

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

**Klarić, Dolores**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*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:123:790738>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



*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**

---

Dolores Klarić

Split, 2015.

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

Dolores Klarić

**Proračun čelične konstrukcije  
proizvodne hale**

Završni rad

Split, 2015.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT:** Dolores Klarić

**BROJ INDEKSA:** 4036

**KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstrukcije**  
**PREDMET:** Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: Fe-360 (S325)

Objekt se nalazi na području Rijeke

Razmak okvira: 6,1 (m)

U Splitu, 2. travnja 2015.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Boko Ivica

## SADRŽAJ:

1. Tehnički opis.....	1
2. Analiza opterećenja.....	4
2.1. Glavna nosiva konstrukcija .....	4
2.1.1. Stalno opterećenje – krovna ploha .....	4
2.1.2. Promjenjivo opterećenje - djelovanje snijega .....	5
2.1.3. Promjenjivo opterećenje - djelovanje vjetra.....	6
2.2. Sekundarna konstrukcija .....	11
2.2.1. Krovne podrožnice .....	11
2.2.2. Krovni vjetrovni spreg.....	11
2.2.3. Bočne podrožnice .....	12
2.2.4. Bočni (zidni) vjetrovni spreg.....	12
3. Dijagrami unutrašnjih sila za pojedina djelovanja .....	13
3.1. Vlastita težina konstrukcije .....	13
3.2. Stalno djelovanje .....	14
3.3. Opterećenje snijegom – S .....	16
3.4. Opterećenje vjetrom – W1.....	17
3.5. Opterećenje vjetrom – W2.....	19
4. Kontrola progiba (GSU) .....	21
4.1. Vertikalni progib u sredini donjeg pojasa rešetke.....	21
4.2. Horizontalni pomak vrha stupa .....	22
5. Granično stanje nosivosti.....	23
5.1. Glavna konstrukcija.....	23
5.1.1. Maksimalne rezne sile u stupu .....	23
5.1.2. Maksimalne rezne sile u rešetki .....	27
5.2. Sekundarna konstrukcija .....	30
5.2.1. Krovne podrožnice .....	30
5.2.2. Bočne podrožnice .....	31
5.2.3. Krovni spregovi .....	32
5.2.4. Bočni spregovi.....	32
6. Dimenzioniranje konstruktivnog sustava .....	33
6.1. Dimenzioniranje glavne konstrukcije.....	33
6.1.1. Dimenzioniranje rešetke konstruktivnog sustava.....	33
6.1.1.1. Gornji pojas (GP).....	33
6.1.1.2. Donji pojas (DP) .....	36
6.1.1.3. Ispuna – vertikalni štapovi (V) .....	38
6.1.1.4. Ispuna – dijagonalni štapovi (D).....	41
6.1.2. Dimenzioniranje stupova (S).....	43
6.1.2.1. Iskoristivost poprečnog presjeka .....	50

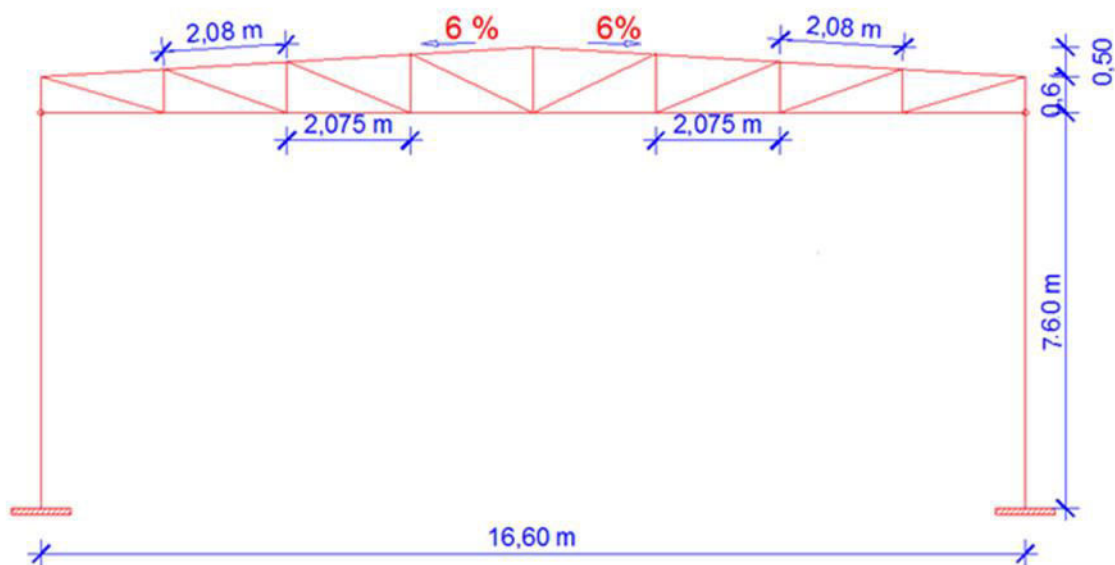
6.2.	Dimenzioniranje sekundarne konstrukcije .....	51
6.2.1.	Krovne podrožnice (K1).....	51
6.2.2.	Bočne podrožnice (B1).....	59
6.2.3.	Krovni spregovi (S1) .....	64
6.2.4.	Bočni spregovi (S2).....	65
7.	Proračun spojeva .....	66
7.1.	Dimenzioniranje vlačnog nastavka rešetke .....	66
7.2.	Dimenzioniranje spoja stup – rešetka.....	68
7.3.	Dimenzioniranje upetog spoja stup – temelj .....	71
8.	Nacrti.....	76
8.1.	Generalni plan pozicija M 1:200	
8.2.	Presjek kroz glavni okvir M 1:50	
8.3.	Radionički nacrt glavnog okvira M 1:50	
8.4.	Detalji spojeva M 1:10	
9.	Iskaz količine čelika	

# 1. TEHNIČKI OPIS

## Općenito:

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimenzije su 16,6 x 42,7 (m), visina iznosi 8,71 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 3,43^\circ$ , što je ekvivalentno padu od 6 %.

Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1.1 Geometrija glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale izveden je kao sustav 8 ravinskih okvira raspona 16,60 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 6,10 (m).

Na gornje pojaseve se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,53 (m).

Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem).

Kao pokrov koriste se tzv. sendvič paneli dvostruko profiliranog aluminijskog lima s toplinskom izolacijom između, debljine 5 cm. Ukupna debljina pokrova je 8 cm.

## **Konstruktivni elementi**

### **Rešetka**

Proračunom je odabrani donji pojas profila 140x80x6 (mm) i gornji pojas profila 140x80x6 (mm), te vertikalne dimenzija 70x70x3 (mm) i dijagonale 70x70x3 (mm). Zbog maksimalne proizvodne dužine od 12,0 (m), donji pojas se sastoji iz 3 dijela, jednog dužine 12 000 (mm) i druga dva 2300 (mm). Gornji pojas izrađen je iz četiri dijela, dva međusobno zavarena duljine 5185 (mm) i dva spojena vijcima (sa svake strane) duljine 3166 (mm).

### **Stupovi**

Proračunom su odabrani stupovi europskih širokopojasnih H profila HEB 400, svaki dužine 7600 (mm).

### **Podrožnice**

Odabrane su krovne podrožnice profila HE 180 A.

### **Sekundarni bočni nosači**

Odabrani sekundarni bočni nosači su profila HE 180 A

### **Spregovi**

Kao dijagonale krovnog sprega odabrane su čelične sajle  $\Phi$  33 mm.

Kao dijagonale bočnog sprega odabrane su čelične sajle  $\Phi$  33 mm.

## **Spojevi**

### **Vlačni nastavak rešetke**

Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 270x135x23(mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M16 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.

### **Stup – rešetka**

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom je konstruktivan zbog pojave samo tlačne sile, ostvaruje se čeonim pločama dimenzija 400x300x10 (mm) i vijcima M16 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

### **Stup – temelj**

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 680x346x40 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M27 k.v 10.9 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspanzirajući mort.



### **O proračunu konstrukcije**

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na konstrukciju i to:

- stalno (vlastita težina okvira, sekundarna konstrukcija, instalacije),
- snijeg,
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 6,1 (m) širine krovne plohe.

Odgovarajući koeficijenti za vjetar i snijeg uzeti su iz propisanih tablica. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „SCIA 2015“

### **Materijal za izradu konstrukcije**

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S 235.

### **Antikorozijska zaštita**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama „Pravilnika o tehničkim mjerema i uvjetima za zaštitu čelične konstrukcije od korozije“. Kao vrsta zaštite od korozije koristi se zaštita vrućim pocinčavanjem.

### **Zaštita od požara**

Svi elementi moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature, s ciljem što veće zaštite od požara. Također je potrebno opremiti objekt za slučaj nastanka požara uređajima za najavu požara kao i opremom za njegovo gašenje.

### **Montaža i transport**

Pozicije okvira će se izrezati u radionici te transportirati na gradilište. 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“.

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. Glavna nosiva konstrukcija

#### 2.1.1. Stalno opterećenje – krovna ploha

-sendvič paneli (aluminij):  $g=0,15 \text{ kN/m}^2$

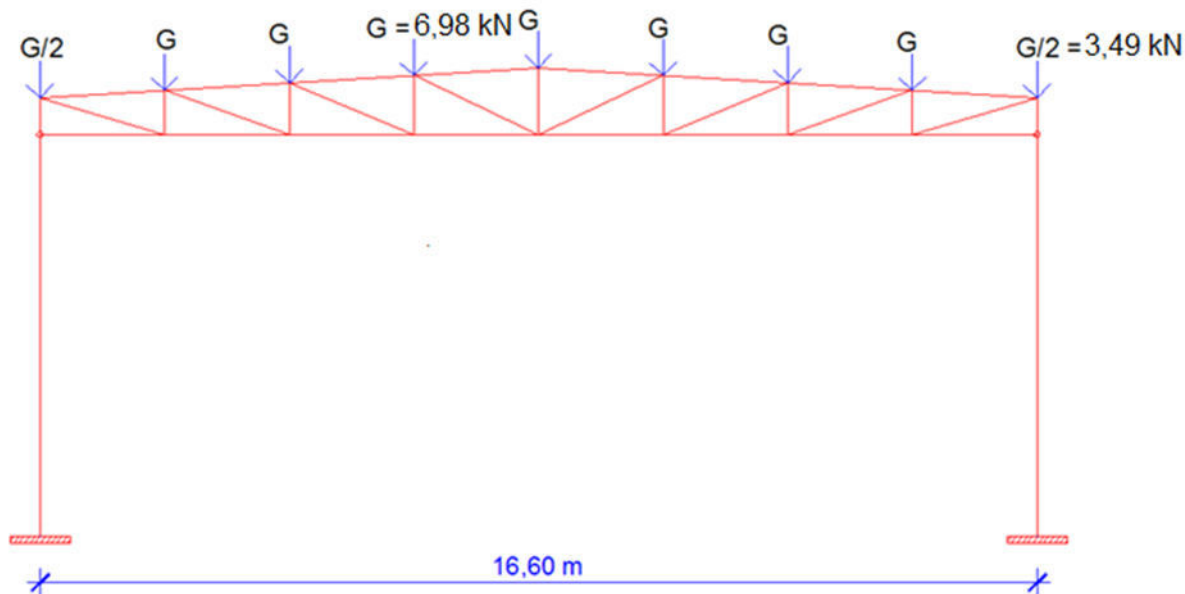
-sekundarna konstrukcija i spregovi:  $g=0,20 \text{ kN/m}^2$

-instalacije:  $g=0,20 \text{ kN/m}^2$

Ukupno:  $q = 0,55 \text{ kN/m}^2$

$$a = \frac{2,075}{\cos \alpha} = \frac{2,075}{\cos 3,43} = 2,08 \text{ m}$$

$$G = g \cdot a \cdot l = 0,55 \cdot 2,08 \cdot 6,1 = 6,98 \text{ kN}$$



Slika 2.1.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima okvira

## 2.1. 2. Promjenjivo opterećenje - djelovanje snijega

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k (\text{kN/m}^2)$$

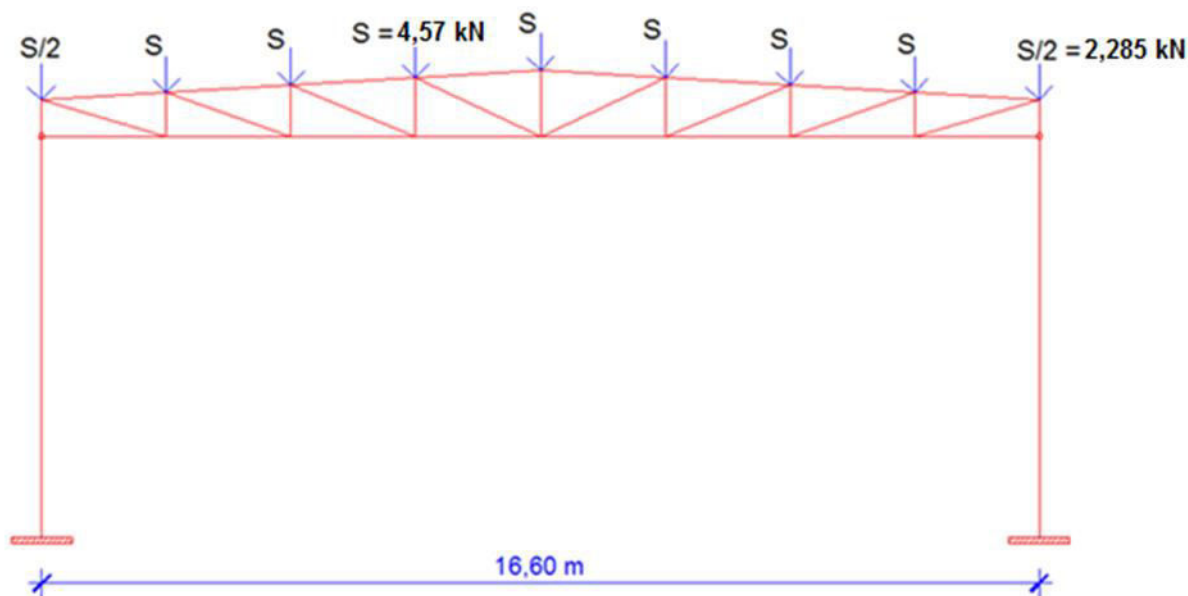
$$C_e = C_t = 1,0$$

$$S_k = 0,45 \text{ kN/m}^2 \text{ - očitano za područje C (120 m.n.m.) - Rijeka}$$

$$\mu_i = 0,8 \text{ - koeficijent oblika za kut } 3,43^\circ$$

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 = 0,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$S = s \cdot a \cdot l = 0,36 \cdot 2,08 \cdot 6,1 = 4,57 \text{ kN}$$



Slika 2.1.2.1. Opterećenje snijegom u čvorovima okvira

### 2.1.3. Promjenjivo opterećenje - djelovanje vjetra

vanjski pritisak  $\rightarrow w_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe}$

unutarnji pritisak  $\rightarrow w_i = q_{ref} \cdot C_e(Z_i) \cdot C_{pi}$

- $q_{ref}$   $\rightarrow$  referentni pritisak pri srednjoj brzini vjetra  
 $c_e(z_e)$  i  $c_i(z_i)$  koeficijenti izloženosti koji uzimaju u obzir neravnine terena  
 $z_e$  i  $z_i$   $\rightarrow$  referentne visine za lokalni ili unutarnji tlak  
 $c_{pe}$  i  $c_{pi}$  vanjski i unutarnji koeficijenti pritiska

#### Referentni pritisak vjetra

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2$$

$\rho$   $\rightarrow$  gustoća zraka  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$v_{ref}$   $\rightarrow$  referentna brzina dana je izrazom:

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}$$

$v_{ref,0} = 30,0 \text{ m/s}$ , za područje II (Rijeka)

- |           |  |                                 |
|-----------|--|---------------------------------|
| $c_{DIR}$ | $\rightarrow$ koeficijent smjera vjetra;           | $c_{DIR} = 1,0$                 |
| $c_{TEM}$ | $\rightarrow$ koeficijent ovisan o godišnjem dobu; | $c_{TEM} = 1,0$                 |
| $c_{ALT}$ | $\rightarrow$ koeficijent nadmorske visine;        | $c_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot a_s$ |
| $a_s$     | $\rightarrow$ nadmorska visina mjesta u (m);       | $a_s = 120 \text{ m}$           |

$$c_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot 120$$

$$c_{ALT} = 1,120$$

$$v_{ref} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,12 \cdot 30$$

$$v_{ref} = 33,6 \text{ m/s}$$

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2$$

$$q_{ref} = \frac{1,25}{2} \cdot 33,6^2$$

$$q_{ref} = 705,6 \text{ N/m}^2$$

$$q_{ref} = 0,706 \text{ kN/m}^2$$

#### Koef. izloženosti

Očitano za regiju P-7, kategoriju zemljišta 4, i visinu objekta 8,71 m

$$C_e(Z_e) = C_e(Z_i) = 1,7$$

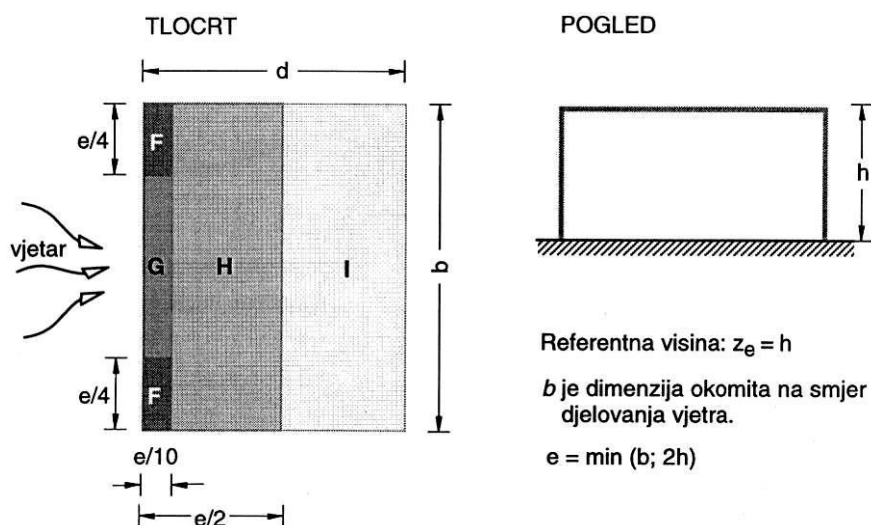
Koef. unutarnjeg tlaka

Koeficijenti  $c_{pi}$  ovise o veličini i raspodjeli otvora na oblozi hale (fasada i krov). U ovom primjeru nije definiran raspored i veličina otvora, zato se za vrijednost  $c_{pi}$  usvaja vrijednost iz starih normi.

$$C_{pi} = \pm 0,3$$

Koef. vanjskog tlaka

Koeficijenti vanjskog pritiska se određuju na način da se krovna ploha podijeli na zone kako je to prikazano na slici.



Slika 2.1.3.1. Raspodjela krovne plohe na vjetrovne zone

h	→ visina u sljemenu dvostrešnog krova	h = 8,71 m
d	→ dubina građevine	d = 16,6 m
b	→ širina građevine (površina izložena vjetru)	b = 42,7 m (7x6,1)

SMJER VJETRA  $\Theta = 0^0$

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{6,1 \cdot 8 = 42,7 ; 2 \cdot 8,71 = 17,4\} = 17,4 \text{ m}$$

$$e/4 = 4,35 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,74 \text{ m}$$

za nagib  $5^0$

PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$c_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,3	+0,8	-0,3

Pritisak vjetra na unutrašnje površine:

$$W_i = q_{ref} \cdot C_e(Z_i) \cdot C_{pi} = 0,706 \cdot 1,7 \cdot (\pm 0,3) = \pm 0,36 \frac{kN}{m^2}$$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

$$W_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe} = 0,706 \cdot 1,7 \cdot C_{pe} = 1,2 \cdot C_{pe} \frac{kN}{m^2}$$

PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$C_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,3	+0,8	-0,3
$w_e(kN/m^2)$	-2,04	-1,44	-0,72	-0,36	+0,96	-0,36

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

$$w_k = w_e - w_i \quad [kN/m^2]$$

Vjetar **W1**      **pozitivni** unutarnji pritisak ( $c_{pi} = +0,3$ )

$$W_k = w_k \cdot m \quad [kN/m'], \quad m = 6,1 \text{ m}, \quad \rightarrow \quad \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$w_e (kN/m^2)$	-2,04	-1,44	-0,72	-0,36	+0,96	-0,36
$w_i (kN/m^2)$	+0,36	+0,36	+0,36	+0,36	+0,36	+0,36
$w_k (kN/m^2)$	-2,4	-1,8	-1,08	-0,72	0,6	-0,72

Vjetar **W2**      **negativni** unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )

$$W_k = w_k \cdot m \quad [kN/m'], \quad m = 7,5 \text{ m}, \quad \rightarrow \quad \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$w_e (kN/m^2)$	-2,04	-1,44	-0,72	-0,36	+0,96	-0,36
$w_i (kN/m^2)$	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
$w_k (kN/m^2)$	-1,68	-1,08	-0,36	0,00	1,32	0,00

Za proračun uzimamo srednji glavni nosač!

