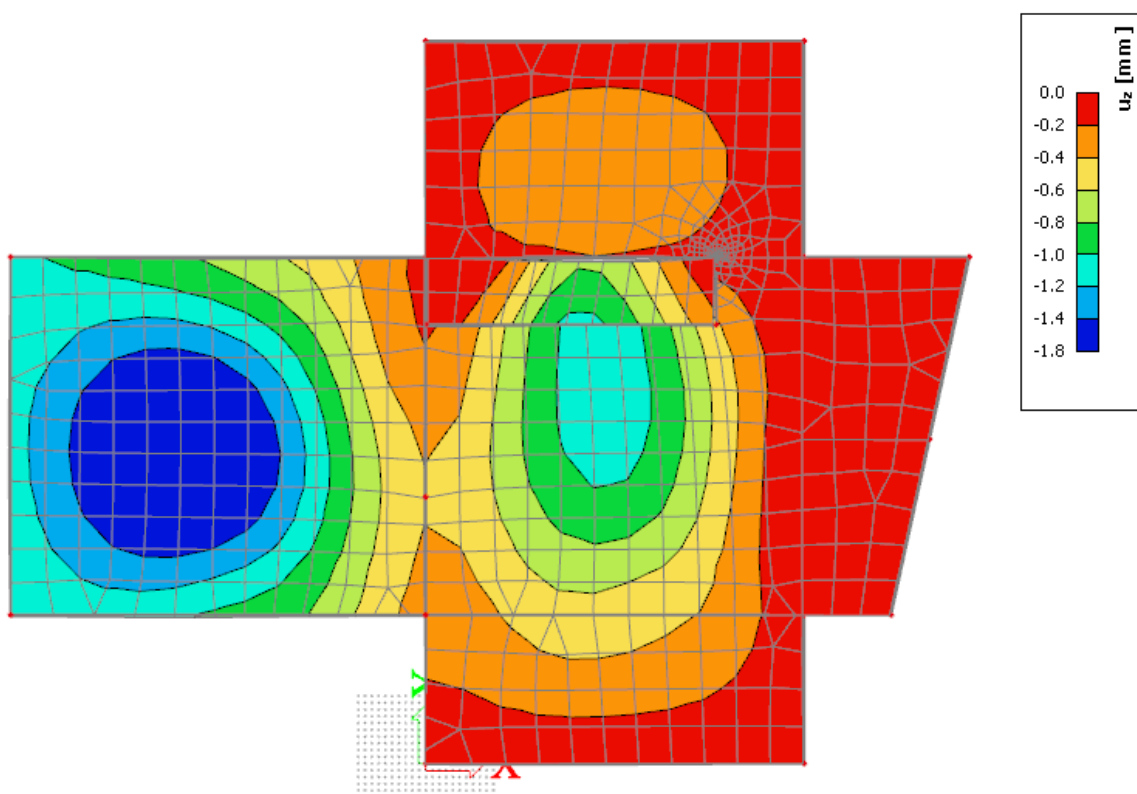
Uvjet je zadovoljen.

6.2.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče

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

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

6.2.3. Kontrola progiba međukatne ploče



Slika 6.20 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 1.8 mm.

Dozvoljen progib $L/1000 = 5500/1000 = 5.5$ mm

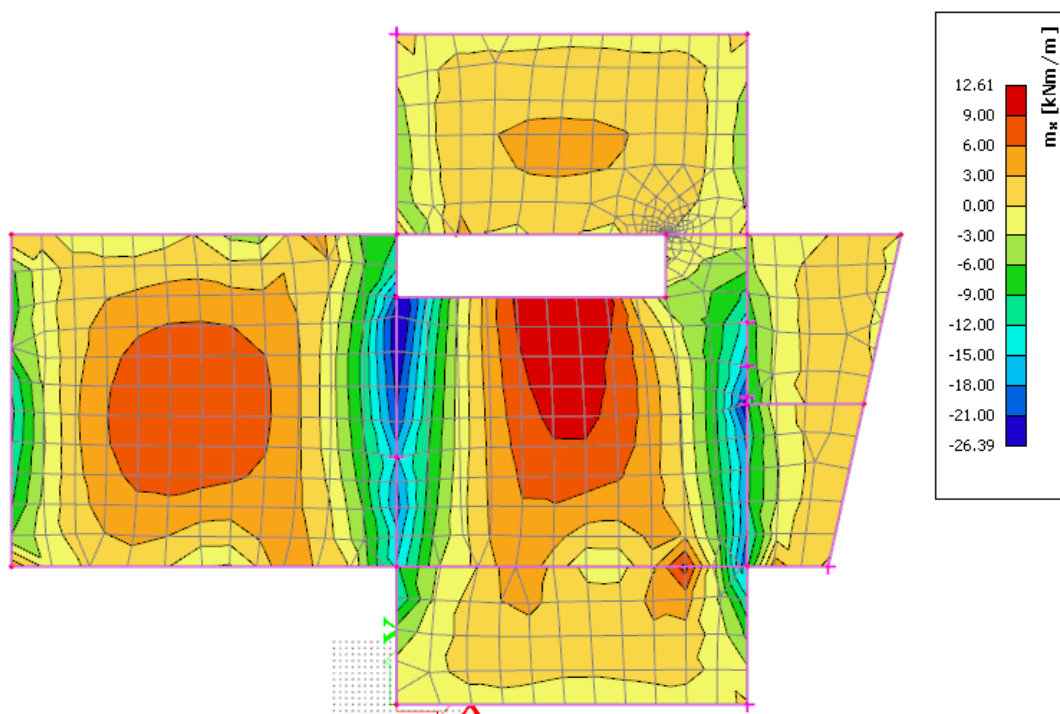
Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

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

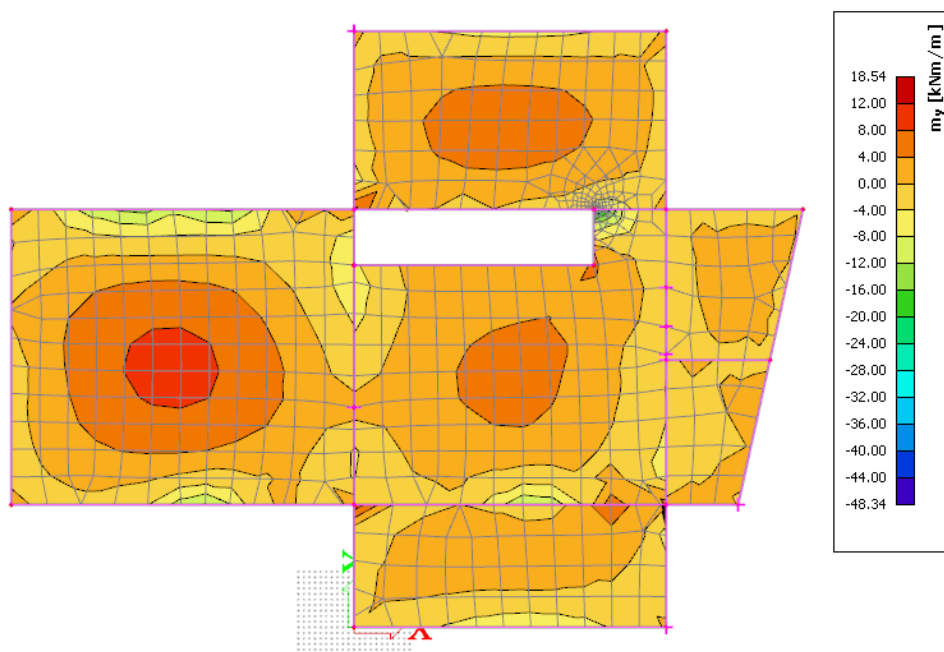
Kod 3-D modela koji su modelirani sa realnim karakteristikama tla bilo bi poželjno napraviti poseban model ploče karakteristične etaže.

6.2.4. Kontrola pukotina

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



Slika 6.21 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.22 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment $M = 18.54 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.06 \cdot 5.03}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.06 \cdot 5.03}} \right) = 2.93 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1854}{\left(17 - \frac{2.93}{3}\right) \cdot 5.03} = 23.00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 230.03 \text{ MPa}$$

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

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

$E_{cm} = 33.0 \text{ GPa} = 33\,000 \text{ MPa}$ – modul elastičnosti betona (C 30/37)

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{5.03}{100 \cdot (20 - 2.93)/3} = 0.0088$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{230.03 - 0.4 \frac{2.9}{0.0088} (1 + 6.06 \cdot 0.0088)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{230.03}{200000}$$

$$0.000046 \leq 0.00069$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00069$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 8.0 \text{ mm}$$

$c = 30 \text{ mm}$ – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{8}{0.0088} = 256,55 \text{ mm}$$

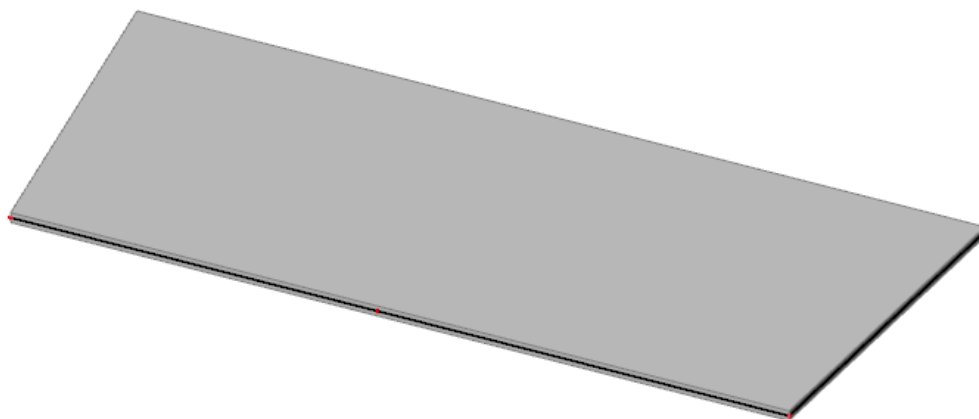
Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 256.55 \cdot 0.00069 = 0.177 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

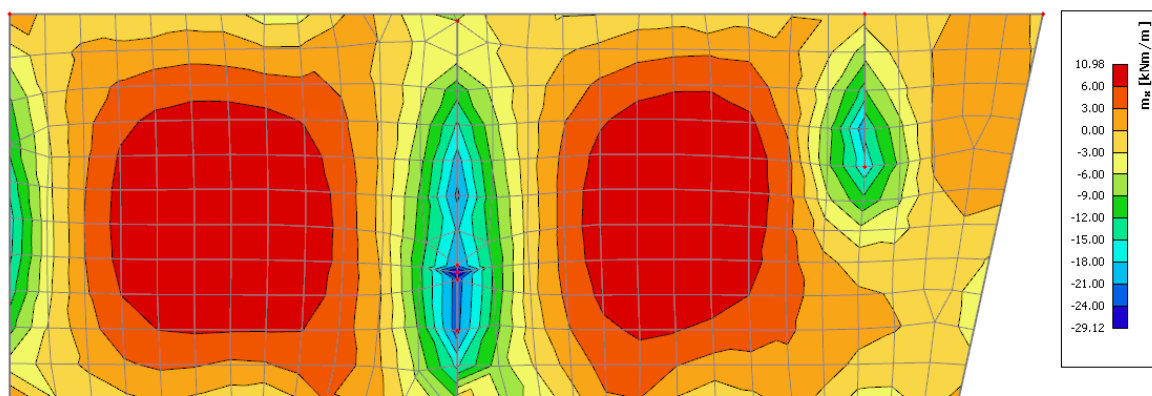
Pukotine zadovoljavaju!

