

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Brčina, Leo

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:123:863203>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



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

Leo Brčina

SPLIT, 2024.

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

Leo Brčina

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: LEO BRČINA

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083228219

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

Opis zadatka: Prema zadanim podacima potrebno je dimenzionirati čeličnu halu koja se sastoji od glavne nosive konstrukcije, sekundarnih nosača te spregova konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 355

Lokacija objekta: Rijeka

Razmak okvira: 5,8 (m)

Splitu, 27.3.2023.

Voditelj Završnog rada: Dr. sc. Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

U ovom završnom radu je prikazan proračun čelične konstrukcije proizvodne hale smještene na području grada Rijeke. Dimenzionirana je glavna konstrukcija koja se sastoji od rešetke i stupova te sekundarna konstrukcija koja se sastoji od zabatnih stupova, podrožnice i spregova. Na poslijetku su dimenzionirani potrebni spojevi te su priloženi nacrti za sve navedeno. Dimenzioniranje je provedeno na temelju graničnih stanja nosivosti (GSN) i graničnih stanja uporabljivosti (GSU) u računalnom programu "SCIA Engineer 24.1".

Ključne riječi:

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

Calculation of a steel manufacturing hall

Abstract:

This thesis presents the structural analysis of a steel production hall located in the city of Rijeka. The primary structure, consisting of trusses and columns, as well as the secondary structure, which includes gable columns, purlins, and bracing, were dimensioned. Finally, the necessary joints were designed, and drawings for all components were provided. The dimensioning was carried out based on the ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS) using the "SCIA Engineer 24.1" software.

Keywords:

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

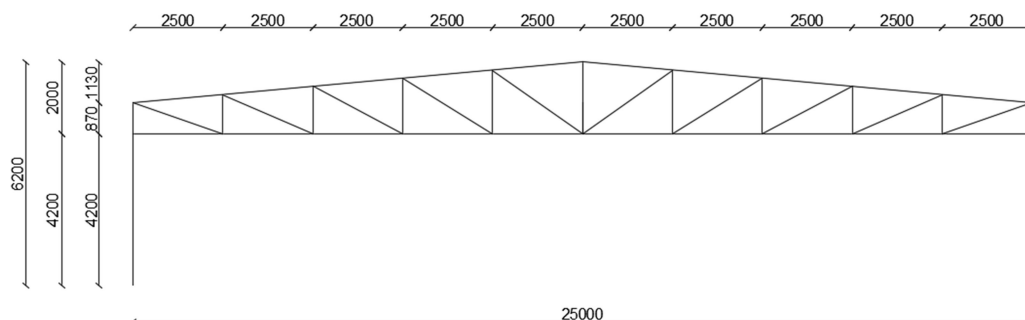
Contents

1. TEHNIČKI OPIS.....	2
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE	2
1.1.1. KONSTRUKTIVNI ELEMETNI	3
1.1.2. SPOJEVI	3
1.2. STATIČKA ANALIZA SUSTAVA.....	4
1.3. MATERIJALI.....	4
1.4. PRIMJENJENI PROPISI	4
2. ANALIZA OPTEREĆENJA	5
2.1. STALNO OPTEREĆENJE.....	5
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	6
2.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA	6
2.2.2. OPTEREĆENJE VJETROM.....	7
2.3. REZULTANTNO DJELOVANJE VJETRA.....	12
3. KONTROLA PROGIBA	16
3.1. VERTIKALNI PROGIB.....	16
3.2. HORIZONTALNI PROGIB.....	17
4. DIJAGRAMI REZIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN).....	18
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	18
4.1.1. KOMBINACIJA $1,35*(G_0+G_1)+1,5 W_{Pritiskajući} + 0,9 S$	18
4.1.2. KOMBINACIJA $1,35*(G_0+G_1)+1,5 S + 0,9 W_{Pritiskajući}$	19
4.1.3. KOMBINACIJA $1,0*(G_0+G_1)+1,5 W_{Odižući}$	20
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....	21
4.2.1. ZABATNI STUPOVI.....	21
4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI	24
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI	25
4.2.4. KROVNA PODROŽNICA	26
4.2.5. BOČNA PODROŽNICA.....	29
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE PREMA GRANIČNOM STANJU NOSIVOSTI	31
5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	31
5.1.1. GORNJI POJAS REŠETKE	31
5.1.2. DONJI POJAS REŠETKE	34
5.1.3. DIJAGONALE REŠETKE.....	37
5.1.4. VERTIKALE REŠETKE	39
5.1.5. STUPOVI OKVIRA	42
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....	45
5.2.1. ZABATNI STUPOVI.....	45
5.2.2. KROVNI SPREGOVI	49
5.2.3. BOČNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI (ZATEGE)	51
5.2.4. KROVNE PODROŽNICE	52
5.2.5. BOČNE PODROŽNICE	55
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....	57
6.1. UPETI SPOJ TEMELJ – STUP	57
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE	65
6.3. NASTAVAK GORNJEG POJASA.....	67
6.4. SPOJ STUP REŠETKA	68
6.5. SPOJ KROVNE PODROŽNICE NA GORNJI POJAS	70

1. TEHNIČKI OPIS

1.1.OPIS KONSTRUKCIJE

Zadani građevinski objekt tlocrtnih dimenzija 25 x 58 [m], nalazi se u gradu Rijeci te će biti izveden od čelika kvalitete S355. Glavni nosivi sustav objekta projektiran je kao niz od 11 ravninskih okvira raspona 25 [m] na međusobnom razmaku od 5,8[m]. Krovni sustav se sastoji od trapeznog dvostrešnog rešetkastog nosača, koji je zglobno povezan sa stupovima. Visina stupova konstrukcije iznosi 4,2 [m] dok visina rešetkastog nosača u tjemenu konstrukcije iznosi 2 [m]. Pad krovne plohe iznosi 9 %, što je jednako kutu od 5,14°.



Prikaz glavnog nosača

Na gornjem pojasu rešetke te na stupovima okvira oslanjaju se sekundarni nosači (podrožnice). Na gornjem pojasu rešetke se oslanjaju na razmaku od 2,51 [m], a na stupovima na razmaku od 1,4 [m].

Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavnu nosivu konstrukciju ostvaruje se bočnim i krovnim spregovima u krajnjim poljima.

Stupovi i grede su međusobno spojeni upetim vezama, a spoj stup-temelj ostvaren je zglobnom vezom.

1.1.1. KONSTRUKTIVNI ELEMETNI

GLAVNA REŠETKA

Glavna rešetka prima utjecaj od vlastite težine te opterećenja od snijega i vjetra. Profili gornjeg pojasa su šupljeg kvadratnog poprečnog presjeka SHS 120×120×7,1 [mm], a donjeg pojasa SHS 70×70×8 [mm]. Profili vertikala i dijagonala su šupljeg kvadratnog presjeka SHS 40×40×4 [mm]- vertikale, SHS 55×55×4 [mm]- dijagonale.

STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA200 ukupne dužine 4,2 [m].

KROVNE PODROŽNICE

Proračunom su odabrane krovne podrožnice valjanih I profila IPE200.

ZABATNI STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA140.

BOČNE PODROŽNICE

Proračunom su odabrani bočne podrožnice valjanih I profila IPE 180.

SPREGOVI

Dijagonale bočnog i krovnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 12 [mm], a vertikale krovnog sprega šupljeg kvadratnog presjeka SHS 50×50×6.3 [mm] .

1.1.2. SPOJEVI

STUP-TEMELJ

Spoj stup-temelj ostvaruje se navarivanjem podložne ploče na kraj stupa i pričvršćivanjem vijcima sidrenim u armirano-betonski temelj. Proračunom je odabrana ploča dimenzija 450/240/30 [mm] i vijci M20 k.v.8.8.

NASTAVAK DONJEG POJASA (VLAČNI NASTAVAK REŠETKE)

Nastavak donjeg pojasa ostvaruje se s dvije pločice dimenzija 220/220/20 [mm] i vijcima M20 k.v. 8.8.

NASTAVAK GORNJEG POJASA

Nastavak gornjeg pojasa ostvaruje se s dvije pločice dimenzija 280/280/20 [mm] i vijcima M20 k.v. 8.8.

STUP-REŠETKA

Spoj stup-rešetka ostvaruje se s dvije pločice dimeznija 400/350/10 [mm] i vijcima M20 k.v. 8.8.

KROVNA PODROŽNICA NA GORNJI POJAS

Spoj krovne podrožnica -gornji pojas ostvaruje se navarivanjem pločice dimenzije 260/100/10 [mm] i vijcima M20 k.v. 8.8.

1.2.STATIČKA ANALIZA SUSTAVA

Na konstrukciju djeluju opterećenja od vlastite težine, vjetra i snijega. Proizvodna hala locirana je u Rijeci, do 100 m nadmorske visine te su prema tome iz tablica uzeti odgovarajući koeficijenti za snijeg i vjetar.

U statičkom proračunu upotrijebljena je kombinacija: vlastita težina konstrukcije + djelovanje snijega + djelovanje vjetra, koja ujedno ima najveći utjecaj na konstrukciju. Također je izvršena analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji okokmito djeluje na glavni nosač te ga izbočava.

Proračun reznih sila proveden je pomoću računalnog programa Scia Engineer 24, na način da vertikale i dijagonale prenose samo uzdužnu silu.(FEM type-Axial force only).

Cilj ovog proračuna je prostorna stabilizacija čelične konstrukcije proizvodne hale.

1.3.MATERIJALI

Svi elementi čelične hale su izrađeni od građevinskog čelika S355.

$$\begin{aligned}
 f_y &= 355 \text{ N/mm}^2 \\
 E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\
 G &= 81000 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= 7850 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

1.4.PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

HRN EN 1991-1-1:2012	Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada
HRN EN 1991-1-3:2012	Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom
HRN EN 1991-1-4:2012	Opća djelovanja -- Djelovanja vjetra

Dimenzioniranje

HRN EN 1993-1-1:2014	Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak
----------------------	---

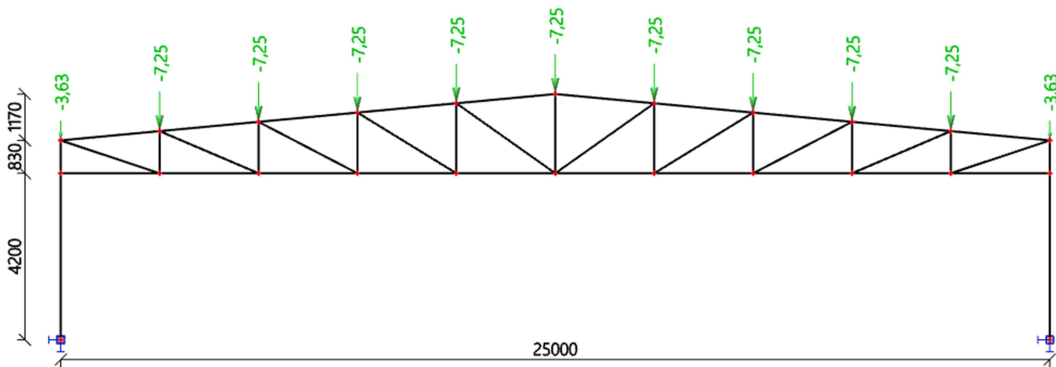
2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. STALNO OPTEREĆENJE

- vlastita težina je uključena u programu (SCIA 24)
- Sendvič paneli 0,2 kN/m²
- Sekundarna konstrukcija i spregovi 0,2 kN/m²
- Instalacija 0,1 kN/m²
- $\Sigma = 0,5 \text{ kN/m}^2$

$$\Sigma g_{\text{slojevi}} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,8 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 7,25 \text{ kN}$$



2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

2.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25

Tablica 2. Karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom za pojedina područja i nadmorske visine

Opterećenje snijegom na krovu računa se prema formuli:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$s_k \Rightarrow$ karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m²

$s_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 \Leftrightarrow$ Rijeka, $\leq 100\text{m}$ nadmorske visine

$\mu_i \Rightarrow$ koeficijent oblika za opterećenje snijegom ovisi o nagibu i obliku krova

$0^\circ < \alpha = 5,14^\circ \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_i = 0,8$

$c_e \Rightarrow$ koeficijent izloženosti

$c_e = 1,0$

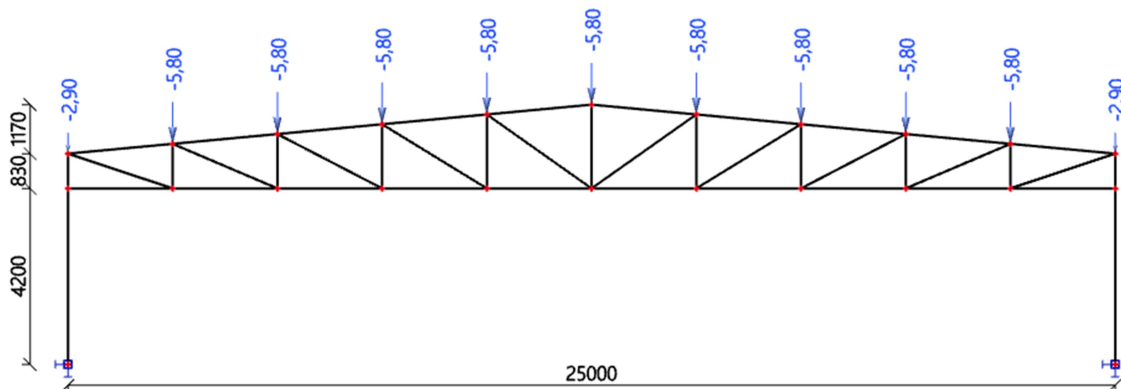
$c_t \Rightarrow$ toplinski koeficijent

$c_t = 1,0$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$s = 0,50 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,00 = 0,40 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$S = 0,40 \text{ (kN/m}^2\text{)} \cdot 5,8 \text{ m} \cdot 2,5\text{m} = 5,8 \text{ kN}$



2.2.2. OPTEREĆENJE VJETROM

Materijal izrade: S355

Lokacija objekta: Rijeka

Huk = 4,2 + 2,0 = 6,2 m

Opterećenje vjetrom okomito na površinu.

