

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

Paljušić, Leon

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:123:184111>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-26**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Leon Paljušić**

**Split, 2015.**

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

**Leon Paljušić**

**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: Leon Paljušić

BROJ INDEKSA: 4060

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: S235

Objekt se nalazi na području Rijeke

Razmak okvira: 4,5 (m)

U Splitu, 17.srpnja 2014.

Voditelj Završnog rada:

Dr.sc. Neno Torić

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

### ***Sažetak:***

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

### ***Ključne riječi:***

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, dimenzioniranje.

## **Calculation of a steel manufacturing hall**

### ***Abstract:***

Based on some information about a steel manufacturing hall, our assignment is to calculate this object: its main supporting structure and secondary structure.

### ***Keywords:***

Steel, hall, load-bearing construction, dimensioning.

## SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>1</b>
<b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>	<b>2</b>
1.1. MATERIJAL .....	2
1.2. KONSTRUKTIVNO RJEŠENJE HALE .....	2
1.3. STATIČKA ANALIZA SISTEMA.....	2
1.4. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA.....	2
1.5. MONTAŽA I TRANSPORT.....	3
1.6. ZAŠTITA OD KOROZIJE.....	3
<b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....</b>	<b>4</b>
2.1. STALNO OPTEREĆENJE-KROVNA PLOHA .....	4
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE .....	6
<b>3. KONTROLA PROGIBA (GSU) .....</b>	<b>15</b>
<b>4. GLAVNA KONSTRUKCIJA (REŠETKASTI NOSAČ) .....</b>	<b>17</b>
4.1. MJERODAVNE KOMBINACIJE ZA KGS (krajnje granično stanje) .....	17
4.2. DIMENZIONIRANJE REŠETKASTOG NOSAČA.....	21
<b>5. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA .....</b>	<b>38</b>
5.1. OPTEREĆENJE I REZULTANTNA DJELOVANJA.....	38
5.2. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE.....	47
<b>6. PRORAČUN SPOJEVA.....</b>	<b>64</b>
6.1 DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ .....	64
6.2 DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA.....	69
6.3 DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA ŠTAPA REŠETKE.....	71
6.4. DIMENZIONIRANJE SPOJA NASTAVKA KROVNIH PODROŽNICA .....	75
6.5. DIMENZIONIRANJE SPOJA NASTAVKA BOČNIH PODROŽNICA.....	77
6.6. DIMENZIONIRANJE SPOJA KROVNE PODROŽNICE NA GP.....	81
6.7. DIMENZIONIRANJE SPOJA BOČNE PODROŽNICE NA STUP .....	83
6.8.DIMENZIONIRANJE SPOJA KROVNIH SPREGOVA .....	84
6.9 DIMENZIONIRANJE SPOJA BOČNIH SPREGOVA .....	87
<b>7. PRORAČUN TEMELJA.....</b>	<b>89</b>
<b>8. NACRTI.....</b>	<b>92</b>

## **1. TEHNIČKI OPIS**

Zadatkom je predviđena izrada proračuna metalne hale tlocrtnih dimenzija 15,5 m x 45 m, te ukupne visine 7,53 m. nalazi se na području grada Rijeke. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 6,27^\circ$ , što je ekvivalentno padu od 11%. Projektirana je za potrebe skladištenja.

### **1.1. MATERIJAL**

Metalni elementi su izrađeni od čelika S235. Spojevi su izvedeni vijcima k.v. 10.9 kod upetog spoja stup-temelj, te vijcima k.v. 10.9 kod spoja stup-rešetka.

### **1.2. KONSTRUKTIVNO RJEŠENJE HALE**

Konstrukcija je zamišljena kao okvirni sustav od devet jednakih okvira razmaknutih za 4.5 m.

Prilikom analize opterećenja za zadanu konstrukciju uzeto je da se objekt nalazi na području grada Rijeke koje spada u područje 1 za opterećenje snijegom i u područje P2 za opterećenje vjetrom.

Prostorna stabilizacija konstrukcije predviđena je spregovima.

### **1.3. STATIČKA ANALIZA SISTEMA**

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja (vlastita težina, stalno, snijeg i vjetar) koja djeluju na konstrukciju.

Pri ovom proračunu, analiza opterećenja je napravljena za jedan okvir raspona 15,5 m, kao reprezentativnog okvira.

Za proračun uzimamo najnepovoljniju kombinaciju opterećenja, te je prema tome izvršeno dimenzioniranje konstrukcije.

### **1.4. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA**

#### **- STUPOVI**

Predviđeni su stupovi kao europski širokopojasni vrućevaljani H profili HE 260 B. Stupovi su oslonjeni na betonske temelje, tako da je na njihovom spoju upotrebljena čelična ploča dimenzija 510 x 300 x 40 mm. Stupovi su vezani za temelj vijcima M24. Dimenzije i armatura temelja su analizirani u proračunu temelja.

#### **- REŠETKASTI NOSAČ**

Predviđen je rešetkasti nosač čiji su elementi izrađeni od kvadratnih cjevastih (šupljih) profila. Rešetkasti nosač se sastoji od gornjeg pojasa (poprečnog presjeka 110 x 110 x 4 mm), donjeg pojasa (poprečnog presjeka 90 x 90 x 4 mm), 7 vertikalna (poprečnog presjeka 60 x 60 x 5 mm) međusobnog osnog razmaka 1,3975 m i 8 dijagonala (poprečnog presjeka 60 x 60 x 5 mm). Na udaljenosti 9 m od lijevog ruba u gornjem i donjem pojasu predviđen je spoj odnosno vlačni nastavak kojim se spajaju dijelovi rešetke. U vlačnom nastavku donjeg pojasa upotrebljena je čelična ploča dimenzija 218 x 218 x 10 mm i korišteni su vijci M16. U vlačnom nastavku gornjeg pojasa upotrebljena je čelična ploča dimenzija 236 x 236 x 18 mm i korišteni su vijci M16.

- SEKUNDARNI NOSAČI (PODROŽNICE)

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

Proračunate su krovne podrožnice profila HEA 180 i bočne podrožnice profila HEA 180.

- SPREGOVI

Za prostornu stabilizaciju ovog objekta korišteni su horizontalni ili krovni spregovi i vertikalni ili bočni spregovi koji služe za prijenos horizontalnih sila preko konstrukcije na temelje objekta.

Polja za vertikalno ukrućenje (bočni spregovi) smješteni su u prvom i posljednjem polju konstrukcije.

Osnovni zadatak spregova je stabilizacija čelične hale i to na način da ne bude ugrožena cjelovita stabilnost objekta. Spregovi hvataju svaki čvor u gornjem pojasu rešetke.

Kao dijagonale krovnog sprega proračunati su profili Ø 20.

Kao dijagonale bočnog sprega proračunati su profili Ø 25.

## **1.5. MONTAŽA I TRANSPORT**

Pozicije okvira kao što je prikazano u radioničkom nacrtu glavnog okvira će se izrezati u radionici te transportirati na gradilište i zatim montirati (montažni način izgradnje). Pri tome je potrebno obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja.

Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost.

Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s "Pravilnikom o zaštiti na radu".

## **1.6. ZAŠTITA OD KOROZIJE**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama "Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čelične konstrukcije od korozije".

Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim cinčanjem i premazom boja.



## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

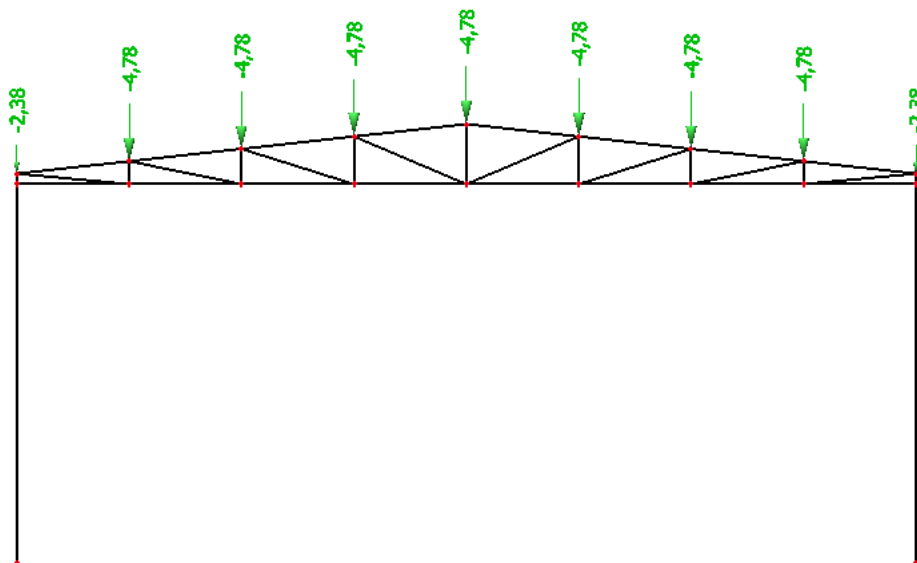
### 2.1. STALNO OPTEREĆENJE-KROVNA PLOHA

- sendvič paneli (aluminij) 0,25 kN/m<sup>2</sup>
  - sekundarna konstrukcija + spregovi 0,20 kN/m<sup>2</sup>
  - instalacije 0,10 kN/m<sup>2</sup>
- $\Sigma = 0,55 \text{ kN/m}^2$

$$a = \frac{1,94}{\cos(6,27)} = 1,95 \text{ m}$$

$$G = g \cdot a \cdot l = 0,55 \cdot 1,93 \cdot 4,50 = 4,78 \text{ kN}$$

Opterećenje čvorova:



Slika 2.1.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima okvira

## 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

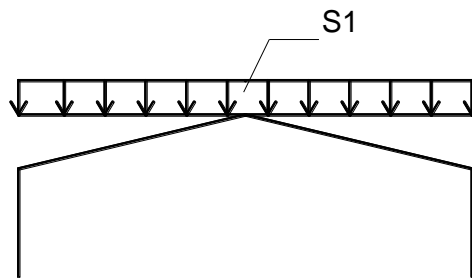
### 2.2.1. Djelovanje snijega

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad [\text{kN/m}^2]$$

- $\mu_i$  ... koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ovisi i obliku i nagibu krova, te o rasporedu snijega na krovnoj plohi); za  $\alpha=5,71^\circ \Rightarrow \mu_i = 0,8$
- $s_k$  ... karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u  $\text{kN/m}^2$  (ovisi o lokaciji i nadmorskoj visini objekta); Split, područje 1.  $\Rightarrow s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$
- $C_e$  ... koeficijent izloženosti (obično uzima vrijednost 1,0)
- $C_t$  ... toplinski koeficijent (obično uzima vrijednost 1,0)

#### Opterećenje snijegom:

- 1) Snijeg  $S_1$  (opterećenje na cijeli krov):  $S_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$



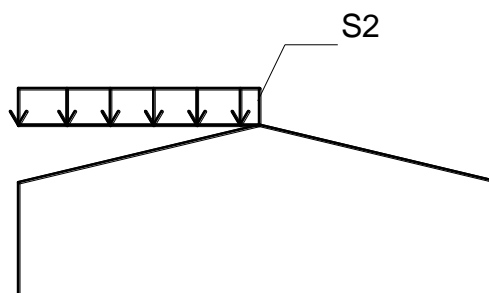
Slika 2.2.1.1. Opterećenje snijegom po cijelom nosaču

#### Raspodijeljena sila na glavni nosač :

$$F_s = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,50\text{m} = 1,8 \text{ kN/m}$$

- 2) Snijeg  $S_2$  (opterećenje na pola krova):

$$S_2 = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

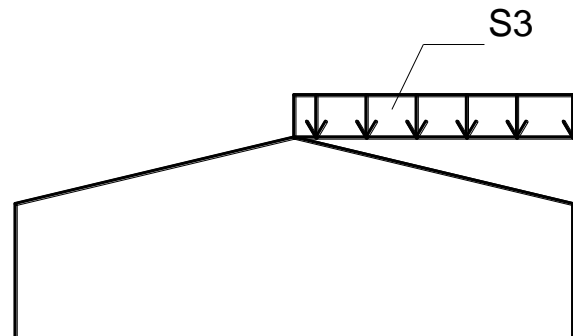


Slika 2.2.1.2. Opterećenje snijegom po pola nosača

$$F_s = 0,2 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 0,9 \text{ kN/m'}$$

3) Snijeg  $S_2$  (opterećenje na pola krova):

$$S_3 = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$



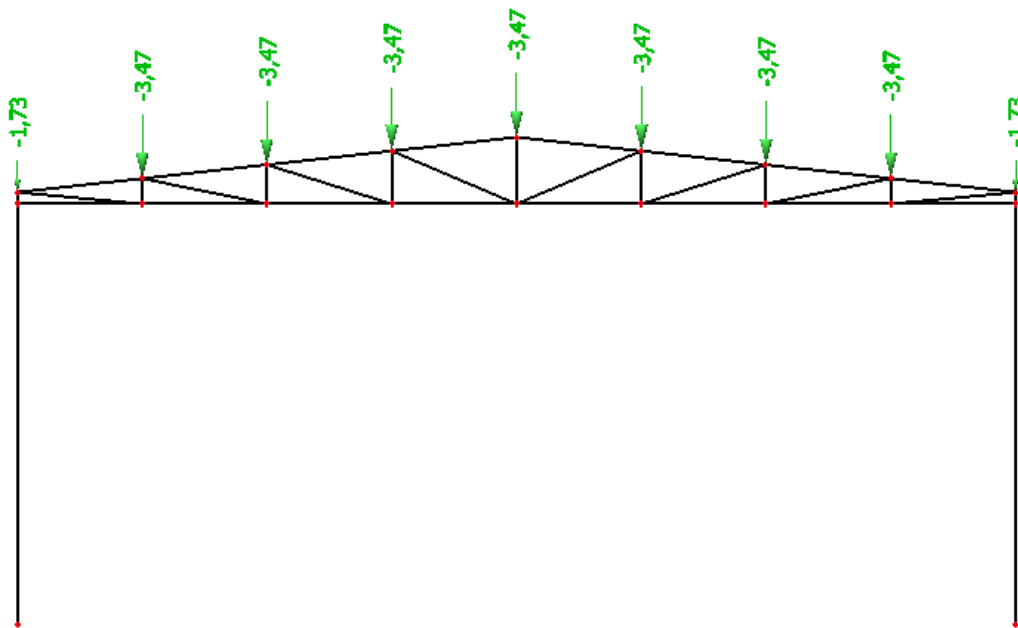
Slika 2.2.1.3. Opterećenje snijegom po pola nosača

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$F_s = 0,2 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 0,9 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje čvorova :

$$S = 0,4 \cdot 4,5 \cdot 1,95 = 3,47 \text{ kN}$$



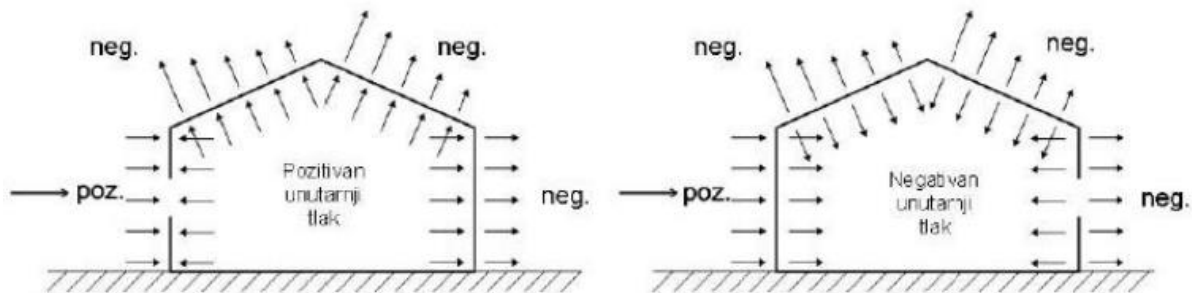
Slika 2.2.1.3. Opterećenje snijegom u čvorovima okvira

