

Statički proračun poslovne zgrade

Validžić, Jakov

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:626083>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



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

Jakov Validžić

Split, 2020

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

Statički proračun poslovne zgrade

Završni rad

Split, 2020

Statički proračun poslovne zgrade

Sažetak:

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

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

Ključne riječi:

Poslovna zgrada, Statički proračun

Static calculation of business building

Sažetak:

The static design of business building is presented in this work. The building consist of stories four stories, ground floor and flat roof. Structure is made of reinforced concrete. The work include tehncial description of the structure, calculation of the main structural elements as well as characteristic structural plans.

Keywords:

Business building, Static calculation

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA
KANDIDAT:	Jakov Validžić
BROJ STUDENTSKE ISKAZNICE:	00832175969
KATEDRA:	Katedra za teoriju konstrukcija
PREDMET:	Građevna statika

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Statički proračun poslovne zgrade

Opis zadatka: Na temelju zadane tlocrtne podloge, potrebno je izraditi 3-D proračunski model građevine u programu „*Scia Engineer*“. Na temelju dobivenih rezultata proračunavaju se određeni nosivi elementi zgrade, te za proračunate elemente potrebno je izraditi armaturne planove.

Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- proračun
- građevne nacрте

U Splitu, rujan 2020.

Voditelj Završnog rada:

SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS	5
1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine.....	5
1.2. Geotehnički izvještaj.....	5
2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE.....	6
3. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	8
3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima.....	8
3.2. Stalno opterećenje (G_1).....	8
3.2.1. Vlastita težina elemenata konstrukcije.....	8
3.2.2. Krovna ploča.....	9
3.2.3. Međukatne ploče.....	10
3.2.4. Balkon.....	11
3.2.5. Stubište.....	12
3.3. Promjenjivo opterećenje (Q_i).....	12
3.4. Izvanredno djelovanje – potresno opterećenje.....	13
4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA	15
4.1. Krovna ploča.....	15
4.2. Međukatna ploča.....	16
4.3. Stubište.....	17
4.4. Potresno djelovanje.....	18
5. KOMBINACIJE DJELOVANJA	19
6. PRORAČUN PLOČA.....	20
6.1. Proračun međukatne ploče.....	20
6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče	21
6.1.2. Kontrola progiba i pukotina međukatne ploče.....	25
6.1.2.1. Kontrola progiba međukatne ploče.....	25
6.1.2.2. Kontrola pukotina.....	27
6.2. Proračun krovne ploče	30
6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče.....	31
6.2.2. Kontrola progiba krovne ploče	35
6.2.3. Kontrola pukotina krovne ploče	36
7. PRORAČUN AB GREDA.....	39
7.1. Međukatna greda.....	39

7.1.1. Prikaz rezultata proračuna.....	39
7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja	40
7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu	42
7.1.4. Kontrola progiba	44
7.1.5. Kontrola pukotina	46
7.2. Krovna greda.....	48
7.2.1. Prikaz rezultata proračuna.....	48
7.2.2. Dimenzioniranje na moment savijanja	49
7.2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu	50
7.2.4. Kontrola progiba	52
7.2.5. Kontrola pukotina	53
8. PRORAČUN ZIDOVA.....	55
9. PRORAČUN STUPOVA.....	59
10. PRORAČUN STUBIŠTA	61
10.1. Mjerodavne rezne sile	61
10.2. Dimenzioniranje stubišta	62
11. PRORAČUN TEMELJA	64
11.1. Proračun trakastih temelja.....	66
11.1.1. Model trakastih temelja	66
11.1.2. Proračun širine temeljne stope.....	67
11.1.3. Slijeganje građevine	68
12. GRAFIČKI PRILOZI.....	69
13. LITERATURA.....	70

1. TEHNIČKI OPIS

1.1. Opis i konstrukcijski sastav građevine

Predmet ovog završnog rada je proračun nosive konstrukcije građevine poslovne namjene. Građevina se sastoji od ukupno pet etaža, pravilnog je tlocrtnog oblika – pravokutnika dimenzija 38.40 x 27.00 m, s balkonom na istočnoj strani dimenzija 20.40 x 3.05 m. Ukupna visina građevine iznosi 19.50 m mjereno od podne ploče prizemlja. Glavni nosivi konstrukcijski sustav sastoji se od armirano-betonskih (AB) zidova i stupova te međukatnih konstrukcija koje su izrađene od armiranog betona, lijevane na licu mjesta debljine 22cm.

Stubišta su također izvedena u armiranom betonu debljine 18 cm.

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

Vertikalna nosiva konstrukcija građevine su zidovi debljine 30 cm, te stupovi dimenzija 50 x 50 cm.

Temeljenje je predviđeno na trakastim temeljima od armiranog betona ispod nosivih zidova i stupova, dimenzija 190 x 100 cm.

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

Elementi koji se ne proračunavaju armiraju se konstruktivno.

Građevina se nalazi u području za koje se uz povratni period od 475 godina očekuje potres sa ubrzanjem tla od $a_g = 0.2g$. Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armirano betonskih zidova sukladno prema EC-8.

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

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

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

1.2. Geotehnički izvještaj

Za predmetnu građevinu su izvršeni geotehnički istražni radovi.

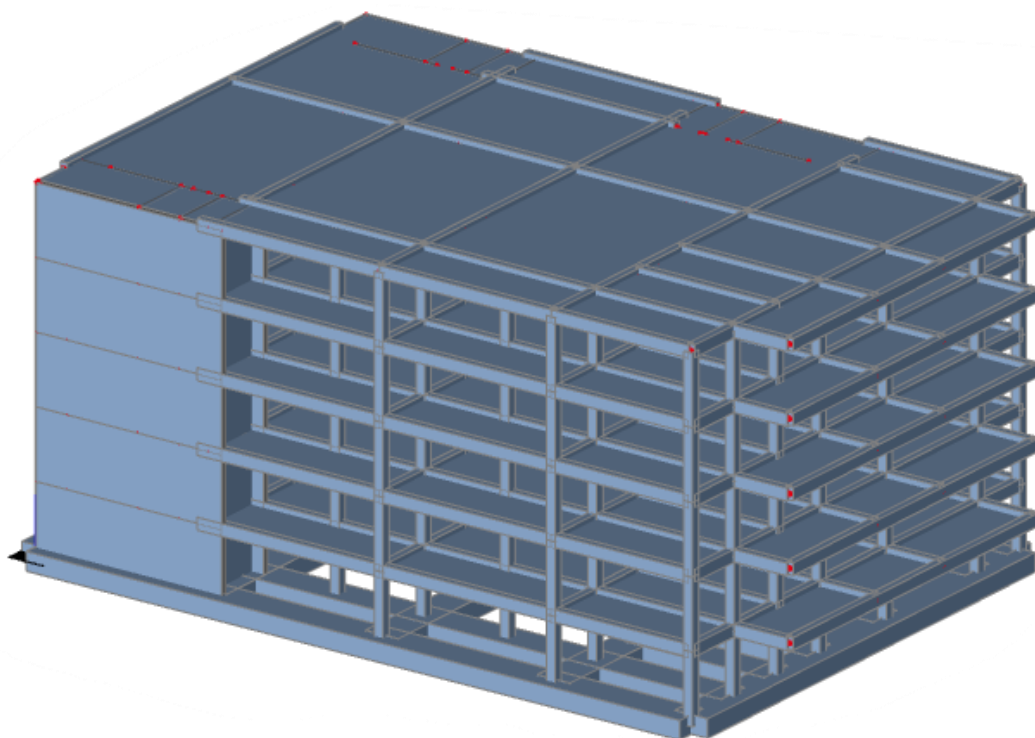
Matična stijena nalazi se na oko 85 cm od površine terena, temeljenje građevine će se izvesti na njoj. Pri završetku iskopa temeljnu plohu potrebno je ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala.

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

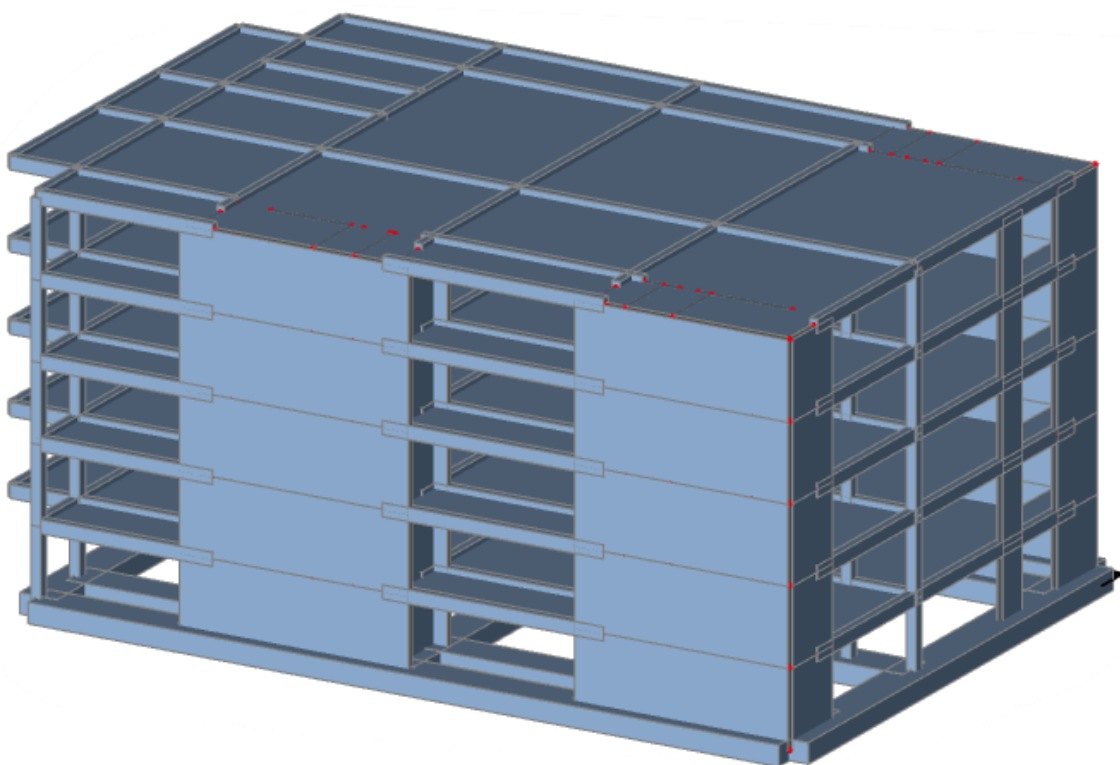
Ukoliko se naiđe na kavernu veće dubine i manje širine, a nije moguće potpuno uklanjanje materijala, sanaciju izvesti tako da se materijal ukloni do dubine 50 cm ispod kote temeljenja, a nastali prostor do projektirane kote zapuni podbetonom.

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

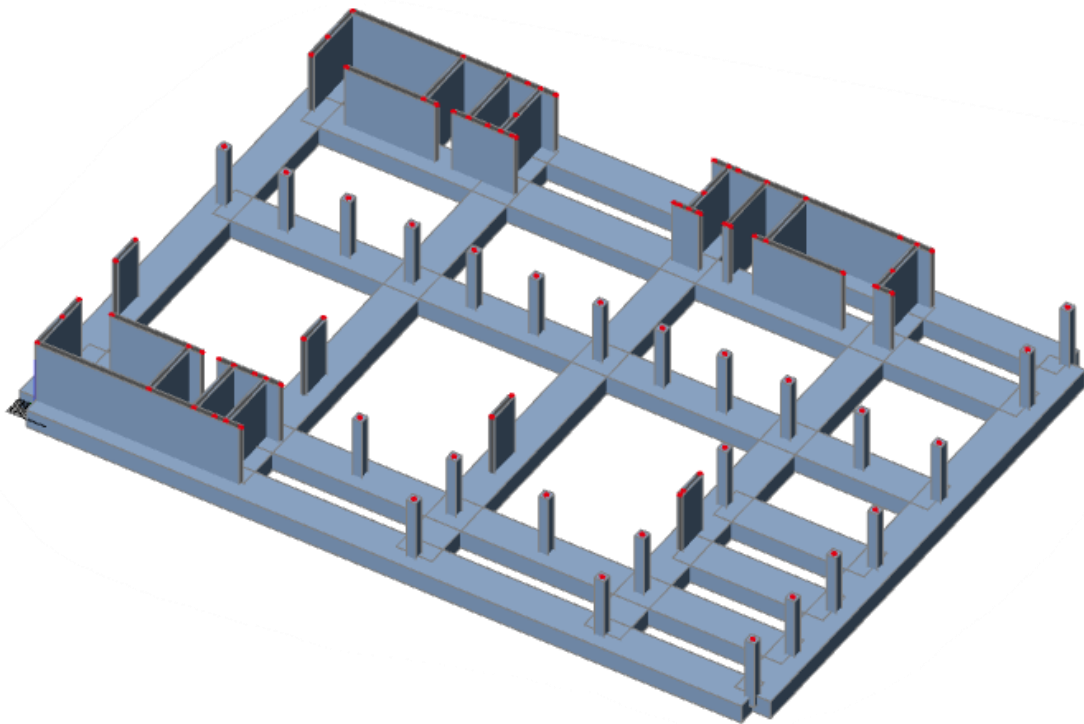
2. 3-D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



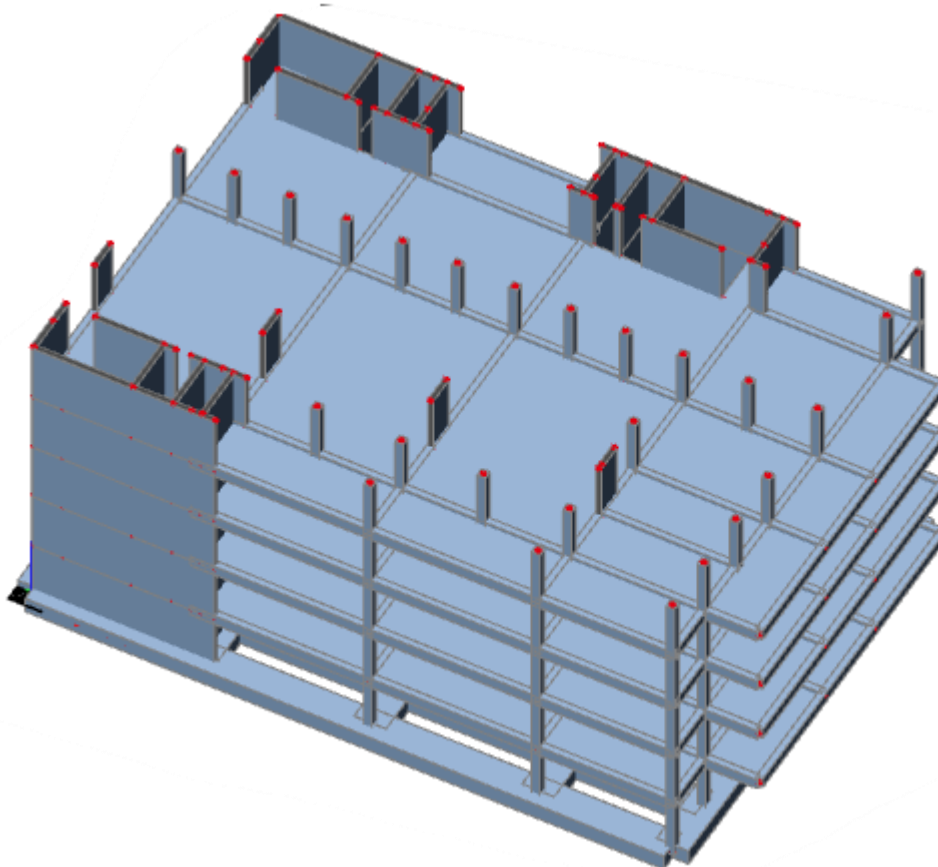
Slika 2.1 Proračunski model objekta – pogled 1



Slika 2.2 Proračunski model objekta – pogled 2



Slika 2.3 Proračunski model objekta – pogled 3



Slika 2.4 Proračunski model objekta – pogled 4

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

3.1. Podaci o osnovnim djelovanjima

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

Oznaka osnovnog djelovanja	Opis djelovanja
G0	Stalno djelovanje – vlastita težina elemenata nosive konstrukcije (uračunata u SCIA-u)
G1	Dodatno stalno djelovanje – ostalo stalno djelovanje; pokrov, obloga, stalna oprema itd.
Qi	Promjenjivo – uporabno djelovanje: uporabno opterećenje, pokretna oprema.
W	Vjetar
S	Snijeg

Tablica 3.1 Podaci o osnovnim djelovanjima

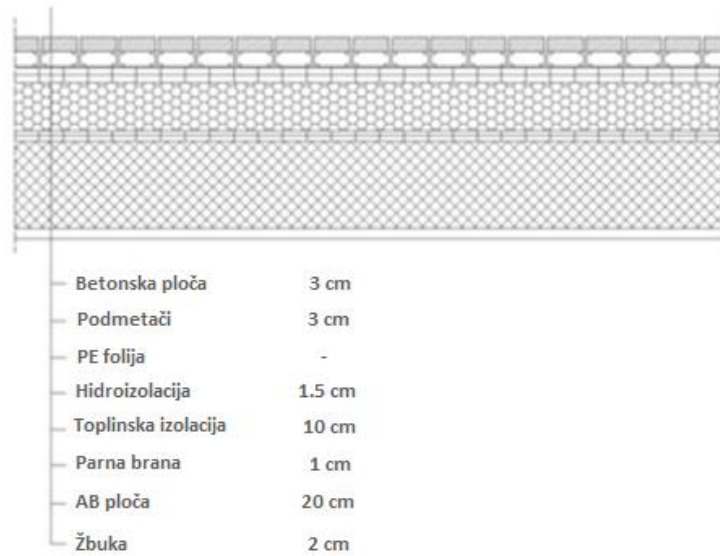
3.2. Stalno opterećenje (G₁)

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

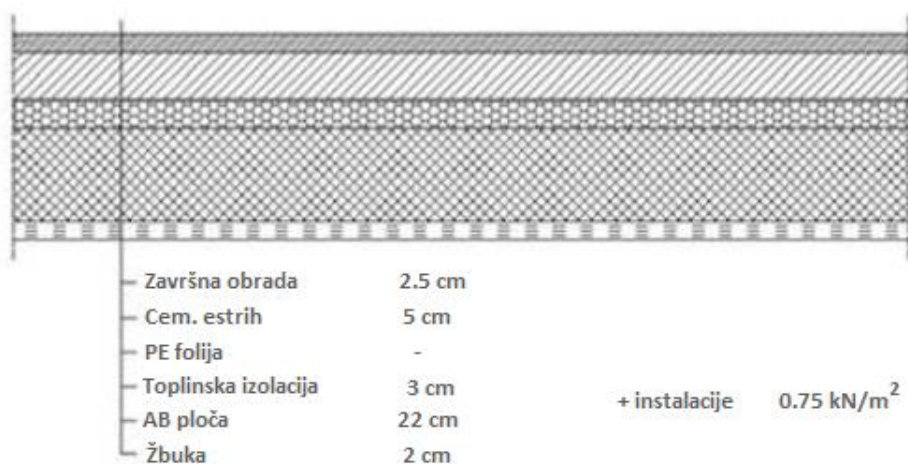


Tablica 3.2.1 Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
Betonska ploča	0,03	25,00	0,75
Podmetači	0,03	-	-
PE folija	-	-	-
Hidroizolacija	0,015	5,90	0,09
Toplinska izolacija	0,10	1,50	0,30
Parna brana	0,01	0,15	0,0015
AB ploča	0,20	Uključena u SCIA-u	
Žbuka	0,02	19,00	0,38

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 1,52$ (kN/m²)

3.2.3. Međukatne ploče

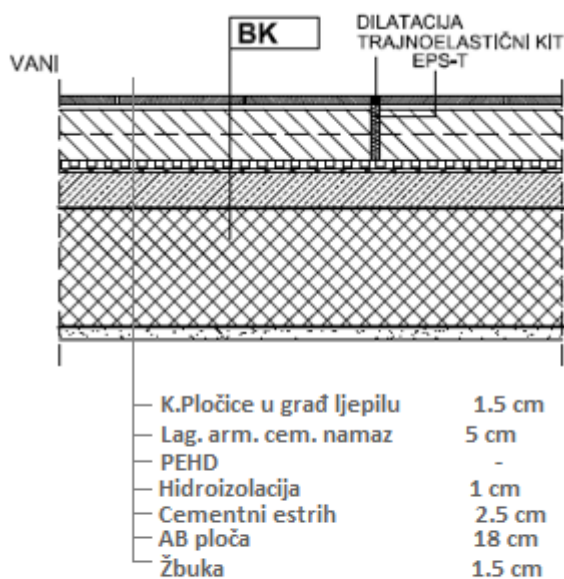


Tablica 3.2.2 Slojevi poda međukatnih konstrukcija

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
Završna obrada	0,025	9,60	0,24
Cementni estrih	0,05	22,00	1,10
PE folija	-	-	-
Toplinska izolacija	0,03	2,00	0,015
AB ploča	0,22	Uključeno u SCIA-u	
Žbuka	0,02	0,02	0,38
Instalacije	-	-	0,75

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,50$ (kN/m²)

3.2.4. Balkon

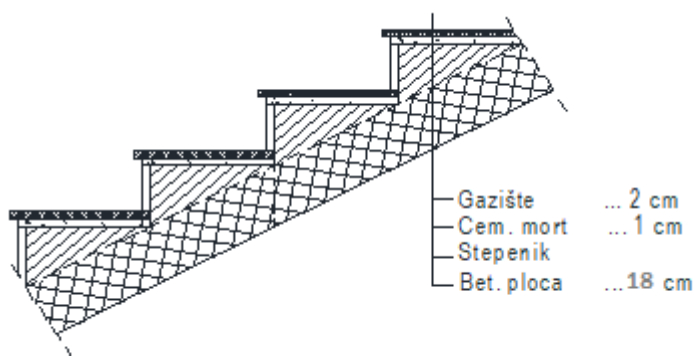


Tablica 3.2.3 Slojevi poda balkona

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
Keramičke pločice u građevinskom ljepilu	0,015	18,00	0,27
Lagano armirani cementni namaz	0,05	22,00	1,10
Drenažna traka s čepićima prema dolje (PEHD)	-	-	-
Hidroizolacija	0,01	10,00	0,10
Zaglađeni cementni estrih	0,025	24,0	0,60
AB ploča	0,15	Uključeno u SCIA-u	
Završna fasadna žbuka	0,015	15,00	0,23

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,30$ (kN/m²)

3.2.5. Stubište



Tablica 3.2.4 Slojevi poda stubišta

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

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,50$ (kN/m²)

3.3. 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: $q = 1,0$ kN/m²
- Poslovni prostori i stubišta: $q = 3,0$ kN/m²
- Stubišta: $q = 3,0$ kN/m²
- Balkoni i lođe: $q = 4,0$ kN/m²

3.4. Izvanredno djelovanje – potresno opterećenje

Računska težina jednog kata:

- (ploča) $A_{\text{ploče}} \times (d \times \gamma_B + q_{\text{etaže+balkona}} + g_{\text{etaže+balkona}})$
 $= 997 \times (0.22 \times 25 + 7 + 4.8) = \mathbf{17127}$ (kN)
- (zid) $\sum L \times t \times h \times \gamma_B = 105 \times 0.3 \times 3.8 \times 25 = \mathbf{2993}$ (kN)
- (stup) $25 \times H \times d \times h \times \gamma_B = 25 \times 3.8 \times 0.5 \times 0.5 \times 25 = \mathbf{593.8}$ (kN)
- (grede) $d \times h \times \gamma_B \times \sum L = 0.4 \times 0.65 \times 25 \times 282 = \mathbf{1833}$ (kN)

$$\mathbf{W} = 17127 + 2993 + 593.8 + 1833 = \mathbf{22547}$$
 (Kn)

Napomena: Usvojeno je da su svi katovi identični, što znači da je težina svakog kata jednaka.