Vjetar W1

$$W_1 = w_{GK} \cdot m \cdot l / 2 = -1,8 \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -11,42 \text{ kN}$$

$$W_2 = (w_{GK} + w_{HK}) \cdot m \cdot l / 2 = (-1,8 - 1,08) \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -18,27 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_4 = w_{HK} \cdot m \cdot l = -1,08 \cdot 6,1 \cdot 2,08 = -13,7 \text{ kN}$$

$$W_5 = w_{HK} \cdot m \cdot l / 2 = -1,08 \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -6,85 \text{ kN}$$

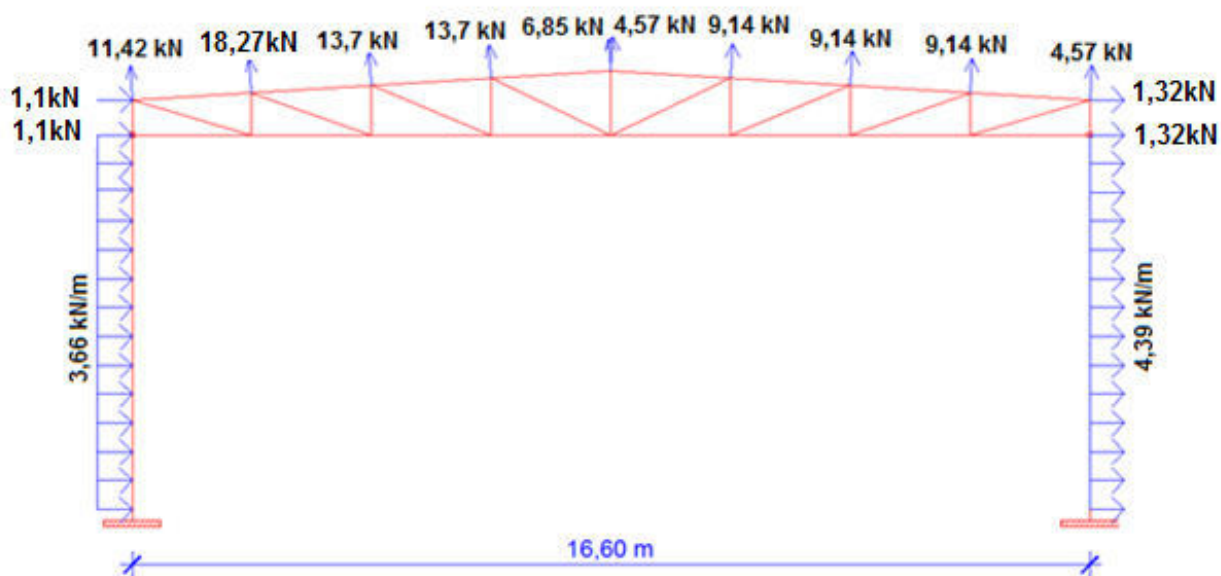
$$W_6 = W_{10} = w_{IK} \cdot m \cdot l / 2 = -0,72 \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -4,57 \text{ kN}$$

$$W_7 = W_8 = W_9 = W_{IK} \cdot m \cdot l = -0,72 \cdot 6,1 \cdot 2,08 = -9,14 \text{ kN}$$

Horizontalni Vjetar W1

$$W_1 = w_{DK} \cdot m = 0,6 \cdot 6,1 = 3,66 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = w_{EK} \cdot m = -0,72 \cdot 6,1 = -4,39 \text{ kN/m}$$



Slika 2.1.3.2. Djelovanje vjetra W1 na okvir

Vjetar W2

$$W_1 = w_{GK} \cdot m \cdot l / 2 = -1,08 \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -6,85kN$$

$$W_2 = (w_{GK} + w_{HK}) \cdot m \cdot l / 2 = (-1,08 - 0,36) \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -9,135kN$$

$$W_3 = W_4 = w_{HK} \cdot m \cdot l = -0,36 \cdot 6,1 \cdot 2,08 = -4,57kN$$

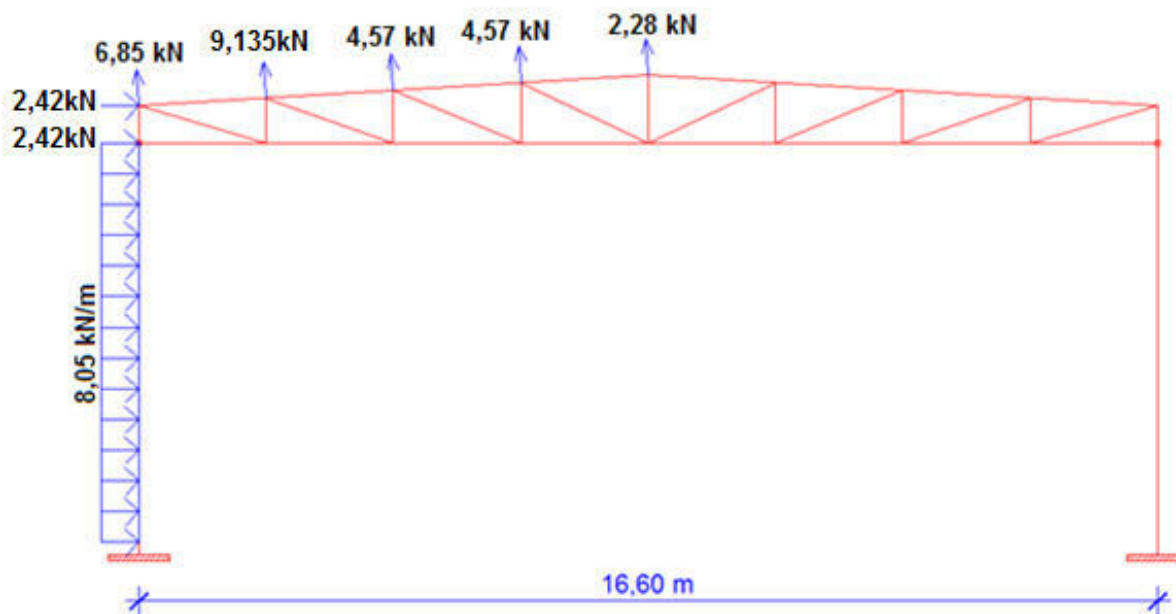
$$W_5 = w_{HK} \cdot m \cdot l / 2 = -0,36 \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = -2,28kN$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = W_9 = W_{10} = w_{IK} \cdot m \cdot l / 2 = 0,00 \cdot 6,1 \cdot 2,08 / 2 = 0,00kN$$

Horizontalni Vjetar W2

$$W_1 = w_{DK} \cdot m = 1,32 \cdot 6,1 = 8,05kN/m'$$

$$W_2 = w_{EK} \cdot m = 0,00 \cdot 6,1 = 0,00kN/m'$$



Slika 2.1.3.3. Djelovanje vjetra W2 na okvir



## 2.2 Sekundarna konstrukcija

### 2.2.1. Krovne podrožnice

Stalno opterećenje:

$$G = g \cdot l = 0,55 \cdot 2,08 = 1,144 \text{ kN/m}$$

Opterećenje snijegom:

$$S = s \cdot l = 0,36 \cdot 2,08 = 0,749 \text{ kN/m}$$

Opterećenje vjetrom:

- Usisno djelovanje vjetra

$$W_z = w_k \cdot l = -1,08 \cdot 2,08 = -2,25 \text{ kN/m, za područje H}$$

### 2.2.2. Krovni vjetrovni spreg

$$P = \gamma_Q \cdot (W_z + W_{fr})$$

- Pritisak vjetra na zabat

Za područje B  $C_{pe}=0,8$

$$C_z = C_{pe} + C_{pi} = 0,8 + 0,3 = 1,1$$

$$A_z = \frac{h}{2} \cdot l = \frac{8,45}{2} \cdot 4,15 = 17,53 \text{ m}^2$$

$$W_z = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_z \cdot A_z = 0,706 \cdot 1,7 \cdot 1,1 \cdot 17,53 = 23,14 \text{ kN}$$

- Sila od trenja vjetra po krovu

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

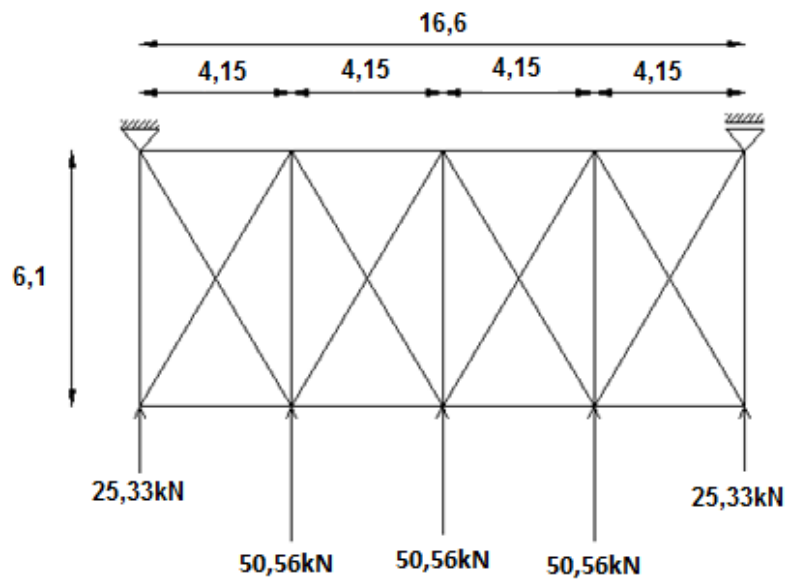
$$A_z = \frac{d}{2} \cdot l = \frac{42,7}{2} \cdot 4,15 = 88,60 \text{ m}^2$$

$$W_{fr} = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{fr} \cdot A_{fr} = 0,706 \cdot 1,7 \cdot 0,1 \cdot 44,408 = 10,63 \text{ kN}$$

Ukupna sila:

$$P = \gamma_Q \cdot (W_z + W_{fr}) = 1,5 \cdot (23,14 + 10,63) = 50,65 \text{ kN}$$

$$\frac{P}{2} = \frac{25,665}{2} = 25,33 \text{ kN}$$



Slika 2.2.2.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje

### 2.2.3. Bočne podrožnice

$$W_D = w_D \cdot l = 1,32 \cdot 2,08 = 2,74 \text{ kN/m}$$

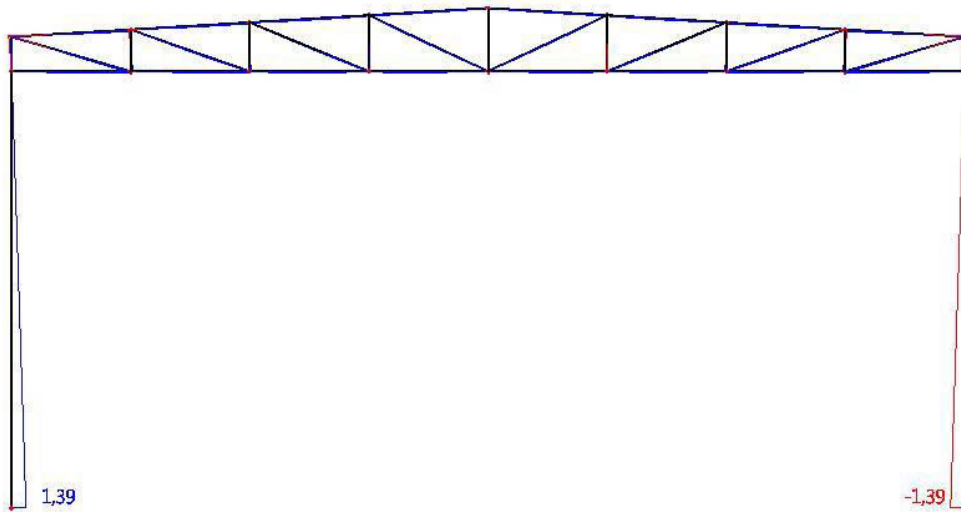
### 2.2.4. Bočni (zidni) vjetrovni spreg

$$R_k = 2 \cdot P = 2 \cdot 50,65 = 101,3 \text{ kN/m}$$

### 3. DIJAGRAMI UNUTRAŠNJIH SILA ZA POJEDINA DJELOVANJA

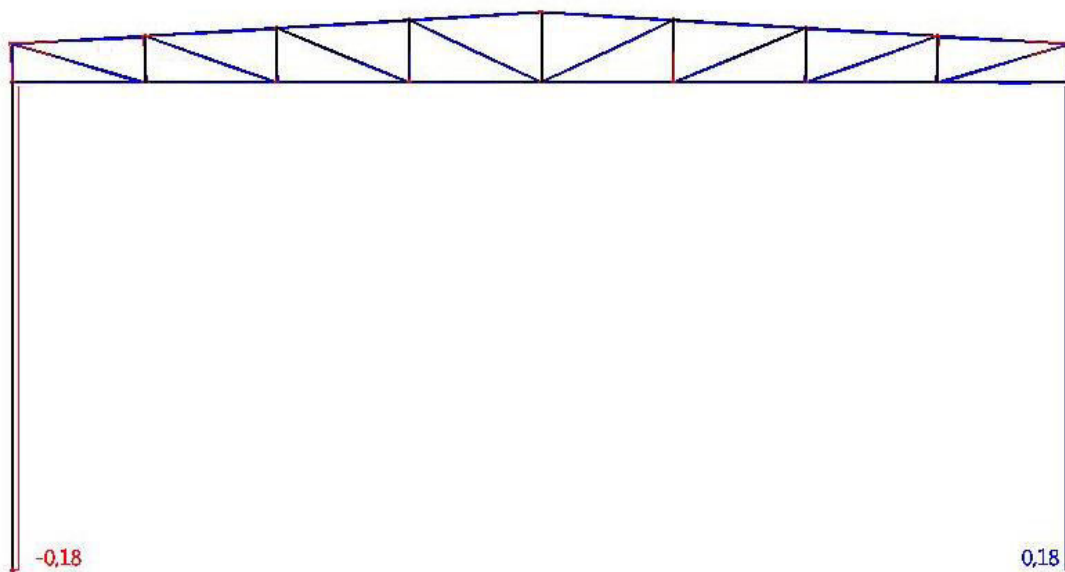
#### 3.1. Vlastita težina konstrukcije

M (kNm)



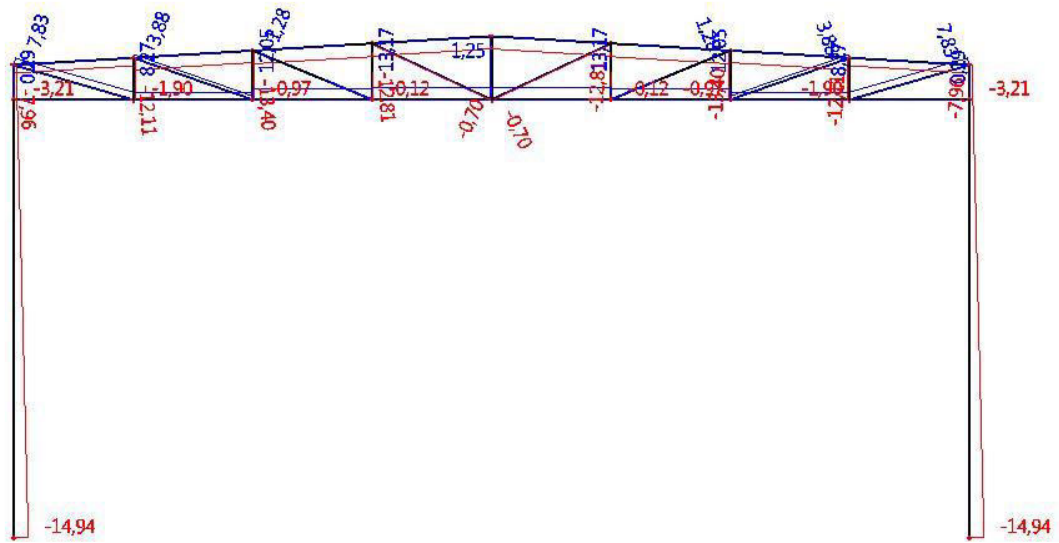
Slika 3.1.1. Momentni dijagram vlastite težine konstrukcije

V (kN)



Slika 3.1.2. Dijagram poprečnih sila vlastite težine konstrukcije

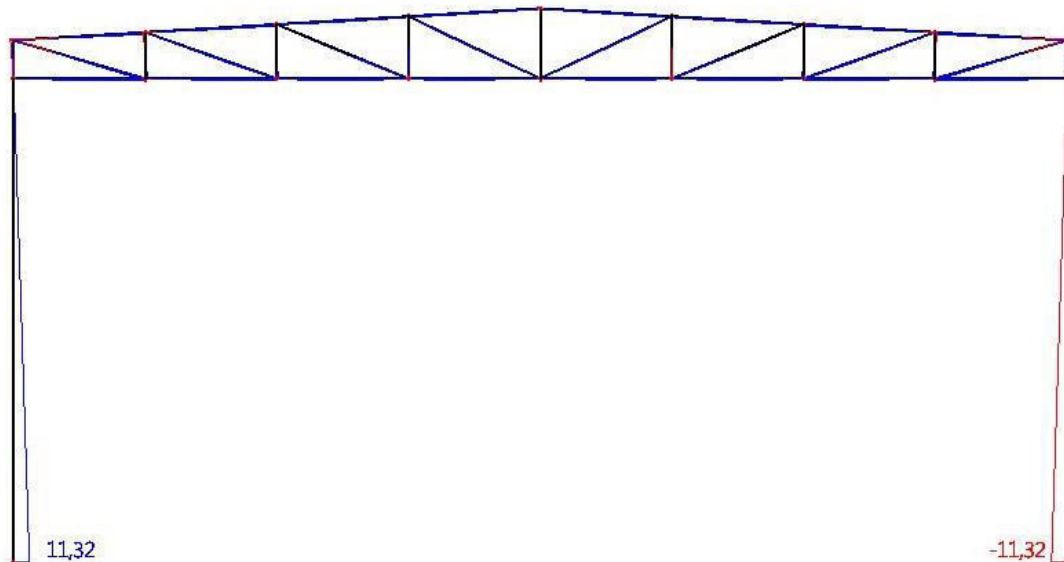
N (kN)



Slika 3.1.3. Dijagram uzdužnih sila vlastite težine konstrukcije

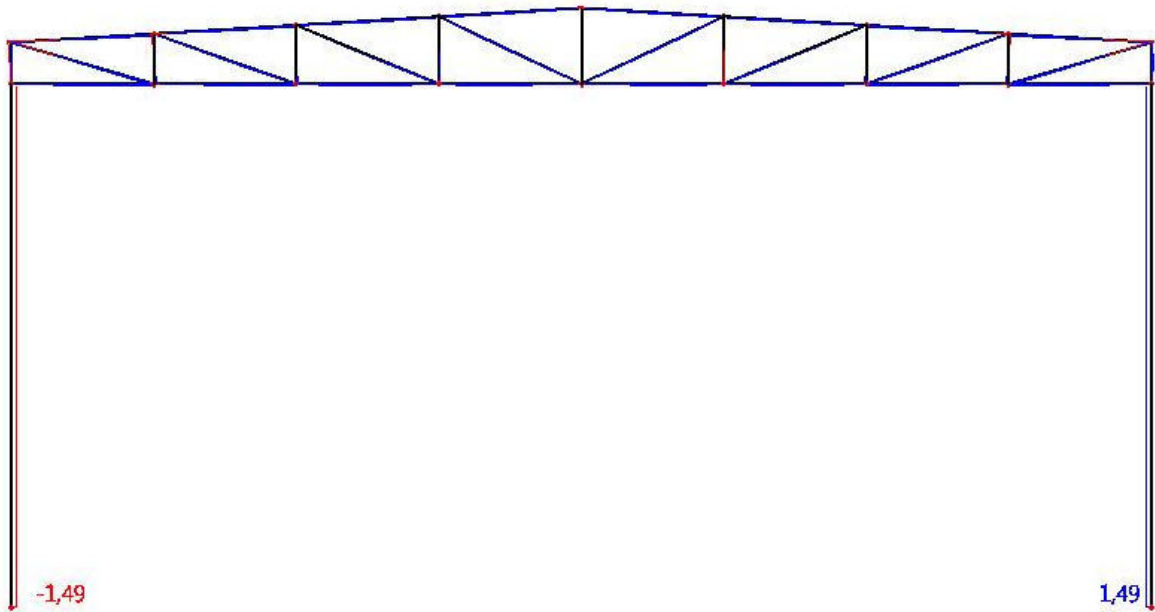
### 3.2. Stalno djelovanje

M (kNm)



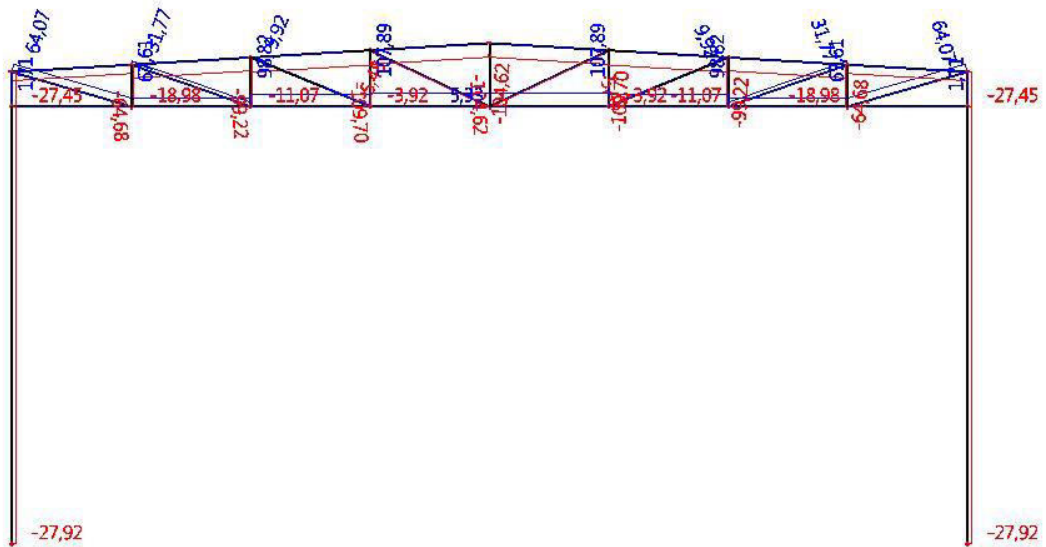
Slika 3.2.1. Momentni dijagram stalnog djelovanja