6.3. Proračun krovne ploče

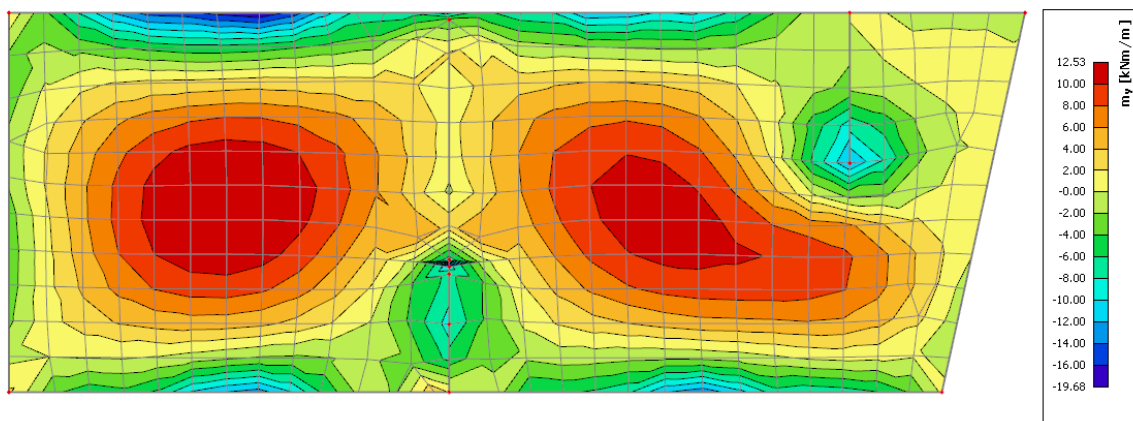
6.3.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče



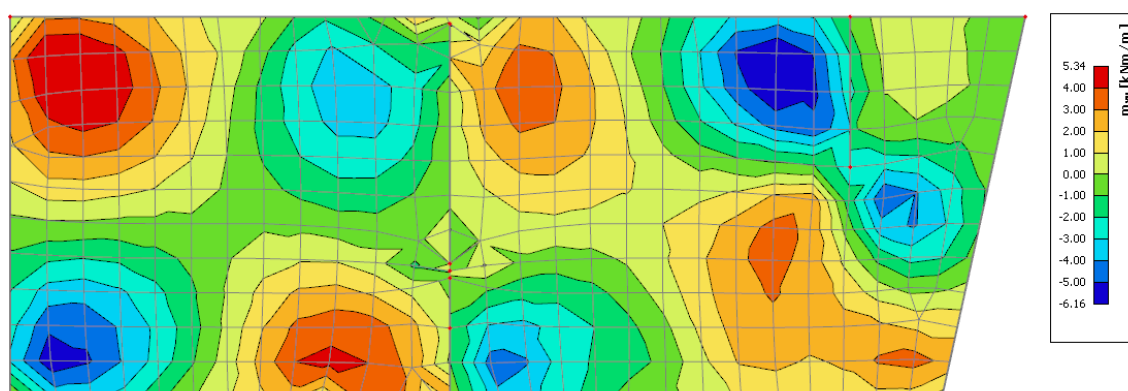
Slika 6.23 Prikaz modela



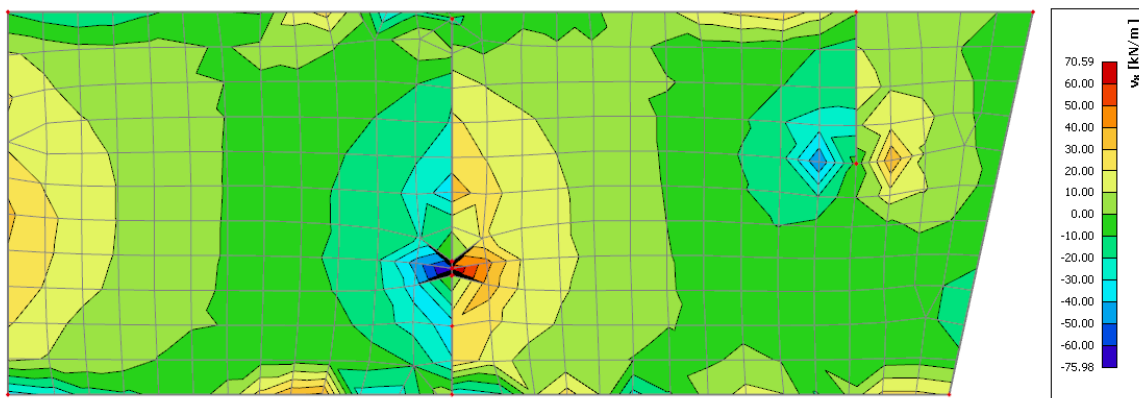
Slika 6.24 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSN-1



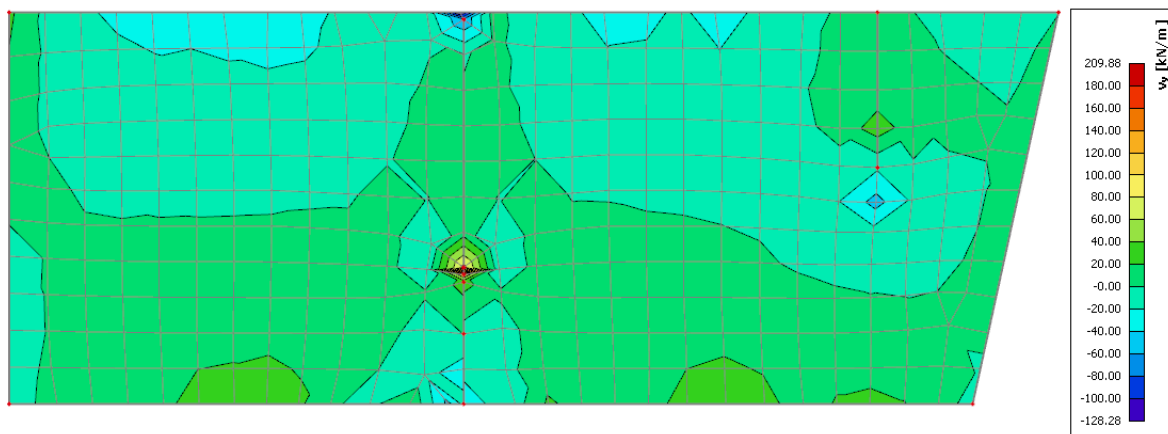
Slika 6.25 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSN-1



Slika 6.26 Moment savijanja $M_{Ed,xy}$ (kNm/m) za GSN-1



Slika 6.27 Poprečne sile $V_{Ed,x}$ (kN/m) za GSN-1

Slika 6.28 Poprečne sile $V_{Ed,y}$ (kN/m) za GSN

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 1.0 \cdot 0.17^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 108,1 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura:

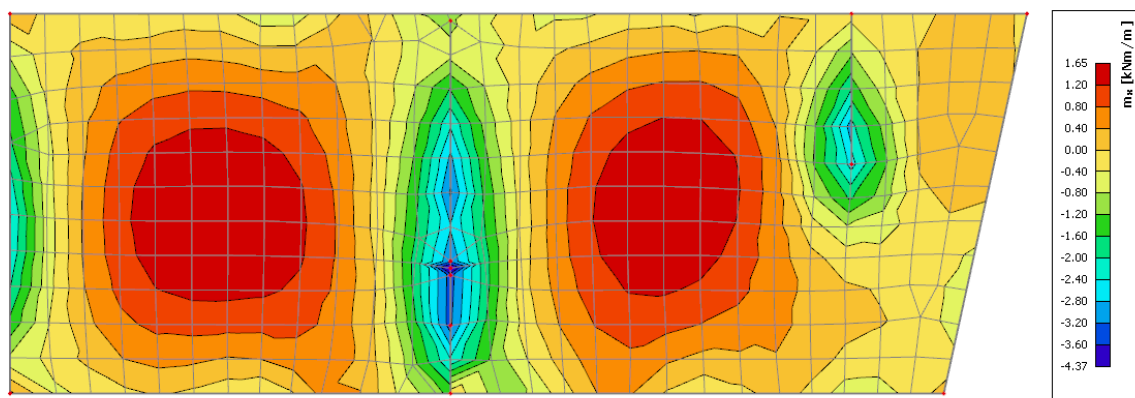
$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 17 = 2.55 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

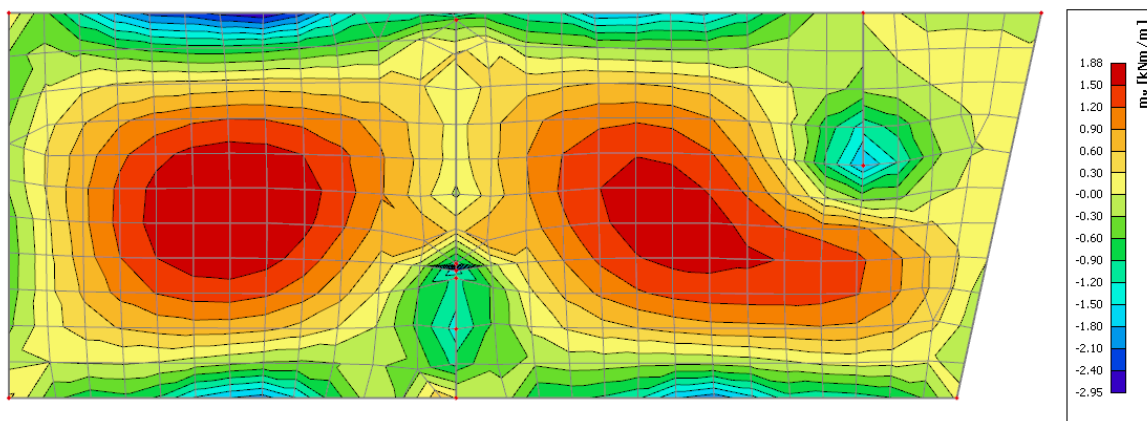
$$A_{s,min} = 0.06 \cdot b \cdot \frac{d}{f_{yk}} = 0.06 \cdot 100 \cdot \frac{17}{500} = 2,04 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 100 \cdot 17 \cdot \frac{20}{434.80} = 24,24 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

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

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

Slika 6.29 Potrebna površina armature A_s (cm²/m) u x smjeru



Slika 6.30 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 u smjeru x: $A_s = 3 \times 0.85 = 2.55 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju: $A_s = 1.88 \times 1.30 = 2.44 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Odabrana armatura

Ležaj u smjeru x: Q-283 ($2.83 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

Polje: Q-257 ($2.57 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{2.57}{17 \cdot 100} = 0.0015$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0015 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 170$$

$$V_{Rd,c} = 67.36 \text{ kN/m}$$

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

$$k = 0.15$$

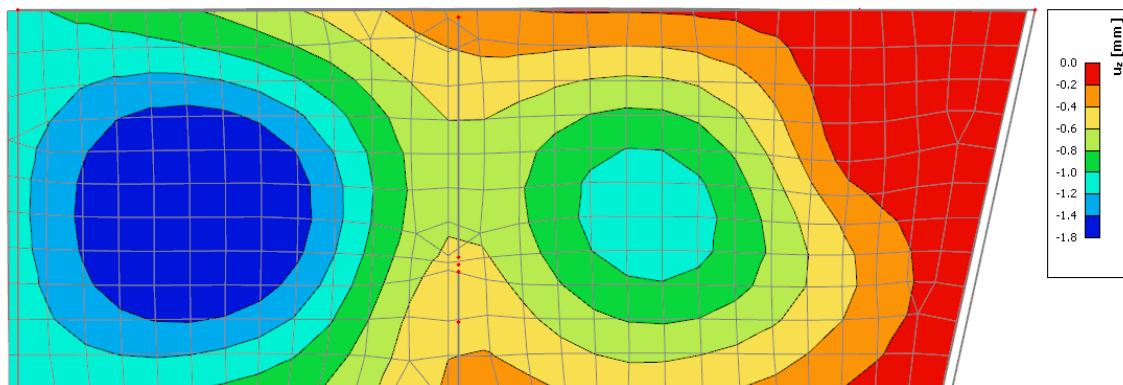
$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.542$$