Ukupna računaska težina zgrade:

$$\Sigma = 112734 \text{ (kN)}$$

Ukupna računaska težina zgrade:

$$m = \frac{W}{g} = \frac{112734}{9.81} = 11492 \text{ (t)}$$

Specifična računaska težina zgrade:

$$w = \frac{\Sigma W_i}{A_{uk}} = \frac{112734}{4800} = 23.5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Ukupna potresna sila iznosi:

$$F_b = k \times W$$
$$F_b = 0.25 \times 9.81 \times 11492 = 28184 \text{ (kN)}$$

Razdioba ukupne potresne sile po bočnicama zgrade:

$$V_{Ed} = 28184 \text{ (kN)}$$

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

z_i – visinski položaj masa mjereno od gornjeg ruba temelja

m_i – katne mase

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

F_b – ukupna seizmička sila

$$F_{100} = 28184 \times \frac{3,88}{57} = 1879 \text{ (kN)}$$

$$F_{200} = 28184 \times \frac{7,6}{57} = 3758 \text{ (kN)}$$

$$F_{300} = 28184 \times \frac{11,4}{57} = 5637 \text{ (kN)}$$

$$F_{400} = 28184 \times \frac{15,2}{57} = 7516 \text{ (kN)}$$

$$F_{500} = 28184 \times \frac{19}{57} = 9394 \text{ (kN)}$$

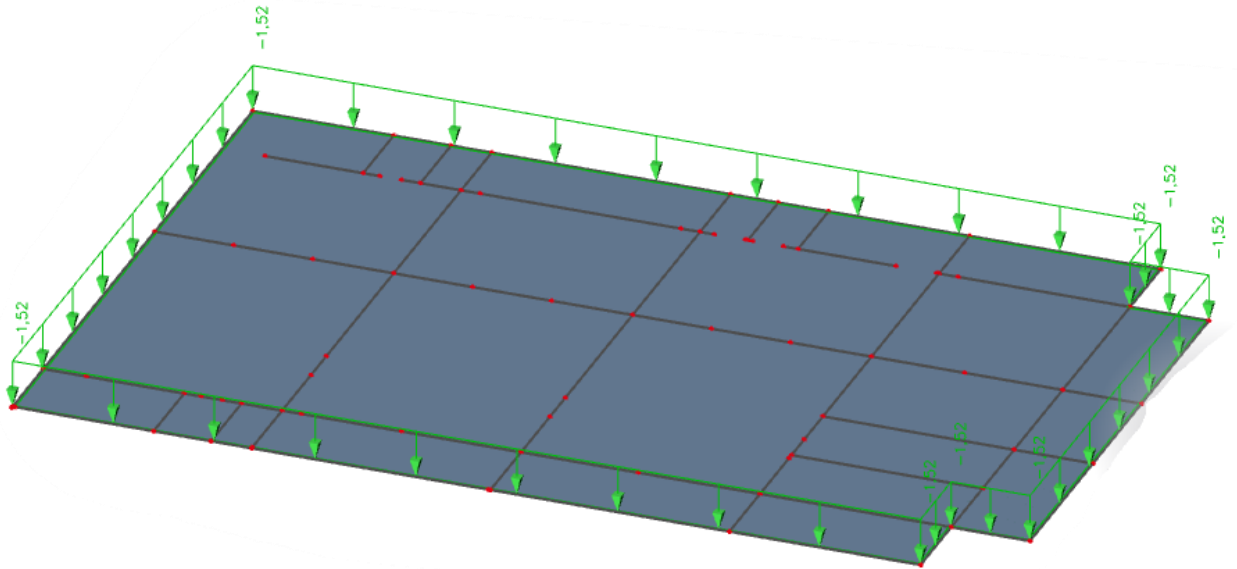
$$\Sigma = 28184 \text{ (kN)}$$

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

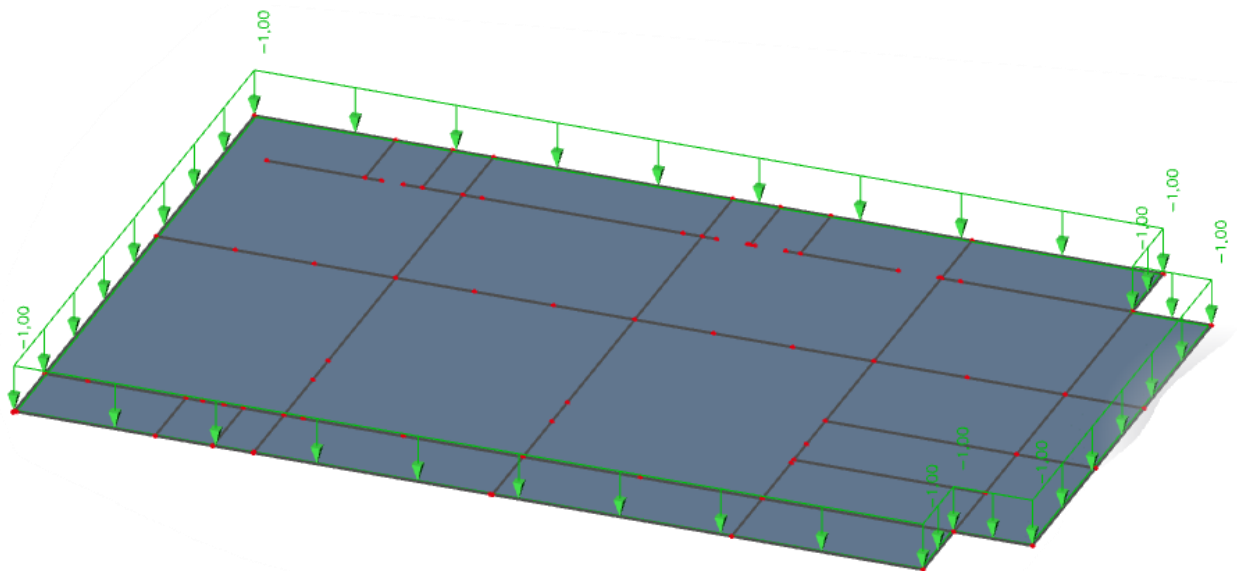
$f_{x,100} = 1879(\text{kN}) / 26.7 \text{ (m)} = 70.4 \text{ (kN/m)}$	$f_{y,100} = 1879 \text{ (kN)} / 38 \text{ (m)} = 49.4 \text{ (kN/m)}$
$f_{x,200} = 3758(\text{kN}) / 26.7 \text{ (m)} = 140.8 \text{ (kN/m)}$	$f_{y,200} = 3758 \text{ (kN)} / 38 \text{ (m)} = 98.9 \text{ (kN/m)}$
$f_{x,300} = 5637(\text{kN}) / 26.7 \text{ (m)} = 211.1 \text{ (kN/m)}$	$f_{y,300} = 5637 \text{ (kN)} / 38 \text{ (m)} = 148.3 \text{ (kN/m)}$
$f_{x,400} = 7516(\text{kN}) / 26.7 \text{ (m)} = 281.5 \text{ (kN/m)}$	$f_{y,400} = 7516 \text{ (kN)} / 38 \text{ (m)} = 197.8 \text{ (kN/m)}$
$f_{x,500} = 9394(\text{kN}) / 26.7 \text{ (m)} = 351.8 \text{ (kN/m)}$	$f_{y,500} = 9394 \text{ (kN)} / 38 \text{ (m)} = 247.2 \text{ (kN/m)}$

4. PRIKAZ OSNOVNIH DJELOVANJA

4.1. Krovna ploča

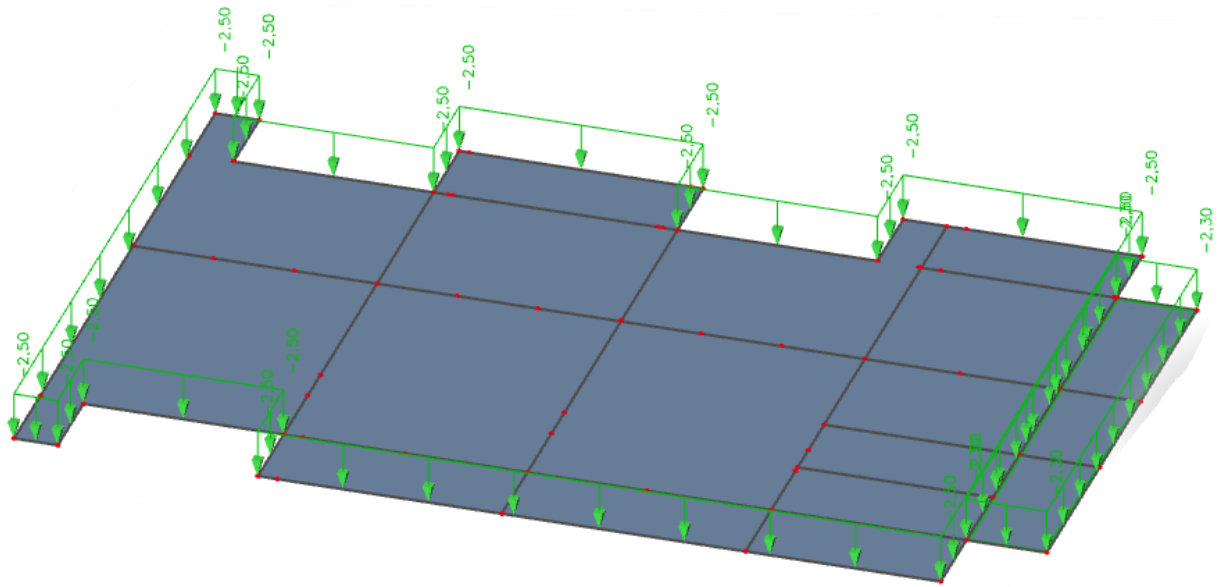


Slika 4.1.1 Dodatno stalno djelovanje $G1$ [kN/m^2]

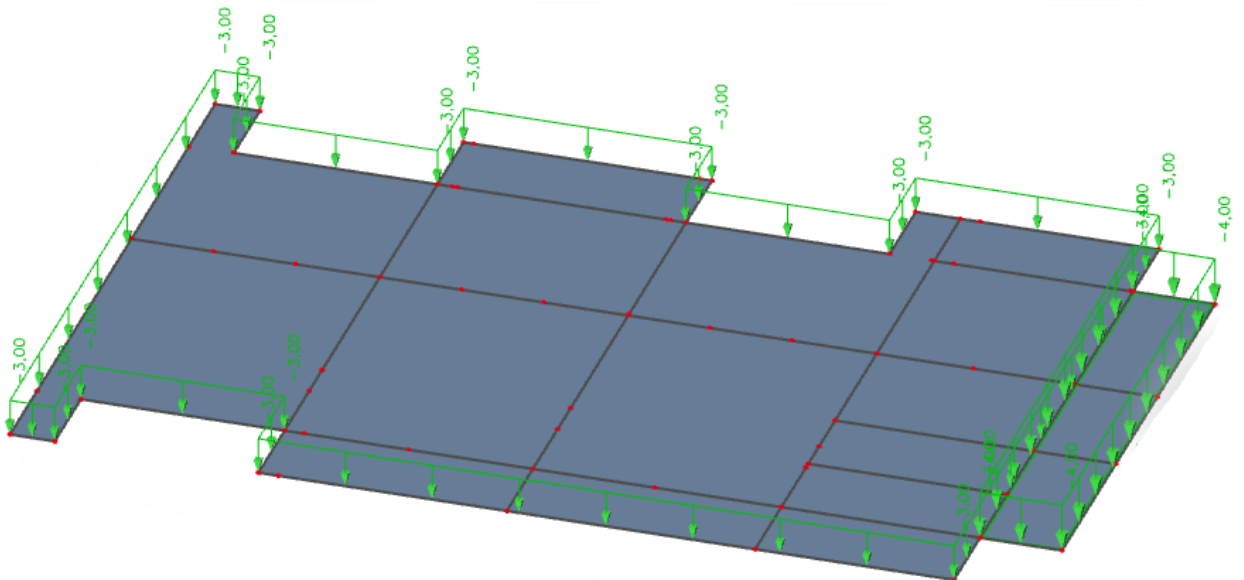


Slika 4.1.2 Promjenjivo djelovanje Q [kN/m^2]

4.2. Međukatna ploča

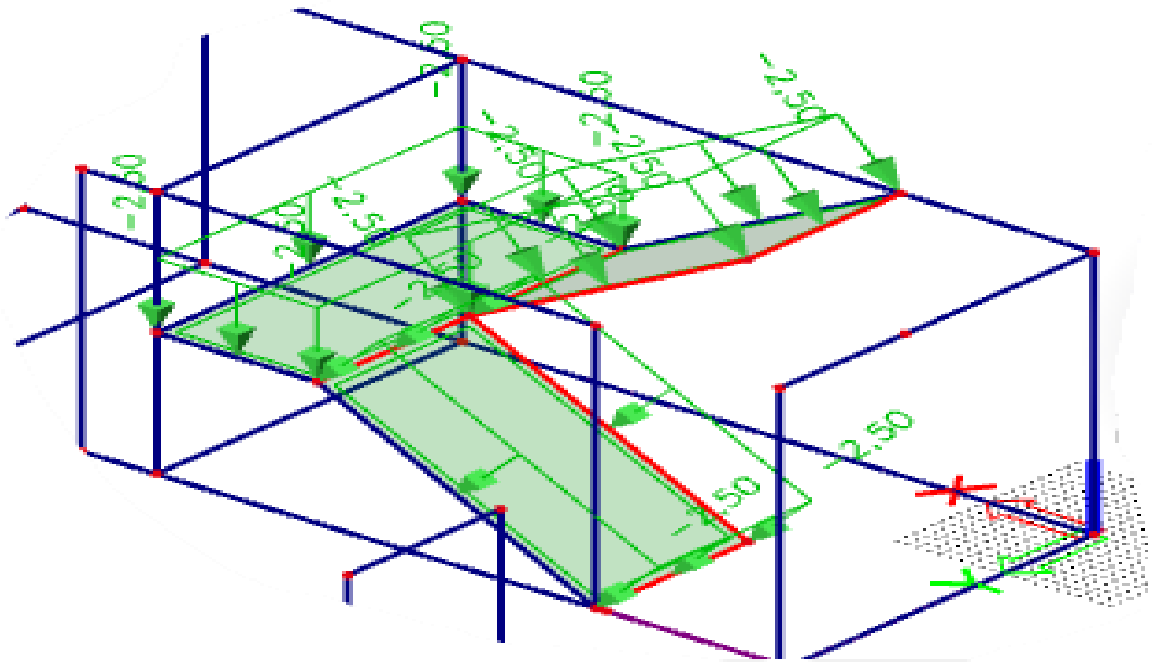


Slika 4.2.1 Dodatno stalno djelovanje $G1$ [kN/m²]

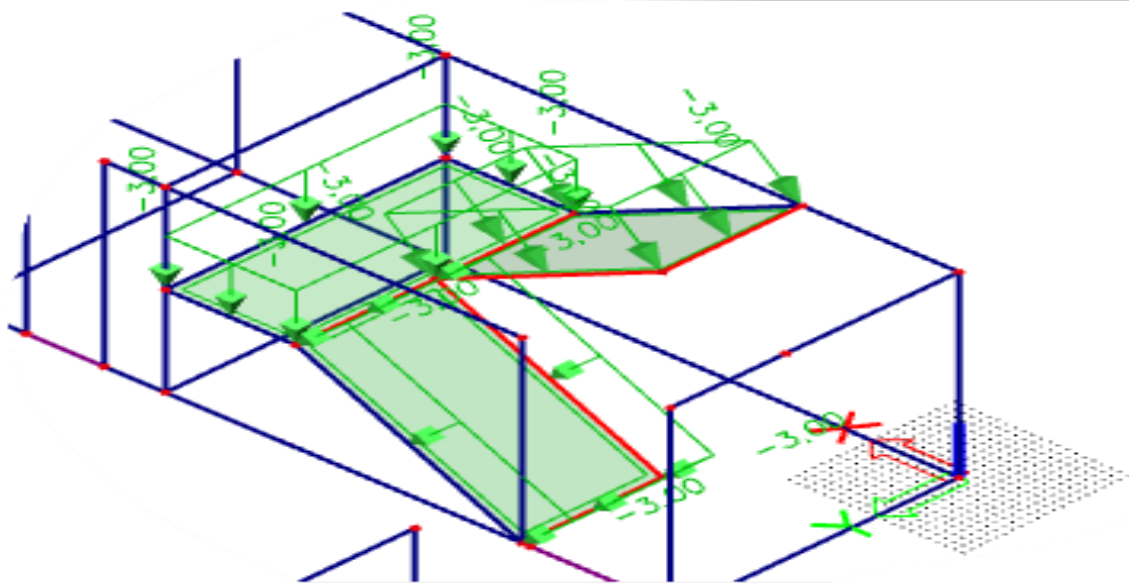


Slika 4.2.2 Promjenjivo djelovanje Q [kN/m²]

4.3. Stubište

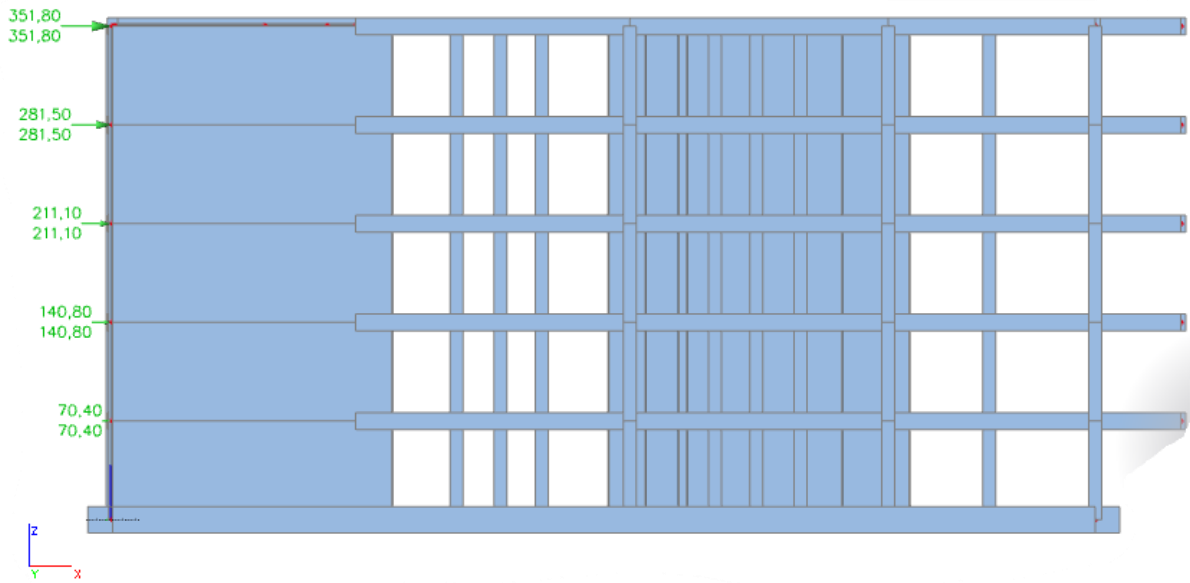


Slika 4.3.1 Dodatno stalno djelovanje G_1 [kN/m²]

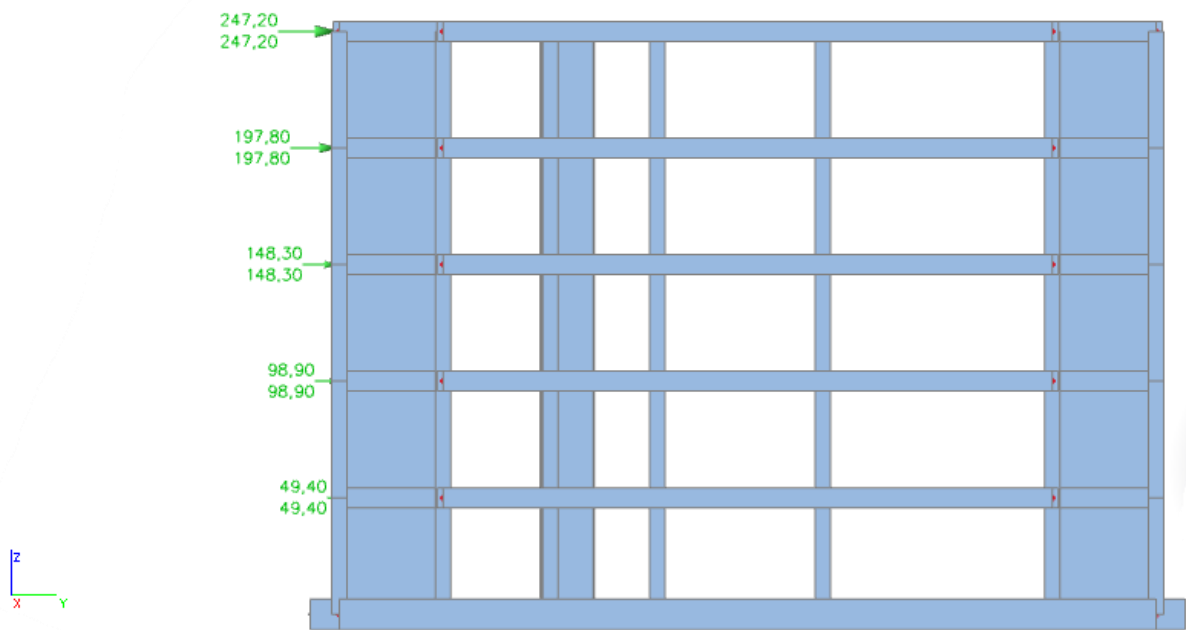


Slika 4.3.2 Promjenjivo djelovanje Q [kN/m²]

4.4. Potresno djelovanje



Slika 4.4.1 Potresno djelovanje P u smjeru x -osi [kN/m²]



Slika 4.4.2 Potresno djelovanje P u smjeru y -osi [kN/m²]

5. KOMBINACIJE DJELOVANJA

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

- **Granično stanje nosivosti**

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

**vlastita težina je uračunata u programu SCIA Engineer*

Q – uporabno djelovanje

- **Izvanredne kombinacije (potres)**

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

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

G – vlastita težina + dodatno stalno djelovanje

Q – vodeće promjenjivo djelovanje

P_x – potresno djelovanje u smjeru x-osi

P_y – potresno djelovanje u smjeru y-osi

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

- **Granično stanje uporabljivosti**

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

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

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

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

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

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

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

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

6. PRORAČUN PLOČA

6.1. Proračun međukatne ploče

Limitirajući moment:

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

Minimalna i maksimalna armatura:

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

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

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

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

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

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3.35}{19 \cdot 100} = 0.0018$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0018 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 1000 \cdot 190$$

$$V_{Rd,c} = 80.00 \text{ kN/m}$$

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

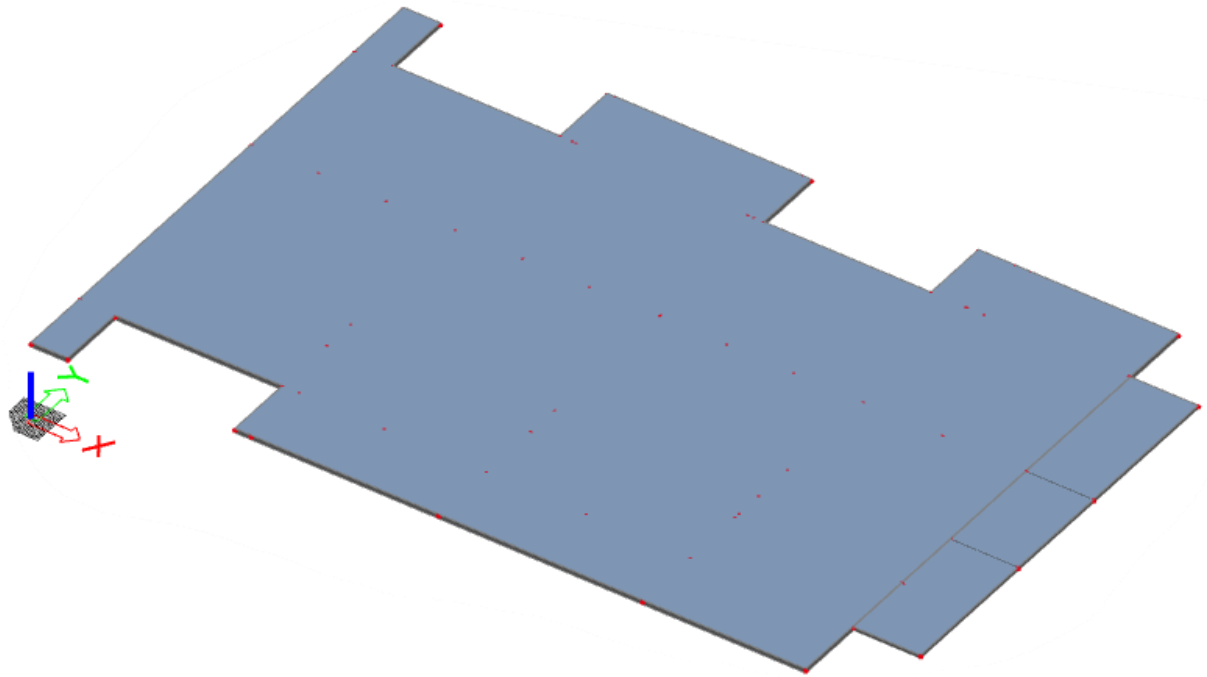
$$k = 0.15$$

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

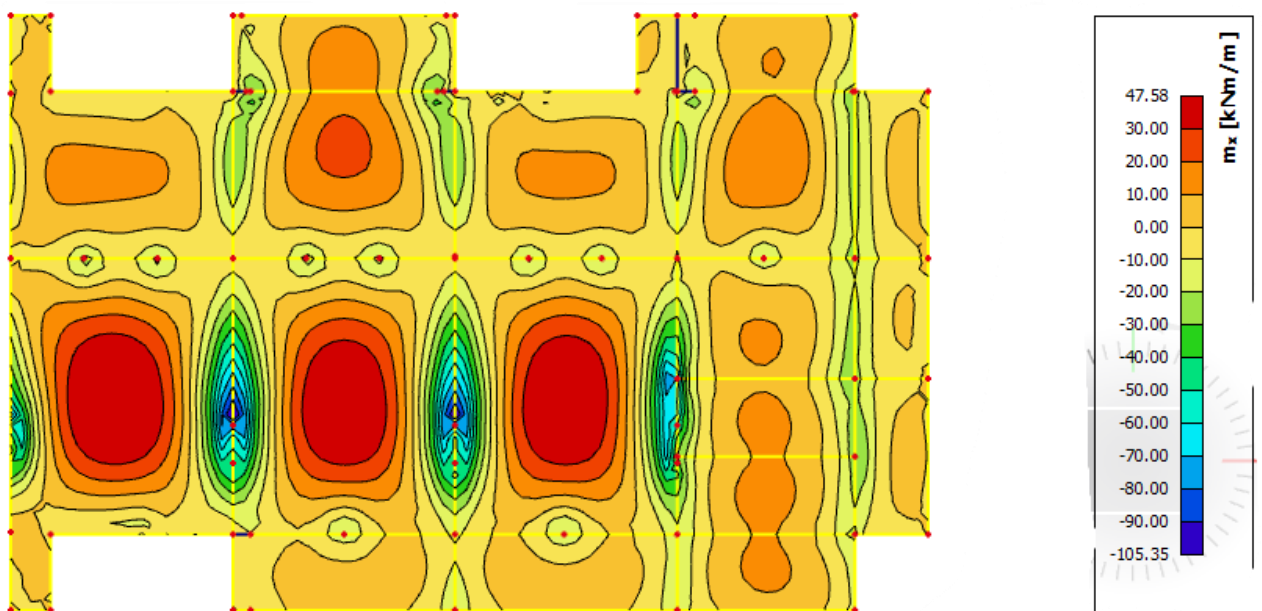
$$\vartheta_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

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

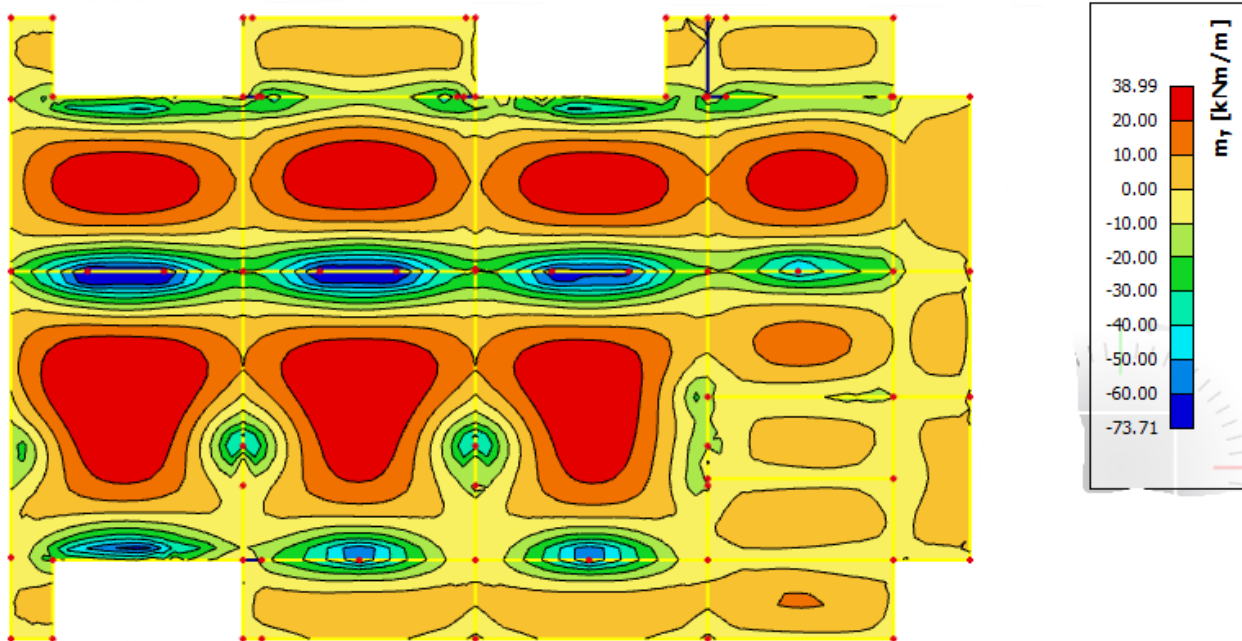
6.1.1. Prikaz modela i rezultata međukatne ploče



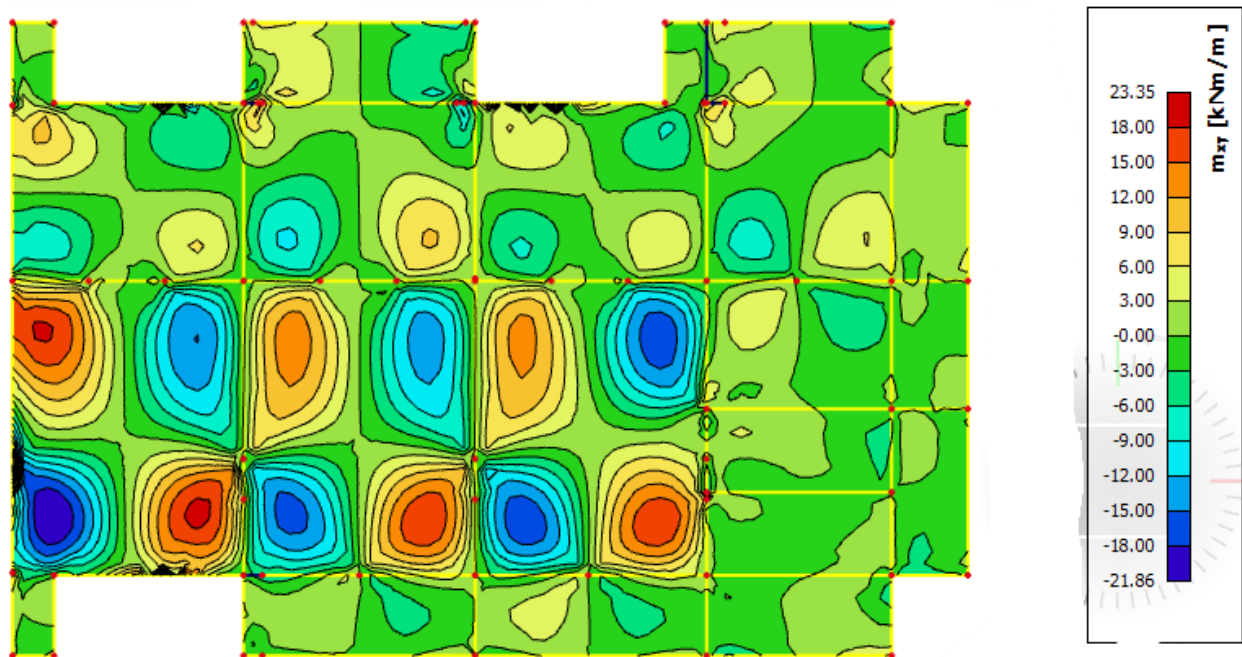
Slika 6.1.1 Prikaz modela ploče



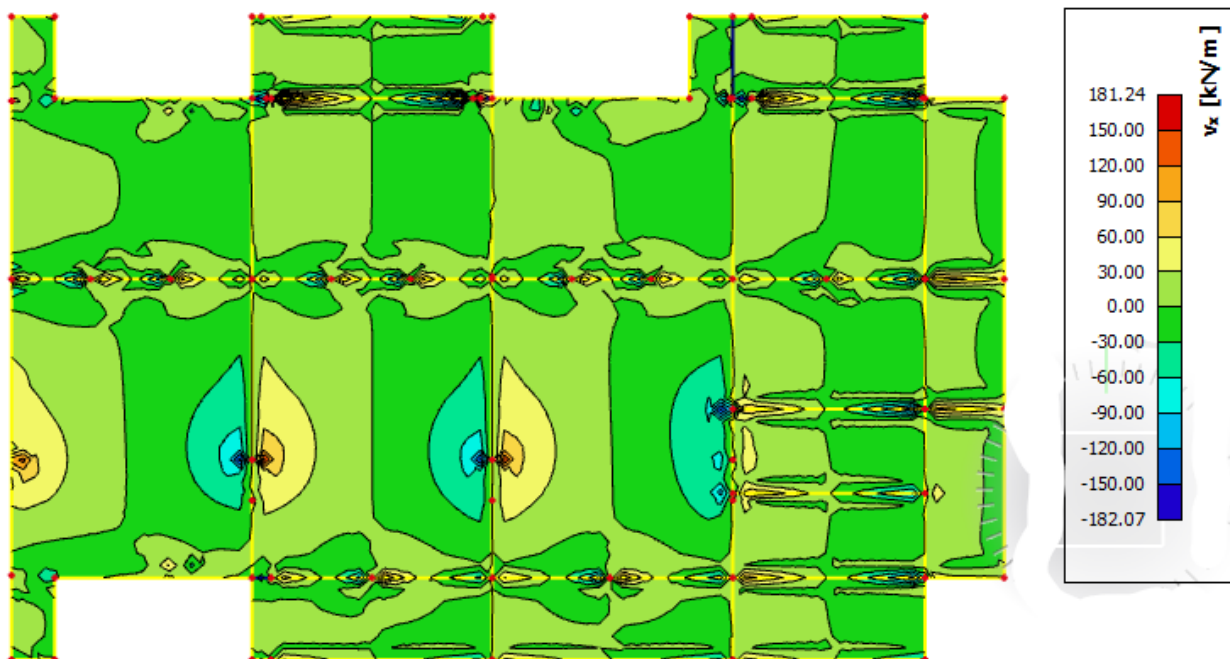
Slika 6.1.2 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSN-1



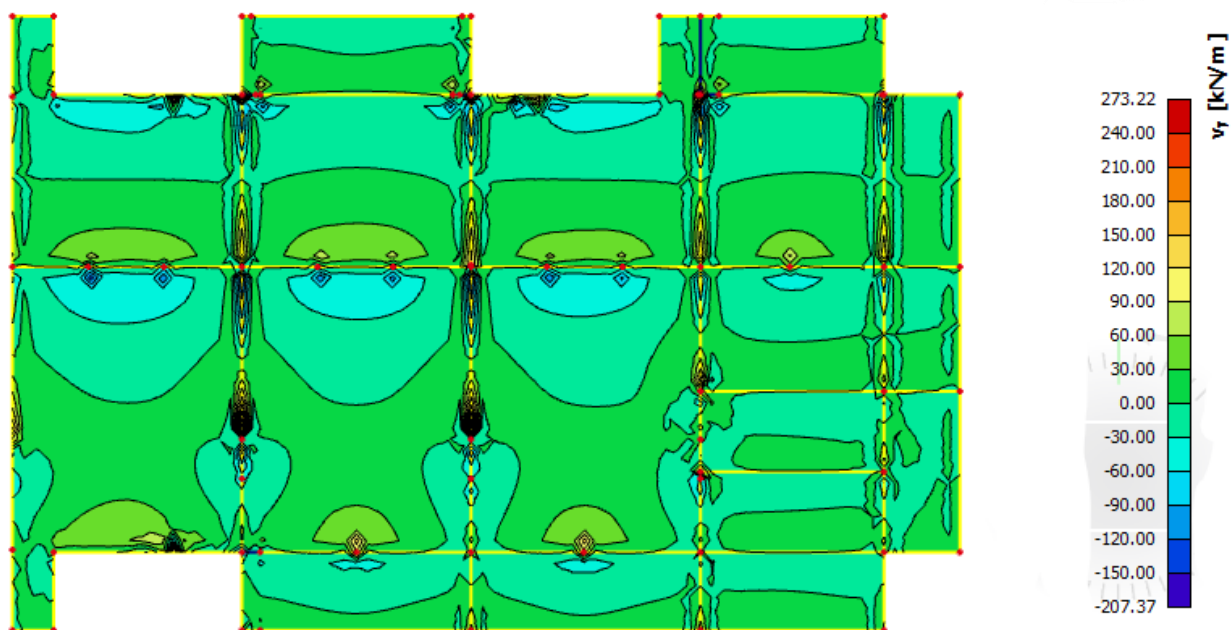
Slika 6.1.3 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSN-1



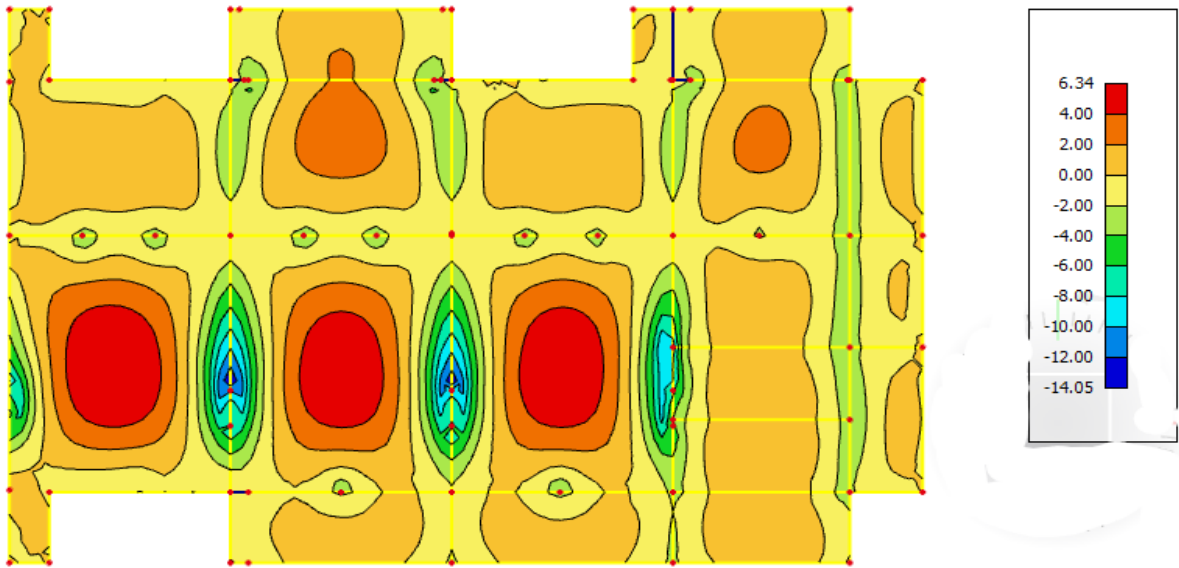
Slika 6.1.4 Moment savijanja $M_{Ed,xy}$ (kNm/m) za GSN-1



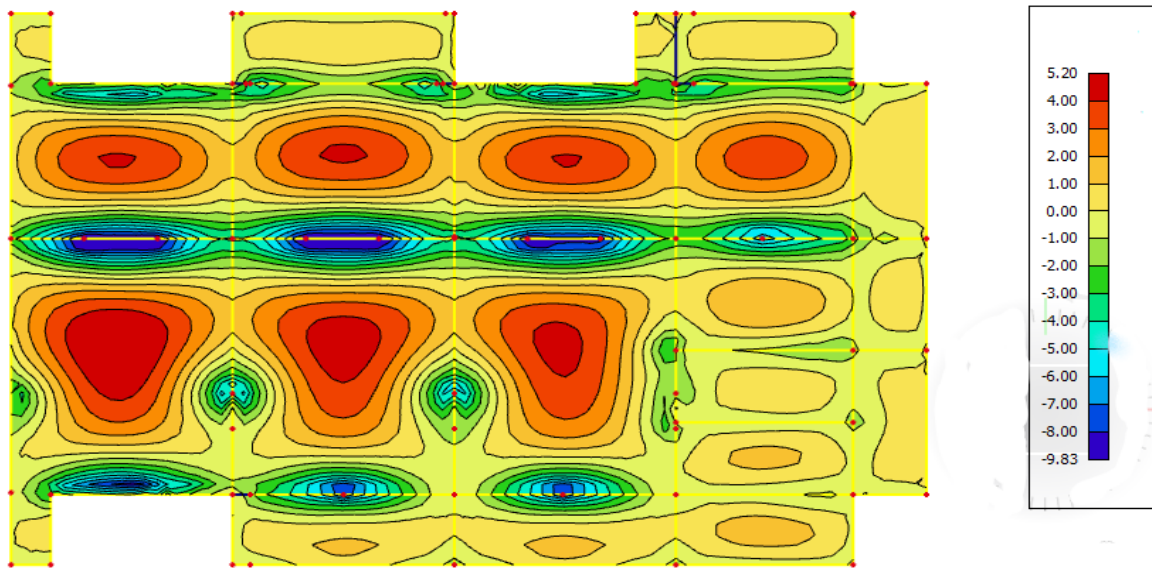
Slika 6.1.5 Poprečne sile $V_{Ed,x}$ (kN/m) za GSN-1



Slika 6.1.6 Poprečne sile $V_{Ed,y}$ (kN/m) za GSN-1



Slika 6.1.7 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u x smjeru



Slika 6.1.8 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u y smjeru

Potrebna armatura na ležaju: $A_s = 14.05 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju: $A_s = 6.34 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Napomena: armaturu u polju povećati za 20%, a armaturu nad ležajem smanjiti za 15%.

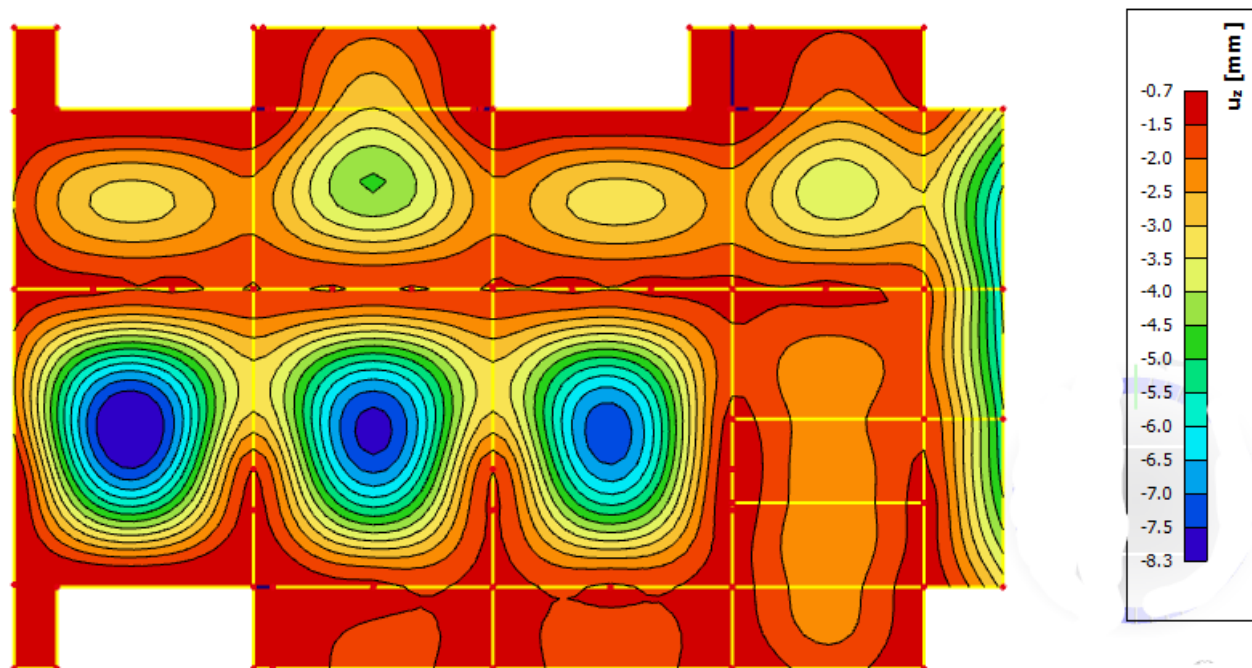
$$14.05 \times 0.85 = 11.95 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

$$6.34 \times 1.20 = 7.61 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Odabrana armatura

Ležaj: Q-785 + 4 $\Phi 12$ ($12.37 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

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



Slika 6.1.10 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

Najveći progib iznosa je $8.3 - 0.7 = 7.6$ mm.
 Dozvoljen progib $L/1000 = 10000/1000 = 10$ mm
 Međukatna ploča zadovoljava na progibe.