V (kN)



Slika 3.2.2. Dijagram poprečnih sila stalnog djelovanja

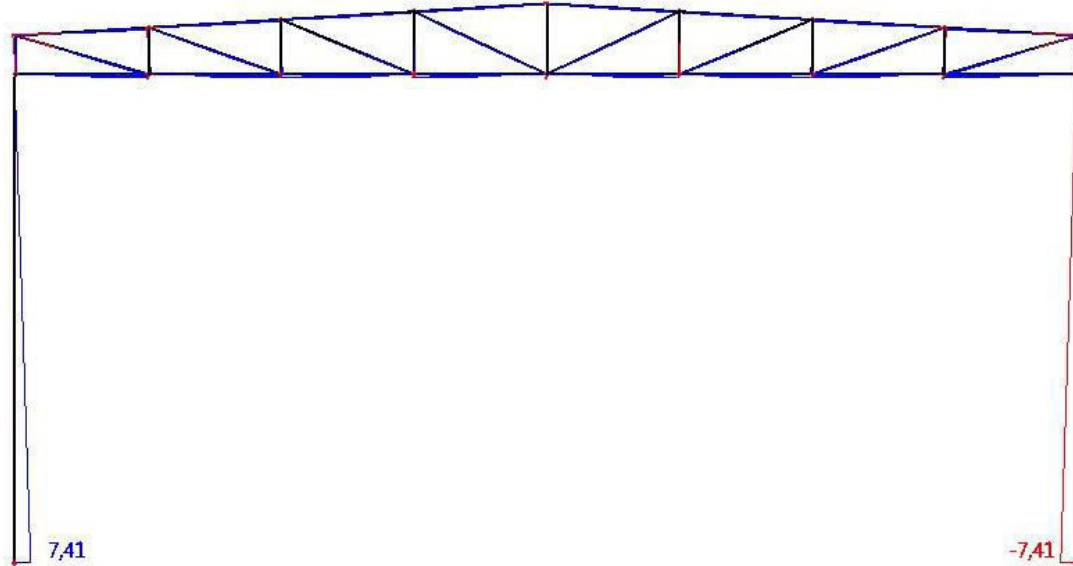
N (kN)



Slika 3.2.3. Dijagram uzdužnih sila stalnog djelovanja

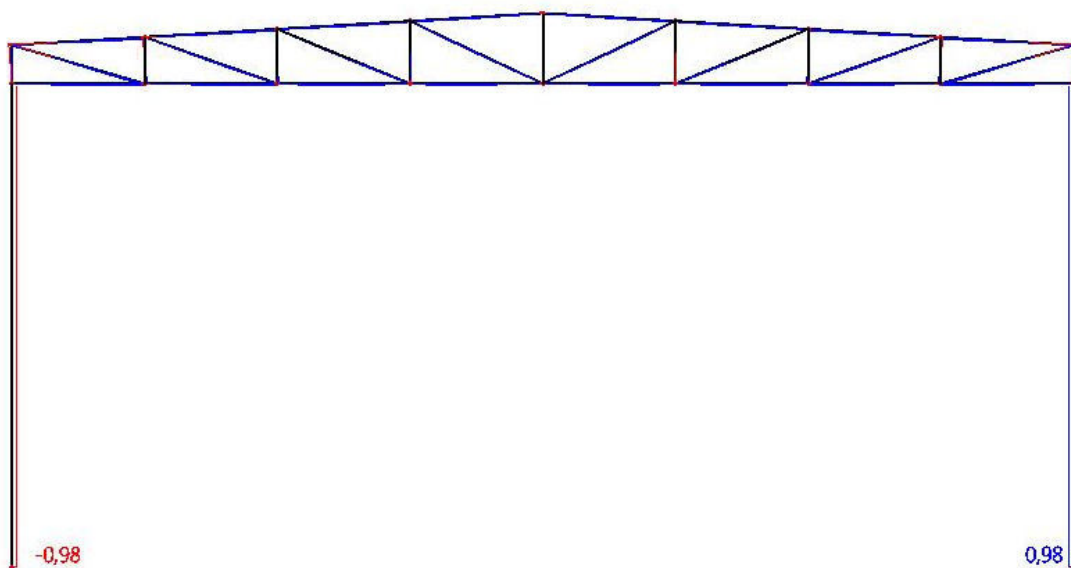
### 3.3. Opterećenje snijegom-S

M (kNm)



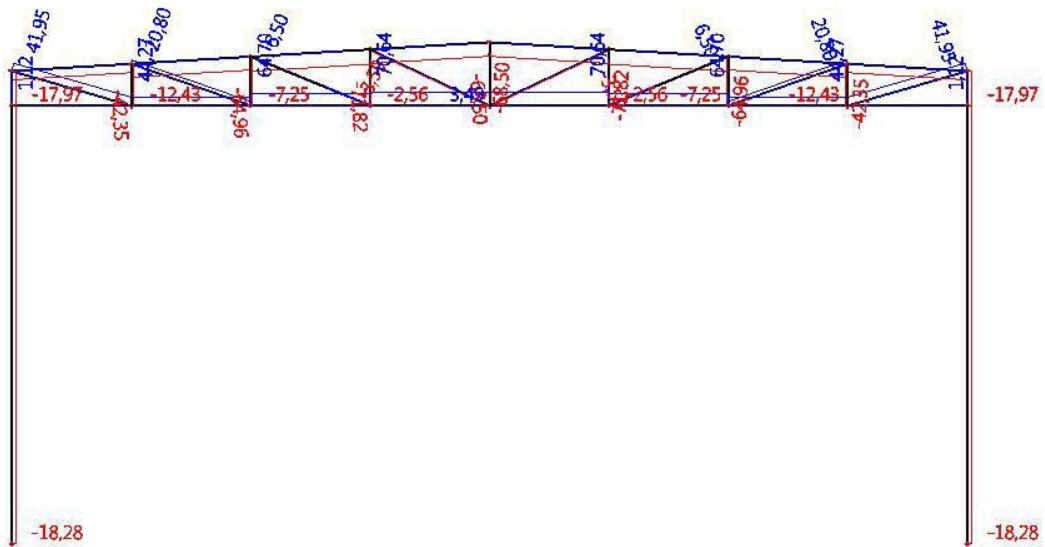
Slika 3.3.1. Momentni dijagram opterećenja snijegom

V (kN)



Slika 3.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja snijegom

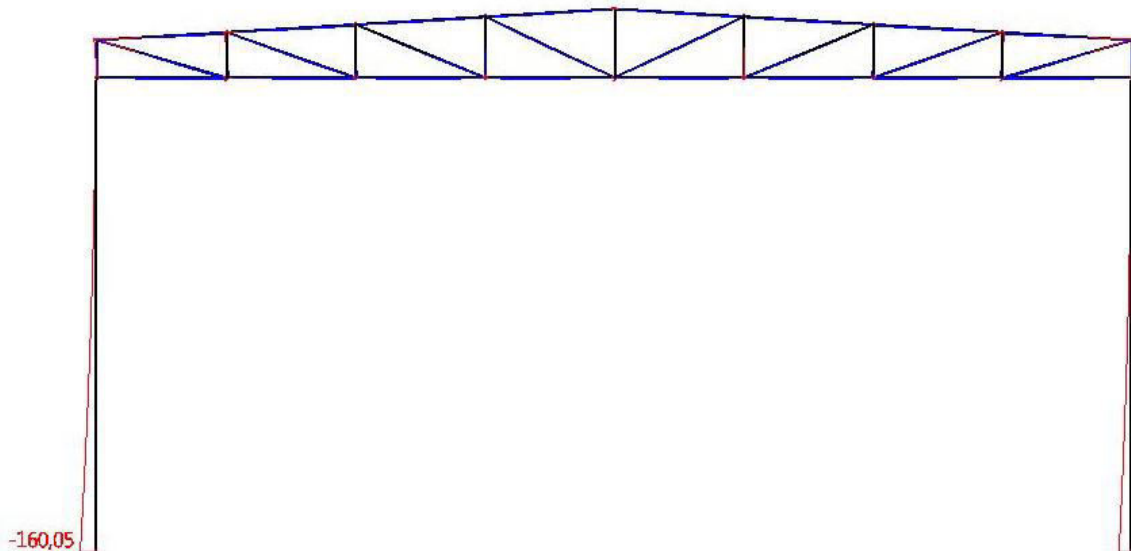
N (kN)



Slika 3.3.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja snijegom

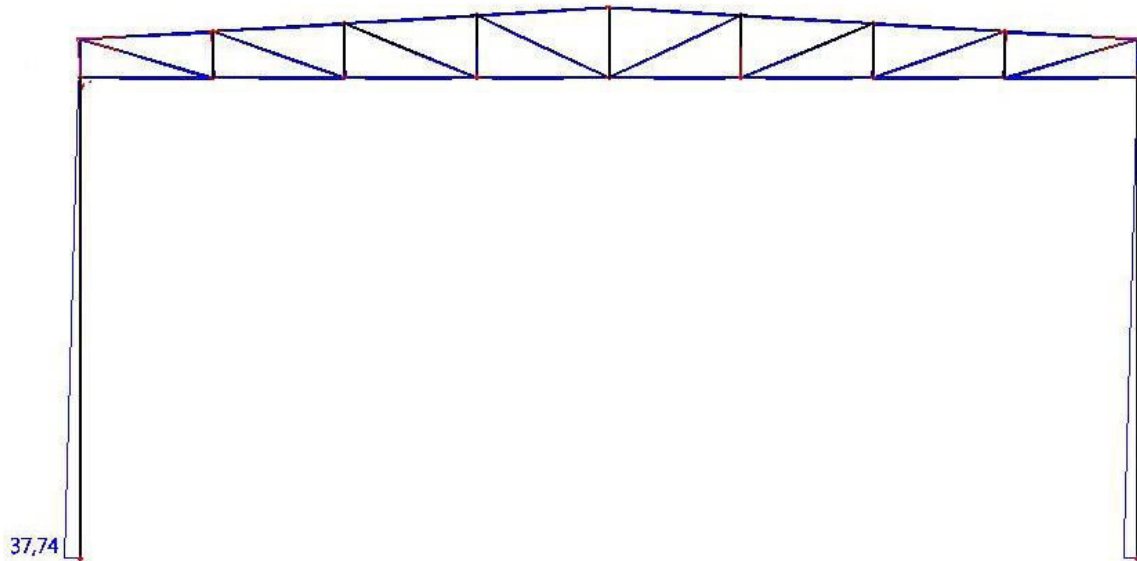
### 3.4. Opterećenje vjetrom – W1

M (kNm)



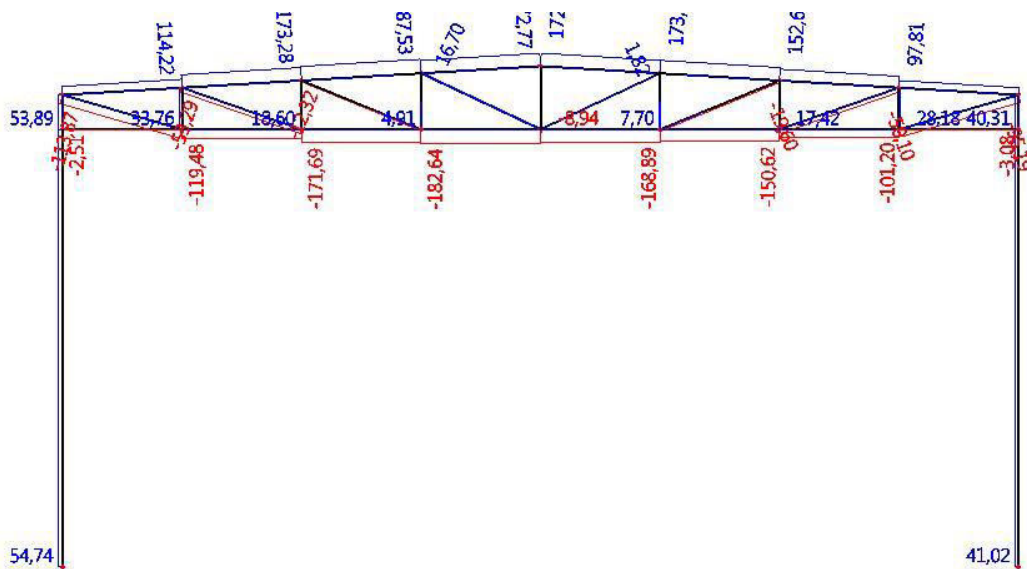
Slika 3.4.1. Momentni dijagram opterećenja vjetrom W1

V (kN)



Slika 3.4.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja vjetrom W1

N (kN)

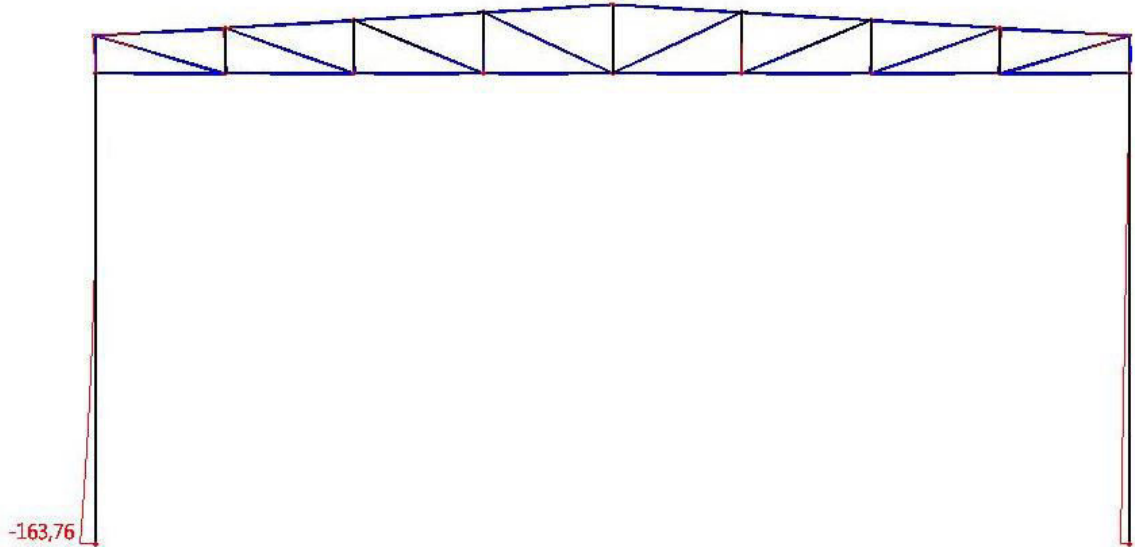


Slika 3.4.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja vjetrom W1



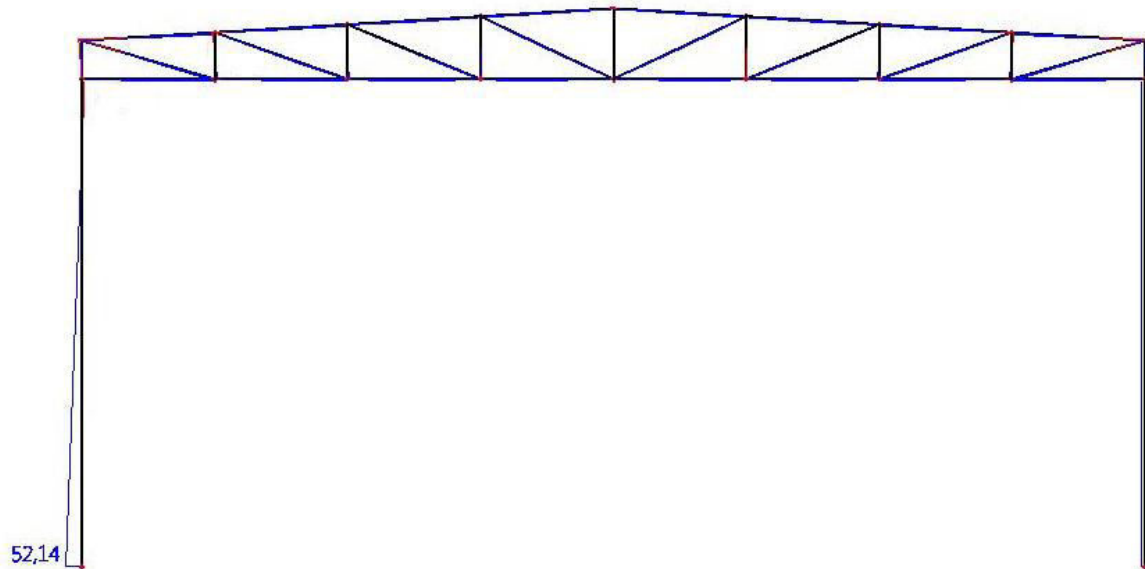
### 3.5. Opterećenje vjetrom – W2

M (kNm)



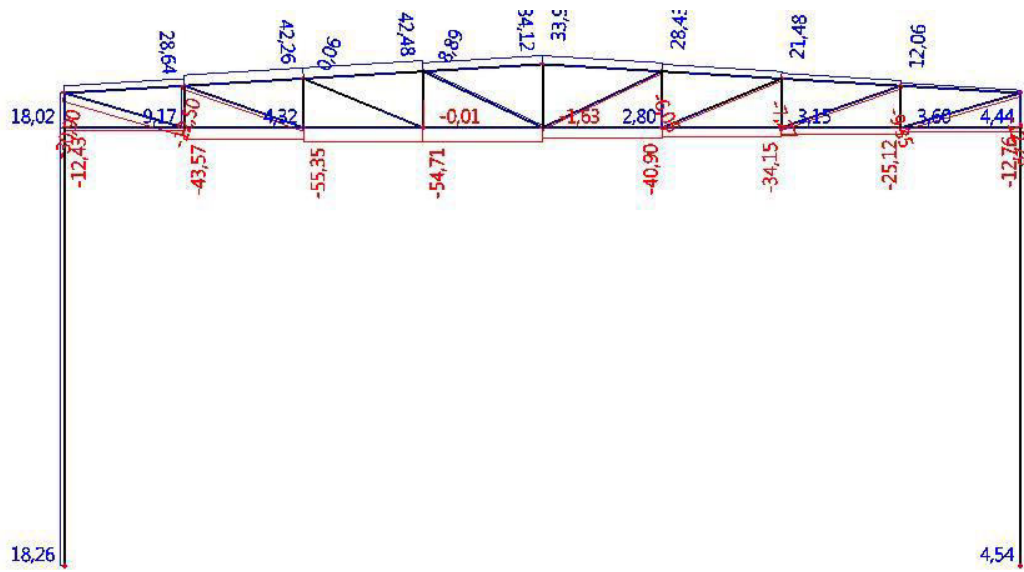
Slika 3.5.1. Momentni dijagram opterećenja vjetrom W2

V (kN)



Slika 3.5.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja vjetrom W2

N (kN)



Slika 3.5.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja vjetrom W2

## 4. GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini koji ne smije prekoračiti vrijednost od  $L/300$  (  $L$  duljina donjeg pojasa rešetke) i horizontalni pomak na vrhu stupa koji ne smije prekoračiti vrijednost  $H/400$  ( $H$  visina stupa). Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU su jednaki jedinici.

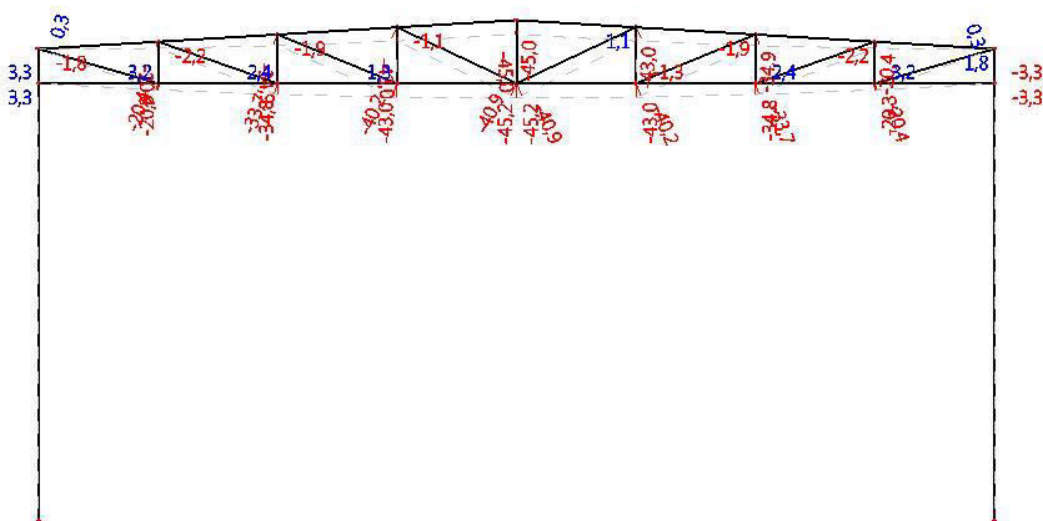
### 4.1. Vertikalni progib u sredini donjeg pojasa rešetke

Mjerodavna kombinacija:

(1.00\* vl. težina + 1.00\*stalni teret + 1.00\*snijeg):

Prikaz plana pomaka za navedenu kombinaciju :

Napomena : vrijednost progiba u mm



Slika 4.1.1. Vertikalni progib rešetke

Najveći progib  $\delta_{max}=4,52$  cm manji je od dopuštenog

$L/300=1660/300=5,53$  cm !