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

$$V_{Rd,c,min} = 0.542 \cdot 1000 \cdot 170 = 92,14 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

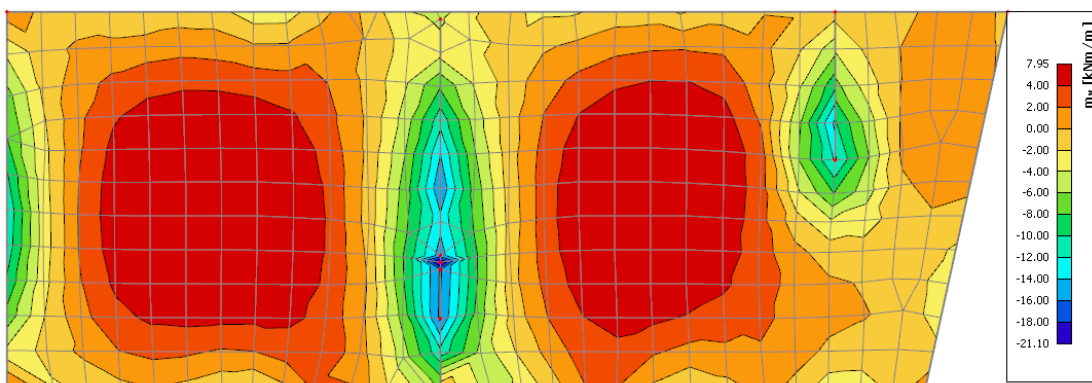
6.3.2. Kontrola progiba



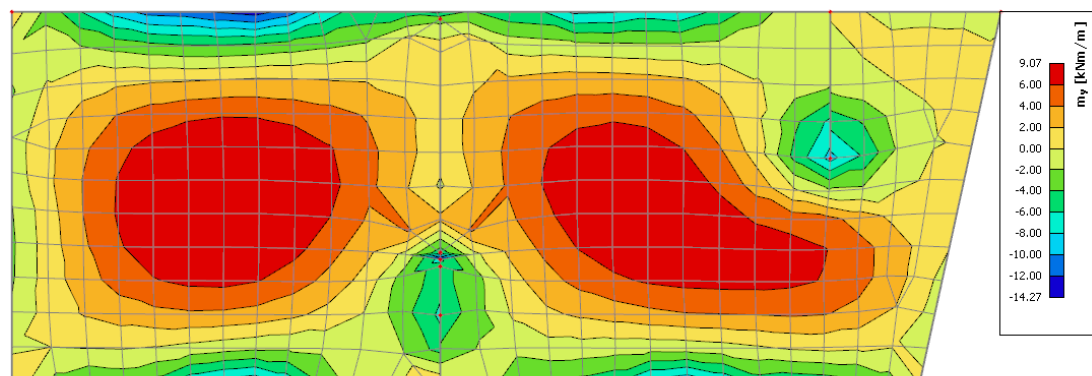
Slika 6.31 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 1.8 mm.
 Dozvoljen progib $L/1000 = 5500/1000 = 5.50$ mm
 Krovna ploča zadovoljava na progibe.

6.3.3. Kontrola pukotina



Slika 6.32 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.34 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment $M = 9.07$ kNm/m

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.06 \cdot 2.57}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.06 \cdot 2.57}} \right) = 2.15 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{907}{\left(17 - \frac{2.15}{3}\right) \cdot 2.57} = 21.67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 216.74 \text{ MPa}$$

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

$A_{s1} = Q - 257 = 2.57$ cm²

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

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

$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{31} = 6.06$ – Odnos modula elastičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.57}{100 \cdot (20 - 2.15)/3} = 0.0043$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{216.74 - 0.4 \frac{2.9}{0.0043} (1 + 6.06 \cdot 0.0043)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{216.74}{200000}$$

$$-0.00003 \geq 0.00065$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00065$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 7.0 \text{ mm}$$

$c = 30 \text{ mm}$ – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{7}{0.0043} = 378.7 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 378,7 \cdot 0.00065 = 0.246 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.187 \cdot 0.2 \cdot 0.65^2 \cdot 20 \cdot 1000 = 316,03 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 20 \cdot 65 = 1.95 \text{ cm}^2$$

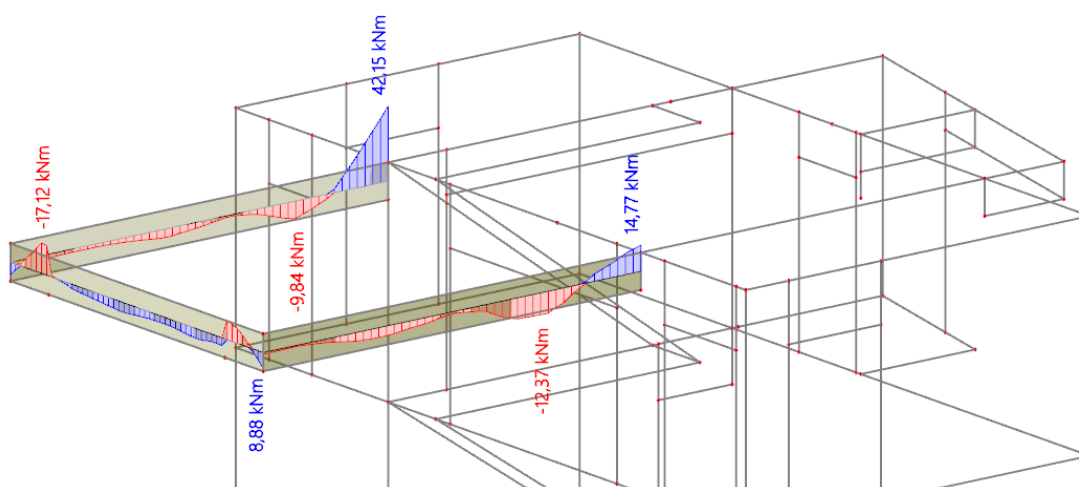
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 124.6 \cdot 65 = 12.15 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 20 \cdot 65 \cdot \frac{20}{434.78} = 18.54 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 124.6 \cdot 70 \cdot \frac{20}{434.78} = 341.03 \text{ cm}^2$$

7.1. Međukatna greda

7.1.1. Prikaz rezultata proračuna



Slika 7.1 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSN

Napomena: Predraspodjela momenta savijanja u gredama, moment u polju povećati za 30%, a moment nad ležajem smanjiti za 15%.

$$M_{max}^{polje} = 9.84 \cdot 1.30 = 12.79 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 42.15 \cdot 0.85 = 35.83 \text{ kNm}$$

7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 20 + \frac{0.85 \cdot 615}{5} = 124,6 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = 12.79 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12.79 \cdot 100}{124.6 \cdot 65^2 \cdot 20} = 0.000121$$

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

$$x = \xi \cdot d = 0.010 \cdot 65 = 0.65 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{12.79 \cdot 100}{0.997 \cdot 65 \cdot 43.48} = 0.454 \text{ cm}^2$$

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

Ležaj:

$$M_{Ed} = 35.83 \text{ kNm}$$

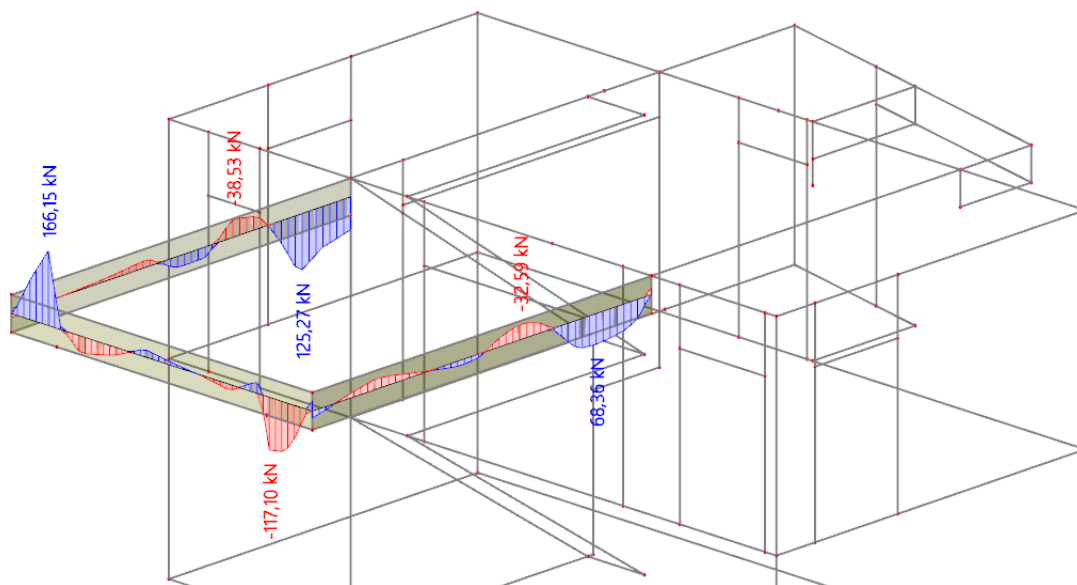
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{35.83 \cdot 100}{20 \cdot 65^2 \cdot 20} = 0.00212$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 0.3 \text{ ‰ } \xi = 0.029 \text{ } \zeta = 0.990$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{35.83 \cdot 100}{0.990 \cdot 65 \cdot 43.48} = 1.28 \text{ cm}^2$$

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

$$V_{Ed} = 125.27 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{650}} = 1.55 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.55$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{6.28}{20 \cdot 70} = 0.0045$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.55 \cdot (100 \cdot 0.0045 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 200 \cdot 650$$

$$V_{Rd,c} = 57.58 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.55^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.370$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.370 \cdot 200 \cdot 650 = 48.10 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 125.27 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 200 \cdot 650 \cdot 20 = 686.40 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{125.27}{684.4} \approx 0.183 \rightarrow V_{Ed} = 0.183 V_{Rd,max}$$

$$s_{max} = \min\{0.8 \cdot d ; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min\{0.8 \cdot 65 = 48.75, 30.0\} \rightarrow s_{max} = 30.0 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0.0010$$

Potrebna računaska armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0010 \cdot 30.00 \cdot 20.00}{2} = 0.30 \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 65) \cdot 43.48 \cdot 2 = 133.96 \text{ kN}$$

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

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 65)}{125.27} = 32.08 \text{ cm}$$