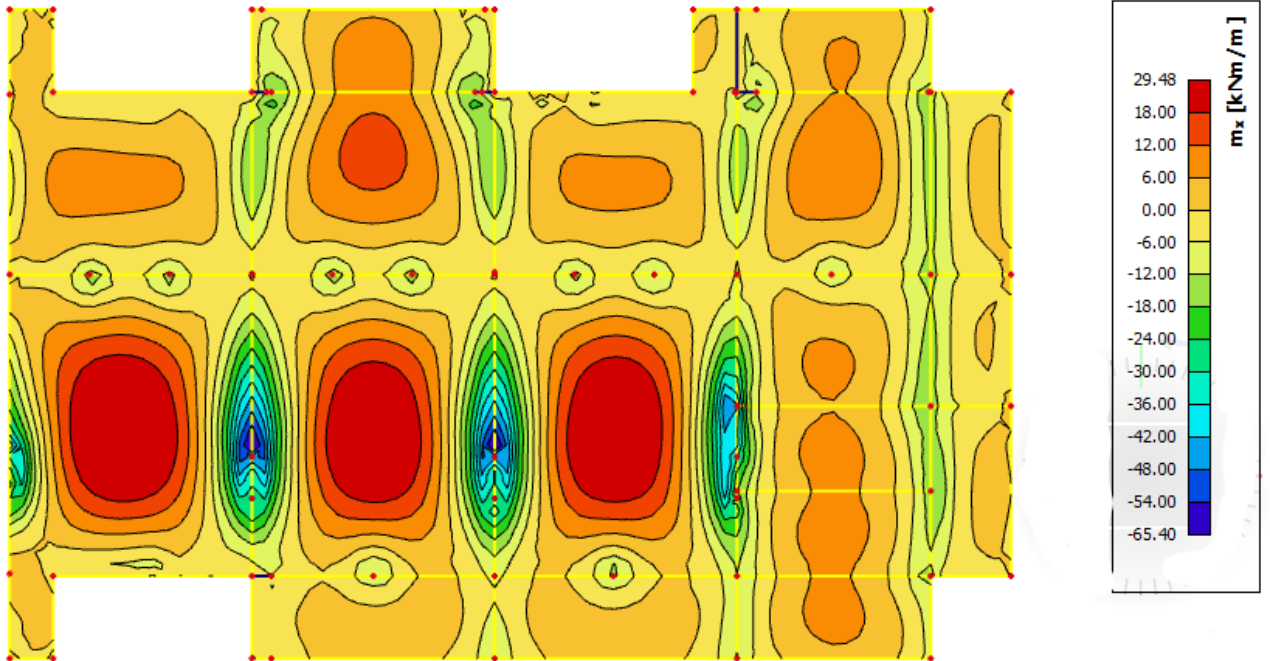
Oduzimanjem translacijske komponente pomaka dobivamo komponentu koja je se analizira odnosno provjerava dali zadovoljava dozvoljene granice.

Vidimo da je progib ploče dobiven ovim postupkom u oba modela približno jednak pa možemo zaključit da se radi o mjerodavnom progibu.

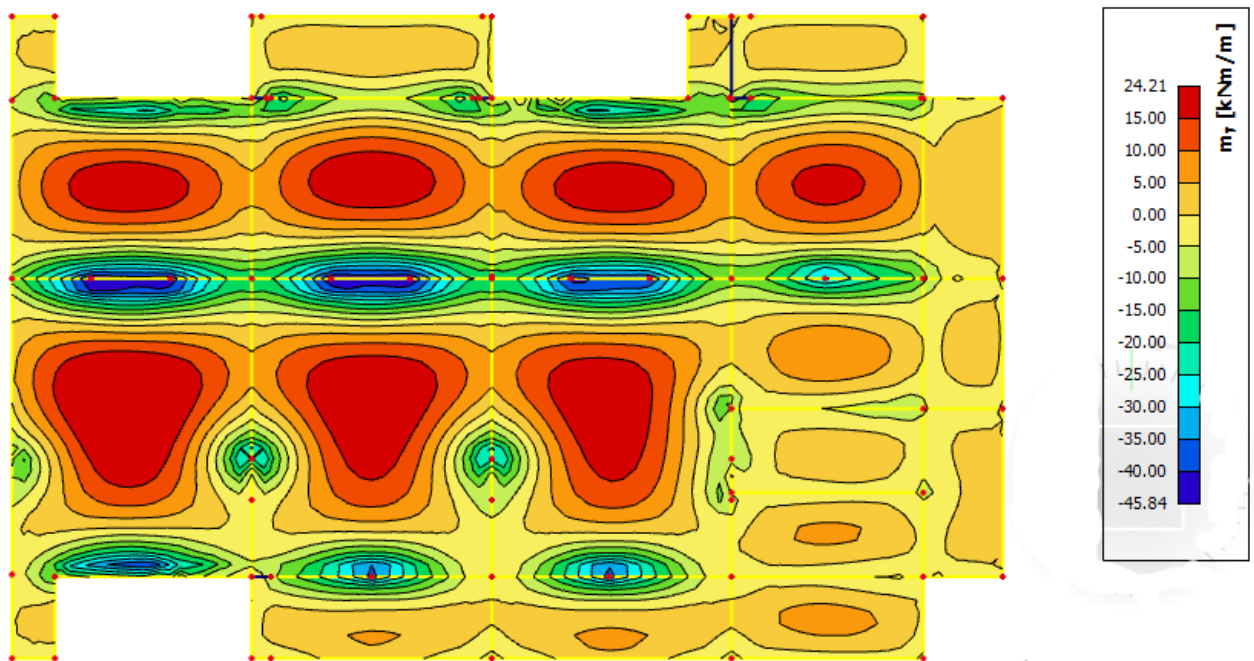
Kod 3-D modela koji su modelirani sa realnim karakteristikama tla bilo bi poželjno napraviti poseban model ploče karakteristične etaže.

6.1.2.2. Kontrola pukotina

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



Slika 6.1.11 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.1.12 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment $M = 29.48 \text{ kNm/m}$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 7.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 19}{6.25 \cdot 7.85}} \right) \\ = 3.86 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2948}{\left(19 - \frac{3.86}{3}\right) \cdot 7.85} = 21.20 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 212.0 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{7.85}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0105$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{212.0 - 0.4 \frac{2.9}{0.0105} (1 + 6.25 \cdot 0.0105)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{212.0}{200000}$$

$$0.00047 \geq 0.00073$$

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

Srednji razmak pukotina:

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

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

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

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$$k_3 = 3.4$$

$$k_4 = 0.425$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{10}{0.0105} = 297.9 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 297.9 \cdot 0.00073 = 0.22 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

6.2. Proračun krovne ploče

Limitirajući moment:

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

Minimalna i maksimalna armatura:

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

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

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

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

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

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature :

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

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

$$k_1 = 0.15$$

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

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

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

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

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

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

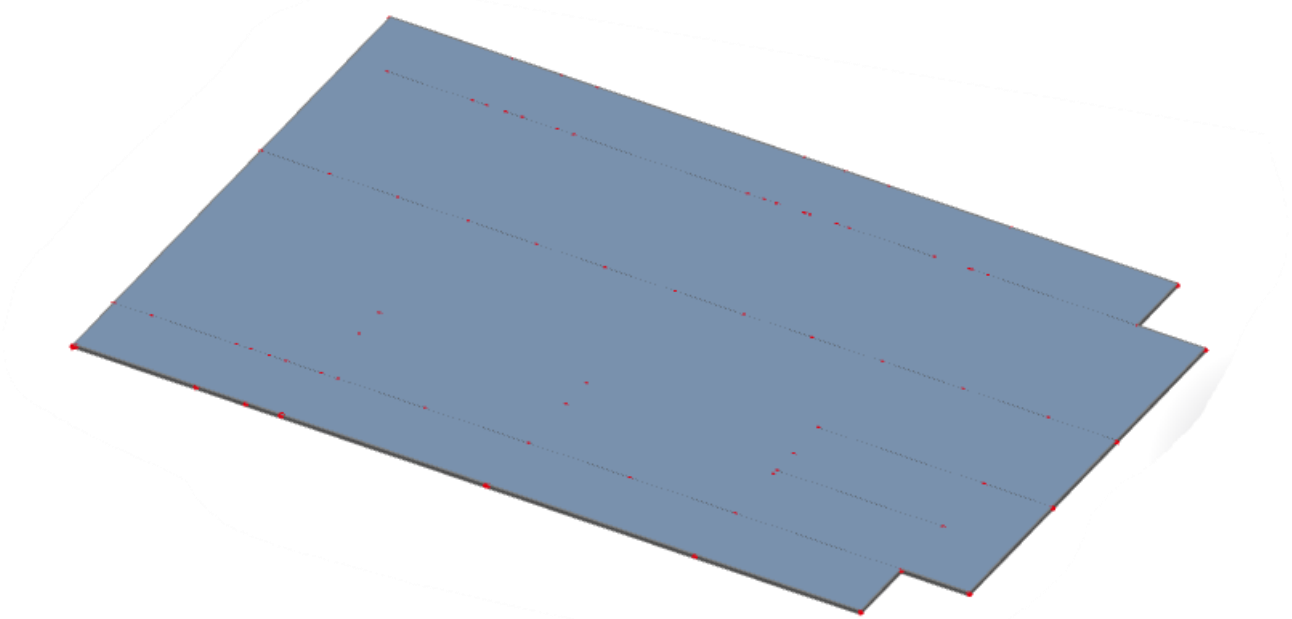
$$k = 0.15$$

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

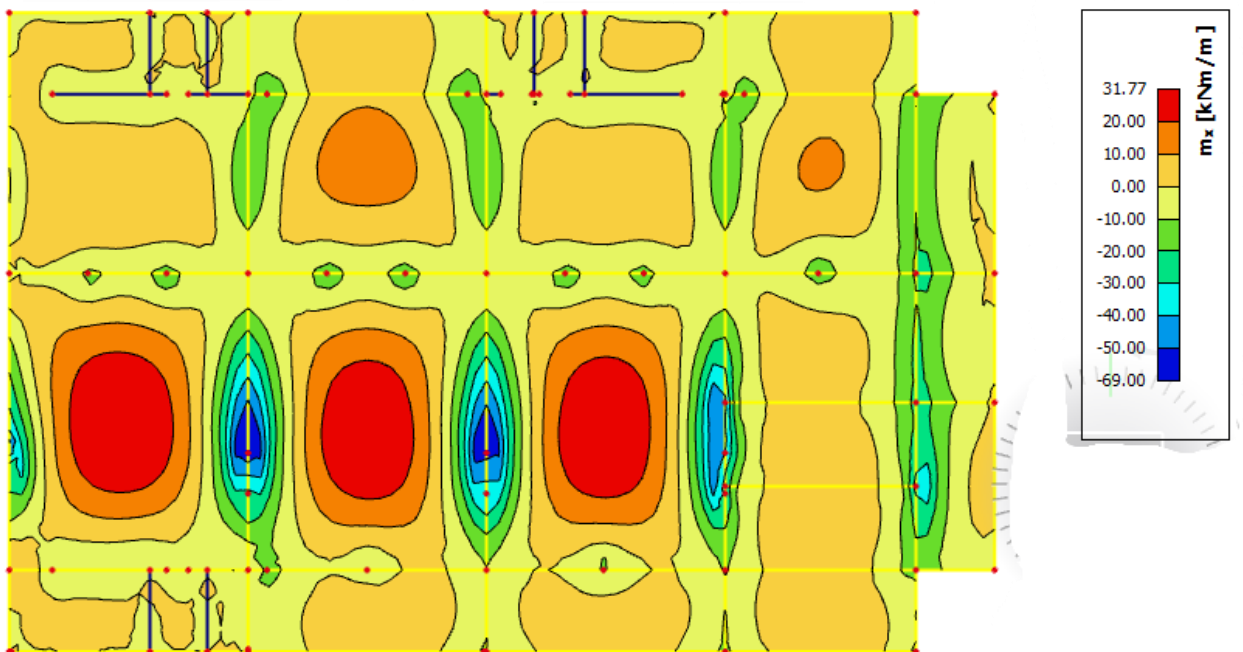
$$\vartheta_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$$

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

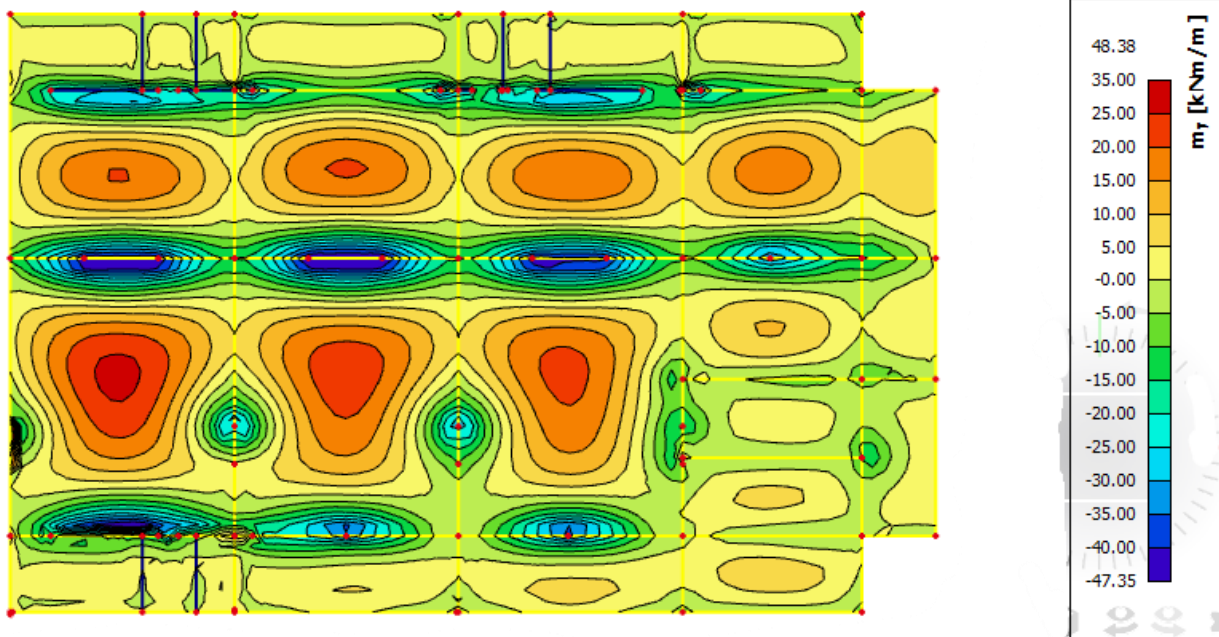
6.2.1. Prikaz modela i rezultata krovne ploče



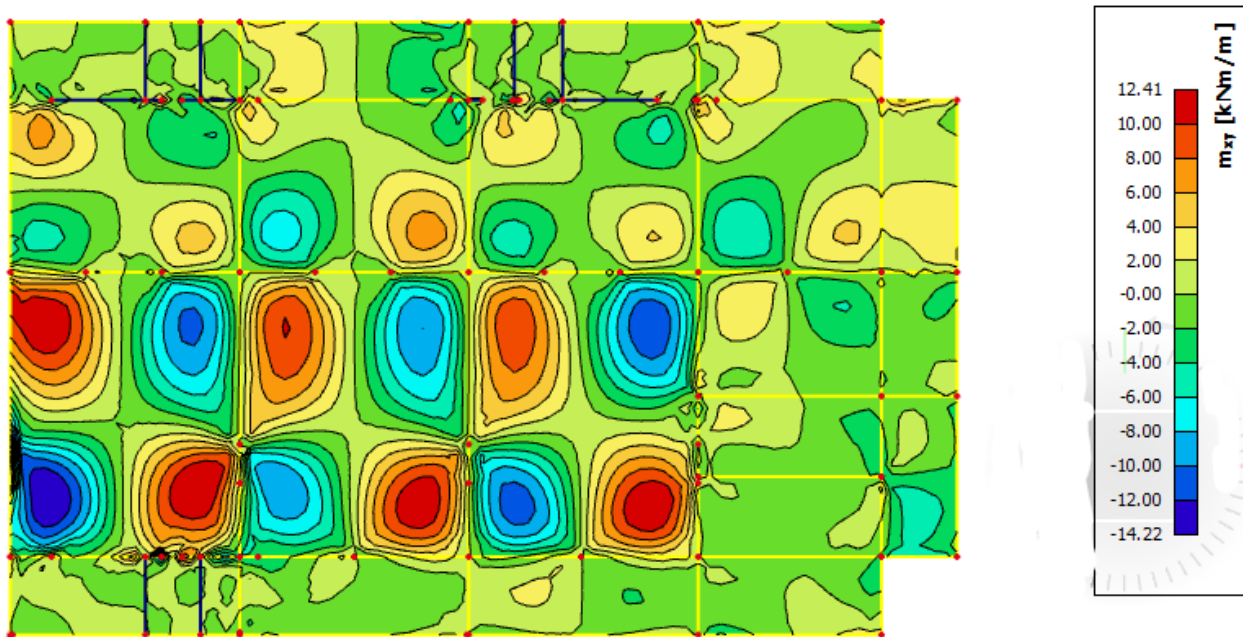
Slika 6.2.1 Prikaz modela



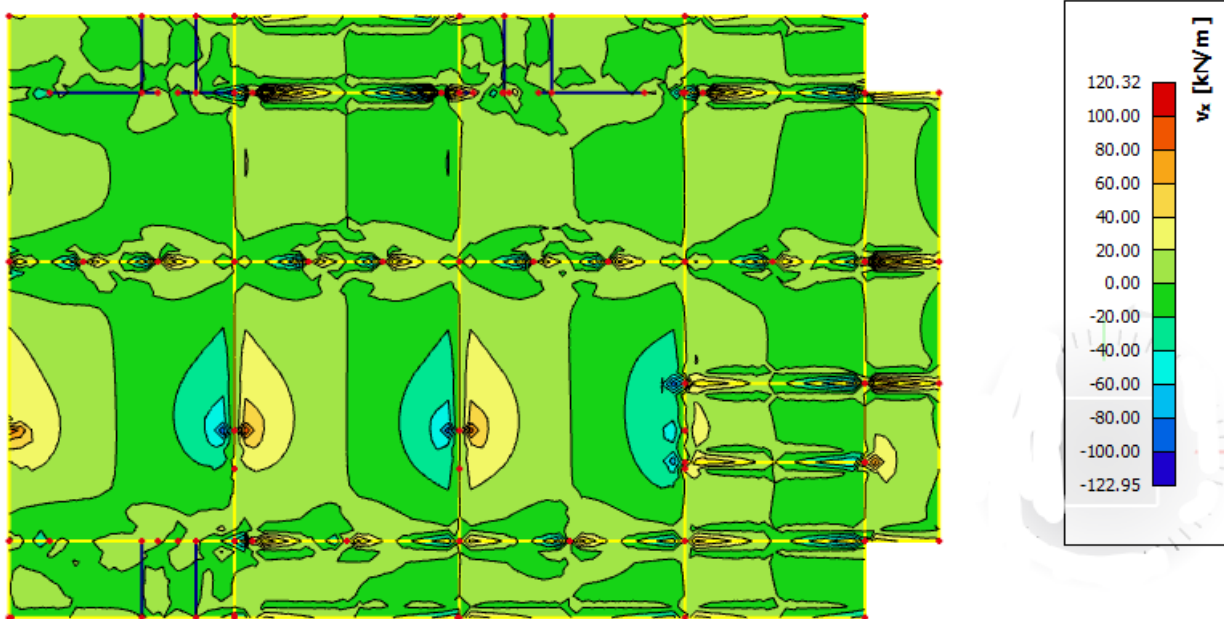
Slika 6.2.2 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSN-1



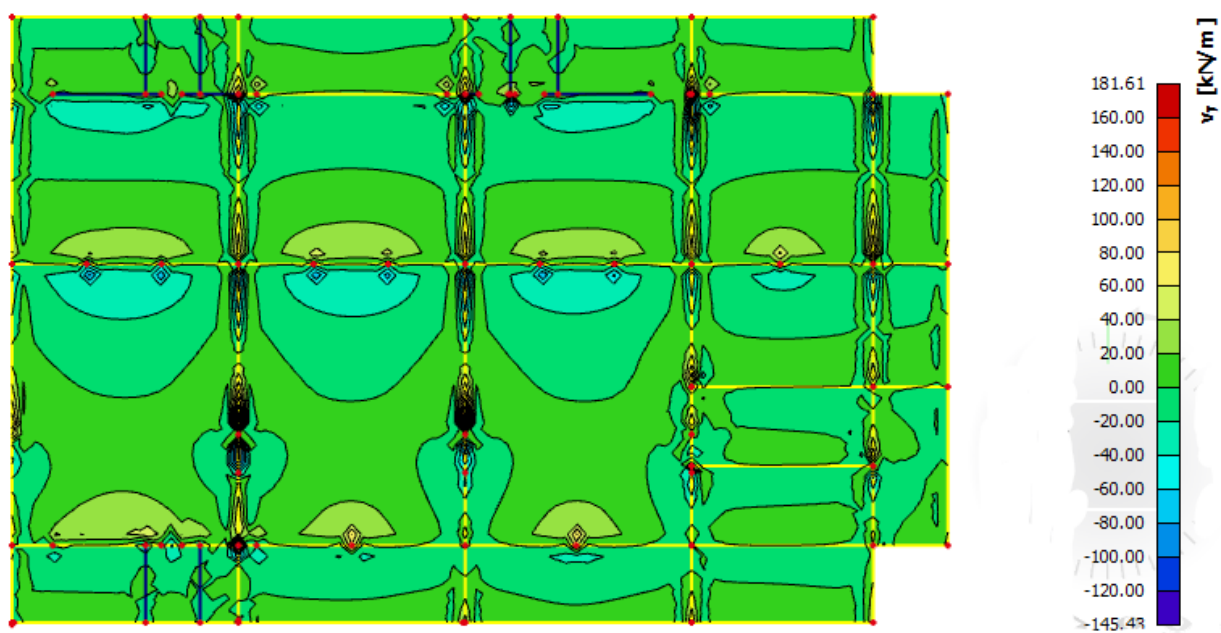
Slika 6.2.3 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSN-1