Iskoristivost 81,74 %.

Za pojas odabran: **CFRHS 140 x 80 x 6**

Za ispune odabran: **CFRHS 70 x 70 x 3**

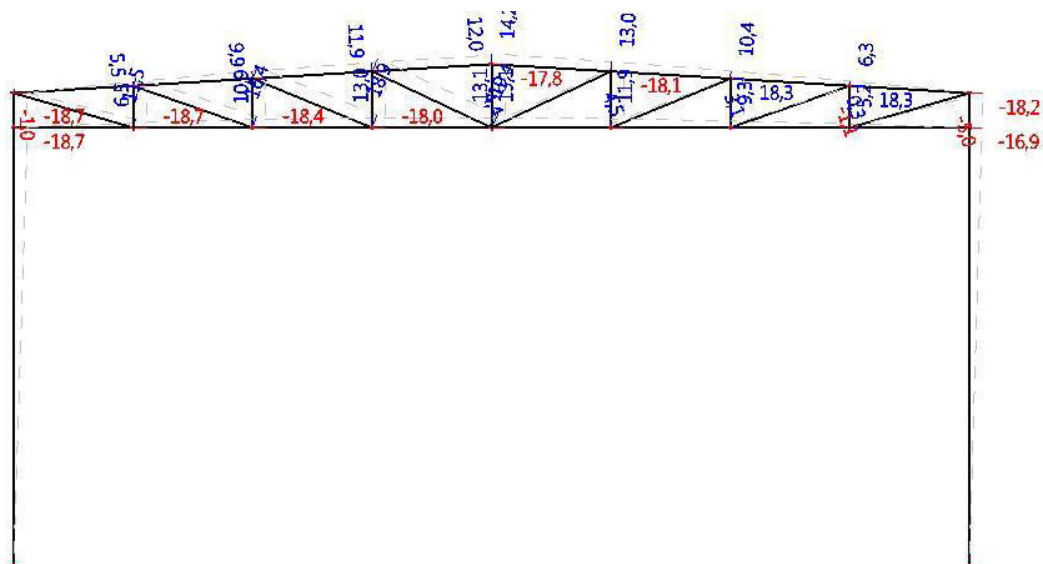
## 4.2. Horizontalni pomak vrha stupa

Mjerodavna kombinacija

(1.00\* vl. težina + 1.00\*stalni teret + 1.00\*vjetar W2):

Prikaz plana pomaka za navedenu kombinaciju :

Napomena : vrijednost pomaka u mm



Slika 4.2.1. Horizontalni pomak stupa

Najveći pomak  $\delta_{\max}=1,87$  cm je manji od dopuštenog  $H/400=760/400=1,9$  cm !

Iskoristivost 98,42 %.

Za stup odabran: **HEB 400**

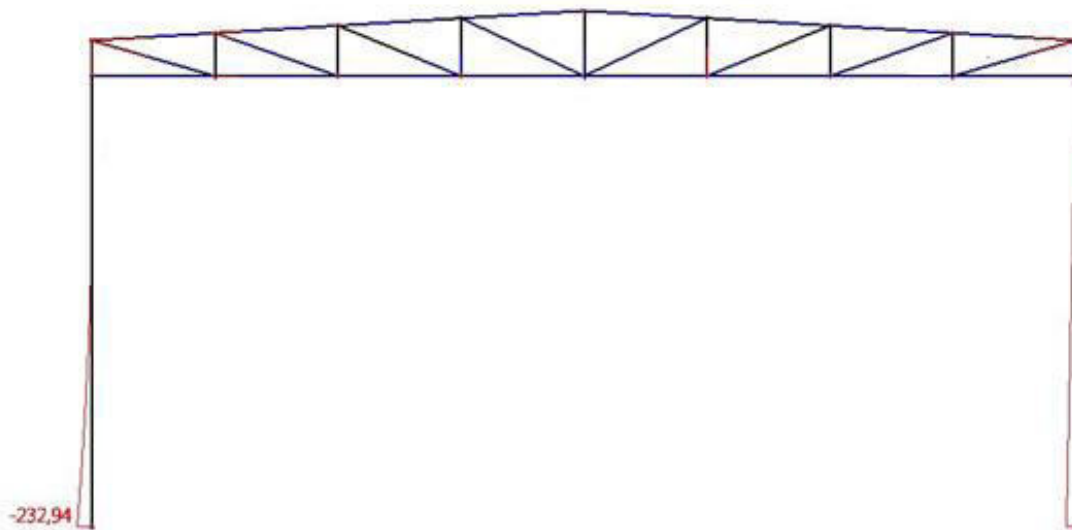
**Granično stanje uporabljivosti je zadovoljeno !**

## 5. GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

### 5.1. Glavna nosiva konstrukcija

#### 5.1.1. Maksimalne rezne sile u stupu

Mjerodavna kritična kombinacija za maksimaln moment (1 G + 1 stalno opterećenje + 1,5 W2):



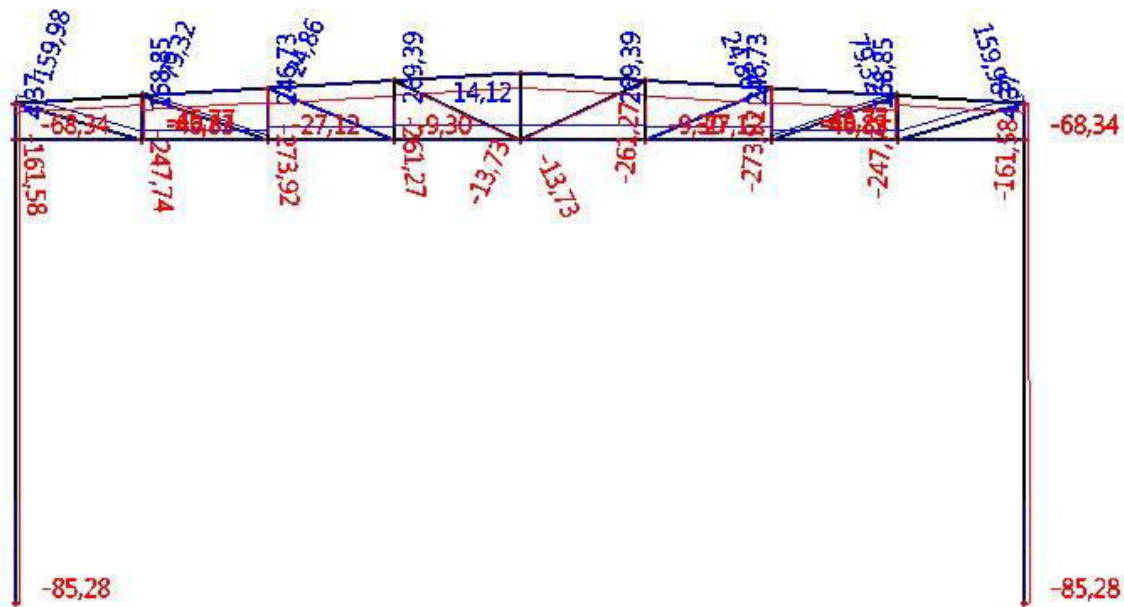
Slika 5.1.1.1 Maksimalni moment u stupu

$$M_{sd} = -232,94 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = -76,53 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = -15,47 \text{ kN (tlak)}$$

Mjerodavna kritična kombinacija za uzdužnu silu (1.35 (G+stalno opt.) + 1.5 S):



Slika 5.1.1.2. Maksimalna uzdužna sila u stupu

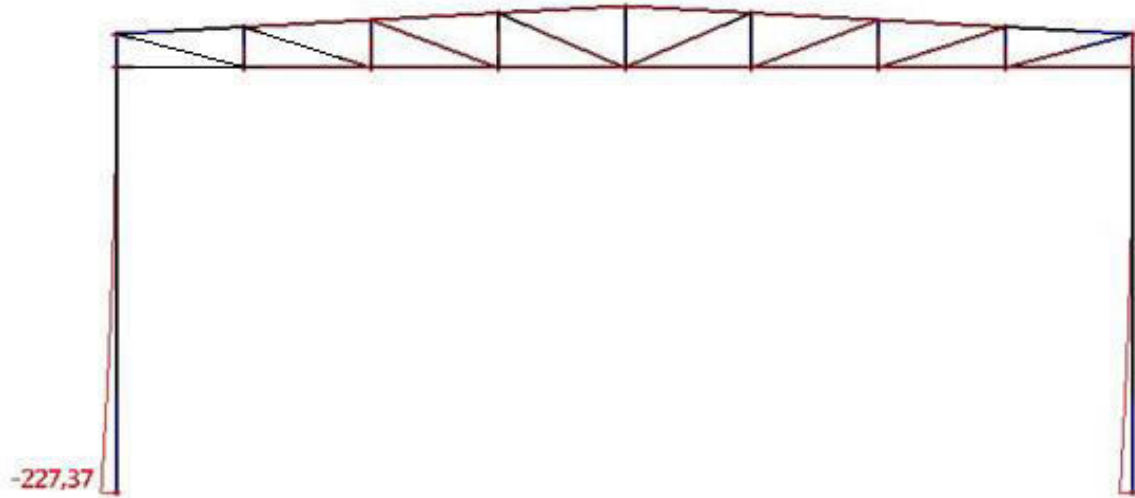
$$N_{sd} = -85,28 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{sd} = 28,27 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 3,72 \text{ kN}$$

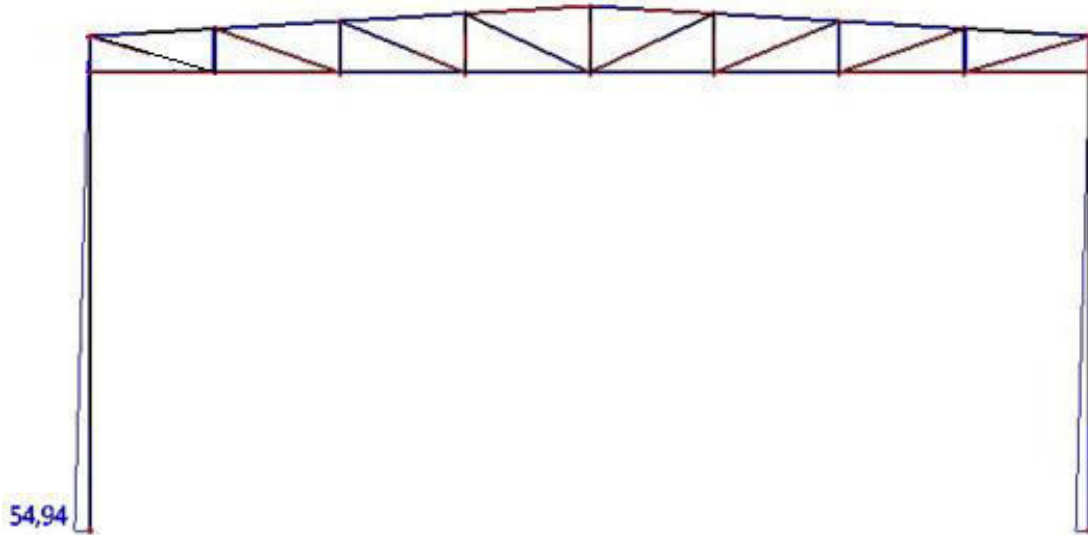
Kritična kombinacija (1G + 1stalno opt. + 1,5W1)

M (kNm)



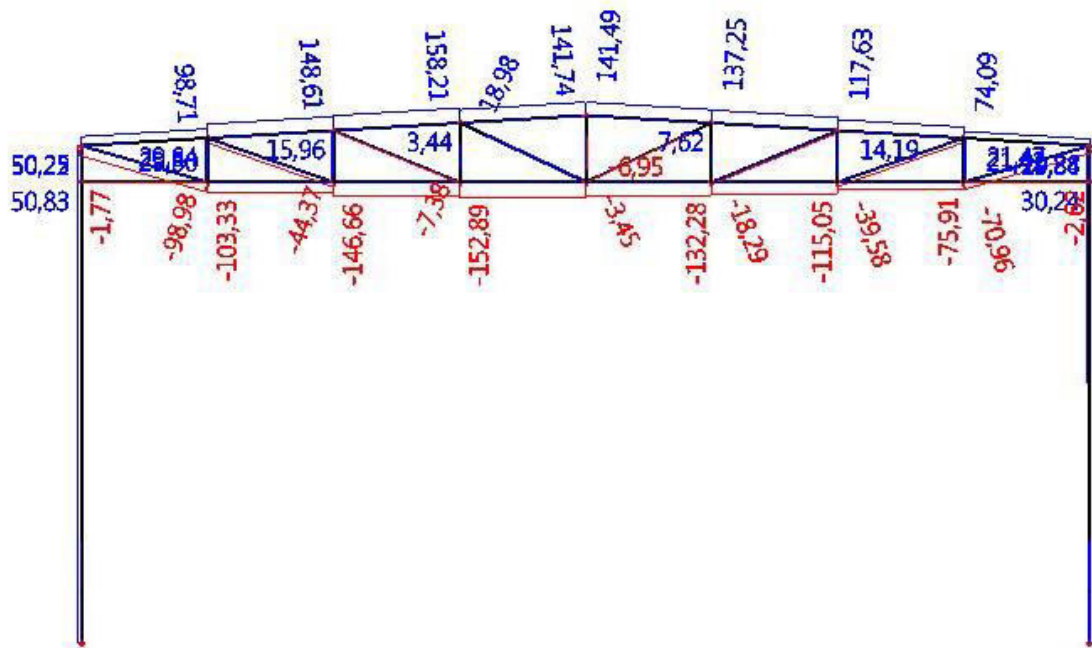
Slika 5.1.1.3. Dijagram momenata za mjerodavnu kritičnu kombinaciju

V (kN)



Slika 5.1.1.4. Dijagram poprečnih sila za mjerodavnu kritičnu kombinaciju

N (kN)

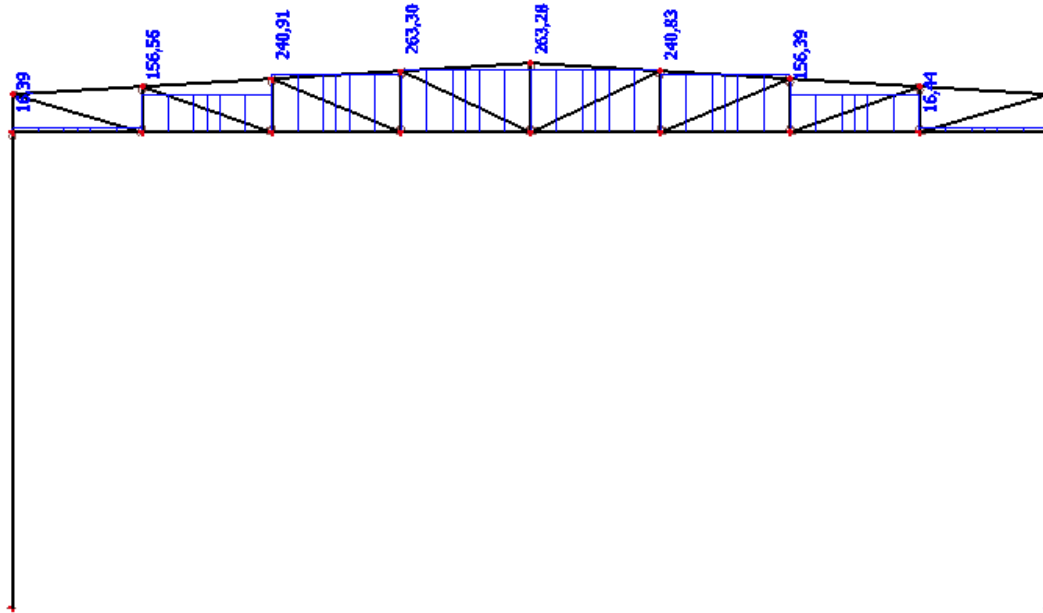


Slika 5.1.1.5. Dijagram uzdužnih sila za mjerodavnu kritičnu kombinaciju



## 5.1.2. Maksimalne rezne sile u rešetki

Maksimalna uzdužna sila u donjem pojasu rešetke (1.35 G + 1.5 S):

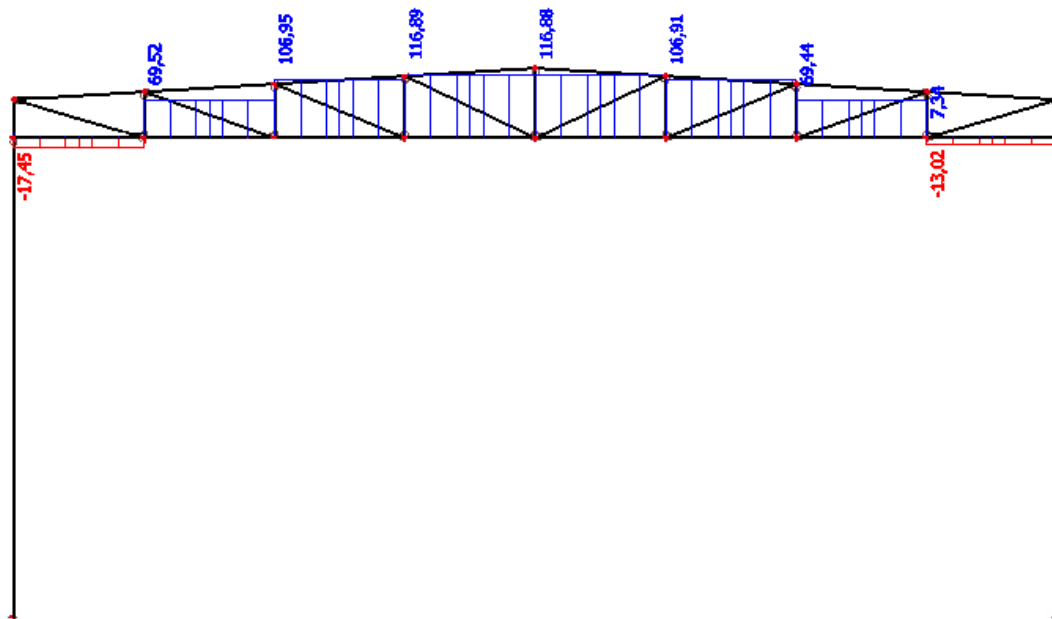


Slika 5.1.2.1. Maksimalna vlačna uzdužna sila u donjem pojasu rešetke

$$N_{sd}=263,30 \text{ (vlak)}$$

$$N_{sd}= 0 \text{ kN (tlak)}$$

Maksimalna uzdužna sila u donjem pojasu rešetke (1.0 G + 1.5 W2):

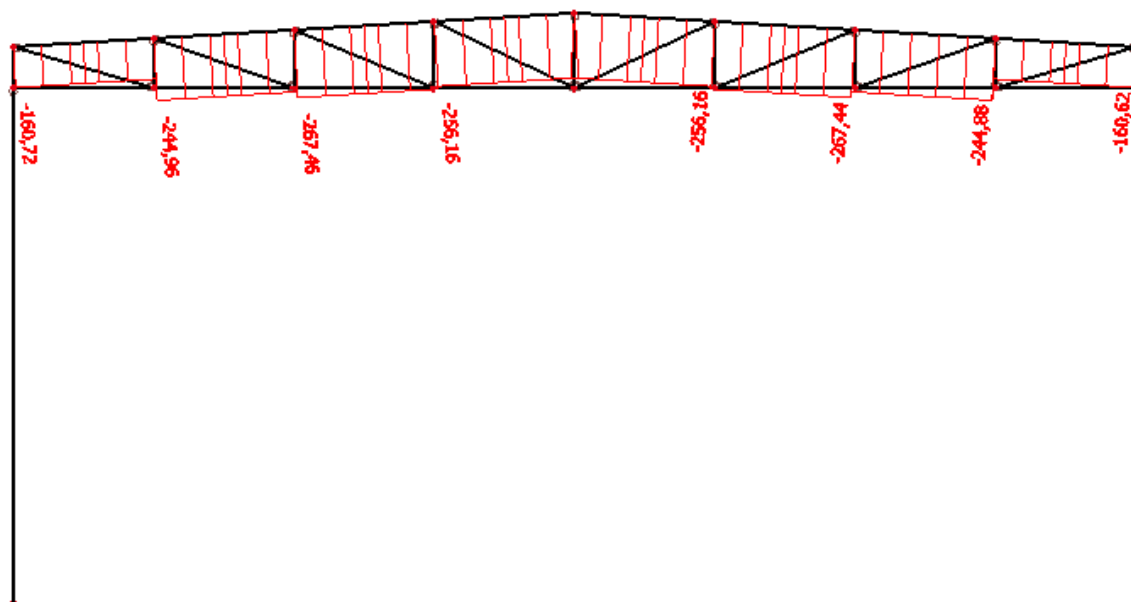


Slika 5.1.2.2. Maksimalna tlačna uzdužna sila u donjem pojasu rešetke

$N_{sd}=116,89\text{kN}$  (vlak)

