

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Vojnović, Zdenko

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:123:019054>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



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

Zdenko Vojnović

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Zdenko Vojnović

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, 2024.

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Zdenko Vojnović

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083222166

KATEDRA: **Katedra za metalne i drvene konstrukcije**

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale dimenzionirana je glavna nosiva konstrukcija, sekundarni nosači te spregovi konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Osnovni materijal: S 275

Objekt se nalazi na području Splita

Razmak okvira: 4,7 (m)

U Splitu, 24.05.2024.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale dimenzionirana je glavna nosiva konstrukcija, sekundarni nosači, spregovi i temelji konstrukcije. Objekt se nalazi na području grada Zagreba. Proračun je proveden na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i promjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „SCIA Engineer 22.0“.

Ključne riječi:

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, rešetka, stup, podrožnice, spregovi, dimenzioniranje, spojevi.

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on the information about steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Zagreb. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „SCIA Engineer 22.0“.

Keywords:

Steel, hall, load-bearing structure, grating, column, purlins, bracings, design, joints.

Sadržaj

1. TEHNIČKI OPIS	2
1.1 Materijal	2
1.2 Konstruktivno rješenje hale.....	2
1.3 Statička analiza	2
1.4 Opis konstruktivnih elemenata	3
1.4.1 Glavni stupovi	3
1.4.2 Zabatni stupovi	3
1.4.3 Rešetkasti nosač	3
1.4.4 Sekundarni nosači (podrožnice)	3
1.4.5 Spregovi	4
1.5 Montaža i transport.....	4
1.6 Zaštita od korozije	4
1.7 Poprečni presjek i tlocrt hale s pripadnim dimenzijama i razmacima podrožnica s oznakama čvorova od 1 do 20	5
2. ANALIZA DJELOVANJA.....	6
2.1 Stalno opterećenje:	6
2.2 Opterećenje snijegom:	8
2.3 Opterećenje vjetrom	10
2.4 Određivanje koeficijenata pritiska vjetra	13
2.4.1 Proračun opterećenja od vjetra za svaki mogući slučaj	16
3. KONTROLA PROGIBA ZA GSU.....	24
4. MODELI	27
4.1 Glavni nosač.....	27
4.2 Krovne podrožnice.....	36
4.3 Bočne podrožnice	41
4.4 Zabatni stupovi	44
4.5 Krovni spreg.....	45
4.6 Bočni spreg	47
5. DIMENZIONIRANJE	48
5.1 Bočna podrožnica	48
5.2 Krovna podrožnica	55
5.3 Glavni stup.....	62
5.4 Zabatni stupovi	70
5.5 Vertikale rešetke	75

5.6	Dijagonale rešetke	78
5.7	Gornji pojas rešetke	81
5.8	Donji pojas rešetke	84
5.9	Dijagonale krovnog sprega	86
5.10	Dijagonale bočnog sprega	88
6.	DIMENZIONIRANJE SPOJEVA	89
6.1	Spoj stupa s temeljem	89
6.2	Spoj stupa i rešetke	94
6.3	Vlačni spoj donjeg pojasa rešetke	97
6.4	Vlačni spoj gornjeg pojasa rešetke	100
6.5	Nastavak krovnih podrožnica	102
6.6	Spoj krovne podrožnice na gornji pojas	105
7.	DIMENZIONIRANJE TEMELJA	108
	LITERATURA	112
8.	NACRTI	113

TEHNIČKI OPIS

Zadatkom je predviđena izrada proračuna metalne hale tlocrtnih dimenzija 20,00 m x 47,00 m, te ukupne visine 7,90 m. nalazi se na području grada Splita. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 4,57^\circ$, što je ekvivalentno padu od 8%. Projektirana je za potrebe skladištenja.

1.1 Materijal

Metalni elementi su izrađeni od čelika S275. Spojevi su izvedeni vijcima k.v. 10.9.

1.2 Konstruktivno rješenje hale

Konstrukcija je zamišljena kao okvirni sustav od 11 jednakih okvira razmaknutih za 4,7 m. Prilikom analize opterećenja za zadanu konstrukciju uzeto je da se objekt nalazi na području grada Splita. Prostorna stabilizacija konstrukcije predviđena je spregovima.

1.3 Statička analiza

Proračun je napravljen prema EUROCODE - HRN EN 1991 (Eurocode3). Konstrukcija je izložena djelovanju slijedećih opterećenja: vjetar, snijeg, vlastita težina te dodatno stalno opterećenje. Građevina se nalazi na području Splita, a lokalna kategorija terena uzeta je II. Odgovarajući koeficijenti za vjetar i za snijeg uzeti su prema tome iz propisanih tablica. Za statički proračun su uzete kombinacije s najvećim utjecajem. Proračun reznih sila je izveden u računalnom programu Scia Engineer 22.0.

Granično stanje uporabljivosti je zadovoljeno uvjetima :

Najveća vertikalna deformacija je manja od ograničenja:

$$\delta_{\max} = 60.90 \text{ mm} < L/300 = 66.67 \text{ mm.}$$

Najveći horizontalni pomak je manji od ograničenja:

$$\delta_{\max} = 25.3 \text{ mm} < H/250 = 26.40 \text{ mm.}$$

1.4 Opis konstruktivnih elemenata

1.4.1 Glavni stupovi

Predviđeni su stupovi kao europski širokopojasni vruće valjani I profili HEA 240. Stupovi su oslonjeni na betonske temelje, tako da je na njihovom spoju upotrijebljena čelična ploča dimenzija 450 x 280 x 43 mm. Stupovi su vezani za temelj vijcima M22. Dimenzije i armatura temelja su analizirani u proračunu temelja.

1.4.2 Zabatni stupovi

Predviđeni su stupovi kao europski širokopojasni vruće valjani I profili HEA 220.

1.4.3 Rešetkasti nosač

Predviđen je rešetkasti nosač čiji su elementi izrađeni od pravokutnih cjevastih (šupljih) profila. Rešetkasti nosač se sastoji od gornjeg pojasa (poprečnog presjeka 100 x 100 x 8 mm), donjeg pojasa (poprečnog presjeka 100 x 100 x 8 mm), 9 vertikalna (poprečnog presjeka 50 x 30 x 4 mm) međusobnog osnog razmaka 2,50 m i 8 dijagonala (poprečnog presjeka 80 x 80 x 4 mm). Na udaljenosti 4 m od desnog i lijevog ruba u gornjem i donjem pojasu predviđen je spoj odnosno vlačni nastavak kojim se spajaju dijelovi rešetke. U vlačnom nastavku donjeg pojasa upotrijebljena je čelična ploča dimenzija 272 x 272 x 20 mm i korišteni su vijci M22, a u vlačnom nastavku gornjeg pojasa upotrijebljena je čelična ploča dimenzija 272 x 272 x 18mm i korišteni su vijci M22.

1.4.4 Sekundarni nosači (podrožnice)

Podrožnica prenosi opterećenje sa krovne plohe na primarne nosače (gornji pojas rešetke). Podrožnice su vijcima vezane za nosač. Također je predviđena i zidna sekundarna konstrukcija na koju se naslanjaju zidni paneli za zatvaranje konstrukcije. Proračunate su krovne podrožnice profila IPE 160 i bočne podrožnice profila IPE 200.

1.4.5 Spregovi

Za prostornu stabilizaciju ovog objekta korišteni su horizontalni ili krovni spregovi i vertikalni ili bočni spregovi koji služe za prijenos horizontalnih sila preko konstrukcije na temelje objekta. Polja za vertikalno ukrućenje (bočni spregovi) smješteni su u prvom i posljednjem polju konstrukcije. Osnovni zadatak spregova je stabilizacija čelične hale i to na način da ne bude ugrožena cjelovita stabilnost objekta. Kao dijagonale krovnog sprega proračunati su profili $\varnothing 27$. Kao dijagonale bočnog sprega proračunati su profili $\varnothing 42$, a za vertikale su usvojeni okrugli šuplji profili CHS 114.3/3.6.

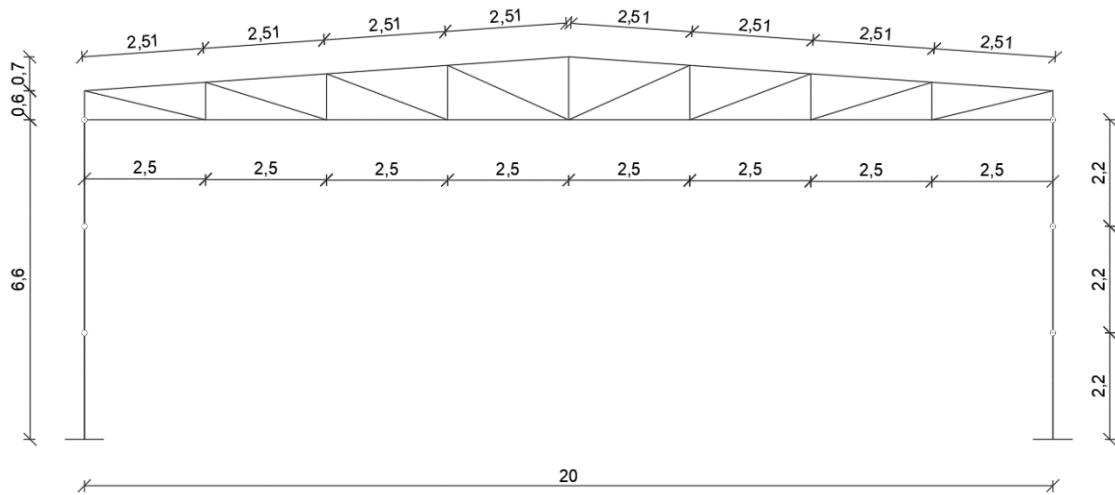
1.5 Montaža i transport

Pozicije okvira kao što je prikazano u radioničkom nacrtu glavnog okvira će se izrezati u radionici te transportirati na gradilište i zatim montirati (montažni način izgradnje). Pri tome je potrebno obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s "Pravilnikom o zaštiti na radu".

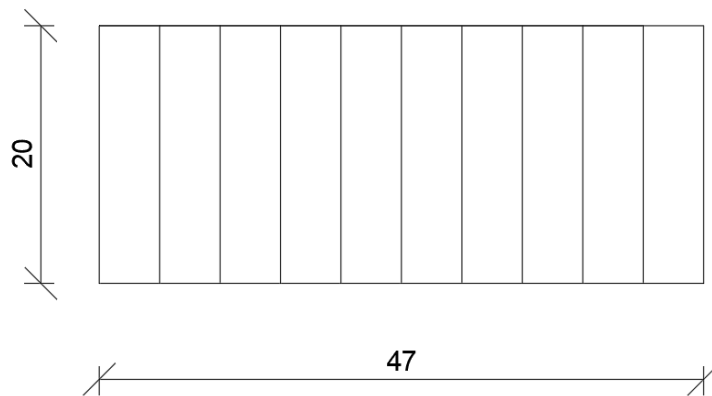
1.6 Zaštita od korozije

Zaštita čeličnih elemenata konstrukcije jedan je od osnovnih zahtjeva za osiguranjem dugotrajnosti same konstrukcije. Imajući to na umu odabran je sustav premaza za zaštitu čelične konstrukcije. Sustav premaza zamišljen je u dva sloja (temeljni i završni). Prije nanošenja premaza potrebno je obaviti pripremu površine nakon čega se mogu nanijeti slojevi premaza. Vrsta organskog premaza i debljina filma definirani su prema HRN ISO 12944:2018 prema tipu atmosfere i klimatske uvjete u kojima se građevina nalazi.

**1.7 Poprečni presjek i tlocrt hale s pripadnim dimenzijama i razmacima
podrožnica s oznakama čvorova od 1 do 20**



Slika 1.7.1.1. Prikaz glavnog nosača



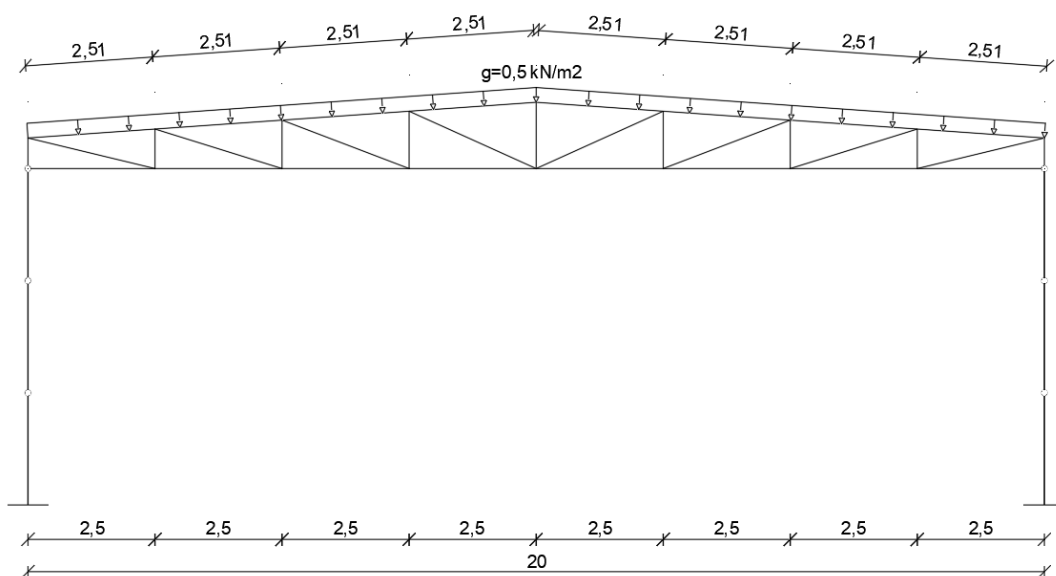
Slika 1.7.1.2. Tlocrtna shema konstrukcije

2. ANALIZA DJELOVANJA

2.1 Stalno opterećenje:

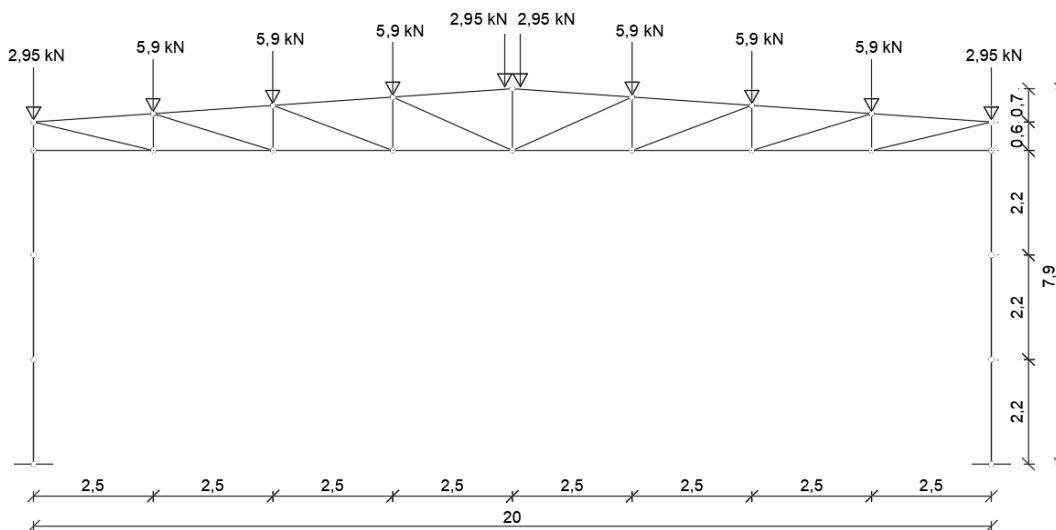
- Pokrov: 0,1 kN/m²
- Instalacije: 0,1 kN/m²
- Sekundarne konstrukcije: 0,3 kN/m²

 $\Sigma g = 0,5 \text{ kN/m}^2$



Slika 2.1.1.1. Kontinuirano stalno opterećenje na rešetci

Proračun sila u čvorovima unutrašnjih okvira uslijed djelovanja stalnog opterećenja:



Slika 2.1.1.2. Stalno opterećenje u čvorovima rešetke

$$G_1 = 0,5 * 4,7 * \frac{2,51}{2} = 2,95 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,5 * 4,7 * 2,51 = 5,90 \text{ kN}$$

$$G_2 = G_3 = G_4 = G_7 = G_8 = G_9 = 5,90 \text{ kN}$$

$$G_1 = G_5 = G_6 = G_{10} = 2,95 \text{ kN}$$

2.2 Opterećenje snijegom:

Računa se po formuli:

$$s = \mu_i(\alpha) * C_e * C_t * s_k$$

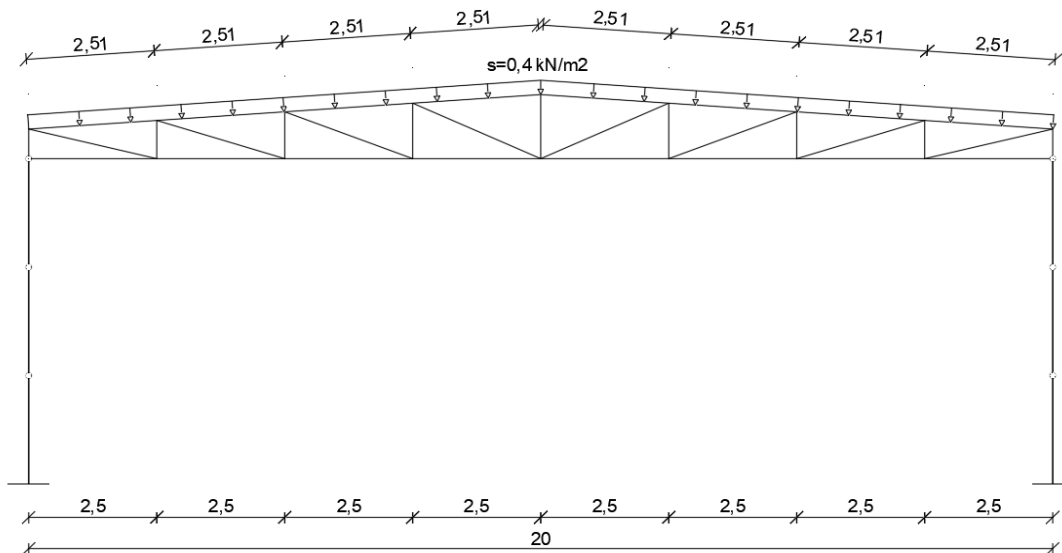
$\alpha = 8\%$, dvostrešni krov s obe strane jednakog nagiba- jednako opterećenje na obje plohe

Pri čemu su:

- $\mu_i(\alpha)$ -koeficijent oblika opterećenja snijegom, očitavamo iz tablice za zadani kut α , u našem slučaju iznosi 0,8
- C_e - koeficijent izloženosti, usvojili smo vrijednost 1,0
- C_t - toplinski koeficijent, usvojili smo vrijednost 1,0
- s_k - karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu, očitavamo sa karte za zadano područje te iz tablice ovisno o nadmorskoj visini, našem slučaju za grad Split on iznosi $0,5 \text{ kN/m}^2$

Uvrštavamo vrijednosti i dobivamo:

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$



Slika 2.2.1.1. Kontinuirano opterećenje snijegom na rešetci

2.3 Opterećenje vjetrom

- Osnovna brzina vjetra V_b

Računa se po formuli:

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$$

Pri čemu su :

- $v_{b,0}$ – fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra i nju smo očitali iz karte, za područje grada Splita iznosi 30 m/s

- c_{dir} – faktor smjera vjetra, usvojili smo vrijednost 1,0

- c_{season} – faktor doba godine, usvojili smo vrijednost 1,0

Uvrštavamo vrijednosti i dobivamo:

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 30 \text{ m/s} = \mathbf{30 \text{ m/s}}$$

- Osnovni pritisak vjetra q_b

Računa se po formuli:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

Pri čemu su :

- v_b – osnovna brzina vjetra

- ρ – gustoća zraka, prema propisima usvajamo vrijednost od 1,25 kg/m³

Uvrštavamo vrijednosti i dobivamo:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 562,50 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \mathbf{0,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

- Srednja brzina vjetra $v_m(z)$

Računa se po formuli:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

Pri čemu su:

$-c_r(z)$ – faktor hrapavosti terena

$-c_0(z)$ – faktor ortografije ili opisivanje brežuljaka ili gora, usvojili smo vrijednost 1,0

Faktor hrapavosti $c_r(z)$ računa se po formuli:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

za slučaj kada je: $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ **KORISTIMO OVU FORMULU JER JE $z=7,9$ m**

Pri čemu su:

$-z_0$ – duljina hrapavosti, očitavamo je iz tablice za zadanu kategoriju terena, u našem slučaju ona iznosi 0,003 m

$-k_r$ – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti, računamo ga po formuli:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,0}}\right)^{0,07}$$

$z_{0,0}$ – predstavlja duljinu hrapavosti za kategoriju terena 0 koja prema tablici iznosi 0,003 m, u našem slučaju : $k_r = 0,19$

$-z_{\min}$ – minimalna visina hrapavosti, očitavamo iz tablice za zadanu kategoriju terena, u našem slučaju ona iznosi 1 m

$-z_{\max}$ – maksimalna visina hrapavosti, usvojili smo vrijednost od 200 m

$$c_r(z) = 0,19 * \ln\left(\frac{7,9}{0,003}\right) = 1,496$$

Na posljetku uvrštavamo ga u formulu za srednju brzinu i dobivamo:

$$v_m(z) = 1,496 * 1,0 * 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{44,88 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

- Intenzitet turbulencije $I_v(z)$

Računa se po formuli:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

Pri čemu je:

- k_I -faktor turbulencije, usvojili smo vrijednost 1,0

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{7,9}{0,003}\right)} = 0,13$$

- Pritisak brzine vjetra pri udaru $q_p(z)$

Računa se po formuli:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

Pri čemu je:

- $c_e(z)$ – faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena z i kategoriji terena, očitano iz tablice 2,81

$$q_p(z) = 2,81 * 0,56 * [1 + 7 * 0,13] * \frac{1}{2} * 1,25 * 44,88^2 * 10^{-3}$$

$$q_p(z) = 1,58 \text{ kN/m}^2$$

2.4 Određivanje koeficijenta pritiska vjetra

$$h=7,9 \text{ m}$$

$$b= 47 \text{ m}$$

$$d= 20 \text{ m}$$

$$e=2*h \text{ ili } e=b \text{ -uzimamo manju vrijednost, u našem slučaju } e= 2*h=15,8 \text{ m}$$

$$e < d$$

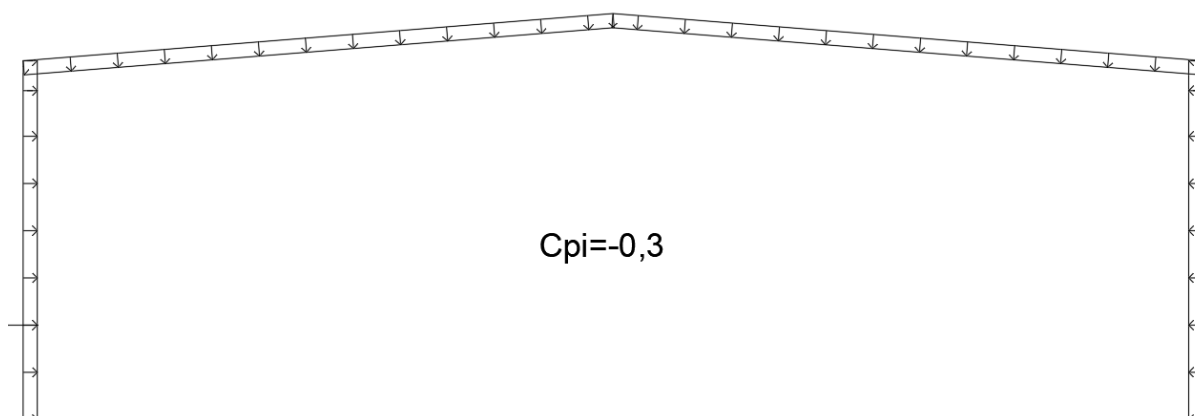
$$h/d= 7,9/20= 0,395$$

Unutrašnji vjetar:

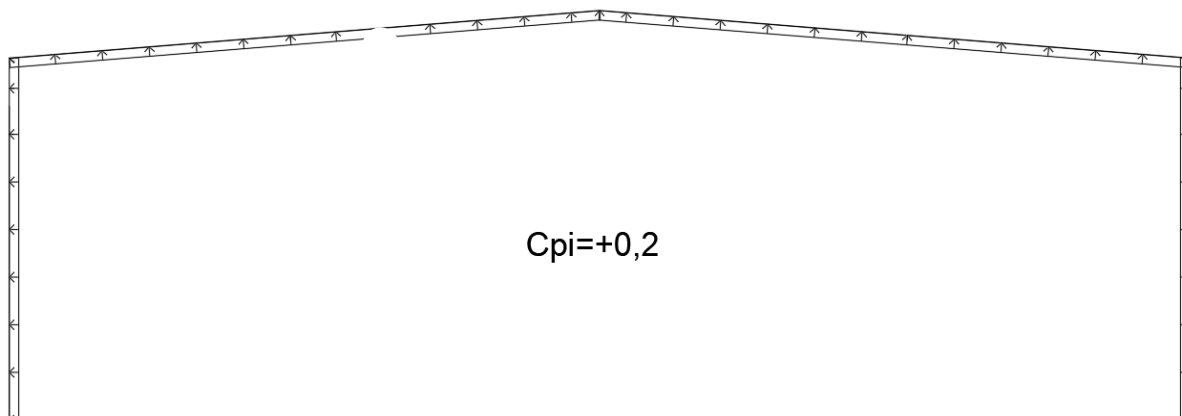
Koeficijenti unutarnjeg pritiska za jednoliko raspoređene okvire:

$$c_{pi} \text{ " + " = } +0,2$$

$$c_{pi} \text{ " - " = } -0,3$$



Slika 2.4.1.1. Kontinuirano opterećenje uzrokovano djelovanjem negativnog unutarnjeg pritiska

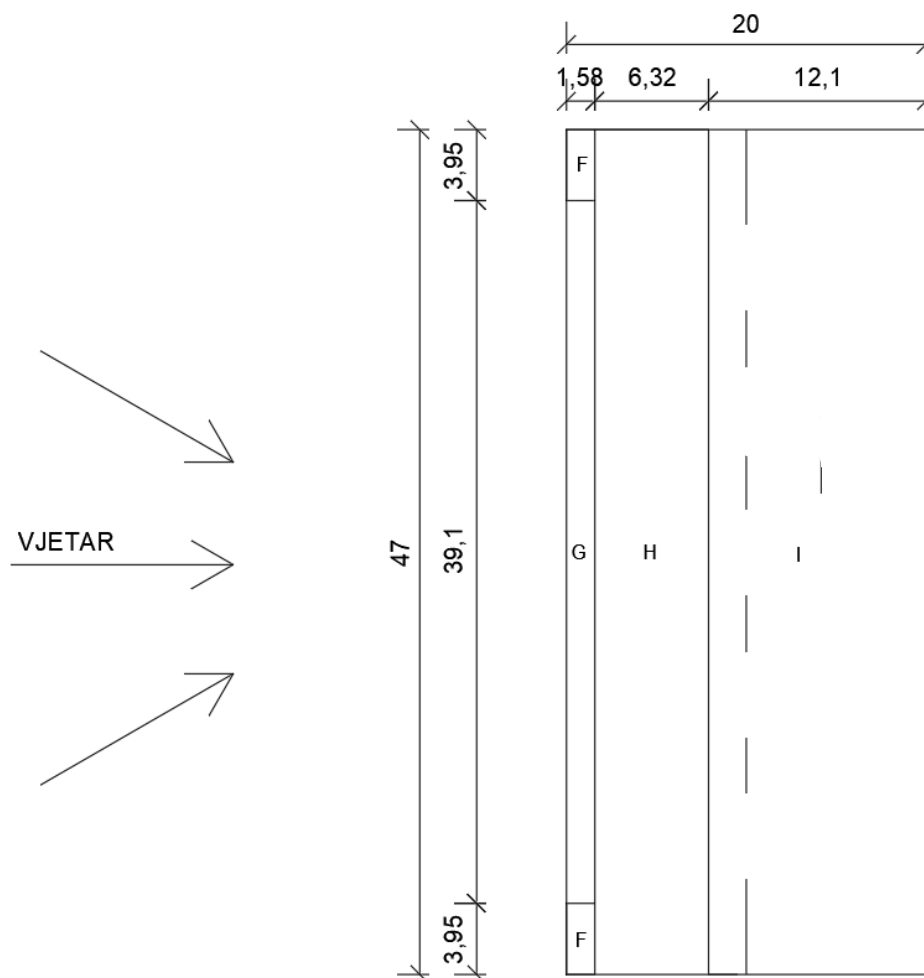


Slika 2.4.1.2. Kontinuirano opterećenje uzrokovano djelovanjem pozitivnog unutarnjeg pritiska

Vanjski vjetar:

Za krovna područja:

Dvostrešni krov - nagib 7%



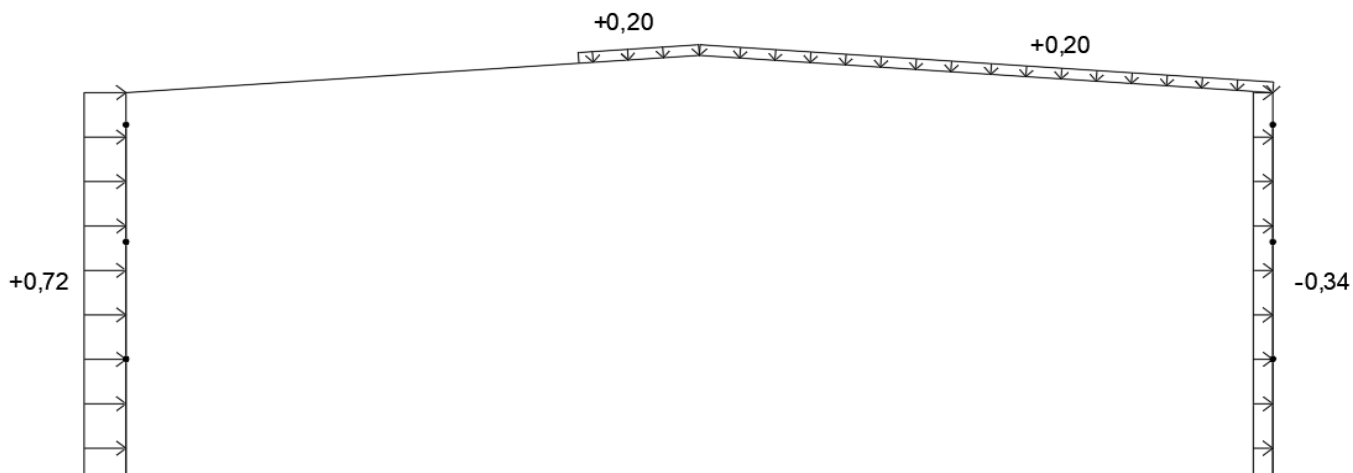
Slika 2.4.1.3. Shema djelovanja vjetra na krovnu konstrukciju podijeljenu na zone djelovanja

Zanemarujemo zonu F (jer nam samo prvi i zadnji nosač upada u tu zonu-mi promatramo neki srednji nosač).

c_{pe} " + "

	G	H	I
Oštri zabati	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
	+0,00	+0,00	+0,20

Tablica 2.4.1.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima krovne plohe

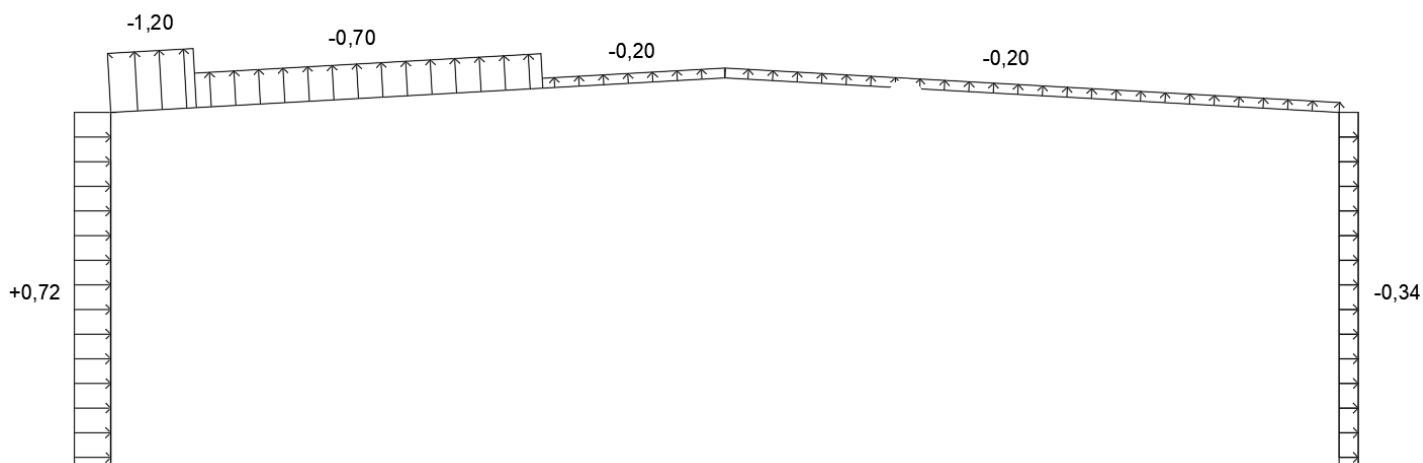


Slika 2.4.1.4. Kontinuirano djelovanje vanjskih koeficijenta pritiska prema područjima konstrukcije

c_{pe} " - "

	D	E	G	H	I
Oštri zabati	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
	+0,72	-0,34	-1,20	-0,70	-0,20

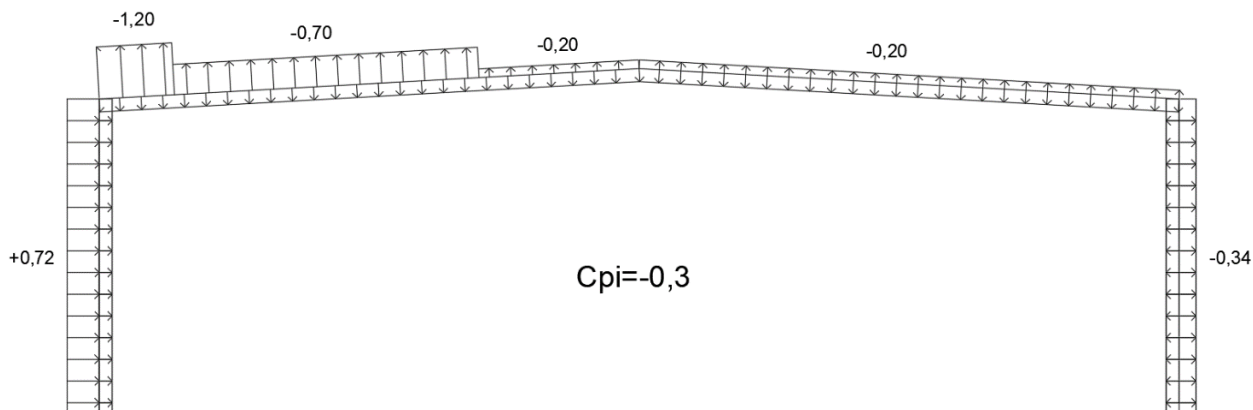
Tablica 2.4.1.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije



Slika 2.4.1.5. Kontinuirano djelovanje vanjskih koeficijenta pritiska prema područjima konstrukcije

2.4.1. Proračun opterećenja od vjetra za svaki mogući slučaj:

1)



Slika 2.4.1.1.1. Prikaz djelovanja vjetra prema područjima konstrukcije za negativni pritisak

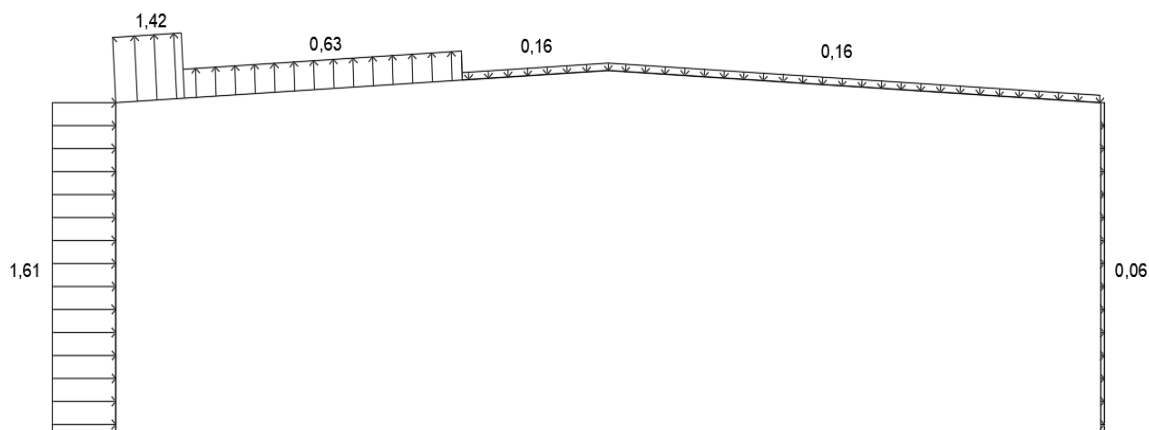
$$D_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,72 + 0,30) = 1,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,34 - 0,30) = 0,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (1,20 - 0,30) = 1,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

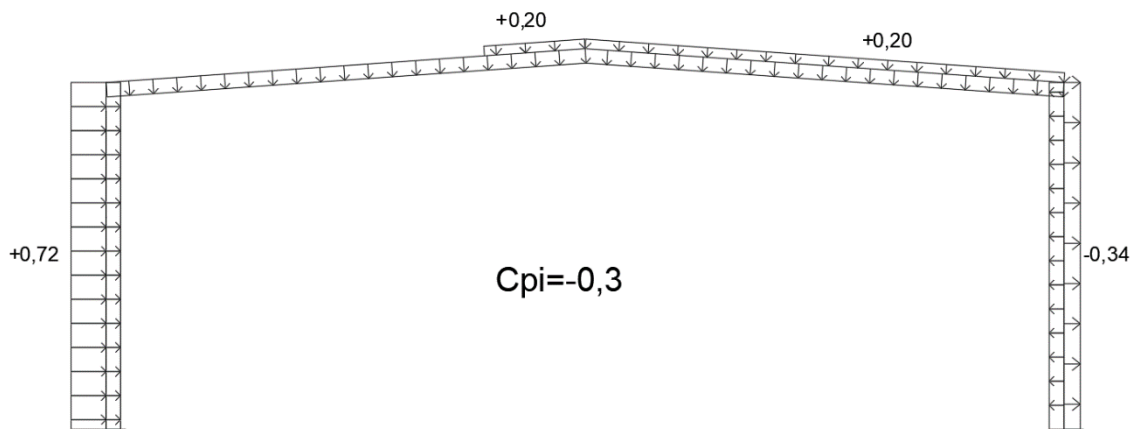
$$H_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,70 - 0,30) = 0,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$I_1: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,30 - 0,20) = 0,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 2.4.1.1.2. Prikaz rezultatnog djelovanja vjetra prema područjima konstrukcije za negativni pritisak

3)



Slika 2.4.1.1.5. Prikaz djelovanja vjetra prema područjima konstrukcije za negativni pritisak

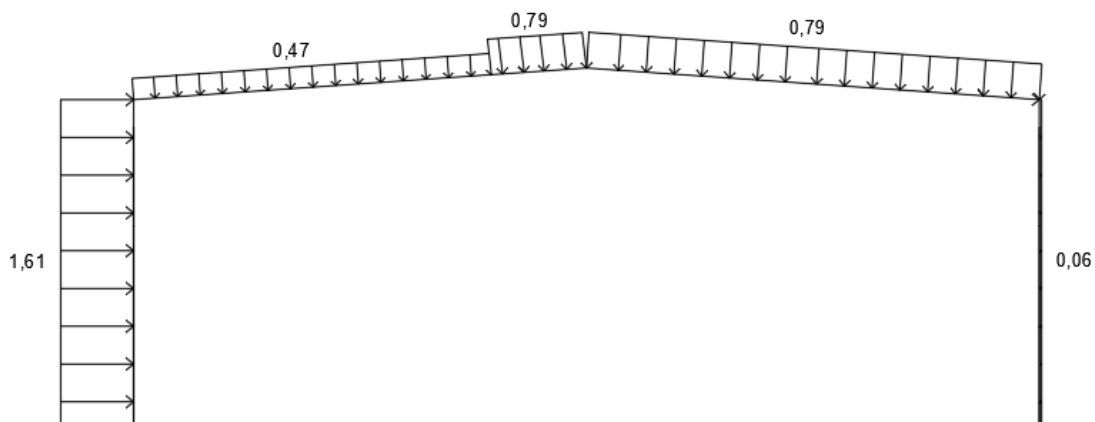
$$D_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,72 + 0,30) = 1,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,34 - 0,30) = 0,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * 0,30 = 0,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

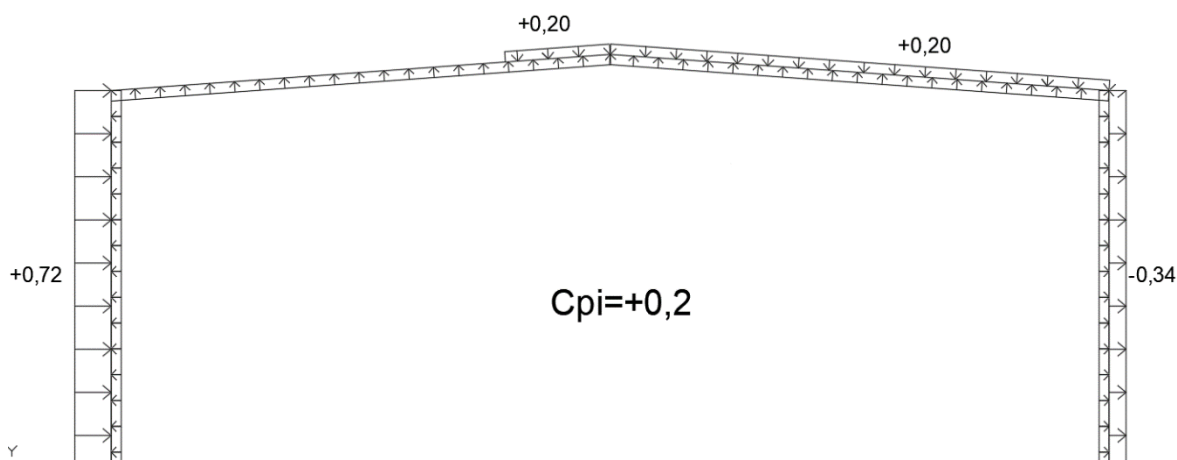
$$H_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * 0,30 = 0,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$I_3: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,20 + 0,30) = 0,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 2.4.1.1.6. Prikaz rezultantnog djelovanja vjetra prema područjima konstrukcije za negativni pritisak

4)



Slika 2.4.1.1.7. Prikaz djelovanja vjetra prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

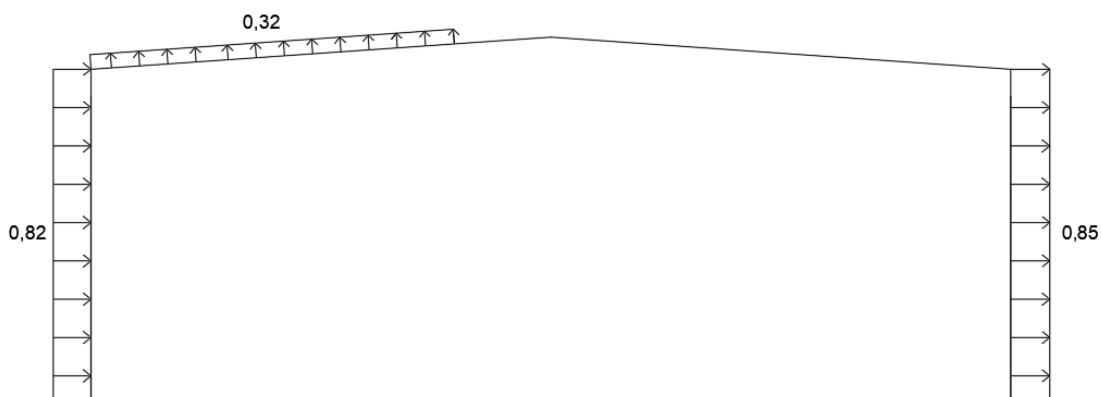
$$D_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,72 - 0,20) = 0,82 \frac{kN}{m^2}$$

$$E_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,34 + 0,20) = 0,85 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * 0,20 = 0,32 \frac{kN}{m^2}$$

$$H_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * 0,20 = 0,32 \frac{kN}{m^2}$$

$$I_4: w = q_p(z) * [c_{pe} + c_{pi}] = 1,58 * (0,20 - 0,20) = 0,00 \frac{kN}{m^2}$$



Slika 2.4.1.1.7. Prikaz rezultatnog djelovanja vjetra prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Proračun sila u čvorovima srednjeg okvira uslijed djelovanja najnepovoljnije kombinacije (2. i 3.) vjetra:

2.)

$$W_1 = 2,21 * 4,7 * \frac{2,51}{2} = \mathbf{13,04\ kN}$$

$$W_2 = 2,21 * 4,7 * 0,32 + 1,42 * 4,7 * \left(\frac{2,51}{2} + 0,94\right) = \mathbf{17,97\ kN}$$

$$W_3 = 1,42 * 4,7 * 2,51 = \mathbf{16,75\ kN}$$

$$W_4 = 0,63 * 4,7 * 0,87 + 1,42 * 4,7 * \left(\frac{2,51}{2} + 0,39\right) = \mathbf{13,56\ kN}$$

$$W_5 = 0,63 * 4,7 * \frac{2,51}{2} = \mathbf{3,72\ kN}$$

$$W_6 = W_{10} = W_5 = \mathbf{3,72\ kN}$$

$$W_7 = 0,63 * 4,7 * 2,51 = \mathbf{7,44\ kN}$$

$$W_8 = W_9 = W_7 = \mathbf{7,44\ kN}$$

$$W_{11} = 0,82 * 4,7 * \frac{0,6}{2} = \mathbf{1,16\ kN}$$

$$W_{12} = 0,82 * 4,7 * \left(\frac{0,6}{2} + \frac{2,2}{2}\right) = \mathbf{5,40\ kN}$$

$$W_{13} = 0,82 * 4,7 * 2,2 = \mathbf{8,48\ kN}$$

$$W_{14} = W_{13} = \mathbf{8,48\ kN}$$

$$W_{15} = 0,82 * 4,7 * \frac{2,2}{2} = \mathbf{4,24\ kN}$$

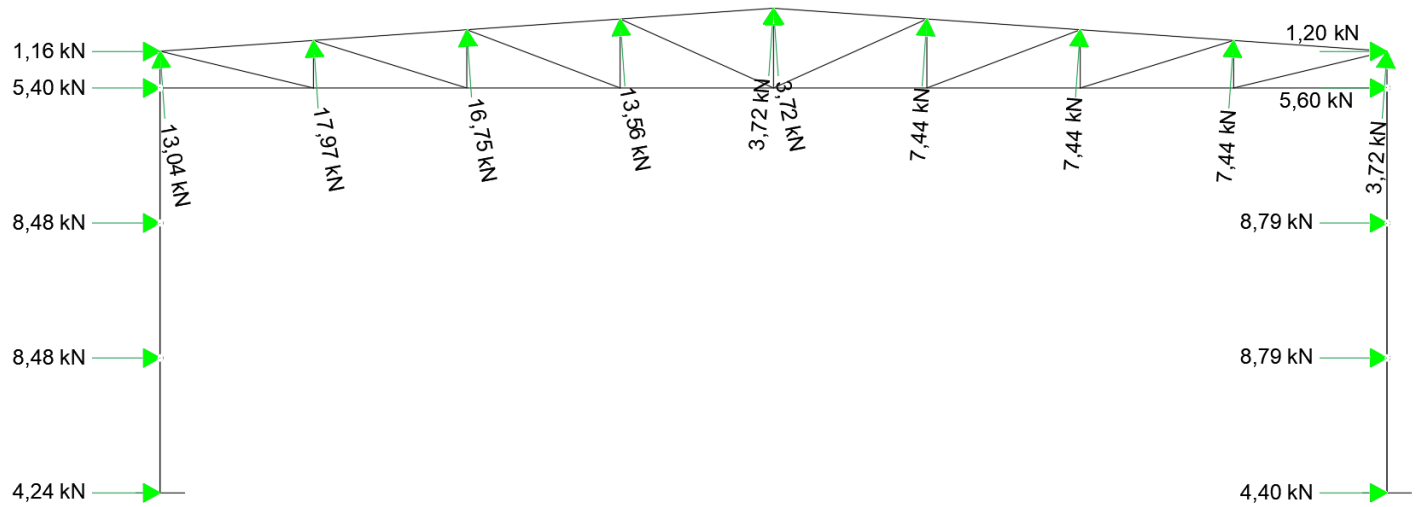
$$W_{16} = 0,85 * 4,7 * \frac{0,6}{2} = \mathbf{1,20\ kN}$$

$$W_{17} = 0,85 * 4,7 * \left(\frac{0,6}{2} + \frac{2,2}{2}\right) = \mathbf{5,60\ kN}$$

$$W_{18} = 0,85 * 4,7 * 2,2 = \mathbf{8,79\ kN}$$

$$W_{19} = W_{18} = \mathbf{8,79\ kN}$$

$$W_{20} = 0,85 * 4,7 * \frac{2,2}{2} = \mathbf{4,40\ kN}$$



Slika 2.4.1.1.9. Proračun sila u čvorovima srednjeg okvira uslijed djelovanja najnepovoljnije kombinacije 2. vjetra