Postaviti spone $\emptyset 10/30$

7.1.4. Kontrola progiba



Slika 7.3 Prikaz progiba grede

w_c – nadvišenje neopterećenog konstruktivnog elementa

w_1 – početni progib od stalnog opterećenja

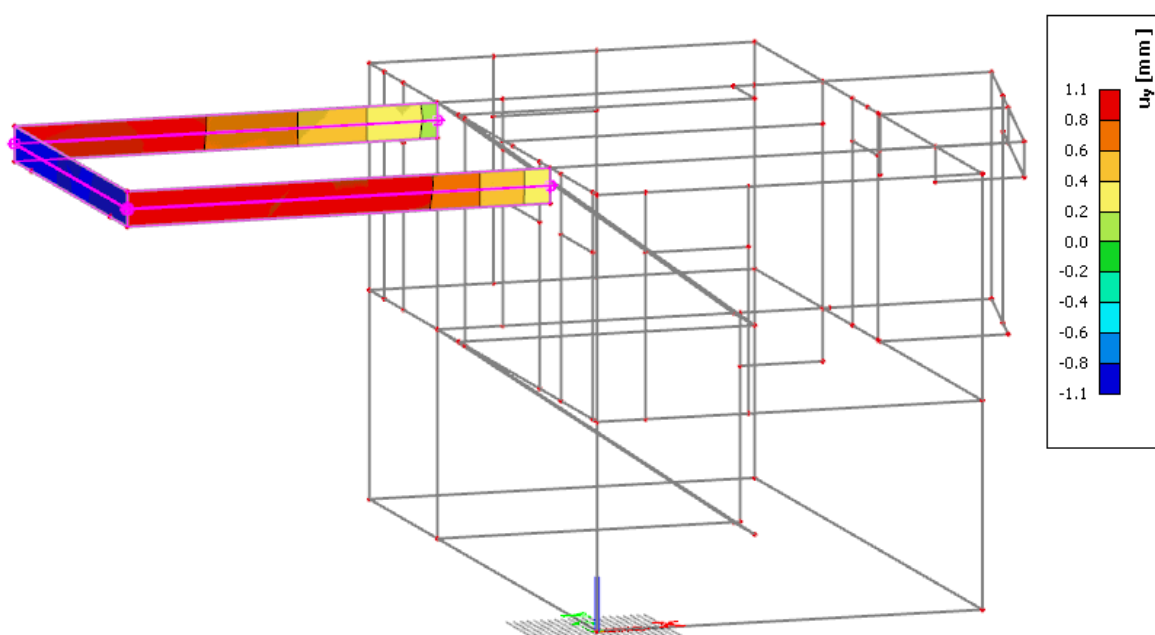
w_2 – dugotrajni progib od stalnog opterećenja

w_3 – progib od promjenjivog opterećenja

w_{max} – ukupni progib

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

Tablica 7.1 Ograničenje vertikalnih progiba za karakterističnu kombinaciju



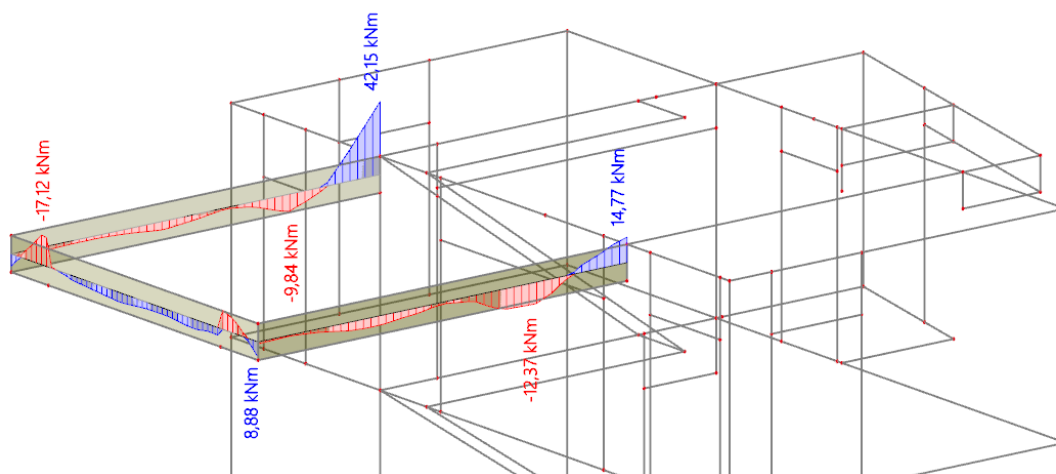
Slika 7.4 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je 1.1 mm.

Dozvoljen progib $L/1000 = 6150/1000 = 6.5$ mm.

Greda zadovoljava na progibe.

7.1.5. Kontrola pukotina

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

$$M_{\max} = 45.15 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.14}{20} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 20 \cdot 65}{6.25 \cdot 3.14}} \right) = 10.36 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{42.15 \cdot 100}{\left(65 - \frac{10.36}{3}\right) \cdot 3.14} = 21.81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 218.10 \text{ MPa}$$

Za C 30/37 $\rightarrow f_{ct,eff} = 2.6$ MPa

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3.14}{20 \cdot (2.5 \cdot 5)} = 0.013$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{218.1 - 0.4 \frac{2.6}{0.013} (1 + 3.14 \cdot 0.013)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{218.1}{200000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00067 \geq 0.00065$$

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

Srednji razmak pukotina:

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

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

$c = 50 \text{ mm}$ – Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 50 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{10}{0.013} = 300.8 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 300.8 \cdot 0.00067 = 0.202 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

8. PRORAČUN ZIDOVA

8.1. Opći uvjeti

- Minimalna debljina: $b_{wo} \geq \max \{0.15 \text{ m}, h_s/20\}$, (h_s =svijetla katna visina)
- Ograničenje naprezanja u betonu (srednjeg tlačnog naprezanja) je:

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

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

- Minimalno armiranje:

na krajevima zida:

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

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

ostali dio zida:

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

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

spone: $\min 4\phi 6/m^2$

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

$$C 30/37 (f_{ct,m}=2.9 \text{ MPa}); B 500B (f_y=500 \text{ MPa}); \rho_{w,min} = 0.15 \cdot (2.9/435) = 0.0009$$

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

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

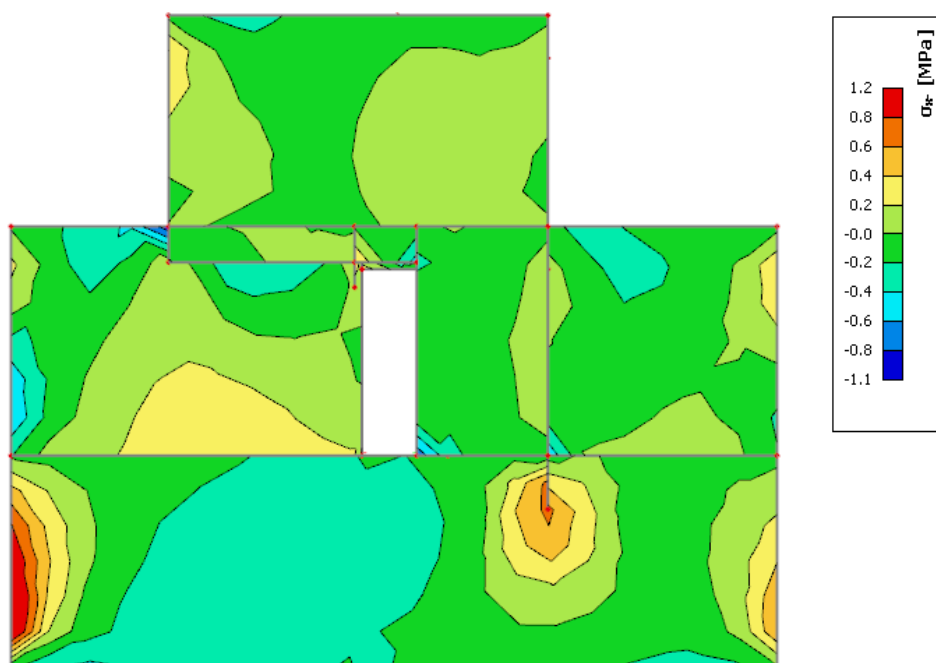
$$b_w=30 \text{ cm}; A_{s,min} = 0.0009 \cdot 30 \cdot 100/2 = 1.35 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

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

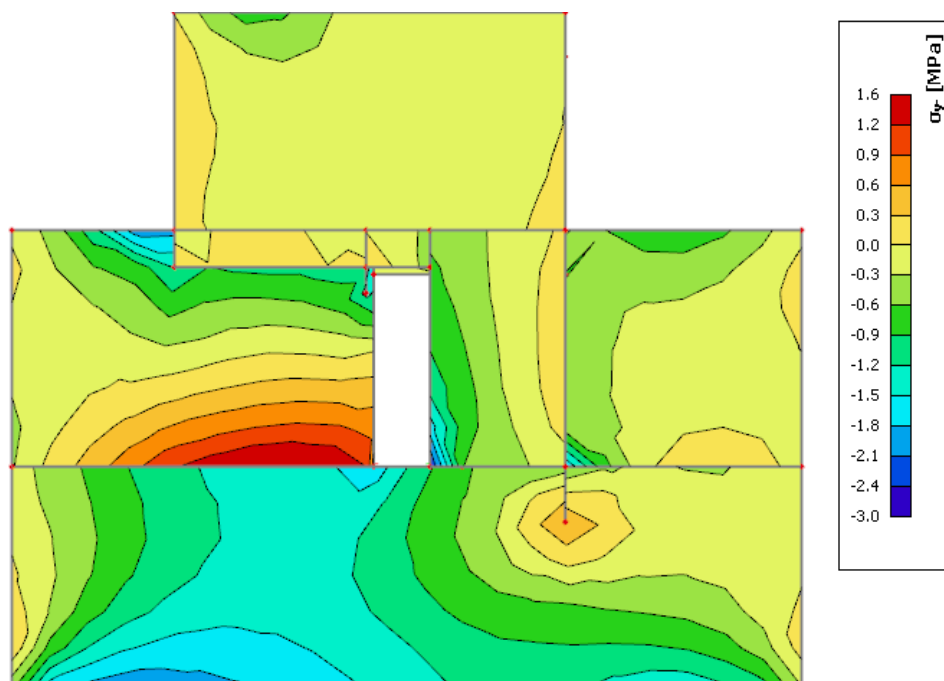
8.2. Prikaz modela i dijagrama



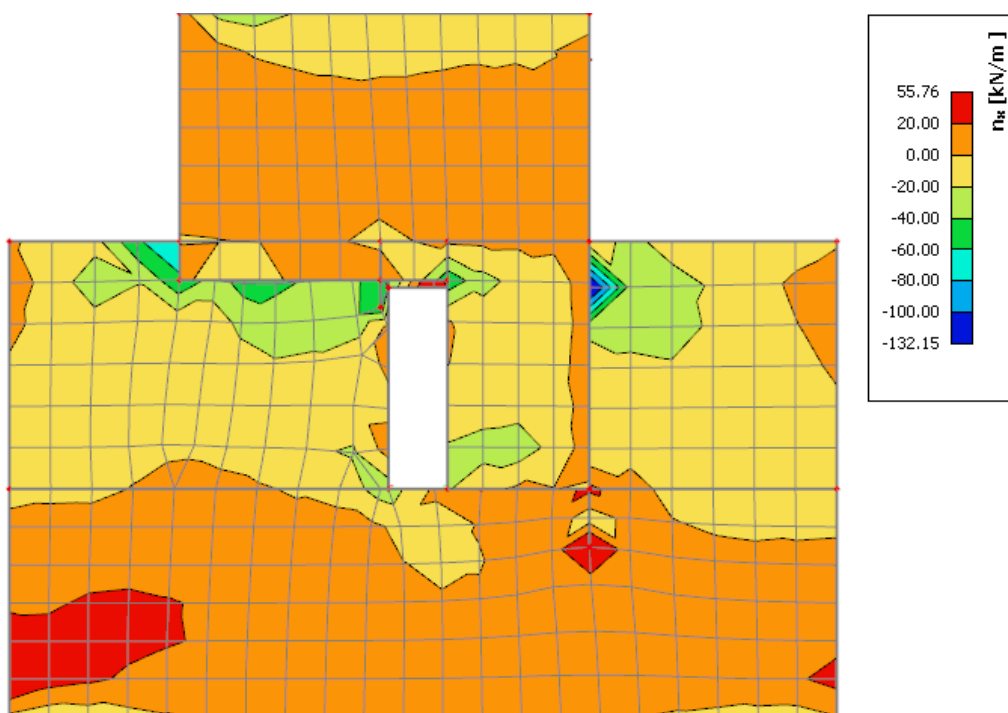
Slika 8.2.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun



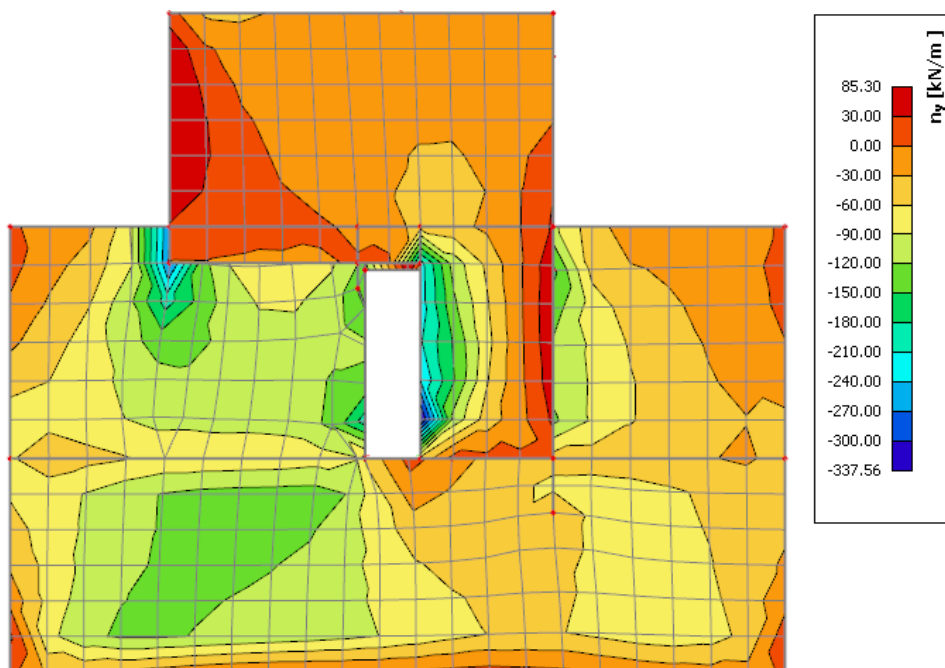
Slika 8.2.2 Tlačna naprezanja σ_x (Mpa) za nazovistalnu kombinaciju GSU



Slika 8.2.3 Tlačna naprezanja σ_y - (Mpa) za nazovistalnu kombinaciju GSN



Slika 8.2.4 Uzdužne sile n_x [kN/m] u smjeru X, u zidovima za kombinaciju GSN



Slika 8.2.5 Uzdužne sile n_y [kN/m] u smjeru Y, u zidovima za kombinaciju GSN

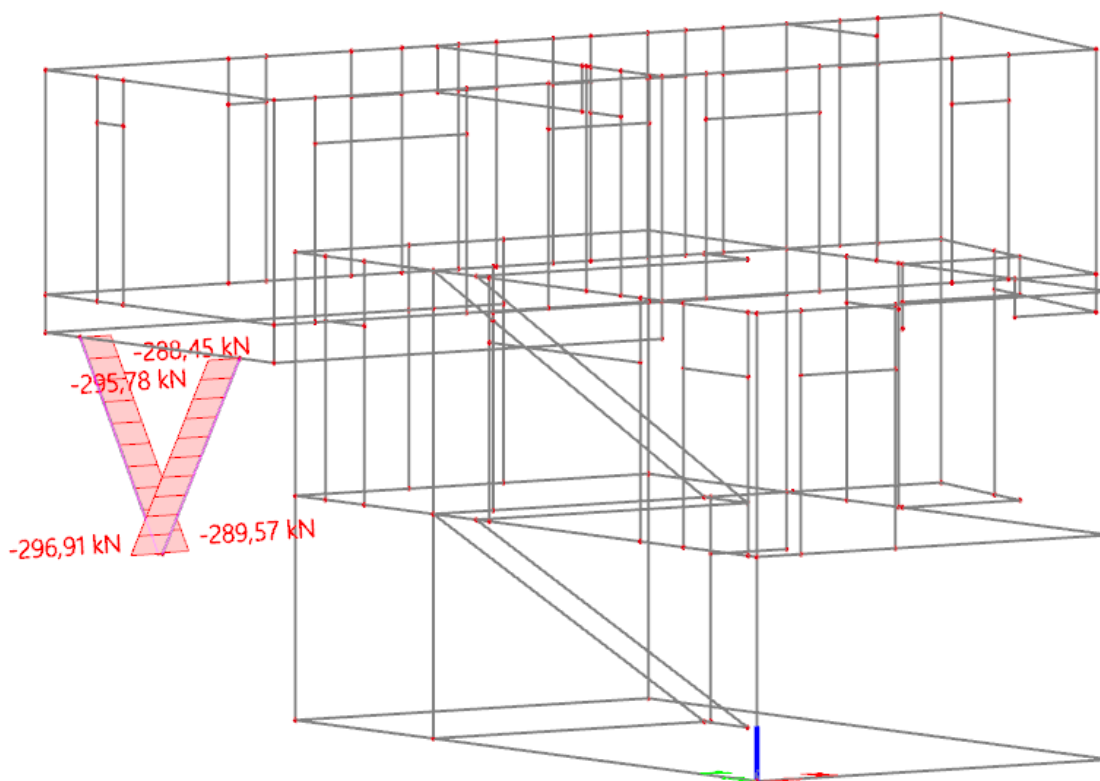
Mjerodavna uzdužna sila $N_y = 280$ kN/m

$$A_{s1,2} = \frac{N_y}{f_{yd}} = \frac{280}{43.5} = 6.44 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{6.44}{2} = 3.22 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: Q-335 obostrano. U rubovima zidova postaviti vertikalne serklaže (EUROKOD) armirane s 4 $\emptyset 14$ i u-vilicama $\emptyset 8/15$ cm.

9. PRORAČUN STUPOVA(ČELIČNI)



Slika 9.1 Uzdužne sile u stupovima N_{ed} (kN) za GSN-1

Pretpostavljeni poprečni presjek CFCHS 219.1 x 6

Rezne sile uslijed kritične kombinacije

$$M_{ed,y} = 1.85 \text{ kNm}$$

$$V_{ed,y} = 0.17 \text{ kN}$$

$$M_{ed,z} = 0.57 \text{ kNm}$$

$$V_{ed,z} = 0.94 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = -296.91 \text{ kN}$$

Dimezioniramo samo na uzdužnu tlačnu silu zbog malih vrijednosti momenata savijanja.

PROFIL:	vrućevaljani	CFCHS 219.1 x 6	$\epsilon = 1.0$		
KVALITETA ČELIKA:	S235	$f_y = 23.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)	21.9	t (cm)	0.6		
A (cm ²)	40.17	I _y (cm ⁴)	2282		
W _{pl,y} (cm ³)	272.54	I _z (cm ⁴)	2282		
W _{pl,z} (cm ³)	272.54				
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje)

$$\frac{d}{t} = \frac{21.9}{0.6} = 36.5 \leq 50 \quad \epsilon^2 = 50$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna tlačna sila:

$N_{Ed} = -296.91 \text{ (kN)}$ za duljinu izvijanja $l = 323.8 \text{ cm}$

$$N_{CRZ} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 4511.08 \text{ (kN)}$$

Vruće dogotovljeni profil → Linija izvijanja: a → Faktor imperfekcije: $\alpha = 0.21$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CRZ}}} = 0.457$$

$$\phi = 0.5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 0.63$$

$$\chi = 1 / (\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2})$$

$$\chi = 0.94$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / Y_{M1} = 887.36 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 35.77 / 100.91 = 0.3346 = 33.46\%$$

Profil CFCHS 219.1 x 6 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od **33,46 %**

10. PRORAČUN TEMELJA

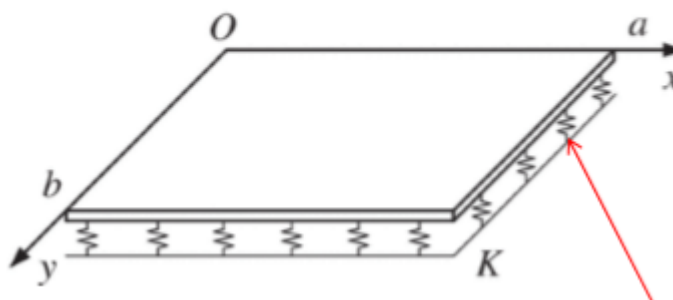
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s modelom trakastih temelja..

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

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

U rješavanju problema tlo se modelira na dva osnovna pristupa :

- Analiza u neprekidnoj sredini – proračun se vrši nekom od numeričkih metoda u kojoj se tlo modelira kao poluprostor. Potrebni podatci o tlu E i ν 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

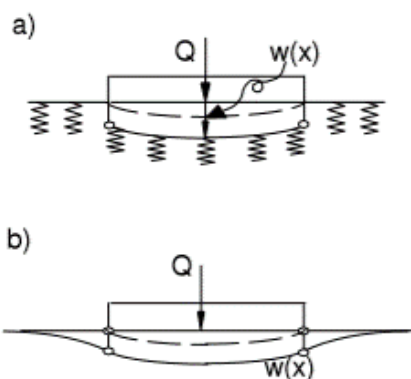
Koeficijent reakcije podloge K je odnos između dodirnog naprezanja q kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja w , koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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.



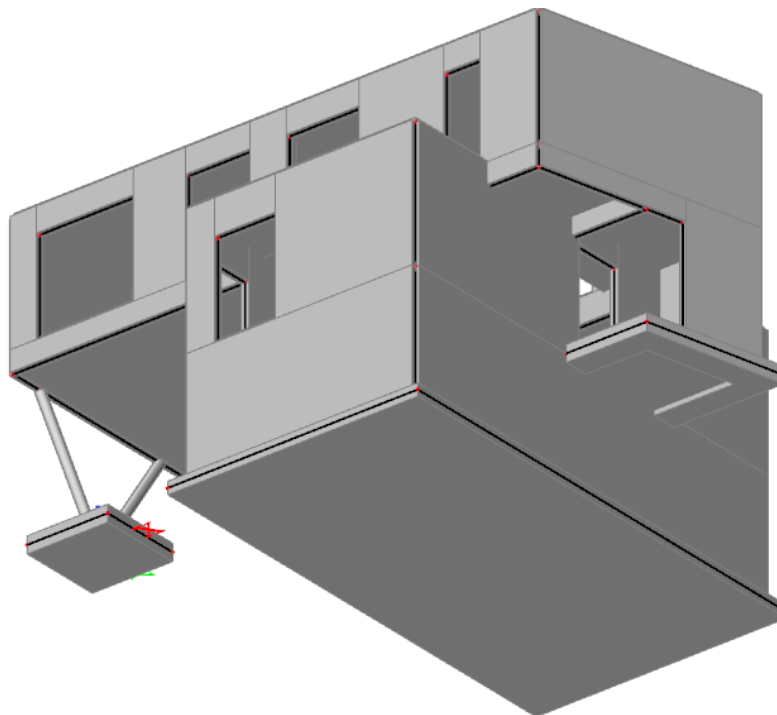
Slika 10.2 Winklerov model (a) i stvarni nosač (b)

Nedostatci ovog modela :

- Opterećenje skraćuje samo ona pera na kojima greda 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