$N_{sd}=-17,45\text{ kN}$  (tlak)

Maksimalna uzdužna sila u gornjem pojasu rešetke (1.35 G + 1.5 S):

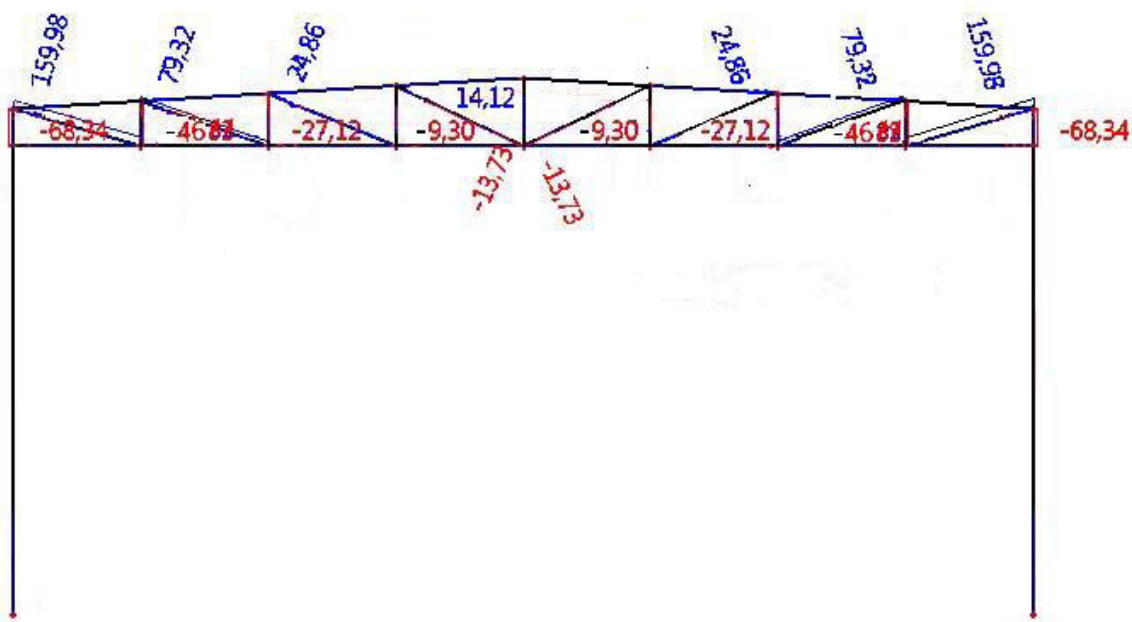


Slika 5.1.2.3. Maksimalna tlačna uzdužna sila u gornjem pojasu rešetke

$N_{sd} = 0$  kN (vlak)

$N_{sd} = -256,16$  (tlak)

Maksimalna uzdužna sila u vertikalnim i dijagonalnim ispunama (1.35 G + 1.5 S):



Slika 5.1.2.4. Maksimalne uzdužne sila u vertikalama i dijagonalama

Vertikalne ispune:

$N_{sd} = 14,12$  kN (vlak)

$N_{sd} = -68,34$  kN (tlak)

Dijagonalne ispune:

$N_{sd} = 159,98$  kN (vlak)

$N_{sd} = -13,73$  kN (tlak)

## 5.2. Sekundarna konstrukcija

### 5.2.1. Krovne podrožnice

Kombijacija (stalno opterećenje  $G$  + snijeg  $S$ )

$$M_y = (G \cos 3,43 \cdot 1,35 + S \cos 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1^2}{8}$$

$$M_y = (1,144 \cos 3,43 \cdot 1,35 + 0,749 \cos 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1^2}{8} = 12,39 \text{ kNm}$$

$$V_z = (G \cos 3,43 \cdot 1,35 + S \cos 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1}{2}$$

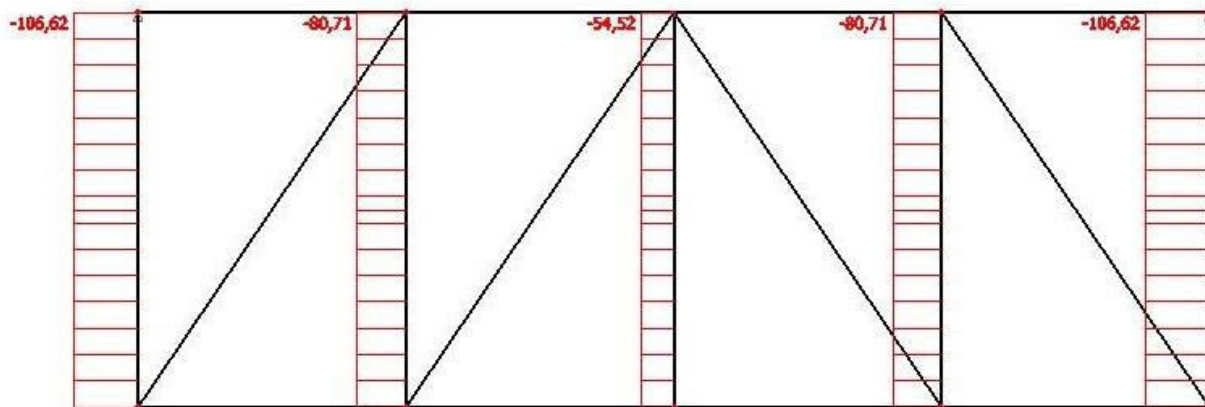
$$V_z = (1,144 \cos 3,43 \cdot 1,35 + 0,749 \cos 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1}{2} = 8,123 \text{ kN}$$

$$M_z = (G \sin 3,43 \cdot 1,35 + S \sin 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1^2}{8}$$

$$M_z = (1,144 \sin 3,43 \cdot 1,35 + 0,749 \sin 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1^2}{8} = 0,743 \text{ kNm}$$

$$V_y = (G \sin 3,43 \cdot 1,35 + S \sin 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1}{2}$$

$$V_y = (1,144 \sin 3,43 \cdot 1,35 + 0,749 \sin 3,43 \cdot 1,5) \cdot \frac{6,1}{2} = 0,49 \text{ kN}$$



Slika 5.2.1.1. Uzdužne sile u podrožnicama

Mjerodavna tlačna sila:  $N_{sd} = -80,71 \text{ kN}$

### 5.2.2. Bočne podrožnice

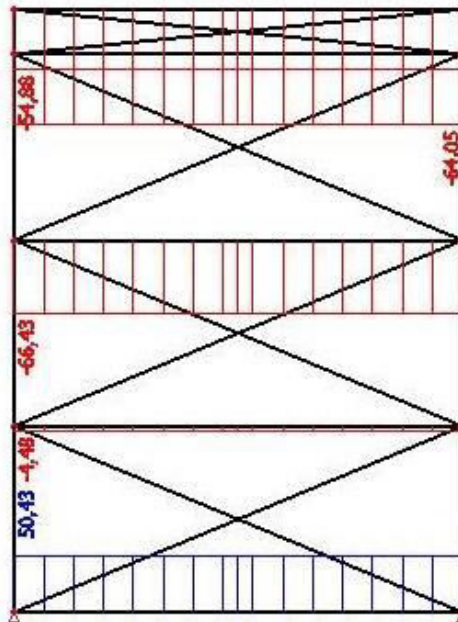
- Vlastitu težinu podrožnice zanemarujemo jer je malena, a i tako smo na strani sigurnosti

$$M_y = W_D \cdot 1,5 \cdot \frac{6,1^2}{8}$$

$$M_y = 2,75 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,1^2}{8} = 19,186 \text{ kNm}$$

$$V_z = W_D \cdot 1,5 \cdot \frac{6,1}{2}$$

$$V_z = 2,75 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,1}{2} = 12,58 \text{ kN}$$

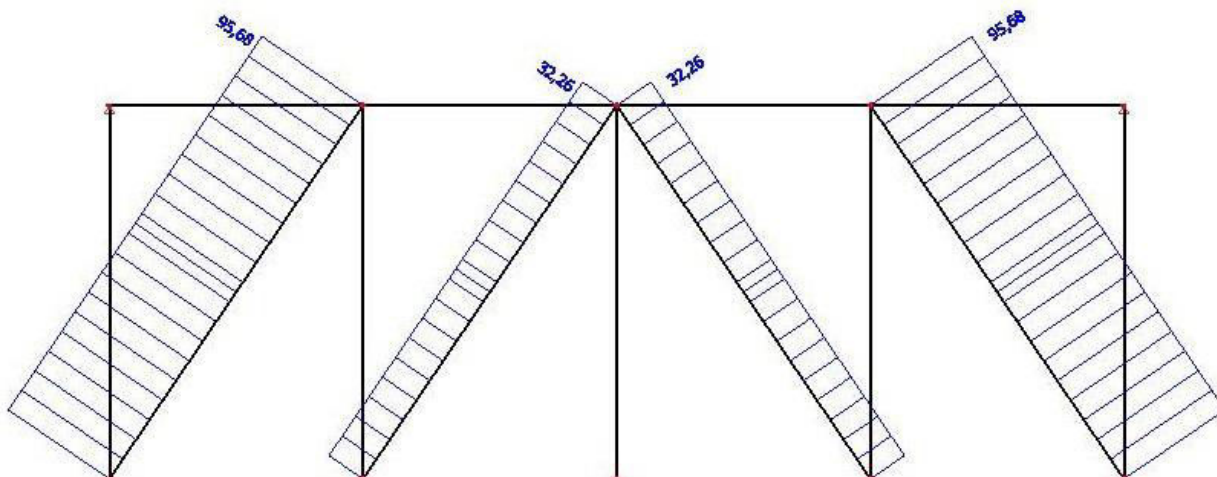


Slika 5.2.1.5. Uzdužne sile u bočnim podrožnicama

Maksimalna uzdužna sila u podrožnicama :  $N_{sd} = 66,43 \text{ kN}$  (tlak)

### 5.2.3. Krovni spregovi

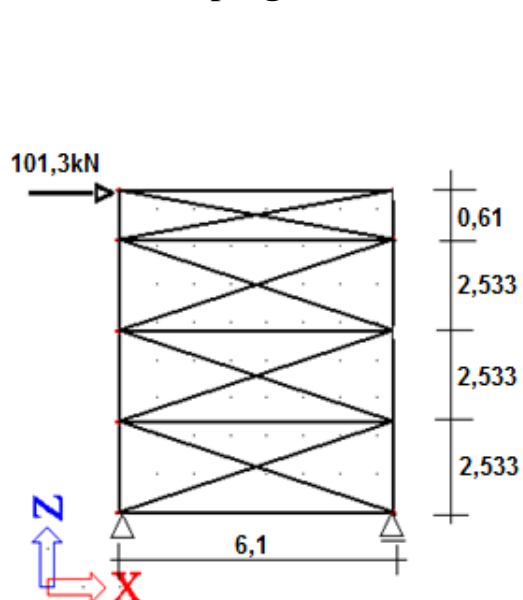
(uzimamo samo dijagonale koje za su ovaj slučaj opterećenja vlačne)



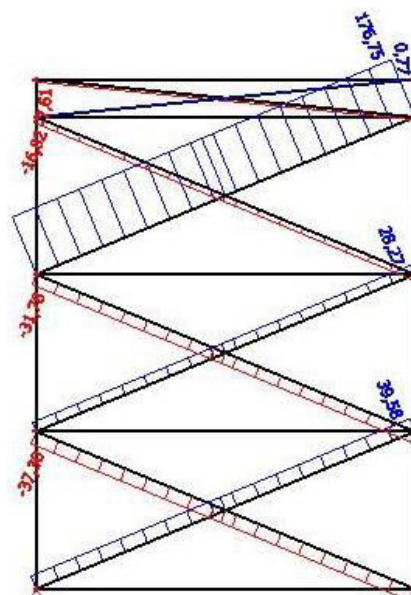
Slika 5.2.3.1. Uzdužne sile u krovnim spregovima

Maksimalna vlačna sila:  $N_{sd}=95,68\text{kN}$

### 5.2.4. Bočni spregovi



Slika 5.2.4.1. Raspored bočnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.4.2. Uzdužne sile u bočnim spregovima

Maksimalna vlačna uzdužna sila u spregu :  $N_{sd}=176,75\text{kN}$

## **6. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA**

### **6.1. Dimenzioniranje glavne konstrukcije**

#### **6.1.1. Dimenzioniranje rešetke konstruktivnog sustava**

##### **6.1.1.1. Gornji pojas (GP)**

###### **Maksimalne rezne sile**

$N_{sd} = 0 \text{ kN}$  (vlak)

$N_{sd} = -256,16 \text{ kN}$  (tlak)

###### **Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		CFRHS 140 x 80 x 6
Tip poprečnog presjeka		valjani
Površina poprečnog presjeka $A$ (cm <sup>2</sup> )		24,03 cm <sup>2</sup>
Moment tromosti	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	597 cm <sup>4</sup>
	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	247,96 cm <sup>4</sup>
Moment otpora	$W_{el_y}$ (cm <sup>3</sup> )	85,29 cm <sup>3</sup>
	$W_{pl_y}$ (cm <sup>3</sup> )	107,09 cm <sup>3</sup>
	$W_{el_z}$ (cm <sup>3</sup> )	61,99 cm <sup>3</sup>
	$W_{pl_z}$ (cm <sup>3</sup> )	72,43 cm <sup>3</sup>
Radijus tromosti	$i_y$ (cm)	4,98 cm
	$i_z$ (cm)	3,21 cm
Konstanta krivljenja	$I_w$ (cm <sup>6</sup> )	6899,20 cm <sup>6</sup>
Torzijska konstanta	$I_t$ (cm <sup>4</sup> )	583,80 cm <sup>4</sup>
Visina presjeka $h$ (mm)		140 mm
Širina pojasnice $b$ (mm)		80 mm
Debljina pojasnice $t_f$ (mm)		6,0 mm

Debljina hrpta $t_w$ (mm)	6,0 mm
Osnovni materijal Fe 510	
Granica popustanja $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235 N/mm <sup>2</sup>
Vlačna čvrstoća $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	360 N/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	210 000 N/mm <sup>2</sup>
Poissonov koeficijent $\nu$	0,3

Parcijalni faktori sigurnosti

$\gamma_{M0}$	1,10
$\gamma_{M1}$	1,10
$\gamma_{M2}$	1,25

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = 1,00$$

$$d = h - 3t = 140 - 2 \cdot 6 = 128 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{128}{4} = 21,33 < 33 \times \varepsilon < 33$$

Poprečni presjek → **klasa 1**

Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila  $N_{Sd} = -256,16$  kN (tlak)

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24,03 \cdot 23,5}{1,1} = 513,37 \text{ kN} > N_{Sd} = 256,16 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Otpornost elementa

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9$$

$$\beta_A = 1,0$$

Os y-y

Os z-z

$$I_{iy} = 415,8 \text{ cm}^4$$

$$I_{iz} = 207,9 \text{ cm}^4$$



$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 83,5$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 64,77$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,89$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,67$$

**Vrućevaljani šuplji profili →**

**linija izvijanja a**

$$\chi_y = 0,6725$$

**linija izvijanja b**

$$\chi_z = 0,8094$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 345,24 \text{ kN} > N_{sd} = 256,16 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### **Iskoristivost poprečnog presjeka**

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\text{VLAK} \rightarrow \eta = 0\%$$

$$\text{TLAK} \rightarrow \eta = \frac{256,16}{345,24} = 0,75 = 75\%$$

### 6.1.1.2. Donji pojas (DP)

#### Maksimalne rezne sile

$$N_{sd} = 263,30 \text{ kN (vlak)}$$

$$N_{sd} = -17,45 \text{ kN (tlak)}$$

#### Karakteristike poprečnog presjeka

- Jednake kao karakteristike gornjeg pojasa

#### Parcijalni faktori sigurnosti

$\gamma_{M0}$	1,10
$\gamma_{M1}$	1,10
$\gamma_{M2}$	1,25

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = 1,00$$

$$d = h - 3t = 140 - 2 \cdot 6 = 128 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{tw} = \frac{128}{4} = 21,33 < 33 \times \varepsilon < 33$$

Poprečni presjek → **klasa 1**

#### Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila  $N_{sd} = 263,30 \text{ kN (vlak)}$

$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 24,03 \cdot 36}{1,25} = 622,86 \text{ kN} > N_{sd} = 263,30 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Uzdužna sila  $N_{sd} = 17,45 \text{ kN (tlak)}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{24,03 \cdot 23,5}{1,1} = 513,37 \text{ kN} > N_{sd} = 17,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Otpornost elementa**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9$$

$$\beta_A = 1.0$$

Os y-y

Os z-z

$$l_{iy} = 1660 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 207,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 333,33$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 64,64$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 3,55$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,69$$

Vrućevaljani šuplji profili →

**linija izvijanja a****linija izvijanja b**

$$\chi_y = 0,0748$$

$$\chi_z = 0,7893$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 38,4 \text{ kN} > N_{sd} = 17,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Iskoristivost poprečnog presjeka**

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\text{VLAK} \rightarrow \eta = \frac{263,60}{622,86} = 0,38 = 38\%$$

$$\text{TLAK} \rightarrow \eta = \frac{17,45}{38,4} = 0,45 = 45\%$$

Dakle, iskoristivost poprečnog presjeka iznosi 45%

### 6.1.1.3. Ispuna – vertikalni štapovi (V)

#### Maksimalne rezne sile

$N_{sd} = 14,12 \text{ kN}$  (vlak)

$N_{sd} = -68,34 \text{ kN}$  (tlak)

#### Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil		CFRHS 70 x 70 x 3
Tip poprečnog presjeka		valjani
Površina poprečnog presjeka $A \text{ (cm}^2\text{)}$		7,94 $\text{cm}^2$
Moment tromosti	$I_y \text{ (cm}^4\text{)}$	59,00 $\text{cm}^4$
	$I_z \text{ (cm}^4\text{)}$	59,00 $\text{cm}^4$
Moment otpora	$W_{el_y} \text{ (cm}^3\text{)}$	16,90 $\text{cm}^3$
	$W_{pl_y} \text{ (cm}^3\text{)}$	19,90 $\text{cm}^3$
	$W_{el_z} \text{ (cm}^3\text{)}$	16,90 $\text{cm}^3$
	$W_{pl_z} \text{ (cm}^3\text{)}$	19,90 $\text{cm}^3$
Radijus tromosti	$i_y \text{ (cm)}$	2,73 $\text{cm}$
	$i_z \text{ (cm)}$	2,73 $\text{cm}$
Konstanta krivljenja	$I_w \text{ (cm}^6\text{)}$	420,175 $\text{cm}^6$
Torzijska konstanta	$I_t \text{ (cm}^4\text{)}$	92,20 $\text{cm}^4$
Visina presjeka $h \text{ (mm)}$		70 $\text{mm}$
Širina pojasnice $b \text{ (mm)}$		70 $\text{mm}$
Debljina pojasnice $t_f \text{ (mm)}$		3,0 $\text{mm}$
Debljina hrpta $t_w \text{ (mm)}$		3,0 $\text{mm}$
Osnovni materijal Fe 510		
Granica popustanja $f_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$		235 $\text{N/mm}^2$

Vlačna čvrstoća $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	360 N/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti E (N/mm <sup>2</sup> )	210 000 N/mm <sup>2</sup>
Poissonov koeficijent $\nu$	0,3

Parcijalni faktori sigurnosti

$\gamma_{M0}$	1,10
$\gamma_{M1}$	1,10
$\gamma_{M2}$	1,25

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = 1,00$$

$$d = h - 2 \cdot t = 70 - 2 \cdot 3 = 64$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{64}{3} = 21 < 33 \times \varepsilon < 33 \rightarrow \text{klasa I}$$

Poprečni presjek  $\rightarrow$  klasa I

Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila  $N_{Sd} = 14,12$  kN (vlak)

$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 7,94 \cdot 36}{1,25} = 205,80 \text{ kN} > N_{Sd} = 14,12 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Uzdužna sila  $N_{Sd} = -68,34$  kN (tlak)

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,94 \cdot 23,5}{1,1} = 169,63 \text{ kN} > N_{Sd} = 68,34 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Otpornost elementa**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9$$

$$\beta_A = 1.0$$

Os y-y

Os z-z

$$l_{iy} = 111,0 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 111,0 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 40,64$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 40,64$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,43$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,43$$

**Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a**

$$\chi_y = 0.9447$$

$$\chi_z = 0.9447$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 160,25 \text{ kN} > N_{sd} = 68,34 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Iskoristivost poprečnog presjeka**

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\text{VLAK} \rightarrow \eta = \frac{14,12}{205,80} = 0,0686 = 6,9\%$$

$$\text{TLAK} \rightarrow \eta = \frac{68,34}{160,25} = 0,4465 = 44,65\%$$

Dakle, iskoristivost poprečnog presjeka je 45%

### 6.1.1.4. Ispuna – dijagonalni štapovi (D)

#### Maksimalne rezne sile

$$N_{sd} = 159,98 \text{ kN (vlak)}$$

$$N_{sd} = -13,73 \text{ kN (tlak)}$$

#### Karakteristike poprečnog presjeka

- Jednake kao karakteristike vertikalnih štapova

#### Parcijalni faktori sigurnosti

$\gamma_{M0}$	1,10
$\gamma_{M1}$	1,10
$\gamma_{M2}$	1,25

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = 1,00$$

$$d = h - 2 \cdot t = 70 - 2 \cdot 3 = 64$$

$$\frac{d}{tw} = \frac{64}{3} = 21 < 33 \times \varepsilon < 33 \rightarrow \text{klasa I}$$

Poprečni presjek → klasa I

#### Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila  $N_{sd} = 159,98 \text{ kN (vlak)}$

$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 7,94 \cdot 36}{1,25} = 205,80 \text{ kN} > N_{sd} = 159,98 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Uzdužna sila  $N_{sd} = -13,73 \text{ kN (tlak)}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,94 \cdot 23,5}{1,1} = 169,63 \text{ kN} > N_{sd} = 13,73 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Otpornost elementa**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9$$

$$\beta_A = 1.0$$

Os y-y

Os z-z

$$l_{iy} = 229,7 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 229,7 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 84,14$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 84,14$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,90$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0,90$$

**Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a**

$$\chi_y = 0.7339$$

$$\chi_z = 0.7339$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 124,49 \text{ kN} > N_{sd} = 13,73 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Iskoristivost poprečnog presjeka**

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka mora se voditi računa o odnosu:

$$\text{VLAK} \rightarrow \eta = \frac{159,98}{205,80} = 0,7874 = 78,74\%$$

$$\text{TLAK} \rightarrow \eta = \frac{13,73}{124,94} = 0,1103 = 11,03\%$$

Dakle, iskoristivost poprečnog presjeka je 79%



### 6.1.2. Dimenzioniranje stupova (S)

Za sve stupove konstruktivnog sustava usvajamo isti profil poprečnog presjeka zbog simetričnosti konstrukcije!