### 2.2.2 Djelovanje vjetra

- pritisak vjetra na vanjske površine:  $w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$  [kN/m<sup>2</sup>]
- pritisak vjetra na unutarnje površine:  $w_i = q_p(z_i) * c_{pi}$  [kN/m<sup>2</sup>]

gdje je:

- $q_p(z_{e(i)})$  – pritisak brzine vjetra pri udaru
- $z_e, z_i$  – referentna visina za vanjski ili unutarnji pritisak
- $c_{pe}, c_{pi}$  – vanjski i unutarnji koeficijent pritiska



Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

Osnovni pritisak vjetra  $q_b$  određuje se prema formuli:  $q_b = \frac{\rho}{2} * v_b^2$  [kN/m<sup>2</sup>]

gdje je:

- $v_b$  – osnovna brzina vjetra
- $\rho$  – gustoća zraka ( $\rho = 1,25$  kg/m<sup>3</sup>)

Osnovna brzina vjetra  $v_b$ , dana je izrazom:  $V_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$

gdje je:

- $v_{b,0}$  – fundamentalna osnovne brzine vjetra (za područje Split  $v_{b,0} = 30$  m/s)
- $c_{dir}$  – faktor smjera vjetra (obično uzima vrijednost 1,0)
- $c_{season}$  – faktor doba godine (obično uzima vrijednost 1,0)

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 25,0 = 25 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1,25}{2} * 25,0^2 = 562,5 \frac{N}{m^2} = 0,391 \frac{kN}{m^2}$$

Srednja brzina vjetra  $v_m(z)$  iznad terena:  $v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$  [m/s]

gdje je:

- $c_r(z)$  – faktor hrapavosti terena
- $c_o(z)$  – faktor orografije ili opisivanje brežuljaka ili gora (obično uzima vrijednost 1,0)

Faktor hrapavosti  $c_r(z)$  određuje se prema:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za } z \leq z_{\min}$$

gdje su:

$z_0$  – duljina hrapavosti (za kategoriju terena 0  $\rightarrow z_0 = 0,003$  m)

$k_r$  – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti

$z_{\min}$  – minimalna visina hrapavosti (za kategoriju terena 0  $\rightarrow z_{\min} = 1,0$  m)

$z_{\max}$  – maksimalna visina hrapavosti (usvaja se vrijednost 200 m)

Faktor terena  $k_r$  određuje se prema:

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

gdje je:

$z_{0,0}$  – duljina hrapavosti za kategoriju terena 0 (prema tablici iznosi 0,003 m)

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,003}{0,003}\right)^{0,07} = 0,19$$

Za  $1,0 \text{ m} \leq 7,53 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$

$$c_r(z) = 0,19 * \ln\left(\frac{7,53}{0,003}\right) = 1,487$$

Srednja brzina vjetra  $v_m(z)$  iznad terena:

$$v_m(z) = 1,487 * 1,0 * 25 = 37,183 \text{ [m/s]}$$

Intezitet turbulencije  $I_v(z)$  računa se prema izrazu:

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

gdje je:

$k_I$  – faktor turbulencije (obično se uzima vrijednost 1,0, ukoliko nije drugačije definirano nacionalnim dodatkom)

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{7,53}{0,003}\right)} = 0,13$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru  $q_p(z)$  se računa prema sljedećem izrazu:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho_z * v_m^2(z) \frac{kN}{m^2}$$

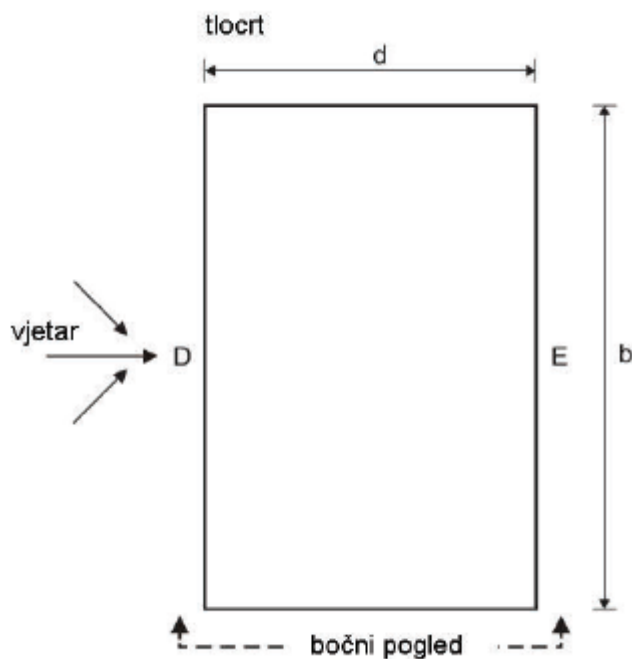
Gdje je:

$C_e(z)$  – faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena  $z$  i kategoriji terena)

$$q_p(z) = (1 + 7 * 0,13) * \frac{1}{2} * 1,25 * 37,183^2 = 1636 \frac{N}{m^2} = 1,64 \frac{kN}{m^2}$$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

*Vertikalne površine konstrukcije*



Opterećena površina je veća od  $10 \text{ m}^2$  pa se za  $c_{pe}$  uzima  $c_{pe,10}$ .

Budući da je odnos:  $h/d = 7,3/15,5 = 0,47$

Očitavamo koeficijente vanjskog pritiska za zone:

D:  $c_{pe} = +0,8$

E:  $c_{pe} = -0,5$



Određivanje opterećenja vjetrom  $w$ 

Opterećenje vjetrom na vanjske površine:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \text{ kN/m}^2$$

Opterećenje vjetrom na unutarnje površine:

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} \text{ kN/m}^2$$

Rezultantno djelovanje vjetra dobije se kombiniranjem vanjskog i unutarnjeg učinka:

$$W = w_e \text{ "+" } w_i$$

A znak "+" znači da se kombiniraju.

$$D: w = q_p(z) * (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 * (0,8 + 0,3) = +1,80 \text{ kN/m}^2$$

$$E: w = q_p(z) * (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 * (0,5 + 0,2) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$G: w = q_p(z) * (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 * (0,0 - 0,2) = -0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$H: w = q_p(z) * (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 * (0,0 - 0,2) = -0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$I: w = q_p(z) * (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 * (0,0 - 0,2) = -0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$J: w = q_p(z) * (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 * (0,2 - 0,2) = -0,00 \text{ kN/m}^2$$

SILE VJETRA NA ZID :

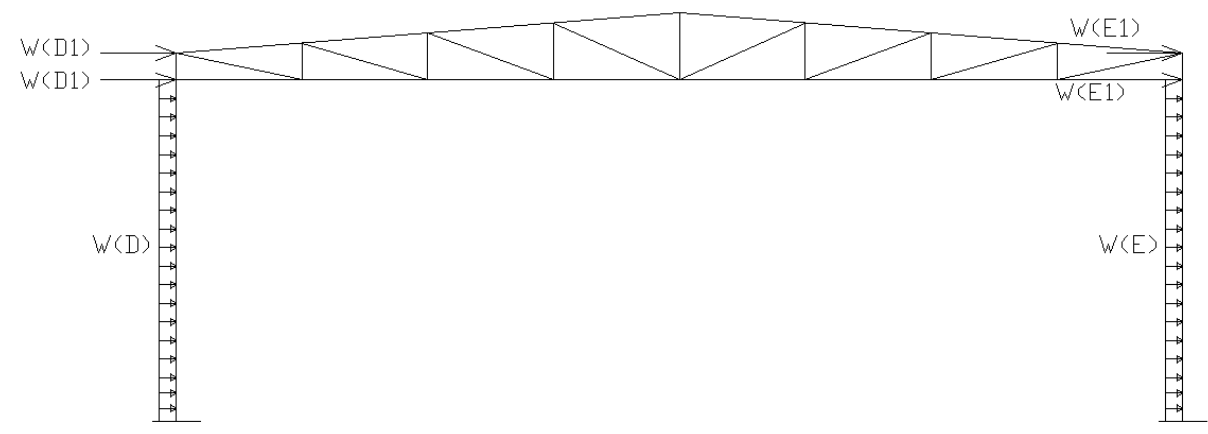
$$W = w \cdot n \text{ [kN/m]}, n = 4,50 \text{ m}$$

$$D: W = 1,80 * 4,5 = + 8,12 \text{ kN/m'}$$

$$E: W = -1,15 * 4,5 = - 5,16 \text{ kN/m'}$$

$$\text{Sile područje D: } W(D2) = (1,80 * 0,18 * 4,5)/2 = +0,73 \text{ kN}$$

$$\text{Sile područje E: } W(E2) = (-1,15 * 0,18 * 4,5)/2 = -0,47 \text{ kN}$$



Slika 2.2.2.1. Djelovanje vjetra  $W$  na okvir



SILE VJETRA NA KROV:

$$W_1 = -0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -1,42 \text{ kN}$$

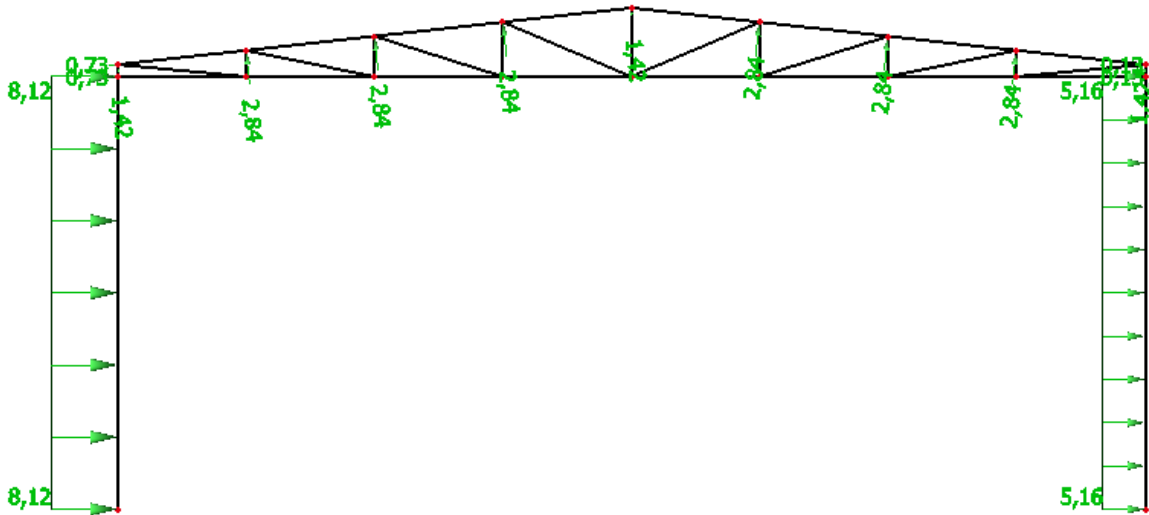
$$W_2 = W_3 = W_4 = -0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,95 = -2,84 \text{ kN}$$

$$W_{5L} = -0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -1,42 \text{ kN}$$

$$W_{5D} = 0 \text{ kN}$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = -0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,95 = -2,84 \text{ kN}$$

$$W_9 = -0,33 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -1,42 \text{ kN}$$



Slika 2.2.2.2. Djelovanje vjetra  $W_1$  na konstrukciju

Rezultantno djelovanje vjetra dobije se kombiniranjem vanjskog i unutarnjeg učinka:

$$W = w_e \text{ "+" } w_i$$

A znak "+" znači da se kombiniraju.

$$D: w = q_p(z) \cdot (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 \cdot (0,8 + 0,3) = +1,80 \text{ kN/m}^2$$

$$E: w = q_p(z) \cdot (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 \cdot (0,5 + 0,2) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$G: w = q_p(z) \cdot (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 \cdot (-1,2 + 0,2) = -2,29 \text{ kN/m}^2$$

$$H: w = q_p(z) \cdot (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 \cdot (-0,6 - 0,2) = -1,31 \text{ kN/m}^2$$

$$I: w = q_p(z) \cdot (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 \cdot (-0,6 - 0,2) = -1,31 \text{ kN/m}^2$$

$$J: w = q_p(z) \cdot (c_{pe} \text{ "+" } c_{pi}) = 1,64 \cdot (-0,6 - 0,2) = -1,31 \text{ kN/m}^2$$

SILE VJETRA NA ZID :

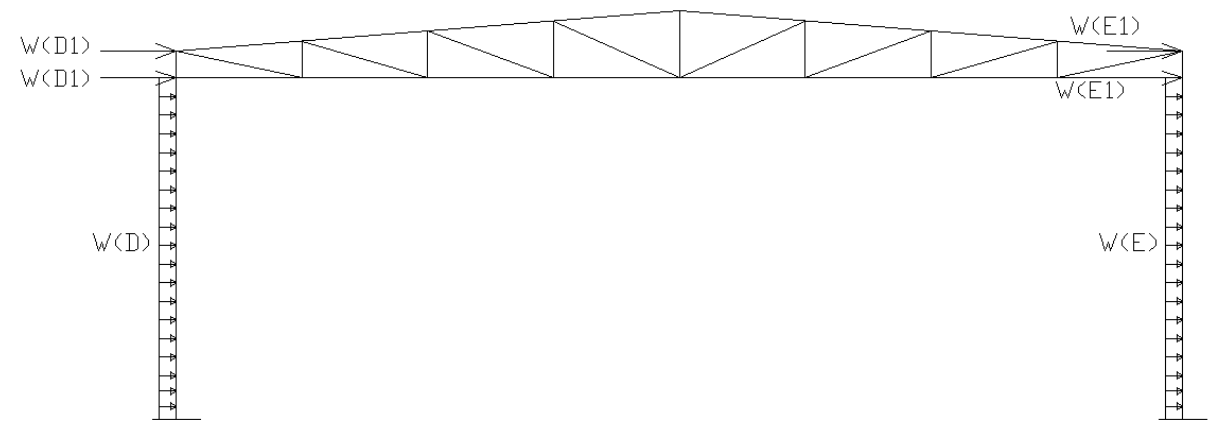
$$W = w \cdot n \text{ [kN/m]}, n = 4,5 \text{ m}$$

$$D: W = 1,80 \cdot 4,5 = + 8,12 \text{ kN/m'}$$

$$E: W = -1,15 \cdot 4,5 = - 5,16 \text{ kN/m'}$$

$$\text{Sile područje D: } W(D2) = (1,80 \cdot 0,18 \cdot 4,5)/2 = +0,73 \text{ kN}$$

$$\text{Sile područje E: } W(E2) = (-1,15 \cdot 0,18 \cdot 4,5)/2 = -0,47 \text{ kN}$$



Slika 2.2.2.3. Djelovanje vjetra  $W$  na okvir

SILE VJETRA NA KROV:

$$W_1 = -2,29 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -9,92 \text{ kN}$$

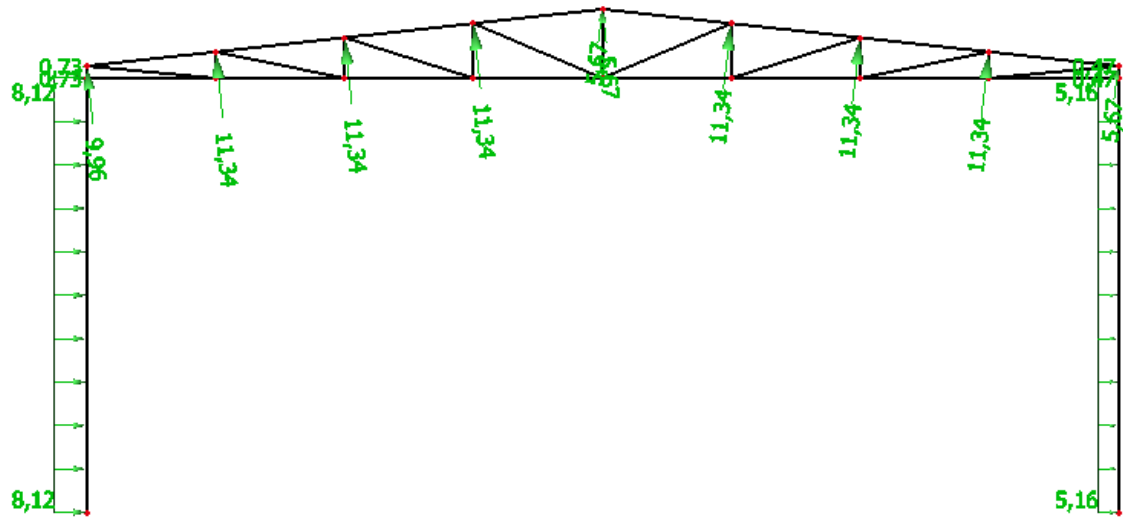
$$W_2 = W_3 = W_4 = -1,31 \cdot 4,5 \cdot 1,95 = -11,34 \text{ kN}$$

$$W_{5L} = -1,31 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -5,67 \text{ kN}$$

$$W_{5D} = -1,31 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -5,67 \text{ kN}$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = -1,31 \cdot 4,5 \cdot 1,95 = -11,34 \text{ kN}$$

$$W_9 = -1,31 \cdot 4,5 \cdot 1,95/2 = -5,67 \text{ kN}$$



Slika 2.2.2.4. Djelovanje vjetra  $W_2$  na konstrukciju

### 3. KONTROLA PROGIBA (GSU)

Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini koji ne smije prekoračiti vrijednost od  $L/250$ , pri čemu je  $L$  duljina rešetke. U ovom slučaju dozvoljeni progib iznosi  $1550/250$ , što je jednako 62 mm. Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU su jednaki jedinici.