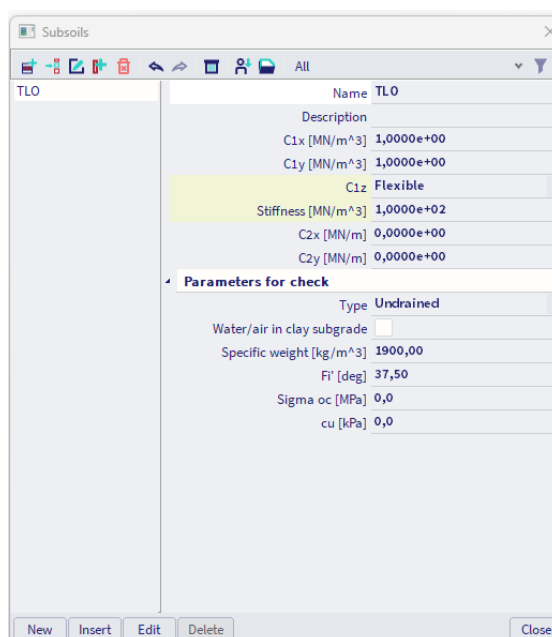
10.1. Proračun temelja

10.1.1. Model temelja



Slika 10.3 Model temelja

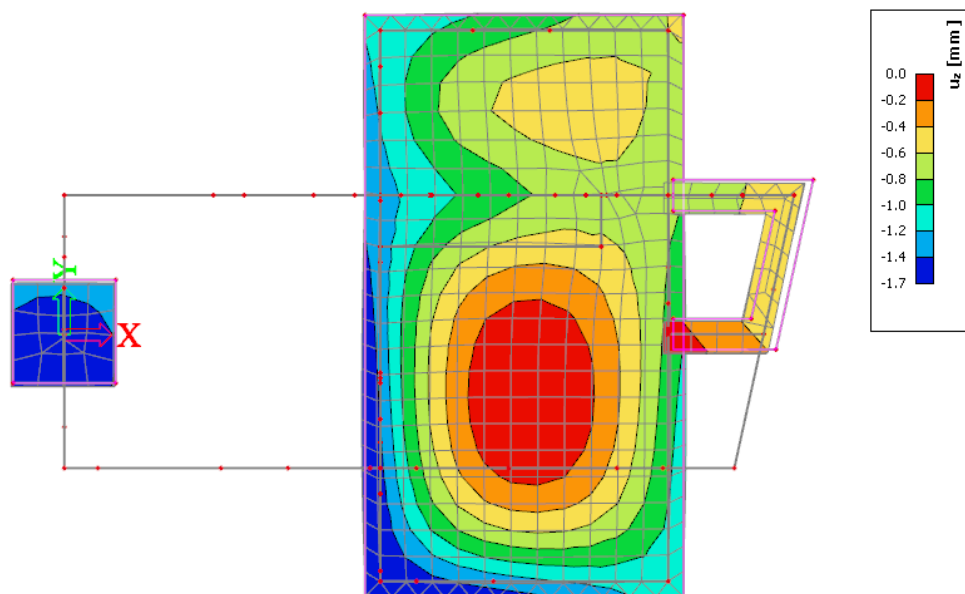
Kako bismo u model unijeli realnu stišljivost tla, linijske ležajeve ćemo modelirati kao fleksibilne kojima ćemo pomak u smjeru z zadati pomoću krutosti tla. Ostali pomaci i zaokreti su spriječeni.



Slika 10.4 Model fleksibilnih linijskih ležajeva

10.1.2. Slijeganje građevine

Iz tablice je vidljivo da su naprezanja ispod temelja 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 temelja za kombinaciju GSN

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

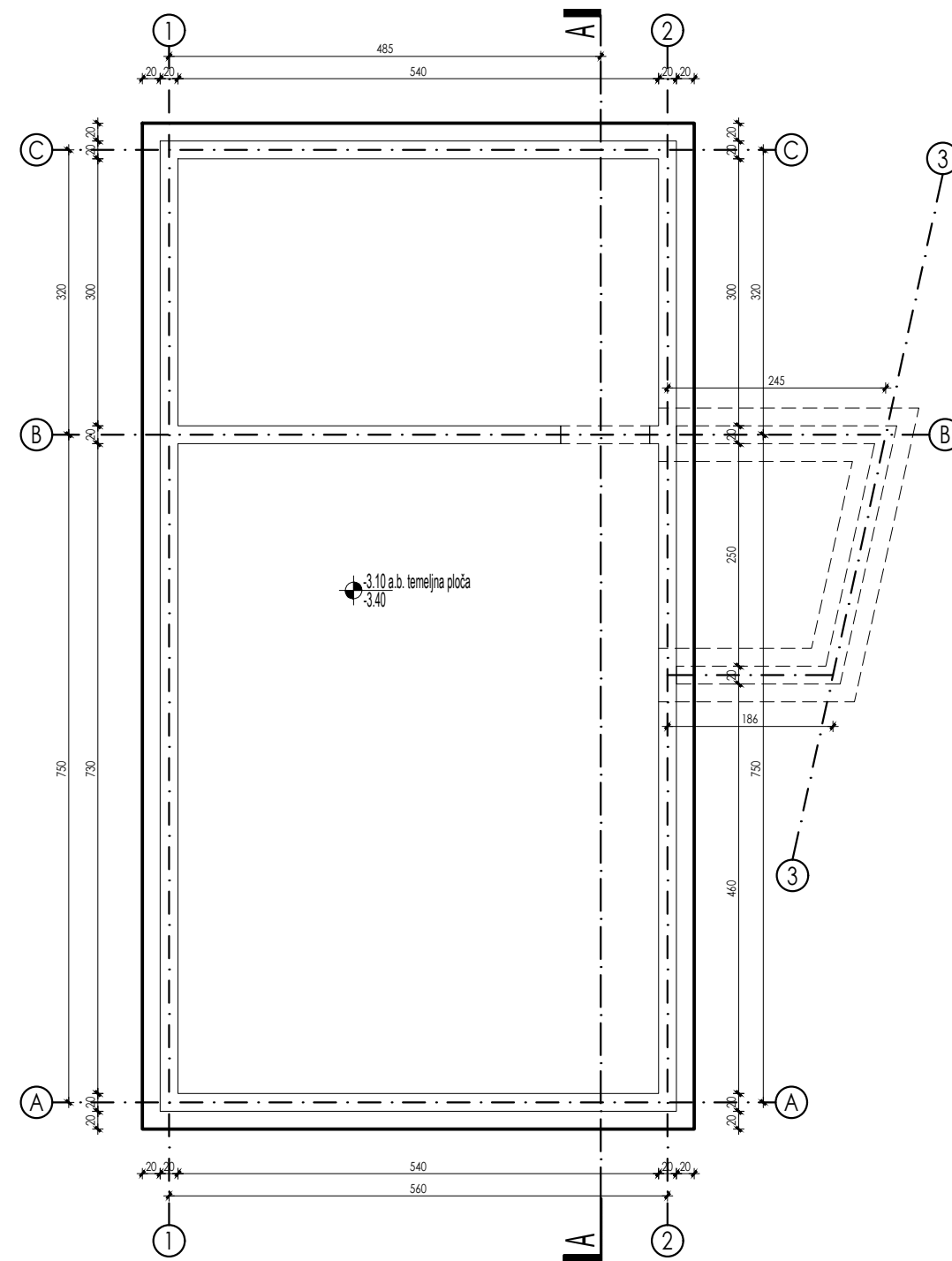
11. GRAFIČKI PRILOZI

Redom su priloženi:


- Tlocrt karakteristične etaže M 1:75
- Presjek 1-1 M 1:75
- pročelja 1-1 M 1:75

12. LITERATURA

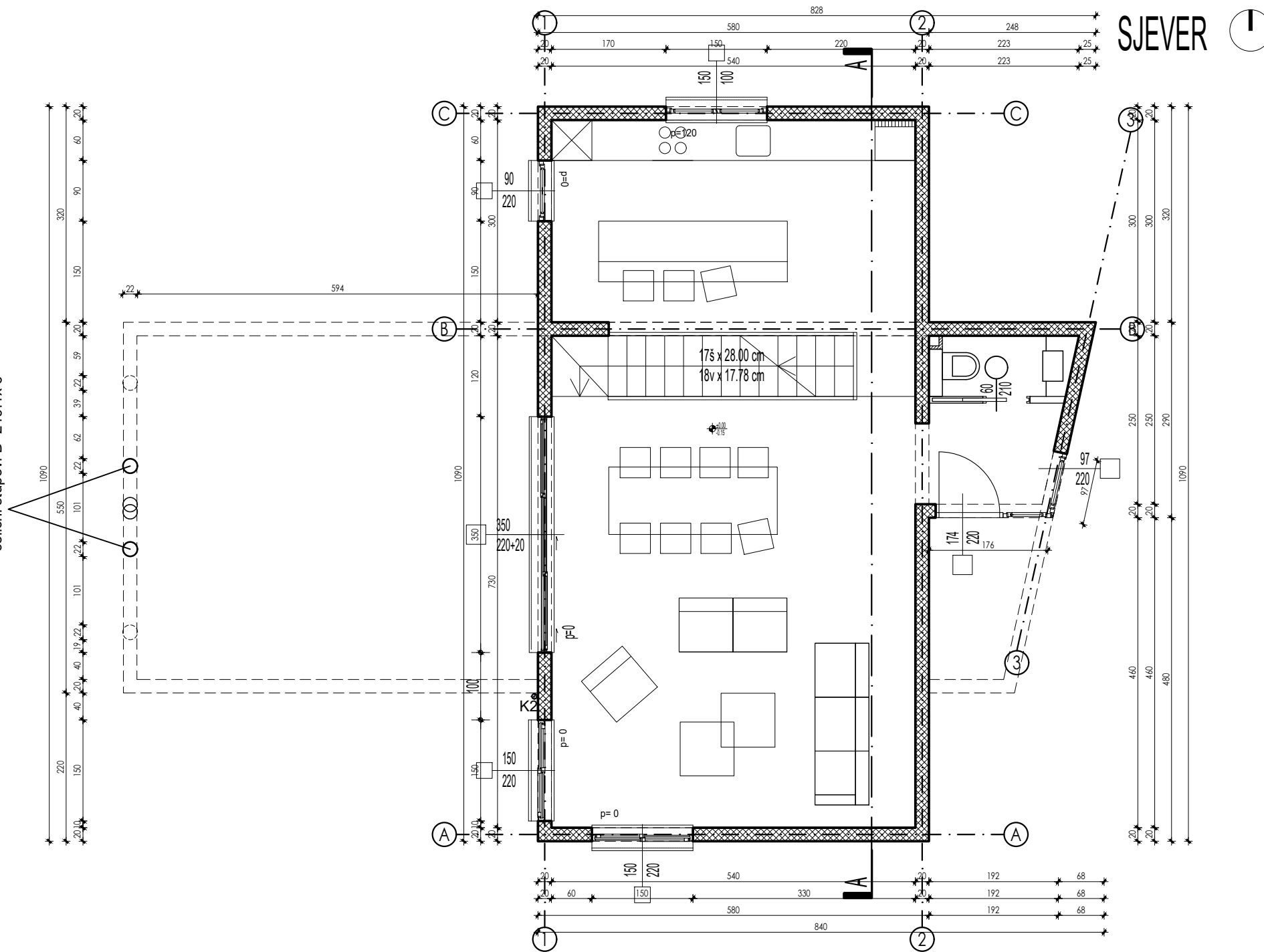
- [1] Ante Mihanović, Boris Trogrić, **Građevna statika I**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- [2] Ante Mihanović, Boris Trogrić, **Građevna statika II**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- [3] Ivan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