**Mjerodvna kritična kombinacija za maksimalni moment u poprečnom presjeku ( vlastita težina nosača + stalni teret + vjetar W2 )**

$$M_{y,sd} = -232,94 \text{ kNm}; \quad \text{pripadna uzdužna sila je } N = -15,47 \text{ kN (TLAK)}$$

$$V_{z,sd} = 76,53 \text{ kN}$$

**Mjerodvna kritična kombinacija za maksimalnu uzdužnu silu u poprečnom presjeku (vlastita težina nosača + stalni teret + snijeg)**

$$N_{sd} = -85,28 \text{ kN (TLAK)}; \quad \text{pripadni moment u lijevom stapu je } M = 28,27 \text{ kNm, a poprečna sila } V = -3,72 \text{ kN}$$

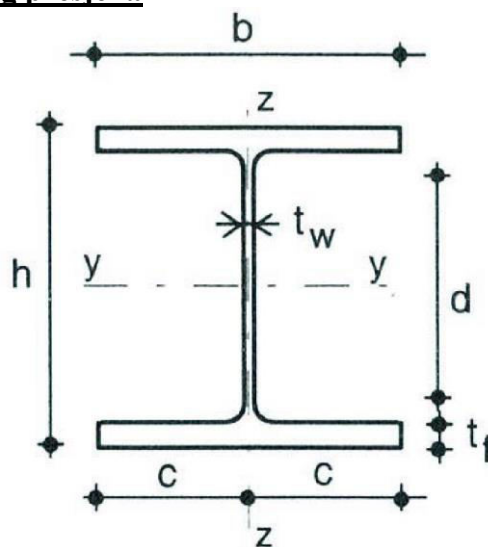
**Mjerodvna kritična kombinacija (vlastita težina nosača + stalni teret + vjetar W1)**

$$M_{y,sd} = -227,37 \text{ kNm}$$

$$V_{z,sd} = 54,94 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 50,83 \text{ kN (VLAK)}$$

#### Karakteristike poprečnog presjeka



Odabrani profil	HEB 400
Tip poprečnog presjeka	valjani
Površina poprečnog presjeka A (cm <sup>2</sup> )	197,8 cm <sup>2</sup>

Moment tromosti	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	57680 cm <sup>4</sup>
	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	10820 cm <sup>4</sup>
Moment otpora	$W_{e1y}$ (cm <sup>3</sup> )	2884 cm <sup>3</sup>
	$W_{p1y}$ (cm <sup>3</sup> )	3232 cm <sup>3</sup>
	$W_{e1z}$ (cm <sup>3</sup> )	721,3 cm <sup>3</sup>
	$W_{p1z}$ (cm <sup>3</sup> )	1104 cm <sup>3</sup>
Radijus tromosti	$i_y$ (cm)	17,1 cm
	$i_z$ (cm)	7,4 cm
Konstanta krivljenja	$I_w$ (cm <sup>6</sup> )	3817200 cm <sup>6</sup>
Torzijaska konstanta	$I_t$ (cm <sup>4</sup> )	355,7 cm <sup>4</sup>
Visina presjeka h (mm)		400 mm
Širina pojasnice b (mm)		300 mm
Debljina pojasnice t <sub>f</sub> (mm)		24 mm
Ravni dio hrpta d (mm)		298 mm
Debljina hrpta t <sub>w</sub> (mm)		13,5 mm
Osnovni materijal Fe 360		
Granica popustanja f <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		235 N/mm <sup>2</sup>
Vlačna čvrstoća f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		360 N/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti E (N/mm <sup>2</sup> )		210 000 N/mm <sup>2</sup>
Poissonov koeficijent ν		0,3

### Klasifikacija poprečnog presjeka

- Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{298}{13,5} = 22,07 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1$$

$$a = \frac{N_{sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{15,47}{2 \times 1,35 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,27 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{29,8} \times \left( \frac{29,8}{2} + 0,27 \right) = 0,51$$

$$\alpha = 0,51 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju) :

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,51 - 1} = 70,33 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Hrbat je klase I.**

- Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150,0}{24} = 6,25; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{300}{2} = 150$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Pojasnica je klase I.**

**Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu I.**

### **Otpornost poprečnog presjeka**

- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{197,8 \times 23,5}{1,1} = 4225,73 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd}$$

$$15,47 \text{ kN} \leq 4225,73 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Napomena: Proračun zadovoljava i kombinaciju za maksimalnu uzdužnu silu  $N_{sd} = 85,26 \text{ kN}$  (tlak)

- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3232 \times 23,5}{1,1} = 690,47 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_y, sd \leq M_c, Rd \\ 232,94 \text{ kNm} \leq 690,47 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{298}{13} = 22,98 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$A_{v,z} = 1.04 \cdot h \cdot t_w = 1.04 \cdot 40,0 \cdot 1,35 = 56,16 \text{ cm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{56,16 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 692,69 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 76,53 \text{ kN}$$

### Interakcija M - N - V

( kombinacija maksimalnog momenta  $M_{sd} = 232,94 \text{ kNm}$  i pripadne uzdužne sile  $N_{sd} = 15,47 \text{ kN}$ )

Poprečna sila :

$$V_{z,Sd} = 76,53 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$V_{z,Sd} < 0,5 \times V_{pl,z,Rd} = 346,35 \text{ kN}$$

Razina uzdužne sile:

$$N_{sd} = 15,47 \text{ kN}$$

$$N_{sd} < 0,25 \times N_{pl,Rd} - \text{uvjet niske razine uzdužne sile}$$

$$15,47 < 0,25 \times 4225,73 = 1056,43 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Za nisku razinu uzdužne sile i za  $V_{sd} < 0,5 \times V_{pl}$  vrijedi:

$$\frac{M_{N.V.y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,0 \rightarrow M_{N.V.y,Rd} \rightarrow 692,69 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{N.V.y,Rd}$$

$$232,94 \text{ kNm} < 692,69 \text{ kNm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Napomena: Proracun zadovoljava i za kritičnu kombinaciju  $M = 227,37 \text{ kNm}$  i pripadne uzdužne sile  $N = 50,83 \text{ kN}$  i kombinaciju maximalne uzdužne sile ( $N = 85,28 \text{ kN}$  i pripadnog momenta  $M = 28,27 \text{ kNm}$ )

**Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)**

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:  $l_{iy} = 2 \cdot H = 2 \cdot 760 = 1520 \text{ cm}$

$l_{iz} = 253,33 \text{ cm}$  (razmak zidne sekundarne konstrukcije)

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1520}{17,1} = 88,89 ; \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{223,33}{7,4} = 34,23$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91 \quad ; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{88,89}{93,91} \times \sqrt{1,0} = 0,95$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{34,23}{93,91} \times \sqrt{1,0} = 0,36$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{400}{300} = 1,33 > 1,2$$

$$t_f = 24 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Os y-y → mjerodavna linija izvijanja a:  $\bar{\lambda}_y = 0,95$

Os z-z → mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_z = 0,36$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,7003$  ;  $\chi_z = 0,9417 \rightarrow \chi_{\min} = 0,7003$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 2959,28 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 15,47 \text{ kN} < 2959,28 \text{ kN}$$

**Napomena:** Proracun zadovoljava i kombinaciju maksimalne uzdužne sile ( $N = 85,28 \text{ kN}$  i pripadnog momenta  $M = 28,27 \text{ kNm}$ )

**Otpornost elemenata na bočno izvijanje**

$$- g = -\frac{h}{2} = -\frac{40}{2} = 20 \text{ cm}; \quad L=253,33 \text{ cm} - \text{razmak točaka bočnog pridržanja}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

- na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanjastupa imamo sljedeće koeficijente :

$$k=0,7; \quad k_w=0,7; \quad C_1=2,092; \quad C_2=0,0$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 2957,86 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,51$$

Mjerodavna linija izvijanja a :  $\chi_{LT} = 0,9211$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 685,92 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$232,94 \text{ kNm} < 685,92 \text{ kNm}$$

**Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja**

(kombinacija maksimalnog momenta  $M_{sd} = 232,94 \text{ kNm}$  i pripadne uzdužne sile  $N_{sd} = -15,47 \text{ kN}$ )

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Koeficijent  $\beta_{My} = 1,8 - 0,7 \psi = 1,8$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 0,95 \cdot (2 \cdot 1,8 - 4) + \frac{3232 - 2884}{2884} = -0,259 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,259 \cdot 15,47}{0,7003 \cdot 197,8 \cdot 23,5} = 1,004$$

$$k_y = 1,004 \leq 1,5$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{15,47}{0,7003 \cdot \frac{197,8 \cdot 23,5}{1,1}} + \frac{1,001 \cdot 232,94 \cdot 100}{\frac{3232 \cdot 23,5}{1,1}} = 0,29 < 1$$

Interakcija M-N bez problema bočnog izvijanja zadovoljava

### **Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{M,LT} - 4) = 0,51 \cdot (2 \cdot 1,3 - 4) = -0,714 \leq 0,9$$

Koeficijent  $\beta_{M,LT} = 1,300$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{sd}}{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,714 \cdot 15,47}{0,9211 \cdot 197,8 \cdot 23,5} = 1,004 > 1,0 \rightarrow k_{LT} = 1,0$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{15,47}{0,7003 \cdot \frac{197,8 \cdot 23,5}{1,1}} + \frac{1,0 \cdot 232,94 \cdot 100}{0,9211 \cdot \frac{3232 \cdot 23,5}{1,1}} = 0,37$$

$$0,37 < 1,0$$

*Napomena: Proracun zadovoljava i za kombinaciju maksimalne uzdužne sile ( $N = -85,28 \text{ kN}$  i pripadnog momenta  $M_{sd} = 28,27 \text{ kNm}$ .)*

### 6.1.2.1. Iskoristivost poprečnog presjeka

Uzdužna sila smanjuje utjecaj momenta savijanja u elementu, no iskoristivost se proračunava s obzirom na najveći moment i u sličaju da se proračunska tlačna sila ne pojavi.

Presjek je prvenstveno oblikovan za moment savijanja.

Prilikom traženja optimalnog poprečnog presjeka stupa mora se voditi računa o odnosu:

$$\eta = \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} = \frac{232,94}{690,47} = 0,3374$$

Da bi taj uvijet bio zadovoljen, odabran je navedeni poprečni presjek sa iskoristivošću poprečnog presjeka s obzirom na moment savijanja i otpornost na bočno izvijanje kada se zanemaruje „pozitivno“ djelovanje tlačne sile:

$$\eta = \frac{M_{y,Sd}}{M_{b,Rd}} = \frac{232,94}{685,92} = 0,3396$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 33,74 % u slučaju djelovanja samo momenta savijanja, a 33,96 % u slučaju interakcije M i N na razini poprečnog presjeka.

S obzirom na horizontalni pomak, iskoristivost poprečnog presjeka je

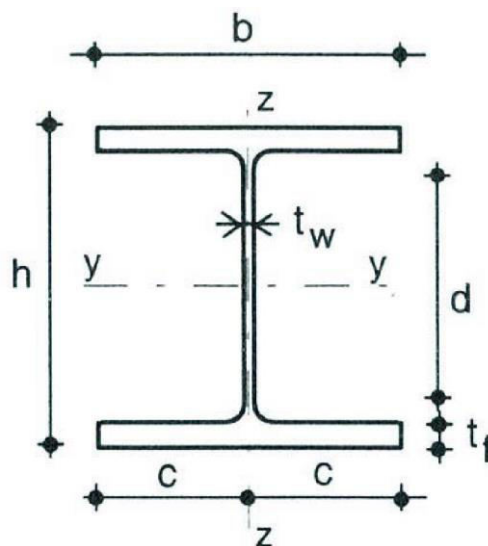
$$\eta = \frac{\delta_{\max}}{H / 400} = \frac{1,87\text{cm}}{1,9\text{cm}} = 0,9842 = 98,42\%.$$

*Komentar: Iako je prema krajnjem graničnom stanju iskoristivost jako mala, prema GSU je iskoristivost dovoljno velika i iznosi 98,42 %.*



## 6.2. Dimenzioniranje sekundarne konstrukcije

### 6.2.1. Krovne podrožnice (K1)



Odabrani profil		HE 180A
Tip poprečnog presjeka		valjani
Površina poprečnog presjaka $A$ (cm <sup>2</sup> )		45,3 cm <sup>2</sup>
Moment tromosti	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	2510 cm <sup>4</sup>
	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	925 cm <sup>4</sup>
Moment otpora	$W_{el_y}$ (cm <sup>3</sup> )	294 cm <sup>3</sup>
	$W_{pl_y}$ (cm <sup>3</sup> )	325 cm <sup>3</sup>
	$W_{el_z}$ (cm <sup>3</sup> )	103 cm <sup>3</sup>
	$W_{pl_z}$ (cm <sup>3</sup> )	156,7 cm <sup>3</sup>
Radijus tromosti	$i_y$ (cm)	7,4 cm
	$i_z$ (cm)	4,5 cm
Konstanta krivljenja	$I_w$ (cm <sup>6</sup> )	60211,0 cm <sup>6</sup>
Torzijska konstanta	$I_t$ (cm <sup>4</sup> )	14,8 cm <sup>4</sup>
Visina presjeka $h$ (mm)		171 mm
Širina pojasnice $b$ (mm)		180 mm
Debljina pojasnice $t_f$ (mm)		9,5 mm

Ravni dio hrpta d (mm)	122,0 mm
Debljina hrpta $t_w$ (mm)	6,0 mm
Osnovni materijal Fe 360	
Granica popustanja $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235 N/mm <sup>2</sup>
Vlačna čvrstoća $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	360 N/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti E (N/mm <sup>2</sup> )	210 000 N/mm <sup>2</sup>
Poissonov koeficijent $\nu$	0,3

### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

#### **- Hrbat**

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{122,0}{6,0} = 20,33 < 33 \quad \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1$$

$$a = \frac{N_{sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{80,71}{2 \times 0,6 \times \frac{23,5}{1,1}} = 3,15 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{12,2} \times \left( \frac{12,2}{2} + 3,15 \right) = 0,76$$

$$\alpha = 0,76 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju) :

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,76 - 1} = 44,59 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

#### **Hrbat je klase I.**

#### **- Pojasnica**

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{90}{9,5} = 9,47 \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

#### **Pojasnica je klase I.**

Zaključak: **Odabrani presjek je svrstan u klasu I.**

**Otpornost poprečnog presjeka****- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku**

$$N_{C,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,3 \times 23,5}{1,1} = 967,77 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \leq N_{C,Rd}$$

$$80,71 \text{ kN} \leq 967,77 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju**

$$M_{Y,Rd} = \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2,94 \times 23,5}{1,1} = 62,81 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,sd} \leq M_{c,Rd}$$

$$12,39 \text{ kNm} \leq 62,81 \text{ kNm}$$

$$M_{Z,Rd} = \frac{W_z \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1,03 \times 23,5}{1,1} = 22,00 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{z,sd} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,743 \text{ kNm} \leq 22,00 \text{ kNm}$$

**- Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{122,0}{6,0} = 20,33 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.}$$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{32,77 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 404,20 \text{ kN} \geq V_{y,Sd} = 0,49 \text{ kN}$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10,99 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 135,55 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 8,123 \text{ kN}$$

**Interakcija M - N - V**

Plastična interakcijska formula: 
$$\left(\frac{M_{Y,Sd}}{M_{N.V.Y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Z,Sd}}{M_{N.V.Z,Rd}}\right)^\beta \leq 1$$

Razina uzdužne sile:

$$N_{Sd} = 86,71 \text{ kN}$$

$$0,25 N_{Rd} = 0,25 * 967,77 = 241,94 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq 0,25 N_{Rd} \rightarrow \text{niska razina uzdužne sile}$$

**Savijanje oko osi y-y:**

Poprečna sila:

$$V_{z,Sd} = 8,123 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$0,5V_{pl.z,Rd} = 0,5 * 135,55 = 67,78 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} < 0,5V_{pl.z,Rd}$$

Za nisku razinu uzdužne sile i  $V_{z,Sd} < 0,5V_{pl.z,Rd}$  vrijedi:

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

$$M_{N.V.y,Rd} = M_{y,Rd} = 62,81 \text{ kNm}$$

**Savijanje oko osi z-z:**

Poprečna sila:

$$V_{y,Sd} = 0,49 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$0,5V_{pl.y,Rd} = 0,5 * 404,20 = 202,10 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} < 0,5V_{pl.y,Rd}$$

Za nisku razinu uzdužne sile i  $V_{y,Sd} < 0,5V_{pl.y,Rd}$  vrijedi:

$$\frac{M_{N.V.z,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1$$

$$M_{N.V.z,Rd} = M_{z,Rd} = 22,00 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{M_{Y,Sd}}{M_{Y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Z,Sd}}{M_{Z,Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{12,39}{62,81}\right)^2 + \left(\frac{0,743}{22,00}\right)^1 = 0,073 \leq 1$$

Interakcija M-N-V zadovoljava.

### Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:

$$l_{iz} = 610,00\text{cm} ; l_{iy} = 610,00\text{cm}$$

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{610,0}{7,4} = 82,43 ; \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{610,00}{4,50} = 135,56$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 ; \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{82,43}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,88$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{135,56}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,44$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 11 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Os y-y → mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_y = 0,88$

Os z-z → mjerodavna linija izvijanja c:  $\bar{\lambda}_z = 1,44$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,7470$  ;  $\chi_z = 0,3348 \rightarrow \chi_{\min} = 0,3348$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 324,01 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 80,71 \text{ kN} < 324,01 \text{ kN}$$

**Otpornost elemenata na bočno izvijanje**

$$g = -8,55 \text{ cm}; L = 610 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja podrožnice imamo sljedeće koeficijente :

$$k = 1,0; k_w = 1,0; C_1 = 1,132; C_2 = 0,459$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 64,95 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,00 \cdot 325 \cdot 23,5}{6495,0}} = 1,08 \geq 0,4$$

$$\beta_w = 1,00$$

Mjerodavna linija izvijanja a:  $\chi_{LT} = 0,6098$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6098 \cdot \frac{1 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,1} = 42,33 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$12,39 \text{ kNm} < 42,33 \text{ kNm}$$

**Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_z \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Koeficijenti:  $\beta_{My} = 1,300$  ;

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \times (2 \times \beta_{My} - 4) = 0,88 \times (2 \times 1,3 - 4) = -1,232 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{-1,232 \times 106,62}{0,6098 \times 45,3 \times 23,5} = 1,2$$

$$k_y = 1,2 \leq 1,5$$

$$\beta_{Mz} = 1,300$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z \times (2 \times \beta_{Mz} - 4) = 1,44 \times (2 \times 1,3 - 4) = -2,016 \leq 0,9$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \times N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{-2,016 \times 106,62}{0,3348 \times 45,3 \times 23,5} = 1,60$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_z \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{80,71}{0,3348 \times \frac{45,3 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,2 \times 12,39 \times 100}{\frac{294 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,6 \times 0,743 \times 100}{\frac{103 \times 23,5}{1,1}} = 0,55 \leq 1,0$$

Interakcija M-N zadovoljava

**Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{z,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_z \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{M,LT} - 4) = 1,08 \cdot (2 \cdot 1,3 - 4) = -1,512 \leq 0,9$$

Koeficijent  $\beta_{M,LT} = 1,300$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{-1,512 \times 106,62}{0,6098 \times 45,3 \times 23,5} = 1,25 > 1,0 \rightarrow k_{LT} = 1,0$$

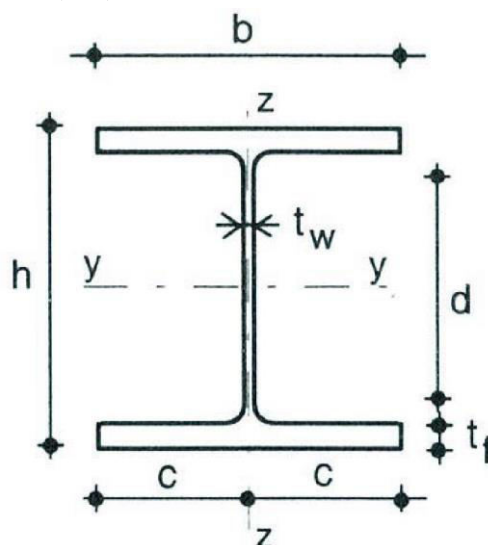
$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{z,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_z \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{80,71}{0,3348 \times \frac{45,3 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,0 \times 12,39 \times 100}{0,6098 \times \frac{294 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,0 \cdot 0,743 \times 100}{\frac{103 \times 23,5}{1,1}} =$$

$$0,61 < 1,0$$

Usvojeni presjek HE 180A.