Najveći progib rešetke  $\delta_{max}$  koji se pojavljuje u svim provedenim kombinacijama iznosi 48,3 mm, što je manje od dopuštenih 62 mm.

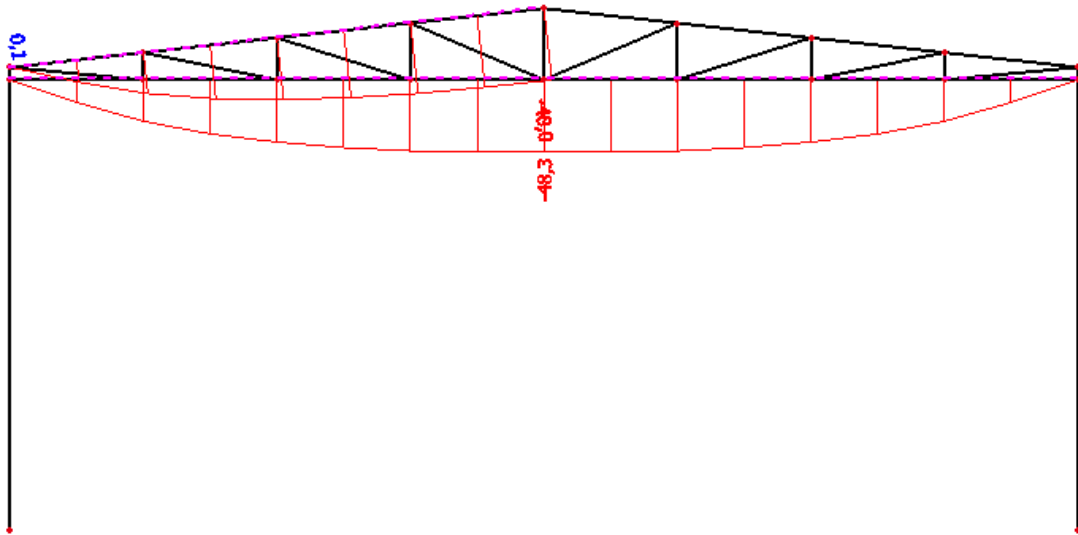
$$\eta = \frac{\delta}{\delta_{max}} = \frac{48,3}{62} = 78\%$$

Progib stupa ne smije prekoračiti vrijednost od  $H/200$  pri čemu je  $H$  visina stupa. U ovom slučaju dozvoljeni progib stupa iznosi 33 mm.

Najveći progib stupa  $\delta_{max}$  koji se pojavljuje u svim provedenim kombinacijama iznosi 8,6 mm, što je manje od dopuštenih 32,6 mm.

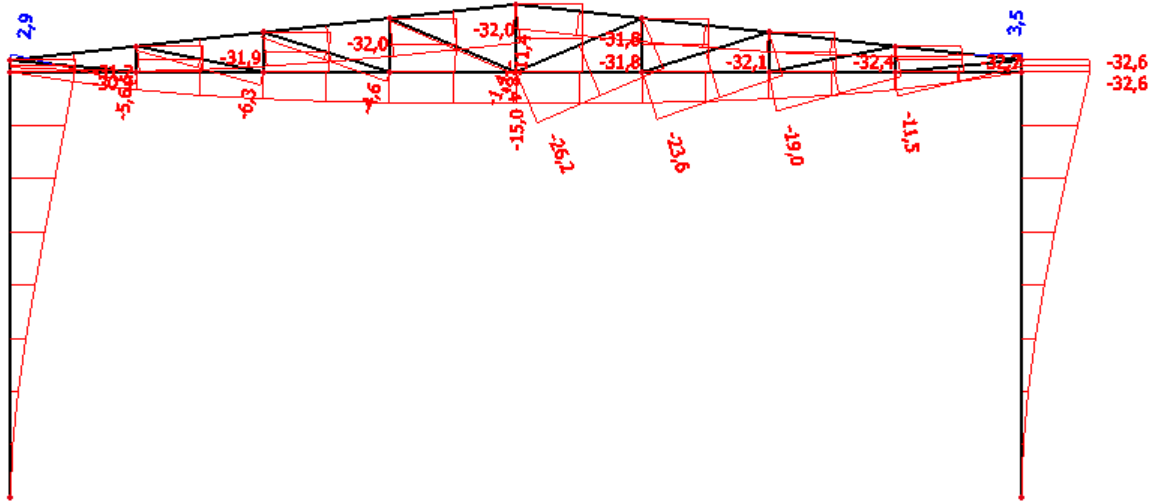
$$\eta = \frac{\delta}{\delta_{max}} = \frac{32,6}{33} = 99\%$$

Kombinacija 1:  $1.0 \cdot V.T. + 1.0 \cdot G + 1.0 \cdot S$



Slika 3.1.1.. Vertikalni pomak rešetke

Kombinacija 2:  $1.0 \cdot V.T. + 1.0 \cdot G + 1.0 \cdot W_2$



Slika 3.1.2. Horizontalni pomak rešetke

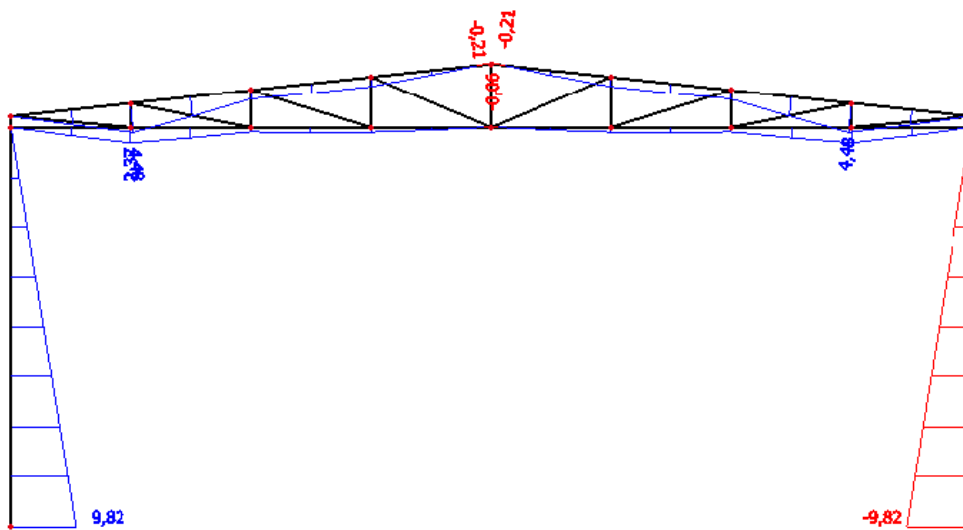
## 4. GLAVNA KONSTRUKCIJA (REŠETKASTI NOSAČ)

### 4.1. MJERODAVNE KOMBINACIJE ZA KGS (krajnje granično stanje)

Kombinacija 1:

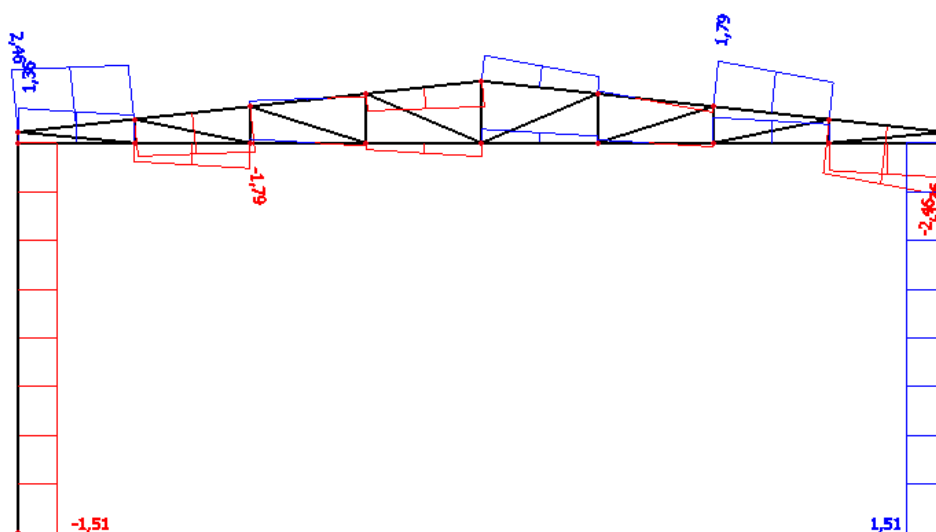
$$K_1 = 1.35 * V.T. + 1.35 * G + 1.50 * S$$

M (kNm)



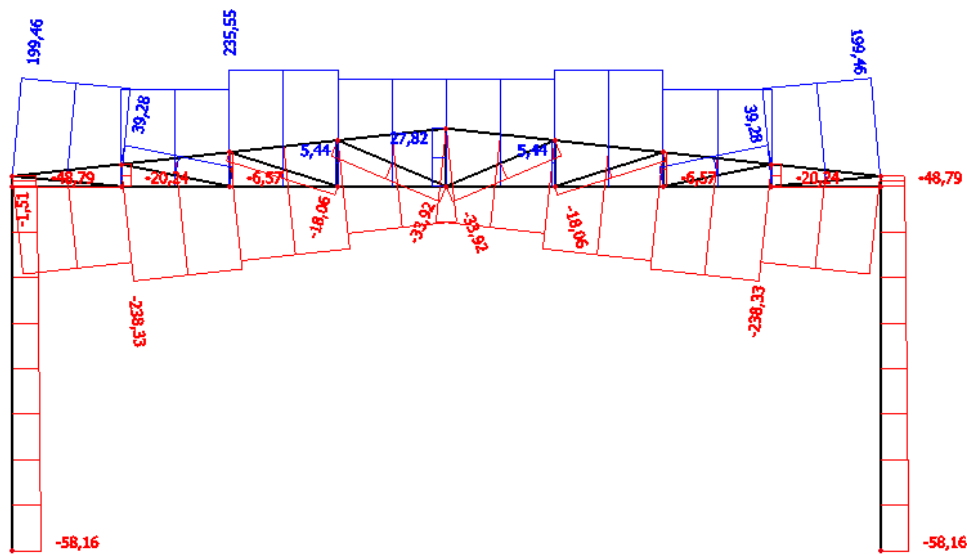
Slika 4.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1

V (kN)



Slika 4.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1

N (kN)

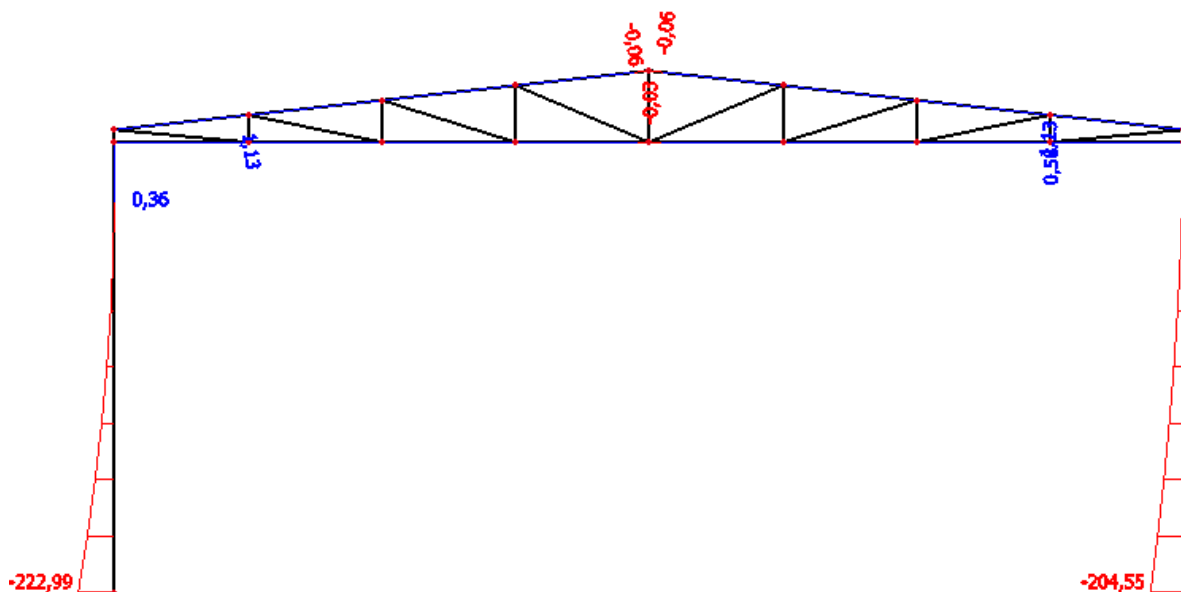


Slika 4.1.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1

Kombinacija 2:

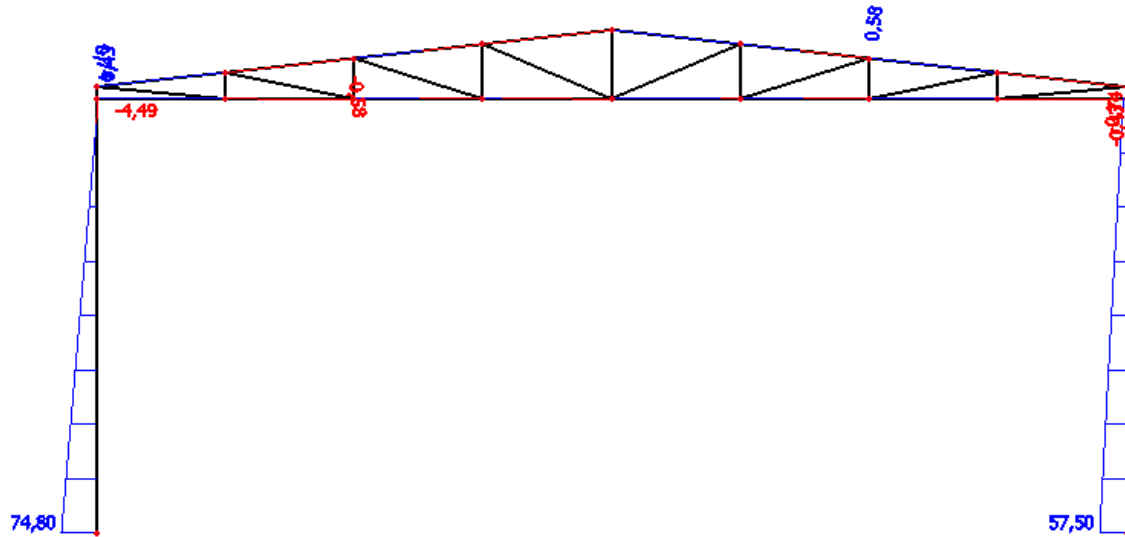
$$K_2 = 1.00 * V.T. + 1.00 * G + 1.50 * W_1$$