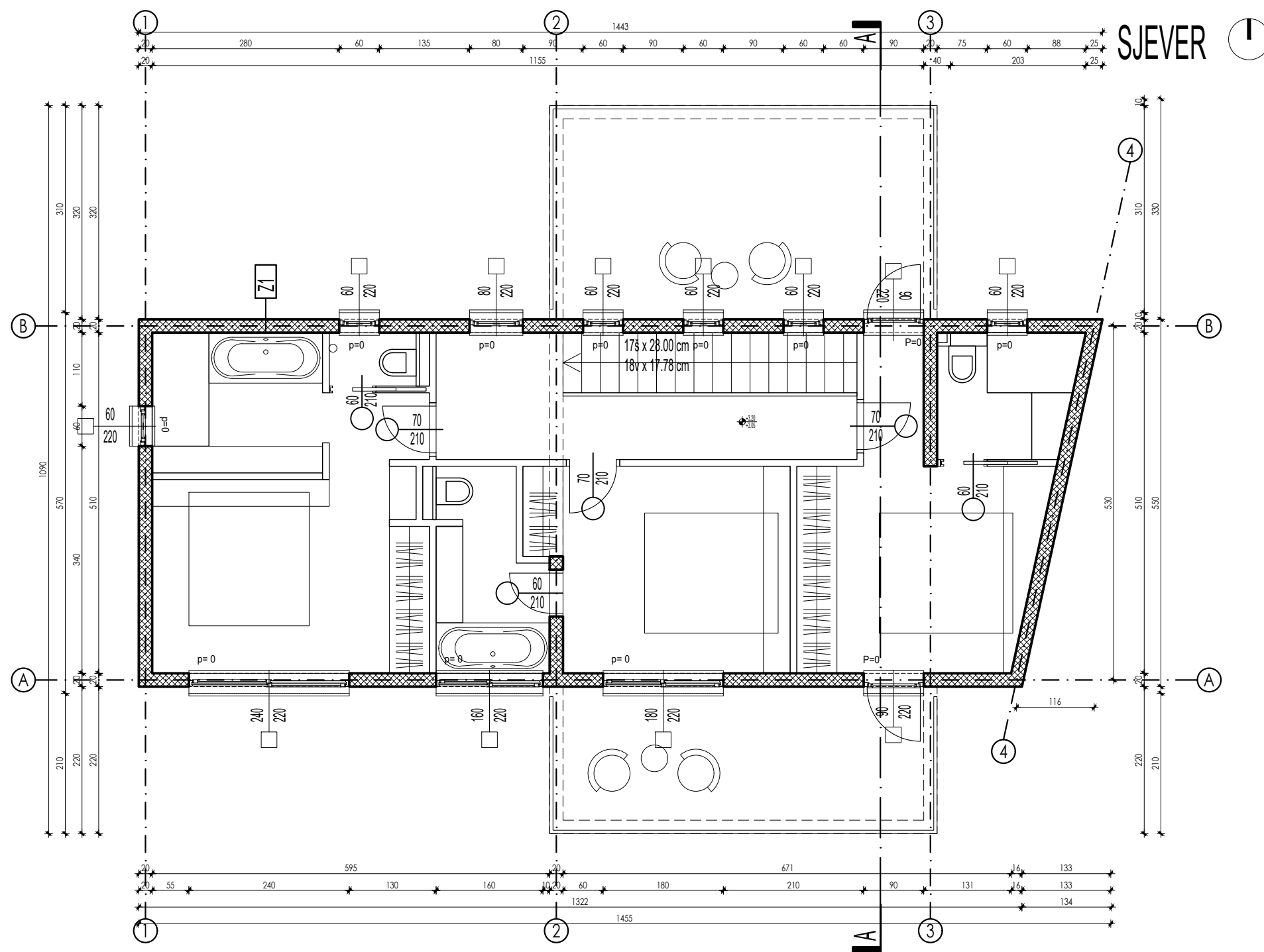
SJEVER 


 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	ZAVRŠNI RAD		
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE		
	STUDENT:	MENTOR:	
	IVAN IVANČEV	dipl.ing.građ. Boris Trogrlić	
	SADRŽAJ:	TLOCRT TEMELJA	MJERILO: 1 : 75
DATUM:	05.09.2024.	PRILOG: 1	

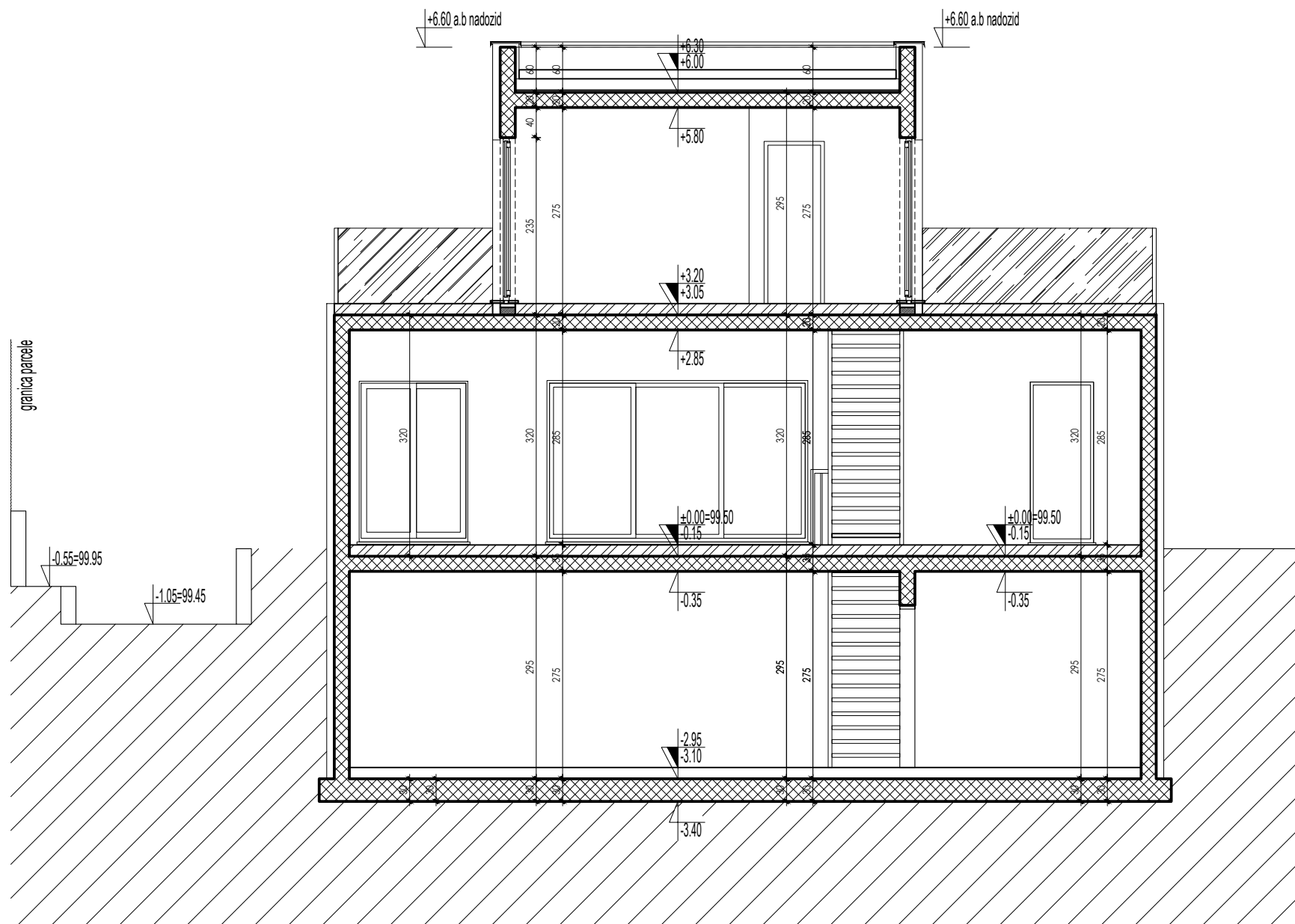
čelični stupovi D=219.1x 6




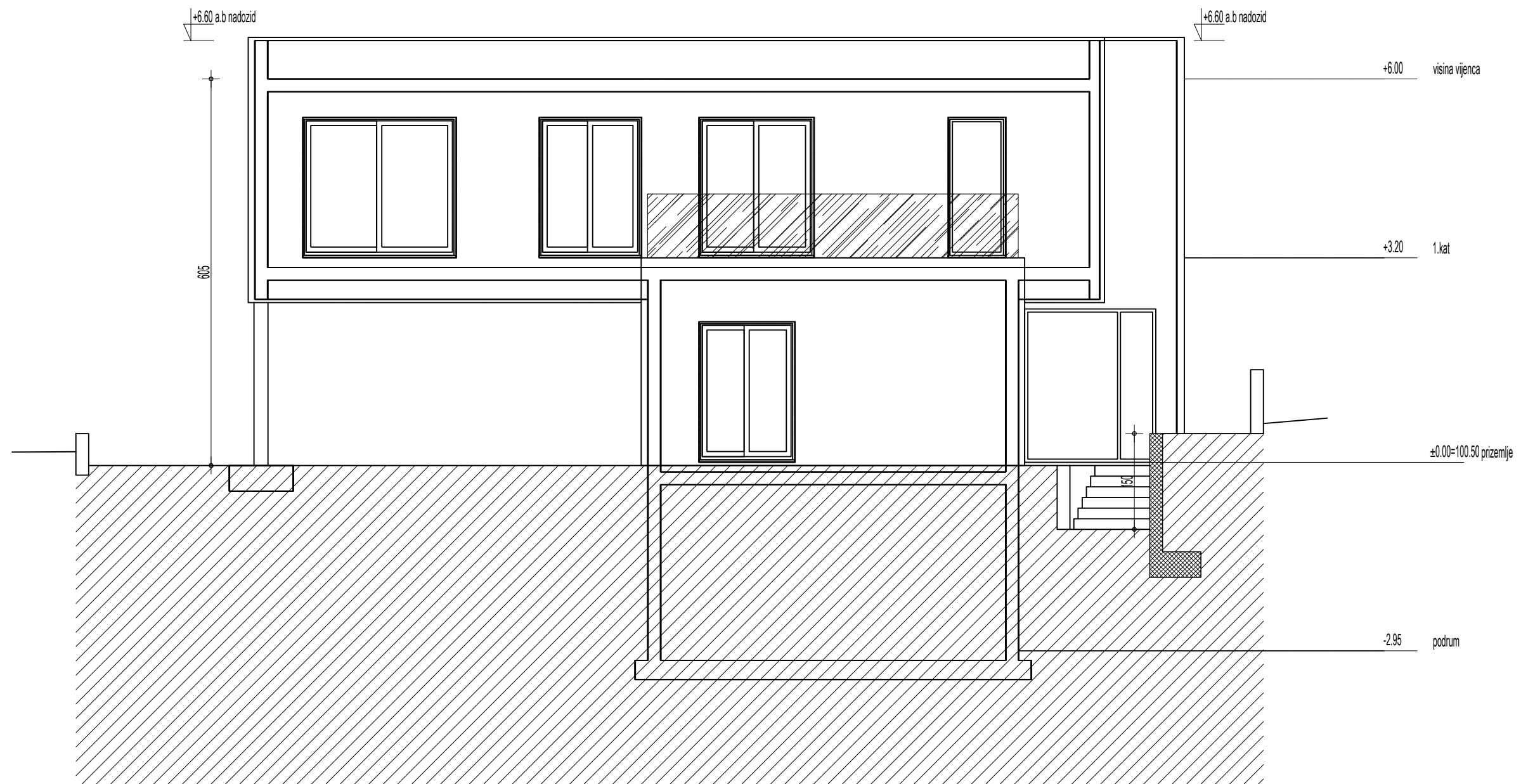
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD	
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE	
	STUDENT: IVAN IVANČEV	MENTOR: dipl.ing.građ. Boris Trogrlić
	SADRŽAJ: TLOCRT PRIZEMLJA	MJERILO: 1 : 75
DATUM: 05.09.2024.	PRILOG: 3	