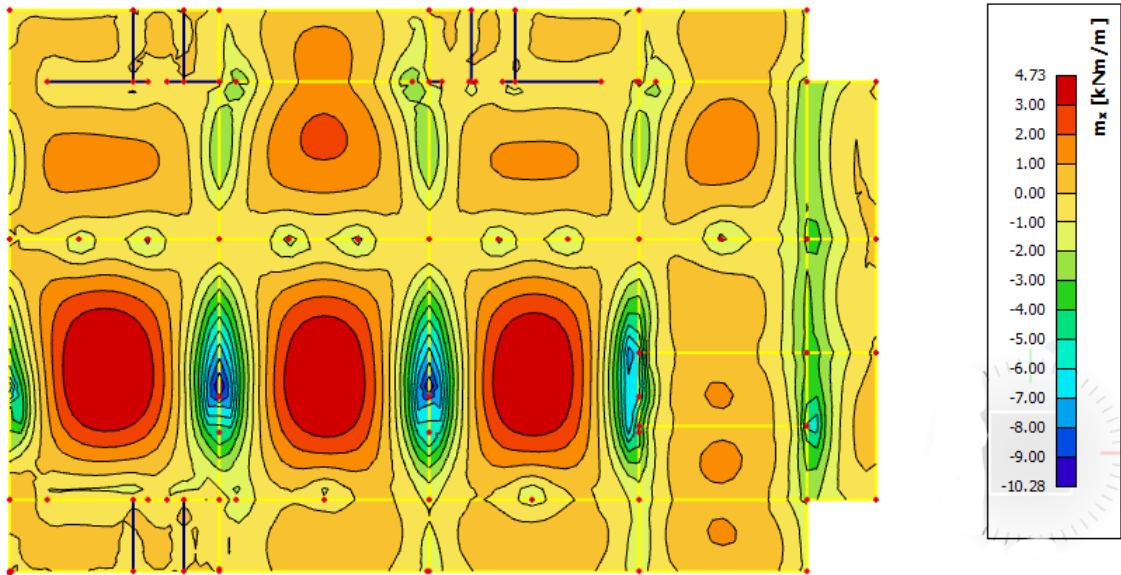
Slika 6.2.4 Moment savijanja $M_{Ed,xy}$ (kNm/m) za GSN-1



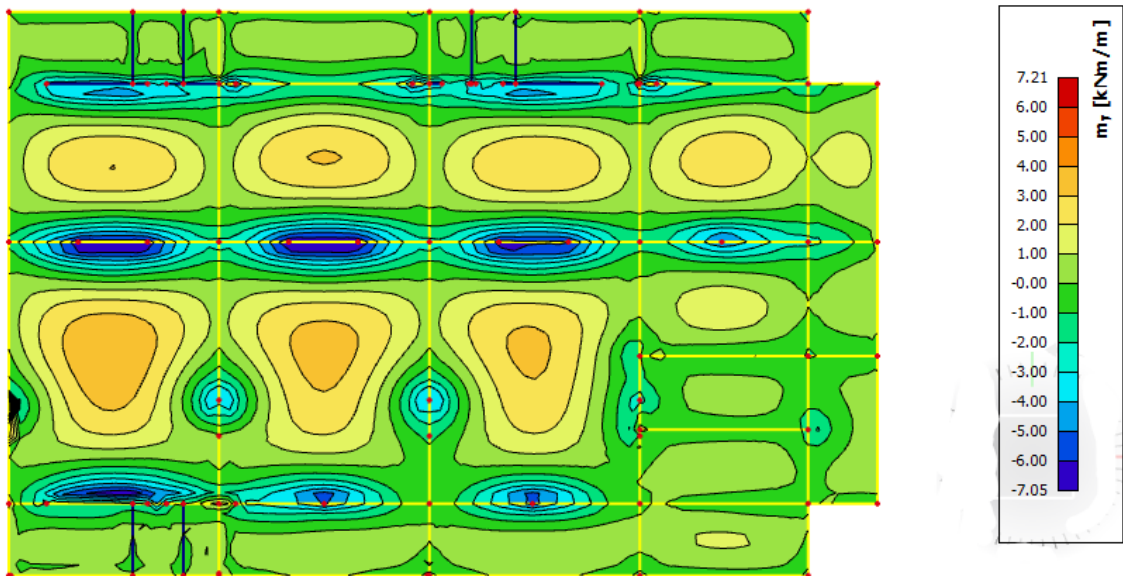
Slika 6.2.5 Poprečne sile $V_{Ed,x}$ (kN/m) za GSN-1



Slika 6.2.6 Poprečne sile $V_{Ed,y}$ (kN/m) za GSN



Slika 6.2.7 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u x smjeru



Slika 6.2.8 Potrebna površina armature $A_s(\text{cm}^2/\text{m})$ u y smjeru

Potrebna armatura na ležaju: $A_s = 10.28 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Potrebna armatura u polju: $A_s = 4.73 \text{ cm}^2 / \text{m}'$

Napomena: armaturu u polju povećati za 20%, a armaturu nad ležajem smanjiti za 15%.

$$10.28 \times 0.85 = 8.74 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

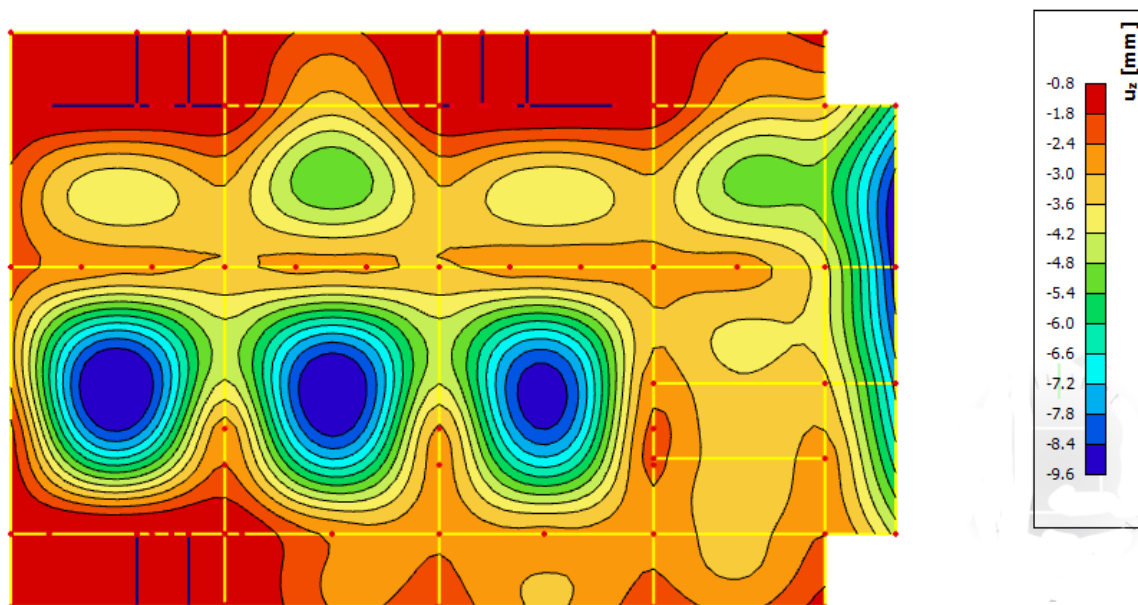
$$4.73 \times 1.20 = 5.68 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Odabrana armatura

Ležaj: Q-785 + 2 Φ 10 ($9.42 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

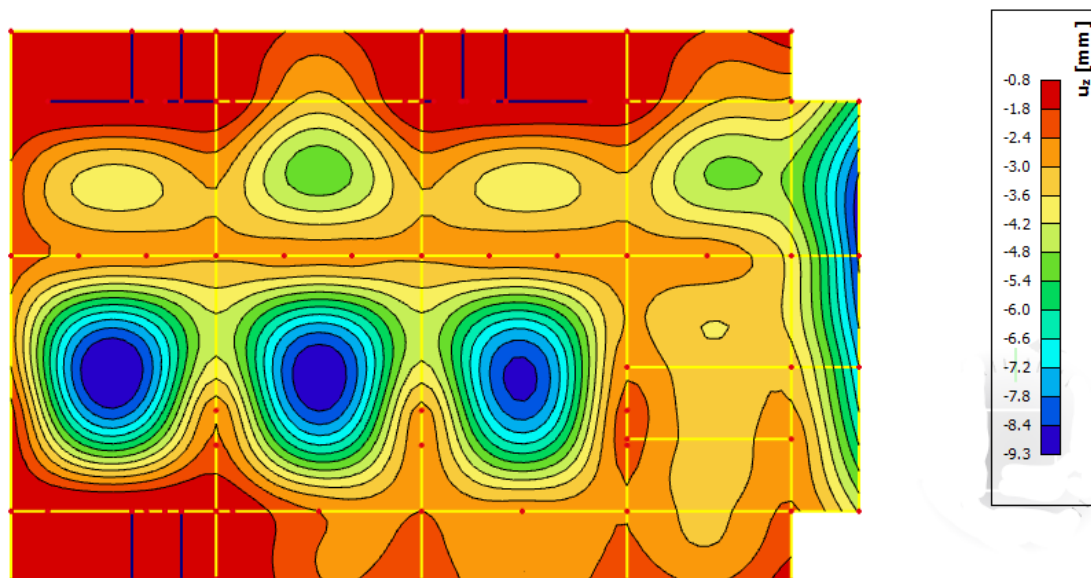
Polje: Q-636 ($6.36 \text{ cm}^2 / \text{m}'$)

6.2.2. Kontrola progiba krovne ploče



Slika 6.2.9 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-1

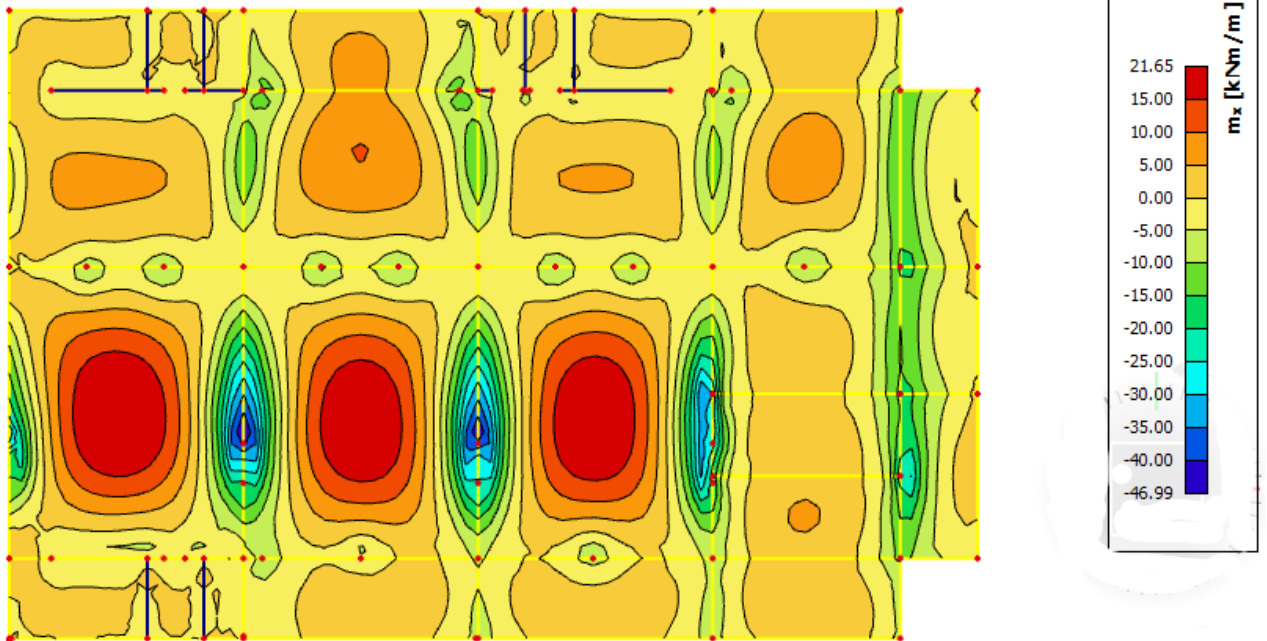
Najveći progib iznosa je $9.6 - 0.8 = 8.8$ mm.
Dozvoljen progib $L/1000 = 10000/1000 = 10$ mm
Krovna ploča zadovoljava na progibe.



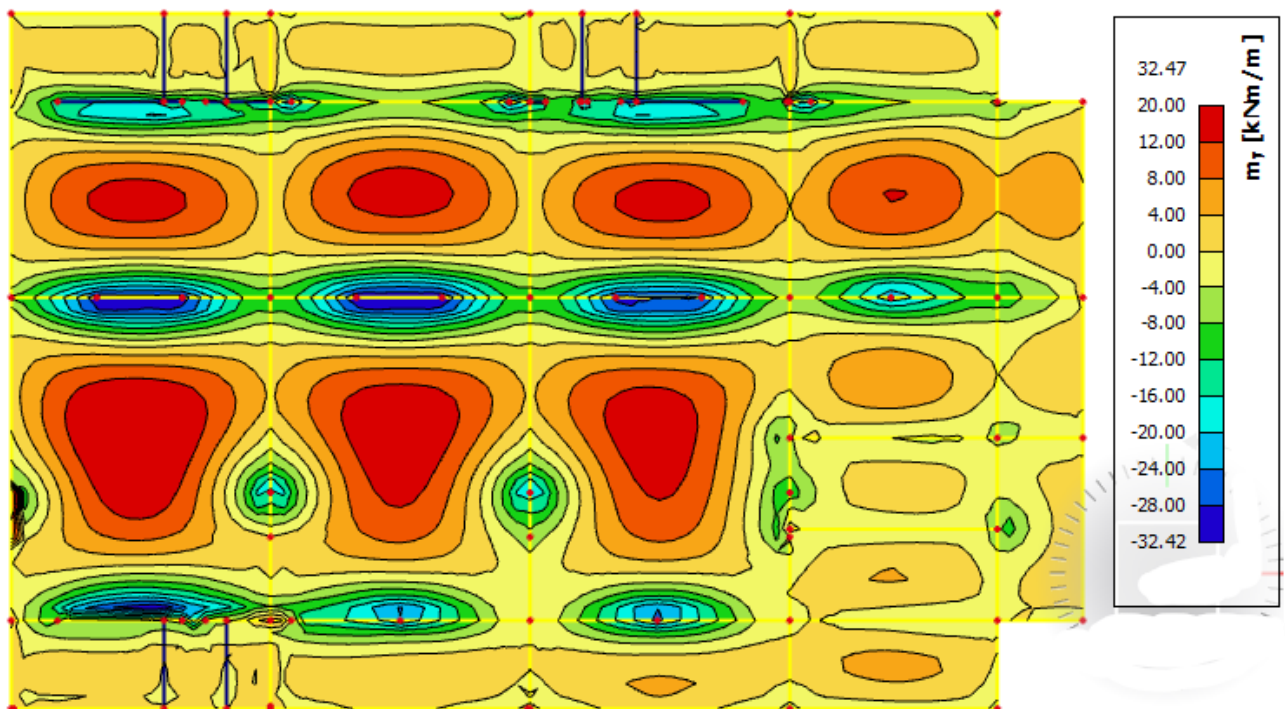
Slika 6.2.10 Progib ploče (mm) za kombinaciju GSU-2

Najveći progib iznosa je $9.3 - 0.8 = 8.5$ mm.
Dozvoljen progib $L/1000 = 10000/1000 = 10$ mm
Krovna ploča zadovoljava na progibe.

6.2.3. Kontrola pukotina krovne ploče



Slika 6.2.11 Moment savijanja $M_{Ed,x}$ (kNm/m) za GSU-1



Slika 6.2.12 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSU-1

Mjerodavni moment $M = 21.65$ kNm/m

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{e1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 6.36}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 17}{6.25 \cdot 6.36}} \right) \\ = 3.30 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2165}{\left(17 - \frac{3.30}{3}\right) \cdot 6.36} = 21.41 \frac{kN}{cm^2} = 214.1 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{6.36}{100 \cdot (2.5 \cdot 3.0)} = 0.0085$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{214.1 - 0.4 \frac{2.9}{0.0085} (1 + 6.25 \cdot 0.0085)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{214.1}{200000}$$

$$0.00035 \geq 0.00078$$

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

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 9.0 \text{ mm}$ –

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

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{9}{0.0085} = 316 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 316 \cdot 0.00078 = 0.25 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

7. PRORAČUN AB GREDA

Limitirajući moment:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 0.4 \cdot 0.62^2 \cdot 20.00 \cdot 1000 = 488,96 \text{ kNm}$$

Minimalna i maksimalna armatura za grede:

$$A_{s,min}^{polje} = 0.0015 \cdot b_w \cdot d = 0.0015 \cdot 40 \cdot 62 = 3,72 \text{ cm}^2$$

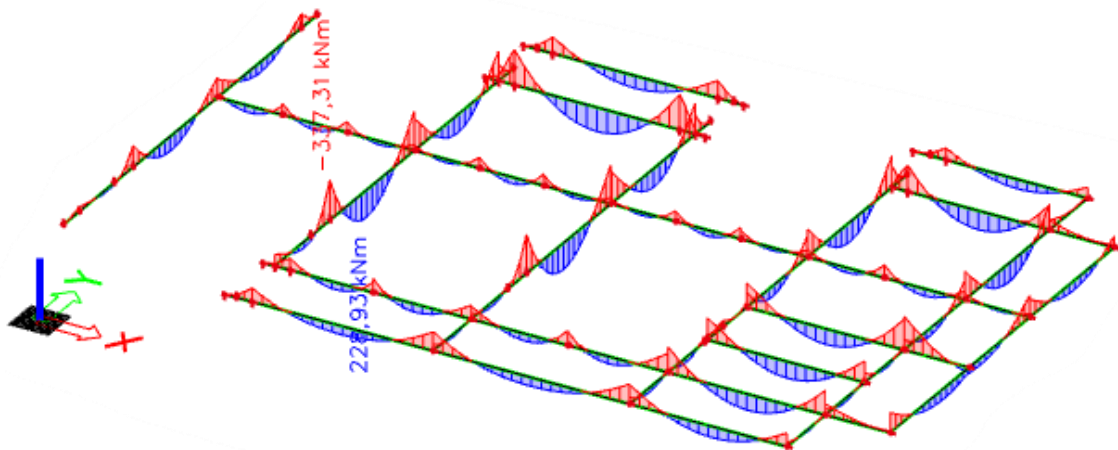
$$A_{s,min}^{ležaj} = 0.0015 \cdot b_{eff} \cdot d = 0.0015 \cdot 167.5 \cdot 62 = 15.58 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{polje} = 0.31 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.31 \cdot 40 \cdot 62 \cdot \frac{20}{434.80} = 35,36 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max}^{ležaj} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.85 \cdot 167.5 \cdot 65 \cdot \frac{20.00}{434.80} = 425.68 \text{ cm}^2$$

7.1. Međukatna greda

7.1.1. Prikaz rezultata proračuna

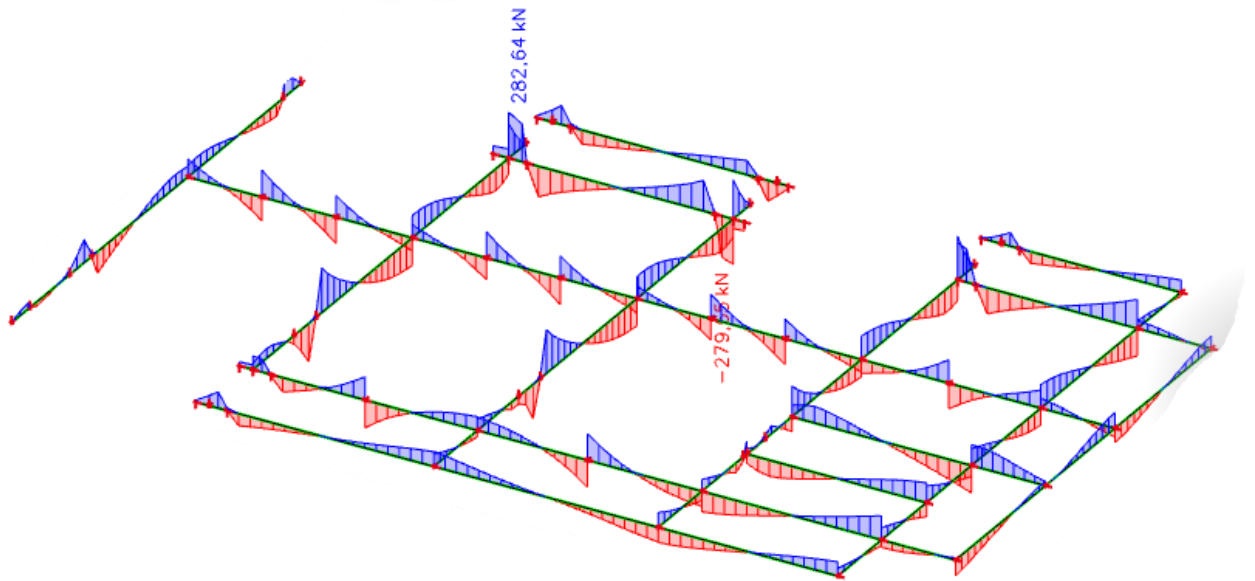


Slika 7.1.1 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSN

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

$$M_{max}^{polje} = 228.93 \cdot 1.30 = 297.57 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 337.31 \cdot 0.85 = 286.71 \text{ kNm}$$

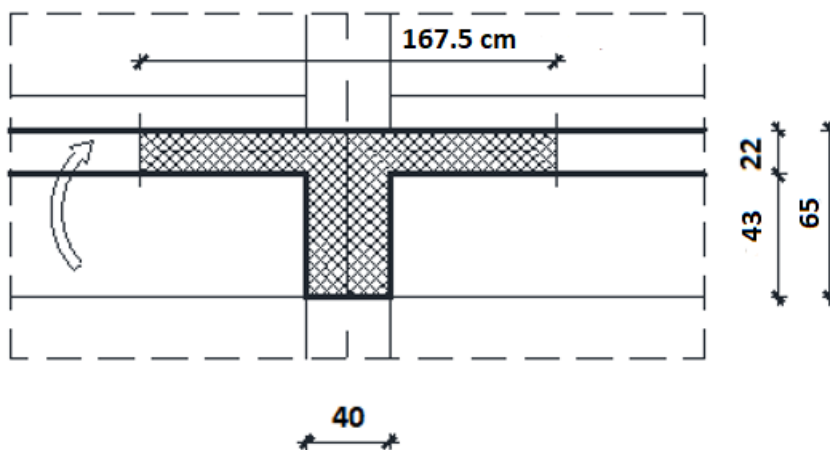


Slika 7.1.2 Poprečne sile $V_{Ed,z}$ (kN/m) za GSN

7.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

Polje:

Utjecajna širina: $b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 40 + \frac{0.85 \cdot 750}{5} = 167.5 \text{ cm}$



Slika 7.1.3. Poprečni presjek grede

$$M_{Ed} = 297,57 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{297.57 \cdot 100}{167.5 \cdot 62^2 \cdot 2.0} = 0,0231$$

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

$$x = \xi \cdot d = 0.083 \cdot 62 = 5.1 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{297.57 \cdot 100}{0.971 \cdot 62 \cdot 43.48} = 11.30 \text{ cm}^2$$

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

Ležaj:

$$M_{Ed} = 286,71 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{286.71 \cdot 100}{40 \cdot 62^2 \cdot 2.0} = 0.093$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰ } \varepsilon_{c2} = 2.1 \text{ ‰ } \quad \xi = 0.174 \quad \zeta = 0.934$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{286.71 \cdot 100}{0.934 \cdot 62 \cdot 43.48} = 11.39 \text{ cm}^2$$

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

7.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 282.64 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{620}} = 1.57 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.57$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{20.61}{40 \cdot 65} = 0.0079$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.57 \cdot (100 \cdot 0.0079 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 400 \cdot 620$$

$$V_{Rd,c} = 134,21 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.57^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.377$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.377 \cdot 400 \cdot 620 = 93,50 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 282.64 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 400 \cdot 620 \cdot 20.0 = 1309.44 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{282.64}{1309.44} \approx 0.22 \rightarrow V_{Ed} = 0.22 V_{Rd,max}$$

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

$$\min\{0.75 \cdot 62 = 46.5; 30.0\} \rightarrow s_{max} = 30.0 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0.0010$$

Potrebna računaska armatura!