3.)

$$W_1 = 0,47 * 4,7 * \frac{2,51}{2} = 2,77 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,47 * 4,7 * 2,51 = 5,55 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_2 = 5,55 \text{ kN}$$

$$W_4 = 0,47 * 4,7 * 0,87 + 0,79 * 4,7 * \left(\frac{2,51}{2} + 0,39\right) = 8,03 \text{ kN}$$

$$W_5 = 0,79 * 4,7 * \frac{2,51}{2} = 4,66 \text{ kN}$$

$$W_6 = W_{10} = W_5 = 4,66 \text{ kN}$$

$$W_7 = 0,79 * 4,7 * 2,51 = 9,32 \text{ kN}$$

$$W_8 = W_9 = W_7 = 9,32 \text{ kN}$$

$$W_{11} = 1,61 * 4,7 * \frac{0,6}{2} = 2,27 \text{ kN}$$

$$W_{12} = 1,61 * 4,7 * \left(\frac{0,6}{2} + \frac{2,2}{2}\right) = 10,59 \text{ kN}$$

$$W_{13} = 1,61 * 4,7 * 2,2 = 16,65 \text{ kN}$$

$$W_{14} = W_{13} = 16,65 \text{ kN}$$

$$W_{15} = 1,61 * 4,7 * \frac{2,2}{2} = 8,32 \text{ kN}$$

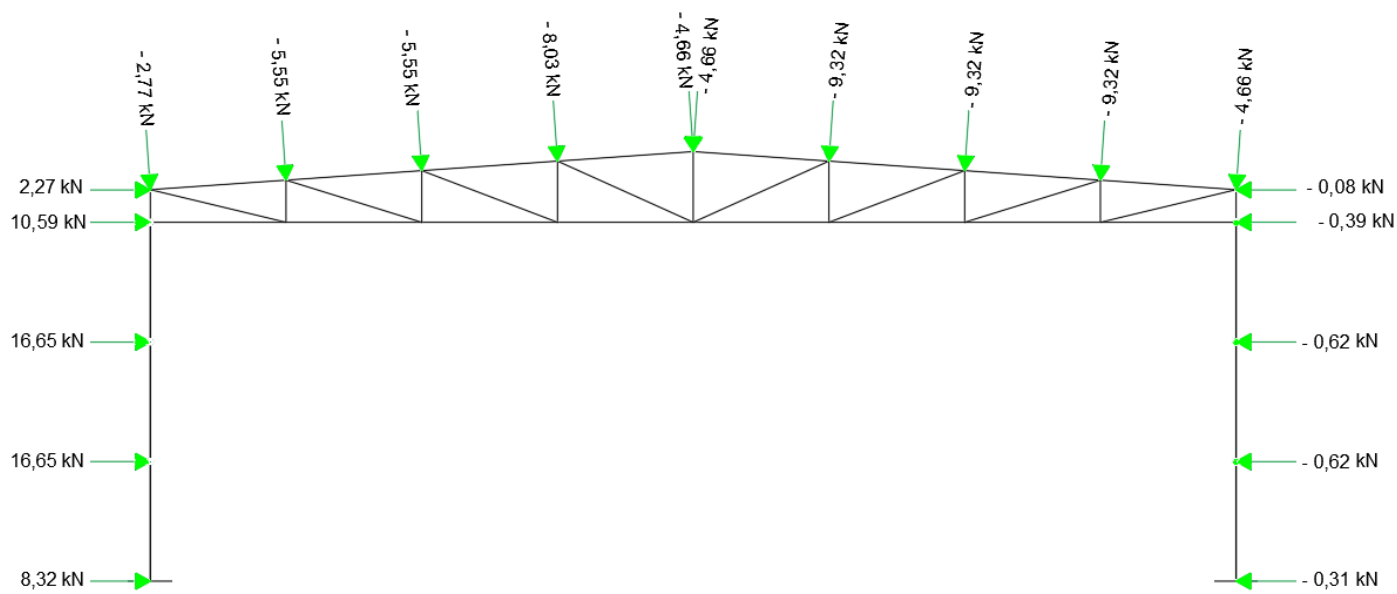
$$W_{16} = 0,06 * 4,7 * \frac{0,6}{2} = 0,08 \text{ kN}$$

$$W_{17} = 0,06 * 4,7 * \left(\frac{0,6}{2} + \frac{2,2}{2}\right) = 0,39 \text{ kN}$$

$$W_{18} = 0,06 * 4,7 * 2,2 = 0,62 \text{ kN}$$

$$W_{19} = W_{18} = 0,62 \text{ kN}$$

$$W_{20} = 0,06 * 4,7 * \frac{2,2}{2} = 0,31 \text{ kN}$$



Slika 2.4.1.2.1. Proračun sila u čvorovima srednjeg okvira uslijed djelovanja najnepovoljnije kombinacije 3. vjetra

3. KONTROLA PROGIBA ZA GSU

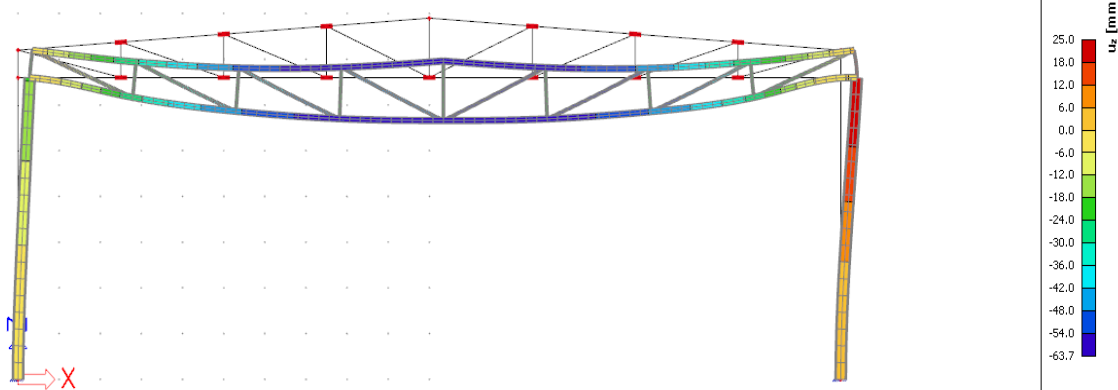
Korišteni profili:

- gornji i donji pojas rešetke CFRHS 100x100x8
- dijagonale i vertikale rešetke CFRHS 50x50x4
- glavni stupovi- HEA 320

Kritična kombinacija za progibe:

GSU 1) 1,00*(vlastita težina + dodatno stalno opt.) + 0,6*(djelovanje snijegom) + 1,00*(vjetar pritiskajući)

3D displacement
Values: uz
Linear calculation
Combination: 1G+1Wp+0,6S
Selection: All
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element



Slika 3.1.1. 3D prikaz vertikalnog progiba rešetke

Dopušteni vertikalni progib rešetke računamo prema formuli:

$$\Delta v < \frac{L}{300}$$

gdje je:

Δv -vertikalni progib

L -raspon okvira

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

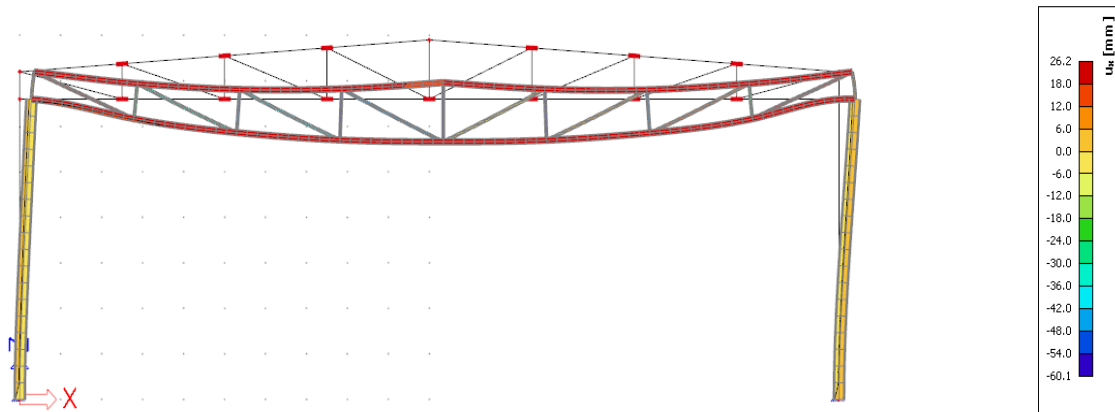
$$60,90 \text{ (mm)} < \frac{20000}{300} = 66,67 \text{ (mm)}$$

Najveći progib rešetke je 60,90 (mm), pa je iskoristivost dobivenog progiba:

$$\frac{60,90 \text{ (mm)}}{66,67 \text{ (mm)}} = 91.35 \%$$

Najveći vertikalni progib zadovoljava u odnosu na dopušteni vertikalni progib sa iskoristivosti 91%.

3D displacement
 Values: u_x
 Linear calculation
 Combination: 1G+1Wp+0,6S
 Selection: All
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element



Slika 3.1.2. 3D prikaz horizontalnog progiba rešetke

Dopušteni horizontalni progib stupa računamo prema formuli:

$$\Delta h < \frac{H}{250}$$

gdje je:

Δh -horizontalni progib

H -visina hale

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

$$25,30 \text{ (mm)} < \frac{6600}{250} = 26,40 \text{ (mm)}$$

$$\frac{H}{250} = \frac{6600 \text{ (mm)}}{250} = 26,40 \text{ (mm)}$$

Najveći progib stupa je 25,30 (mm), pa je iskoristivost dobivenog progiba:

$$\frac{25,30 \text{ (mm)}}{26,40 \text{ (mm)}} = 95,83\%$$

Najveći horizontalni progib zadovoljava u odnosu na dopušteni horizontalni progib sa iskoristivosti 96%.

4. MODELI

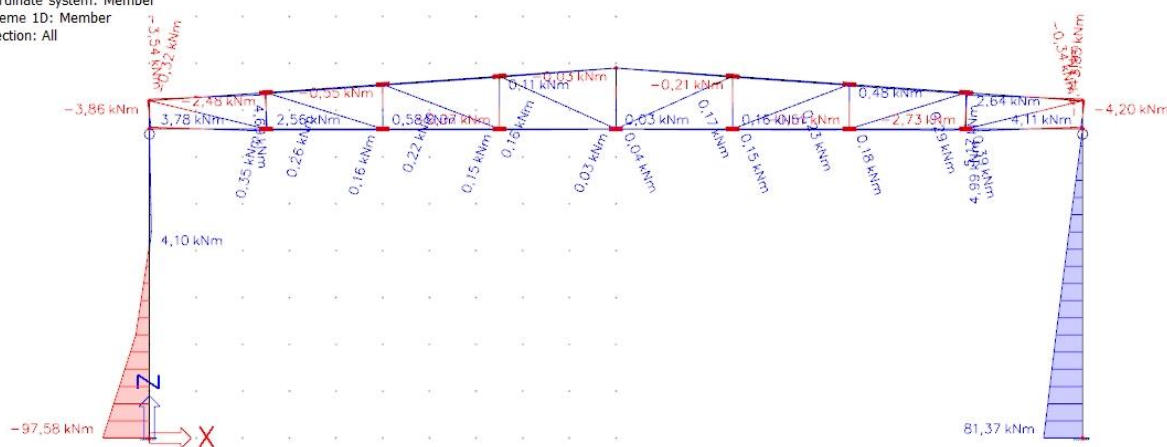
4.1 Glavni nosač

Rezne sile GSU

1. Kombinacija

1D internal forces

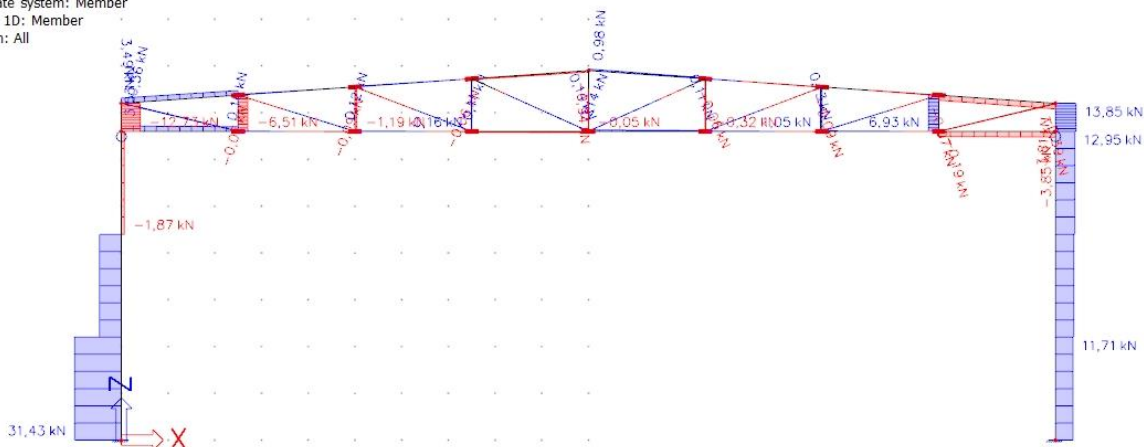
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: 1G+1Wp+0,6S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.1.1. Momentni dijagram za 1. kombinaciju po GSU

1D internal forces

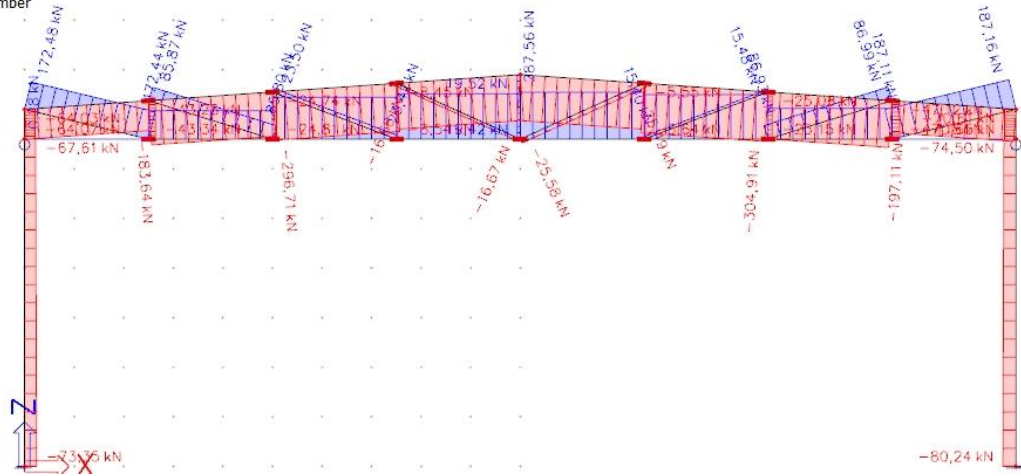
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: 1G+1Wp+0,6S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila za 1. kombinaciju po GSU

1D internal forces

Values: **N**
 Linear calculation
 Combination: 1G+1Wp+0,6S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

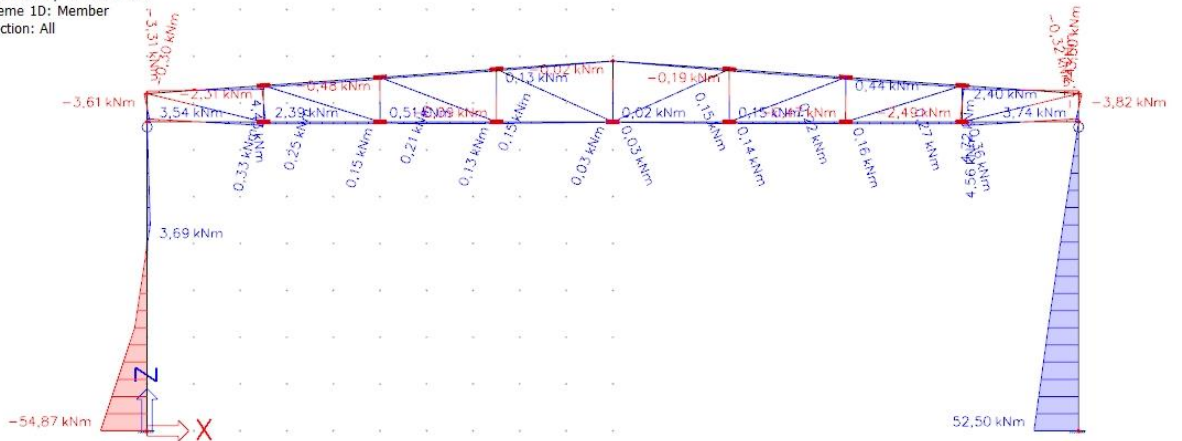


Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila za 1. kombinaciju po GSU

2. kombinacija

1D internal forces

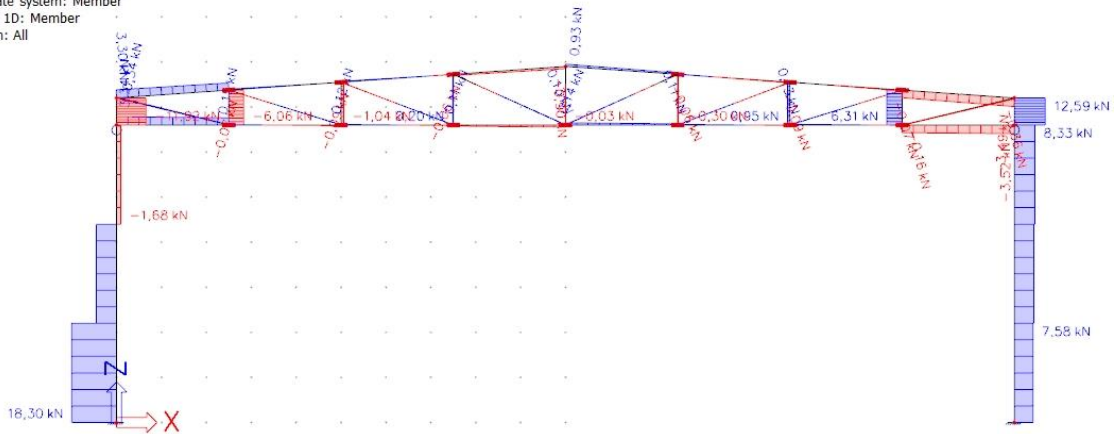
Values: **M_y**
 Linear calculation
 Combination: 1G+1S+0,6Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.1.4. Momentni dijagram za 2. kombinaciju po GSU

1D internal forces

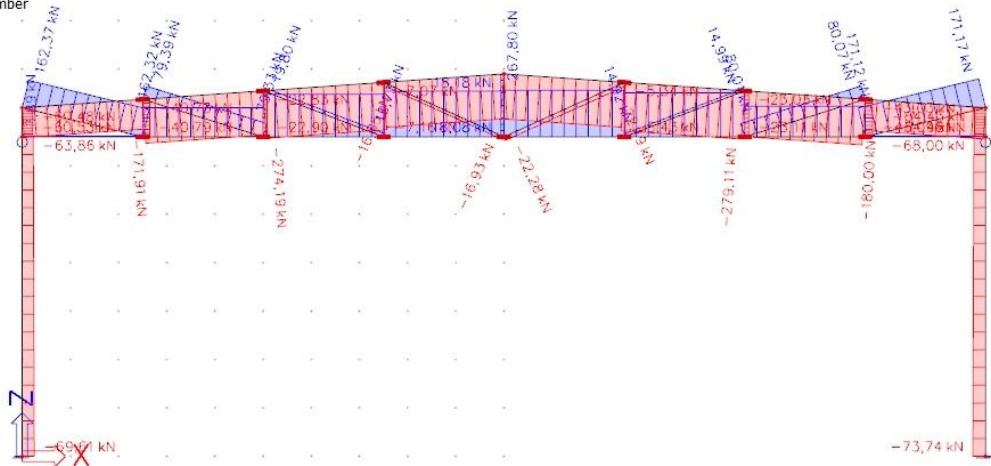
Values: Vz
 Linear calculation
 Combination: 1G+1S+0,6Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.1.5. Dijagram poprečnih sila za 2. kombinaciju po GSU

1D internal forces

Values: N
 Linear calculation
 Combination: 1G+1S+0,6Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

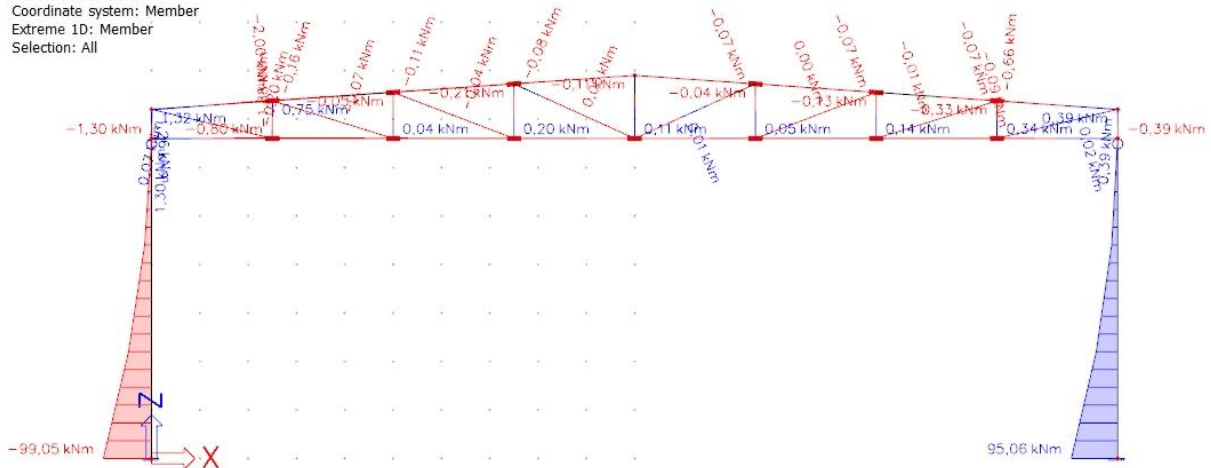


Slika 4.1.1.6. Dijagram uzdužnih sila za 2. kombinaciju po GSU

3. kombinacija

1D internal forces

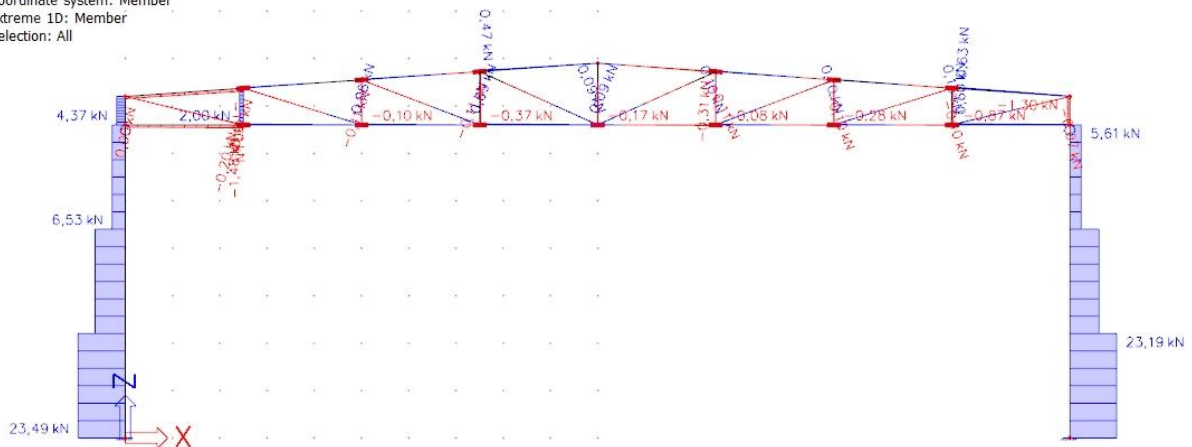
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: 1G+1Wo
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.1.7. Momentni dijagram za 3. kombinaciju po GSU