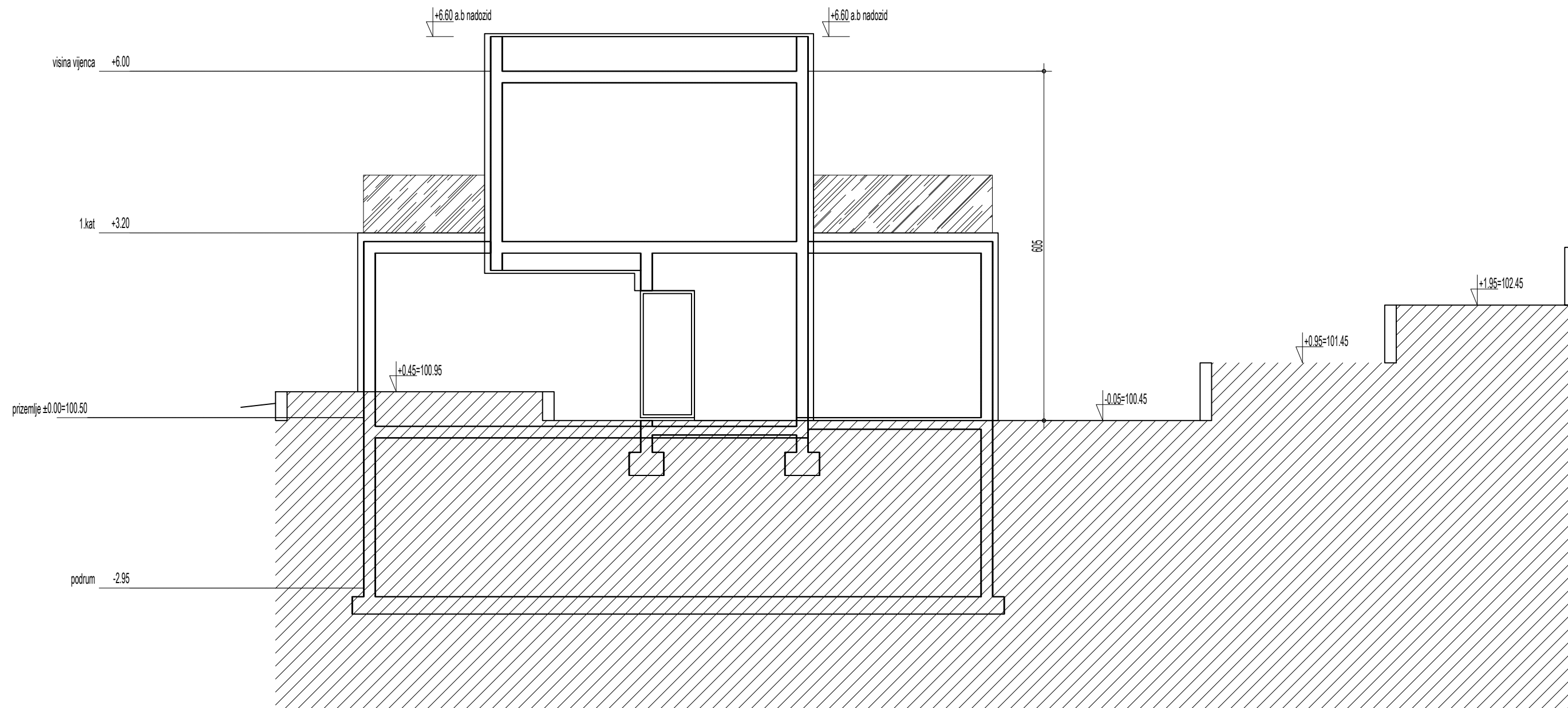
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD	
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE	
	STUDENT: IVAN IVANČEV	MENTOR: dipl.ing.građ. Boris Trogrlić
	SADRŽAJ: TLOCRT I. KATA	MJERILO: 1 : 75
DATUM: 05.09.2024.	PRILOG: 4	




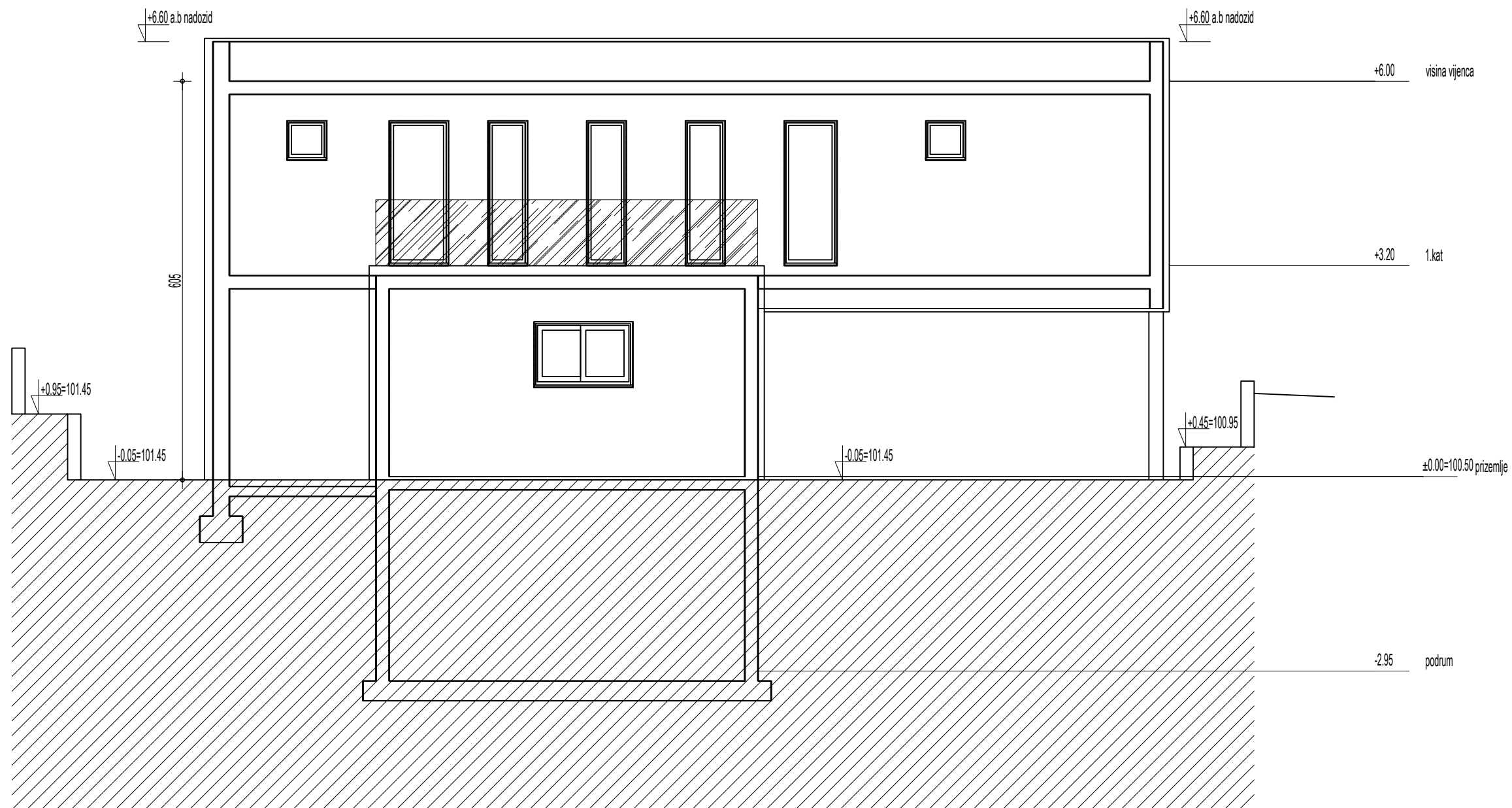
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD	
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE	
	STUDENT: IVAN IVANČEV	MENTOR: dipl.ing.građ. Boris Trogrlić
	SADRŽAJ: PRESJEK A-A	MJERILO: 1 : 75
	DATUM: 05.09.2024.	PRILOG: 5




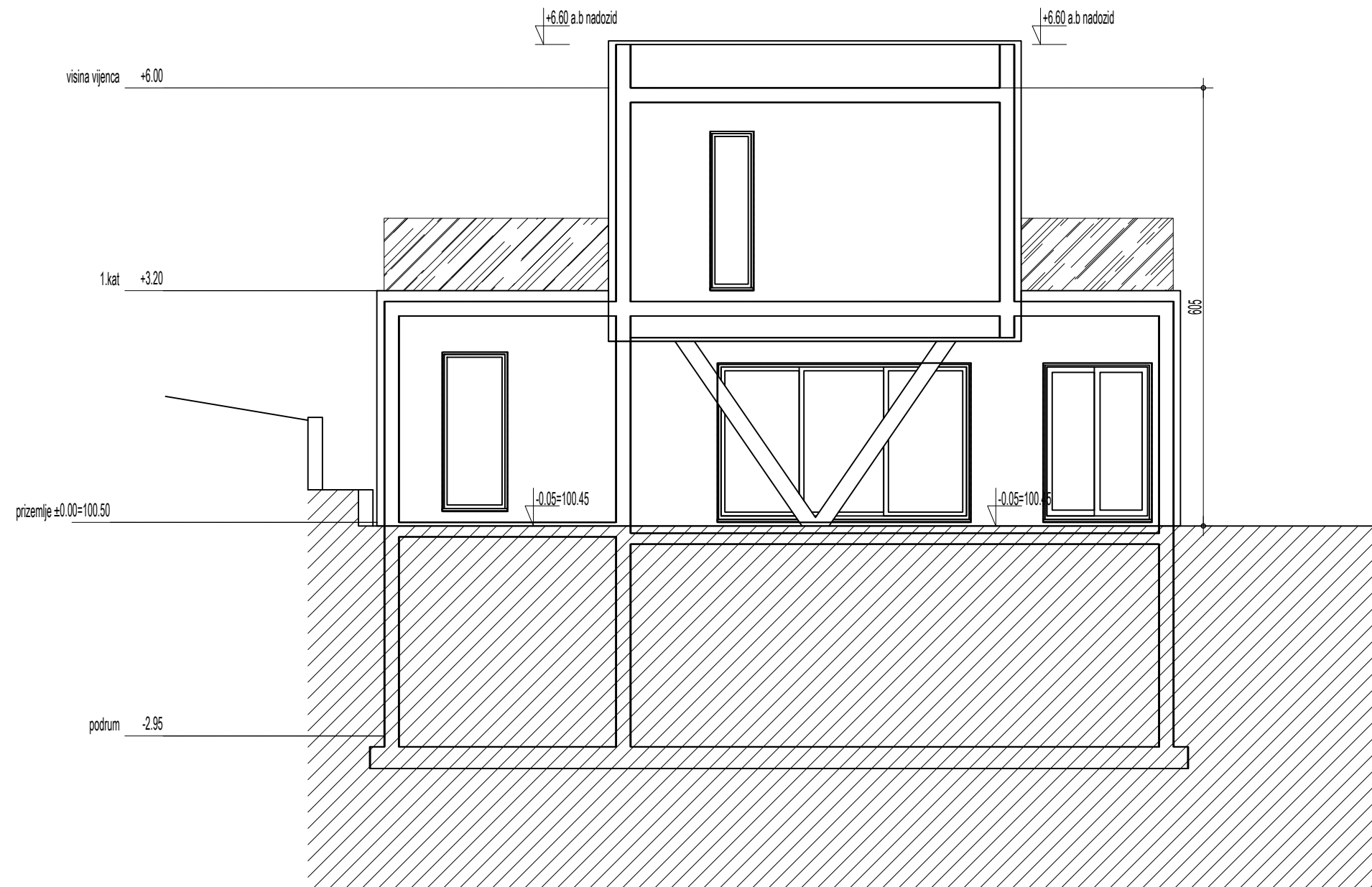
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD	
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE	
	STUDENT: IVAN IVANČEV	MENTOR: dipl.ing.građ. Boris Trogrlić
	SADRŽAJ: JUŽNO PROČELJE	MJERILO: 1 : 75
DATUM: 05.09.2024.	PRILOG: 6	




 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD		
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE		
	STUDENT: IVAN IVANČEV	MENTOR: dipl.ing.građ. Boris Trogrlić	
	SADRŽAJ: ISTOČNO PROČELJE	MJERILO: 1 : 75	PRILOG: 7
DATUM: 05.09.2024.			



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD	
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE	
	STUDENT: IVAN IVANČEV	MENTOR: dipl.ing.građ. Boris Trogrlić
	SADRŽAJ: SJEVERNO PROČELJE	MJERILO: 1 : 75
DATUM: 05.09.2024.	PRILOG: 8	



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 2100 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	ZAVRŠNI RAD		
	PRORAČUN KONSTRUKCIJE		
	STUDENT:	MENTOR:	
	IVAN IVANČEV	dipl.ing.građ. Boris Trogrlić	
	SADRŽAJ:	ZAPADNO PROČELJE	MJERILO: 1 : 75
DATUM:	05.09.2024.	PRILOG: 9	