M (kNm)



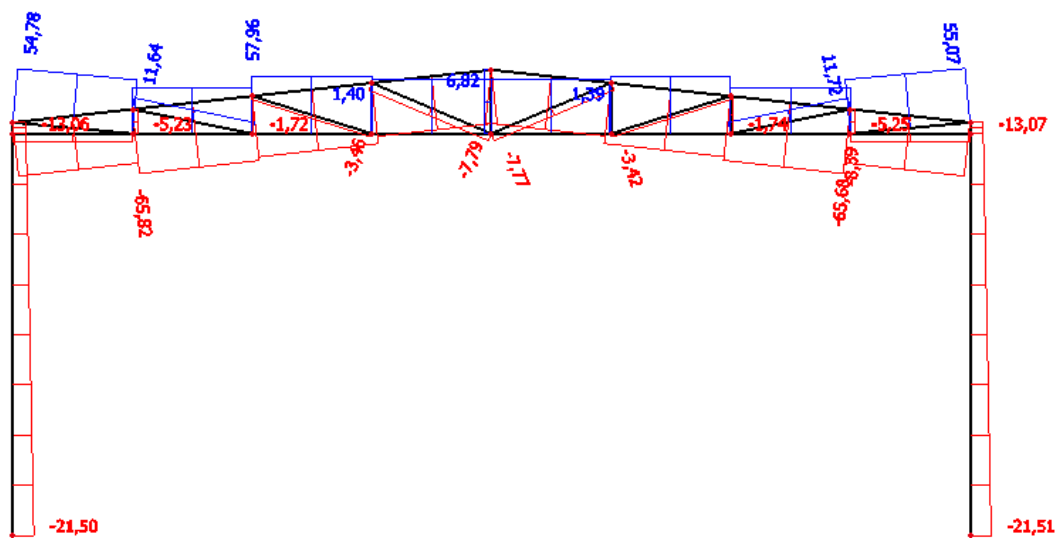
Slika 4.1.4. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 2

V (kN)



Slika 4.1.5. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2

N (kN)



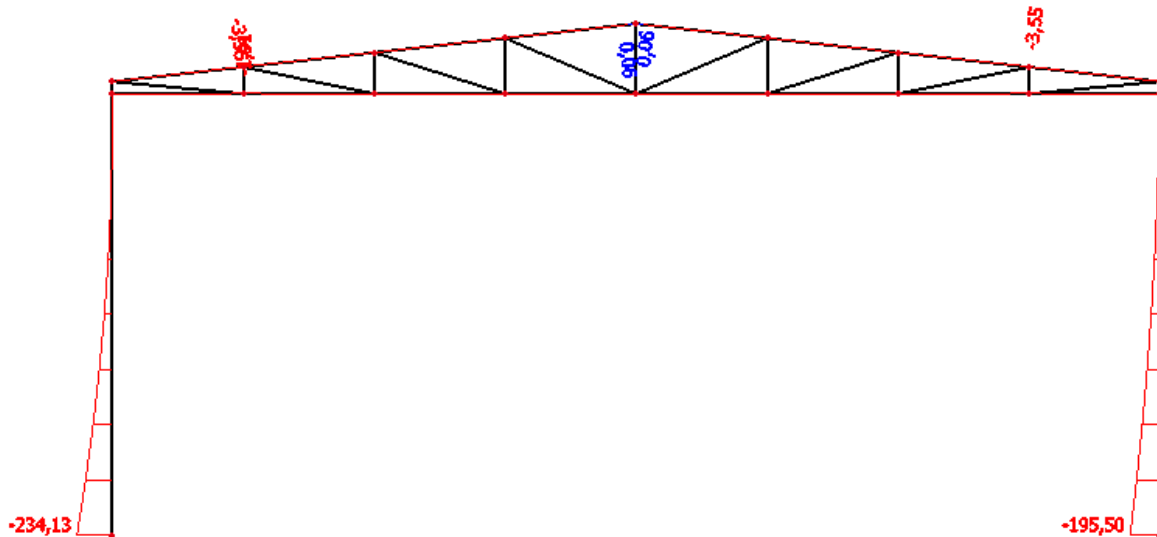
Slika 4.1.6. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 2



Kombinacija 3:

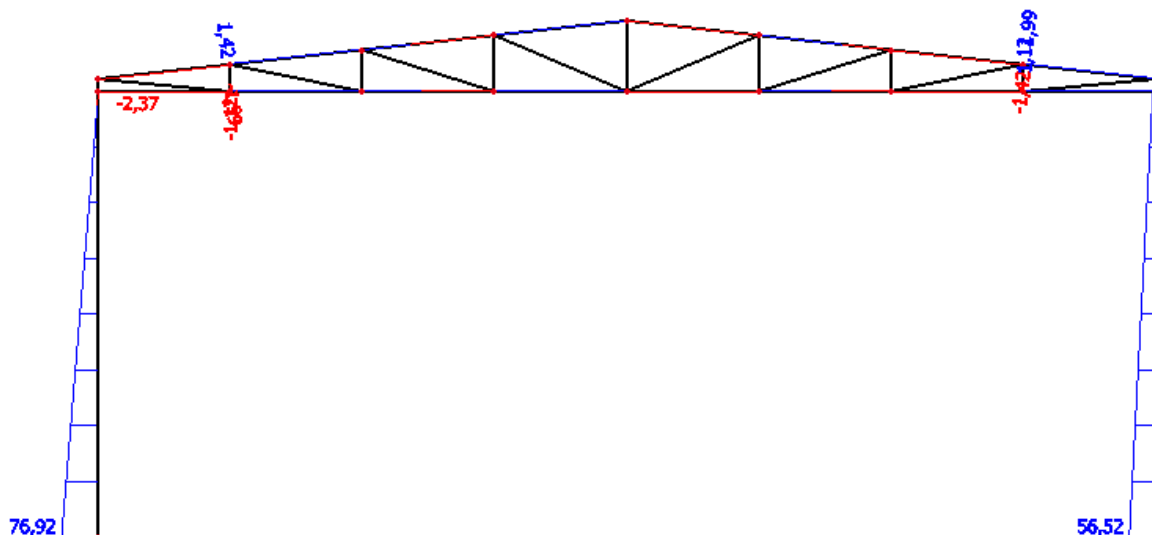
$$K_2 = 1.00 * V.T. + 1.00 * G + 1.50 * W_2$$

M (kNm)



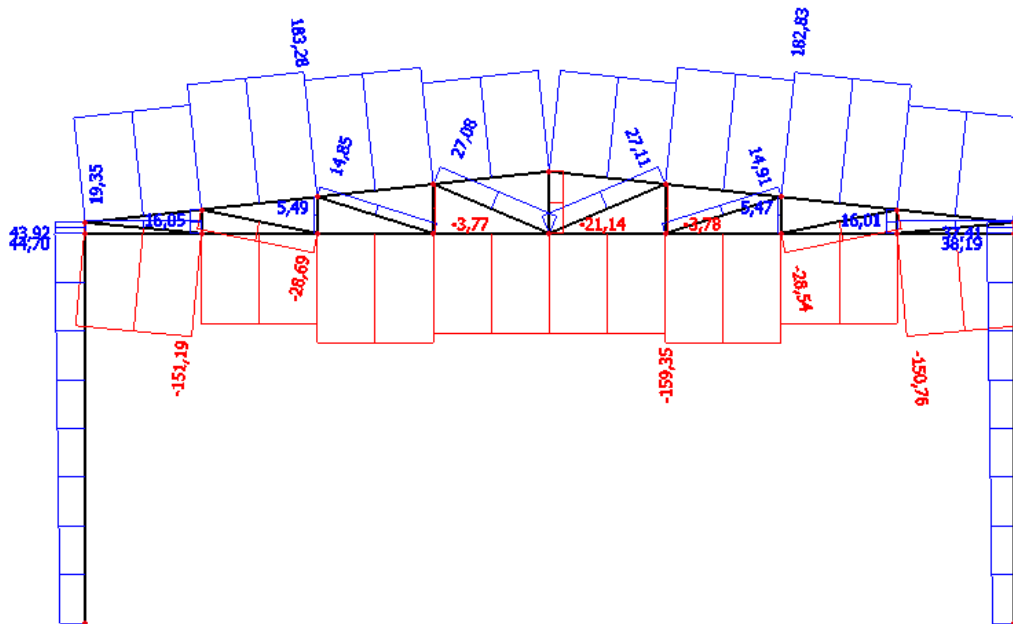
Slika 4.1.7. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 3

V (kN)



Slika 4.1.8. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 3

N (kN)



Slika 4.1.9. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 3

## 4.2. DIMENZIONIRANJE REŠETKASTOG NOSAČA

### 4.2.1. Gornji pojas

#### Maksimalne rezne sile

$N_{sd} = -238,63 \text{ kN}$  (tlak)

#### Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: 110 x 110 x4

Tip poprečnog presjeka: vrućevaljani

Površina poprečnog presjeka  $A = 16,55 \text{ cm}^2$

Moment tromosti:  $I_y = 305,94 \text{ cm}^4$

$$I_z = 305,94 \text{ cm}^4$$

Moment otpora  $W_{el,y} = 55,62 \text{ cm}^3$

$$W_{el,z} = 55,62 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 65,21 \text{ cm}^3$$

$$W_{p0l,z} = 65,21 \text{ cm}^3$$

Torzijska konstanta  $I_t = 486,47 \text{ cm}^4$

Radius tromosti  $i_y = 4,3 \text{ cm}$

$i_z = 4,3 \text{ cm}$

Visina presjeka  $h = 110,0 \text{ mm}$

Širina presjeka  $b = 110,0 \text{ mm}$

$t = 4,00 \text{ mm}$

### Osnovni materijal

S 235  $\rightarrow \epsilon = 1$

$t < 40 \text{ mm}$  Granica popuštanja:  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

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

Modul posmika:  $G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$

Poissonov koeficijent:  $\nu = 0.3$

### Parcijalni faktori sigurnosti

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$\epsilon = 1,0$

$$\frac{d}{t} = \frac{110}{4} = 27,5 < 33 \epsilon = 33 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Poprečni presjek  $\rightarrow$  klasa 1

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Uzdužna sila  $N_{Sd} = -238,63 \text{ kN}$  (tlak)

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16,55 \cdot 23,5}{1,0} = 388,93 \text{ kN} > N_{Sd} = 238,63 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### OTPORNOST ELEMENTA NA IZVIJANJE

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

Os y-y

$L_{cr,y} = 194,92$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 305,94}{194,92^2} = 1668,94 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{16,55 \cdot 23,5}{1668,94}} = 0,48$$

O s z-z

$$L_{cr,z} = 389,89 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 305,94}{389,89^2} = 417,13 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{16,55 \cdot 23,5}{417,13}} = 0,96$$

**Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a**

O s y-y

$$\alpha = 0,21$$

$$\phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha |\bar{\lambda} - 0,2| + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,21 |0,48 - 0,2| + 0,48^2 \right] = 0,644$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,644 + \sqrt{0,644^2 - 0,48^2}} = 0,93$$

O s z-z

$$\alpha = 0,21$$

$$\phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha |\bar{\lambda} - 0,2| + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,21 |0,96 - 0,2| + 0,96^2 \right] = 1,04$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,04 + \sqrt{1,04^2 - 0,96^2}} = 0,69$$

$$\chi_{\min} = 0,63$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,63 \cdot 16,55 \cdot 23,5}{1} = 245,02 \geq 238,63$$

Iskoristivost poprečnog presjeka

$$\text{TLAK} \rightarrow \eta = \frac{238,63}{245,02} \cdot 100 = 97,39 \%$$

**4.2.2. DONJI POJAS**Maksimalne rezne sile

$$N_{sd} = -159,35 \text{ kN (tlak)}$$

Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: 90x90x4

Tip poprečnog presjeka: vrućevaljani

Površina poprečnog presjeka:  $A=13,4 \text{ cm}^2$

Moment tromosti:  $I_y = 162,00 \text{ cm}^4$

$$I_z = 162,00 \text{ cm}^4$$

Moment otpora  $W_{el,y} = 33,60 \text{ cm}^3$

$$W_{el,z} = 33,60 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 42,50 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 42,5 \text{ cm}^3$$

Torzijska konstanta:  $I_t = 260,00 \text{ cm}^4$

Radius tromosti:  $i_y = 3,5 \text{ cm}$

$$i_z = 3,5 \text{ cm}$$

Visina presjeka:  $h = 90,0 \text{ mm}$

Širina presjeka:  $b = 90,0 \text{ mm}$

$$t = 4,0 \text{ mm}$$

Osnovni materijal

S 235  $\rightarrow \epsilon = 1$

$t < 40 \text{ mm}$	Granica popuštanja	$f_y :$	235	$\text{N/mm}^2$
	Modul elastičnosti	$E :$	210 000	$\text{N/mm}^2$
	Modul posmika	$G :$	81 000	$\text{N/mm}^2$
	Poissonov koeficijent	$\nu :$	0.3	

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$\epsilon = 1,0$

$$\frac{d}{t} = \frac{90}{4} = 22,5 < 33 \epsilon = 33 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Poprečni presjek → klasa 1

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Uzdužna sila  $N_{Sd} = -159,35$  kN (tlak)

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13,4 \cdot 23,5}{1,0} = 314,90 \text{ kN} > N_{Sd} = 159,35 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### OTPORNOST ELEMENTA NA IZVIJANJE

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

#### Os y-y

$$L_{cr,y} = 193,75$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 162,0}{193,75^2} = 894,44 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{13,40 \cdot 23,5}{894,44}} = 0,59$$

#### Os z-z

$$L_{cr,z} = 387,5 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 162,0}{387,5^2} = 223,61 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{13,40 \cdot 23,5}{223,61}} = 1,18$$

Vrućevaljani šuplji profili → linija izvijanja a

#### Os y-y

$$\alpha = 0,21$$

$$\phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha \left( \bar{\lambda} - 0,2 \right) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,21 \left( 0,59 - 0,2 \right) + 0,59^2 \right] = 0,715$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,715 + \sqrt{0,715^2 - 0,59^2}} = 0,89$$

#### Os z-z

$$\alpha = 0,21$$

$$\phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha \left| \bar{\lambda} - 0,2 \right| + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,21 \left| 1,18 - 0,2 \right| + 1,18^2 \right] = 1,30$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,30 + \sqrt{1,30^2 - 1,18^2}} = 0,54$$

$$\chi_{\min} = 0,54$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,54 \cdot 13,40 \cdot 23,5}{1} = 170,046 \geq 159,35$$

### Iskoristivost poprečnog presjeka

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

$$\text{TLAK} \rightarrow \eta = \frac{159,35}{170,046} \cdot 100 = 93,70\%$$

### 4.2.3. ISPUNA-VERTIKALNI I DIJAGONALNI ŠTAPOVI

#### Maksimalne rezne sile

$N_{sd} = -151,19 \text{ kN}$  (tlak)

#### Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil	60 x 60 x 5
Tip poprečnog presjeka:	vrućevaljani
Površina poprečnog presjeka:	$A=10,3 \text{ cm}^2$
Moment tromosti:	$I_y = 50,4 \text{ cm}^4$ $I_z = 50,49 \text{ cm}^4$
Moment otpora:	$W_{el,y} = 16,83 \text{ cm}^3$ $W_{el,z} = 16,83 \text{ cm}^3$ $W_{pl,y} = 20,88 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 20,88 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta	$I_t = 86,42 \text{ cm}^4$
Radius tromosti	$i_y = 2,20 \text{ cm}$ $i_z = 2,20 \text{ cm}$
Visina presjeka	$h = 60,00 \text{ mm}$
Širina presjeka	$b = 60,00 \text{ mm}$
Debljina pojasnice	$t_f = 5,00 \text{ mm}$
Debljina hrpta	$t_w = 5,00 \text{ mm}$