$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$ [kN/m²] – vanjski pritisak vjetra

$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi}$ [kN/m²] – unutarnji pritisak vjetra

$q_p = C_e(z) \cdot q_b$

$C_e(z)$, => koeficijenti izloženosti

Određivanje osnovnog pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_z \cdot v_b^2$$

q_b = referentni pritisak srednje brzine vjetra

ρ_z => gustoća zraka, $\rho = 1.25$ kg/m³

v_b - osnovna brzina vjetra

$v_{B;0} = 25$ m/s → očitano s vjetrovne karte za Rijeku

$$v_b = C_{DIR} \cdot C_{SEASON} \cdot v_{B;0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 = 25$$
 m/s

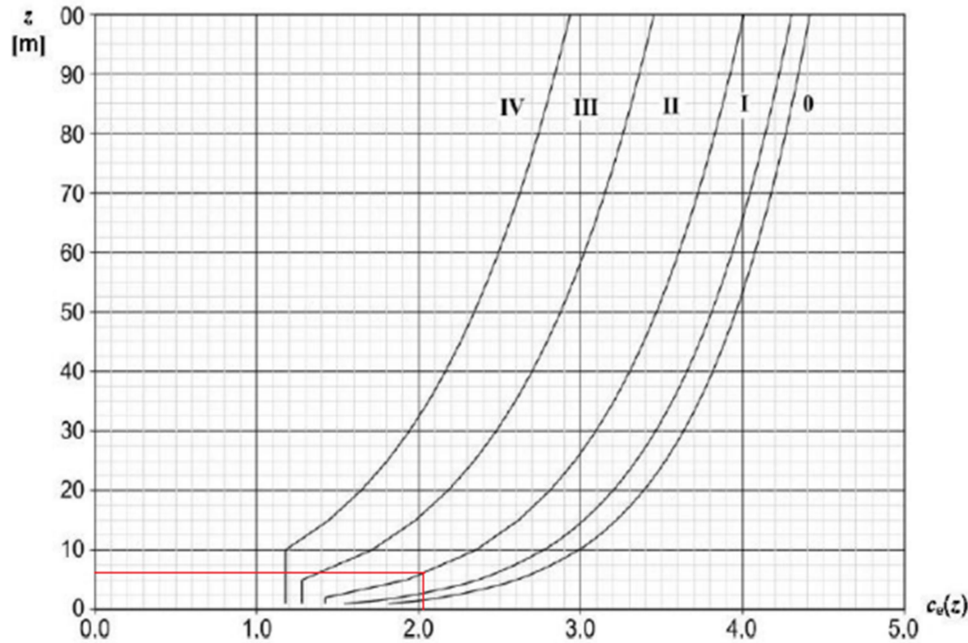
$$C_{DIR} = 1,0$$

$$C_{SEASON} = 1,0$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2$$

$$q_b = 0,391$$
 (kN/m²)

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:



Slika 5. Grafički prikaz faktora izloženosti $c_e(z)$ za $c_0=1,0$ i $k_1=1,0$

$$q_p(z) = C_e(z) \cdot q_b$$

$C_e = 2,02$ (očitano za kategoriju terena II)

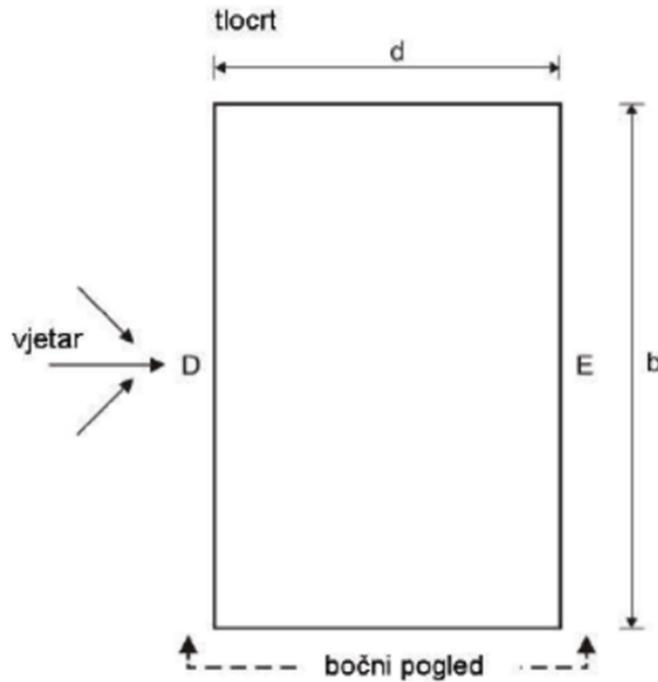
$$q_b = 0,391 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_p(z) = 2,02 \cdot 0,391 = 0,790 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Određivanje koeficijenta vanjskog tlaka:

Koeficijent vanjsko pritiska na dvostrešne krovove određuje se na način da se krovna površina podijeli na zone, a referentna visina (z_e) se uzima kao ukupna visina građevine. Koeficijenti tlaka ovise o veličini površine građevine koja je opterećena. Krov s vrijednosti kuta nagiba $5^\circ < \alpha$ se klasificira kao dvostrešni krov.

Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove



Područje	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$h/d \geq 5$	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

NAPOMENA: Za pojedinačne zgrade na otvorenome terenu u područjima u zavjetrini mogu nastupiti i veće sile.
Međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati.
Za zgrade čiji je omjer $h/d > 5$, ukupno opterećenje vjetrom smije se temeljiti na odredbama iz točaka od 7.6 do 7.8 i 7.9.2.

Tablica 4. Vrijednosti koeficijenta vanjskog pritiska za vertikalne zidove

zona D $c_{pe,10} = +0,7$

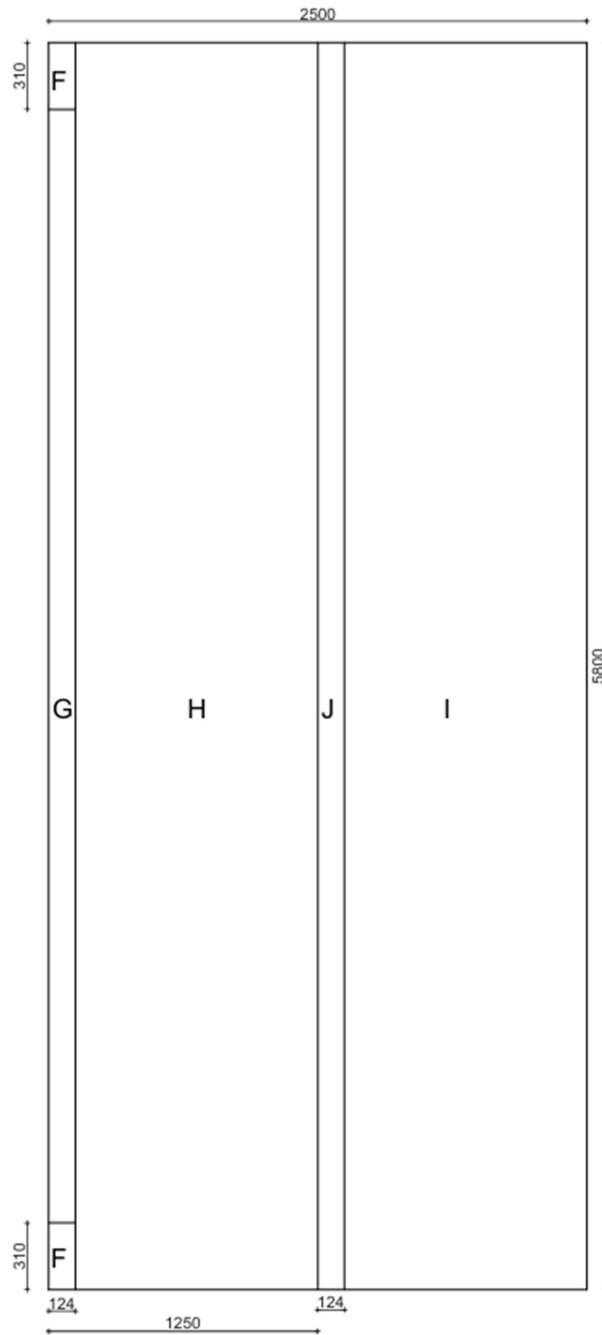
zona E $c_{pe,10} = -0,3$

$$w_e = q_p \cdot c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_p = 0,790 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	D	E
$c_{pe,10}$	+0.7	-0.3
$W_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	+0,553	-0.237

Određivanje pritiska na halu za krovna područja (dvostrešni ravni krov)



Djelovanje vjetra na dvostrešni krov

5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6	+0,2
	+0,0		+0,0		+0,0			-0,6

$$e = \min \{b, 2h\} = \min \{58\text{m}, 2 \cdot 6,2\text{m}\} = \min \{58\text{m}, 12,4\text{m}\} = 12,4\text{m} < d = 25\text{m}$$

$$e = 12,4\text{m}$$

$$\alpha = 5,143^\circ$$

zona F $C_{pe,10} = -1,7$

zona G $C_{pe,10} = -1,2$

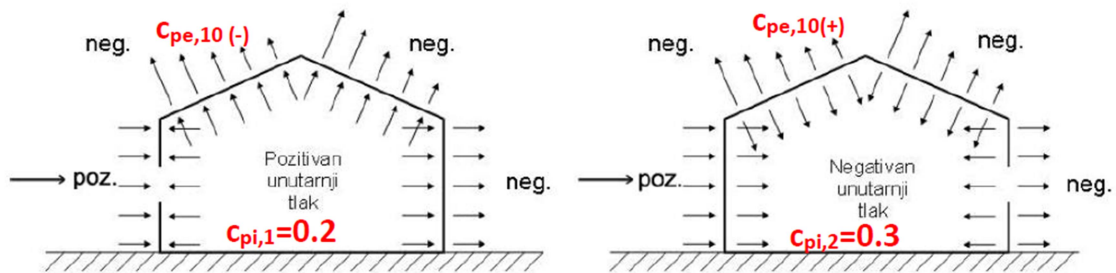
zona H $C_{pe,10} = -0,6$

zona I $C_{pe,10} = -0,6$

zona J $C_{pe,10} = -0,6$

Određivanje koeficijenta unutarnjeg tlaka:

Za slučaj kad nije moguća procjena vrijednosti koeficijenta μ ili ju se smatra neopravdanom, za c_{pi} se odabire nepovoljnija vrijednost između +0,2 i -0,3.



Tlak na zidove i krovne plohe

$$C_{pi1} = +0.2 \text{ (odizanje)}$$

$$C_{pi2} = -0.3 \text{ (pritisak)}$$

2.3.REZULTANTNO DJELOVANJE VJETRA

1. Pozitivan vanjski tlak - Pozitivan unutarnji tlak

$$w = w_e + w_i \rightarrow w = q_p * |C_{pe} + C_{pi}| \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_p(z) = 0,790 \text{ kN/m}^2$$

ZONA	C _{pe}	C _{pi}	q _p (z)* C _{pe} + C _{pi}	PREDZNAK	w [kN/m ²]
D	+0,7	+0,2	0,790 (0,7 - 0,2)	+	0,395
E	-0,3	+0,2	0,790 (0,3 + 0,2)	-	0,395
F	0	+0,2	0,790 (0 - 0,2)	-	0,158
G	0	+0,2	0,790 (0 - 0,2)	-	0,158
H	0	+0,2	0,790 (0 - 0,2)	-	0,158
I	0	+0,2	0,790 (0 - 0,2)	-	0,158
J	+0,2	+0,2	0,790 (0,2-0,2)	-	0

2. Pozitivan vanjski tlak – negativni unutarnji tlak

$$w = w_e + w_i \rightarrow w = q_p * |C_{pe} + C_{pi}| \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_p(z) = 0,704 \text{ kN/m}^2$$

ZONE	C _{pe}	C _{pi}	q _p (z) * C _{pe} + C _{pi}	PREDZNAK	w [kN/m ²]
D	+0,7	-0,3	0,790 (0,7 + 0,3)	+	0,790
E	-0,3	-0,3	0,790 (0,3 – 0,3)	+	0
F	0	-0,3	0,790 (0 – 0,3)	+	0,237
G	0	-0,3	0,790 (0 – 0,3)	+	0,237
H	0	-0,3	0,790 (0 - 0,3)	+	0,237
I	0	-0,3	0,790 (0 + 0,3)	+	0,237
J	+0,2	-0,3	0,790 (0,2+0,3)	+	0,395

3. Negativan vanjski tlak - Pozitivan unutarnji tlak

$$w = w_e + w_i \rightarrow w = q_p * |C_{pe} + C_{pi}| \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_p(z) = 0,790 \text{ kN/m}^2$$

ZONA	C_{pe}	C_{pi}	$q_p(z) * C_{pe} + C_{pi} $	PREDZNAK	w [kN/m ²]
D	+0,7	+0,2	0,790 (0,7 + 0,2)	+	0,395
E	-0,3	+0,2	0,790 (0,3 + 0,2)	-	0,395
F	-1,7	+0,2	0,790 (1,70 + 0,2)	-	1,50
G	-1,2	+0,2	0,790 (1,2 + 0,2)	-	1,11
H	-0,6	+0,2	0,790 (0,6 + 0,2)	-	0,632
I	-0,6	+0,2	0,790 (0,6 + 0,2)	-	0,632
J	-0,6	+0,2	0,790 (0,6 + 0,2)	-	0,632

4. Negativan vanjski tlak - Negativan unutarnji tlak

$$w = w_e + w_i \rightarrow w = q_p * |C_{pe} - C_{pi}| \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

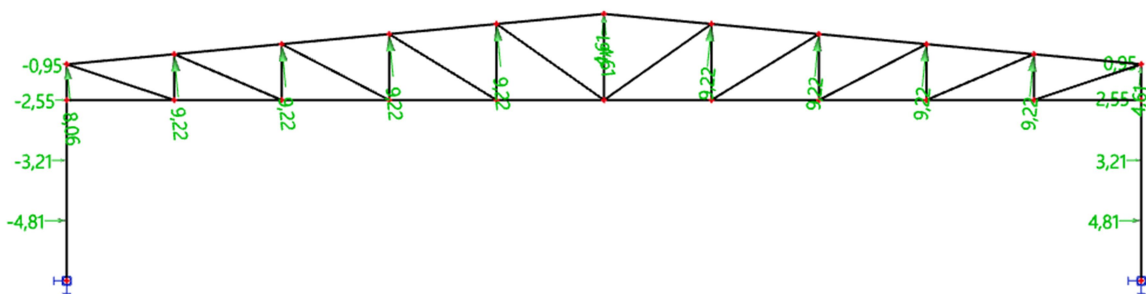
$$q_p(z) = 0,790 \text{ kN/m}^2$$

ZONA	C_{pe}	C_{pi}	$q_p(z) * C_{pe} - C_{pi} $	PREDZNAK	w [kN/m ²]
D	+0,7	-0,3	0,790 (0,7 + 0,3)	+	0,790
E	-0,3	-0,3	0,790 (0,3 - 0,3)	-	0
F	-1,7	-0,3	0,790 (1,70 - 0,3)	-	1,11
G	-1,2	-0,3	0,790 (1,2 - 0,3)	-	0,711
H	-0,6	-0,3	0,790 (0,6 - 0,3)	-	0,237
I	-0,6	-0,3	0,790 (0,6 - 0,3)	-	0,237
J	-0,6	-0,3	0,790 (0,6 - 0,3)	-	0,237

KOMBINACIJA 1) Maksimalno odizanje rešetke (Negativan vanjski “+“ Pozitivan unutarnji)

REŠETKA					
ČVOR	OPTEREĆENJE	OSNI RAZMAK STUPOVA (m)	IZNOS (kN/m')	RAZMAK OKVIRA (m)	IZNOS (kN)
1	$0.5 \cdot W_G$	2.51	1,39	5.80	8,06
2	W_H	2.51	1,59	5.80	9,22
3	W_H	2.51	1,59	5.80	9,22
4	W_H	2.51	1,59	5.80	9,22
5	W_H	2.51	1,59	5.80	9,22
6	$0.5 \cdot W_H$	2.51	0,793	5.80	4,61
7	$0.5 \cdot W_j$	2.51	0,793	5.80	4,61
8	W_j	2.51	1,59	5.80	9,22
9	W_j	2.51	1,59	5.80	9,22
10	W_j	2.51	1,59	5.80	9,22
11	W_j	2.51	1,59	5.80	9,22
12	$0.5 \cdot W_j$	2.51	0,793	5.80	4,61