1D internal forces

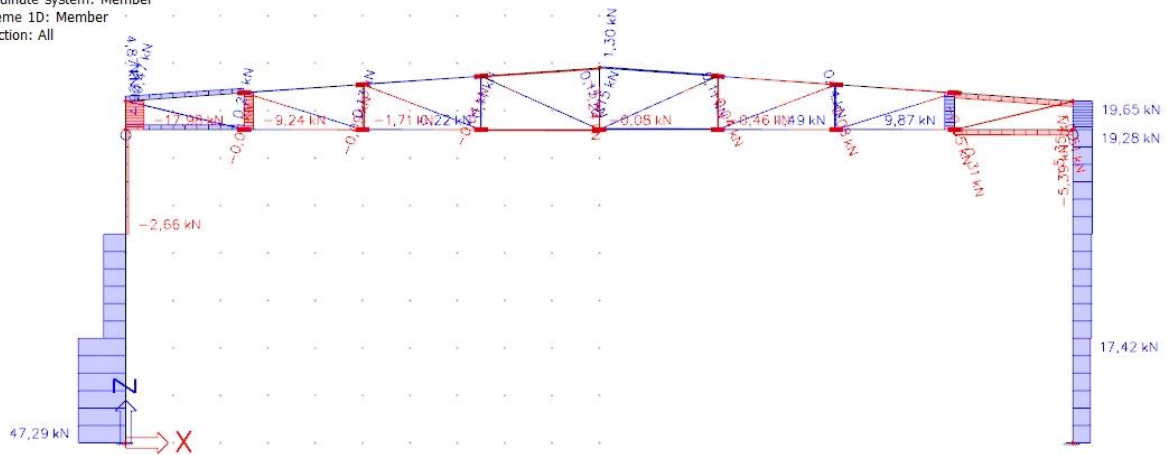
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: 1G+1Wo
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.1.8. Dijagram poprečnih sila za 3. kombinaciju po GSU

1D internal forces

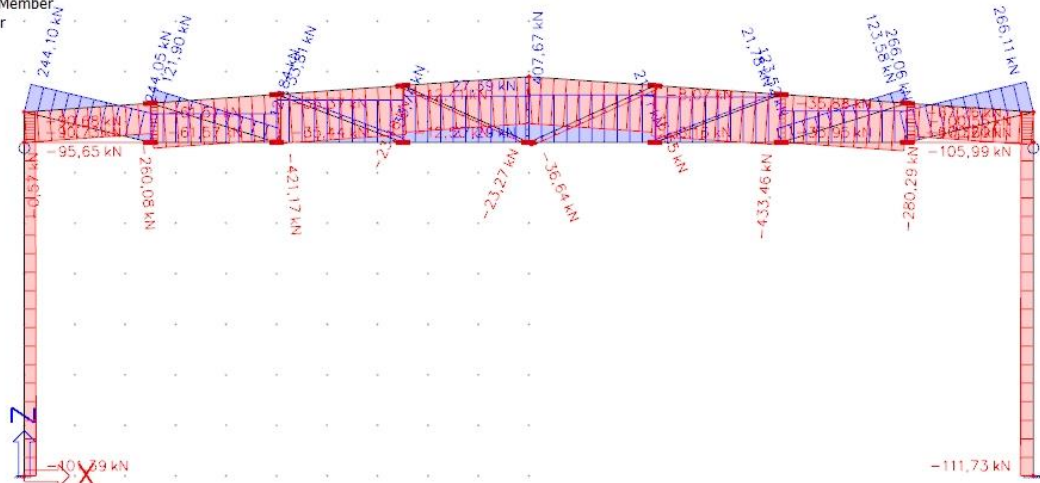
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination:
 (GSN1)1,35G+1,5Wp+0,9S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila za 1. kombinaciju po GSN

1D internal forces

Values: N
 Linear calculation
 Combination:
 (GSN1)1,35G+1,5Wp+0,9S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

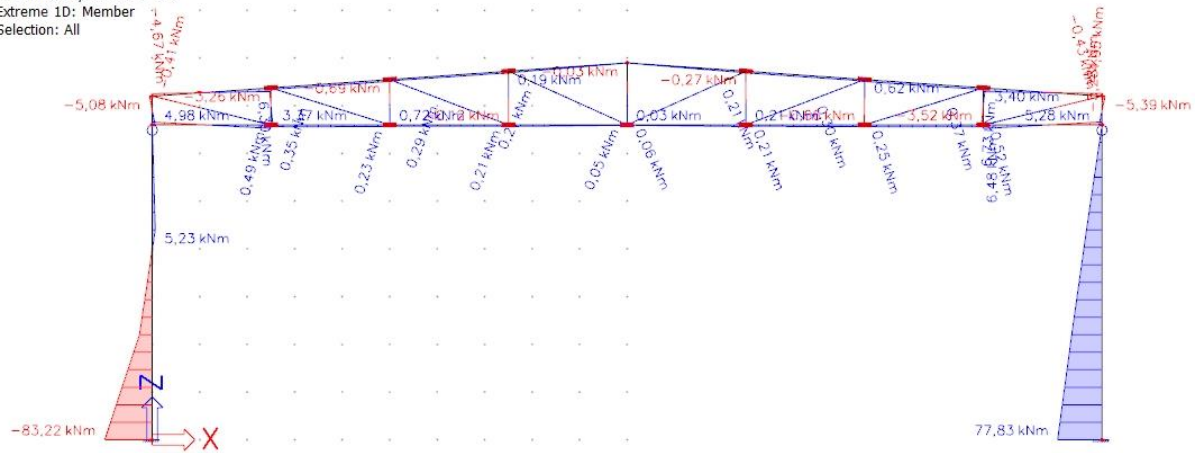


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila za 1. kombinaciju po GSN

2. kombinacija

1D internal forces

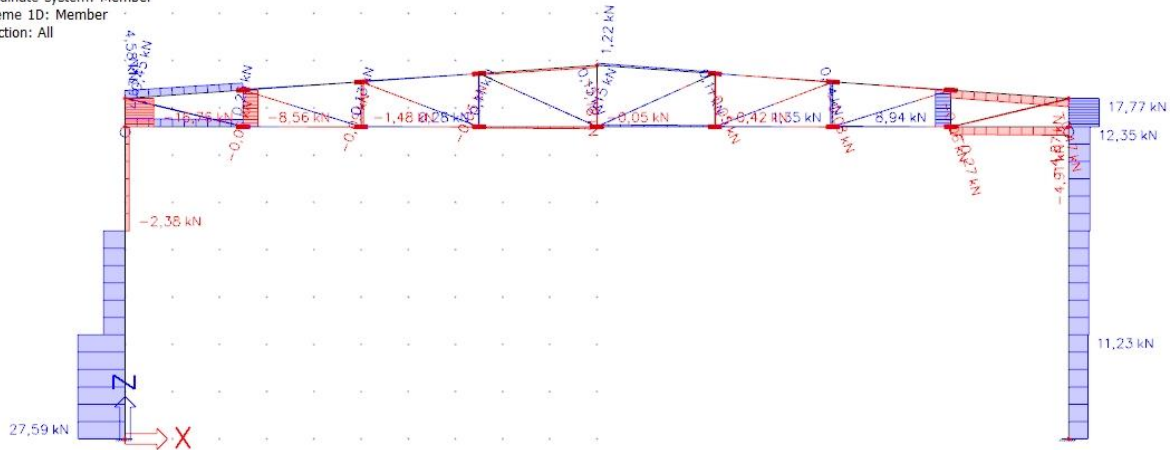
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination:
 (GSN2)1,35G+0,9Wp+1,5S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.2.4. Momentni dijagram za 2. kombinaciju po GSN

1D internal forces

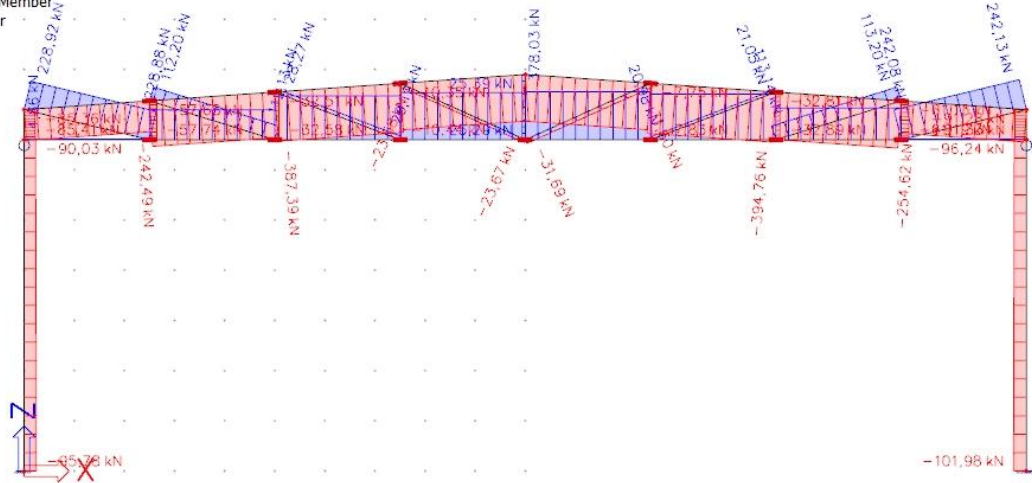
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination:
 (GSN2)1,35G+0,9Wp+1,5S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.2.5. Dijagram poprečnih sila za 2. kombinaciju po GSN

1D internal forces

Values: **N**
 Linear calculation
 Combination: (GSN2)1,35G+0,9Wp+1,5S
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

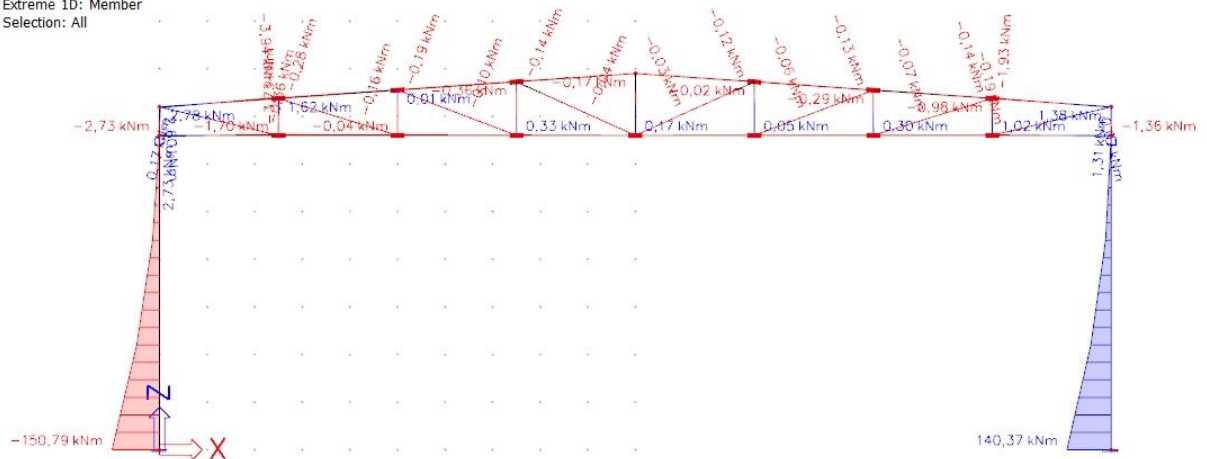


Slika 4.1.2.6. Dijagram uzdužnih sila za 2. kombinaciju po GSN

3. kombinacija

1D internal forces

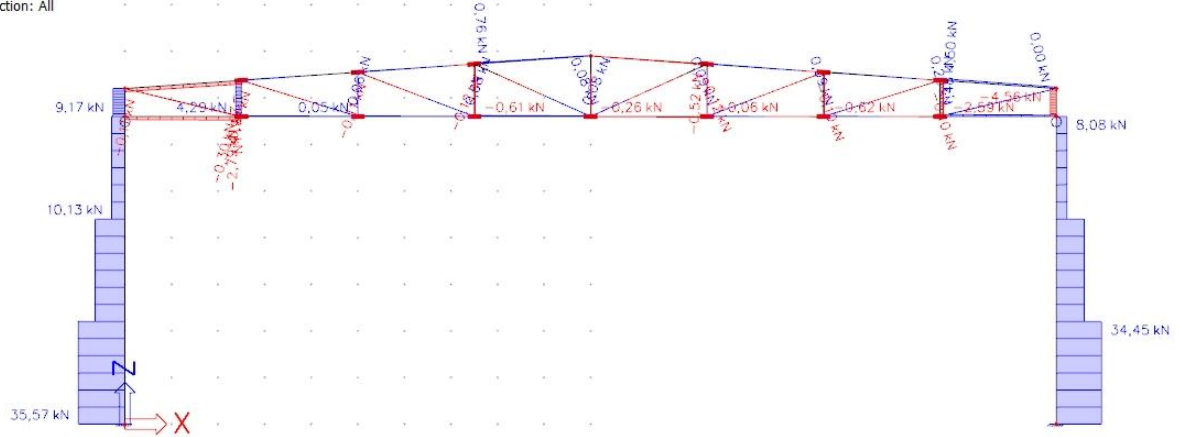
Values: **M_y**
 Linear calculation
 Combination: (GSN3)1G+1,5Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.2.7. Momentni dijagram za 3. kombinaciju po GSN

1D internal forces

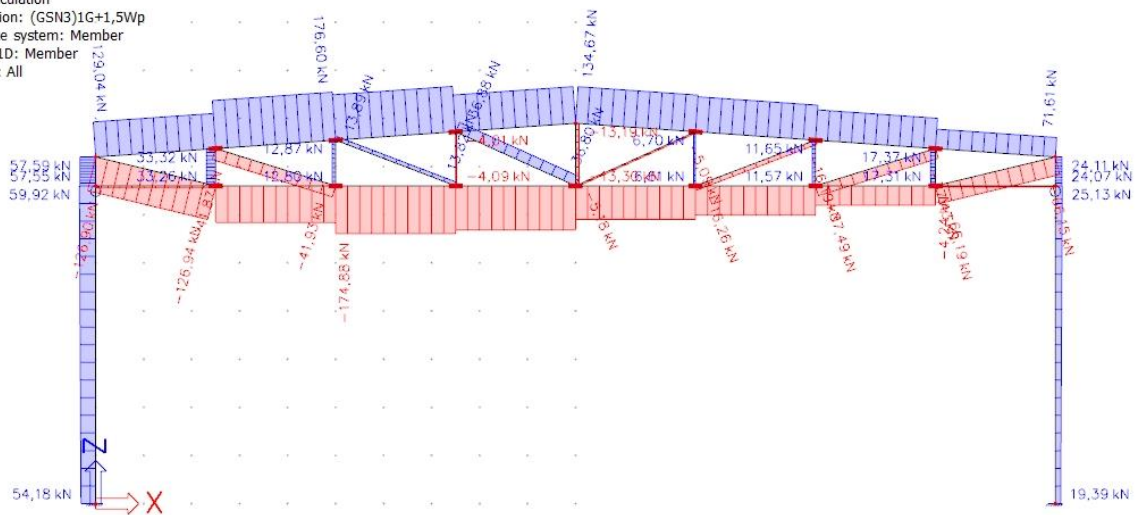
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: (GSN3)1G+1,5Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.2.8. Dijagram poprečnih sila za 3. kombinaciju po GSN

1D internal forces

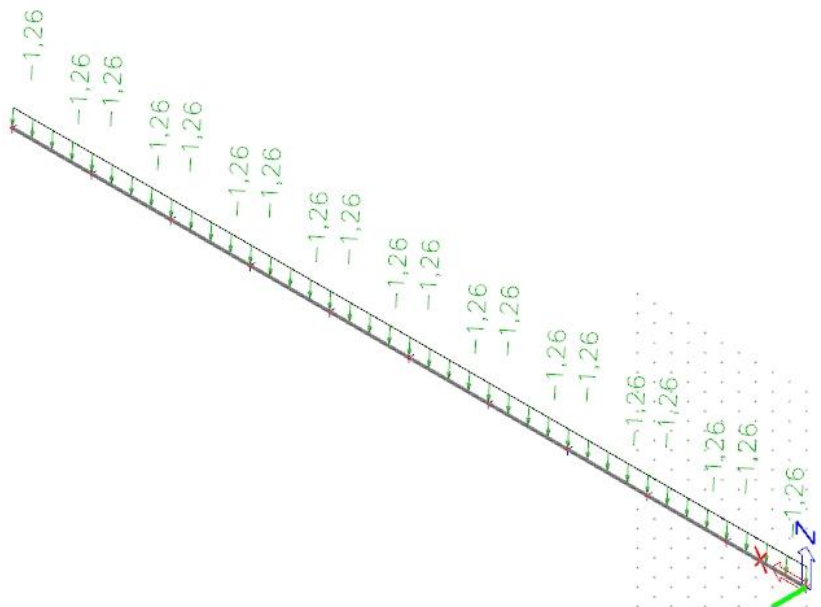
Values: N
 Linear calculation
 Combination: (GSN3)1G+1,5Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 4.1.2.1. Dijagram uzdužnih sila za 3. kombinaciju po GSN

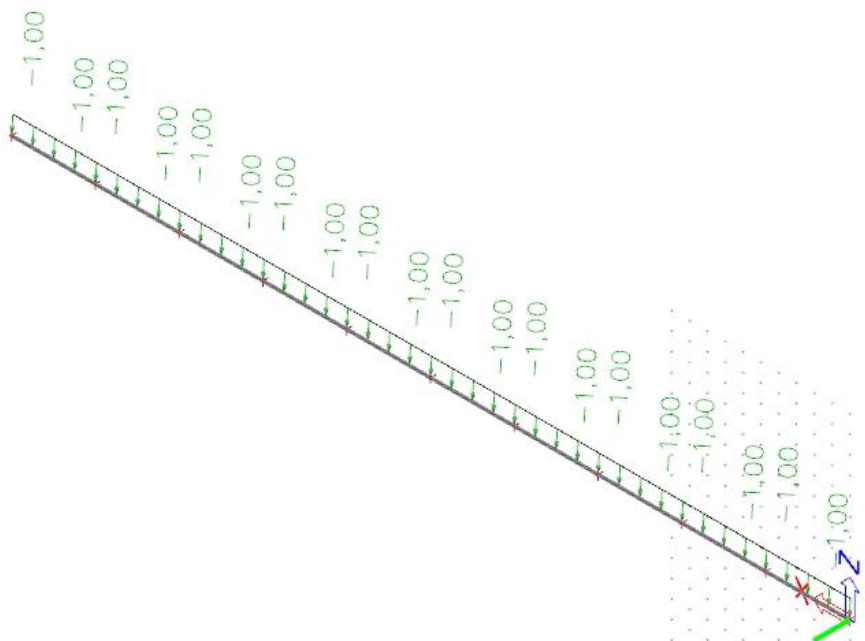
4.2 Krovne podrožnice

Dodatno stalno



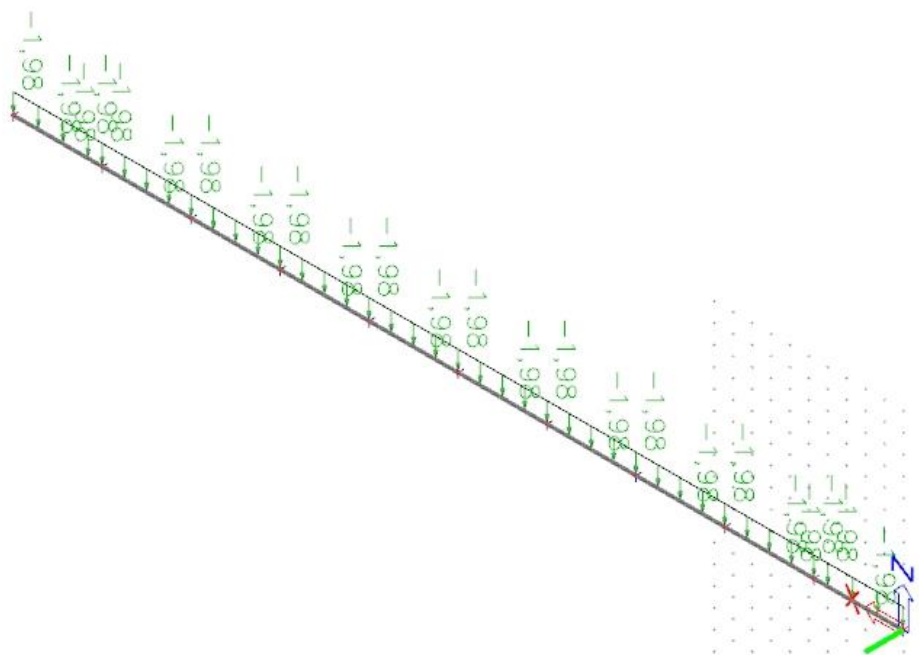
Slika 4.2.1.1. Dodatno stalno opterećenje u z smjeru

Snijeg



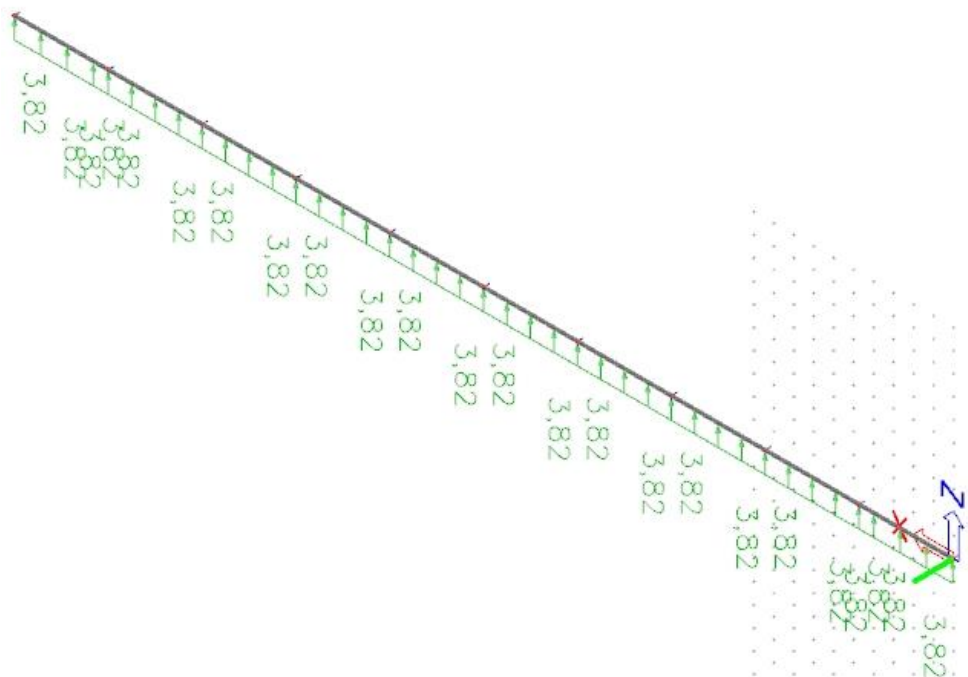
Slika 4.2.1.2. Opterećenje snijegom u z smjeru

Vjetar pritiskajući



Slika 4.2.1.3. Opterećenje pritiskajućeg vjetra u z smjeru

Vjetar odižući



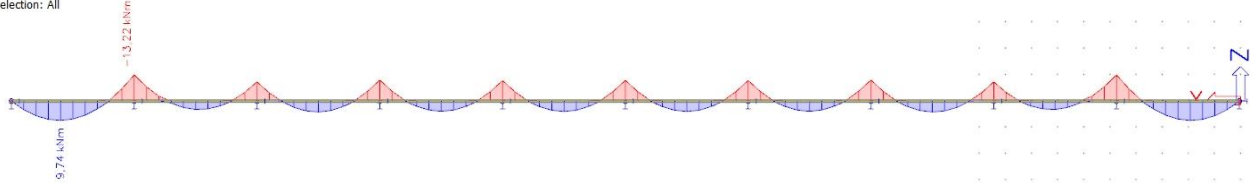
Slika 4.2.1.4. Opterećenje odižućeg vjetra u z smjeru

Kombinacije djelovanja

1. kombinacija

1D internal forces

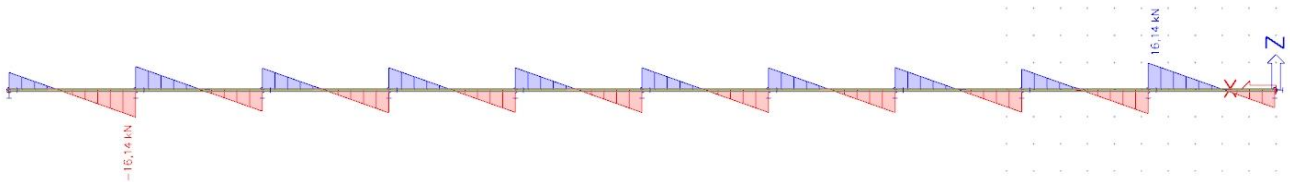
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+1,5Wp+0,9S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.2.1.5. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1