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

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

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

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 62) \cdot 43.48 \cdot 2 = 127.78 \text{ kN}$$

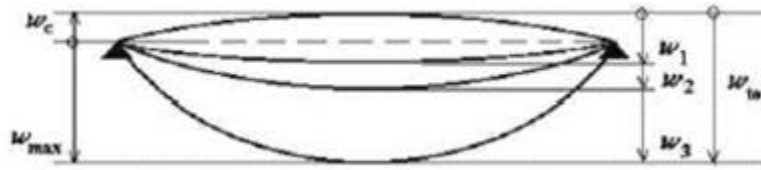
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 62)}{282.64} = 13.56 \text{ cm}$$

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

7.1.4. Kontrola progiba

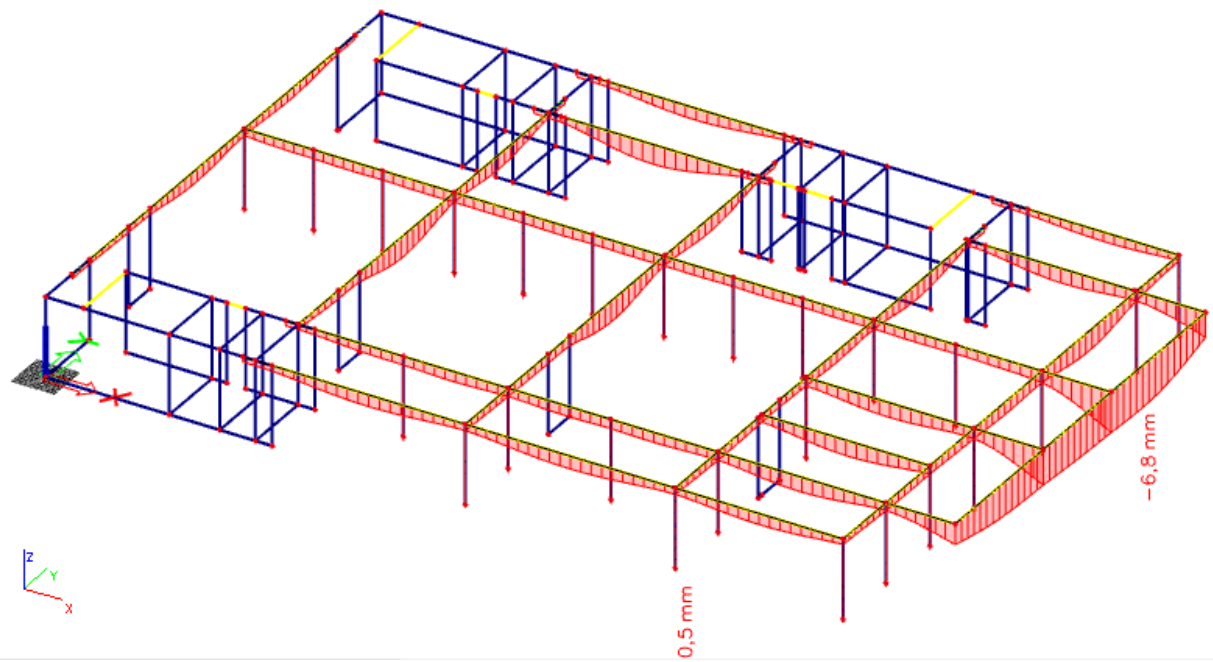


Slika 7.1.4 Prikaz progiba grede

- w_c – nadvišenje neopterećenog konstruktivnog elementa
- w_1 – početni progib od stalnog opterećenja
- w_2 – dugotrajni progib od stalnog opterećenja
- w_3 – progib od promjenjivog opterećenja
- w_{max} – ukupni progib

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

Tablica X.XX Ograničenje vertikalnih progiba za karakterističnu kombinaciju



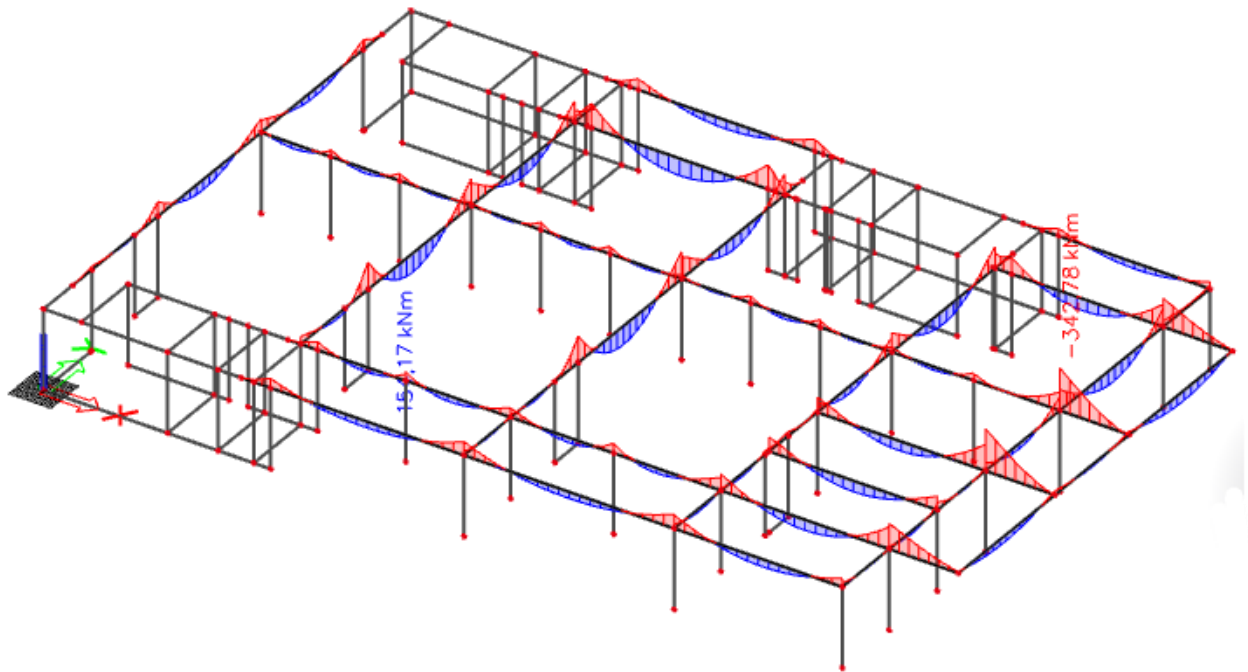
Slika 7.1.5 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je $6.8 - (4+6.5)/2 = 1.6$ mm.

Dozvoljen progib $L/1000 = 750/1000 = 7.5$ mm.

Međukatna greda zadovoljava na progibe.

7.1.5. Kontrola pukotina



Slika 7.1.6 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSU-1

$$M_{\max} = 154.2 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 12.57}{40} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 62}{6.25 \cdot 12.57}} \right) = 13.76 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{15420}{\left(57 - \frac{13.76}{3}\right) \cdot 15.21} = 19.34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 193.4 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{193.4 - 0.4 \cdot \frac{2.9}{0.042} (1 + 12.57 \cdot 0.042)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{193.4}{200000}$$

$$0.00076 \geq 0.00058$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00076$$

Srednji razmak pukotina:

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

$\emptyset = 20.0 \text{ mm}$

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

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

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

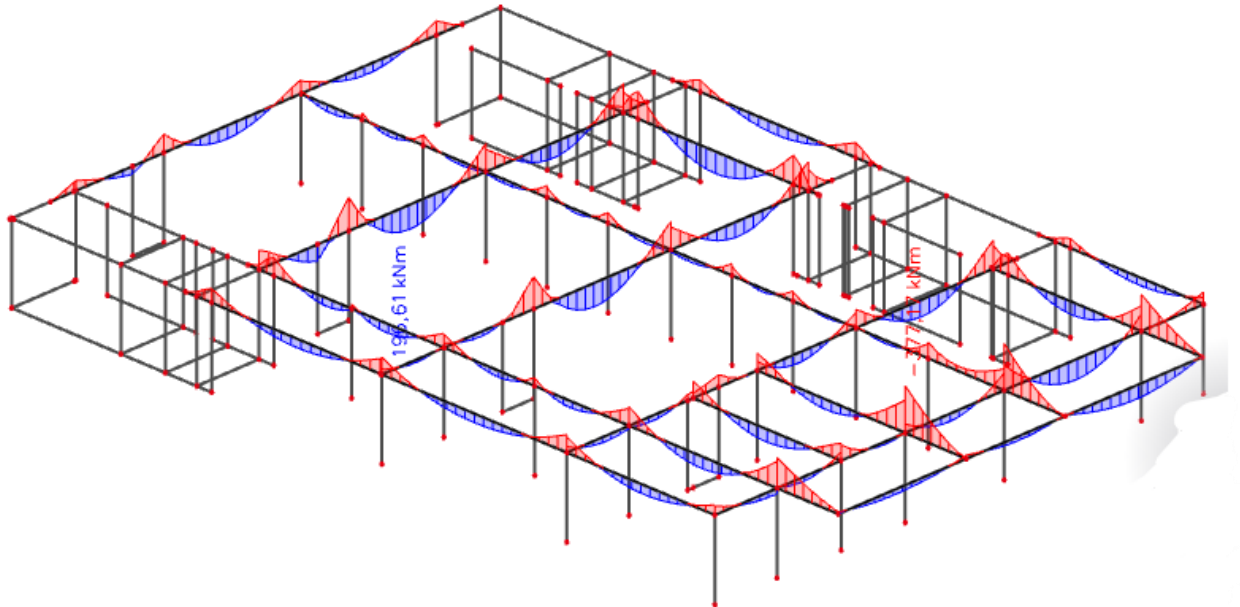
Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 216.95 \cdot 0.00076 = 0.16 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

7.2. Krovna greda

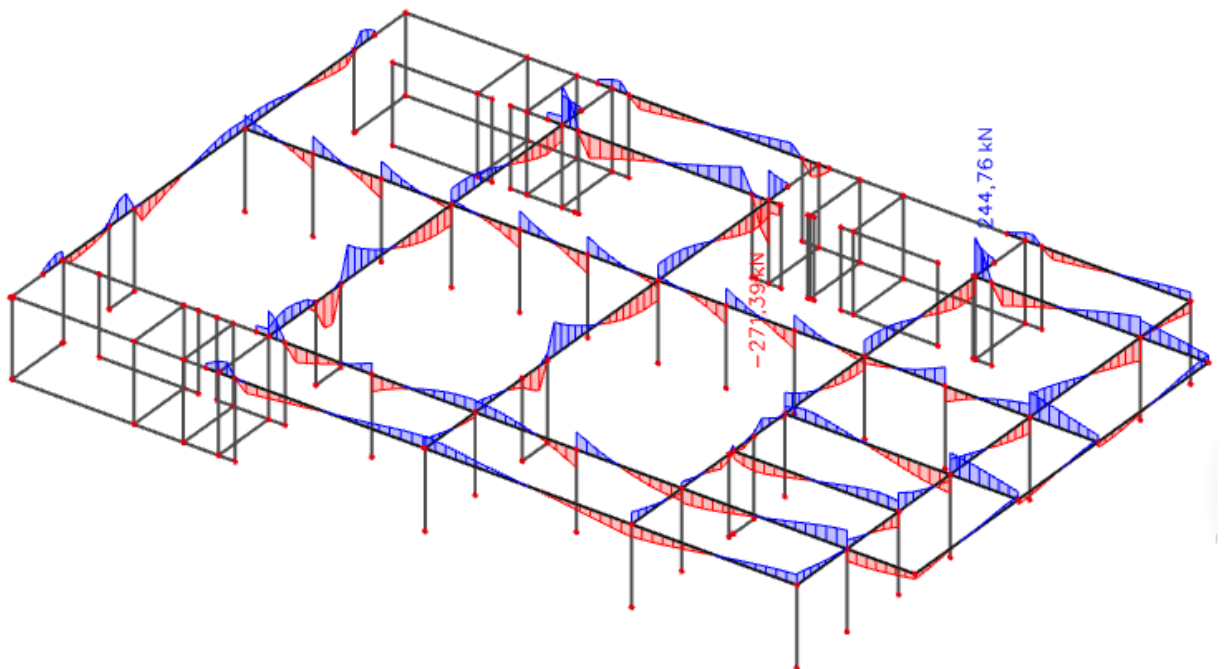
7.2.1. Prikaz rezultata proračuna



Slika 7.2.1 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm/m) za GSN

$$M_{max}^{polje} = 196.61 \cdot 1.30 = 255.6 \text{ kNm}$$

$$M_{max}^{ležaj} = 377.17 \cdot 0.85 = 320.6 \text{ kNm}$$

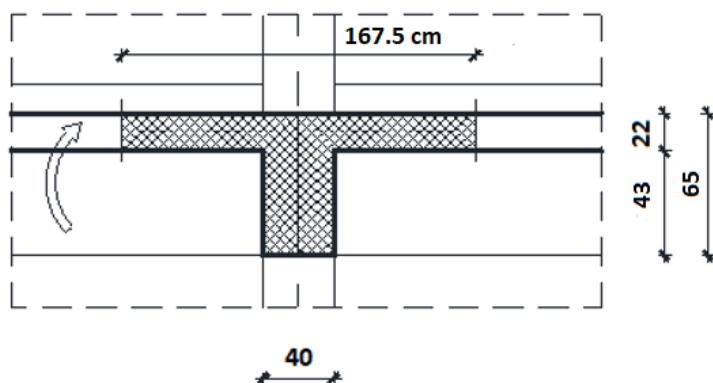


Slika 7.2.2 Poprečne sile $V_{Ed,z}$ (kN/m) za GSN

7.2.2. Dimenzioniranje na moment savijanja

Polje:

Utjecajna širina: $b_{eff} = b_0 + \frac{l_0}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 40 + \frac{0.85 \cdot 750}{5} = 167.5 \text{ cm} < 640 \text{ cm}$



Slika 7.2.3. Poprečni presjek grede

$M_{Ed} = 255.6 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{255.6 \cdot 100}{167.5 \cdot 62^2 \cdot 2.0} = 0,019$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 0.8$ $\xi = 0.074$ $\zeta = 0.974$

$$x = \xi \cdot d = 0.074 \cdot 62 = 4.6 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{255.6 \cdot 100}{0.974 \cdot 62 \cdot 43.48} = 9.73 \text{ cm}^2$$

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

Ležaj:

$M_{Ed} = 320.6 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{320.6 \cdot 100}{40 \cdot 62^2 \cdot 2.0} = 0.104$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 2.3 \text{ ‰}$ $\xi = 0.187$ $\zeta = 0.928$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{320.6 \cdot 100}{0.928 \cdot 62 \cdot 43.48} = 12.82 \text{ cm}^2$$

Oabrano 4Ø22 ($A_s = 15.21 \text{ cm}^2$)

7.2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 271.4 \text{ kN}$$

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{620}} = 1.57 \leq 2.0 \rightarrow k = 1.57$$

$$k = 0.15$$

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

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{23.25}{40 \cdot 65} = 0.0089$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.57 \cdot (100 \cdot 0.0089 \cdot 30)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 400 \cdot 620$$

$$V_{Rd,c} = 124.46 \text{ kN/m}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veći od:

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

$$k = 0.15$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.57^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.377$$

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

$$V_{Rd,c} \geq 0.377 \cdot 400 \cdot 620 = 93.50 \text{ kN/m}$$

Uvjet je zadovoljen.

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 271.4 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 400 \cdot 620 \cdot 20.0 = 1309.44 > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{271.4}{1309.44} \approx 0.20 \rightarrow V_{Ed} = 0.20 V_{Rd,max}$$

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

$$\min\{0.75 \cdot 62 = 46.5; 30.0\} \rightarrow s_{max} = 30.0 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0.0010$$

Potrebna računaska armatura!

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

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

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

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 62) \cdot 43.48 \cdot 2 = 127.78 \text{ kN}$$

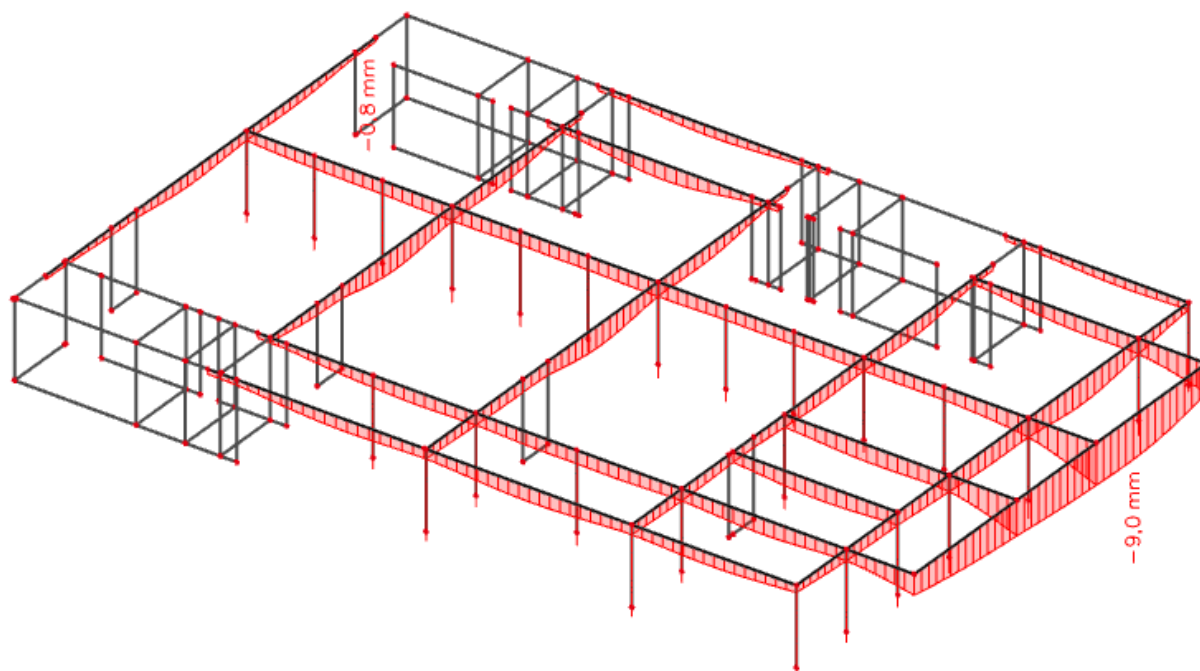
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 62)}{271.4} = 14.94 \text{ cm}$$

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

7.2.4. Kontrola progiba



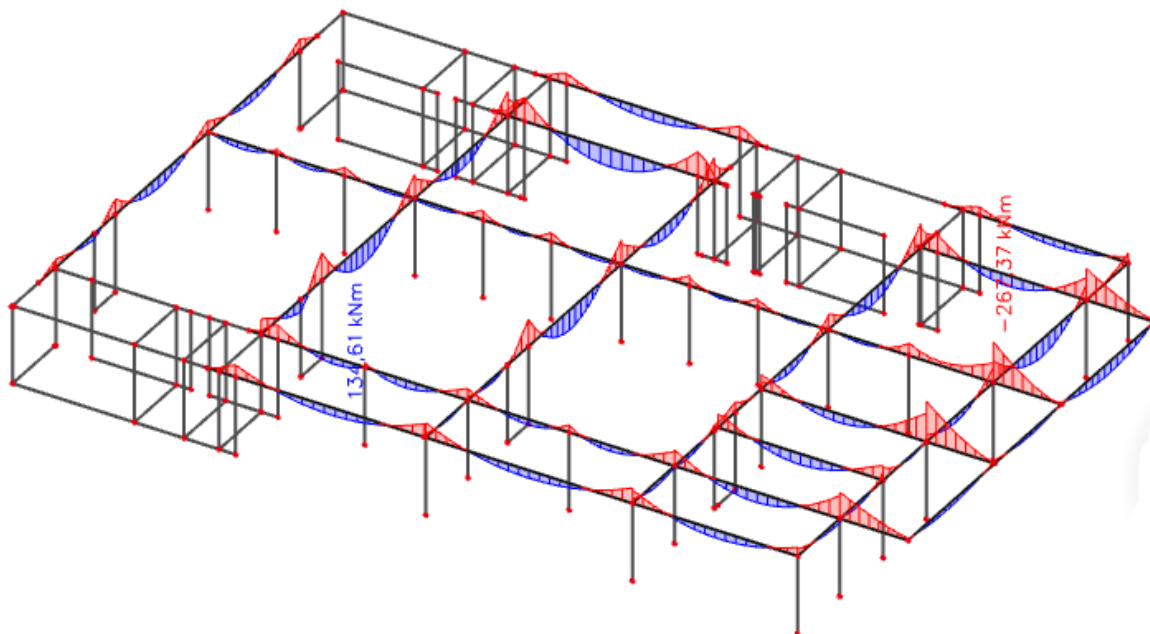
Slika 7.2.4 Progib grede (mm) za kombinaciju GSU-1

Najveći progib iznosa je $(9-7.5) = 1.5$ mm.

Dozvoljen progib $L/1000 = 750/1000 = 7.5$ mm.

Krovna greda zadovoljava na progibe

7.2.5. Kontrola pukotina



Slika 7.2.5 Moment savijanja $M_{Ed,y}$ (kNm) za GSU-1

$$M_{\max} = 134.6 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:

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

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

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

$$x = \frac{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{\varepsilon 1} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 10.18}{40} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 62}{6.25 \cdot 10.18}} \right) = 12.54 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{13460}{\left(62 - \frac{12.54}{3}\right) \cdot 10.18} = 22.87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 228.70 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{10.18}{40 \cdot (2.5 \cdot 3)} = 0.034$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{228.70 - 0.4 \cdot \frac{2.9}{0.034} (1 + 10.18 \cdot 0.034)}{200000} \geq 0.6 \cdot \frac{228.70}{200000}$$

$$0.00092 \geq 0.00069$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00092$$

Srednji razmak pukotina:

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

$$\emptyset = 18.0 \text{ mm}$$

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

$k_1 = 0.8$ – Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ – Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{18}{0.034} = 226.95 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 226.95 \cdot 0.00092 = 0.2 \text{ mm} < w_g = 0.3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju!