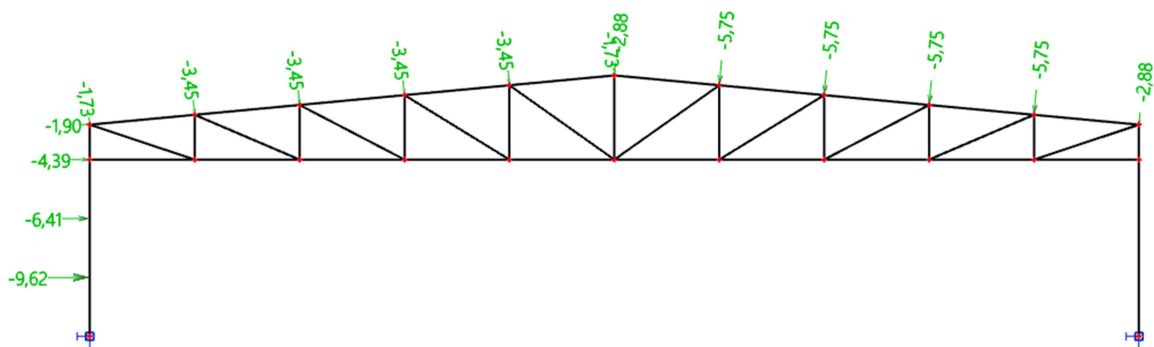
STUPOVI					
ČVOR	(1) OPTEREĆENJE	(2) RAZMAK OKVIRA (m)	(1)*(2) IZNOS (kN/m')	(3) UTJECAJNA VISINA (m)	(1)*(2)*(3) IZNOS (kN)
1	W_D	5.80	2,29	$0.5 \cdot 0.87$	+0,95
2	W_D	5.80	2,29	$0.5 \cdot 0.87 + 0.5 \cdot 1,4$	+2,55
3	W_D	5.80	2,29	1,4	+3,21
4	W_D	5.80	2,29	$1,4 + 0,7$	+4,81
5	W_E	5.80	2,29	$0.5 \cdot 0.87$	-0,95
6	W_E	5.80	2,29	$0.5 \cdot 0.87 + 0.5 \cdot 1,4$	-2,55
7	W_E	5.80	2,29	1,4	-3,21
8	W_E	5.80	2,29	$1,4 + 0,7$	-4,81



KOMBINACIJA 2.) Maksimalni pritisak rešetke (Pozitivan vanjski tlak – negativni unutarnji tlak)

REŠETKA					
ČVOR	OPTEREĆENJE	OSNI RAZMAK STUPOVA (m)	IZNOS (kN/m')	RAZMAK OKVIRA (m)	IZNOS (kN)
1	$0.5 \cdot W_G$	2.51	0,297	5.80	1,73
2	W_H	2.51	0,595	5.80	3,45
3	W_H	2.51	0,523	5.80	3,45
4	W_H	2.51	0,523	5.80	3,45
5	W_H	2.51	0,523	5.80	3,45
6	$0.5 \cdot W_H$	2.51	0,297	5.80	1,73
7	$0.5 \cdot W_j$	2.51	0,496	5.80	2,88
8	W_j	2.51	0,991	5.80	5,75
9	W_j	2.51	0,991	5.80	5,75
10	W_j	2.51	0,991	5.80	5,75
11	W_j	2.51	0,991	5.80	5,75
12	$0.5 \cdot W_j$	2.51	0,496	5.80	2,88

STUPOVI					
ČVOR	(1) OPTEREĆENJE	(2) RAZMAK OKVIRA (m)	(1)*(2) IZNOS (kN/m')	(3) UTJECAJNA VISINA (m)	(1)*(2)*(3) IZNOS (kN)
1	W_D	5.80	4,58	$0.5 \cdot 0.87$	+1,90
2	W_D	5.80	4,58	$0.5 \cdot 0.87 + 0.5 \cdot 1,4$	+4,39
3	W_D	5.80	4,58	1,4	+6,41
4	W_D	5.80	4,58	$1,4 + 0,7$	+9,62
5	W_E	5.80	0	$0.5 \cdot 0.87$	0
6	W_E	5.80	0	$0.5 \cdot 0.87 + 0.5 \cdot 1,4$	0
7	W_E	5.80	0	1,4	0
8	W_E	5.80	0	$1,4 + 0,7$	0



3. KONTROLA PROGIBA

3.1. VERTIKALNI PROGIB

1D deformations

Values: u_z

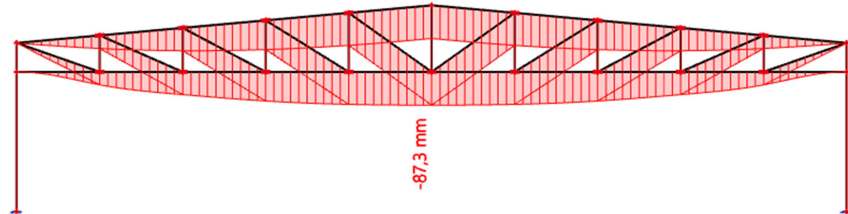
Linear calculation

Combination: Gsu1

Coordinate system: Global

Extreme 1D: Global

Selection: All



Vertikalni progib glavnog nosača

Najveći progib krovišta: **1,0G + 1,0 S**

Dopušteni progib: $L/250 = 25000\text{mm}/250 = 100\text{ mm}$

$$87,3/100 = 0,873 = 87,3\%$$

Najveći progib krovišta u odnosu na dopušteni zadovoljava sa iskoristivosti 87,3%

3.2. HORIZONTALNI PROGIB

1D deformations

Values: u_x

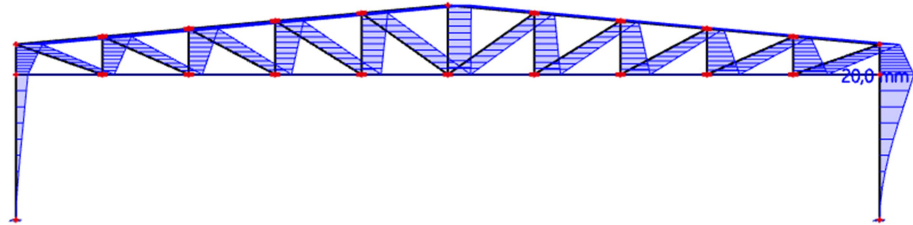
Linear calculation

Combination: Gsu 3

Coordinate system: Global

Extreme 1D: Global

Selection: All



Horizontalni progib glavnog nosača

Najveći progib krovišta: **$1,0G_0 + 1,0 W_{(Pritiskajući)}$**

Dopušteni progib: $L/150 = 4200\text{mm}/150 = 28\text{ mm}$

$$20,0/28 = 0,714 = 71,4\%$$

Najveći progib krovišta u odnosu na dopušteni zadovoljava sa iskoristivosti 71,4%

Korišteni profili za GSU:

Stupovi- HEA200

Donji pojas – SHS 70 x 70 x 5

Gornji pojas – SHS 70 x 70 x 5

Dijagonale – SHS 55 x 55 x 4

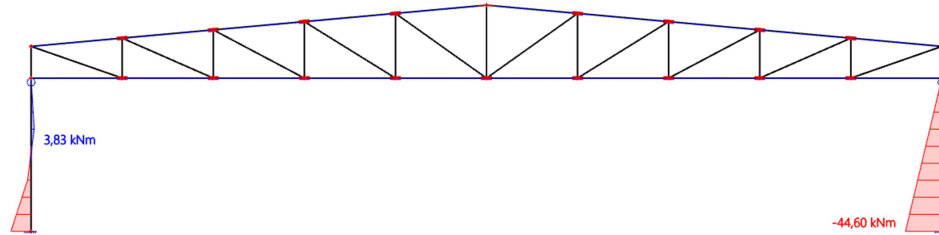
Vertikale – SHS 55 x 55 x 4

4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

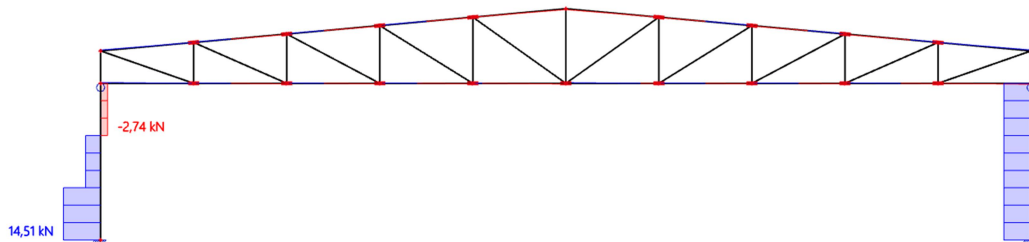
4.1.1. KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 W_{\text{Pritiskajući}} + 0,9 S$

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: Gsn1
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



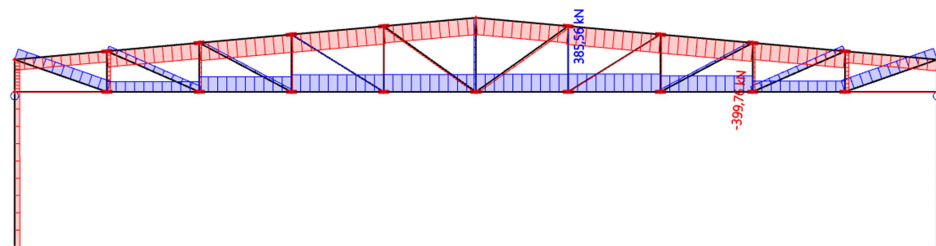
Momentni dijagram kombinacije 1

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: Gsn1
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila kombinacije 1

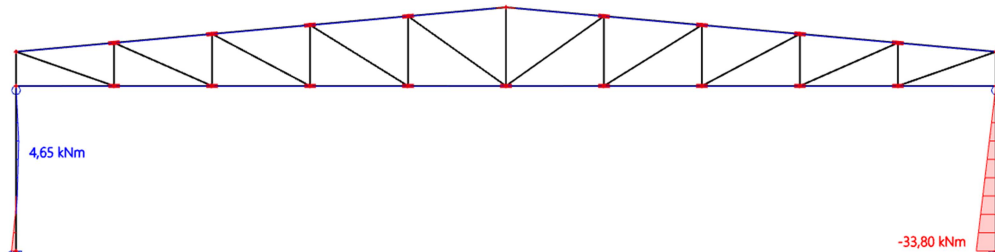
1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: Gsn1
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

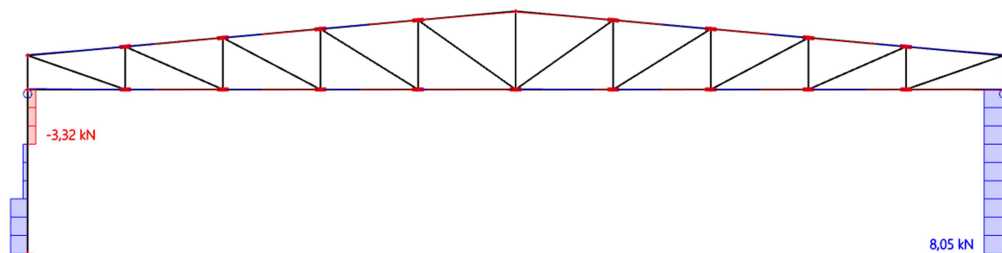
4.1.2. KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 S + 0,9 W$ Pritiskajući

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: Gsn2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



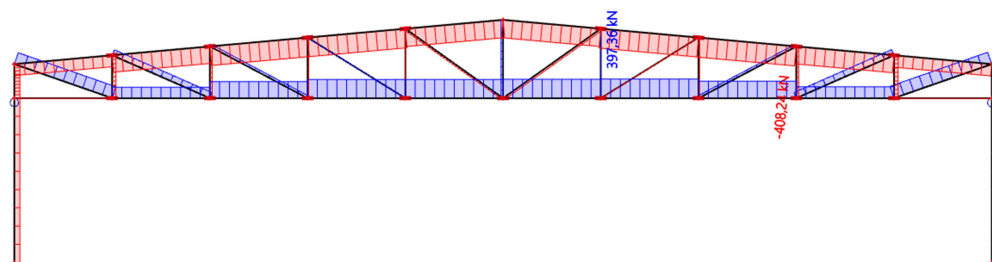
Momentni dijagram kombinacije 2

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: Gsn2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila kombinacije 2

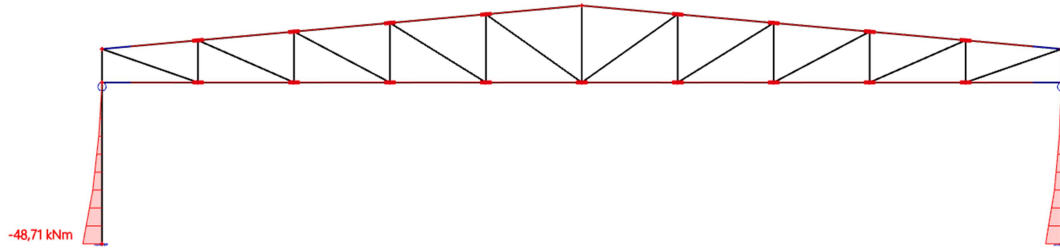
1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: Gsn2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

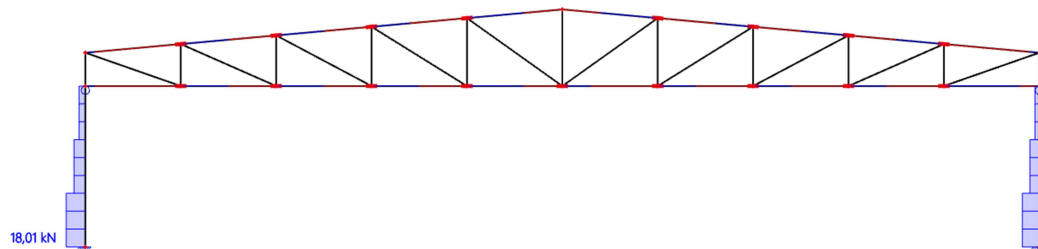
4.1.3. KOMBINACIJA $1,0*(G_0+G_1)+1,5 W_{Odižući}$

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: Gsn3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



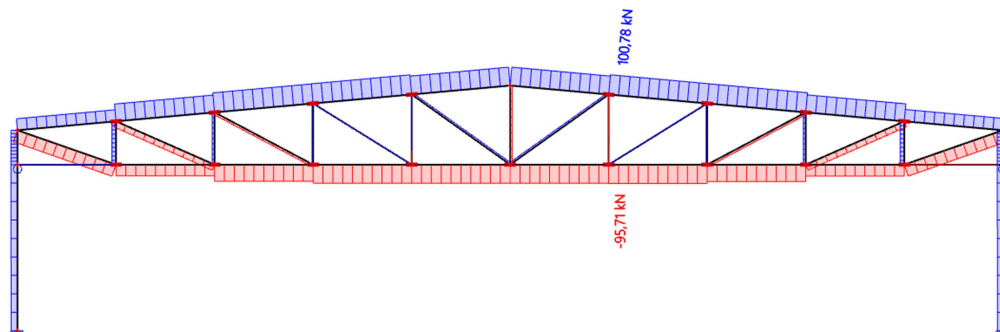
Momentni dijagram kombinacije 3

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: Gsn3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: Gsn3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



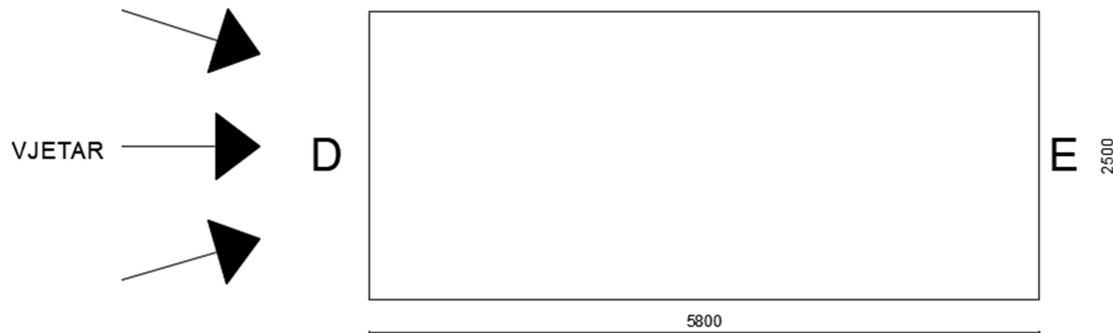
Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