1D internal forces

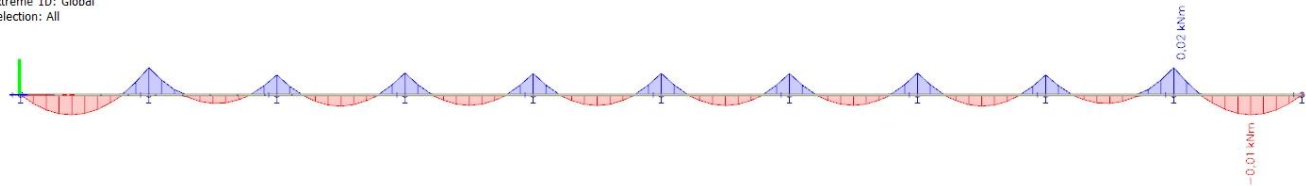
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+1,5Wp+0,9S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.2.1.6. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1

1D internal forces

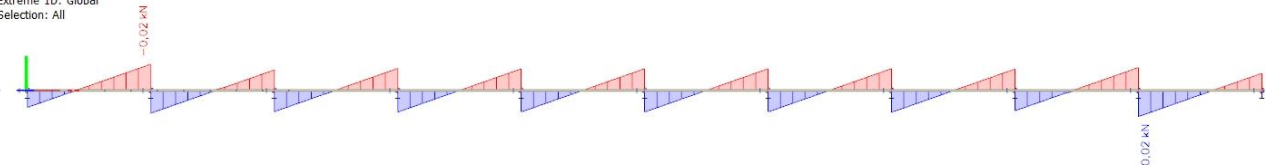
Values: M_z
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+1,5Wp+0,9S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.2.1.7. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1

1D internal forces

Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+1,5Wp+0,9S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All

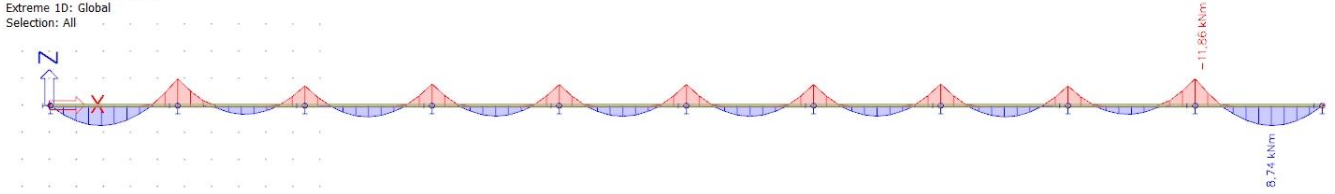


Slika 4.2.1.8. . Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1

2. Kombinacija

1D internal forces

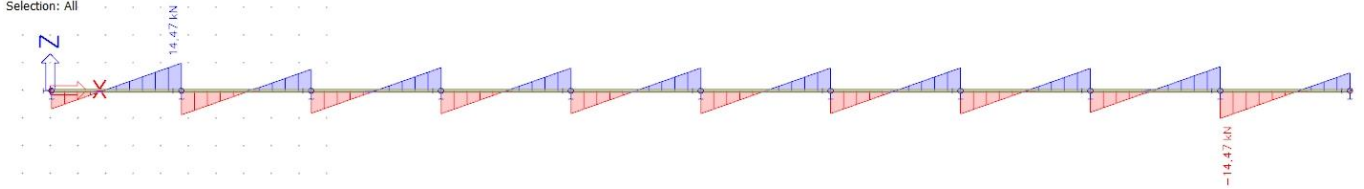
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+0,9Wp+1,5S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.2.1.9. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2

1D internal forces

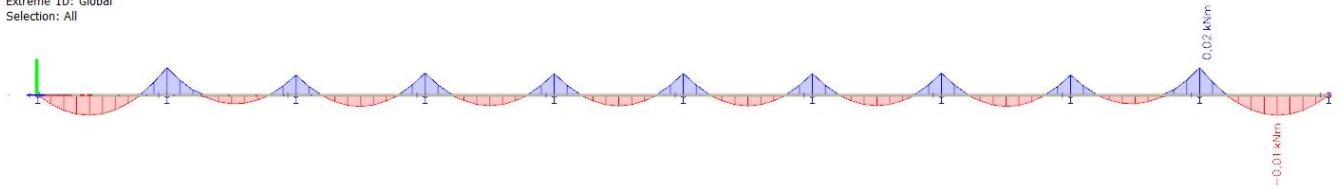
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+0,9Wp+1,5S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.2.2.1. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2

1D internal forces

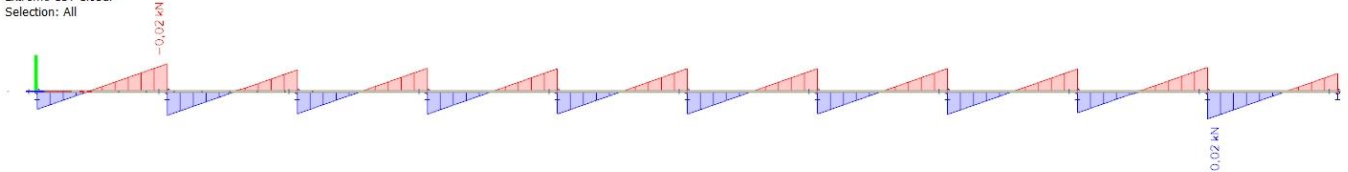
Values: M_z
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+0,9Wp+1,5S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.2.2.2. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2

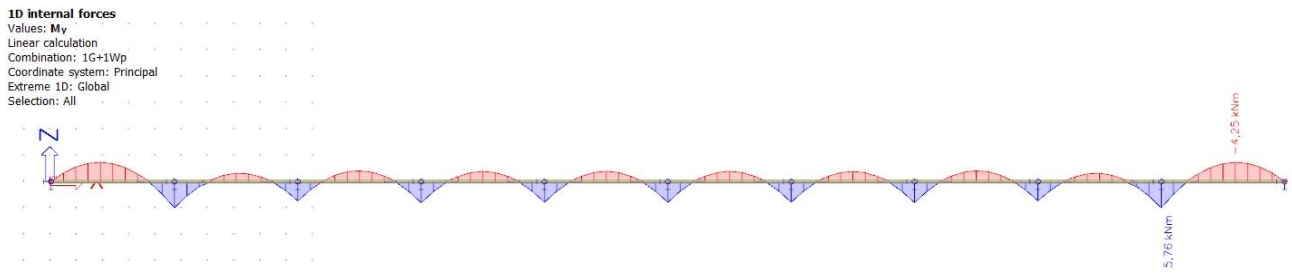
1D internal forces

Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: $1,35G+0,9Wp+1,5S$
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Global
 Selection: All

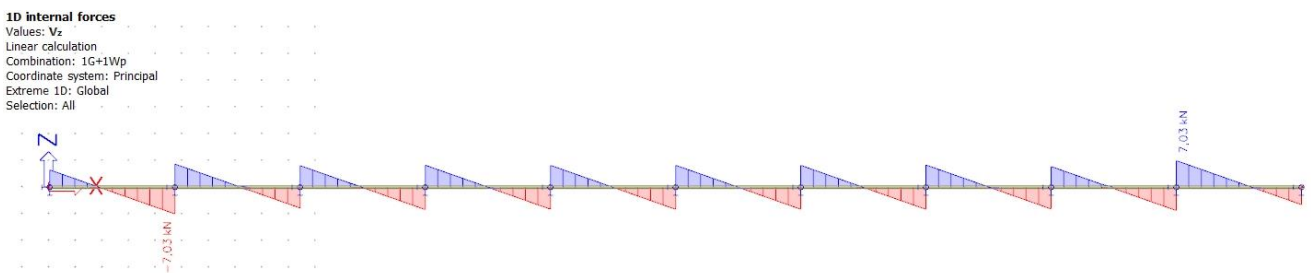


Slika 4.2.2.3. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2

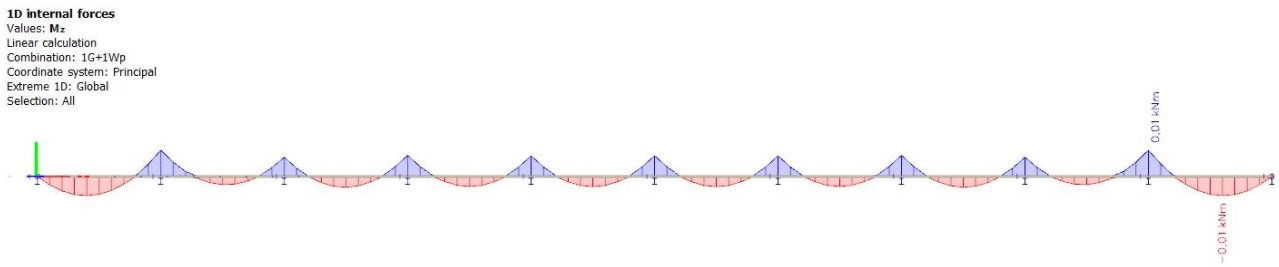
3. Kombinacija



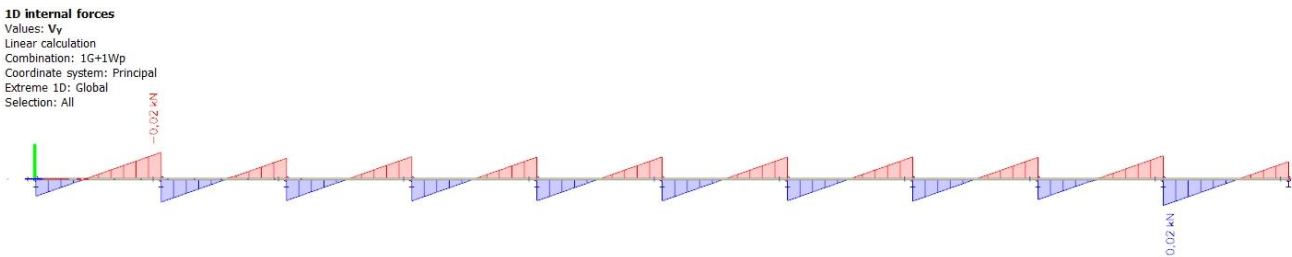
Slika 4.2.2.4. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 3



Slika 4.2.2.5. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 3



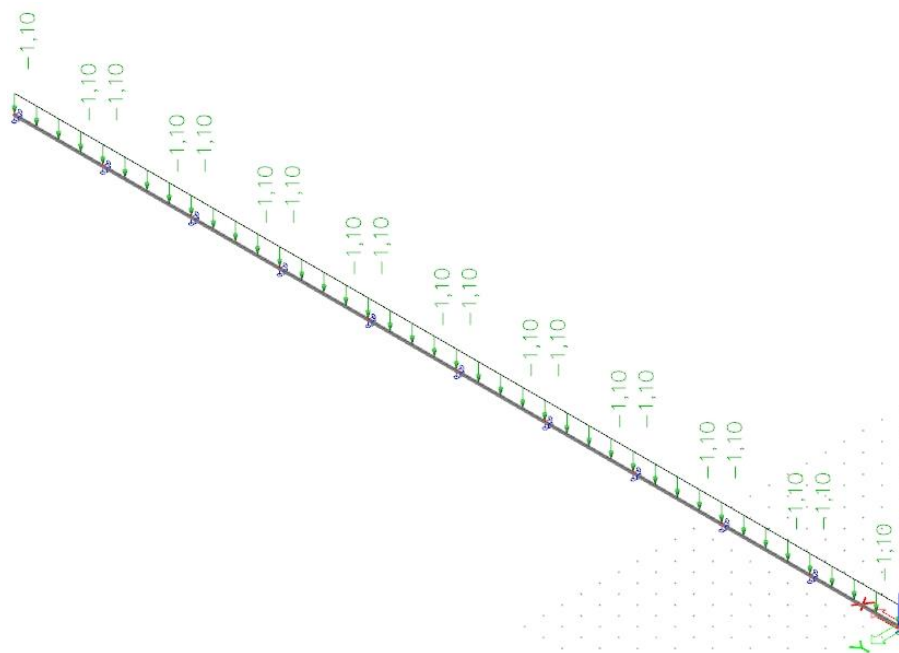
Slika 4.2.2.6. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 3



Slika 4.2.2.7. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 3

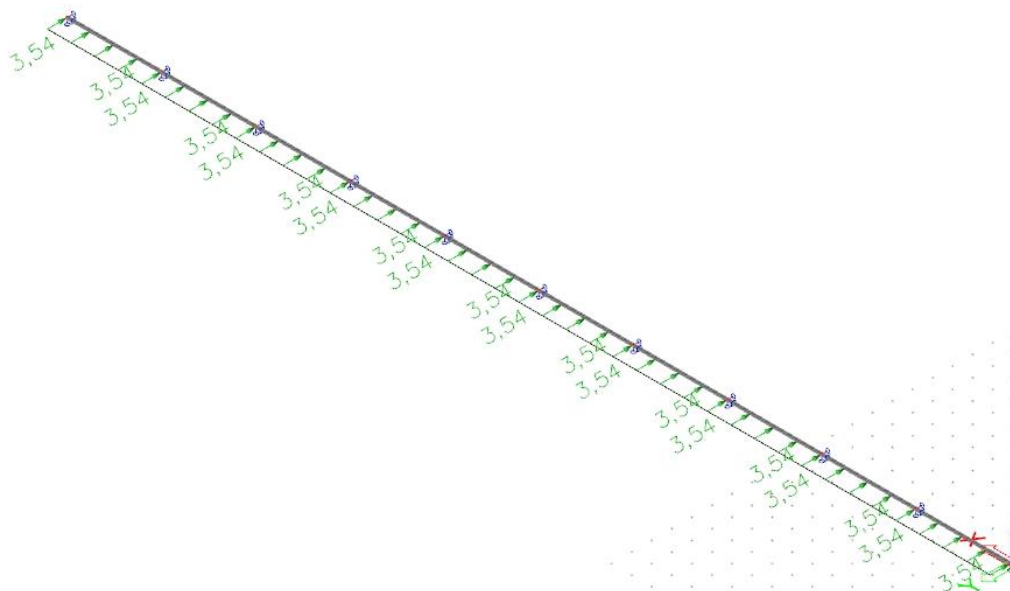
4.3 Bočne podrožnice

Dodatno stalno



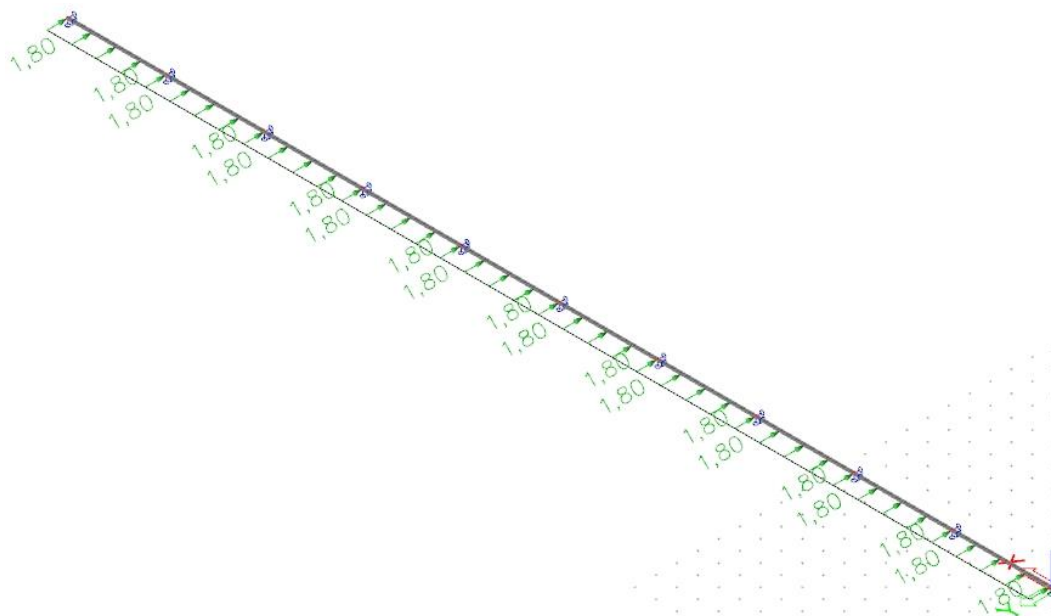
Slika 4.3.1.1. Dodatno stalno opterećenje u z smjeru

Vjetar pritiskajući



Slika 4.3.1.2. Opterećenje pritiskajućeg vjetra u y smjeru

Vjetar odižući



Slika 4.3.1.3. Opterećenje odižućeg vjetra u y smjeru

1. Kombinacija

1D internal forces

Values: M_y

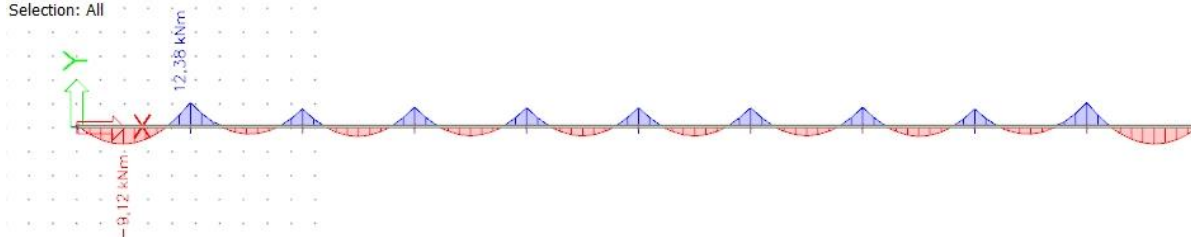
Linear calculation

Combination: 1,35G+1.5Wp

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Slika 4.3.1.4. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1

1D internal forces

Values: V_z

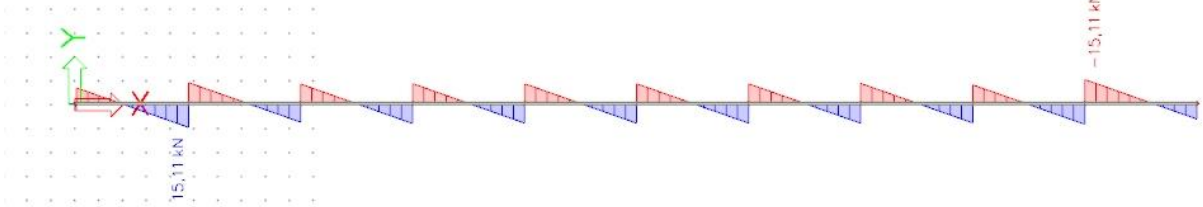
Linear calculation

Combination: 1,35G+1.5Wp

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Slika 4.3.1.5. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1

1D internal forces

Values: M_z

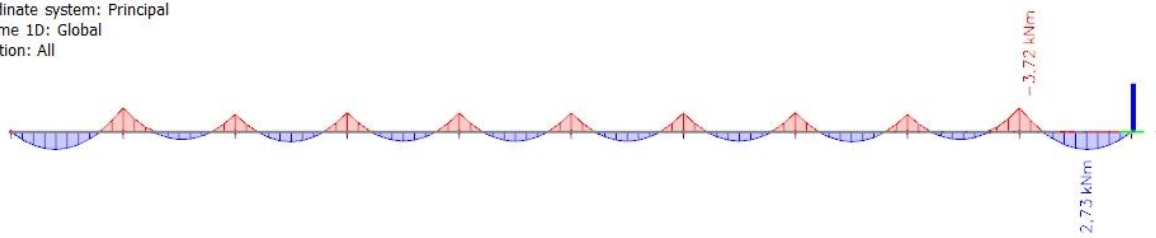
Linear calculation

Combination: 1,35G+1.5Wp

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Slika 4.3.1.6. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1

1D internal forces

Values: V_y

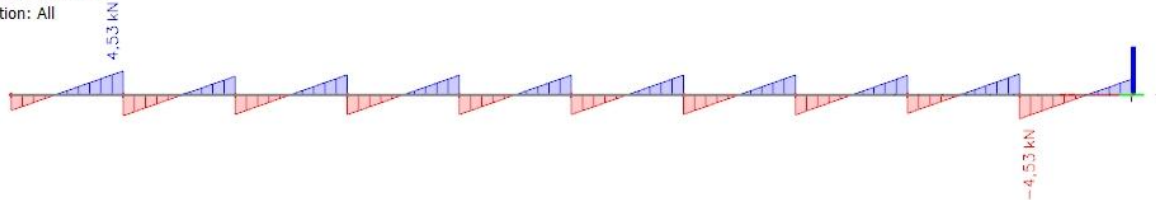
Linear calculation

Combination: 1,35G+1.5Wp

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

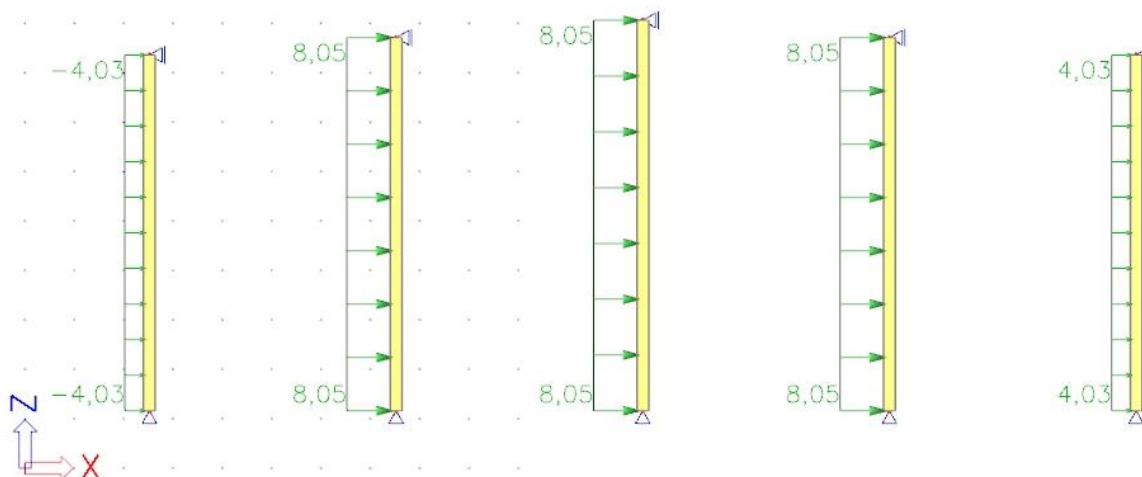
Selection: All



Slika 4.3.1.7. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1

4.4 Zabatni stupovi

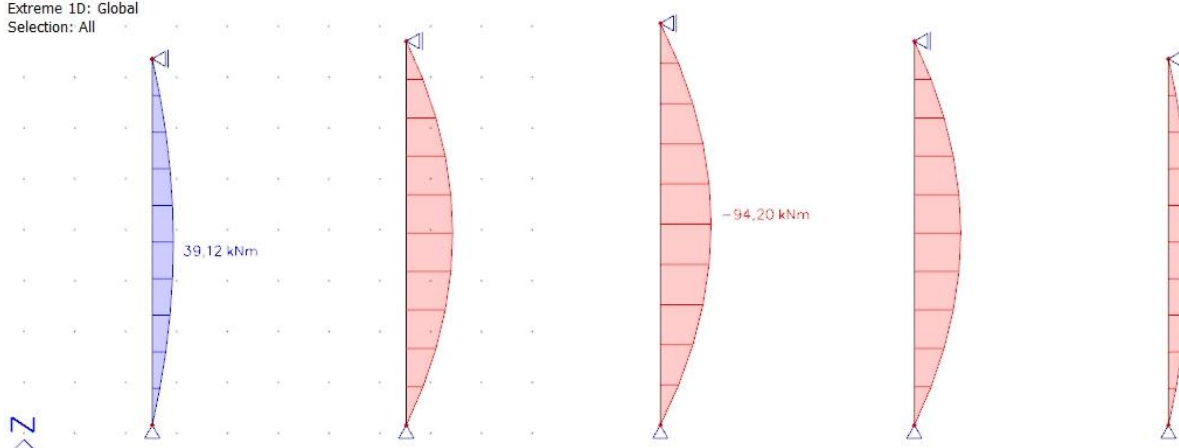
Vjetar pritiskajući



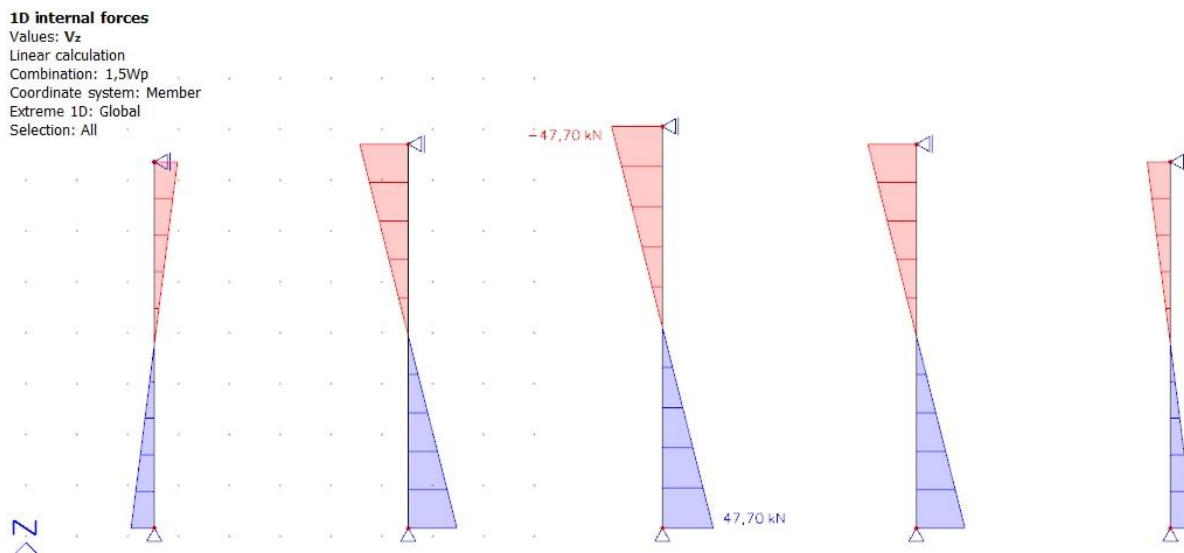
Slika 4.4.1.1. Opterećenje pritiskajućeg vjetra u x smjeru