#### Osnovni materijal

S235  $\epsilon = 1$

$t < 40 \text{ mm}$	Granica popuštanja	$f_y :$	235	$\text{N/mm}^2$
	Modul elastičnosti	$E :$	210 000	$\text{N/mm}^2$
	Modul posmika	$G :$	81 000	$\text{N/mm}^2$
	Poissonov koeficijent	$\nu :$	0.3	



**KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$\varepsilon = 1$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{60}{5} = 12 < 33 \varepsilon \rightarrow \text{klasa 1}$$

Poprečni presjek  $\rightarrow$  klasa 1

**OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

Uzdužna sila  $N_{Sd} = -151,19$  kN (tlak)

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10,30 \cdot 23,5}{1,0} = 242,05 \text{ kN} > N_{Sd} = 151,19 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**OTPORNOST ELEMENTA NA IZVIJANJE**

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

$$L_{cr} = 194,59$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 50,49}{194,59^2} = 276,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{10,30 \cdot 23,5}{276,36}} = 0,93$$

Vrućevaljani šuplji profili  $\rightarrow$  linija izvijanja a

$$\alpha = 0,21$$

$$\phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha \bar{\lambda} - 0,2 \right] + \bar{\lambda}^2 = 0,5 \left[ 1 + 0,21 \cdot 0,93 - 0,2 \right] + 0,93^2 = 1,0091$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,0091 + \sqrt{1,0091^2 - 0,93^2}} = 0,71$$

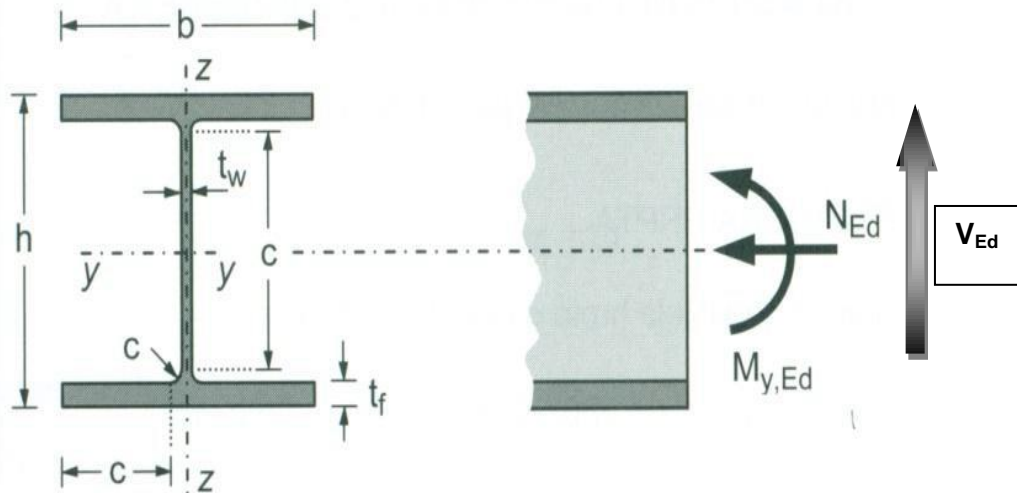
$$N_{b,Rd} = \frac{0,71 \cdot 10,30 \cdot 23,5}{1} = 172,80 \geq 151,19 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Iskoristivost oprečnog presjeka**

$$\eta = \frac{151,19}{172,80} 100 = 87,49 \%$$

## 4.2.4. DIMENZIONIRANJE STUPOVA KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA

## •POPREČNI PRESJEK



Profil: HEB 260

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 260 \text{ mm}$

Širina pojasnice:  $b = 260 \text{ mm}$

Debljina pojasnice:  $t_f = 17,5 \text{ mm}$

Debljina hrpta:  $t_w = 10 \text{ mm}$

Radijus:  $24 \text{ mm}$

Površina:  $A = 118,5 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti:  $I_y = 14921 \text{ cm}^4$

$I_z = 5135 \text{ cm}^4$

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 1283 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 602,3 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja:  $I_w = 754854 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta:  $I_t = 126,7 \text{ cm}^4$

ULAZNI PODACI:

Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila

→  $M_{y,Ed} = 234,13 \text{ kNm}$

→  $V_{z,Ed} = 76,92 \text{ kN}$

→  $N_{Ed} = 21,50 \text{ kN}$  (tlak)

Materijal: S235  $\rightarrow f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

$$\rightarrow \varepsilon = 1,00$$

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

$$\rightarrow \nu = 0,3$$

### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 260 - 2 \cdot 17,5 - 2 \cdot 24 = 177 \text{ mm}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{177}{10} = 17,7 \text{ mm}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{21,50}{2 \cdot 1 \cdot 23,5 / 1,0} = 0,46 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{17,7} \left( \frac{17,7}{2} + 0,46 \right) = 0,53 > 0,5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 17,7 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,53 - 1} = 67,23$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{260 - 10 - 2 \cdot 24}{2} = 101 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{101}{17,5} = 5,77$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 5,77 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9,0$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

**OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{118,5 \cdot 23,5}{1,0} = 2784,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2784,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 21,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{21,50}{2784,75} = 7,72 \cdot 10^{-3} < 1,0$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1283 \cdot 23,5}{1,0} = 30150,5 \text{ kNcm} = 301,51 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 301,51 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 234,13 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{234,13}{301,51} = 0,78$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**

Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{260 - 2 \cdot 17,5}{10} = 22,5$$

$$22,5 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

**Plastična posmična otpornost**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 118,5 - 2 \cdot 26 \cdot 1,75 + (1 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,75 = 37,65 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 22,5 \cdot 1 = 27 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{37,65 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 510,83 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 510,83 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 76,92 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{PL,Rd}} = \frac{76,92}{510,83} = 0,15 < 1$$

### Interakcija M-V-N

Presjek u  $x = 0$  m (dno stupa):  $\rightarrow M_{y,Ed} = 234,13$  kNm

$\rightarrow V_{z,Ed} = 76,92$  kN

$\rightarrow N_{Ed} = 21,50$  kN (tlak)

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile:  $V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$ , tada nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 510,83 = 255,415 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 76,92 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 255,415 \text{ kN} \rightarrow \text{niska razina poprečne sile}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Ako su ispunjeni uvjeti (1) i (2) za uzdužnu silu, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$(1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$(2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 21,50 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2784,75 = 696,19 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 21,50 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 22,5 \cdot 0,5 \cdot 23,5}{1,0} = 264,38 \text{ kN}$$

niska razina  
uzdužne sile

$$M_{Ed} = 234,13 \text{ kNm} < M_{N,y,Rd} = 301,51 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{234,13}{301,51} = 0,78 < 1$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

**Profil HEB 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

### OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

#### Uzdužna tlačna otpornost (N)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \text{ za presjeke klase 1, 2, 3}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \text{ za presjeke klase 1, 2, 3}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora za svaku os posebno.

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{260}{260} = 1,0 \quad t_f = 17,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

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

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{CR,y} = 2 \cdot H = 2 \cdot 651 = 1302 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 14921}{1302^2} = 1824,3 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{118,5 \cdot 23,5}{1824,3}} = 1,236$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,236 - 0,2) + 1,236^2] = 1,44$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,44 + \sqrt{1,44^2 - 1,236^2}} = 0,459$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{CR,y} = \frac{H}{3} = 217 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5135}{217^2} = 22601,64 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{118,5 \cdot 23,5}{22601,64}} = 0,351$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,351 - 0,2) + 0,351^2] = 0,6$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,6 + \sqrt{0,6^2 - 0,351^2}} = 0,92$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,459$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,459 \cdot 118,5 \cdot 23,5}{1,0} = 1278,2 \text{ kN} > N_{Ed} = 21,5 \text{ kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje (M)

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$L = 217 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,31$$

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

$$M_{CR} = 1,31 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5135}{1,0 \cdot 217^2}$$

$$\left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{754854}{5135} + \frac{(1,0 \cdot 217)^2 \cdot 8077 \cdot 126,7}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5135} + (0 \cdot 13)^2 - (0 - 0,13)^2} \right] = 4105,61 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:  $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 1283 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1283 \cdot 23,5}{410561}} = 0,27 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} < 1,0$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{260}{260} = 1 < 2$$

Mjerodavna krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$ .

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,27 - 0,2) + 0,27^2] = 0,5438$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,5438 + \sqrt{0,5438^2 - 0,27^2}} = 0,984 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,984 \cdot 1283 \cdot 23,5}{1,0} = 29668,092 \text{ kNcm} = 296,68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 296,68 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 234,13 \text{ kNm}$$

Interakcija M-N



$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Konstrukcijski element je bočno pridržan i stoga nije osjetljiv na torzijske deformacije.

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za  $\bar{\lambda}_z = 0,351 \geq 0,4$ :

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 76,37 / 234,13 = 0,34$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,34 = 0,975$$

$$C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,34 = 0,975$$

Interakcijski faktori:

$$k_{yy} = 0,98 \cdot [1 + (1,236 - 0,2) \cdot \frac{21,5}{0,459 \cdot 2784,75 / 1,0}] = 0,98$$

$$k_{yy} = 0,98 > 0,98 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{21,5}{0,459 \cdot 2784,75 / 1,0} \right] = 0,993$$

$$k_{yy} = 0,98$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,351}{(0,975 - 0,25)} \cdot \frac{21,5}{0,92 \cdot 2784,75 / 1,0} \right] = 1,0$$

$$k_{zy} = 1,0 < \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,975 - 0,25)} \cdot \frac{21,5}{0,92 \cdot 2784,75 / 1,0} \right] = 0,998$$

$$k_{zy} = 1,0$$

$k_{zy}$  i  $k_{zz}$  nije potrebno uzimati u obzir jer je  $M_{z,Ed}=0!$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{21,5}{0,459 \cdot 2784,75 / 1,0} + 0,98 \cdot \frac{234,13}{0,984 \cdot 301,51 / 1,0} = 0,80 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{21,5}{0,92 \cdot 2784,75 / 1,0} + 1,0 \cdot \frac{234,13}{0,984 \cdot 301,51 / 1,0} = 0,80 \leq 1,0$$

Odabrani profil zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa.

## **5. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA**

### **5.1. OPTEREĆENJE I REZULTANTNA DJELOVANJA**

#### **5.1.1. KROVNA PODROŽNICA**

- stalno opterećenje:

$$G = g \cdot 1,93 = 0,55 \cdot 1,95 = 1,07 \text{ kN} / \text{m}$$

- opterećenje snijegom:

$$S = s \cdot 1,93 = 0,4 \cdot 1,95 = 0,78 \text{ kN} / \text{m}$$

- opterećenje vjetrom:

Vjetar W1:

$$W_1 = -0,33 \cdot 1,95 = 0,64 \text{ kN} / \text{m}'$$

Vjetar W2:

$$W_2 = -2,29 \cdot 1,95 = -4,46 \text{ kN} / \text{m}'$$

Uzdužna sila:

$$W_A = 2,29 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$W_B = 1,64 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$W_C = 1,15 \text{ kN} / \text{m}^2$$

- pritisak vjetra na zabat:

$$W_1 = 1,95 \cdot [(6,69 + 6,795) \cdot 0,5] \cdot 0,5 \cdot 2,29 = 14,87 \text{ kN}$$

$$W_2 = W_8 = 1,95 \cdot 6,9 \cdot 2,29 = 30,44 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_7 = 1,95 \cdot 7,11 \cdot 1,64 = 22,52 \text{ kN}$$

$$W_4 = W_6 = 1,95 \cdot 7,36 \cdot 1,64 = 23,06 \text{ kN}$$

$$W_5 = 1,95 \cdot [(7,425 + 7,53) \cdot 0,5] \cdot 1,64 = -23,56 \text{ kN}$$

$$W_9 = 1,95 \cdot [(6,69 + 6,80) \cdot 0,5] \cdot 0,5 \cdot 1,15 = 7,44 \text{ kN}$$

- sila od trenja vjetra po krovu:

$$w_{fr} = q_p(z_e) \cdot C_{fr} = 1,64 \cdot 0,1 = 0,16 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$W_{fr} = w_{fr} \cdot A_{fr} = w_{fr} \cdot \frac{d \cdot l}{2} = 0,16 \cdot \frac{45 \cdot 1,93}{2} = 7,09 \text{ kN}$$

- ukupna sila:  $W_u = W_i + W_{fr}$ ;  $i=1,2,\dots,9$

$$W_1 = 14,87 + 7,09 = 21,96 \text{ kN}$$

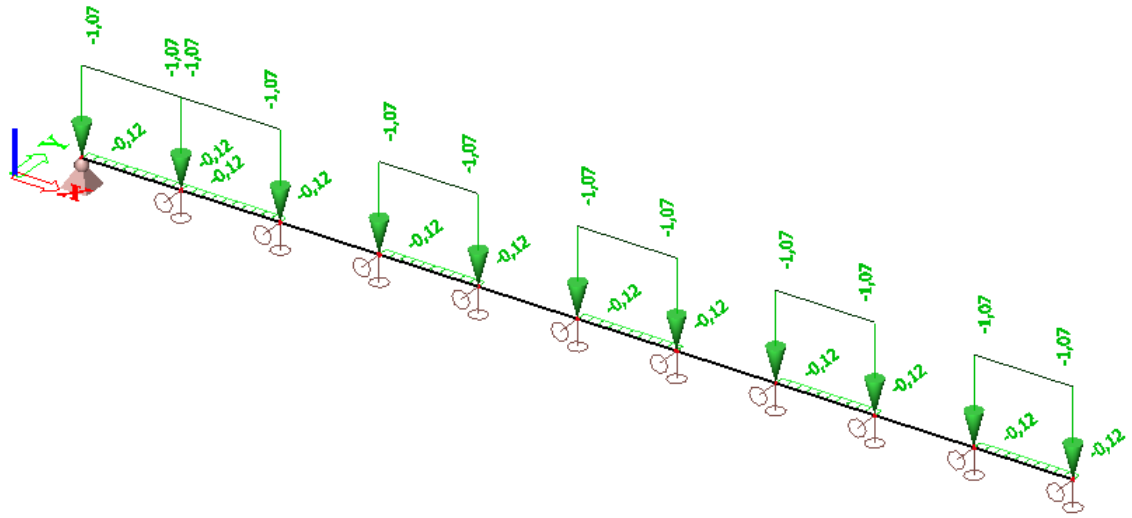
$$W_2 = W_8 = 30,44 + 7,09 = 37,53 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_7 = 22,52 + 7,09 = 29,61 \text{ kN}$$