4.2.1. ZABATNI STUPOVI

Određivanje pritiska na zabatno pročelje

$$e = \min \{b, 2h\} = \min \{25 \text{ m}, 2 \cdot 6,2 \text{ m}\} = \min \{25 \text{ m}, 12,4 \text{ m}\} = 12,4 \text{ m} < d = 58 \text{ m}$$



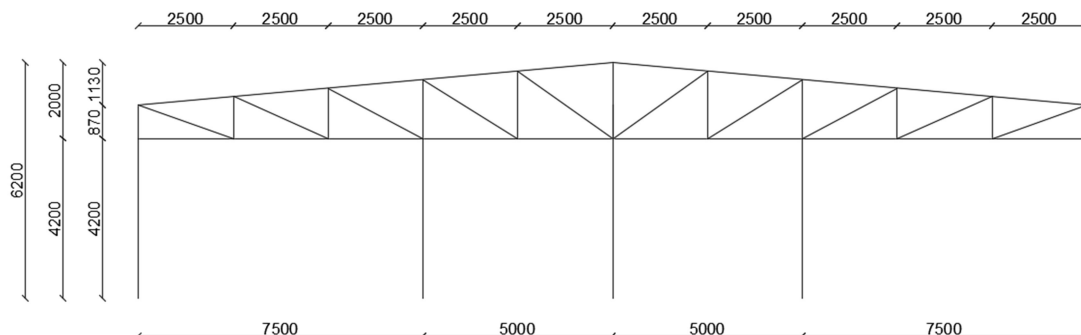
$$h/d = 6,2 / 58 = 0,107$$

Područje	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
≥ 5	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	1,2	1,4	0,8	1,1	0,5		+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

NAPOMENA: Za pojedinačne zgrade na otvorenome terenu u područjima u zavjetrini mogu nastupiti i veće sile.
Međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati.
Za zgrade čiji je omjer $h/d > 5$, ukupno opterećenje vjetrom smije se temeljiti na odredbama iz točaka od 7.6 do 7.8 i 7.9.2.

$$W_D = q_P(z) \cdot D = 0,79 \text{ (kN/m}^2\text{)} \cdot 0,7 = 0,553$$

Ovaj iznos svodimo na linijsko opterećenje množeći ga sa utjecajnom širinom.



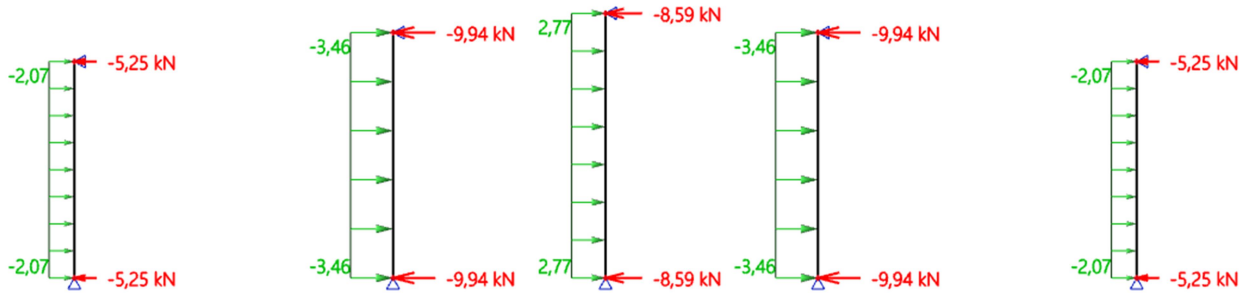
$$W_1 = W_D \cdot 7,5/2 = 0,553 \cdot 3,75 = 2,07(kN/m')$$

$$W_2 = W_D \cdot 7,5/2 + 2,5 = 0,553 \cdot 6,25 = 3,46(kN/m')$$

$$W_3 = W_D \cdot 5,0 = 0,553 \cdot 5,0 = 2,77(kN/m')$$

$$W_4 = W_D \cdot 7,5/2 + 2,5 = 0,553 \cdot 6,25 = 3,46(kN/m')$$

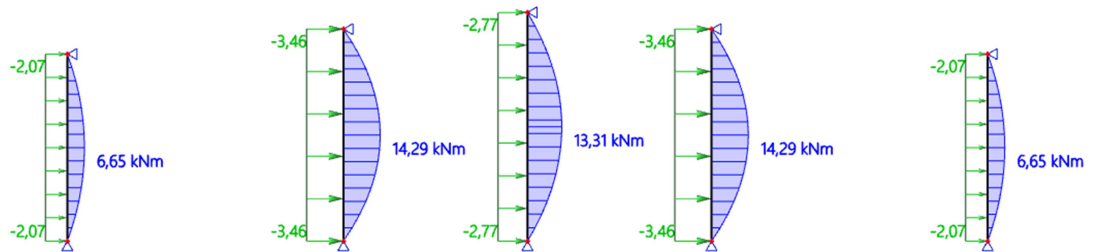
$$W_5 = W_D \cdot 7,5/2 = 0,553 \cdot 3,75 = 2,07(kN/m')$$



Reakcije za djelovanje vjetra W_1

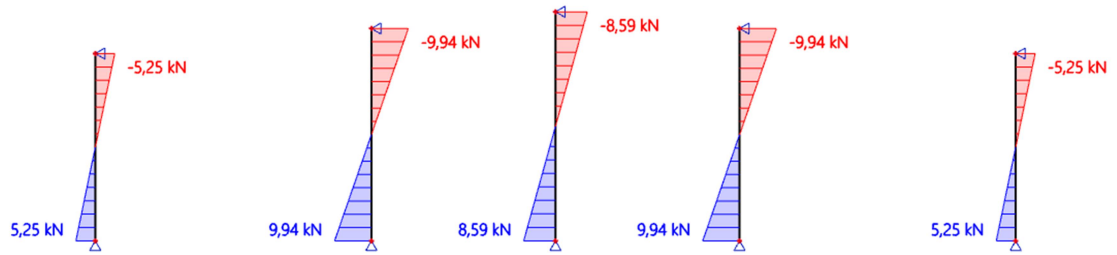
1D internal forces

Values: M_y
 Linear calculation
 Load case: Vjetar na zabatni stup
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Momentni dijagram za djelovanje vjetra W_1

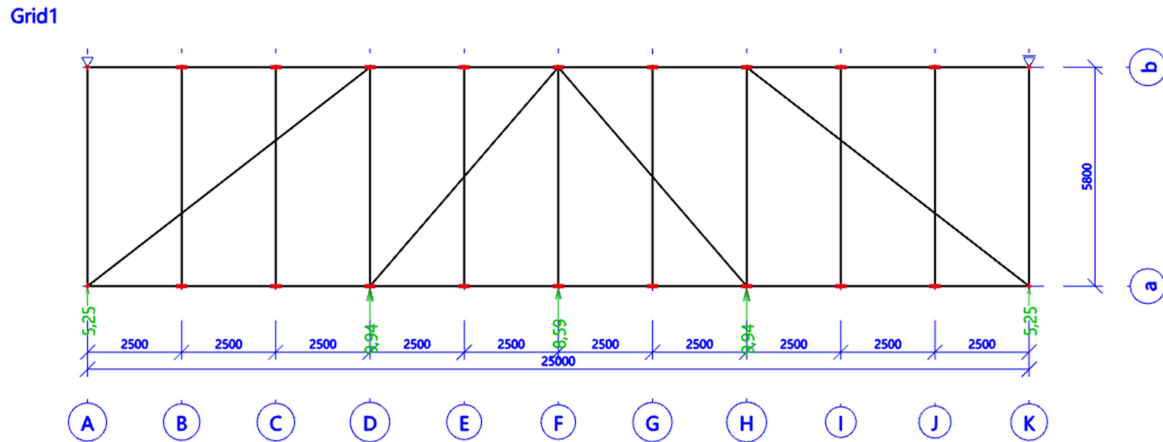
1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Load case: Vjetar na zabatni stup
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Member
Selection: All



Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra W1

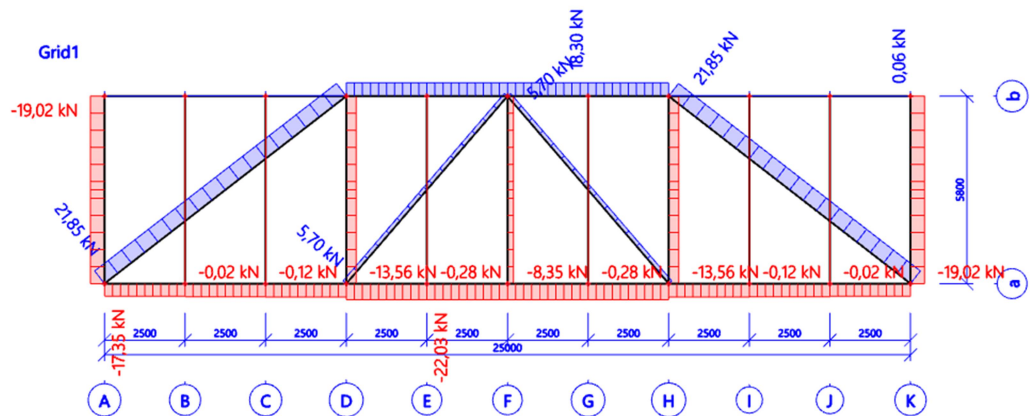
4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI

Sile koje djeluju na krovne spregove su prenešene reakcije sa zabatnih stupova.



Model krovnog sprega

1D internal forces
 Values: **N**
 Linear calculation
 Load case: Reakcije sa zabatnih stupova
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila horizontalnog sprega

4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI

Sile koje djeluju na bočne spregove su prenesene reakcije sa krovnih spregova.

RND 18

1D internal forces

Values: **N**

Linear calculation

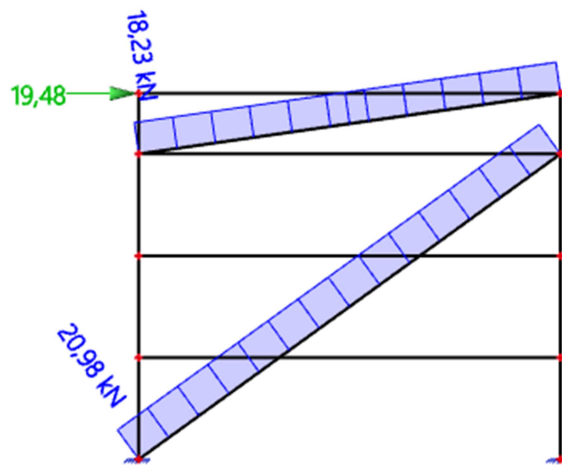
Load case: Reakcije sa zabatnih
stupova

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Global

Selection: All

Filter: Cross-section = Bočni spreg -
RND18



Model bočnog sprega

4.2.4. KROVNA PODROŽNICA

Krovne podrožnice su duljine 5,8 m. Nalaze se na osnom razmaku od 2,5 m i pod kutom su od $\alpha=5,14^\circ$.

Djelovanja na krovnu podrožnicu su sljedeća:

- Dodatno stalno opterećenje G
- Snijeg S
- Vjetar W1
- Vjetar W2

Dijagram uzdužnih sila vertikalnog sprega

1D internal forces

Values: M_y

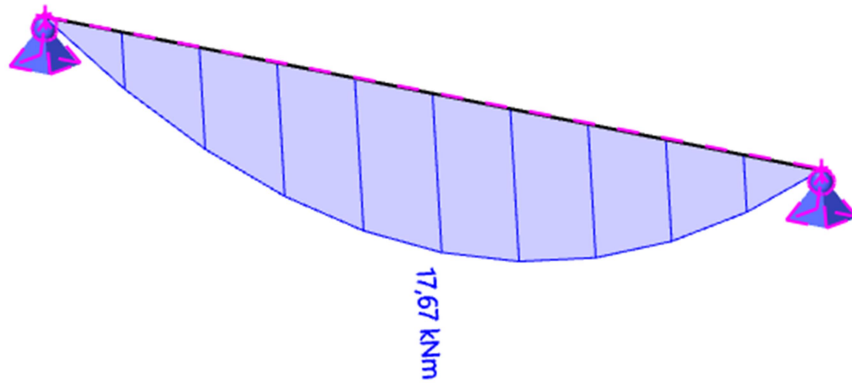
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Mjerodavna kombinacija: $1,35G + 1,5 * S + 0,9 * W_{(Pritiskajući)}$

Momentni dijagram M_y za mjerodavnu kombinaciju

1D internal forces

Values: M_z

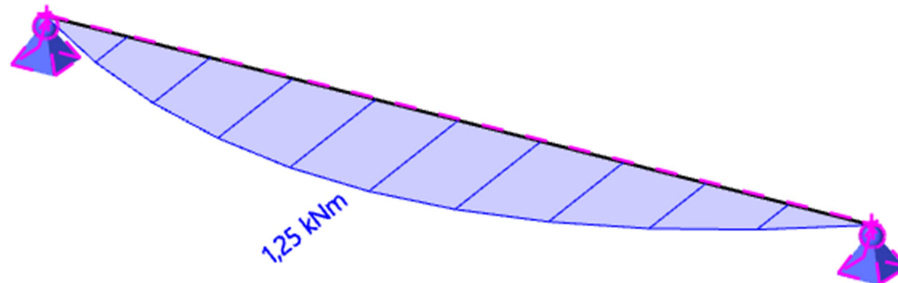
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Momentni dijagram M_z za mjerodavnu kombinaciju

1D internal forces

Values: V_z

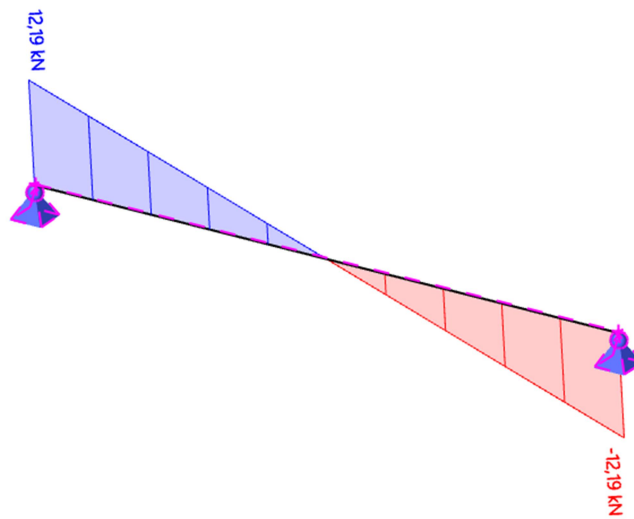
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_z za mjerodavnu kombinaciju

1D internal forces

Values: V_y

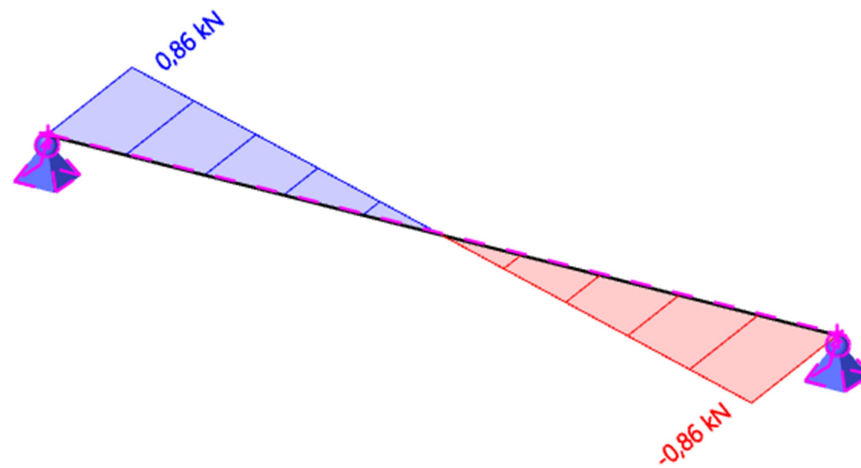
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