1. Kombinacija

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: 1,5Wp
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All

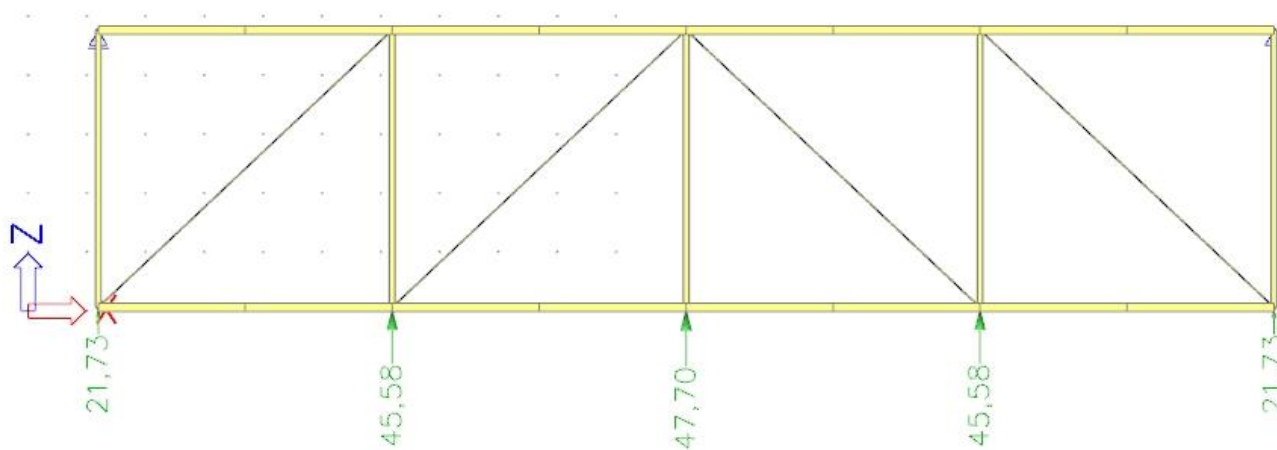


Slika 4.4.1.2. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1



Slika 4.4.1.3. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1

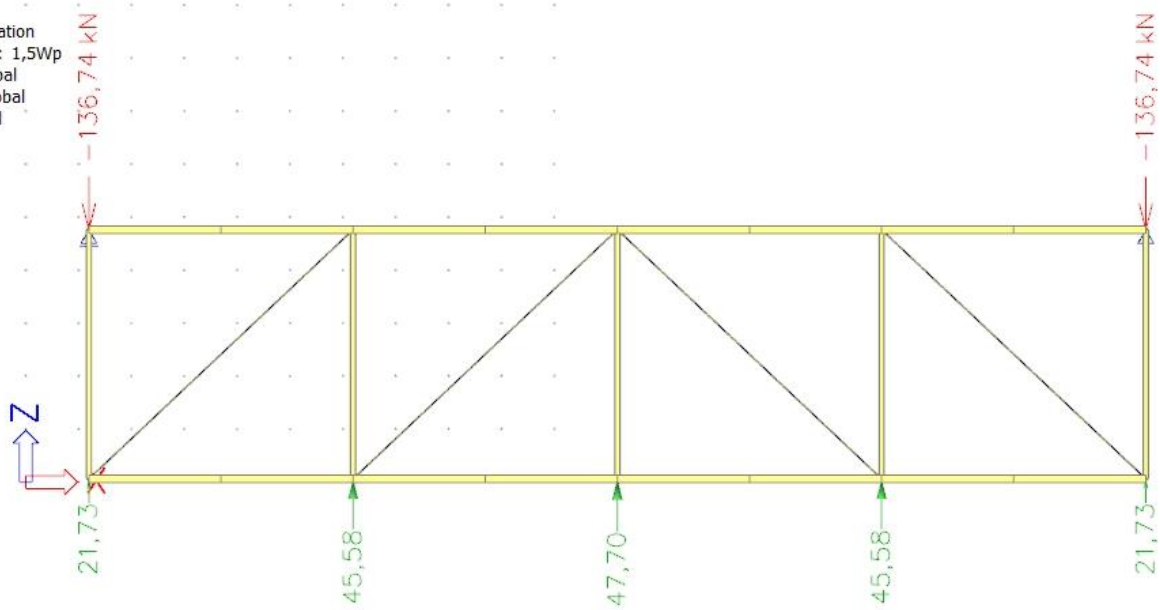
4.5 Krovni spreg



Slika 4.5.1.1. Opterećenje pritiskajućeg vjetra na zabatne stupove u z smjeru

Reactions

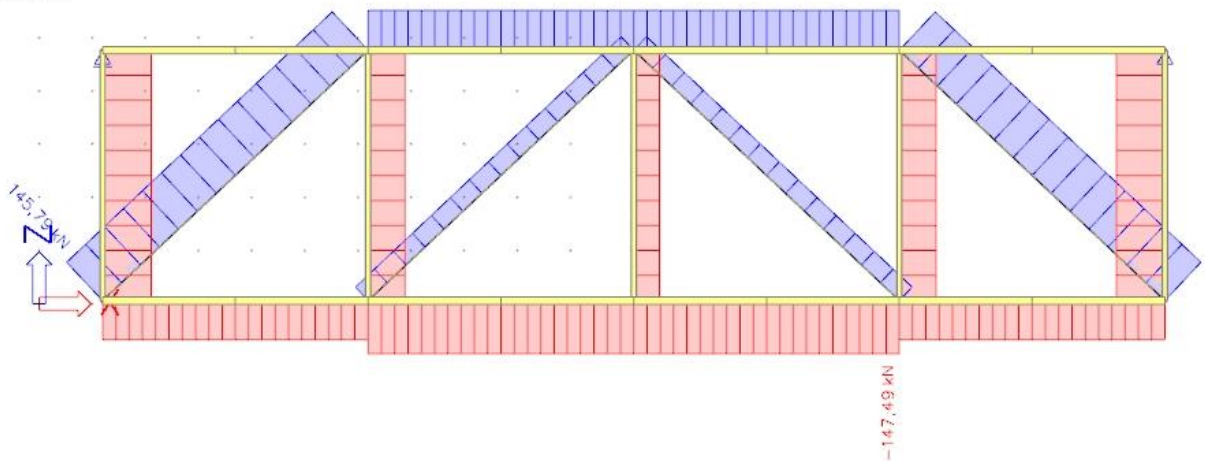
Values: **Rz**
Linear calculation
Combination: 1,5Wp
System: Global
Extreme: Global
Selection: All



Slika 4.5.1.2. Rezultantne sile opterećenja pritiskajućeg vjetra na zabatne stupove u z smjeru

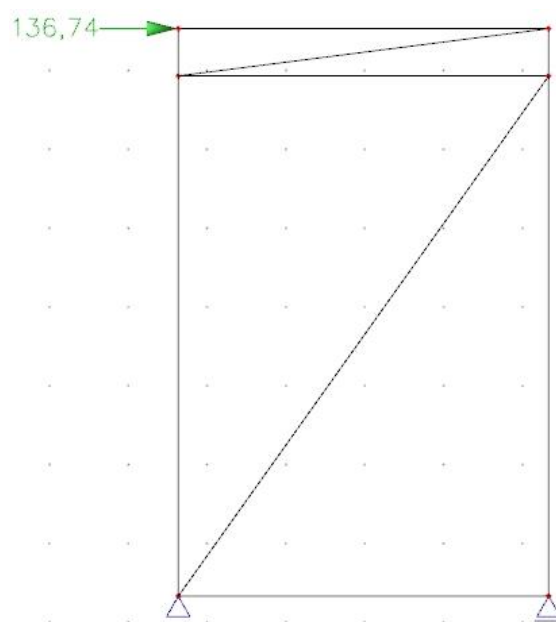
1D internal forces

Values: **N**
Linear calculation
Combination: 1,5Wp
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Global
Selection: All

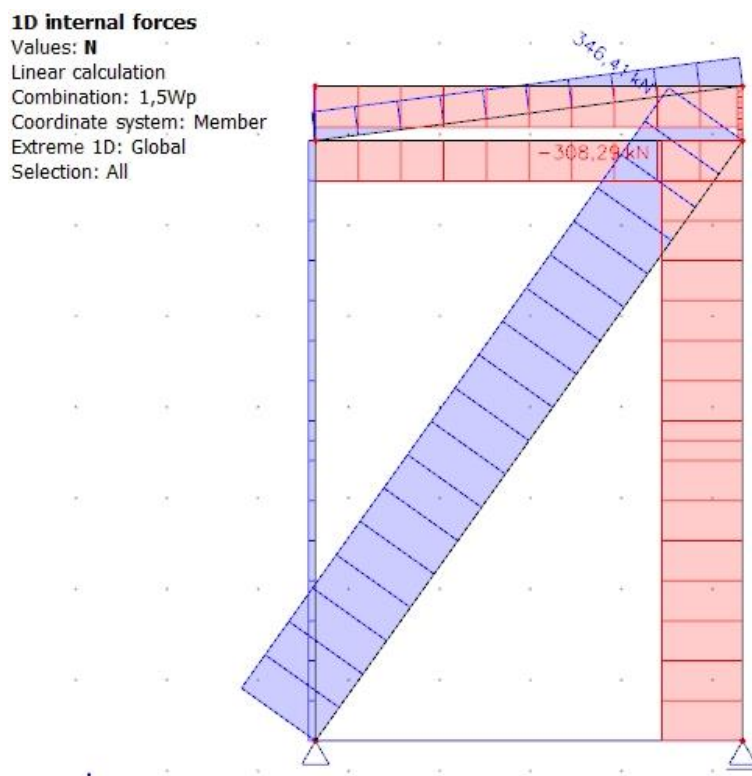


Slika 4.5.1.3. Dijagram uzdužnih sila u z smjeru

4.6 Bočni spreg



Slika 4.6.1.1. Rezultantne sile opterećenja pritiskajućeg vjetra na zabatne stupove u z smjeru



Slika 4.6.1.2. Dijagram uzdužnih sila u z smjeru

5. DIMENZIONIRANJE

Materijal: S275 ; $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

$$\varepsilon = 0.92$$

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu = 0,3$$

5.1 Bočna področnica (BP)

Profil	IPE 200
Tip presjeka	valjani
Visina presjeka - h	200 mm
Širina pojasnice - b	100 mm
Debljina pojasnice - t_f	9 mm
Debljina hrpta - t_w	6 mm
Radius - r	12 mm
Površina - A	28.50 cm^2
Moment tromosti - I_y	1943 cm^4
Moment tromosti - I_z	142 cm^4
Moment otpora - $W_{pl,y}$	221 cm^4
Moment otpora - $W_{pl,z}$	44.6 cm^4
Konstanta krivljenja - I_w	13000 cm^6
Torzijska konstanta - I_t	6.98 cm^4

Tablica 5.1.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja: 1.kombinacija-mjerodavna

$$M_{y,Ed} = 12.38 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 15.11 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 3,79 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 4.16 \text{ kN}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat (savijanje oko osi y-y)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{200 - 2 * 9 - 2 * 12}{6} = \frac{158}{6} = 26.33 < 72 * \varepsilon = 72 * 0.92 = 66.24$$

Hrbat je 1.klase.

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2 * r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{100 - 6 - 2 * 12}{2}}{9} = \frac{35}{9} = 3.89 < 9 * \varepsilon = 9 * 0.92 = 8.28$$

Pojasnica je 1.klase.

Poprečni presjek svrstan je u klasu 1.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{w_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{221 * 27,5}{1,00} = 6077.5,00 \text{ kNcm} = 60,78 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 60,78 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.38 \text{ kNm}$$

Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{w_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{44.6 * 27,5}{1,00} = 1226.5 \text{ kNcm} = 12.27 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 12.27 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 3.79 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjekaU smjeru osi z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 * 9}{6} = 30.33 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{0.92}{1.2} = 55.2$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{V,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M_0}}$$

$$A_{V,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f \geq \eta * h_w * t_w$$

$$A_{V,z} = 28.5 - 2 * 10 * 0.9 + (0.6 + 2 * 1.2) * 0.9 \geq 1.2 * (20 - 2 * 0.9) * 0.6$$

$$A_{V,z} = 13.2 \text{ cm}^2 \geq 13.1 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13.2 * (27.5 / \sqrt{3})}{1.00} = 209.58 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 209.58 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 15.11 \text{ kN}$$

U smjeru osi y

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{V,y} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M_0}}$$

$$A_{V,y} = A - \sum h_w * t_w$$

$$A_{V,y} = 28.5 - 18.2 * 0.6 = 17.58 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17.58 * (27.5 / \sqrt{3})}{1.00} = 279.12 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 279.12 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 4.16 \text{ kN}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta \leq 1,00$$

$$\alpha = 2; \beta = 1$$

Poprečna sila u smjeru osi z

$$0,5 * V_{pl,z,Rd} = 0,5 * 209.58 = 104.79 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 15.11 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,z,Rd} = 104.79 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 60.78 \text{ kNm}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

Poprečna sila u smjeru osi y

$$0,5 * V_{pl,y,Rd} = 0,5 * 279.12 = 139.56 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 4.16 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,y,Rd} = 139.56 \text{ kN}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 12.27 \text{ kNm}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

$$\left(\frac{12.38}{60.78}\right)^2 + \left(\frac{3.79}{12.27}\right)^1 \leq 1,00$$

$$0.35 \leq 1,00$$

Profil IPE 200 zadovoljava provjere na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right]$$

$$L = 470 \text{ cm}$$

$$k = 1; k_w = 1$$

$$C_1 = 1,77; C_2 = 0$$

$$G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{cr} = 1,77 * \frac{\pi^2 * 21000 * 142}{(1 * 470)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{13000}{142} + \frac{(1 * 470)^2 * 8077 * 6.98}{\pi^2 * 21000 * 142} + 0 - 0} \right]$$

$$= 5350.1 \text{ kNcm} = 53.5 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Za presjke prve i druge klase vrijedi da je $W_y = W_{pl,y}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 * 27,5}{5350.1}} = 1,07 > 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja se ne može zanemariti.

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2 \rightarrow \text{mjerodavna je krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * \left[1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 * \left[1 + 0,21 * (1,07 - 0,2) + 1,07^2 \right]$$

$$= 1,16$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,07^2}} = 0,62 \leq 1,00$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M_0}} = 0,62 * \frac{221 * 27,5}{1,00} = 3768.05 \text{ kNcm} = 37.68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 37.68 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.38 \text{ kNm}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M_1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M_1}}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M_1}}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M_1}}} \leq 1,00$$

Konstruktivski element je osjetljiv na torzijske deformacije.

$$k_{yy} = C_{my} * \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right] \leq C_{my} * \left[1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right]$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz}$$

$$L_{cr,z} = 470 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 142}{470^2} = 133.23 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{28.5 * 27,5}{133.23}} = 2,43$$

Za $\bar{\lambda}_z = 2,43 > 0,4$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right] \leq \left[1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right]$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \left[1 + (2 * \bar{\lambda}_y - 0,6) * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right] \leq C_{mz} * \left[1 + 1,4 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right]$$

Koeficijenti C_{mi}

$$\alpha_h = \frac{M_s}{M_h} = \frac{9.14}{12.38} = 0.74$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 * \alpha_h = 0,79$$

$$C_{mz} = 0,2 + 0,8 * \alpha_h = 0,79$$

$$C_{mLT} = 0,2 + 0,8 * \alpha_h = 0,79$$

$$k_{yy} = 0,79 * [1 + 0] \leq 0,79 * [1 + 0]$$

$$\mathbf{k_{yy} = 0,79}$$

$$k_{zy} = [1 - 0] \leq [1 - 0]$$

$$\mathbf{k_{zy} = 1}$$

$$k_{zz} = 0,79 * [1 + 0] \leq 0,79 * [1 + 0]$$

$$\mathbf{k_{zz} = 0,79}$$

$$\mathbf{k_{yz} = 0,6 * 0,79 = 0,47}$$

$$0 + 0,79 * \frac{12,38}{\frac{0,62 * 60,78}{1,00}} + 0,47 * \frac{3,79}{\frac{12,27}{1,00}} = 0,4 \leq 1,00$$

$$0 + 1 * \frac{12,38}{\frac{0,62 * 60,78}{1,00}} + 0,79 * \frac{3,79}{\frac{12,27}{1,00}} = 0,57 \leq 1,00$$

Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti:

$$\mathbf{\eta = 57.25\%}$$

5.2 Krovna podrožnica (KP)

Profil	IPE 160
Tip presjeka	valjani
Visina presjeka - h	160 mm
Širina pojasnice - b	82 mm
Debljina pojasnice - t_f	7 mm
Debljina hrpta - t_w	5 mm
Radijus - r	9 mm
Površina - A	20,1 cm ²
Moment tromosti - I_y	869 cm ⁴
Moment tromosti - I_z	86,3 cm ⁴
Moment otpora - $W_{pl,y}$	124 cm ⁴
Moment otpora - $W_{pl,z}$	26,1 cm ⁴
Konstanta krivljenja - I_w	3960 cm ⁶
Torzijska konstanta - I_t	3,6 cm ⁴

Tablica 5.2.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

1.kombinacija-mjerodavna

$$M_{y,Ed} = 13.44 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 16.42 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,03\text{kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,4 \text{ kN}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat(savijanje oko osi y-y)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{160 - 2 * 7 - 2 * 9}{5} = \frac{128}{5} = 25,6 < 72 * \varepsilon = 72 * 0,92$$

$$= 66,24$$

Hrbat je 1.klase.

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{82 - 5 - 2 * 9}{2} = \frac{29,5}{7} = 4,21 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,92 = 8,28$$

Pojasnica je 1.klase.

Poprečni presjek svrstan je u klasu 1.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{124 * 27,5}{1,00} = 3410 \text{ kNcm} = 34,10 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 34,10 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 13,44 \text{ kNm}$$

Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{w_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{26,1 * 27,5}{1,00} = 717,75 \text{ kNcm} = 7,18 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 7,18 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0,03 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjekaU smjeru osi z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{160 - 2 * 7}{5} = 29,2 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{0,92}{1,2} = 55,2$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{V,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M_0}}$$

$$A_{V,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f \geq \eta * h_w * t_w$$

$$A_{V,z} = 20,1 - 2 * 8,2 * 0,7 + (0,5 + 2 * 0,9) * 0,7 \geq 1,2 * (16 - 2 * 0,7) * 0,5$$

$$A_{V,z} = 10,23 \text{ cm}^2 \geq 8,76 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{10,23 * (27,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 162,42 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 162,42 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 16,42 \text{ kN}$$

U smjeru osi y

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{V,y} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M_0}}$$

$$A_{V,y} = A - \sum h_w * t_w$$

$$A_{V,y} = 20,1 - 14,6 * 0,5 = 12,80 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{12,80 * (27,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 203,23 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 203,23 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,4 \text{ kN}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta \leq 1,00$$

$$\alpha = 2; \beta = 1$$

Poprečna sila u smjeru osi z

$$0,5 * V_{pl,z,Rd} = 0,5 * 162,42 = 81,21 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 16,42 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,z,Rd} = 81,21 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 34,10 \text{ kNm}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

Poprečna sila u smjeru osi y

$$0,5 * V_{pl,y,Rd} = 0,5 * 203,23 = 101,62 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,4 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,y,Rd} = 101,62 \text{ kN}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 7,18 \text{ kNm}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

$$\left(\frac{13,44}{34,10}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{7,18}\right)^1 \leq 1,00$$

$$0,16 \leq 1,00$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right]$$

$$L = 470 \text{ cm}$$

$$k = 1; k_w = 1$$

$$C_1 = 1,77; C_2 = 0$$

$$G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{cr} = 1,77 * \frac{\pi^2 * 21000 * 86,3}{(1 * 470)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{3960}{86,3} + \frac{(1 * 470)^2 * 8077 * 3,6}{\pi^2 * 21000 * 86,3} + 0 - 0} \right]$$

$$= 2884,22 \text{ kNcm} = 28,84 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Za presjke prve i druge klase vrijedi da je $W_y = W_{pl,y}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{124 * 27,5}{2884,22}} = 1,09 > 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja se ne može zanemariti.

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1,95 < 2 \rightarrow \text{mjerodavna je krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * \left[1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 * \left[1 + 0,21 * (1,09 - 0,2) + 1,09^2 \right]$$

$$= 1,19$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 1,09^2}} = 0,60 \leq 1,00$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{w_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M_0}} = 0,60 * \frac{124 * 27,5}{1,00} = 2046 \text{ kNcm} = 20,46 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 20.46 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 13.44 \text{ kNm}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M_1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M_1}}} \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{y,Rk}}{\gamma_{M_1}}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M_1}}} \leq 1,00$$

Konstruktivski element je osjetljiv na torzijske deformacije.

$$k_{yy} = C_{my} * \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right] \leq C_{my} * \left[1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right]$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz}$$

$$L_{cr,z} = 470 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 86,3}{470^2} = 80,97 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{20,1 * 27,5}{80,97}} = 2,61$$

Za $\bar{\lambda}_z = 2,61 > 0,4$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right] \leq \left[1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right]$$

$$k_{zz} = C_{mz} * \left[1 + (2 * \bar{\lambda}_y - 0,6) * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right] \leq C_{mz} * \left[1 + 1,4 * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M_1}} \right]$$

Koeficijenti C_{mi}

$$\alpha_h = \frac{M_s}{M_h} = \frac{9.93}{13.44} = 0,74$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 * \alpha_h = 0,79$$

$$C_{mz} = 0,2 + 0,8 * \alpha_h = 0,79$$

$$C_{mLT} = 0,2 + 0,8 * \alpha_h = 0,79$$

$$k_{yy} = 0,79 * [1 + 0] \leq 0,79 * [1 + 0]$$

$$\mathbf{k_{yy} = 0,79}$$

$$k_{zy} = [1 - 0] \leq [1 - 0]$$

$$\mathbf{k_{zy} = 1}$$

$$k_{zz} = 0,79 * [1 + 0] \leq 0,79 * [1 + 0]$$

$$\mathbf{k_{zz} = 0,79}$$

$$\mathbf{k_{yz} = 0,6 * 0,79 = 0,47}$$

$$0 + 0,79 * \frac{13,44}{\frac{0,6 * 34,10}{1,00}} + 0,47 * \frac{0,03}{\frac{7,18}{1,00}} = 0,52 \leq 1,00$$

$$0 + 1 * \frac{13,44}{\frac{0,6 * 34,10}{1,00}} + 0,79 * \frac{0,03}{\frac{7,18}{1,00}} = 0,66 \leq 1,00$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti:

$$\mathbf{\eta = 66\%}$$

5.3 Glavni stup (S)

Profil	HEA 240
Tip presjeka	Valjani
Visina presjeka - h	230 mm
Širina pojasnice - b	240 mm
Debljina pojasnice - t_f	12 mm
Debljina hrpta - t_w	8 mm
Radijus - r	21 mm
Površina - A	76.80 cm ²
Moment tromosti - I_y	7760 cm ⁴
Moment tromosti - I_z	2770 cm ⁴
Moment otpora - $W_{pl,y}$	745.83 cm ⁴
Moment otpora - $W_{pl,z}$	351.67 cm ⁴
Konstanta krivljenja - I_w	328490 cm ⁶
Torzijska konstanta - I_t	41.60 cm ⁴

Tablica 5.3.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$M_{Ed} = 157.39 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 48.82 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 110.44 \text{ Kn}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 * t_f - 2 * r = 230 - 2 * 12 - 2 * 21 = 164 \text{ mm}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 * t_w * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{110.44}{2 * 0.8 * \frac{27.5}{1.00}} = 2.51$$

$$\alpha = \frac{1}{d} * \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{16.4} * \left(\frac{16.4}{2} + 2.51 \right) = 0.65 > 0.5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1}$$

$$\frac{164}{8} = 20.5 < \frac{396 * 0.92}{13 * 0.65 - 1} = 48.9$$

Hrbat je svrstan u klasu I.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{240 - 8 - 2 * 21}{2} = 95$$

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 * \varepsilon$$

$$\frac{95}{12} = 7.92 < 9 * 0.92 = 8.28$$

Pojasnica je svrstana u klasu I.