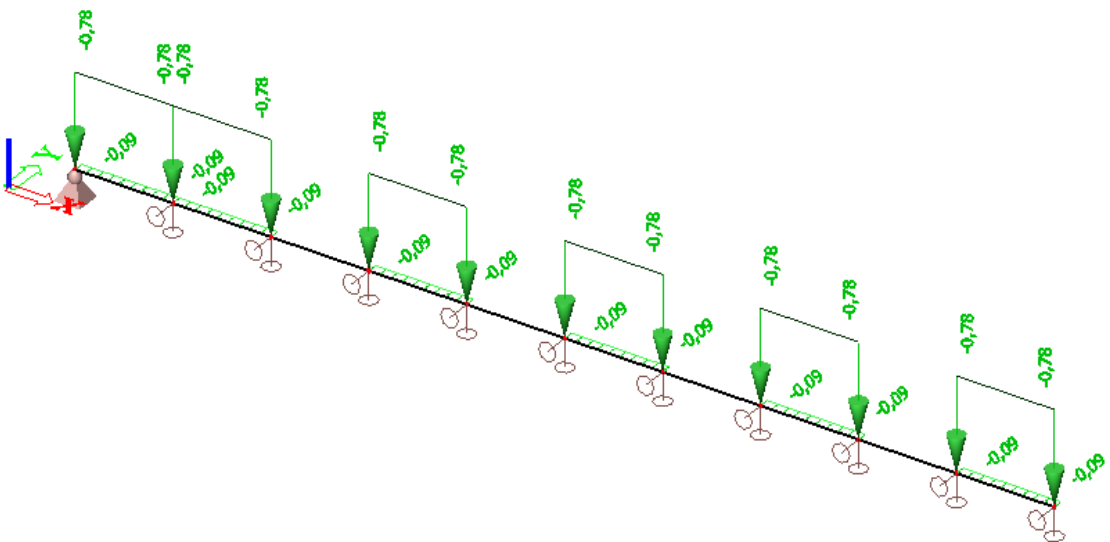
$$W_4 = W_6 = 23,06 + 7,09 = 30,15 \text{ kN}$$

$$W_5 = 23,56 + 7,09 = 30,65 \text{ kN}$$

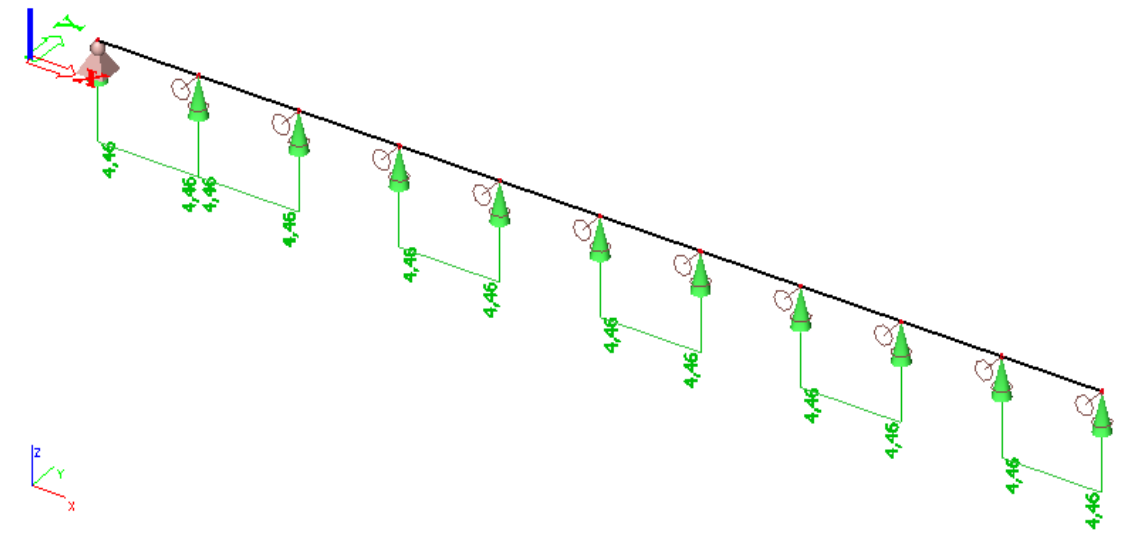
$$W_9 = 7,44 + 7,09 = 14,53 \text{ kN}$$



Slika 4.1.9. Djelovanje stalnog opterećenja na krovnu podrožnicu



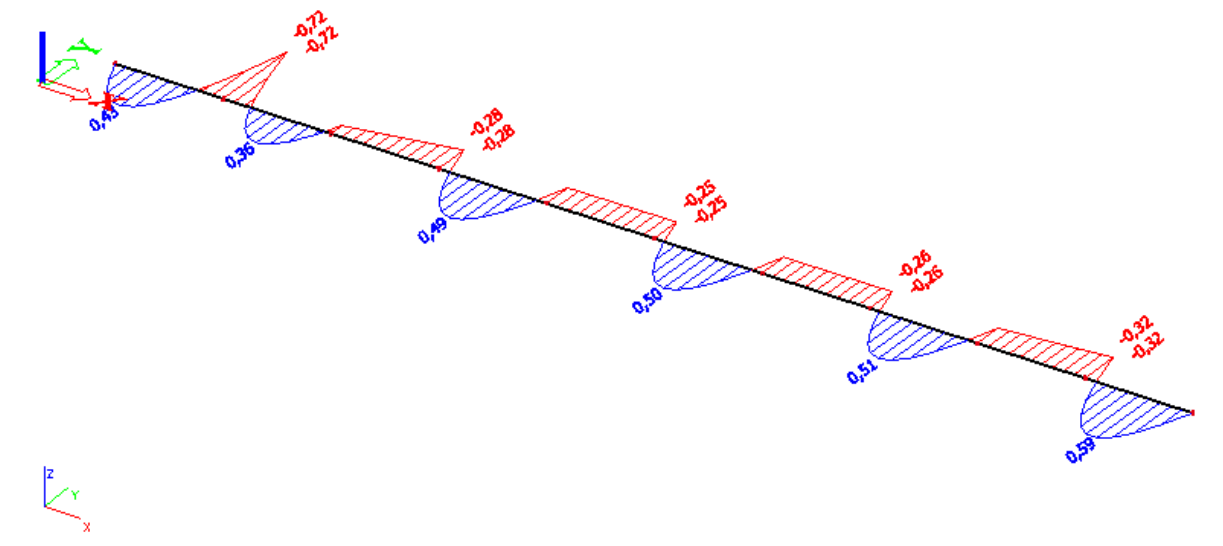
Slika 4.1.9. Djelovanje opterećenja snijegom na krovnu podrožnicu



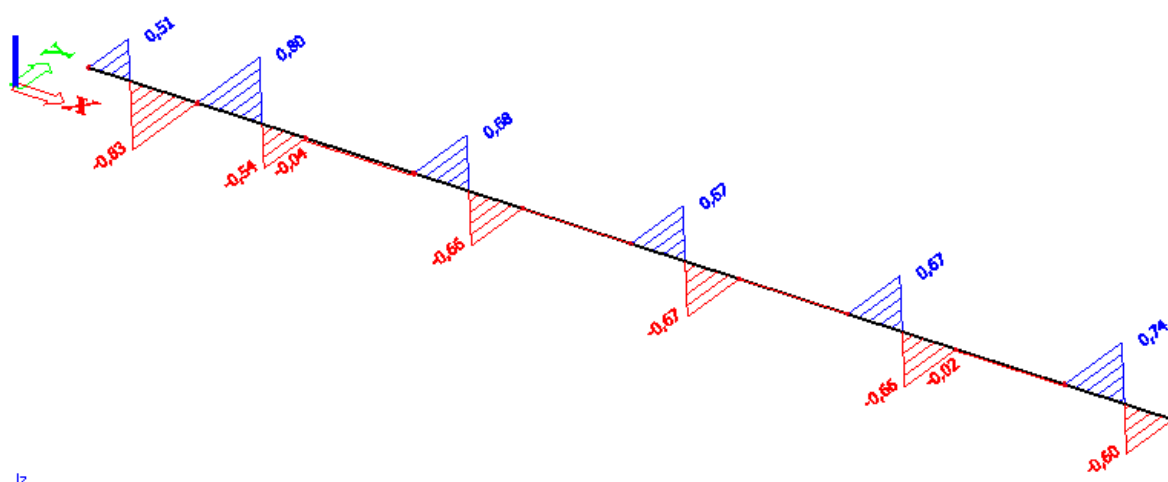
Slika 4.1.9. Djelovanje vjetra  $W_2$  na krovnu podrožnicu

Krovne podrožnice: rezultati

Kombinacija 1: 1.35 stalno + 1,5 snijeg

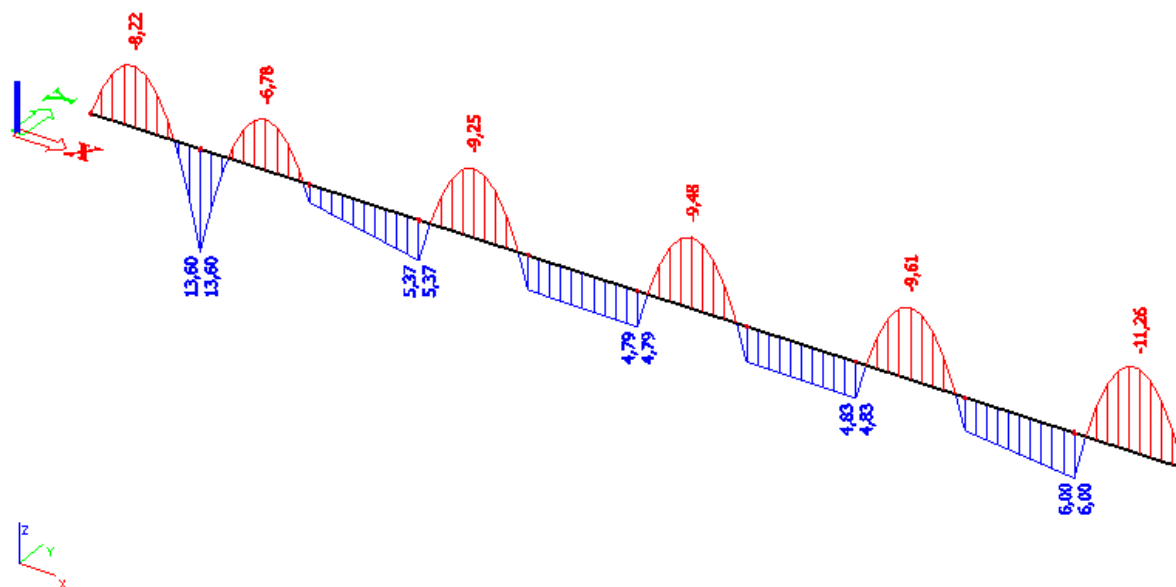


Slika 4.1.9. Dijagram momenta savijanja opterećenja kombinacije 1 (os z-z)

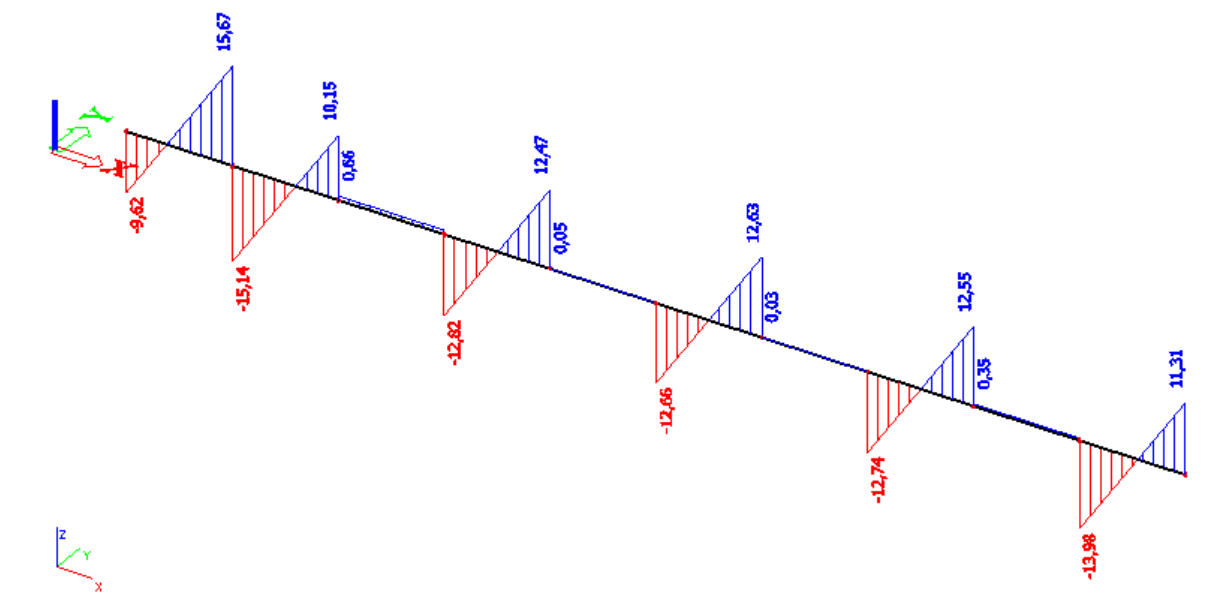


Slika 4.1.9. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1 (os y-y)

Kombinacija 2: 1,0 stalno + 1,5 \*  $W_2$

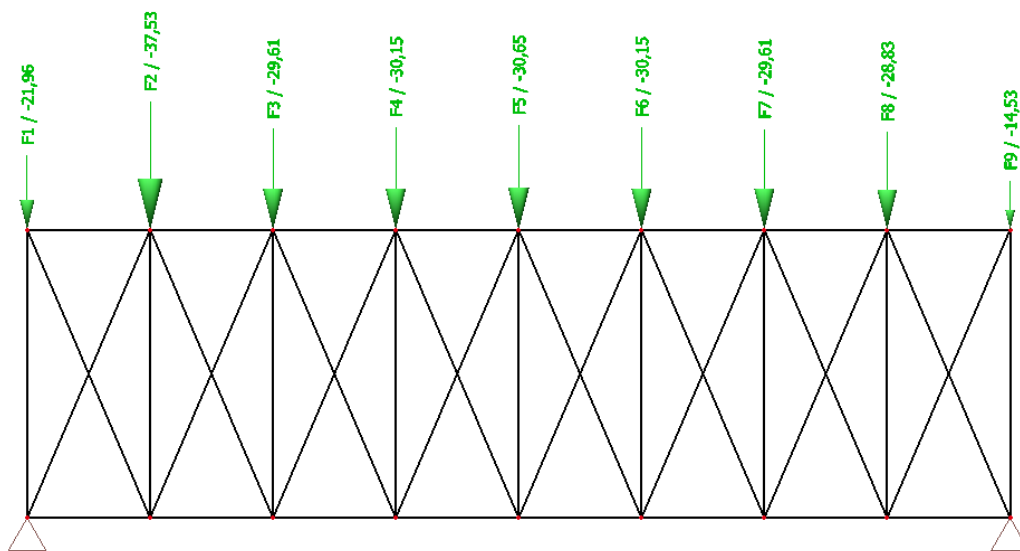


Slika 4.1.9. Dijagram momenta savijanja opterećenja kombinacije 2 (os y-y)

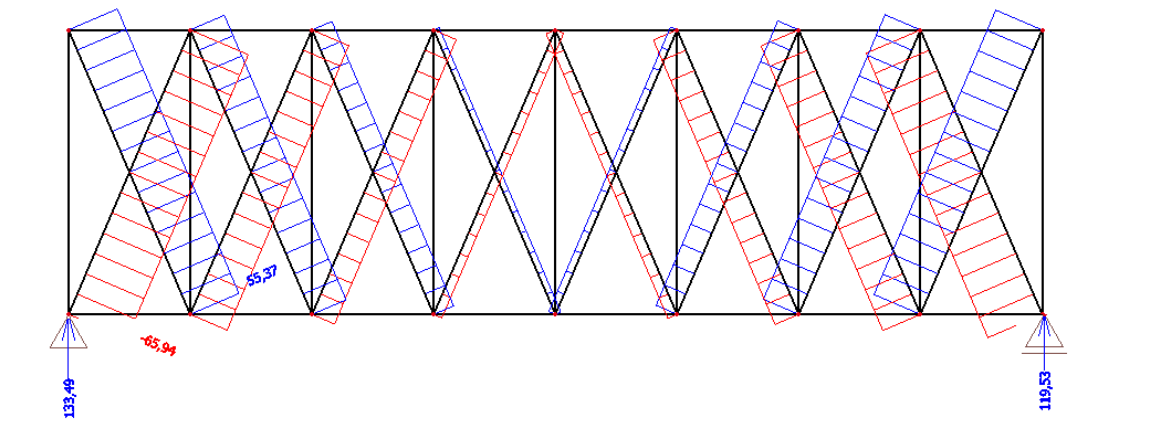


Slika 4.1.9. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2 (os z-z)