### 6.2.2. Bočne podrožnice (B1)



$$M_y = 2,75 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,1^2}{8} = 19,186 \text{ kNm}$$

$$V_z = 2,75 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,1}{2} = 12,58 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 66,43 \text{ kN (tlak)}$$

- Odabran je isti presjek kao i kod krovnih podrožnica

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

##### - Hrbat

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{122,0}{6,0} = 20,33 < 33 \quad \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1$$

$$a = \frac{N_{sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{66,43}{2 \times 0,6 \times \frac{23,5}{1,1}} = 2,6 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{12,2} \times \left( \frac{12,2}{2} + 2,6 \right) = 0,71$$

$$\alpha = 0,71 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju) :

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,71 - 1} = 38,12 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Hrpat je klase I.**- Pojasnica

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{90}{9,5} = 9,47 \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Pojasnica je klase I.**Zaključak: **Odabrani presjek** je svrstan u **klasu I.****Otpornost poprečnog presjeka**- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{C,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,3 \times 23,5}{1,1} = 967,77 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{sd} \leq N_{C,Rd}$$

$$66,43 \text{ kN} \leq 967,77 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{Y,Rd} = \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2,94 \times 23,5}{1,1} = 62,81 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,sd} \leq M_{c,Rd}$$

$$19,186 \text{ kNm} \leq 62,81 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{122,0}{6,0} = 20,33 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.}$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10,99 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 135,55 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 12,58 \text{ kN}$$

**Interakcija M - N - V**

Plastična interacijska formula: 
$$\frac{M_{Y,Sd}}{M_{N.V.Y,Rd}} \leq 1$$

Razina uzdužne sile:

$$N_{Sd} = 66,43 \text{ kN}$$

$$0,25 N_{Rd} = 0,25 * 967,77 = 241,94 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq 0,25 N_{Rd} \rightarrow \text{niska razina uzdužne sile}$$

Poprečna sila:

$$V_{z,Sd} = 12,58 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$0,5V_{pl.z,Rd} = 0,5 * 135,55 = 67,78 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} < 0,5V_{pl.z,Rd}$$

Za nisku razinu uzdužne sile i  $V_{z,Sd} < 0,5V_{pl.z,Rd}$  vrijedi:

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

$$M_{N.V.y,Rd} = M_{y,Rd} = 62,81 \text{ kNm}$$

$$\frac{19,186}{62,81} = 0,31 \leq 1$$

Interakcija M-N-V zadovoljava.

**Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)**

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:

$$l_{iz} = 610,00 \text{ cm}; l_{iy} = 610,00 \text{ cm}$$

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{610,0}{7,4} = 82,43; \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{610,00}{4,50} = 135,56$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \quad ; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{82,43}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,88$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{135,56}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,44$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 11 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Os y-y → mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_y = 0,88$

Os z-z → mjerodavna linija izvijanja c:  $\bar{\lambda}_z = 1,44$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,7470$  ;  $\chi_z = 0,3348 \rightarrow \chi_{\min} = 0,3348$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 324,01 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 66,43 \text{ kN} < 324,01 \text{ kN}$$

### **Otpornost elemenata na bočno izvijanje**

$$g = -8,55 \text{ cm}; \quad L = 610 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja podrožnice imamo sljedeće koeficijente :

$$k=1,0; \quad k_w=1,0; \quad C_1=1,132; \quad C_2=0,459$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 64,95 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,00 \cdot 325 \cdot 23,5}{6495,0}} = 1,08 \geq 0,4$$

$$\beta_w = 1,00$$

Mjerodavna linija izvijanja a:  $\chi_{LT} = 0,6098$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6098 \cdot \frac{1 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,1} = 42,33 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$19,186 \text{ kNm} < 42,33 \text{ kNm}$$

### Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Koeficijenti:  $\beta_{My} = 1,300$  ;

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \times (2 \times \beta_{My} - 4) = 0,88 \times (2 \times 1,3 - 4) = -1,232 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{-1,232 \times 106,62}{0,6098 \times 45,3 \times 23,5} = 1,13$$

$$k_y = 1,13 \leq 1,5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{66,43}{0,3348 \times \frac{45,3 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,13 \times 19,186 \times 100}{\frac{294 \times 23,5}{1,1}} = 0,56 \leq 1,0$$

Interakcija M-N zadovoljava

**Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{M,LT} - 4) = 1,08 \cdot (2 \cdot 1,3 - 4) = -1,512 \leq 0,9$$

Koeficijent  $\beta_{M,LT} = 1,300$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{-1,512 \times 66,43}{0,6098 \times 45,3 \times 23,5} = 1,15 > 1,0 \rightarrow k_{LT} = 1,0$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_y \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{66,43}{0,3348 \times \frac{45,3 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,0 \times 19,186 \times 100}{0,6098 \times \frac{294 \times 23,5}{1,1}} =$$

$$0,71 < 1,0$$

Usvojeni presjek HE 180 A.

**6.2.3. Krovni spregovi (S1)**

Maksimalna vlačna sila :

$$N_{sd} = 95,86 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} = \frac{1,1 \cdot 95,86}{23,5} = 4,49 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,49}{\pi}} = 2,4 \text{ cm}$$

**$d_{odabrano} = 25 \text{ mm}$**

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{2,5^2 \cdot \pi}{4} = 4,91 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,91 \cdot 23,5}{1,1} = 104,9 \text{ kN} > N_{sd} = 95,86 \text{ kN}$$

Usvojeni profil  $\Phi 25$

### 6.2.4. Bočni spregovi (S2)

Maksimalna vlačna sila:

$$N_{sd} = 176,75 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} = \frac{1,1 \cdot 176,75}{23,5} = 8,27 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,27}{\pi}} = 3,24 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 33 \text{ mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{3,3^2 \cdot \pi}{4} = 8,6 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,6 \cdot 23,5}{1,1} = 183,73 \text{ kN} > N_{sd} = 176,75 \text{ kN}$$

Usvojeni profil  $\Phi 33$

Napomena: Za bočne spregove odabran je veći profil da bi bili istih dimenzija kao i krovni spregovi ( $\Phi 33$ ).

## 7. PRORAČUN SPOJEVA

### 7.1. Dimenzioniranje vlačnog nastavka rešetke

Poprečni presjek:      gornji pojas (140x80x6)  
                                  donji pojas (140x80x6)

Mjerodavna kritična kombinacija:

1,35Xstalno opterećenje + 1,5Xsnijeg

$N_{sd}=156,56$  kN (vlak)

Materijal:

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 10.9

#### 1. Kontrola varova

Max. debljina vara

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6,0 = 4,2 \text{ mm}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 4 \text{ mm}$$

Otpornost vara

$$L = O = 2 \cdot 140 + 2 \cdot 80 = 440 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{440}{100} = 365,73 \text{ kN} > N_{sd} = 263,3 \text{ kN}$$

#### 2. Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijak M16; k.v. 10.9, n=4

Otpornost vijaka

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M_1}} = \frac{141,3}{1,25} = 113,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{N_{sd}}{n} = \frac{156,56}{4} = 39,16 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} < F_{t,Rd}$$

$$39,16 \text{ kN} < 113,00 \text{ kN}$$



### 3. Proračun ploče

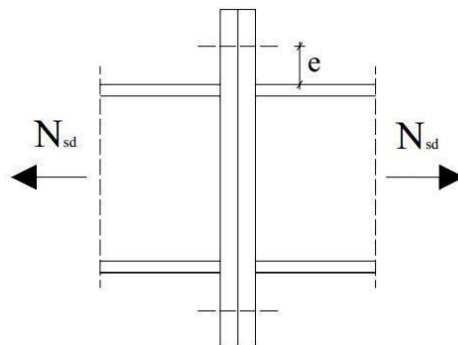
#### Proračun dimenzija pločice

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37,7\text{mm} \approx 38\text{mm}$$

$$b_{pl,\min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 40 + 55 = 135\text{mm}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20\text{mm} = 80 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 112\text{mm}$$

odabrane dim.ploče: 270x135 (mm)



#### Proračun min. debljine pločice

$$e = 40\text{mm}$$

$$b_{pl} = 270\text{mm}$$

$$M_{sd} = 2 \cdot F_{t,sd} \cdot e = 2 \cdot 65,83 \cdot 0,040 = 5,27\text{kNm}$$

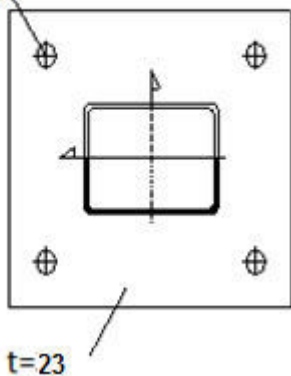
$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,0} \Rightarrow W = \frac{1,0 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$\Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 527 \cdot 6}{27 \cdot 27,5}} = 2,2324\text{cm}$$

$$t_{pl,oda} = 23\text{cm}$$

Odabrana pločica : 270x135x23 (mm)

M 16  
k.v.10:9



## 7.2. Dimenzioniranje spoja stup-rešetka

$$N_{sd} = 50,83 \text{ kN (vlak)}$$

$$V_{sd} = 6,67 \text{ kN}$$

### Materijal:

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 8.8

### Poprečni presjek:

Profil: HEB 400

$h = 400 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 13,5 \text{ mm}$

$t_f = 24,0 \text{ mm}$

Profil 140 x 80 x 6

$h = 140 \text{ mm}$

$b = 80 \text{ mm}$

$t = 6 \text{ mm}$

### 1. Kontrola varova

$$F_{w, sd} = (50,83^2 + 6,67^2)^{0,5} = 50,27 \text{ kN}$$

### Profil HEB 400

-Duljina vara

$$l = 2 \cdot 400 + 2 \cdot 300 + 2 \cdot 376 \approx 2152 \text{ mm}$$

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 13,5 = 9,45 \text{ mm}$$

### Profil 140x80x6

-Duljina vara :

$$l \approx 2 \cdot 300 + 80 = 680 \text{ mm}$$

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu elementa:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6 = 3,2 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{77,9}{1,25} \times \frac{680}{100} = 423,78 \text{ kN} > F_{w,sd}$$

## 2. Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M16 (kv. 8.8), udaljenost  $c_{\min}$  od ruba pojasnice iznosi :

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37,65 \text{ mm}$$

Odabrano:  $c=40$  mm

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{113,0}{1,25} = 90,4 \text{ kN} > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{50,83}{2} = 25,415 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,4}{1,25} = 60,32 \text{ kN} > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{2} = \frac{6,67}{2} = 3,335 \text{ kN}$$

Napomena : Za kombinaciju ( vl. težina+stalni teret G + snijeg S ) javlja se poprečna sila :

$$V_{z,sd} = 1,5 \cdot V_{w1} + 1 \cdot V_{vl.tež.} + 1 \cdot V_G = 15,24 \text{ kN}$$

Međutim u toj kombinaciji se javlja uzdužna tlačna sila u stupu pa ćemo samo provjeriti otpornost vijka na posmik, budući je veća ova poprečna sila od prethodne kombinacije u kojoj se javlja uzdužna vlačna sila u stupu.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,4}{1,25} = 60,32 \text{ kN} > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{2} = \frac{15,24}{2} = 7,62 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{3,335}{1,4 \cdot 113,0} + \frac{7,62}{60,32} = 0,15 < 1,0$$

## 3. Proračun dimenzija ploče

Proračun duljine i širine ploče:

$$a_{pl}^{\min} = h = 400 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b = 300 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije duljine i širine ploče su 400x300mm.

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,sd} = \frac{6,67}{2} = 3,335 \text{ kN} = F_{b,sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3,335 \cdot 1,25 \cdot 10}{106,7} = 0,391 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

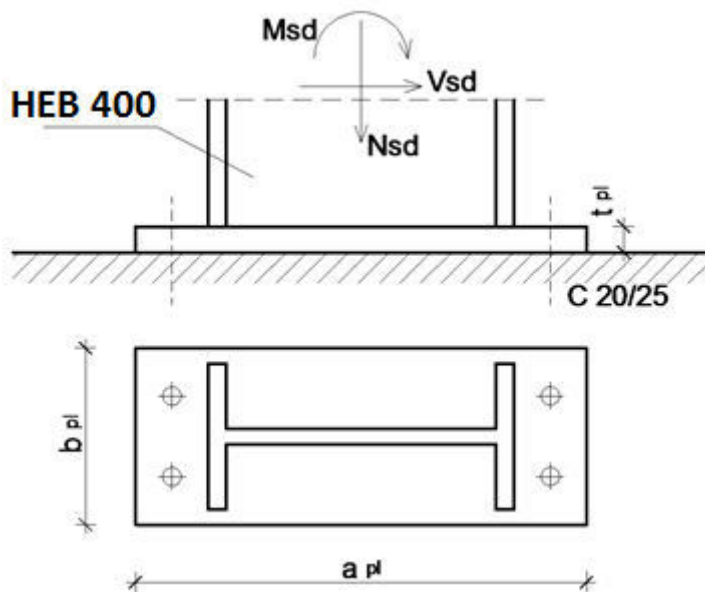
$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c = 3,335 \cdot 0,025 = 0,0833 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 8,3 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}} = 0,27 \text{ cm} = 2,7 \text{ mm} \rightarrow \text{usvojeno } 10 \text{ mm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 400x300x10mm.

### 7.3. Dimenzioniranje upetog spoja stup - temelj

#### Ulazni podaci



#### Veličine djelovanja:

$$N_{sd} = 50,83 \text{ kN (Vlak)}$$

$$M_{sd} = 227,37 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 54,94 \text{ kN}$$

#### Materijal:

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 10.9

#### Poprečni presjek:

Profil: HEB 400

$h = 400 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 13,5 \text{ mm}$

$t_f = 24,0 \text{ mm}$

#### Raspodjela sila po presjeku nosača:

#### Pojasnice:

*Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja*

$$N_p^{*M} = \frac{M_{sd}}{h'} = \frac{227,37}{(0,40 - 0,024)} = 604,71 \text{ kN}$$

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{sd} = \frac{30 \cdot 2,4}{197,8} \cdot 50,83 = 18,50 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 623,21 \text{ kN} = F_{w,sd}$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice

$$l_1 = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot 352 = 704 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 13,5 = 9,45 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var  $a=8,0 \text{ mm}$

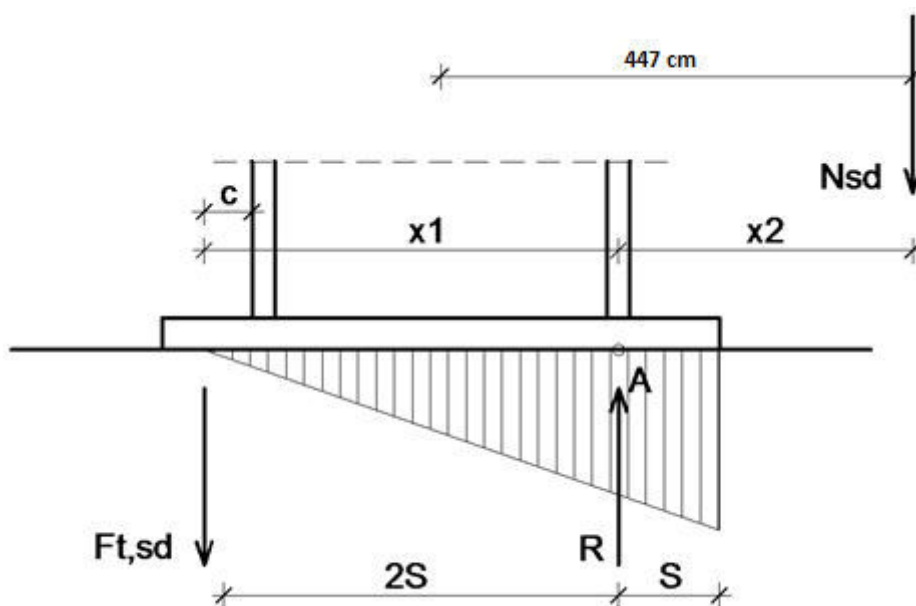
Uzdužna sila

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{207,8}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 997,44 \text{ kN} > F_{w,sd} = 623,21 \text{ kN}$$

Poprečna sila

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{207,8}{1,25} \cdot \frac{704}{100} = 1170,33 \text{ kN} > V_{sd} = 50,83 \text{ kN}$$

## Proračun vijaka:



## Pretpostavljeni vijak

M 27 ; k.v. 10.9

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 27 + 8\sqrt{2} = 65,31\text{mm}$$

Usvojeni  $c = 70\text{ mm}$ .

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{227,37}{50,83} = 4,47\text{m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 70 + 400 - 12 = 458\text{mm} = 0,458\text{m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 4470 - \frac{400}{2} + 12 = 4,282\text{m}$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{50,83 \cdot 4,28}{0,458} = 474,7\text{kN}$$

## Otpornost vijka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{413,1}{1,25} = 330,48\text{kN} > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{474,7}{2} = 237,35\text{kN}$$

*Otpornost vijaka na posmik*

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{229,5}{1,25} = 183,6 \text{ kN} > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{54,94}{4} = 13,735 \text{ kN}$$

*Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak*

$$\frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{237,35}{1,4 \cdot 330,48} + \frac{13,735}{183,6} = 0,59 < 1,0$$

Proračun dimenzija ploče:

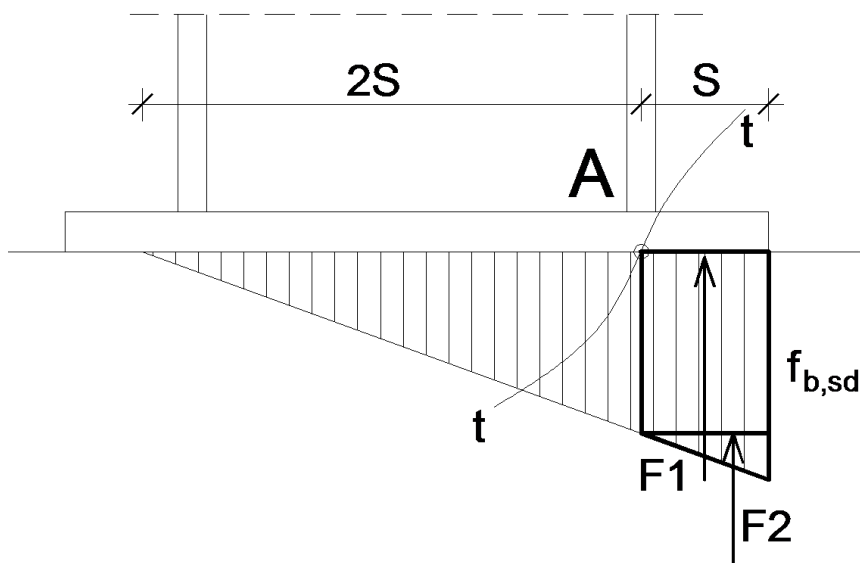
*Proračun širine i dužine ploče*

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 400 + 2 \cdot (70 + 70) = 680 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} + 20 = 342,62 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 90 + 2 \cdot 55 = 200 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 680x346mm

*Proračun debljine ploče*

*Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala*

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = 13,735 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{13,735 \cdot 1,25 \cdot 10}{182,3} = 0,94 \text{ mm}$$



Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$S = (680 - 400 + 13,5) / 2 = 146,75 \text{ mm} = 14,68 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 237,35 + 54,94 = 292,29 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{292,29}{\frac{3 \cdot 14,68 \cdot 34,5}{2}} = 0,38 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$\begin{aligned} M_{sd} &= F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{3 \cdot S}{2} = \frac{2}{3} f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{2}{3} \cdot S = \\ &= \frac{2}{3} \cdot 3800 \cdot 0,1468 \cdot 0,345 \cdot \frac{0,1468}{2} + \frac{1}{3} \cdot 3800 \cdot 0,1468 \cdot 0,345 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,1468 = 12,56 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot (c + t_f / 2) = 237,35 \cdot (0,07 + 0,012) = 19,5 \text{ kNm} \Rightarrow \text{mjerodavnije}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1950 \cdot 6}{34,6 \cdot 23,5}} = 3,98 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 4,0 \text{ cm}$$

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, pa prema tome za debljinu ploče usvajamo  $d=4$  cm uz postavljanje vijaka s obje strane pojasnice kao što je prikazano u nacrtima !