Poprečni presjek je svrstan u klasu I.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{PL,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{76.80 * 27.5}{1.00} = 2112 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2112 \text{ kN} > N_{Ed} = 110.44 \text{ kN}$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{PL,Rd} = \frac{W_{Ply} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{745.83 * 27.5}{1.00} = 20510.33 \text{ kNcm} = 205.1 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 205.1 \text{ kNm} > M_{Ed} = 157.39 \text{ kNm}$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{230 - 2 * 12}{8} = 25.75$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 25.75 < 72 * \frac{0.92}{1.2} = 55.20$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f \geq \eta * h_w * t_w$$

$$A_{v,z} = 76.80 - 2 * 24 * 1.2 + (0,8 + 2 * 2.1) * 1.2 = 25.2 \text{ cm}^2 > 1,2 * 20.6 * 0,8 \\ = 19.78 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{25.2 * \left(\frac{27.5}{\sqrt{3}}\right)}{1.00} = 400.1 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 48.82 \text{ kN}$$

-Interakcija M-V-N

$$M_{Ed} = 157.39 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 48.82 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 110.44 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} < 0,5 * V_{Pl,z,Rd}$$

$$48.82 \text{ kN} < 0.5 * 400.1 = 200.05 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje:

$$(1) N_{Ed} \leq 0.25 * N_{Pl,Rd}$$

$$110.44 \text{ kN} < 0,25 * 2112 = 528 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} \leq \frac{0.5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$110.44 \text{ kN} < \frac{0.5 * 20.6 * 0.8 * 27.5}{1.00} = 226.6 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{N,y,Rd}}{M_{Pl,y,Rd}} = 1$$

Profil HEA 240 zadovoljava na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI**-Uzdužna tlačna otpornost**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0,96 < 1,2 \quad t_f = 12 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-za os y-y krivulja izvijanja b; $\alpha = 0,34$

-za os z-z krivulja izvijanja c; $\alpha = 0,49$

Os y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 7760}{660^2} = 3692,27 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{76,8 * 27,5}{3692,27}} = 0,76$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,76 - 0,2) + 0,76^2] = 0,88$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,88 + \sqrt{0,88^2 - 0,76^2}} = 0,76 \leq 1,0$$

Os z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 2770}{660^2} = 1318 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{76.8 * 27.5}{1318}} = 1.27$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,27 - 0,2) + 1,27^2] = 1,57$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,57 + \sqrt{1,57^2 - 1,27^2}} = 0,4 \leq 1,0$$

$$\chi = \chi_{min} = 0,4$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,4 * 76,8 * 27,5}{1,00} = 844,8 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 844,8 \text{ kN} > N_{Ed} = 110,44 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{110,44}{844,8} * 100 = 13,07\%$$

-Otpornost elementa na savijanje

$$L_{cr} = 660$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{31}{2} = 14,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1; k_w = 1; c_1 = 1,77; c_2 = 0$$

$$\frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0.96 < 2 \text{ i valjani profil} \Rightarrow \text{mjerodavna krivulja izvijanja a}$$

-za krivulju izvijanja a; $\alpha = 0,21$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1,77 * \frac{\pi^2 * 21000 * 2770}{660^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{328490}{2770} + \frac{660^2 * 8077 * 41.60}{\pi^2 * 21000 * 2770}} \right]$$

$$= 45086.26 \text{ kNcm} = 450.86 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \sqrt{\frac{W_{Pl,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \sqrt{\frac{745.83 * 27.5}{45086.26}} = 0.67 > \bar{\lambda}_{Lt,0} = 0,4$$

$$\phi_{Lt} = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,67 - 0,2) + 0,67^2] = 0,77$$

$$\chi_{Lt} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,67^2}} = 0.87$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{Lt} * \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M1}} = 0.87 * \frac{745.83 * 27.5}{1,00} = 178.44 \text{ kNm} > M_{Ed} = 157.39 \text{ kNm}$$

-Interakcija M-N

$$\psi = 0$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLt} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 > 0,4$$

$$k_{yy} = c_{my} * \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \leq c_{my} * \left[1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,6 * \left[1 + (0,76 - 0,2) * \frac{110,44}{0,76 * \frac{2112}{1,00}} \right] = 0,62 \leq 0,6 * \left[1 + 0,8 * \frac{110,44}{0,76 * \frac{2112}{1,00}} \right]$$

$$= 0,63$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLt} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLt} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * 1,27}{(0,6 - 0,25)} * \frac{110,44}{0,4 * \frac{2112}{1,00}} \right] = 0,95 \leq \left[1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} * \frac{110,44}{0,4 * \frac{2112}{1,00}} \right]$$

$$= 0,96$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{110,44}{0,76 * \frac{2112}{1,00}} + 0,62 * \frac{157,39}{0,87 * \frac{205,1}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,62 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{110,44}{0,4 * \frac{2112}{1,00}} + 0,95 * \frac{157,39}{0,87 * \frac{205,1}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,97 \leq 1,0$$

Profil HEA 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti od 97%.

5.4 Zabatni stupovi (Z)

Profil	HEA 220
Tip presjeka	valjani
Visina presjeka - h	210 mm
Širina pojasnice - b	220 mm
Debljina pojasnice - t_f	11 mm
Debljina hrpta - t_w	7 mm
Radijus - r	18 mm
Površina - A	64.3 cm ²
Moment tromosti - I_y	5410 cm ⁴
Moment tromosti - I_z	1960 cm ⁴
Moment otpora - $W_{pl,y}$	566.67 cm ⁴
Moment otpora - $W_{pl,z}$	270.42 cm ⁴
Konstanta krivljenja - I_w	193270 cm ⁶
Torzijska konstanta - I_t	28.5 cm ⁴

Tablica 5.4.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$M_{Ed} = 94.2 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 47.7 \text{ kN}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 * t_f - 2 * r = 210 - 2 * 11 - 2 * 18 = 152 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 * \varepsilon$$

$$\frac{152}{7} = 21.71 < 72 * 0.92 = 66.24$$

Hrbat je svrstan u klasu I

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{220 - 7 - 2 * 18}{2} = 88.5$$

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 * \varepsilon$$

$$\frac{88.5}{11} = 8.05 < 9 * 0.92 = 8.28$$

Pojasnica je svrstana u klasu I.

Poprečni presjek je svrstan u klasu I.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,Rd} = \frac{W_{Ply} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{566.67 * 27,5}{1,00} = 15583.43 \text{ kNcm} = 155.83 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 155.83 \text{ kNm} > M_{Ed} = 94.2 \text{ kNm}$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{210 - 2 * 11}{7} = 26.86$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 26.86 < 72 * \frac{0.92}{\eta} = 55.2$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f \geq \eta * h_w * t_w$$

$$A_{v,z} = 64.3 - 2 * 22 * 1.1 + (0.7 + 2 * 1.8) * 1.1 = 20.63 \text{ cm}^2 > 1.2 * 18.8 * 0.7 \\ = 15.79 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{20.63 * (\frac{27.5}{\sqrt{3}})}{1.00} = 327.55 \text{ kN} > V_{Ed} = 47.7 \text{ kN}$$

-Interakcija M-V -presjek L/4

$$M_{Ed} = 79.13 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 23.85 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < 0.5 * V_{Pl,z,Rd}$$

$$23.85 \text{ kN} < 0.5 * 287.38 = 143.69 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{79.13}{155.83} = 0.51 < 1$$

Profil HEA 220 zadovoljava na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA

-Otpornost elementa na savijanje

$$L_{cr} = 7.9 \text{ m} = 790 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{23}{2} = 11,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1; k_w = 1; c_1 = 1,77; c_2 = 0$$

$$\frac{h}{b} = \frac{210}{220} = 0,95 < 1,2 \quad t_f = 11 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-za savijanje krivulja izvijanja b; $\alpha = 0,21$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1,77 * \frac{\pi^2 * 21000 * 1960}{790^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{193270}{1960} + \frac{790^2 * 8077 * 28.5}{\pi^2 * 21000 * 1960}} \right]$$

$$= 24501.18 \text{ kNcm} = 245.01 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \sqrt{\frac{W_{Pl,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \sqrt{\frac{566.67 * 27,5}{24501.18}} = 0.8$$

$$\phi_{Lt} = 0,5 * [1 + 0,21 * (0.8 - 0,2) + 0.8^2] = 0.88$$

$$\chi_{Lt} = \frac{1}{0.88 + \sqrt{0.88^2 - 0.8^2}} = 0.80$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{Lt} * \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,80 * \frac{566.67 * 27,5}{1,00} = 124.67 \text{ kNm} > M_{Ed} = 94.2 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{94.2}{124.67} = 0,76$$

Profil HEA 220 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti od 76%.

5.5 Vertikale rešetke (V)

Profil	CFRHS 50X30X4
Tip presjeka	hladno oblikovani
Visina presjeka - h	50 mm
Širina pojasnice - b	30 mm
Debljina pojasnice - t	4 mm
Površina - A	5.35 cm ²
Moment tromosti - I _y	15.25 cm ⁴
Moment tromosti - I _z	6.69 cm ⁴

Tablica 5.5.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$N_{Ed} = -103.64 \text{ kN (tlak)}$$

$$N_{Ed} = 28.23 \text{ kN (vlak)}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka u tlaku

Hrbat izložen tlaku :

Važan nam je odnos visine ravnog dijela hrpta d i debljine hrpta t

$$d = h - 3 * t = 50 - 3 * 4 = 38 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} \leq 33 * \epsilon$$

$$\frac{38}{4} = 9,5 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Hrbat je svrstan u klasu I.

Pojasnica:

Važan nam je odnos širine ravnog dijela pojasnice c i debljine pojasnice

$$c = b - 3 * t = 30 - 3 * 4 = 18 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{18}{4} = 4.5 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Pojasnica je svrstana u klasu I.

Poprečni presjek je svrstan u klasu I.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG TLAČNOJ SILI

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5.35 * 27,5}{1,00} = 147.13 \text{ kN} > N_{Ed} = 103.64 \text{ kN}$$

Profil CFRHS 50X30X4 zadovoljava na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA UZDUŽNU TLAČNU SILU

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

-Za izvijanje oko bilo koje osi vrijedi krivulja c ; $\alpha = 0,49$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 6.69}{60^2} = 385.16 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{5.35 * 27,5}{385.16}} = 0.62$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,62 - 0,2) + 0,62^2] = 0,80$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,80 + \sqrt{0,80^2 - 0,62^2}} = 0,77$$

$$\chi = 0,77$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,77 * 5.35 * 27,5}{1,00} = 113.29 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 113.29 \text{ kN} > N_{Ed} = 103.64 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{103.64}{113.29} * 100 = 91.48\%$$

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAČNOJ SILI

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5.35 * 27,5}{1,00} = 147.13 \text{ kN} > N_{Ed} = 28.23 \text{ kN}$$

Profil CFRHS 50X30X4 zadovoljava provjere na razini elementa sa iskoristivosti od 91.48%.

5.6 Dijagonale rešetke (D)

Profil	CFRHS 80X80X4
Tip presjeka	hladno oblikovani
Visina presjeka - h	80 mm
Širina pojasnice - b	80 mm
Debljina pojasnice - t	4 mm
Površina - A	11.75 cm ²
Moment tromosti - I _y	111.04 cm ⁴
Moment tromosti - I _z	111.04 cm ⁴

Tablica 5.6.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 294.86 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -39.61 \text{ kN}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka u tlaku

Hrbat izložen tlaku :

Važan nam je odnos visine ravnog dijela hrpta d i debljine hrpta t

$$d = h - 3 * t = 80 - 3 * 4 = 68 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{68}{4} = 17 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Hrbat je svrstan u klasu I.

Pojasnica:

Važan nam je odnos širine ravnog dijela pojasnice c i debljine pojasnice

$$c = b - 3 * t = 80 - 3 * 4 = 68 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{68}{4} = 17 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Pojasnica je svrstana u klasu I.

Poprečni presjek je svrstan u klasu I.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG TLAČNOJ SILI

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{11.75 * 27,5}{1,00} = 323.13 \text{ kN} > N_{Ed} = 39.61 \text{ kN}$$

Profil CFRHS 80X80X4 zadovoljava na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA UZDUŽNU TLAČNU SILU

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

-Za izvijanje oko bilo koje osi vrijedi krivulja c ; $\alpha = 0,49$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 111.04}{274.1^2} = 306.32 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{11.75 * 27,5}{306.32}} = 1.03$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (1.03 - 0,2) + 1.03^2] = 1.23$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,23 + \sqrt{1,23^2 - 1.03^2}} = 0.53$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,53 * 11.75 * 27,5}{1,00} = 171.26 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 171.26 \text{ kN} > N_{Ed} = 37.6 \text{ kN}$$

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAČNOJ SILI

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{11.75 * 27,5}{1,00} = 323.13 \text{ kN} > N_{Ed} = 236,32 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{236.32}{323.13} * 100 = 73.13\%$$

Profil CFRHS 80X80X4 zadovoljava provjere na razini elementa sa iskoristivosti od 73.13%.

5.7 Gornji pojas rešetke (GP)

Profil	CFRHS 100X100X8
Tip presjeka	hladno oblikovani
Visina presjeka - h	100 mm
Širina pojasnice - b	100 mm
Debljina pojasnice - t	8 mm
Površina - A	27.24 cm ²
Moment tromosti - I _y	365.94 cm ⁴
Moment tromosti - I _z	365.94 cm ⁴

Tablica 5.7.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$N_{Ed} = -418 \text{ kN (tlak)}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka u tlaku

Hrpat izložen tlaku :

Važan nam je odnos visine ravnog dijela hrpta d i debljine hrpta t

$$d = h - 3 * t = 100 - 3 * 8 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{76}{8} = 9.5 \leq 33 * 0.92 = 30.36$$

Hrpat je svrstan u klasu I.

Pojasnica:

Važan nam je odnos širine ravnog dijela pojasnice c i debljine pojasnice

$$c = b - 3 * t = 100 - 3 * 8 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{76}{8} = 9.5 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Pojasnica je svrstana u klasu I.

Poprečni presjek je svrstan u klasu I.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG TLAČNOJ SILI

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{27.24 * 27,5}{1,00} = 749.38 \text{ kN} > N_{Ed} = 418 \text{ kN}$$

Profil CFRHS 100X100X8 zadovoljava na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA UZDUŽNU TLAČNU SILU

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

-Za izvijanje oko bilo koje osi vrijedi krivulja c; $\alpha = 0,49$

Os y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 365.94}{251^2} = 1203.88 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{27.24 * 27,5}{1203.88}} = 0.79$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0.79 - 0,2) + 0.79^2] = 0.96$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.96 + \sqrt{0.96^2 - 0.79^2}} = 0,664$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,664 * 27.24 * 27,5}{1,00} = 497.4 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 497.4 \text{ kN} > N_{Ed} = 418 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{418}{497.4} * 100 = 84\%$$

Profil CFRHS 100X100X8 zadovoljava provjere na razini elementa sa iskoristivosti od 84%.

5.8 Donji pojas rešetke (DP)

Profil	CFRHS 100X100X8
Tip presjeka	hladno oblikovani
Visina presjeka - h	100 mm
Širina pojasnice - b	100 mm
Debljina pojasnice - t	8 mm
Površina - A	27.24 cm ²
Moment tromosti - I _y	365.94 cm ⁴
Moment tromosti - I _z	365.94 cm ⁴

Tablica 5.8.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 416.01 \text{ kN}$$

-Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

Važan nam je odnos visine ravnog dijela hrpta d i debljine hrpta t

$$d = h - 3 * t = 100 - 3 * 8 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{76}{8} = 9.5 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Hrbat je svrstan u klasu I.

Pojasnica:

Važan nam je odnos širine ravnog dijela pojasnice c i debljine pojasnice

$$c = b - 3 * t = 100 - 3 * 8 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{76}{8} = 9.5 < 33 * 0.92 = 30.36$$

Pojasnica je svrstana u klasu I.

Poprečni presjek je svrstan u klasu I.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAČNOJ SILI

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{27.24 * 27,5}{1,00} = 749.1 \text{ kN} > N_{Ed} = 410.92 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{416.01}{749.1} * 100 = 55.53\%$$

Profil CFRHS 100X100X8 zadovoljava provjere na razini elementa sa iskoristivosti od 55.53%.

5.9 Dijagonale I vertikalne krovnog sprega (DKS i VKS)

Profil dijagonale	RD 27
Promjer – d	27 mm
Površina – A	5,72 cm ²

Tablica 5.9.1.1. Tablica detalja profila

Profil vertikalne	CHS 114.3/3.6
Promjer – d	114 mm
Debljina pojasnice - t	4 mm
Površina – A	12,50 cm ²
Moment tromosti - I _y	192 cm ⁴
Moment tromosti - I _z	192 cm ⁴

Tablica 5.9.1.2. Tablica detalja profila

Djelovanja:

Maksimalna vlačna sila u dijagonalama:

$$N_{ed} = 150,53 \text{ [kN]}$$

Maksimalna tlačna sila u vertikalama:

$$N_{ed} = 136,32 \text{ [kN]}$$

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Vlačna sila:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5,72 * 27,5}{1,00} = 157.53 \text{ kN} > N_{Ed} = 150.53 \text{ kN}$$

Profil RD27 zadovoljava sa iskoristivosti od 95.56%.

Tlačna sila:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{12,50 \cdot 27,5}{1,0} = 343,75 \text{ [kN]} > N_{Ed} = 136,32 \text{ [kN]}$$

OTPORNOST ELEMENTA NA IZVIJANJE

Dužina izvijanja elementa oko osi y i oko osi z: $L_{cr,y} = 470 \text{ [cm]}$

$$L_{cr,z} = 470 \text{ [cm]}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 192}{470^2} = 180,15 \text{ [kN]}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{12,50 \cdot 27,5}{180,15}} = 1,38$$

linija izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (1,38 - 0,2) + 1,38^2) = 1,58$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^{-2}}} \leq 1,0$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,58 + \sqrt{1,58^2 - 1,38^2}} = 0,43$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot N_{c,Rd} = 0,43 \cdot 343,75 = 147,81 \text{ [kN]} > N_{Ed} = 136,36 \text{ [kN]}$$

Odabrani profil zadovoljava provjeru, s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{136,36}{147,81} \cdot 100 = 92,25 \text{ [%]}$$

Profil CHS 114.3/3.6 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 92,25%.

5.10 Dijagonale bočnog sprega (BP)

Profil	RD 42
Promjer – d	42 mm
Površina – A	13.85 cm ²

Tablica 5.10.1.1. Tablica detalja profila

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 348.69 \text{ kN}$$

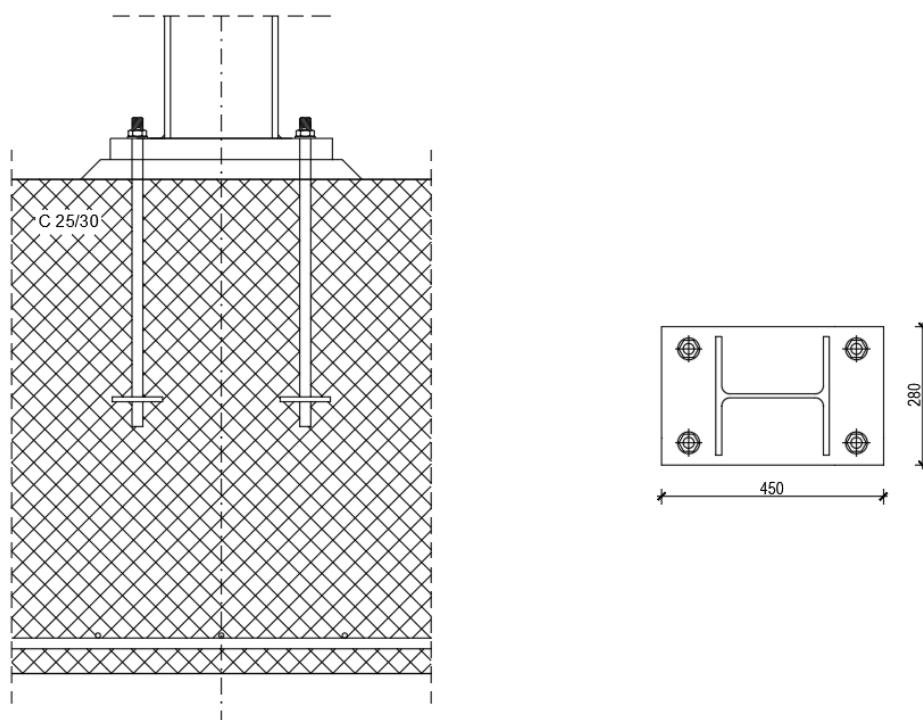
OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAČNOJ SILI

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{13.85 * 27,5}{1,00} = 380.88 \text{ kN} > N_{Ed} = 348.69 \text{ kN}$$

Profil RD42 zadovoljava sa iskoristivosti od 91.54%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA



6.1 Spoj stupa s temeljem

STUP-profil: HEA 240

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h=230$ mm

Širina pojasnice: $b=240$ mm

Debljina pojasnice: $t_f=12$ mm

Debljina hrpta: $t_w=8$ mm

Površina: $A=76.80$ cm²

Djelovanja:

$$M_{Ed} = 157.39 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 48.82 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 110.44 \text{ kN (tlak)}$$

osnovni materijal: S275

vijci k. v. 10.9 ($f_{yb} = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$; $f_{ub} = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$)

Vlačna sila u pojasu od momenata savijanja

$$N_P^M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{157.39}{0,23 - 0,012} = 712.97 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_P^N = \frac{A_p * N_{Ed}}{A} = -\frac{20 * 1 * 110.44}{76.80} = 28.76 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_P = N_P^M + N_P^N = 712.97 + 28.76 = 741.73 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu:

Dužina vara pojasnice:

$$l = 2 * 240 = 480 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l = 2 * 206 = 412 \text{ mm}$$

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 8 = 5.6 \text{ mm}$$

odabrano: $a = 5 \text{ mm}$

Kontrola varova

Za var $a=5$ mm

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} * \frac{L_w}{100} = \frac{146}{1,25} * \frac{480}{100} = 560.64 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 741.73 \text{ kN}$$

-Potrebno dodati ukrute jer var nije zadovoljio

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} * \frac{L_w}{100} = \frac{146}{1,25} * \frac{412}{100} = 481.22 \text{ kN} > V_{Ed} = 48.82 \text{ kN}$$

Proračun vijaka uz pretpostavku vijaka M22:

$$c = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 22 + 5 * \sqrt{2} = 51.1 \text{ mm} \rightarrow \text{usvajamo } 52 \text{ mm}$$

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{157.39}{110.44} = 1.42 \text{ m}$$

Ekscentricitet x_1 :

$$x_1 = 52 + 230 - 6 = 276 \text{ mm} = 0,276 \text{ m}$$

Ekscentricitet x_2 :

$$x_2 = 1000 - \frac{230}{2} + 6 = 891 \text{ mm} = 0.891 \text{ m}$$

$$F_{t,Ed} = N_{Ed} * \frac{x_2}{x_1} = 110.44 * \frac{0.891}{0,276} = 356.53 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1,25} = 218,16 \text{ kN} > \frac{F_{t,Ed}}{2} = 178,27 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{151,5}{1,25} = 121,2 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 12,21 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{12,21}{121,2} + \frac{178,27}{1,4 * 218,16} = 0,68 < 1$$