8. PRORAČUN ZIDOVA

- 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:

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

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

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

- Kritično područje:

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

- Minimalno armiranje:

na krajevima zida:

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

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

ostali dio zida:

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

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

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

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

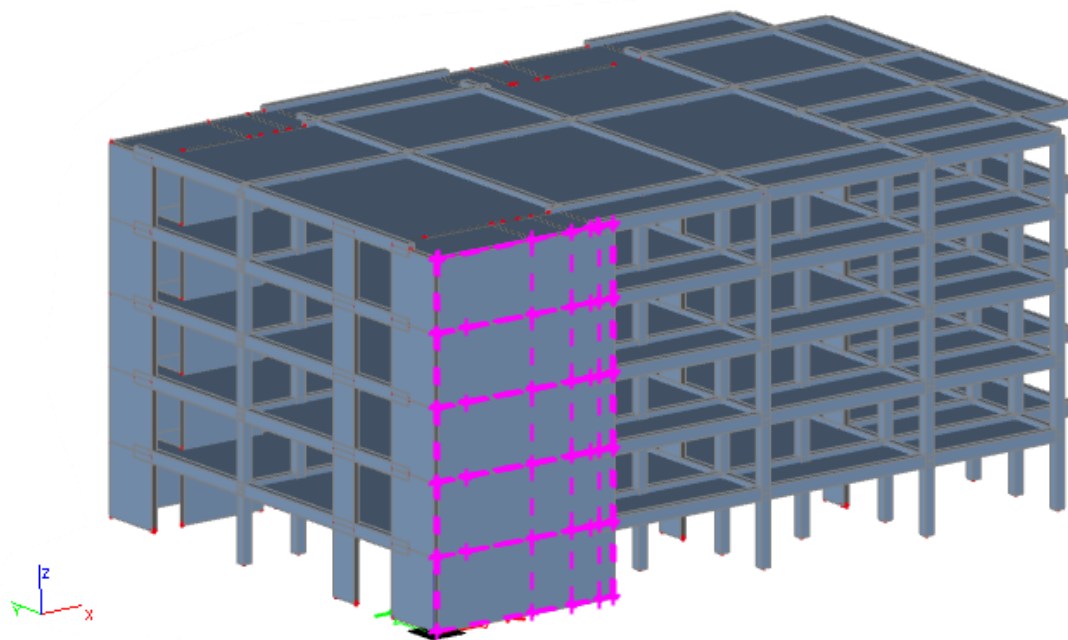
$$\text{C 25/30 (} f_{ct,m} = 2.6 \text{ MPa); B 500B (} f_y = 500 \text{ MPa); } \rho_{w,min} = 0.15 \cdot (2.6/435) = 0.0009$$

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

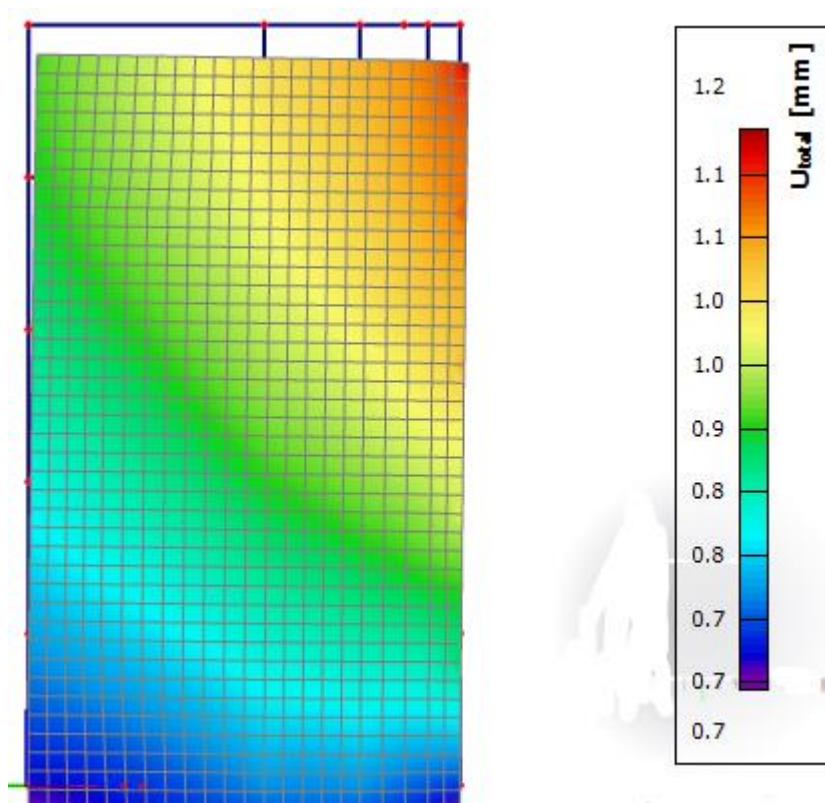
$$b_w = 20 \text{ cm; } A_{s,min} = 0.0009 \cdot 20 \cdot 100/2 = 0.90 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$

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

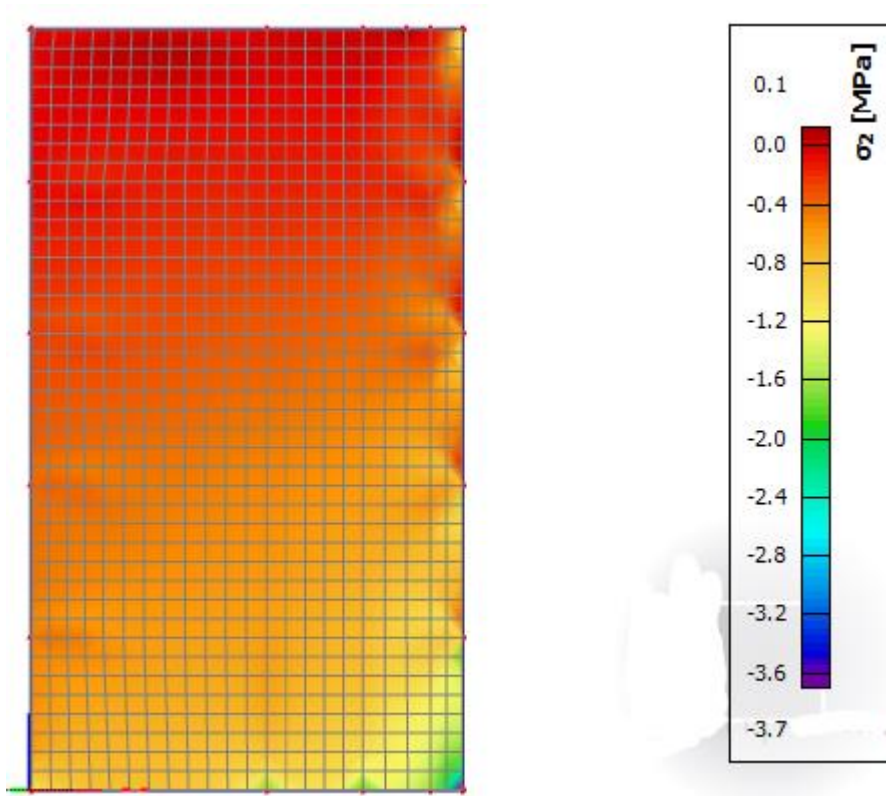
$$b_w = 40 \text{ cm; } A_{s,min} = 0.0009 \cdot 40 \cdot 100/2 = 1.80 \text{ cm}^2/\text{m obostrano}$$



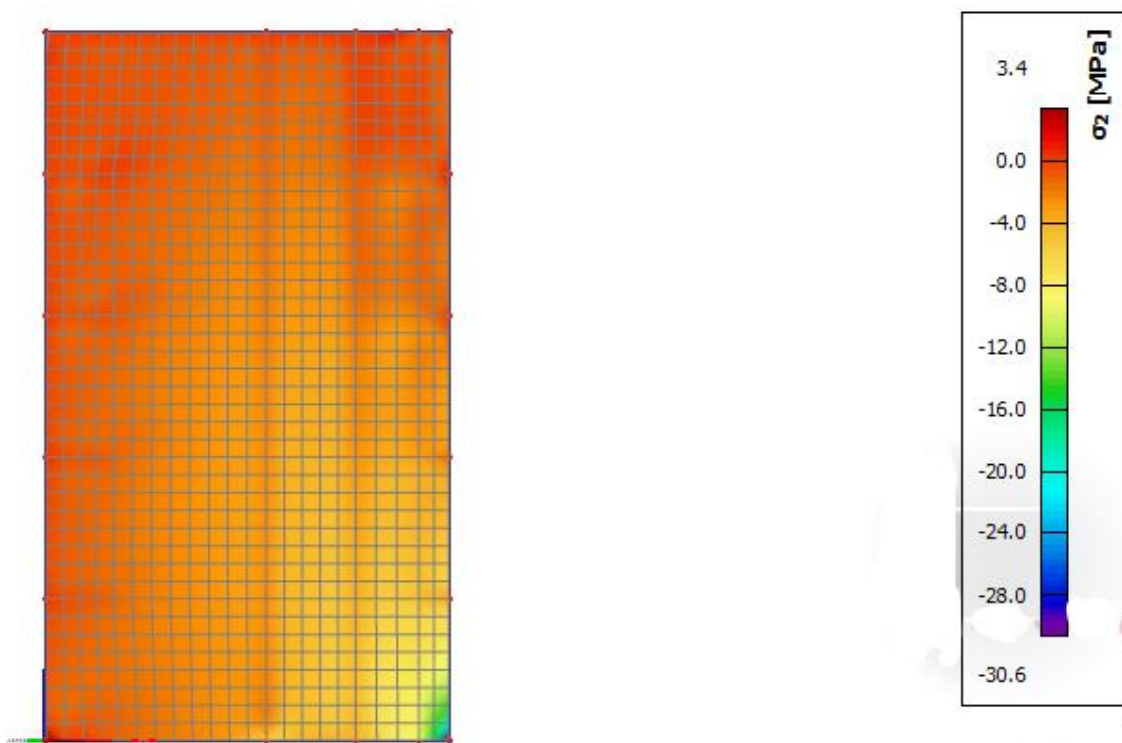
Slika 8.1 Položaj zida na kojem je izvršen proračun



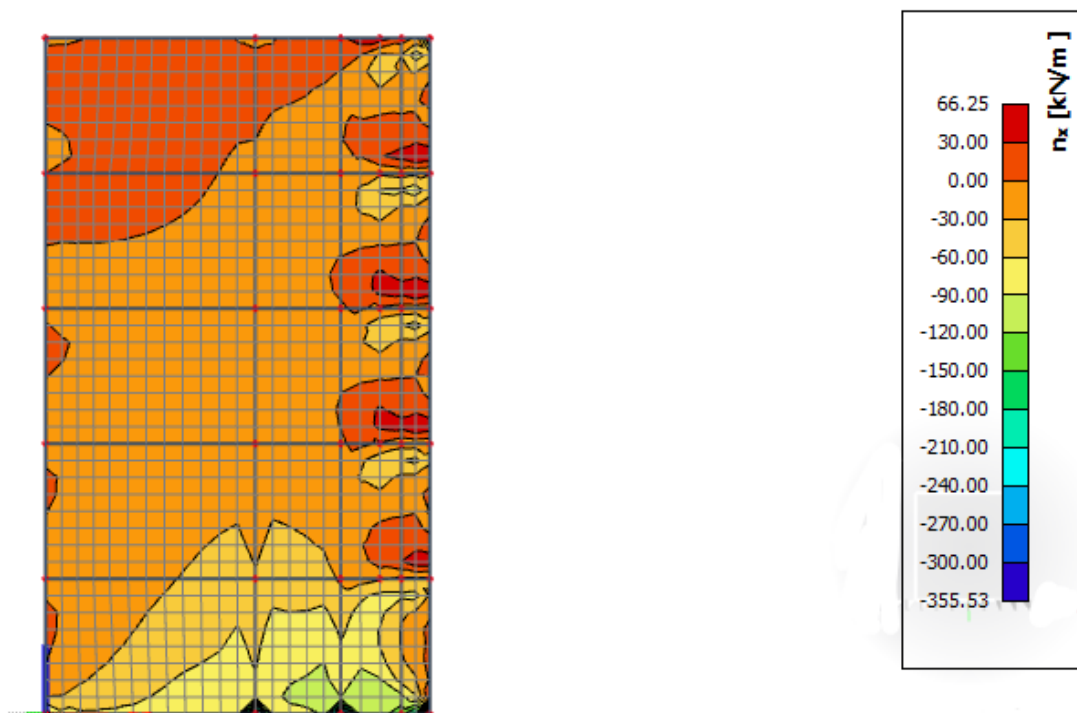
Slika 8.2 Pomaci (mm) za GSU2



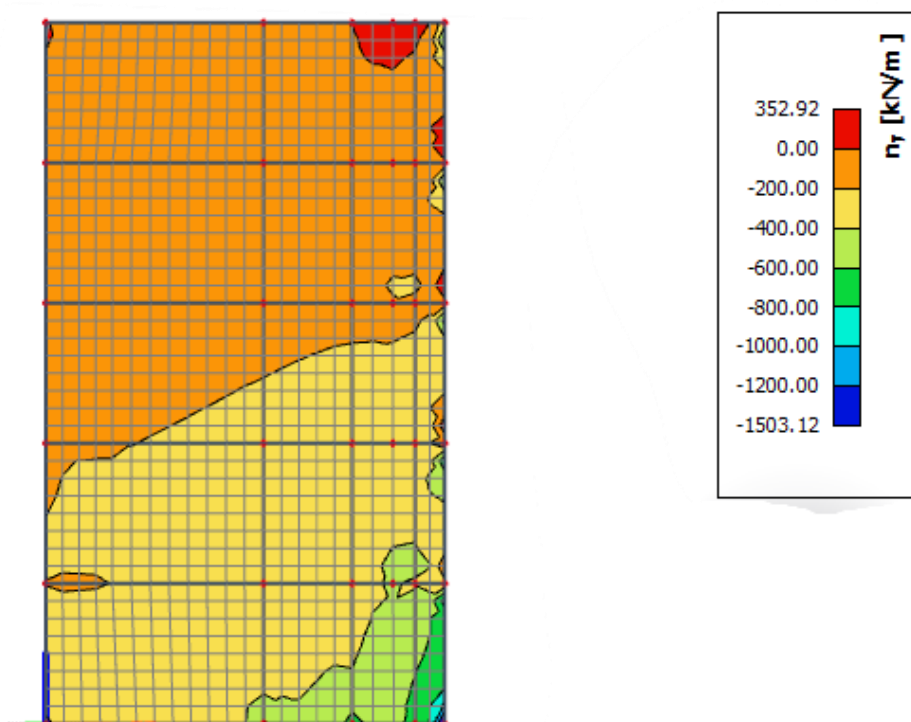
Slika 8.3 Tlačna naprezanja za GSU2



Slika 8.4 Kombinacija PotresX



Slika 8.5 Uzdužne sile smjer X u zidovima za anvelopu GSN



Slika 8.6 Uzdužne sile smjer Y u zidovima za anvelopu GSN

9. PRORAČUN STUPOVA

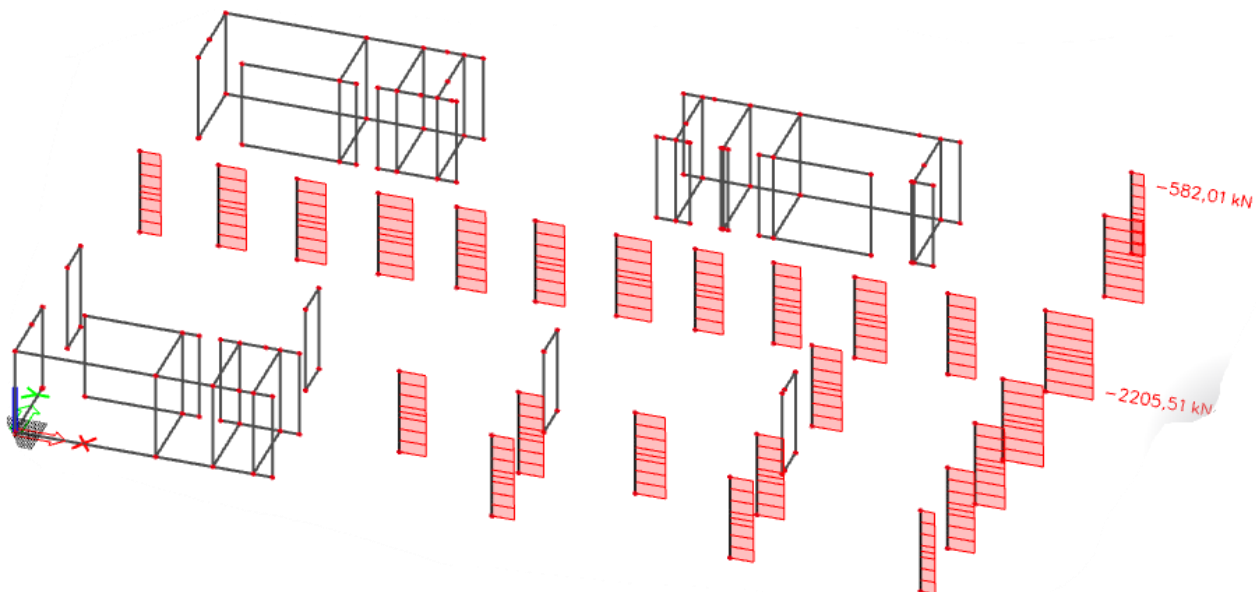
Ograničenja naprezanja u betonu

Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja:

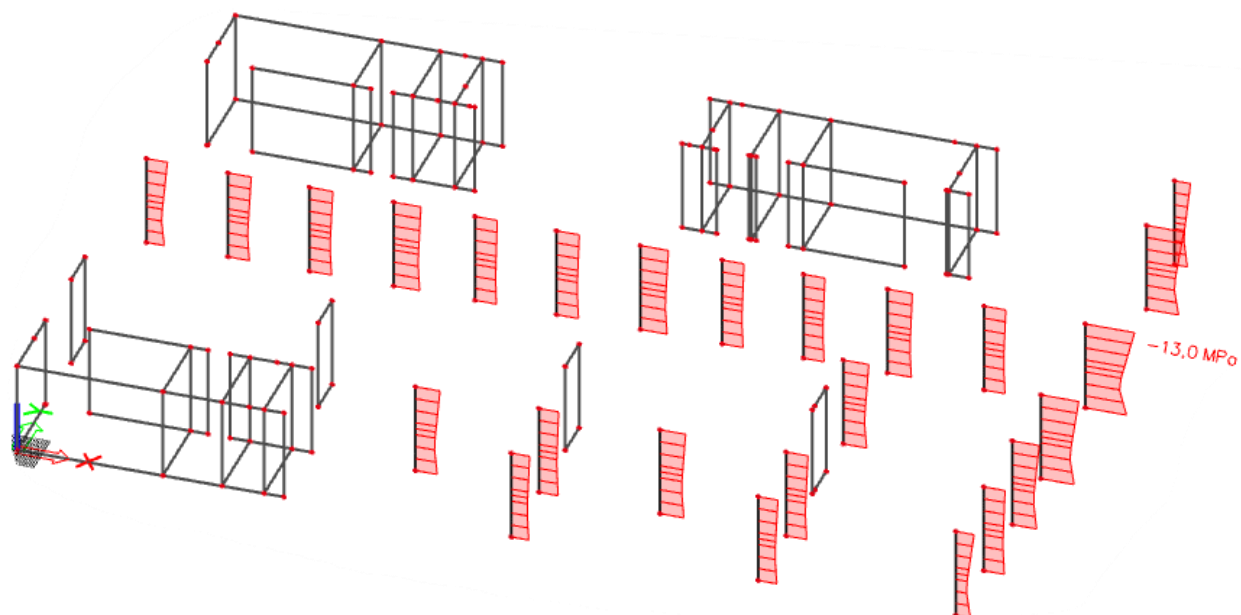
$\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$ za nazovistalnu kombinaciju GSU-2.

GSU-2 = 1.0G + Ψ_2 Q = 1.0G + 0.3Q za C30/37,

$\sigma_c \leq 0.45 \cdot 30 = 13.5$ MPa



Slika 9.1 Uzdužne sile u stupovima N_{ed} (kN) za GSU-2



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

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

Kontrolira se srednje tlačno naprezanje u stupu za nazovistalnu

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

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

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

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

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

$$N_{sd} = 2205.51 \text{ kN}$$

$$b \times h \geq N_{sd} / (0.65 \times f_{cd}) \rightarrow 2500 \geq 1696.5 = A_{c,potr}$$

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

Minimalna vertikalna armatura stupa:

- a) $A_{s,min} = 8\Phi 12 (9.05 \text{ cm}^2)$
- b) $A_{s,min} = 0.15 \times N_{sd} / f_{yd} = 0.15 \times 2205.51 / 43.48 = 7.61 \text{ cm}^2$
- c) $A_{s,min} = 0.003 \times A_c = 7.5 \text{ cm}^2$
- d) $A_{s,min} = 0.01 \times A_c = 25 \text{ cm}^2$

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

Minimalna poprečna armatura stupa:

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

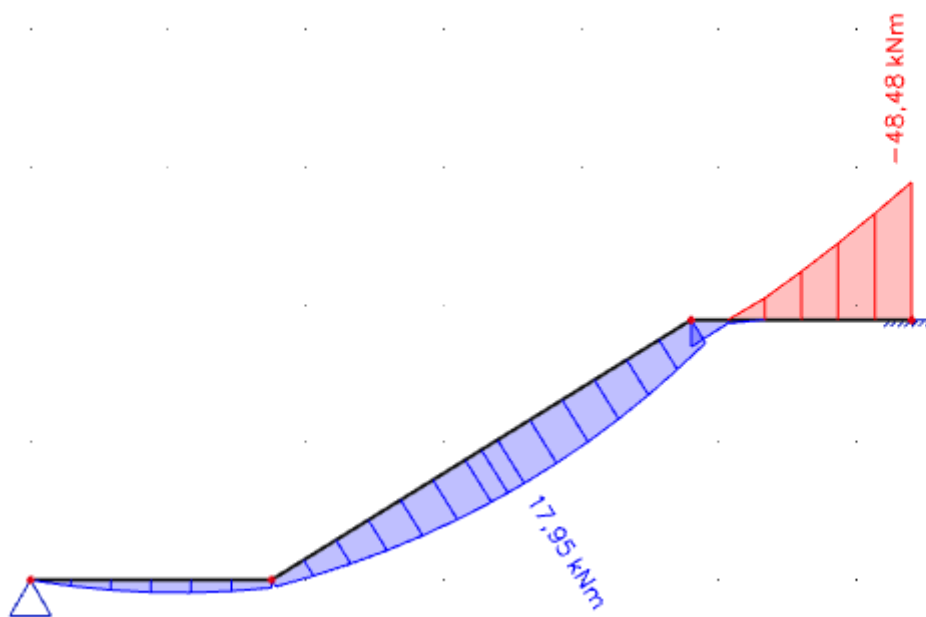
Odabrana poprečna armatura: spone $\Phi 6/15 \text{ cm}$.