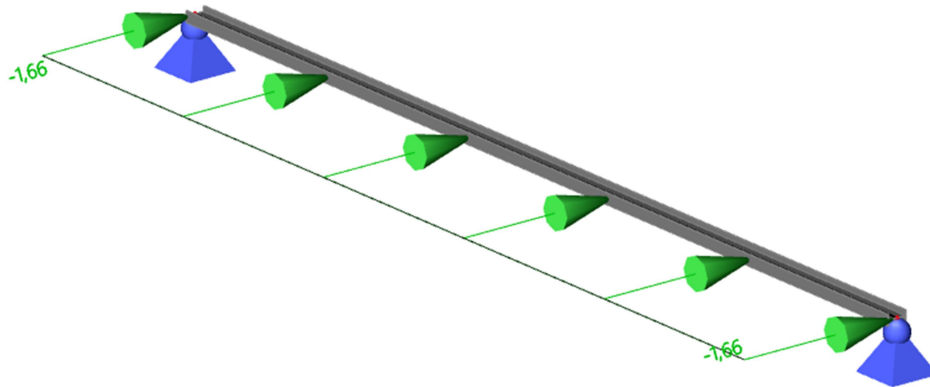
Extreme 1D: Global

Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_y za mjerodavnu kombinaciju

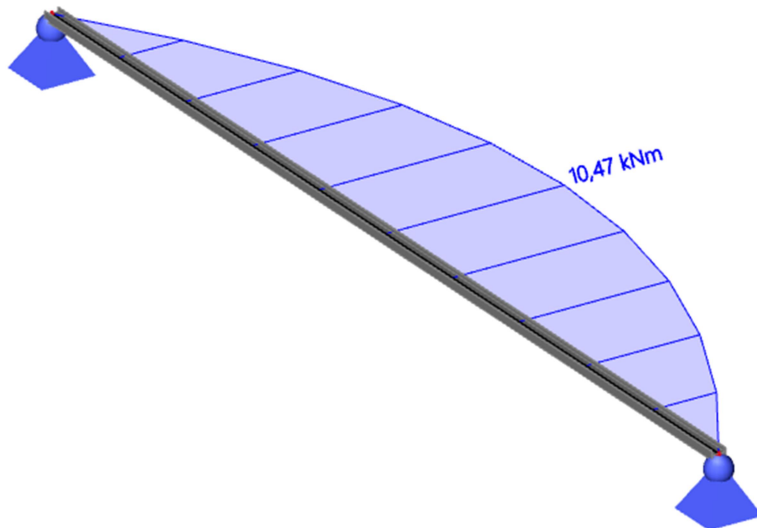
4.2.5. BOČNA PODROŽNICA



Model bočne podrožnice

1D internal forces

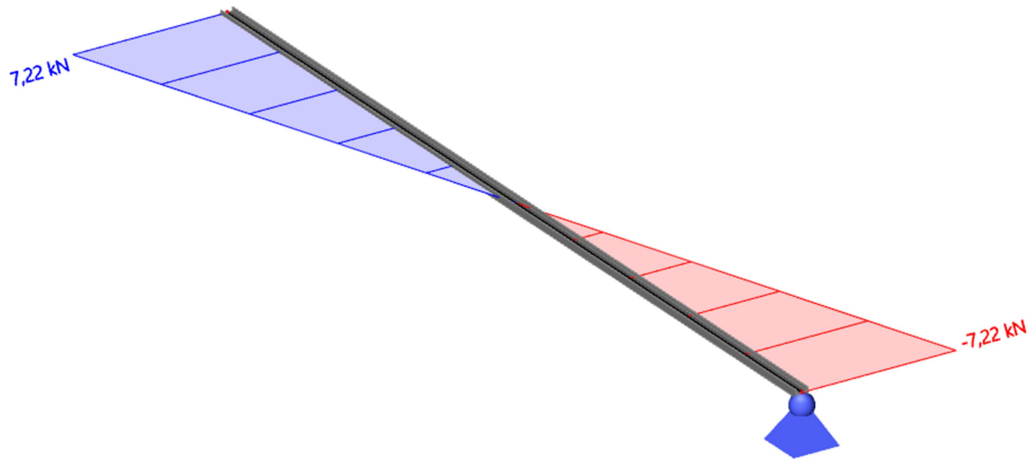
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: All



Momentni dijagram M_y za mjerodavnu kombinaciju:

$$1,35G + 0,9* S + 1,5*W_{(Pritiskajući)}$$

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: All



Dijagram poprečnih V_z sila za mjerodavnu kombinaciju

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE PREMA GRANIČNOM STANJU NOSIVOSTI

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. GORNJI POJAS REŠETKE (POZICIJA 4, 5)

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 70x70x5		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	7	t (cm)	0.5		
h (cm)	7	A (cm ²)	12,7		
W _{pl,Y} (cm ³)	30,8	I _y (cm ⁴)	88,5		
W _{pl,Z} (cm ³)	30,8	I _z (cm ⁴)	88,5		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 2):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = -408,24 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 11,00$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73 \quad \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna tlačna sila

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{12,7 \cdot 35,5}{1} = 450,85 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 408,24 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka:

- Tlačna sila:

$$L_i^Z = 5.80 \text{ (m)} = 502 \text{ (cm)}$$

$$L_i^Y = 2.510 \text{ (m)} = 251.0 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 291,15 \text{ (kN)}$$

$$N_{CR}^Y = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_i^2} = 54,53 \text{ (kN)}$$

Izvijanje oko osi: Y-Y ili Z-Z

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

$$\lambda^Z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}^Z}} = 1,244$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 1,384$$

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

$$\chi^Z = 0,503$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1} = 226,62 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 408,24 / 226,62 = 1,8014 = \mathbf{180,14\%}$$

Profil SHS 100/100/6 ne zadovoljava otpor. elementa oko osi z-z s toga odabiremo drugi profil.

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 120x120x7,1	$\varepsilon = 0.81$		
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	12	t (cm)	0.71		
h (cm)	12	A (cm ²)	31,5		
W _{pl,Y} (cm ³)	132,48	I _y (cm ⁴)	663		
W _{pl,Z} (cm ³)	132,48	I _z (cm ⁴)	663		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 2):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = -415,60 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3 \cdot t}{t} = 13,90$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73 \quad \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna tlačna sila

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{31,5 \cdot 35,5}{1} = 1118,25 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 415,60 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka:

- Tlačna sila:

$$L_i^Z = 5.80 \text{ (m)} = 502.0 \text{ (cm)}$$

$$L_i^Y = 2.510 \text{ (m)} = 251.0 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 2181,15 \text{ (kN)}$$

$$N_{CR}^Y = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_i^2} = 545,29 \text{ (kN)}$$

Izvijanje oko osi: Y-Y ili Z-Z

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

$$\lambda^Z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Z}} = 0,716$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 0,811$$

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

$$\chi^Z = 0,840$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / Y_{M1} = 939,43 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 403,21 / 939,43 = 0,429207 = 44,24\%$$

Profil SHS 120/120/7,1 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 44,24% oko osi Z-Z

oko osi y-y

$$\lambda^Y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Y}} = 1,432$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 1,655$$

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

$$\chi^Y = 0,403$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / Y_{M1} = 450,21 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 403,21 / 450,21 = 0,895604 = 92,31\%$$

Profil SHS 120/120/7,1 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 92,31% oko osi Y-Y

5.1.2. DONJI POJAS REŠETKE (POZICIJA 2, 3)

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 70x70x5		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	7	t (cm)	0.5		
h (cm)	7	A (cm ²)	12,7		
W _{PL,Y} (cm ³)	30,8	I _y (cm ⁴)	88,5		
W _{PL,Z} (cm ³)	30,8	I _z (cm ⁴)	88,5		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 1.):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = +404,60 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = -8,12 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrnat:

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 11$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73 \quad \text{Hrnat je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna vlačna sila $N_{Ed} = +404,60 \text{ (kN)}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{12,7 \cdot 35,5}{1} = 450,85 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 404,60 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} = 404,60 / 450,85 = 0,897$$

Profil SHS 70/70/5 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 89.7%

- Uzdužna tlačna sila $N_{Ed} = -8,12 \text{ (kN)}$ za duljinu izvijanja $l = l/4 = 2500/4 = 625 \text{ cm}$

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_i^2} = 46,96 \text{ (kN)}$$

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

$$\lambda^Z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}^Z}} = 3,099$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 5,605$$

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

$$\chi^2 = 0,097$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1} = 43,88 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 8,12 / 43,48 = 18,51 \%$$

Profil SHS 70/70/5 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 18,51% oko osi z-z. Zbog ne zadovoljenog uvjeta otpornosti vara uzima se veći profil.

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 70x70x8		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	7	t (cm)	0.8		
h (cm)	7	A (cm ²)	19,15		
W _{pl,Y} (cm ³)	43,77	I _y (cm ⁴)	119,8		
W _{pl,Z} (cm ³)	43,77	I _z (cm ⁴)	119,8		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 1.):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = +408,35 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = -6,79 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrnat:

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3 \cdot t}{t} = 5,75$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73 \quad \text{Hrnat je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna vlačna sila $N_{Ed} = +408,35 \text{ (kN)}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{19,15 \cdot 35,5}{1} = 679,83 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 404,60 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} = 408,35 / 679,83 = 0,6007$$

Profil SHS 70/70/8 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 60,7%

- Uzdužna tlačna sila $N_{Ed} = -6,79 \text{ (kN)}$ za duljinu izvijanja $l = 1/4 = 2500/4 = 625 \text{ cm}$

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 63,56(\text{kN})$$

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

$$\lambda^Z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Z}} = 3,270$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 6,17$$

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

$$\chi^Z = 0,076$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / Y_{M1} = 43,88\text{kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 6,79 / 43,48 = 15,62 \%$$

Profil SHS 70/70/8 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 15,62% oko osi z-z

5.1.3. DIJAGONALE REŠETKE (POZICIJA 12-16)

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 55x55x4	$\varepsilon = 0.81$		
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	5,5	t (cm)	0,4		
h (cm)	5,5	A (cm ²)	8,16		
W _{EL,Y} (cm ³)	12,8	I _y (cm ⁴)	35,3		
W _{PL,Z} (cm ³)	15,1	I _z (cm ⁴)	35,3		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritičnih kombinacija za mjerodavnu dijagonalu:

GSN 3	GSN 2
$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$	$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$
$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$	$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$
$N_{Ed} = -57,93 \text{ (kN)}$	$N_{Ed} = +263,88 \text{ (kN)}$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrbat:

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 10,75$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73$ Hrbat je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna vlačna sila $N_{Ed} = +263,88 \text{ (kN)}$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{8,16 \cdot 35,5}{1} = 289,68 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = +263,88 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} = +263,88 / 289,68 = 0,91093$$

Profil SHS 55/55/4 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 91,09%

- Uzdužna tlačna sila $N_{Ed} = -57,93$ (kN) za duljinu izvijanja $l = 264,7$ CM

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 104,42 \text{ (kN)}$$

Vruće dogotovljeni profil → Linija izvijanja: a → Faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Z}} = 1,666$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 2,041$$

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

$$\chi = 0,311$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / Y_{M1} = 89,95 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 57,93 / 89,95 = 0,644041728 = 64,40\%$$

Profil SHS 55/55/4 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 64,42% oko obje osi.

5.1.4. VERTIKALE REŠETKE (POZICIJA 6-11)

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 55x55x4		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	5,5	t (cm)	0,4		
h (cm)	5,5	A (cm ²)	8,16		
W _{EL,Y} (cm ³)	12,8	I _y (cm ⁴)	35,3		
W _{PL,Z} (cm ³)	15,1	I _z (cm ⁴)	35,3		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritičnih kombinacija za mjerodavnu vertikalnu:

GSN 2	GSN 3
M _{Ed} = 0 (kNm)	M _{Ed} = 0 (kNm)
V _{Ed} = 0 (kN)	V _{Ed} = 0 (kN)
N _{Ed} = - 122,95 (kN)	N _{Ed} = + 32,32(kN)

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrbat:

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 10,75$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73$ Hrbatje klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna vlačna sila N_{Ed} = +32,32 (kN)

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{8,16 \cdot 35,5}{1} = 289,68 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = + 32,32 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} = + 32,32 / 289,68 = 0,1116$$

Profil SHS 55/55/4 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 11%

- Uzdužna tlačna sila $N_{Ed} = -122,95$ (kN) za duljinu izvijanja $l = 87$ cm

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 966,62 \text{ (kN)}$$

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

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Z}} = 0,547$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 0,686$$

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

$$\chi = 0,909$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / Y_{M1} = 263,28 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 122,95 / 263,28 = 0,466992937 = 46,70\%$$

Profil SHS 55/55/4 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 46,70% oko obje osi, no zbog male iskoristivosti odabiremo manji profil.

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 40x40x4		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	4,0	t (cm)	0,4		
h (cm)	4,0	A (cm ²)	5,59		
W _{EL,Y} (cm ³)	5,91	I _y (cm ⁴)	9,78		
W _{PL,Z} (cm ³)	7,44	I _z (cm ⁴)	9,78		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritičnih kombinacija za mjerodavnu dijagonalu:

GSN 2	GSN 3
$M_{Ed} = 0$ (kNm)	$M_{Ed} = 0$ (kNm)
$V_{Ed} = 0$ (kN)	$V_{Ed} = 0$ (kN)
$N_{Ed} = -122,75$ (kN)	$N_{Ed} = +32,46$ (kN)

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrnat:

$$\frac{d}{t} = \frac{h - 3 * t}{t} = 7$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{d}{t} \leq 33 \varepsilon = 26,73$ Hrnat je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Uzdužna vlačna sila $N_{Ed} = +32,46$ (kN)

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{5,59 \cdot 35,5}{1} = 198,45 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = +32,52 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} = +32,46 / 198,45 = 0,164$$

Profil SHS 40/40/4 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 16,4%

- Uzdužna tlačna sila $N_{Ed} = -122,75$ (kN) za duljinu izvijanja $l = 87$ cm

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_i^2} = 323,12 \text{ (kN)}$$

Vruće dogotovljeni profil → Linija izvijanja: a → Faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}^Z}} = 0,784$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 0,868$$

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

$$\chi = 0,805$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1} = 159,73 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 122,75 / 159,73 = 0,768484 = 76,85\%$$

Profil SHS 40/40/4 zadovoljava otpor. elementa s iskoristivosti od 76,85% oko obje osi.