Usvojene dimenzije ploče su 680x346x40 mm

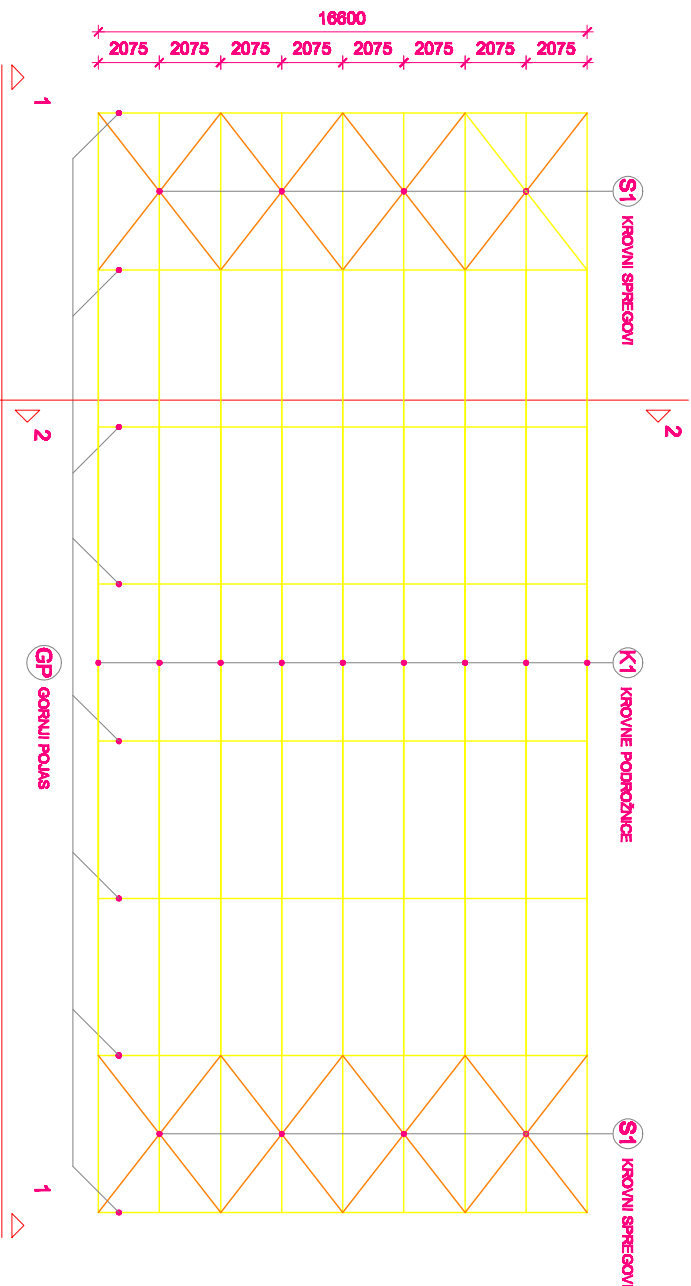
## **8. NACRTI**

# TLOCRTNI PRIKAZ

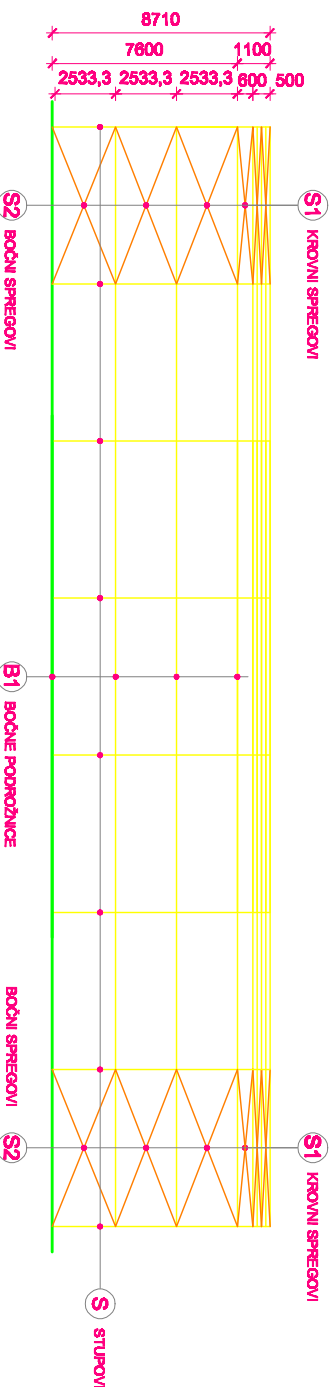


# GENERALNI PLAN POZICIJA

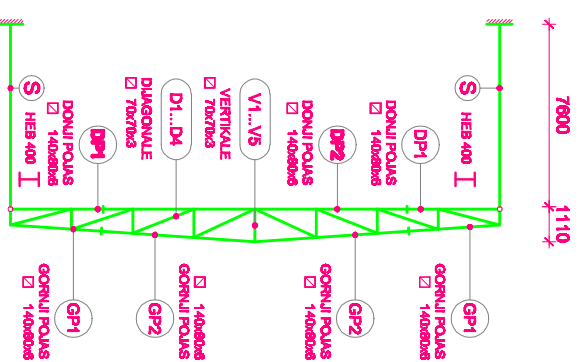
M1:200



POGLED 1-1



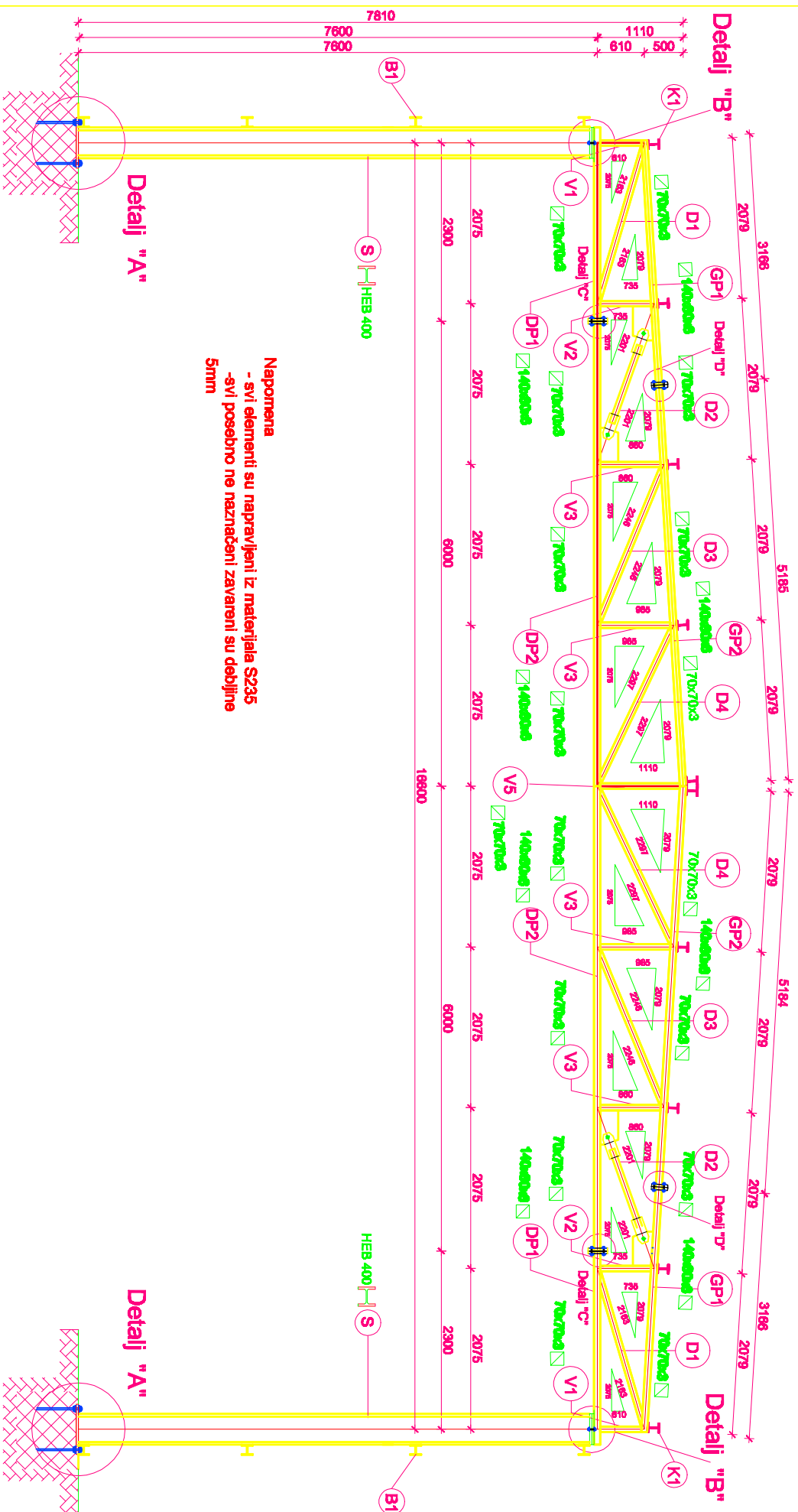
PRESJEK 2-2



Fakultet arhitekture u Zagrebu  
 Odjel za arhitekturu i inženjering  
 10000 Zagreb, Matije Gupca 10

<b>Osnove metalnih konstrukcija</b>	
TEMA <b>PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE</b>	Datum: Kraljevic 4088
STUDENT Ivančević	MASTRO BROJ PUNCAVA
Generalni plan pozicija	1:200
AV. GODINA 2014/2015	1

# PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50



**Napomena**  
 - svi elementi su napravljeni iz materijala S235  
 - svi posebno ne naznačeni završeni su debljine 5mm



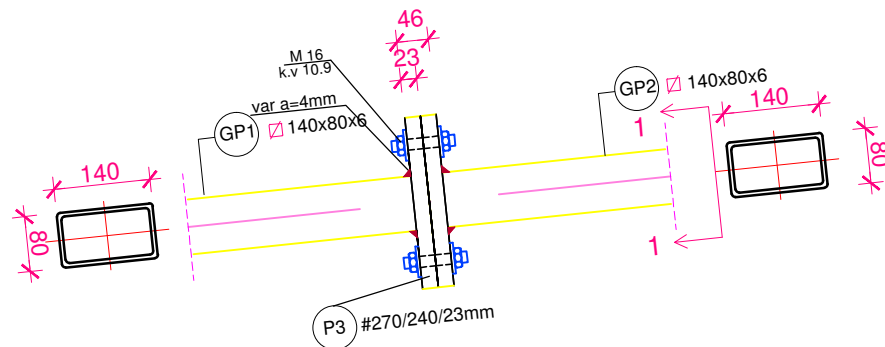
<b>Osnove metalnih konstrukcija</b>	
TEMA	<b>PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE</b>
STUDENT	Đakšica Kević 4088
BAVIOŠU	Presjek kroz glavni okvir
MASŠTO	1:50
BRIG PUNOČA	
AKCIJSKI BROJ	2014/2016
STRANICA	2



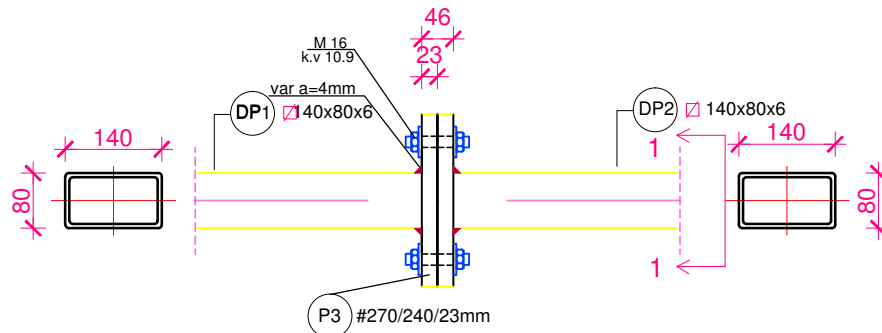
# DETALJ SPOJA M 1:10

## DETALJ "C" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE DONJEG I GORNJEG POJASA

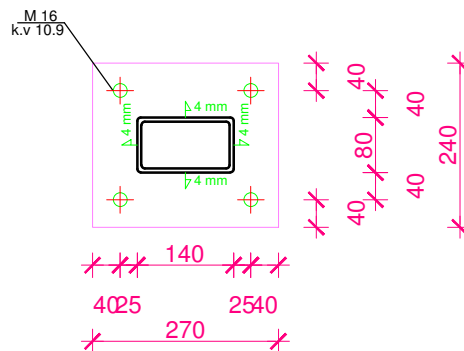
POGLED GORNJI POJAS




POGLED DONJI POJAS



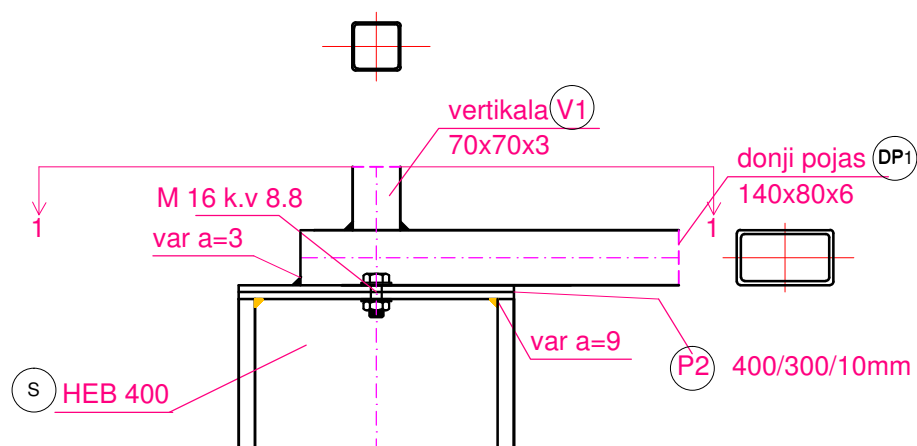
PRESJEK 1-1



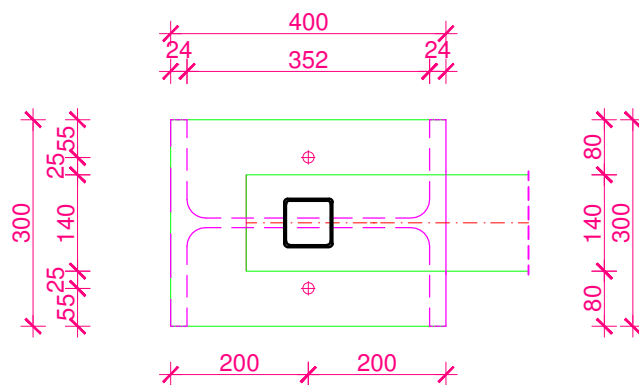
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Dolores Klarić; 4036
	SADRŽAJ	Detalj spoja "B"
	AK.GODINA	2014/2015
	MJERILO	1:10
	BROJ PRILOGA	4


# DETALJ SPOJA M 1:10

## DETALJ "B" ZGLOBNI SPOJ STUPA S REŠETKOM



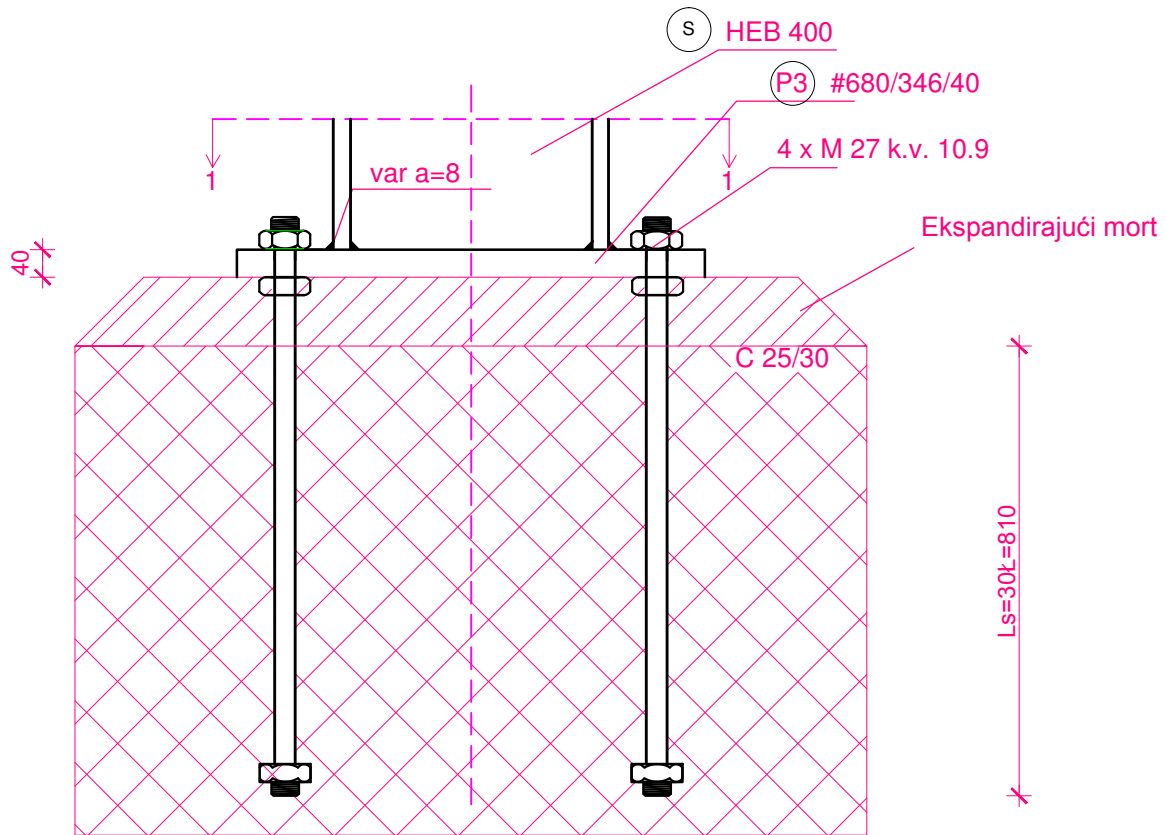
### PRESJEK 1-1



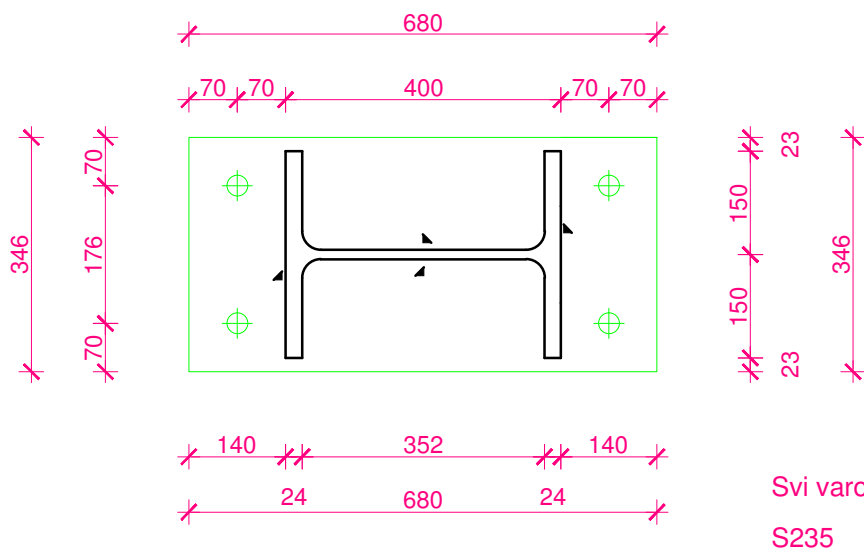
 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Dolores Klarić; 4036
	SADRŽAJ	Detalj spoja "B"
	AK.GODINA	2014/2015
	MJERILO	1:10
	BROJ PRILOGA	5


# DETALJ SPOJA M 1:10

## DETALJ "A" UPETI SPOJ STUPA S TEMELJEM



### PRESJEK 1-1



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Dolores Klarić; 4036
	SADRŽAJ	Detalji spoja "A"
	AK.GODINA	2014/2015
	MJERILO	1:10
	BROJ PRILOGA	6



**TABLICA PREDMJERA MATERIJALA  
ZA JEDAN OKVIR (DUŽINSKI  
ELEMENTI)**

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA JEDAN OKVIR (DUŽINSKI ELEMENTI)					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup S	HEB 400	7600	2	155,27	2360,104
Donji pojas DP1	140x80x6	2300	2	19,30	88,78
Donji pojas DP2	140x80x6	12000	1	19,30	231,6
Gornji pojas GP1	140x80x6	2344	2	19,30	90,47
Gornji pojas GP2	140x80x6	6012	2	19,30	232,06
Vertikala V1	70x70x3	464	2	6,24	5,79
Vertikala V2	70x70x3	589	2	6,24	7,35
Vertikala V3	70x70x3	714	2	6,24	8,91
Vertikala V4	70x70x3	839	2	6,24	10,47
Vertikala V5	70x70x3	1000	1	6,24	6,24
Dijagonala D1	70x70x3	1971	2	6,24	24,60
Dijagonala D2	70x70x3	2012	2	6,24	25,11
Dijagonala D3	70x70x3	2052	2	6,24	25,61
Dijagonala D4	70x70x3	2091	2	6,24	26,10

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA JEDAN OKVIR (PLOČICE)					
POZICIJA	DIMENZIJE (mm)	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m <sup>3</sup> )	UKUPNA TEŽINA (kg)
Pločica P1	270x240x23	-	8	7850	93,60
Pločica P2	400x300x10	-	4	7850	37,68
Pločica P3	680x346x40	-	2	7850	153,73
UKUPNO (kg)					3328,20
+ 5,0 % spojna sredstva					3494,61

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA SEKUNDARNU KONSTRUKCIJU					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. MASA (kg/m)	UKUPNA MASA (kg)
K1	HE 180A	6100	70	35,5	15158,5
BP	HE 180A	6100	56	35,5	12126,8
S1	φ33	7856	8	6,71	411,71
S2	φ33	6618	12	6,71	522,88
Ukupno (kg)					28219,89