### 5.1.2. KROVNI SPREG



Slika 4.1.9. Djelovanje vjetra na zabat



Slika 3.1.2. Uzdužne sile u krovnim podrožnicama i spregovima

### 5.1.3. BOČNE PODROŽNICE

- stalno opterećenje:

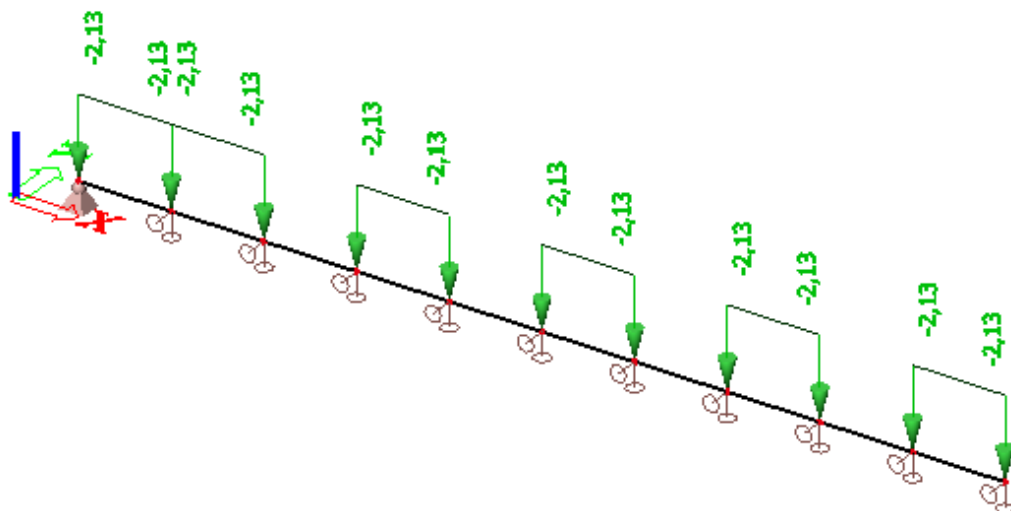
$$G = g \cdot 2,17 = 0,1 \cdot 2,17 = 0,22 \text{ kN/m}$$

- opterećenje vjetrom:

Vjetar W2:

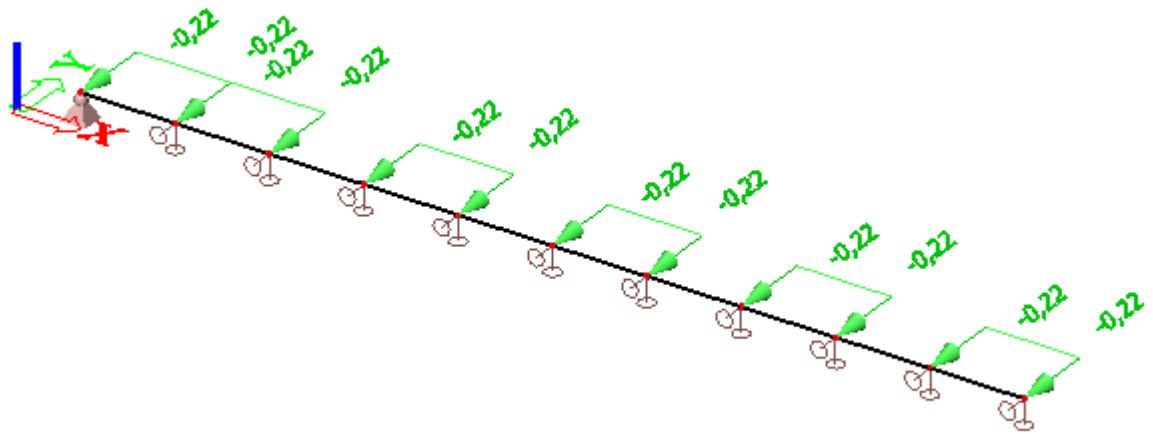
$$w_d = 0,98 \text{ kN/m}^2$$

$$W_2 = 0,98 \cdot 2,17 = 2,13 \text{ kN/m'}$$

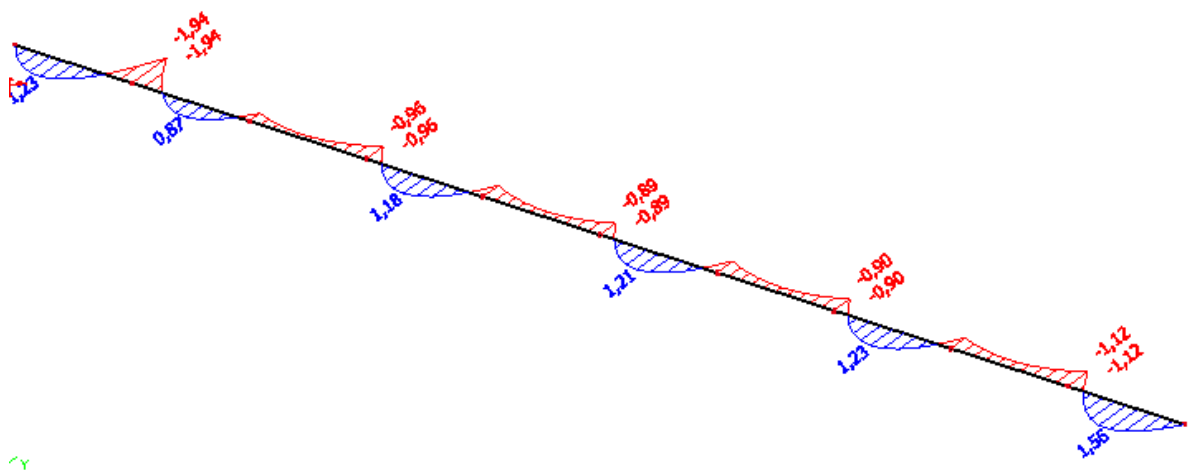


Slika 4.1.9. Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu

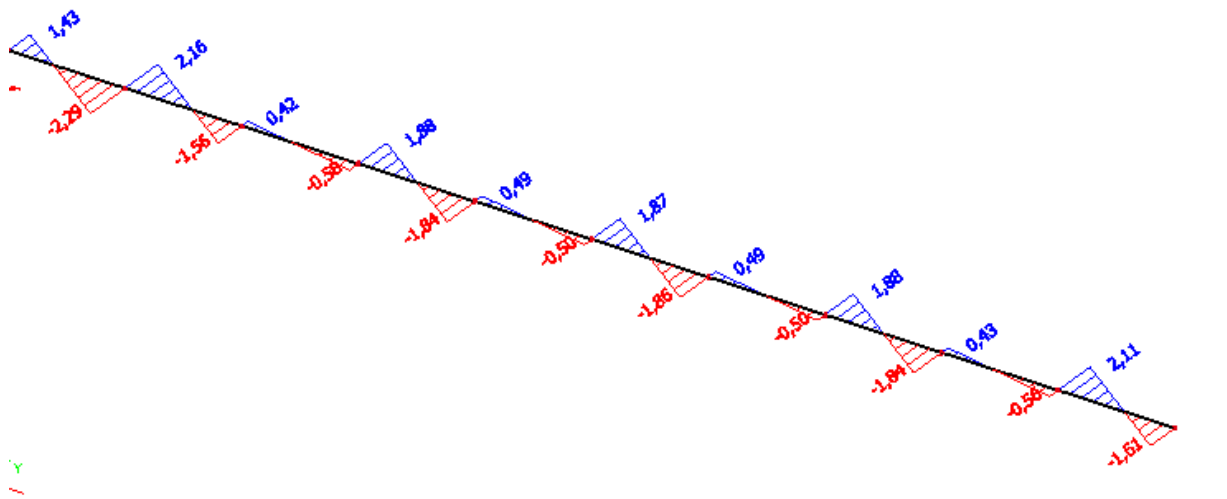




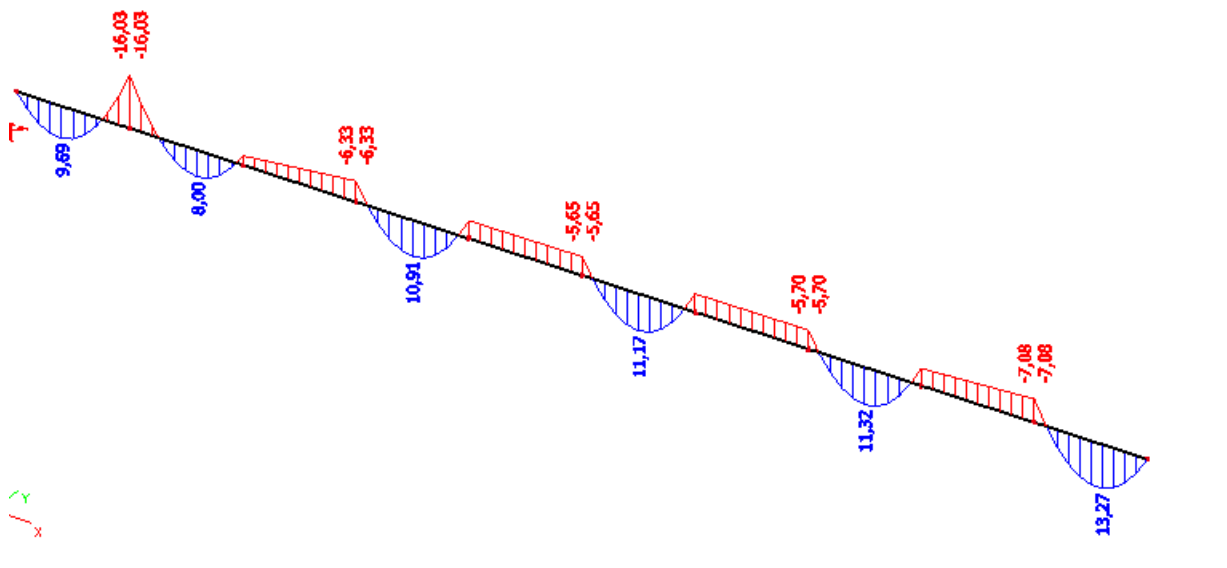
Slika 4.1.9. Djelovanje stalnog opterećenja na bočnu podrožnicu



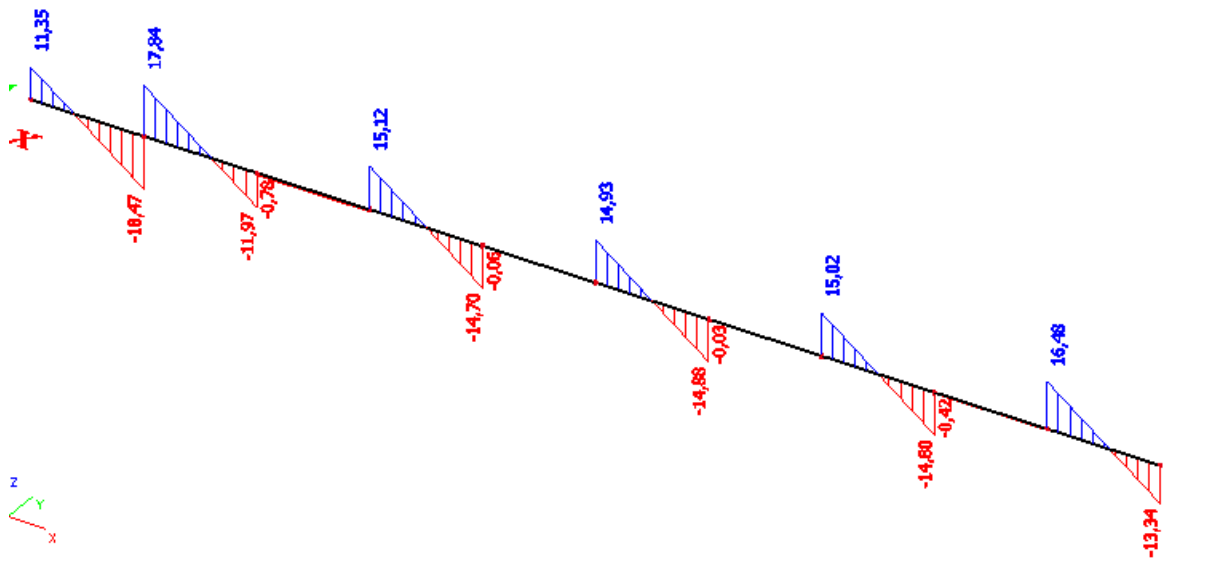
Slika 4.1.9. Dijagram momenta savijanja uslijed stalnog opterećenja (os z-z)



Slika 4.1.9. Dijagram poprečnih sila na bočnoj podrožnici (os y-y)

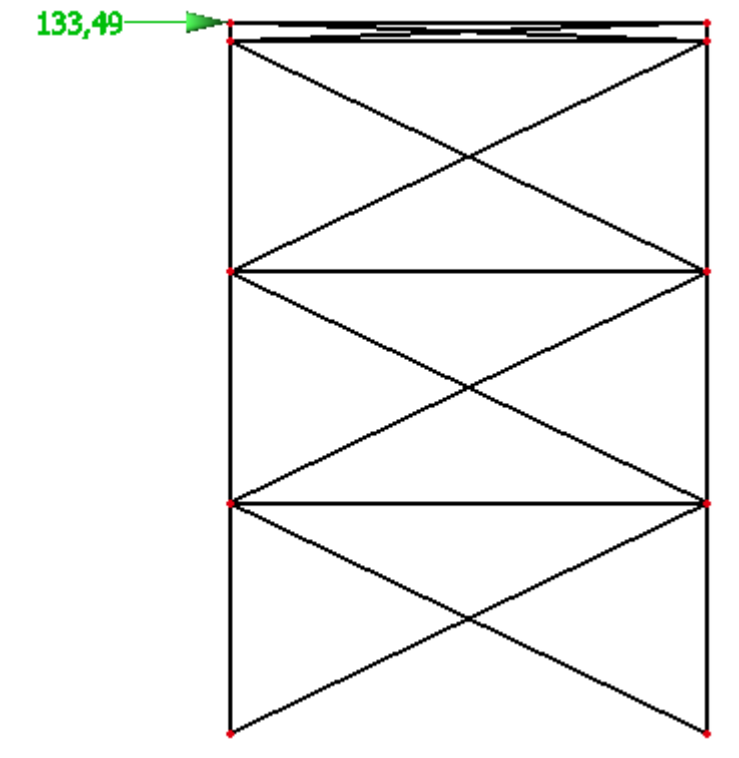


Slika 4.1.9. Dijagram momenata savijanja uslijed dominirajućeg vjetro  $W_1$  (os z-z)

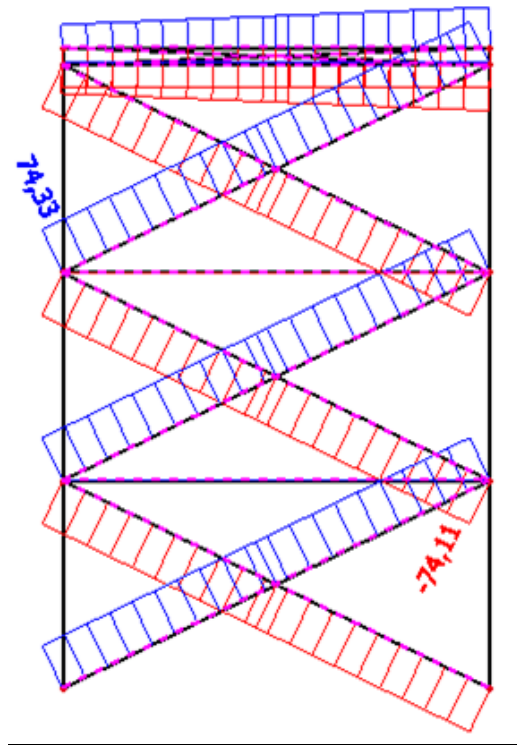


Slika 4.1.9. Dijagram poprečnih sila na bočnoj podrožnici (os z-z)