Odabrani profili rešetke :

GORNJI POJAS REŠETKE - SHS 120x120x7,1

DONJI POJAS REŠETKE - SHS 70x70x8

VANJSKE VERTIKALE - SHS 40x40x4

VANJSKE DIJAGONALE - SHS 55x55x4

5.1.5. STUPOVI OKVIRA (POZICIJA 1)

PROFIL:	vrućevaljani	HEA 200	$\varepsilon = 0.81$		
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	19	r (cm)	1,8	t_f (cm)	1
h (cm)	20	A (cm ²)	53,8	t_w (cm)	0,65
$W_{EL,Y}$ (cm ³)	389	I_y (cm ⁴)	3690	I_w (cm ⁶)	108000
$W_{PL,Y}$ (cm ³)	429,17	I_z (cm ⁴)	1340	I_T (cm ⁴)	21
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	ν	0.30

Rezne sile uslijed kritičnih kombinacija za mjerodavni stup:

GSN 2
$M_{Ed} = 44,83 \text{ (kNm)}$
$V_{Ed} = 10,67 \text{ (kN)}$
$N_{Ed} = -123,38 \text{ (kN)}$

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2*t_f-2*r}{t_w} = 20,62$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{d}{t_w} \leq 72 \varepsilon = 58,32$ Hrbat je klase 1

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0.5*(b-2*r-t_w)}{t_f} = 7,375$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t_f} \geq 9 \varepsilon = 7,29$ Pojasnice nisu klase 1

Uvjet za klasu 2: $\frac{c}{t_f} \geq 10 \varepsilon = 8,1$ Pojasnice su klase 2

Poprečni presjek je klase 2.

Klasifikacija hrpta izloženog tlaku i savijanju:

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

$$a = N_{Ed} / (2 \cdot t_w) \cdot f_y / Y_{M0} = 2,673$$

$$\alpha = (1/d) \cdot ((d/2)+a) = 0,699511651$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2*t_f-2*r}{t_w} = 22,15 < \frac{396 \varepsilon}{13\alpha-1} = 39,63$$

Hrbat je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Savijanje:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{429,17 * 35,5}{1} = 15235,535 \text{ (kNcm)} = 152,36 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd} = 152,36 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^{Gsn 1} = 44,83 \text{ (kNm)}$$

- Posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{17,7}{1} = 17,7 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f = 18,08 \text{ (cm}^2) \geq \eta * h_w * t_w = 13,81 \text{ (cm}^2) \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

$$V_{Rd}^Z = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{18,08 * 35,5}{1,7321} = 370,57 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^Z = 370,57 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 10,67 \text{ (kN)}$$

- Uzdužna tlačna sila

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{53,8 * 35,5}{1} = 1909,9 \text{ (kN)}$$

$$N_{c,Rd} = 1909,9 \text{ (kN)} \geq N_{Ed}^{Gsn 1} = 123,38 \text{ (kN)}$$

- Interakcija M-V-N (za kritičniju V-N kombinaciju GSN 2.):

$$0,25 * N_{c,Rd} = 477,48 \text{ (kN)} \geq N_{Ed}^{Gsn 1} = 123,38 \text{ (kN)}$$

$$0,5 * V_{z,Rd} = 328,85 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^{Gsn 1} = 10,67 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila!

Otpornost elementa:

- Savijanje:

$$L_{CR} = 2L = 8,4 \text{ (m)} = 840 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,77 \quad C_2 = 0,0$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right] = 12705,6 \text{ (kNcm)} = 127,1 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{CR}}} = 0,755 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4 \quad \text{Reduciramo } M_{c,Rd} \text{ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.}$$

Faktor imperfekcije: $\alpha_{LT} = 0.21 \leftarrow$ Krivulja izvijanja : a $\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{b} = 1,05 \leq 2 \\ \text{Vruće valjani I presjek} \end{array} \right.$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2) = 0,843$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} * \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,821$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 5936,952 \text{ (kNcm)} = 59,37 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^{GSN^2} = 44,83 \text{ (kNm)}$$

- Tlačna sila:

$$L_i^Z = 3,50 \text{ (m)} = 350 \text{ (cm)}$$

$$L_i^Y = 2 * 4.20 \text{ (m)} = 840 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 2260,42 \text{ (kN)}$$

$$N_{CR}^Y = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_i^2} = 1084,48 \text{ (kN)}$$

Izvijanje oko osi Z-Z: Faktor imperfekcije: $\alpha = 0.49 \leftarrow$ Linija izvijanja: b $\left\{ \begin{array}{l} t_f \leq 100 \text{ (mm)} \\ \frac{h}{b} = 0,95 < 1.2 \end{array} \right.$

Izvijanje oko osi Y-Y: Faktor imperfekcije: $\alpha = 0.34 \leftarrow$ Linija izvijanja: a $\left\{ \begin{array}{l} t_f \leq 100 \text{ (mm)} \\ \frac{h}{b} = 0,95 < 1.2 \end{array} \right.$

$$\lambda^Z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Z}} = 0,919$$

$$\lambda^Y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR}^Y}} = 1,327$$

$$N_{B,Rd} = \chi^Y * \frac{A * f_y}{\gamma_{m1}} = 790,81 \geq N_{Ed} = 123,38$$

- Interakcija $M_b - N_b$ (jednoosno savijanje):

$$C_{MY} = C_{MLT} = 0,6 \leftarrow 0,6 + 0,4\Psi \geq 0,4 ; \Psi = 0$$

$$k_{yy} = C_{MY} \left(1 + (\chi^Y - 0.2) \frac{N_{Ed}}{\chi^Y * N_{Rd}} \right) \leq C_{MY} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi^Y * N_{Rd}} \right) \quad k_{yy} = 0,648$$

$$k_{zy} = 0.6 + \lambda^Z \leq \left(1 - \frac{0.1\lambda^Z}{C_{MLT}} * \frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi^Y * N_{Rk}} \right) \quad k_{zy} = 0,9761$$

$$\frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi^Y * N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}^Y * \gamma_{m1}}{\chi^{LT} * M_{Rk}^Y} = 0,8041$$

$$\frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi^Z * N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed}^Y * \gamma_{m1}}{\chi^{LT} * M_{Rk}^Y} = 0,9979$$

Profil HE 200 A zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 99,79 %

5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.2.1. ZABATNI STUPOVI (POZICIJA 24, 25)

PROFIL:	vrućevaljani	HEA 200		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	19	r (cm)	1,8	t_f (cm)	1
h (cm)	20	A (cm ²)	53,8	t_w (cm)	0,65
$W_{EL,Y}$ (cm ³)	389	I_y (cm ⁴)	3690	I_w (cm ⁶)	108000
$W_{PL,Y}$ (cm ³)	429,17	I_z (cm ⁴)	1340	I_T (cm ⁴)	21
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije za mjerodavni zabatni stup:

$$M_{Ed} = 21,43 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 14,92 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ (kN)} \rightarrow \text{zanemarena vlastita težina}$$

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = 20,62$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon = 58,32 \quad \text{Hrbat je klase 1}$$

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0.5 \cdot (b - 2 \cdot r - t_w)}{t_f} = 7,88$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon = 7,29 \quad \text{Pojasnice su klase 2}$$

Poprečni presjek je klase 2.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Savijanje:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{429,17 \cdot 35,5}{1} = 15235,53 \text{ (kNcm)} = 152,35 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd} = 152,35 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed} = 21,43 \text{ (kNm)}$$

- Posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{17,7}{0,65} = 27,23 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{V,Z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 18,08 \text{ (cm}^2\text{)} \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 13,81 \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

$$V_{Rd}^Z = V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{18,08 * 35,5}{1,7321} = 370,57 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^Z = 370,57 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 14,92 \text{ (kN)}$$

Interakcija M-V:

$$0,5 * V_{z,Rd} = 185,28 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 14,92 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila!

Otpornost elementa:

- Savijanje:

$$L_{CR} = 5,748 \text{ (m)} = 574,8 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,0$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right] = 14125,5 \text{ (kNcm)} = 141,3 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{PLY} * f_y}{M_{CR}}} = 1,039 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4 \quad \text{Reduciramo } M_{c,Rd} \text{ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.}$$

$$\text{Faktor imperfekcije: } \alpha_{LT} = 0,21 \quad \leftarrow \quad \text{Krivulja izvijanja : a} \begin{cases} \frac{h}{b} = 0,95 \leq 2 \\ \text{Vruće valjani I presjek} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2) = 1,127$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} * \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,639$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{ply} * f_y}{\gamma_{m1}} = 9729,765 \text{ (kNcm)} = 97,30 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed} = 21,43 \text{ (kNm)}$$

Profil HEA 200 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 22,02 %, no zbog male iskoristivosti uzimamo manji profil.

PROFIL:	vrućevaljani	HEA 140		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	14	r (cm)	1,2	t_f (cm)	0,85
h (cm)	13,3	A (cm ²)	31,42	t_w (cm)	0,55
$W_{EL,Y}$ (cm ³)	155,4	I_y (cm ⁴)	1033	I_w (cm ⁶)	14729
$W_{PL,Y}$ (cm ³)	173,5	I_z (cm ⁴)	389,3	I_T (cm ⁴)	8,032
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije za mjerodavni zabatni stup:

$$M_{Ed} = 21,43 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 14,92 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ (kN)} \rightarrow \text{zanemarena vlastita težina}$$

Klasifikacija profila:

- Hrnat (savijanje):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = 16,72$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{d}{t_w} \leq 72 \varepsilon = 58,32 \quad \text{Hrnat je klase 1}$$

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0.5 \cdot (b - 2 \cdot r - t_w)}{t_f} = 6,5$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t_f} \leq 9 \varepsilon = 7,29 \quad \text{Pojasnica je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Savijanje:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{173,5 \cdot 35,5}{1} = 6159,25 \text{ (kNcm)} = 61,59 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd} = 61,59 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed} = 21,43 \text{ (kNm)}$$

- Posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{11,6}{0,55} = 21,1 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 10,12 \text{ (cm}^2\text{)} \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 7,66 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Uvjet zadovoljen!

$$V_{Rd}^Z = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{10,12 \cdot 35,5}{1,7321} = 207,42 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^Z = 207,42 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 14,92 \text{ (kN)}$$

Interakcija M-V:

$$0.5 * V_{z,Rd} = 103,71 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 14,92 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila!

Otpornost elementa:

- Savijanje:

$$L_{CR} = 5,748 \text{ (m)} = 574,8 \text{ (cm)}$$

$$k = 1.0 \quad C_1 = 1.0$$

$$k_w = 1.0 \quad C_2 = 0$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right] = 4254,4 \text{ (kNcm)} = 42,5 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{CR}}} = 1,203 \geq \lambda_{LT,0} = 0.4 \quad \text{Reduciramo } M_{c,Rd} \text{ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.}$$

$$\text{Faktor imperfekcije: } \alpha_{LT} = 0.21 \quad \leftarrow \quad \text{Krivulja izvijanja : a} \begin{cases} \frac{h}{b} = 0.95 \leq 2 \\ \text{Vruće valjani I presjek} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2) = 1,329$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} * \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,528$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 3251,873 \text{ (kNcm)} = 32,52 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed} = 21,43 \text{ (kNm)}$$

Profil HEA 140 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 65,9 %

5.2.2. KROVNI SPREGOVI (POZICIJA 19-21)

Dijagonale

PROFIL:	vrućevaljani	RND 18		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)	1.8	r (cm)	0.9	A (cm ²)	2.55
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = +33,42 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka:

- Vlačna sila:

$$N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,55 \cdot 35,5}{1} = 90,525 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 33,42 \text{ (kN)}$$

Profil RD18 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 36,92%, no uzima se manji profil zbog male iskoristivosti.

PROFIL:	vrućevaljani	RND 12		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)	1.2	r (cm)	0.6	A (cm ²)	1,13
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = +33,42 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka:

- Vlačna sila:

$$N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,13 \cdot 35,5}{1} = 40,115 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 33,42 \text{ (kN)}$$

Profil RD12 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 83,31%.

Vertikalne

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 50x50x6,3	$\varepsilon = 0.81$		
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	5,0	t (cm)	0,63		
h (cm)	5,0	A (cm ²)	8,73		
W _{EL,Y} (cm ³)	13,10	I _y (cm ⁴)	10,23		
W _{PL,Z} (cm ³)	17,01	I _z (cm ⁴)	10,23		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

- Tlačna sila:

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,73 \cdot 35,5}{1} = 309,915 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 19,02 \text{ (kN)}$$

Otpornost elementa na izvijanje:

Dužina izvijanja elementa: $L_{cr,y} = 580 \text{ (cm)}$

$$L_{cr,z} = 580 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR}^Z = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_i^2} = 20,20 \text{ (kN)}$$

$$\lambda^Z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}^Z}} = 3,92 \quad \text{Linija izvijanja: a} \rightarrow \text{Faktor imperfekcije: } \alpha = 0.21$$

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 8,57$$

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

$$\chi^Z = 0,056$$

$$N_{b,Rd} = \chi^Z \cdot N_{C,Rd} = 21,05 \geq 19,02$$

Profil SHS 50/50/6,3 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 90,36%.

5.2.3. BOČNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI (ZATEGE) (POZICIJA 22, 23)

PROFIL:	vrućevaljani	RND 18		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)	1.8	r (cm)	0.9	A (cm ²)	2.55
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 5.2.3.):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = +31,47 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka:

- Vlačna sila:

$$N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,55 \cdot 35,5}{1} = 90,525 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 31,47 \text{ (kN)}$$

Profil RD18 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 35,56%, no zbog male iskoristivosti odabiremo manji profil.

PROFIL:	vrućevaljani	RND 12		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)	1.2	r (cm)	0.6	A (cm ²)	1,13
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 5.2.3.):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = +31,47 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka:

- Vlačna sila:

$$N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 35,5}{1} = 40,115 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 31,47 \text{ (kN)}$$

Profil RD12 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 78,45%.

5.2.4. KROVNE PODROŽNICE (POZICIA 17)

PROFIL:	vrućevaljani	IPE 200	$\varepsilon = 0.81$		
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	10	r (cm)	1,2	t_f (cm)	0,85
h (cm)	20	A (cm ²)	28,48	t_w (cm)	0,56
$W_{EL,Y}$ (cm ³)	194,3	I_y (cm ⁴)	1943	I_w (cm ⁶)	12746
$W_{PL,Y}$ (cm ³)	220,6	I_z (cm ⁴)	142,4	I_T (cm ⁴)	6,85
$W_{EL,Z}$ (cm ³)	28,47	$A_{V,Z}$ (cm ²)	11,45		
$W_{PL,Z}$ (cm ³)	44,61	$A_{V,Y}$ (cm ²)	17,73		
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	ν	0.30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 5.2.4.):

Y-Y	Z-Z
$M_{Ed,Y} = 17.67 \text{ (kNm)}$	$M_{Ed,Z} = 1,03 \text{ (kNm)}$
$V_{Ed,Y} = 0.71 \text{ (kN)}$	$V_{Ed,Z} = 12,18 \text{ (kN)}$

Klasifikacija profila:

- Hrnat (savijanje)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = 28,39$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{d}{t_w} \leq 72 \varepsilon = 58.32$ Hrnat je klase 1

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0.5 \cdot (b - 2 \cdot r - t_w)}{t_f} = 4.14$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t_f} \leq 9 \varepsilon = 7,29$ Pojasnice su klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Savijanje (Y-Y):

$$M_{c,Rd}^Y = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{220,6 \cdot 35,5}{1} = 78,313 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd}^Y = 78,313 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^Y = 17,67 \text{ (kNm)}$$

- Savijanje (Z-Z):

$$M_{c,Rd}^Z = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{44,61 \cdot 35,5}{1} = 15,84 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd}^Z = 15,84 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^Z = 1,03 \text{ (kNm)}$$

- Posmik (Z)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2*t_f}{t_w} = \frac{18,3}{0,56} = 32,68 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{V,Z} = A - 2*b*t_f + (t_w+2*r)*t_f = 14 \text{ (cm}^2) \geq \eta * h_w * t_w = 10,43 \text{ (cm}^2) \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

$$V_{Rd}^Z = V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,z}*f_y}{\sqrt{3}*\gamma_{m0}} = \frac{14,00*35,5}{1,7321} = 286,94 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^Z = 286,94 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^Z = 12,18 \text{ (kN)}$$

- Posmik (Y)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2*t_f}{t_w} = \frac{18,3}{0,56} = 32,68 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{V,Y} = 17,00 \geq \eta * h_w * t_w = 10,43 \text{ (cm}^2) \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

$$V_{Rd}^Y = V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,y}*f_y}{\sqrt{3}*\gamma_{m0}} = \frac{17*35,5}{1,7321} = 348,43 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^Y = 348,43 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^Y = 0,71 \text{ (kN)}$$

$$0,5*V_{RdZ} = 143,47 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,Z} = 12,18 \text{ (kN)}$$

$$0,5*V_{RdY} = 174,22 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,Y} = 0,71 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila!