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

10.PRORAČUN STUBIŠTA

10.1. Mjerodavne rezne sile

GSN-1: $1.35G + 1.5Q$



Slika 10.1 Moment savijanja na stubištu

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

Mjerodavni moment u polju: 23.34 kNm

Mjerodavni moment na ležaju: 41.21 kNm

10.2. Dimenzioniranje stubišta

$h = 18 \text{ cm}$

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

Beton : C 30/37

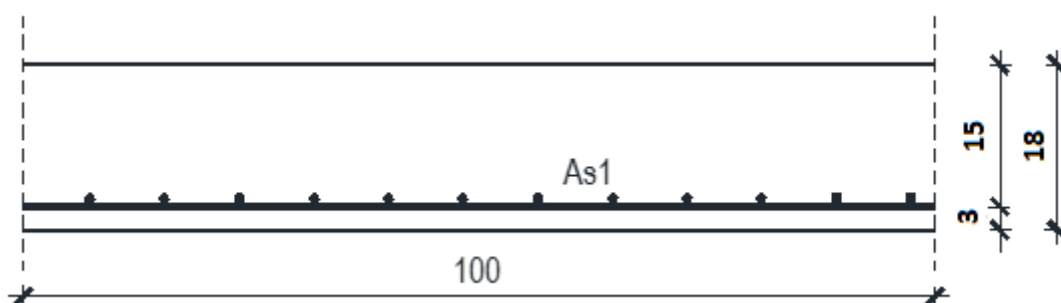
$f_{ck} = 25.0 \text{ MPa}$

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

Armatura : B 500B

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

Polje



Slika 10.2. Poprečni presjek ploče stubišta

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

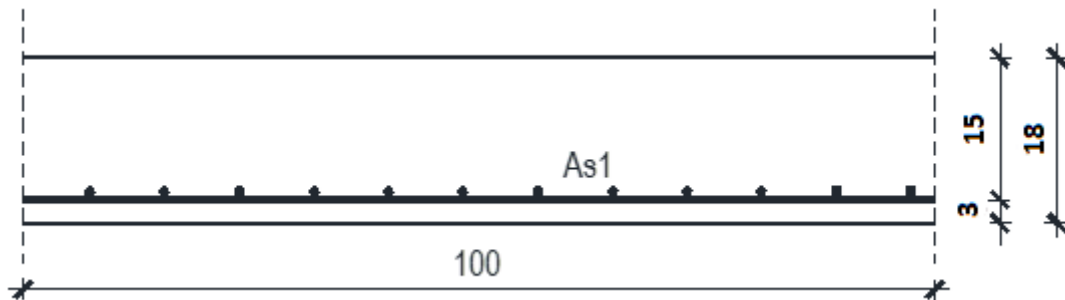
Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1.4$ $\xi = 0.123$ $\zeta = 0.956$

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

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

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

Ležaj



Slika 10.3. Poprečni presjek ploče stubišta

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

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

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

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

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

11. PRORAČUN TEMELJA

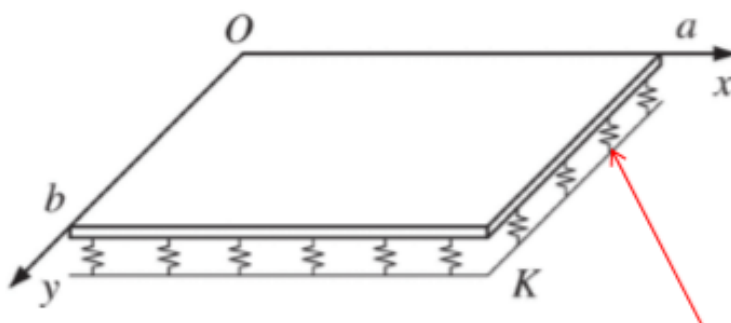
Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, građevina je temeljena s dva modela – trakastim temeljima te drugi model temeljna ploča.

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 11.1. Međudjelovanje konstrukcija – tlo modelirano Winkler- ovim modelom

U rješavanju problema koristio se Winklerovom model temeljenja za oba modela (trakasto temeljenje, temeljna ploča).

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 (kN/m²/m')

Koeficijent reakcije (odgovora) podloge – Winklerov koeficijent

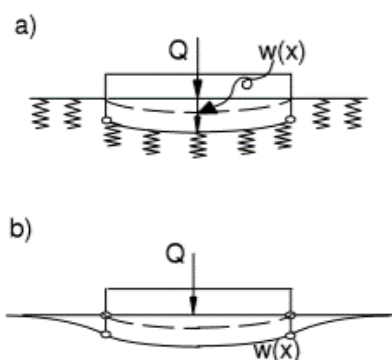
Koeficijent reakcije podloge K je odnos između dodirnog naprezanja q kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja w, koje to isto naprezanje izazove u tlu.

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

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)

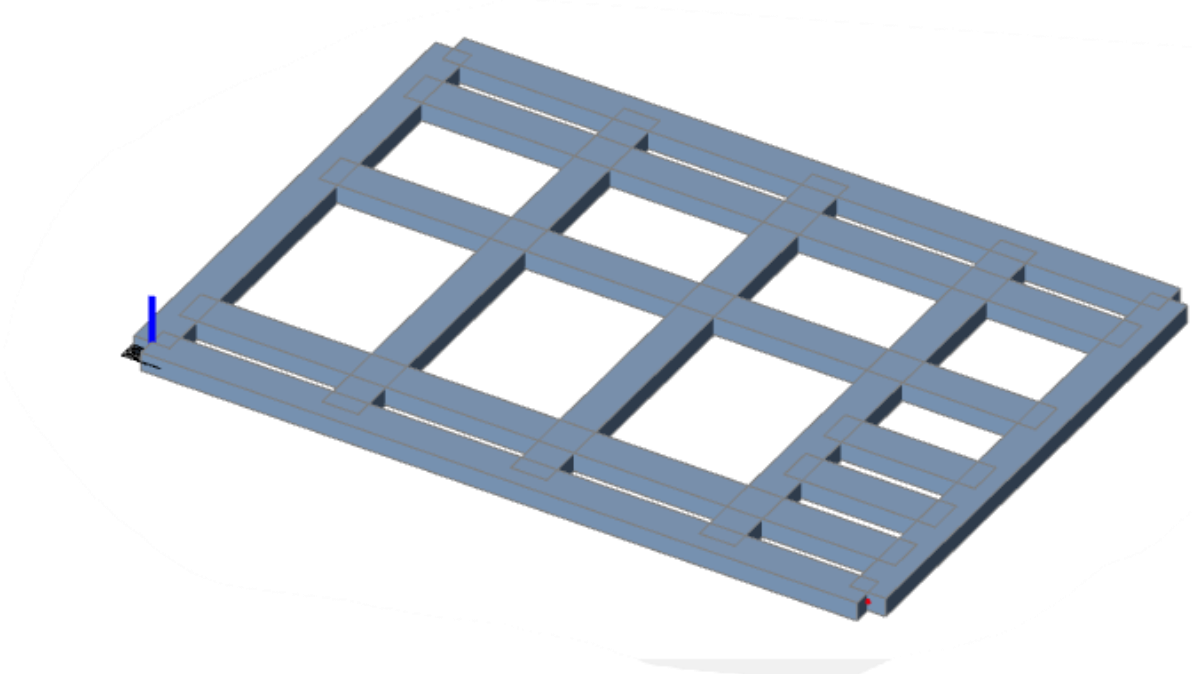
Nedostatci ovog modela :

- Opterećenje skraćuje samo ona pera na kojima 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

11.1. Proračun trakastih temelja

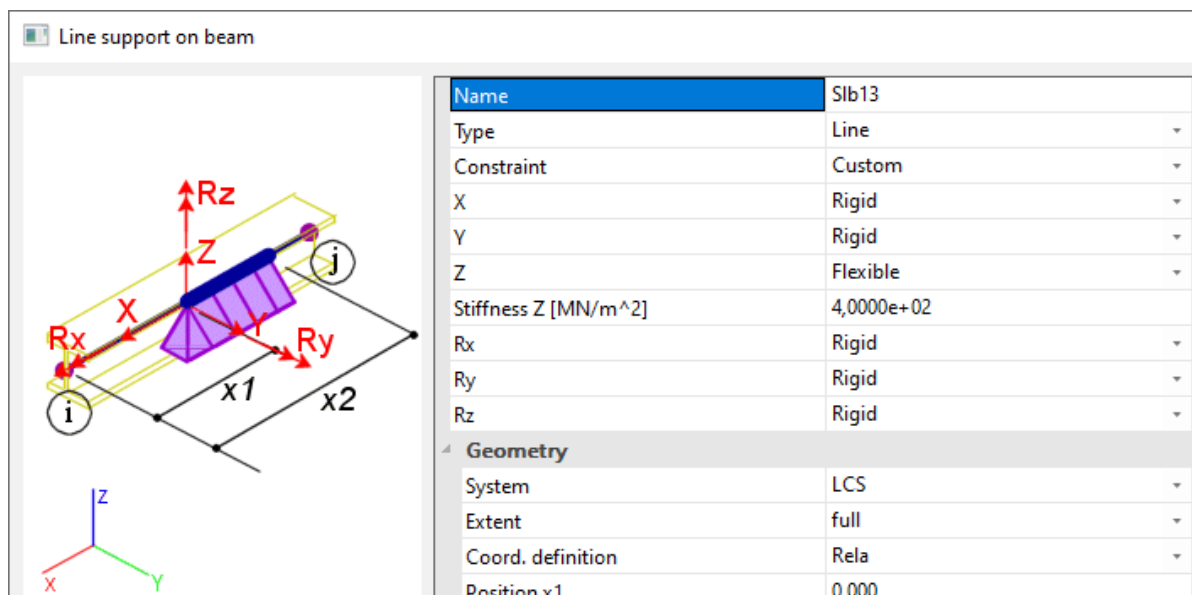
11.1.1. Model trakastih temelja

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



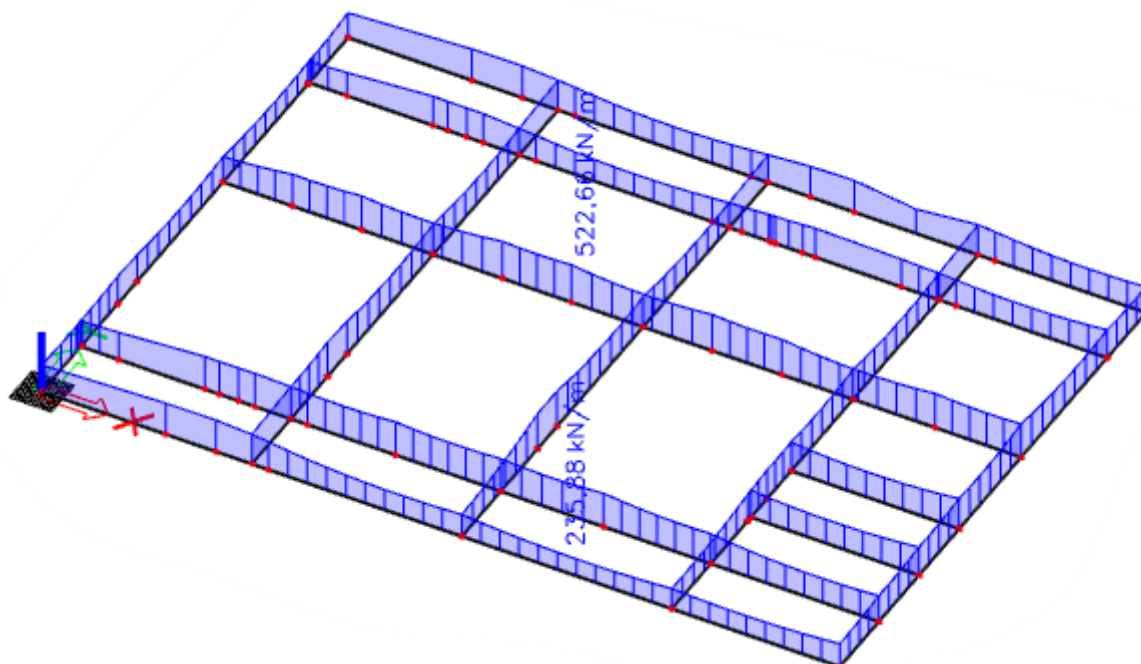
Slika 11.3. Model trakastih temelja

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



Slika 11.4. Model fleksibilnih linijskih ležaja

11.1.2. Proračun širine temeljne stope



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

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 napreznja je 400 kN/m^2 .

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

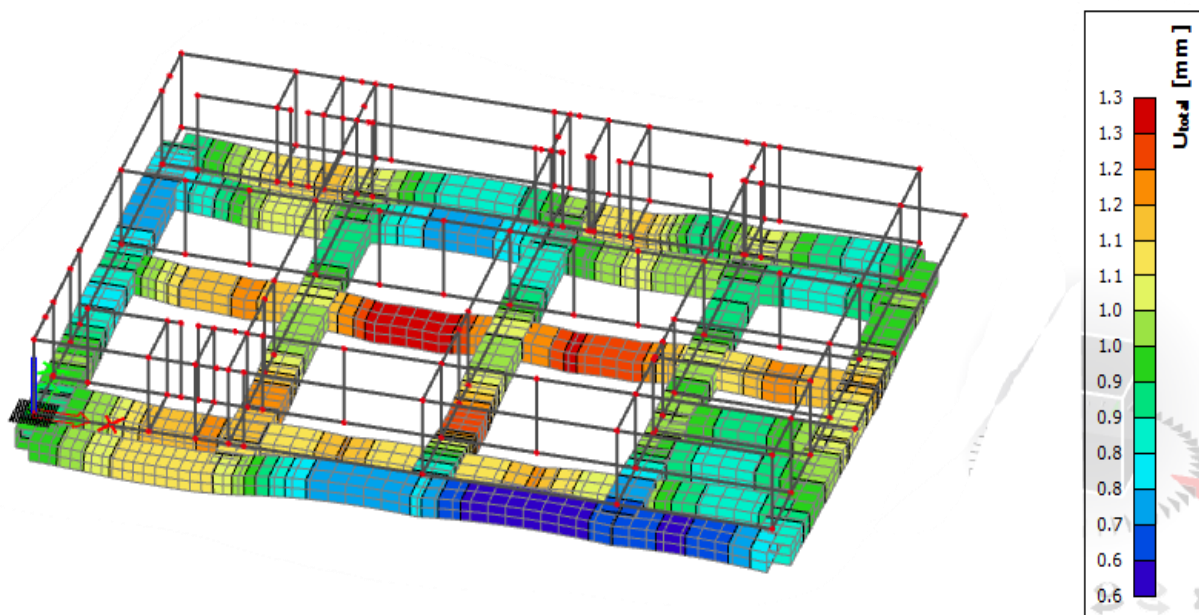
tablica 11.1

	Reakcija F[kN/m]	Nosivost tla σ_{Rd} [kN]	Širina temeljne stope b[m]	Računska nosivost σ_{Ed} [kN]	σ_{Ed}/σ_{Rd} [%]
T1	523	400,00	1,9	275.3	0,69

Napomena: Visina svih temeljnih stopa je 1 metar.

11.1.3. Slijeganje građevine

Iz tablice 11.1. je vidljivo da su naprezanja ispod temeljnih traka približno jednaka odnosno postignuto je ravnomjerno naprezanje na kontaktu temelja i nosivog tla. Ravnomjernim naprežanjem dobiva se ravnomjerno slijeganje temeljnog tla, na taj način izbjegava se pojava diferencijalnog slijeganja.

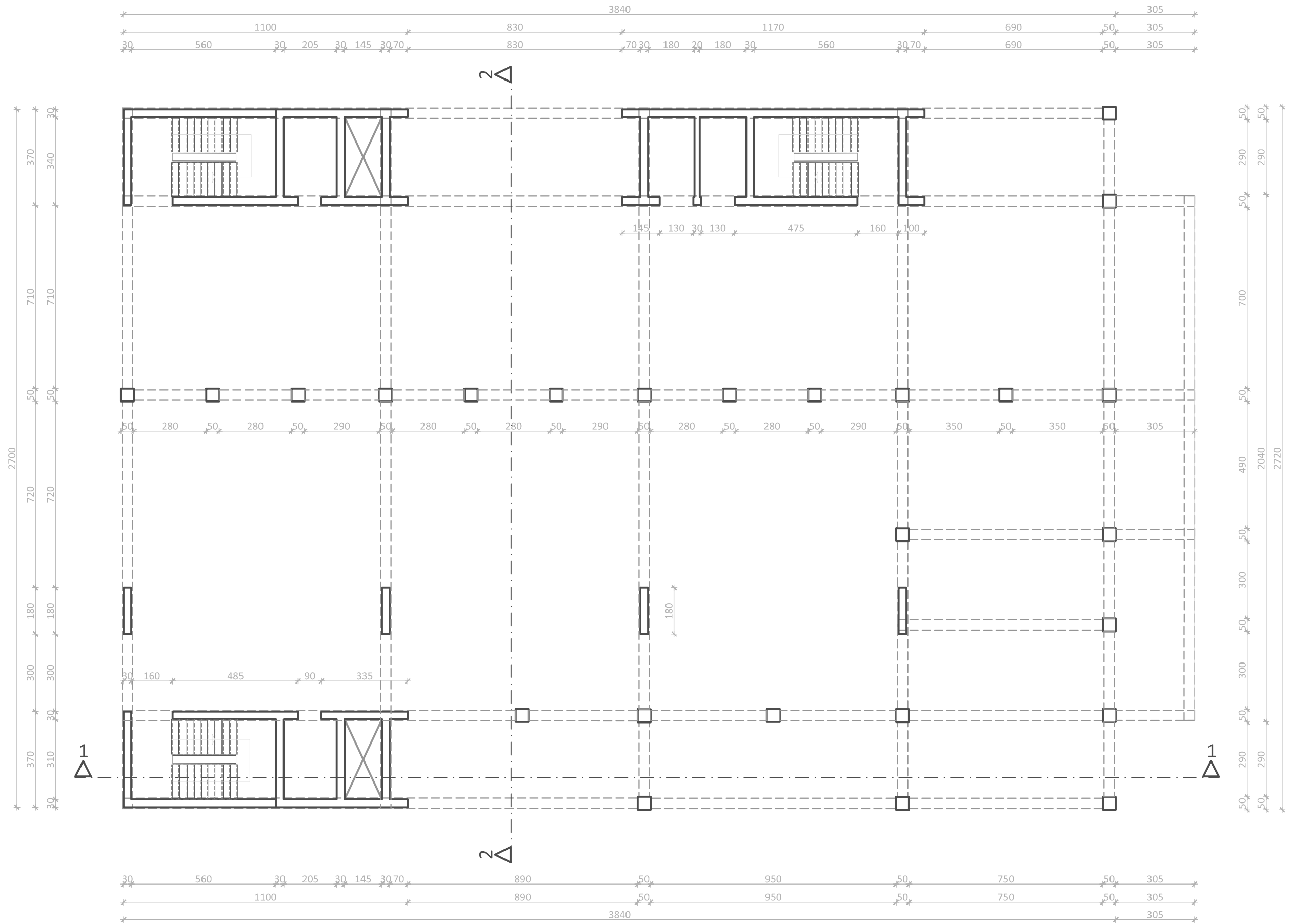



Slika 11.6. Slijeganje trakastih temelja za kombinaciju GSN

12. GRAFIČKI PRILOZI

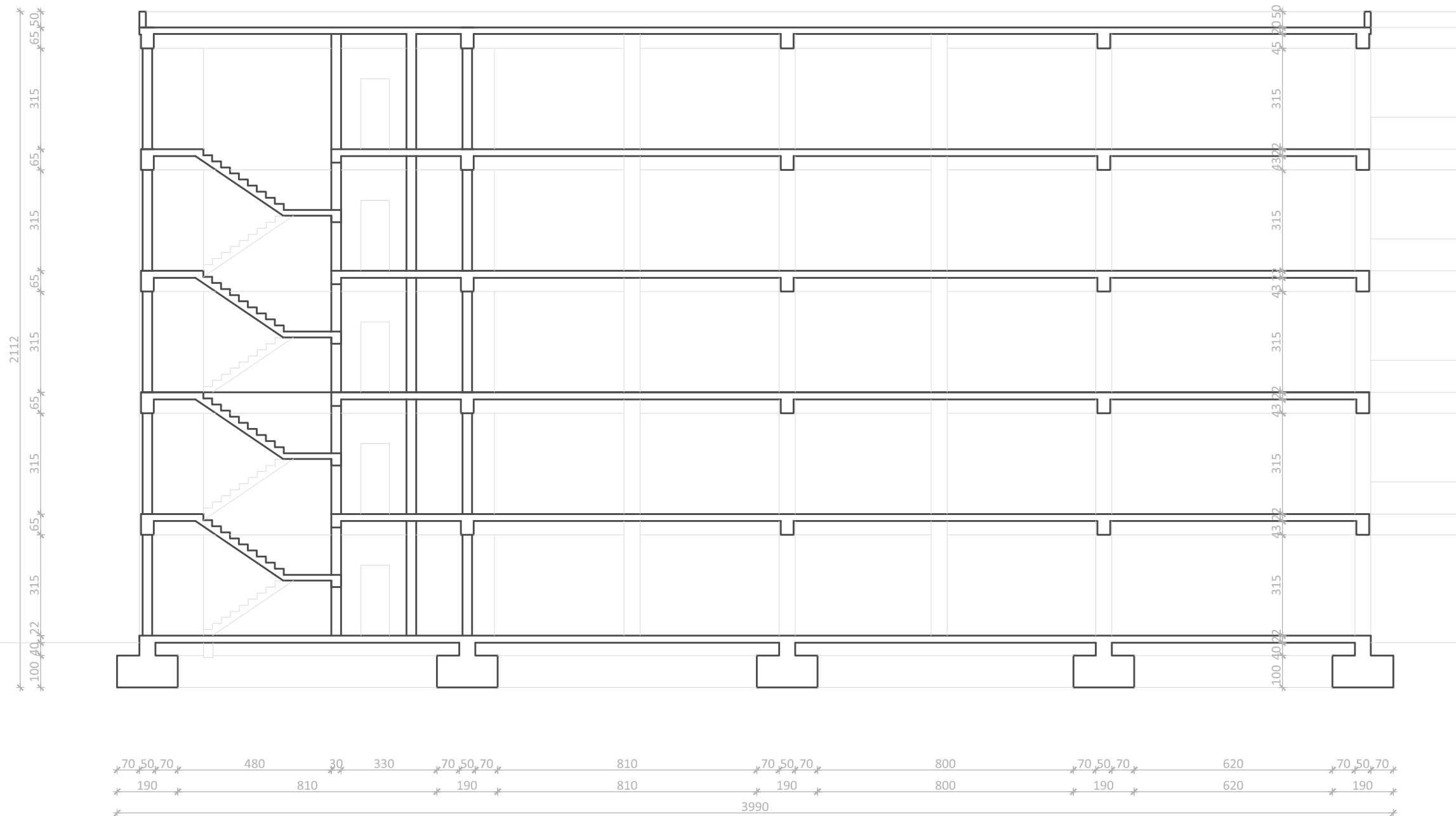
- Tlocrt karakteristične etaže	M 1:150
- Presjek 1-1	M 1:150
- Presjek 2-2	M 1:150

TLOCRT KARAKTERISTIČNE ETAŽE M 1:150



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Završni rad		
	TEMA	STATIČKI PRORAČUN POSLOVNE ZGRADE	
	STUDENT	Jakov Validžić	
	SADRŽAJ	Tlocrt karakteristične etaže	MJERILO 1:150
DATUM	2020	BROJ PRILOGA	1


PRESJEK 1-1 M 1:150



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Završni rad	
	TEMA	STATIČKI PRORAČUN POSLOVNE ZGRADE
	STUDENT	Jakov Validžić
	SADRŽAJ	Presjek 1-1
DATUM	2020	MJERILO 1:150 BROJ PRILOGA 2

PRESJEK 2-2 M 1:150



 SVUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Završni rad	
	TEMA	STATIČKI PRORAČUN POSLOVNE ZGRADE
	STUDENT	Jakov Validžić
	SADRŽAJ	Presjek 2-2
DATUM	2020	MJERILO 1:150 BROJ PRILOGA 3

13.LITERATURA

-Ante Mihanović, Boris Trogrlić, **Građevna statika I**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.

- Ante Mihanović, Boris Trogrlić, Vlaho Akmadžić, **Građevna statika II**, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2014.

-Ivan Tomičić, **Betonske konstrukcije**, Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Zagreb 1996.