Proračun dimenzija ploče

$$a_{pl,min} = h + 2 * (c + e_1) = 230 + 2 * (52 + 55) = 444 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 * a\sqrt{2} + 20\text{mm} = 240 + 2 * 5\sqrt{2} + 20 = 274 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = p_2 + 2 * e_2 = 75 + 2 * 45 = 165 \text{ mm}$$

Odabrana dimenzija ploča: 450x280 mm

Proračun debljine ploče t_{pl} :

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{44,82}{4} = 12,21 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} * \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 12,21 \text{ kN} \rightarrow t_{pl} = 1,0 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{450 - 230 + 12}{2} = 116 \text{ mm} = 11,6 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 356,53 + 110,44 = 466,97 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{\frac{3 * s * b_{pl}}{2}} = \frac{466.97}{\frac{3 * 11.6 * 28}{2}} = 0.96 \frac{kN}{cm^2} \leq \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.67 \frac{kN}{cm^2}$$

Savijanje ploče

$$\begin{aligned} M_{Sd} &= F_1 * \frac{s}{2} + F_2 * \frac{2}{3} * s = \frac{2}{3} * f_{B,Sd} * s * b_{pl} * \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} * f_{B,Sd} * s * b_{pl}}{2} * \frac{2}{3} * s \\ &= \frac{2}{3} * 9600 * 0.116 * 0.28 * \frac{0.116}{2} + \frac{\frac{1}{3} * 9600 * 0.116 * 0.28}{2} * \frac{2}{3} * 0.116 \\ &= 16.08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

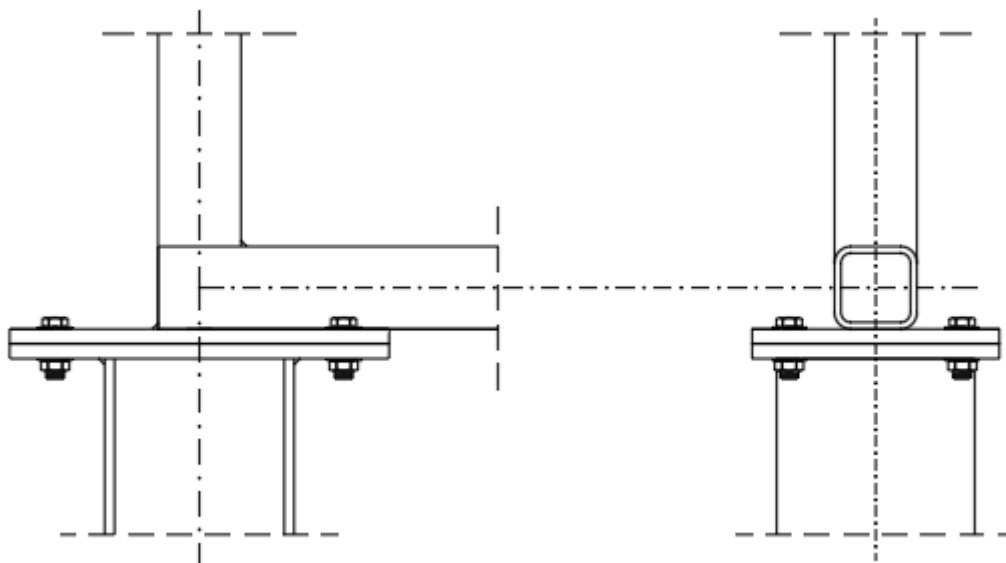
$$M_{Sd} = F_{t,Sd} * \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 356.53 * 0.058 = 20.68 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{Sd} \leq \frac{W_{min} * f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} &= \frac{1.1 * M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} * t_{pl,min}^2}{6} \rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 * M_{Sd} * 6}{b_{pl} * f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{1.1 * 2068 * 6}{28 * 27.5}} = 4.21 \text{ cm} \end{aligned}$$

Zadovoljava debljina ploče 43 mm

Odabrane dimenzije ploče su: 450x280x43 mm.

6.2 Spoj stupa i rešetke



Djelovanje:

$$V_{Ed} = 9,54 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 59,04 \text{ kN (vlak)}$$

Materijal:

-osnovni materijal: S275

-vijci: k.v. 10.9 ($f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$)

Profil: HEA 240

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

Poprečni presjek: CFRHS 100X100X8

Zavar u uvali:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{59,04^2 + 9,54^2} = 59,81 \text{ kN}$$

Kontrola varova

Duljina vara kod stupa:

$$l = 2 * 240 + 2 * (230 - 2 * 12) = 892 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara:

$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Odabrano: a= 5 mm

Otpornost vara

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{146}{1,25} \cdot \frac{892}{100} = 1041,86 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 59,81 \text{ kN}$$

Duljina vara kod rešetke:

$$l = 2 * 100 = 200 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara:

$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Odabrano: a= 5 mm

Otpornost vara

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{146}{1,25} \cdot \frac{200}{100} = 233,60 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 59,81 \text{ kN}$$

Proračun vijaka:

Pretpostavka: vijci M22, udaljenost c_{min} iznosi:

Profil HEA 240

$$c_{min} = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 22 + 5 * \sqrt{2} = 51,07 \text{ mm}$$

Profil 100X100X8

$$c_{min} = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 22 + 5 * \sqrt{2} = 51,07 \text{ mm}$$

Odabrano: c=52 mm

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0,0}{24,24} = 0,0 \text{ m}$$

$$F_{t,Ed} = N_{Ed} * 1,0 = 59,04 * 1,0 = 59,04 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1,25} = 218,16 \text{ kN} > \frac{F_{t,Ed}}{2} = 29,52 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{151,5}{1,25} = 121,20 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{9,54}{4} = 2,39 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 121,20 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{2,39}{121,2} + \frac{59,04}{1,4 * 218,16} = 0,21 < 1$$

Proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,min} = h + 2 * a\sqrt{2} + 20 = 230 + 2 * 5\sqrt{2} + 20 = 264 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 * (c + e_1) = 240 + 2 * (52 + 55) = 454 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2 * e_2 + p_2 = 2 * 45 + 75 = 165 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije duljine i širine ploče su 460 x 300 mm

Proračun debljine ploče t_{pl} :

Pritisak po omotaču rupe od osnovnog materijala:

$$F_{b,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 2,39 \text{ kN} < F_{b,Ed} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t_{pl} > \frac{2,39 \cdot 1,25 \cdot 10}{180,7} = 0,17 \text{ mm}$$

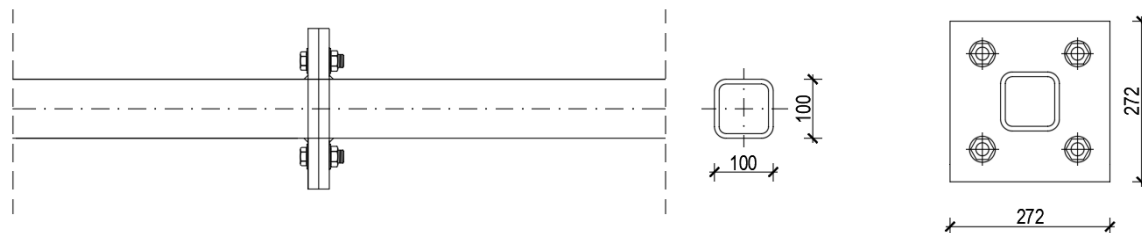
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} * c = 59,04 * 0,052 = 3,07 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 307 * 6}{30 * 27,5}} = 1,57 \text{ cm} \rightarrow 15,7 \text{ mm}$$

Usvojene dimenzije ploče su: 460 x 300 x 18 mm

6.3 Vlačni spoj donjeg pojasa rešetke



-prvi spoj na 4 m od početka, drugi spoj na 4 m od kraja (16 m od početka)

DONJI POJAS REŠETKE-profil: CFRHS 100x100x8

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: $h=100$ mm

Širina pojasnice: $b=100$ mm

Debljina : $t=8$ mm

Površina: $A=27.24$ cm²

Djelovanje:

$$N_{Ed} = 276.12 \text{ kN (vlak)}$$

osnovni materijal: S275

vijci k. v. 10.9 ($f_{yb} = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$; $f_{ub} = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$)

Kontrola varova:

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 8 = 5.6 \text{ mm}$$

odabrano: $a = 5$ mm

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 4 * 100 = 400 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} * \frac{L_w}{100} = \frac{146}{1,25} * \frac{400}{100} = 467.2 \text{ kN} > N_{Ed} = 276.12 \text{ kN}$$

-vijci M22 k. v. 10.9 n = 4 vijka

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{Mt}} = \frac{272,7}{1,25} = 218,16 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{276.12}{4} = 69.03 \text{ kN} < F_{t,Rd} = 218,16 \text{ kN}$$

Proračun dimenzija ploče:

$$c = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 22 + 5 * \sqrt{2} = 52 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2 * e_2 + p_2 = 2 * 45 + 75 = 165 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 * a\sqrt{2} = 100 + 2 * 5\sqrt{2} + 20 = 134.14 \text{ mm}$$

Odabrana dimenzija ploča: 272x272 mm

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl} :

$$e = 31 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 272 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 2 * F_{t,Ed} * e = 2 * 69.03 * 0,031 = 4.28 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} * f_y}{1,1}$$

$$W_{min} = \frac{1,1 * M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} * t_{pl,min}^2}{6}$$

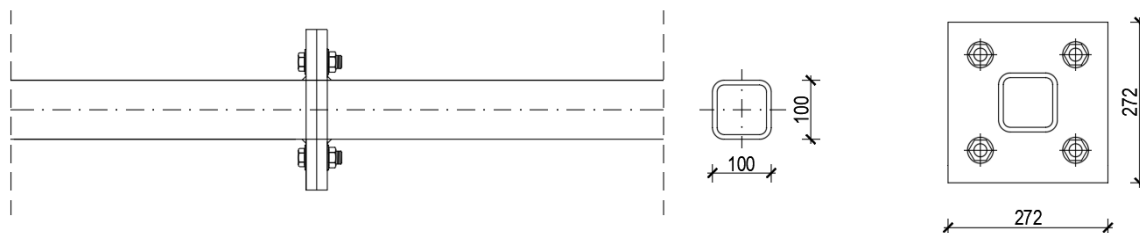
$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 428 * 6}{27,2 * 27,5}} = 1,94\text{cm}$$

Zadovoljava debljina ploče 20 mm.

Odabrane dimenzije ploče su: 272x272x20 mm

-Drugi spoj smo usvojili isti kao prvi jer je vlačna sila $N_{Ed} = 253.2$ kN manja od sile u prvom spoju pa smo na strani sigurnosti sa odabranim spojem.

6.4 Vlačni spoj gornjeg pojasa rešetke



-prvi spoj na 4,062 m od početka, drugi spoj na 4,062 m od kraja

Djelovanje:

$$N_{Ed} = 174,95 \text{ kN (vlak)}$$

Materijal:

-osnovni materijal: S275

-vijci: k.v. 10.9 ($f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$)

Poprečni presjek: CFRHS 100X100X8

Kontrola varova:

Maksimalna debljina vara:

$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Odabrano: a= 5 mm

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 100 \cdot 4 = 400 \text{ mm}$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 22 k.v. 10.9

n= 4 vijka

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{Mt}} = \frac{272,7}{1,25} = 218,16 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{174,95}{4} = 43,74 \text{ kN} < F_{t,Rd} = 218,16 \text{ kN}$$

Proračun dimenzija ploče:

$$c = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 22 + 5 * \sqrt{2} = 52 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2 * e_2 + p_2 = 2 * 45 + 75 = 165 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 * a\sqrt{2} = 100 + 2 * 5\sqrt{2} + 20 = 134.14 \text{ mm}$$

Odabrana dimenzija ploča: 272x272 mm

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl} :

$$e = 31 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 272 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 2 * F_{t,Ed} * e = 2 * 43,74 * 0,031 = 2,71 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} * f_y}{1,1}$$

$$W_{min} = \frac{1,1 * M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} * t_{pl,min}^2}{6}$$

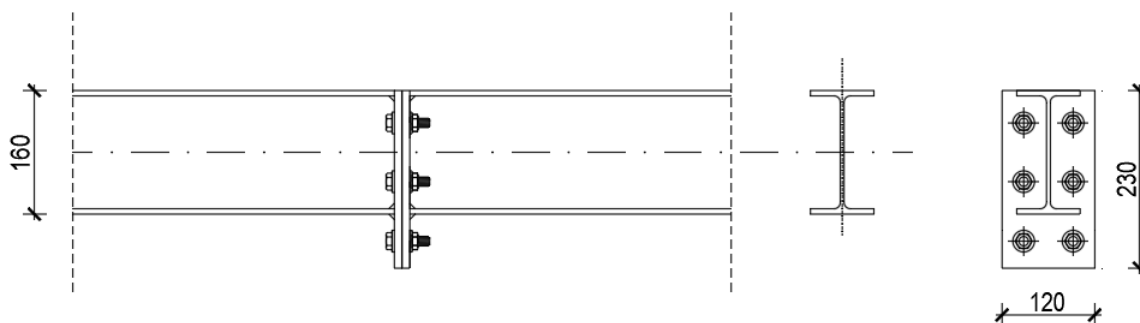
$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 271 * 6}{27,2 * 27,5}} = 1,55 \text{ cm}$$

Zadovoljava debljina ploče 18 mm.

Odabrane dimenzije ploče su: 272x272x18 mm

-Prvi spoj smo usvojili isti kao drugi jer je vlačna sila $N_{Ed} = 109,12 \text{ kN}$ manja od sile u prvom spoju pa smo na strani sigurnosti sa odabranim spojem.

6.5 Nastavak krovnih podrožnica



Nastavci krovnih podrožnica postavljaju se na udaljenosti 6 m od rubova hale, a na ostatak hale postavljeni su na svakih 7 m. U tim spojevima se javljaju minimalni momenti.

Djelovanja:

$$M_{Ed} = 2,16 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 4,83 \text{ kN}$$

Materijal:

-osnovni materijal: S275

-vijci: k.v. 10.9 ($f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$)

Profil: IPE 160

$h = 160 \text{ mm}$

$b = 82 \text{ mm}$

$t_w = 5 \text{ mm}$

$t_f = 7 \text{ mm}$

Raspodjela sila po presjeku nosača

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{2,16}{(0,160 - 0,007)} = 14,12 \text{ kN}$$

Sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} * N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^M + N_p^N = 14,12 + 0,0 = 14,12 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

Kontrola vara na pojasnicima i hrptu

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 * 82 = 164 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 * (160 - 2 * 7) = 292 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 5 = 3,5 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a=3$ mm

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{87,6}{1,25} \cdot \frac{164}{100} = 114,93 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 14,12 \text{ kN}$$

Porpečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{87,6}{1,25} \cdot \frac{292}{100} = 204,63 \text{ kN} > V_{Ed} = 4,83 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 12 k.v. 10.9

$$c_{min} = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 12 + 3 * \sqrt{2} = 28,24 \text{ mm}$$

Usvojeno $c=30$ mm

Otpornost vijaka na vlak:

Vlačna sila se raspoređuje na dva vijaka.

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1,25} = 60,72 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_p}{2} = \frac{14,12}{2} = 7,06 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1,25} = 33,76 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = \frac{4,83}{6} = 0,81 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{7,06}{1,4 * 60,72} + \frac{0,81}{33,76} = 0,11 < 1,0$$

Proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,min} = h + (c + e_1) = 160 + (30 + 30) = 220 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = p_2 + 2 * e_2 = 40 + 2 * 25 = 90 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 230 x 120 mm

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe od osnovnog materijala:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = 0,81 \text{ kN} < F_{b,Ed} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t_{pl} > \frac{0,81 \cdot 1,25 \cdot 10}{99,2} = 0,10 \text{ mm}$$

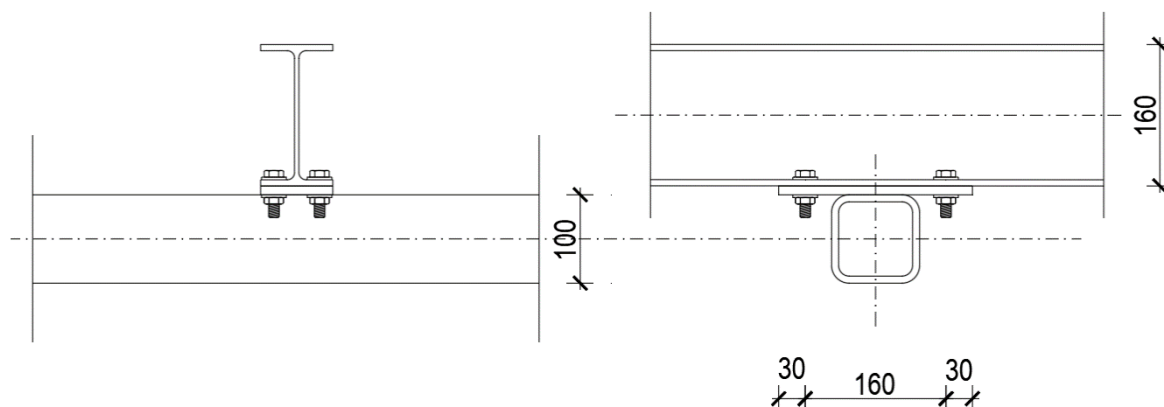
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} * c = 7,06 * 0,030 = 0,2118 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 21,18 * 6}{12 * 27,5}} = 0,65 \text{ cm} \approx 0,7 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su: 230 x 120 x 10 mm

6.6 Spoj krovne podrožnice na gornji pojas



Spoj podrožnice na gornji pojas izvest će se zavarivanjem pravokutne ploče na gornji pojas nosača dimenzija 82x220x10 mm

Djelovanja:

$$V_{z,Ed} = 16,42 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1,56 \text{ kN}$$

Materijal:

-osnovni materijal: S275

-vijci: k.v. 10.9 ($f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$)

Profil: IPE 160

h= 160 mm

b= 82 mm

t_w= 5 mm

t_f= 7 mm

Poprečni presjek: CFRHS 100X100X8

h= 100 mm

b= 100 mm

t= 8 mm

Pretpostavka: vijci M 12 k.v. 10.9

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Odabrano $a=5$ mm.

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{146}{1,25} \cdot \frac{200}{100} = 233,6 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 16,42 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1,25} = 33,76 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{1,56}{4} = 0,39 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{99,2}{1,25} \cdot \frac{10}{10} = 79,36 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 0,39 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1,25} = 60,72 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = 0,39 \text{ kN}$$

Usvojene dimenzije ploče su: 220 x 82 x 10 mm.

7. DIMENZIONIRANJE TEMELJA

Odabrane dimenzije temelja:

$$L = 3,0 \text{ m}$$

$$B = 2,0 \text{ m}$$

$$H = 1,0 \text{ m}$$

Materijal:

Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim} = 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Beton C25/30 $f_{ck} = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Čelik B500B $f_{yk} = 50,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Djelovanja:

$$M_{Ed} = 157.39 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 48.82 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 110.44 \text{ kN (tlak)}$$

Površina temeljne stope:

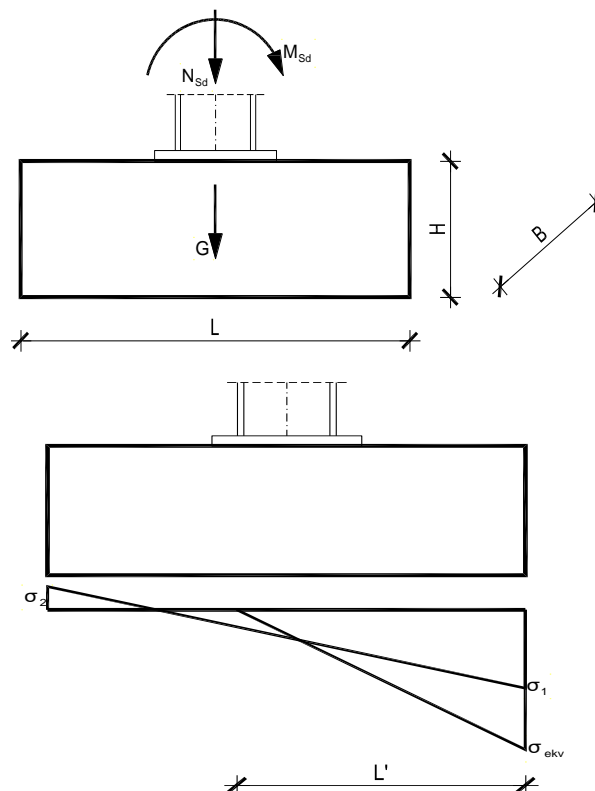
$$A = L \cdot B = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope:

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 3,0 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 150 \text{ kN}$$

Moment otpora temeljne stope:

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2,0 \cdot 3,0^2}{6} = 3,0 \text{ m}^3$$



Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{110,44 + 150}{6} \pm \frac{157,39}{3}$$

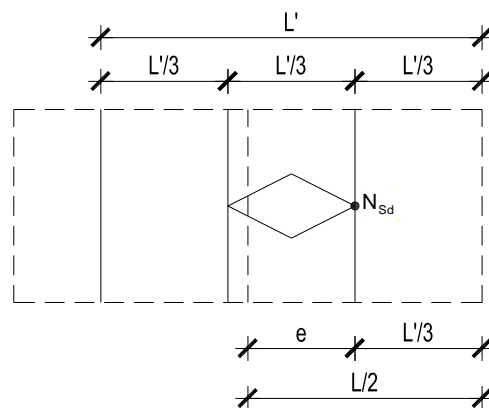
$$\sigma_1 = 95,87 \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_2 = -9,05 \frac{kN}{m^2}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{157,39}{110,44 + 150} = 0,60 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 * \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 * \left(\frac{3}{2} - 0,60 \right) = 2,70 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 * (N_{Ed} + G)}{L' * B} = \frac{2 * (110,44 + 150)}{2,70 * 2,0} = 96,46 \frac{kN}{m^2} < \sigma_{tla,lim} = 300 \frac{kN}{m^2}$$



Proračun armature temelja:

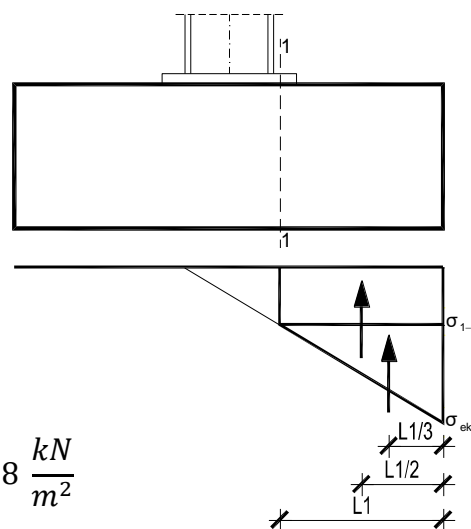
$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{3 - 0,230}{2} = 1,385 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'}$$

$$\sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} * \sigma_{ekv} = \frac{2,70 - 1,385}{2,70} * 96,46 = 46,98 \frac{kN}{m^2}$$

$$M_{Ed}^{1-1} = \gamma * \left(\sigma_{1-1} * \frac{L_1^2}{2} * B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} * L_1 * B * \frac{2}{3} * L_1 \right)$$

$$M_{Ed}^{1-1} = 1,4 * \left(46,98 * \frac{1,385^2}{2} * 2 + \frac{96,46 - 46,98}{2} * 1,385 * 2 * \frac{2}{3} * 1,385 \right) = 214,75 \text{ kNm}$$



Standardni postupak određivanja potrebne armature u pravokutnim presjecima:

Geometrija

$$b = 2 \text{ m} = 200 \text{ [cm]}$$

$$h = 1 \text{ m} = 100 \text{ [cm]}$$

$$d_1 = 5 \text{ [cm]}$$

$$d = h - d_1 = 100 - 5 = 95 \text{ [cm]}$$

$$\mu_{ed} = \frac{M_{ed,1-1}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{21475}{200 \cdot 95^2 \cdot 1,67} = 0,00712$$

→ očitano: $\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}$; $\varepsilon_{c2} = 0,5\text{‰}$; $\xi = 0,048$; $\zeta = 0,984$

$$z = \zeta \cdot d = 0,984 \cdot 95 = 93,48$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{21475}{93,48 \cdot \frac{50}{1,15}} = 5,28 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Potrebna minimalna armatura iznosi:

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 200 \cdot 95 = 21,74 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Odabrana je minimalna armatura:

Usvojeno → glavna armatura: $\emptyset 14/10$ 19 kom = 29,26 [cm²]

razdjelna armatura: $\emptyset 8/25$

LITERATURA

- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

- [2] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau.

- [3] Prof.dr.sc. Ivica Boko: Predavanja

- [4] Materijali sa vježbi: Osnove metalnih konstrukcija, katedra za metalne i drvene konstrukcije

- [5] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

8. NACRTI