- Savijanje:

$$L_{CR} = 5,80 \text{ (m)} = 580 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,0$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0$$

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

$$= 2354,4 \text{ (kNcm)} = 23,54 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{PL,Y} * f_y}{M_{CR}}} = 1,824 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4 \quad \text{Reduciramo } M_{c,Rd} \text{ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.}$$

Faktor imperfekcije: $\alpha_{LT} = 0.21$ ← Krivulja izvijanja : a $\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{b} = 2 \leq 2 \\ \text{Vruće valjani I presjek} \end{array} \right.$

$$\Phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2) = 2,334$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} * \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,264$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 2066,579 \text{ (kNcm)} = 20,666 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^Y = 17,67 \text{ (kNm)}$$

Profil IPE200 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 85,5%

5.2.5. BOČNE PODROŽNICE (POZICIJA 18)

PROFIL:	vrućevaljani	IPE 180		$\varepsilon = 0.81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35.5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$			
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	9.1	r (cm)	0,9	b (cm)	9.1
h (cm)	18.0	A (cm ²)	23,95	h (cm)	18.0
W _{EL,Y} (cm ³)	146,3	I _y (cm ⁴)	1317	W _{EL,Y} (cm ³)	146,3
W _{PL,Y} (cm ³)	166,4	I _z (cm ⁴)	100,9	W _{PL,Y} (cm ³)	166,4
W _{EL,Z} (cm ³)	22,16	A _{V,Z} (cm ²)	11,25	W _{EL,Z} (cm ³)	22,16
W _{PL,Z} (cm ³)	34,6	A _{V,Y} (cm ²)	14,56	W _{PL,Z} (cm ³)	34,6
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	E (kN/cm ²)	21000

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 5.2.5.):

Y-Y	Z-Z
M _{Ed,Y} = 10,47	M _{Ed,Z} = 1,46(kNm)
V _{Ed,Y} = 1,01 (kN)	V _{Ed,Z} = 7,22 (kN)

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2*t_f-2*r}{t_w} = 27,55$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{d}{t_w} \leq 72 \varepsilon = 58.32$ Hrbat je klase 1

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0.5*(b-2*r-t_w)}{t_f} = 4.23$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t_f} \leq 9 \varepsilon = 7,29$ Pojasnice su klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

- Savijanje (Y-Y):

$$M_{c,Rd}^Y = M_{pl,Rd}^Y = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{166,4 * 35,5}{1} = 59,072 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd}^Y = 59,072 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^Y = 10,47 \text{ (kNm)}$$

- Savijanje (Z-Z):

$$M_{c,Rd}^Z = M_{pl,Rd}^Z = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{34,61 * 35,5}{1} = 12,283 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd}^Z = 12,283 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^Z = 1,46 \text{ (kNm)}$$

- Posmik (Z)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2*t_f}{t_w} = \frac{16,4}{0,53} = 30,94 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{V,Z} = A - 2*b*t_f + (t_w + 2*r)*t_f = 11,25 \text{ (cm}^2) \geq \eta * h_w * t_w = 10,43 \text{ (cm}^2)$$

Uvjet zadovoljen!

$$V_{Rd}^Z = V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{11,25 * 35,5}{1,7321} = 230,58 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^Z = 230,58 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^Z = 7,22 \text{ (kN)}$$

- Posmik (Y)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2*t_f}{t_w} = \frac{16,4}{0,53} = 30,94 \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika!

$$A_{V,y} = A - 2*b*t_f + (t_w + 2*r)*t_f = 14,56 \text{ (cm}^2) \geq \eta * h_w * t_w = 10,43 \text{ (cm}^2)$$

Uvjet zadovoljen!

$$V_{Rd}^y = V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{14,56 * 35,5}{1,7321} = 298,42 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd}^y = 298,42 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^y = 1,01 \text{ (kN)}$$

- Savijanje:

$$L_{CR} = 5,80 \text{ (m)} = 580 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,0$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right] = 1628,5 \text{ (kNcm)} = 16,285 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{CR}}} = 1,905 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4 \quad \text{Reduciramo } M_{c,Rd} \text{ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.}$$

$$\text{Faktor imperfekcije: } \alpha_{LT} = 0,21 \quad \leftarrow \quad \text{Krivulja izvijanja : } a \begin{cases} \frac{h}{b} \leq 2 \\ \text{Vruće valjani I presjek} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2) = 2,493$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} * \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,244$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 1440,485 \text{ (kNcm)} = 14,405 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^y = 10,47 \text{ (kNm)}$$

Profil IPE 180 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti od 72,68%

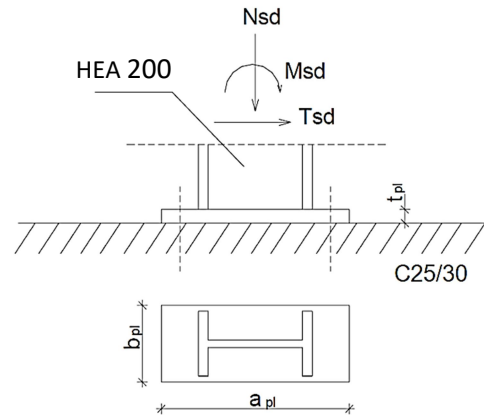
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Proračun spojeva odrađen je nakon dimenzioniranja svih elemenata konstrukcije te su sukladno tome uzeti dijagrami reznih sila s usvojenim profilima kao mjerodavni.

6.1. UPETI SPOJ TEMELJ – STUP

GSN	
M_{Ed}	44,85 (kNm)
V_{Ed}	10,68 (kN)
N_{Ed}	- 123,48 (kN)

PODATCI O PROFILU			
b (cm)	20	t_F (cm)	1
h (cm)	19	t_w (cm)	0,65
PODATCI O VIJCIMA			
ϕ (mm)	M20	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	8,8	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500



GSN 1

Skica upetog spoja temelj stup

Desni stup

1D internal forces

Values: M_y

Linear calculation

Combination: Gsn1

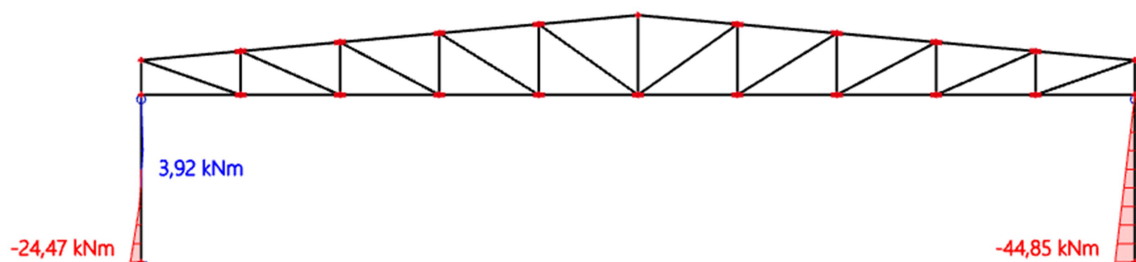
Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = Stupovi -

HEA200



1D internal forces

Values: V_z

Linear calculation

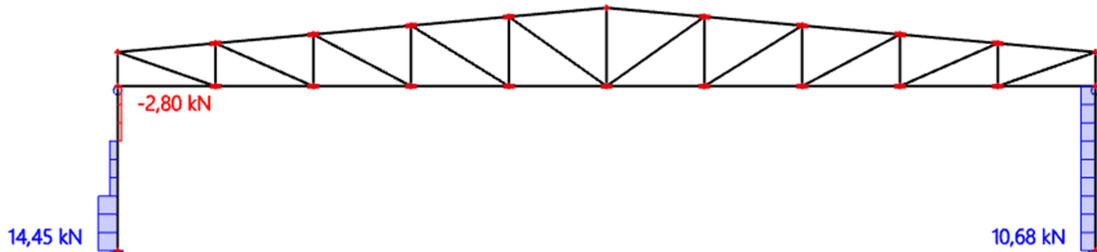
Combination: Gsn1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = Stupovi -
HEA200



1D internal forces

Values: N

Linear calculation

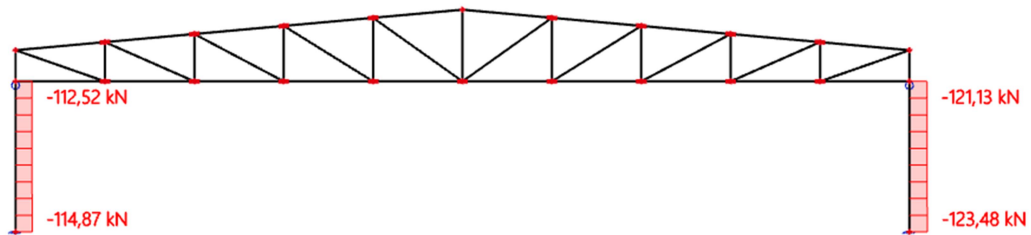
Combination: Gsn1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = Stupovi -
HEA200



$$N_P^M = \frac{M_{Ed}}{h-t_f} = \frac{44,85}{0,19-0,010} = 249,17 \text{ (kN)}$$

$$N_P^N = \frac{A^P}{A} N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1}{53,83} 123,48 = 45,88 \text{ (kN)}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$F_{W,Ed} = N_P = N_P^M + N_P^N = 249,17 + 45,88 = 295,05 \text{ (kN)}$$

$$a_{MAX} = 0,7 \cdot t_{MIN} = 0,7 \cdot 6,5 = 4,6 \text{ (mm)}$$

→ Usvojeno: $a = 4 \text{ (mm)}$

Otpornost vara:

$$\text{Duljina vara pojasnice: } l = 2 \cdot 200 = 400$$

Duljina vara hrpta : $l = 2 \cdot 170 = 340$

- Uzdužna sila:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L_{var}^F}{100} = \frac{130,9}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 418,88 \text{ (kN)} \geq F_{W,Ed} = 203,29 \text{ (kN)}$$

- Poprečna sila:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L_{var}^W}{100} = \frac{130,9}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 356,05 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 10,68 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

Za M 20: $C_{MIN} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,66 \text{ (mm)} \rightarrow C = 50 \text{ (mm)}$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{44,85}{123,48} = 0,363 \text{ (m)}$$

$$X_1 = C + h - \frac{t_f}{2} = 50 + 190 - 5 = 245 \text{ (mm)} = 0,235 \text{ (m)}$$

$$X_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 363 - 95 + 5 = 273 \text{ (mm)} = 0,273 \text{ (m)}$$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{T,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{T,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 123,48 \cdot \frac{0,273}{0,235} = 143,45 \text{ (kN)}$$

- Uzdužna sila:

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{T,Rd} = \frac{F_{T,Rk}}{1.25} = \frac{110,3}{1.25} = 88,24 \text{ (kN)} \geq \frac{F_{T,Ed}}{2} = 71,73 \text{ (kN)}$$

- Posmik:

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk}}{1.25} = \frac{73,5}{1.25} = 58,8 \text{ (kN)} \geq \frac{V_{Ed}}{4} = 2,67 \text{ (kN)}$$

- Interakcija:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{T,Ed}}{1,4 \cdot F_{T,Rd}} = 0,0454 + 0,581 = 0,63 \leq 1,00$$

Proračun dimenzija pločice:

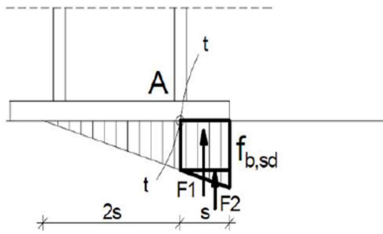
$$a_{PL}^{MIN} = h + 2(c + e_1) = 190 + 2(50 + 50) = 390 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 200 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 231,31 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = p_2 + 2e_2 = 70 + 2 \cdot 40 = 150 \text{ (mm)}$$

ODABRANO: 400x240 (mm)

Proračun debljine pločice:



Pritisak po omotaču rupe:

$$F_{B,Rd} = \frac{F_{B,Rk} t_{PL}}{1.25 \cdot 10} = \frac{193.2 t_{PL}}{1.25 \cdot 10} = 15.512 t_{PL} \geq F_{B,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 2.67 \text{ (kN)}$$

$$t_{PL} \geq 0.172 \text{ (mm)}$$

Savijanje pločice zbog odgovora betona:

$$S = (400 - 190 + 10) / 2 = 110 \text{ (mm)} = 11 \text{ (cm)}$$

$$R = F_{T,Ed} + N_{Ed} = 143.46 + 125.48 = 268.94 \text{ (kN)}$$

Naprezanje u betonu:

$$f_{b,Ed} = 2R / (3 \cdot s \cdot b_{PL}) = 537.88 / (3 \cdot 11 \cdot 24) \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 0.679 \leq f_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = 1.67 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

Savijanje pločice:

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} f_{b,sd} \cdot s \cdot b}{2} \cdot \frac{2}{3} s = \frac{2}{3} \cdot 6790 \cdot 0.11 \cdot 0.240 \cdot \frac{0.11}{2} + \frac{\frac{1}{3} 6790 \cdot 0.11 \cdot 0.240}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.11 = 8.764 \text{ kNm}$$

Savijanje pločice zbog vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{T,Ed} \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 143.45 (0.05 + 0.005) = 7.89 \text{ (kNm)}$$

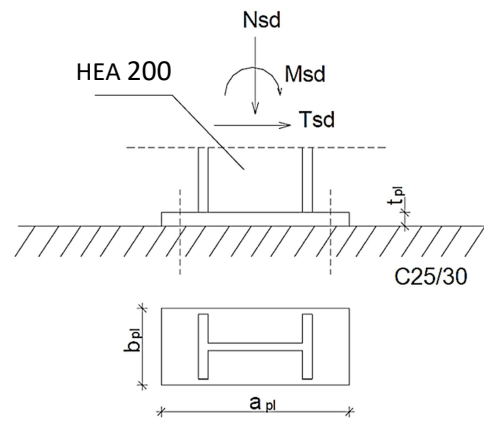
$$M_{Ed}^{MAX} \leq \frac{W_{MIN} \cdot f_y}{1.10} \rightarrow t_{PL}^2 \geq \frac{1.1 \cdot M_{Ed}^{MAX}}{f_y} \cdot \frac{6}{b_{PL}} = \frac{1.1 \cdot 789}{35.5} \cdot \frac{6}{24} = 6.112$$

$$t_{PL} \geq 2.47 \text{ (cm)}$$

Dokaz nosivosti na osnovu kombinacije GSN 3

GSN 3	
M_{Ed}	48,45 (kNm)
V_{Ed}	17,95 (kN)
N_{Ed}	32,36 (kN)

PODATCI O PROFILU			
b (cm)	20	t_f (cm)	1
h (cm)	19	t_w (cm)	0,65
PODATCI O VIJCIMA			
ϕ (mm)	M20	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	8,8	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500



Skica upetog spoja temelj stup

GSN 3

Lijevi stup

1D internal forces

Values: M_y

Linear calculation

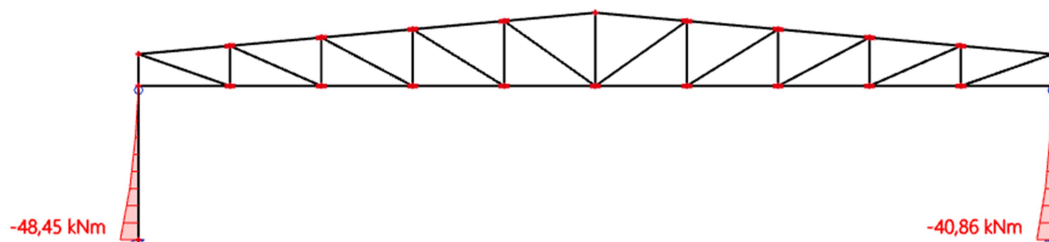
Combination: Gsn3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = Stupovi -
HEA200



1D internal forces

Values: V_z

Linear calculation

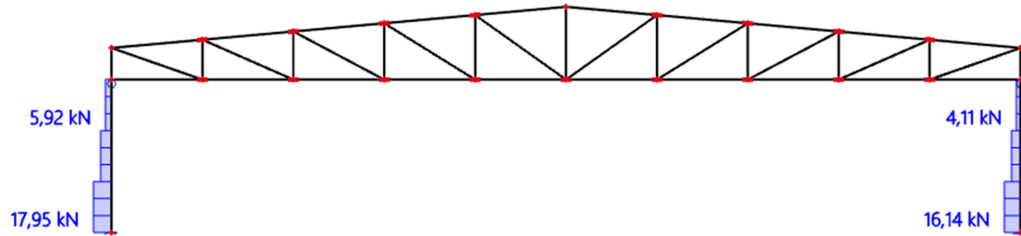
Combination: Gsn3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = Stupovi -
HEA200



1D internal forces

Values: N

Linear calculation

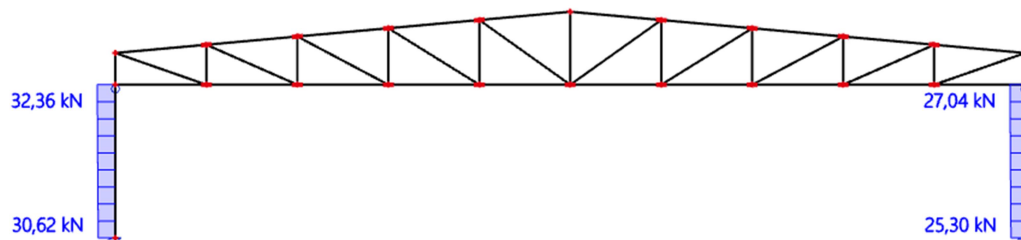
Combination: Gsn3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = Stupovi -
HEA200



$$N_P^M = \frac{M_{Ed}}{h-t_f} = \frac{48,45}{0,19-0,010} = 269,17 \text{ (kN)}$$

$$N_P^N = \frac{A^P}{A} N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1}{53,83} 32,36 = 12,02 \text{ (kN)}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$F_{W,Ed} = N_P = N_P^M + N_P^N = 269,17 + 12,02 = 281,19 \text{ (kN)}$$

$$a_{MAX} = 0,7 \cdot t_{MIN} = 0,7 \cdot 6,5 = 4,55 \text{ (mm)} \quad \rightarrow \text{Usvojeno: } a = 4 \text{ (mm)}$$

Otpornost vara:

$$\text{Duljina vara pojasnice: } l = 2 \cdot 200 = 400$$

$$\text{Duljina vara hrpta : } l = 2 \cdot 170 = 340$$

- Uzdužna sila:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L_{var}^F}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 523,52 \text{ (kN)} \geq F_{W,Ed} = 281,19 \text{ (kN)}$$

- Poprečna sila:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L_{var}^W}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 444,92 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 281,19 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

$$\text{Za M 20: } C_{MIN} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,66 \text{ (mm)} \rightarrow C = 50 \text{ (mm)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{48,45}{32,36} = 1,497 \text{ (m)}$$

$$X_1 = C + h - \frac{t_f}{2} = 50 + 190 - 5 = 235 \text{ (mm)} = 0,235 \text{ (m)}$$

$$X_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 1497 - 95 + 5 = 1407 \text{ (mm)} = 1,407 \text{ (m)}$$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{T,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{T,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 32,36 \cdot \frac{1,407}{0,235} = 193,06 \text{ (kN)}$$

- Uzdužna sila:

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{T,Rd} = \frac{F_{T,Rk}}{1.25} = \frac{176,4}{1.25} = 141,12 \text{ (kN)} \geq \frac{F_{T,Ed}}{2} = 96,88 \text{ (kN)}$$

- Posmik:

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk}}{1.25} = \frac{117,6}{1.25} = 94,08 \text{ (kN)} \geq \frac{V_{Ed}}{4} = 4,49 \text{ (kN)}$$

- Interakcija:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{T,Ed}}{1,4 \cdot F_{T,Rd}} = 0,0477 + 0,4904 = 0,538 \leq 1,00$$

Proračun dimenzija pločice:

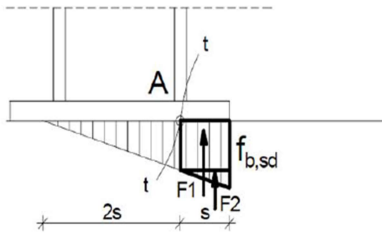
$$a_{PL}^{MIN} = h + 2(c + e_1) = 190 + 2(50 + 50) = 390 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 200 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 231,31 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = p_2 + 2e_2 = 70 + 2 \cdot 40 = 150 \text{ (mm)}$$

ODABRANO: 450x240 (mm)

Proračun debljine pločice:



Pritisak po omotaču rupe:

$$F_{B,Rd} = \frac{F_{B,Rk} t_{PL}}{1.25 \cdot 10} = \frac{193.9 t_{PL}}{1.25 \cdot 10} = 15.512 t_{PL} \geq F_{B,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 4.49 \text{ (kN)}$$

$$t_{PL} \geq 0.289 \text{ (mm)}$$

Savijanje pločice zbog odgovora betona:

$$S = (400 - 190 + 10) / 2 = 110 \text{ (mm)} = 11 \text{ (cm)}$$

$$R = F_{T,Ed} + N_{Ed} = 193.76 + 32.36 = 226.12 \text{ (kN)}$$

Naprezanje u betonu:

$$f_{b,Ed} = 2R / (3 \cdot s \cdot b_{PL}) = 452.24 / (3 \cdot 11 \cdot 24) \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 0.571 \leq f_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = 1.67 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

Savijanje pločice:

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} f_{b,Ed} \cdot s \cdot b}{2} \cdot \frac{2}{3} s = \frac{2}{3} \cdot 5480 \cdot 0.11 \cdot 0.250 \cdot \frac{0.11}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 5480 \cdot 0.11 \cdot 0.240}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.11 = 7.29 \text{ kNm}$$

Savijanje pločice zbog vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{T,Ed} \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 193.76 (0.05 + 0.005) = 10.66 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed}^{MAX} \leq \frac{W_{MIN} \cdot f_y}{1.10} \rightarrow t_{PL}^2 \geq \frac{1.1 \cdot M_{Ed}^{MAX}}{f_y} \cdot \frac{6}{b_{PL}} = \frac{1.1 \cdot 1066}{35.5} \cdot \frac{6}{25} = 7.927$$

$$t_{PL} \geq 2.82 \text{ (cm)}$$

Konačno usvojene dimenzije pločice : **450 x 240 x 30 (mm) (Pozicija 26)**

Konačno usvojeni vijci **M20 K.V. 8,8.**

6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

$$N_{Ed} = 364,41$$

SHS 70x70x8

KONTROLA VAROVA

Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 8 = 5,6mm$$

odabrano $a = 5 mm$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 5 \cdot 70 = 350mm$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{350}{100} = 458,08 kN > N_{Ed} = 364,41kN$$

PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: vijci M20 k.v.8.8.

n=4vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{176,4}{1.25} = 141,12 kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{364,41}{4} = 91,1 kN < F_{t,Rd} = 141,12 kN$$

PRORAČUN PLOČE

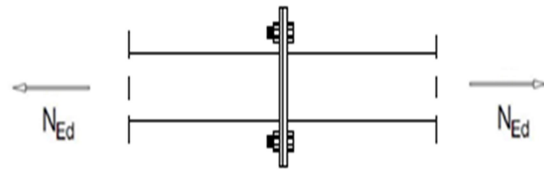
Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a \sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 5 \sqrt{2} = 47,07 mm$$

$$b_{pl,min} = 2e_2 + p_2 = 2 \cdot 40 + 70 = 150 mm$$

$$b_{pl,min} = b + 2a \sqrt{2} + 20 = 70 + 14,14 + 20 = 104,14 mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 220x220 mm



Skica vlačnog nastavka rešetke

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

$$e = 25 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 220 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 51,63 \cdot 0,025 = 4,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \sigma_{min}}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 460 \cdot 6}{22 \cdot 35,5}} = 1,97 \text{ cm}$$

Zadovoljava ploča debljine $t_{pl} = 21 \text{ mm}$

Odabrane dimenzije pločice su 220x220x20mm. (Pozicija 28)

Konačno usvojeni vijci M20 K.V. 8.8.

6.3 NASTAVAK GORNJEG POJASA

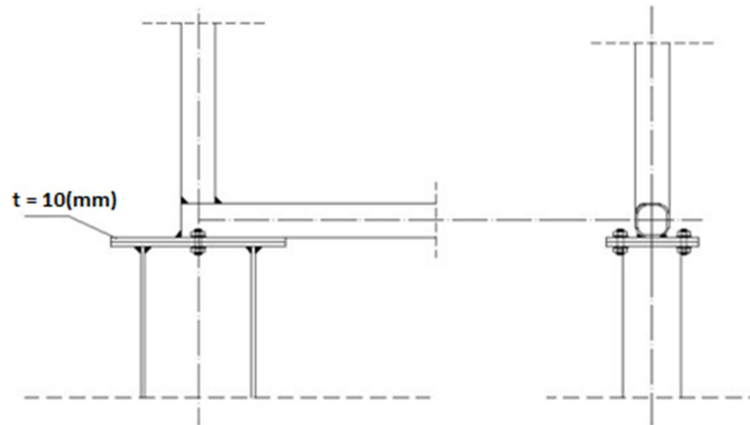
Budući da u gornjem pojasu rešetke uglavnom prevladavaju tlačne sile koje djeluju stabilizirajuće na spoj radi jednostavnosti bimogli usvojiti iste dimenzije spoja kao i za nastavak donjeg pojasu rešetke, no zbog konstruktivnih razloga usvajamo veće dimenzije ploče.

Napomena: U jednoj od kombinacija prema GSN-u na mjestu nastavka gornjeg pojasu javlja se vlačna sila značajno manjeg iznosa od one u donjem pojasu. S obzirom da se radi o profilu koji za razliku od donjeg pojasu ima veću debljinu i dužinu pojasnice radi jednostavnosti izvedbe možemo usvojiti iste dimenzije spoja.

Odabrane dimenzije ploče su **280x280x20mm**. (Pozicija 30)

Konačno usvojeni vijci **M20 K.V. 8,8**.

6.4 SPOJ STUP REŠETKA



DJELOVANJA:	
N_{ED}	= 123,50 (kN) (tlak)
V_{ED}	= 0,41 (kN)

PODACI O POPREČNOM PRESJEKU SHS 40/40/4			
b(cm)	4	t(cm)	0,4
h(cm)	4		
PODATCI O PROFILU HEA 200			
b (cm)	20	t_F (cm)	1
h (cm)	19	t_W (cm)	0,65
PODATCI O VIJCIMA			
ϕ (mm)	ϕ 20	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	8,8	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500

Otpornost vara:

Duljina vara pojasnice: $l = 2 \cdot 200 = 400$

Duljina vara hrpta : $l = 2 \cdot 170 = 340$

Maksimalna debljina vara $a_{MAX} = 0.7 \cdot t_{MIN} = 0.7 \cdot 6,5 = 4,55$ (mm) \rightarrow Usvojeno: $a = 4$ (mm)

Kontrola varova:

- Uzdužna sila:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L_{var}^F}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 523,52 \text{ (kN)} \geq F_{W,Ed} 123,50 \text{ (kN)}$$

- Poprečna sila:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L_{var}^W}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 444,92 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 0,41 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

Za M 20: $C_{MIN} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,66$ (mm) \rightarrow Usvojeno: $C = 50$ (mm)

Otpornost vijka na posmik:

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk}}{1.25} = \frac{117,6}{1.25} = 94,08 \text{ (kN)} \geq \frac{V_{Ed}}{2} = 0,20 \text{ (kN)}$$

Proračun dimenzija pločice:

$$b_{pl,min} = b + 2 * a\sqrt{2} + 20 = 200 + 2 * 4\sqrt{2} + 20 = 231,31 \text{ (mm)}$$

$$a_{pl,min} = h + 2 * (c + e_1) = 190 + 2 * (50 + 50) = 390 \text{ (mm)}$$

Odabrano: 400 x 350 (mm)

Proračun debljine ploče t_{pl} :

Pritisak po omotaču rupe od osnovnog materijala:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = 0,21 \text{ (kN)} < F_{b,Ed} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t_{pl} > \frac{0,21 \cdot 1,25 \cdot 10}{193,2} = 0,001 \text{ (mm)}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} * c = 123,50 * 0,001 = 0,1235 \text{ (kNm)}$$

$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 12,35 * 6}{25 * 35,5}} = 0,30 \text{ (cm)} \rightarrow 3 \text{ (mm)}$$

Usvojene dimenzije pločice su: 400 x 350 x 10 mm. (Pozicija 27)

Konačno usvojeni vijci M20 K.V. 8,8.

6.5.SPOJ KROVNE PODROŽNICE NA GORNJI POJAS

Spoj podrožnice na gornji pojas izvest će se zavarivanjem pravokutne ploče na gornji pojas nosača dimenzija **100x260x10 mm**.

DJELOVANJA:
$V_{ED,Y} = 0,75(kN)$
$V_{ED,Z} = 4,61 (kN)$ (vjetar odižući)

PODACI O POPREČNOM PRESJEKU SHS 120/120/7,1			
b(cm)	12	t(cm)	0,71
h (cm)	12		
PODATCI O PROFILU IPE 200			
h (cm)	20	t _F (cm)	0,85
b (cm)	10	t _W (cm)	0,56
PODATCI O VIJCIMA			
φ (mm)	φ 20	f _{y,B} (N/mm ²)	300
K.V.	8,8	f _{u,B} (N/mm ²)	500

Maksimalna debljina vara $a_{MAX} = 0.7 \cdot t_{MIN} = 0.7 \cdot 7,1 = 4,97 (mm) \rightarrow$ Usvojeno: $a = 4 (mm)$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 70 = 280mm$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{163,6}{1,25} \cdot \frac{280}{100} = 366,46 kN > V_{ed,z} = 12,64kN$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{176,4}{1,25} = 141,12 kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{V_{z,ed}}{4} = \frac{4,61}{4} = 1,15 kN < F_{t,Rd} = 141,12 kN$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{117,6}{1,25} = 94,08 kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{V_{y,ed}}{4} = \frac{0,75}{4} = 0,19 kN < F_{t,Rd} = 94,08 kN$$

Konačno usvojeni vijci **M20 K.V. 8,8. (Pozicija 29)**

7. LITERATURA

- [1] Prof.dr.sc. Ivica Boko: Predavanja
- [2] Materijali sa vježbi: Osnove metalnih konstrukcija, katedra za metalne i drvene konstrukcije
- [3] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [4] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

8. NACRTI