### 5.1.4. BOČNI SPREGOVI



Slika 3.1.3. Raspored bočnih spregova i opterećenje



Slika 3.1.4. Maksimalne uzdužne sile u bočnim podrožnicama i spregovima

## 5.2. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

### 5.2.1. KROVNE PODROŽNICE

#### Rezne sile

$$M_{y,Ed} = 13,60 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 15,67 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,72 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,83 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -72,87 \text{ kN}$$

#### Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: HE 140 A

Tip poprečnog presjeka

vrućevaljani

Površina poprečnog presjeka

A : 31,40 cm<sup>2</sup>

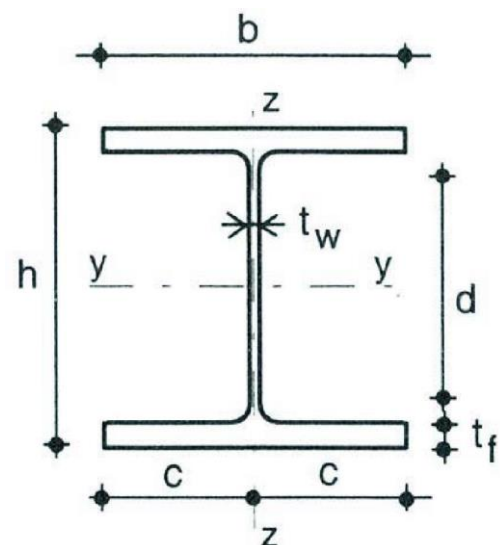
Moment tromosti

I<sub>y</sub> : 1033 cm<sup>4</sup>

I<sub>z</sub> : 389,30 cm<sup>4</sup>

Moment otpora

W<sub>el,y</sub> : 155,4 cm<sup>3</sup>



	$W_{el,z}$ :	55,62	cm <sup>3</sup>
	$W_{pl,y}$ :	173,5	cm <sup>3</sup>
	$W_{pl,z}$ :	84,85	cm <sup>3</sup>
Torzijska konstanta	$I_t$ :	8,13	cm <sup>4</sup>
Radijus tromosti	$i_y$ :	5,73	cm
	$i_z$ :	3,52	cm
Visina presjeka	$h$ :	133,00	mm
Širina presjeka	$b$ :	140,00	mm
Debljina pojasnice	$t_f$ :	8,50	mm
Debljina hrpta	$t_w$ :	5,50	mm
Radijus	$r$ :	12,00	mm

Osnovni materijal

S235

Granica popuštanja	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Modul elastičnosti	$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$
Poissonov koeficijent	$\nu = 0,3$

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA:

Hrbat

$$\frac{c}{t_w} = 12,72 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 48,12, \quad \alpha = 0,71 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = 8,24 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

⇒ poprečni presjek je svrstan u klasu 1!

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA:Uzdužna sila  $N_{sd}$ 

$$N_{c,Rd} = \frac{A^* f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{31,40 \cdot 23,5}{1} = 737,9 \text{ kN} \geq 72,87 \text{ kN}$$

Moment savijanja  $M_{y,sd}$ 

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{173,5 \cdot 23,5}{1} = 40,77 \text{ kNm} \geq M_{y,sd} = 11,32 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{133 - 2 \cdot 8,5}{5,5} = 21,09 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

### **Plastična posmična otpornost**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 31,40 - 2 \cdot 14 \cdot 0,85 + (0,55 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,85 = 10,11 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 11,6 \cdot 0,55 = 7,66 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{10,11 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 137,17 \text{ kN}$$

### **Interakcija M – N – V**

#### Poprečna sila

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 137,17 = 68,58 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 15,67 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 68,58 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

### **Uzdužna sila**

Ako su ispunjeni uvjeti (1) i (2) za uzdužnu silu, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$(1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$(2)$$

$$(3) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 0,25 \cdot 737,9 = 184,48 \text{ kN}$$

$$72,87 < 184,48$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 11,6 \cdot 0,55 \cdot 23,5}{1,0} = 74,96 \text{ kN}$$

$$72,87 < 74,96$$

**OTPORNOST ELEMENTA**

## UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \text{ za presjeke klase 1, 2, 3}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \text{ za presjeke klase 1, 2, 3}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora za svaku os posebno.

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0,95 \quad t_f = 8,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

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

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{CR,y} = 450 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1033}{450^2} = 1057,29 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{31,40 \cdot 23,5}{1057,29}} = 0,835$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,835 - 0,2) + 0,835^2] = 1,166$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,166 + \sqrt{1,166^2 - 0,835^2}} = 0,505$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{CR,y} = 450 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389,30}{450^2} = 398,45 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{31,40 \cdot 23,5}{398,45}} = 1,361$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,361 - 0,2) + 1,361^2] = 1,711$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,711 + \sqrt{1,711^2 - 1,361^2}} = 0,364$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,364$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,364 \cdot 31,40 \cdot 23,5}{1,0} = 268,60 \text{ kN} > N_{Ed} = 72,87 \text{ kN}$$

### **OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE**

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

$$L = 450 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{13,3}{2} = 6,65 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 2,578$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 1,554$$

$$M_{CR} = 2,58 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389,3}{1,0 \cdot 450^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{15060}{389,3} + \frac{(1,0 \cdot 450)^2 \cdot 8077 \cdot 8,13}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389,3} + (1,554 \cdot 6,65)^2} - 1,554 \cdot 6,65 \right] = 7484,62 \text{ kNcm} = 7,48 \text{ kNm}$$



Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{173,5 \cdot 23,5}{7484,62}} = 0,73 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} < 1,0$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0,95 < 2$$

Mjerodavna krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$ .

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,73 - 0,2) + 0,73^2] = 0,83$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,83 + \sqrt{0,83^2 - 0,73^2}} = 0,987 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,987 \cdot 173,5 \cdot 23,5}{1,0} = 4024,25 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 4024,25 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 11,32 \text{ kNm}$$

Interakcija M-N

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{c,Rd} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{c,Rd} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = -8,22 / 13,6 = 0,6$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = C_{mLt} = 0,1 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,8 \cdot 0,6 = 0,58$$

Interakcijski faktori:

$$k_{yy} = 0,58 \cdot \left[ 1 + (0,835 - 0,2) \cdot \frac{72,87}{0,505 \cdot 1064,55 / 1,0} \right] = 0,629$$

$$k_{yy} = 0,629 \leq 0,58 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{72,87}{0,505 \cdot 1064,55 / 1,0} \right] = 0,643$$

$$k_{yy} = 0,629$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,361}{(0,58 - 0,25)} \cdot \frac{72,87}{0,364 \cdot 1064,55 / 1,0} \right] = 0,922$$

$$k_{zy} = 0,948 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,58 - 0,25)} \cdot \frac{72,87}{0,364 \cdot 1064,55 / 1,0} \right] = 0,922$$

$$k_{zy} = 0,948$$

$k_{zy}$  i  $k_{zz}$  nije potrebno uzimati u obzir jer je  $M_{z,Ed} = 0$ !

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{72,87}{0,505 \cdot 737,9 / 1,0} + 0,648 \cdot \frac{13,6}{0,987 \cdot 40,77 / 1,0} = 0,42 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{72,87}{0,364 \cdot 737,9 / 1,0} + 0,965 \cdot \frac{13,6}{0,987 \cdot 40,77 / 1,0} = 0,60 \leq 1,0$$

Odabrani profil zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa.

### 5.2.3. BOČNE PODROŽNICE

#### Rezne sile

$$M_{y,Ed} = 16,03 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 18,47 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 1,94 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,83 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 62,44 \text{ kN (tlak)}$$

#### Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil: HE 140 A

Tip poprečnog presjeka: valjani

Površina poprečnog presjeka	A :	31,40	cm <sup>2</sup>
Moment tromosti	I <sub>y</sub> :	1033	cm <sup>4</sup>
	I <sub>z</sub> :	389,30	cm <sup>4</sup>
Moment otpora	W <sub>el,y</sub> :	155,4	cm <sup>3</sup>
	W <sub>el,z</sub> :	55,62	cm <sup>3</sup>
	W <sub>pl,y</sub> :	173,5	cm <sup>3</sup>
	W <sub>pl,z</sub> :	84,85	cm <sup>3</sup>
Torzijska konstanta	I <sub>t</sub> :	8,13	cm <sup>4</sup>
Radijus tromosti	i <sub>y</sub> :	5,73	cm
	i <sub>z</sub> :	3,52	cm
Visina presjeka	h :	133,00	mm
Širina presjeka	b :	140,00	mm
Debljina pojasnice	t <sub>f</sub> :	8,50	mm
Debljina hrpta	t <sub>w</sub> :	5,50	mm
Radijus	r :	12,00	mm

#### Osnovni materijal

S235

Granica popuštanja  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Modul elastičnosti  $E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$

Poissonov koeficijent  $\nu = 0,3$

#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA:

Hrbat

$$d = h - t_f - 2 * r = 133 - 8,5 - 24 = 100,5 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{100,5}{5,5} = 18,28$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 * t_w * f_y / \gamma_{m0}} = \frac{62,44}{2 * 0,55 * 23,5} = 2,42 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} * \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{10,05} * \left( \frac{10,05}{2} + 2,42 \right) = 0,74 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} = 18,28 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 48,12, \quad \alpha = 0,71 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{140 - 5,5 - 24}{2} = 55,25$$

$$\frac{c}{t_f} = 6,5 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

$\Rightarrow$  poprečni presjek je svrstan u klasu 1!

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA:

Uzdužna sila  $N_{sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{31,4 \cdot 23,5}{1} = 737,9 \text{ kN} \geq 62,44 \text{ kN}$$

Moment savijanja  $M_{sd}$  os y-y

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173,5 \cdot 23,5}{1} = 40,77 \text{ kNm} \geq M_{y,sd} = 16,03 \text{ kNm}$$

Moment savijanja  $M_{sd}$  os z-z

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84,85 \cdot 23,5}{1} = 19,93 \text{ kNm} \geq M_{z,sd} = 1,94 \text{ kNm}$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**

Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{133 - 2 \cdot 8}{5,5} = 21,27$$

$$21,27 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

**Plastična posmična otpornost****OS Z-Z**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{wz} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + t_f(t_w + 2 \cdot r) \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{wz} = 31,40 - 2 \cdot 14 \cdot 0,85 + (0,55 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,85 = 10,11 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{wz} = 1,2 \cdot 11,7 \cdot 0,55 = 7,72 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{7,72 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 104,77 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 18,47 \text{ kN}$$

**OS Y-Y**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,y} = A - \sum h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,y} = 31,40 - 11,7 \cdot 0,55 = 24,96$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{24,96 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 338,72 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 2,29 \text{ kN}$$

**Interakcija M – N – V****SAVIJANJE U SMJERU OSI z-z****Poprečna sila**

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 104,77 = 52,38 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 18,47 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 52,38 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

**Uzdužna sila**

Ako su ispunjeni uvjeti (1) i (2) za uzdužnu silu, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$(1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$(2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 0,25 \cdot 737,9 = 184,48 \text{ kN}$$

$$62,44 < 184,48$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 11,7 \cdot 0,55 \cdot 23,5}{1,0} = 75,611 \text{ kN}$$

$$62,44 < 75,61$$

*nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile*

**SAVIJANJE U SMJERU OSI y-y****Poprečna sila**

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 338,72 = 169,36 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 2,29 \text{ kN} < 169,36 \text{ kN} \rightarrow \text{nema redukcije otpornosti od poprečne sile}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta < 1,0$$

$$\alpha = 2; \beta = 5 \cdot n > 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{62,44}{737,9} = 0,08 \rightarrow \beta = 1$$

### Profil HEA140 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka

#### OTPORNOST ELEMENTA

##### UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \text{ za presjeka klase 1, 2, 3}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \text{ za presjeka klase 1, 2, 3}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora za svaku os posebno.

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0,95 \quad t_f = 8,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

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

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{CR,y} = 450 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1033}{450^2} = 1057,29 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{31,40 \cdot 23,5}{1057,29}} = 0,698$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,698 - 0,2) + 0,698^2] = 0,828$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,828 + \sqrt{0,828^2 - 0,698^2}} = 0,973$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{CR,z} = 450 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389,30}{450^2} = 398,454 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{31,40 \cdot 23,5}{398,454}} = 1,361$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,361 - 0,2) + 1,361^2] = 1,711$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,711 + \sqrt{1,711^2 - 1,306^2}} = 0,355$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,355$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,355 \cdot 31,40 \cdot 23,5}{1,0} = 261,95 \text{ kN} > N_{Ed} = 62,44 \text{ kN}$$



**OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE**

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

$$L = 450 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{13,3}{2} = 6,65 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

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

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

$$M_{CR} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389,30}{1,0 \cdot 450^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{15060}{389,30} + \frac{(1,0 \cdot 450)^2 \cdot 8077 \cdot 8,13}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389,30}}$$

$$= 14653,09 \text{ kNcm} = 14,65 \text{ kNm}$$

**Bezdimenzijska vitkost:**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{173,5 \cdot 23,5}{14653,09}} = 0,53 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} < 1,0$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0,95 < 2$$

Mjerodavna krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$ .

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,82 - 0,2) + 1,82^2] = 0,675$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,675 + \sqrt{0,675^2 - 0,53^2}} = 0,915 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,915 \cdot 173,5 \cdot 23,5}{1,0} = 3730,68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 3730,68 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 11,32 \text{ kNm}$$

### Interakcija M-N

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot [1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}] \leq C_{my} \cdot \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$\alpha_h = M_s / M_h = 9,69 / 16,03 = 0,6$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = C_{mLt} = C_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,2 + 0,8 \cdot 0,6 = 0,68$$

Interakcijski faktori:

$$k_{yy} = 0,68 \cdot [1 + (0,698 - 0,2) \cdot \frac{62,44}{0,973 \cdot 737,9 / 1,0}] = 0,70$$

$$k_{yy} = 0,71 \leq 0,68 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{62,44}{0,973 \cdot 737,9 / 1,0} \right] = 0,73$$

$$k_{yy} = 0,71$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,361}{(0,58 - 0,25)} \cdot \frac{62,44}{0,355 \cdot 737,9/1,0} \right] = 0,92$$

$$k_{zy} = 0,92 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,58 - 0,25)} \cdot \frac{62,44}{0,355 \cdot 737,9/1,0} \right] = 0,90$$

$$k_{zy} = 0,92$$

$$k_{zz} = 0,68 \cdot \left[ 1 + (2 \cdot 1,361 - 0,6) \cdot \frac{62,44}{0,355 \cdot 737,9/1,0} \right] \leq 0,68 \cdot \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{62,44}{0,355 \cdot 737,9/1,0} \right]$$

$$k_{zz} = 0,9 \leq 1,02$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{62,44}{0,973 \cdot 737,9/1,0} + 0,71 \cdot \frac{16,03}{0,915 \cdot 40,77/1,0} + 0,54 \cdot \frac{1,94}{19,93/1,0} = 0,44 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{62,44}{0,355 \cdot 737,9/1,0} + 0,92 \cdot \frac{16,03}{0,915 \cdot 40,77/1,0} + 0,90 \cdot \frac{1,94}{19,93/1,0} = 0,72 \leq 1,0$$

Odabrani profil zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa.

**5.2.4. KROVNI SPREGOVI**

$$N_{sd} = 55,37 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} = \frac{1,0 \cdot 55,37}{23,5} = 2,36 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 2,36}{\pi}} = 1,74 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 20 \text{ mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{2,0^2 \cdot \pi}{4} = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,14 \cdot 23,5}{1,0} = 73,79 \text{ kN} \geq N_{sd} = 55,37 \text{ kN}$$

Za krovne spregove je odabran profil Ø20!

**5.2.5. BOČNI SPREGOVI**

$$N_{sd} = 74,33 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} = \frac{1,0 \cdot 74,33}{23,5} = 3,16 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 3,16}{\pi}} = 2,00 \text{ cm}$$

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

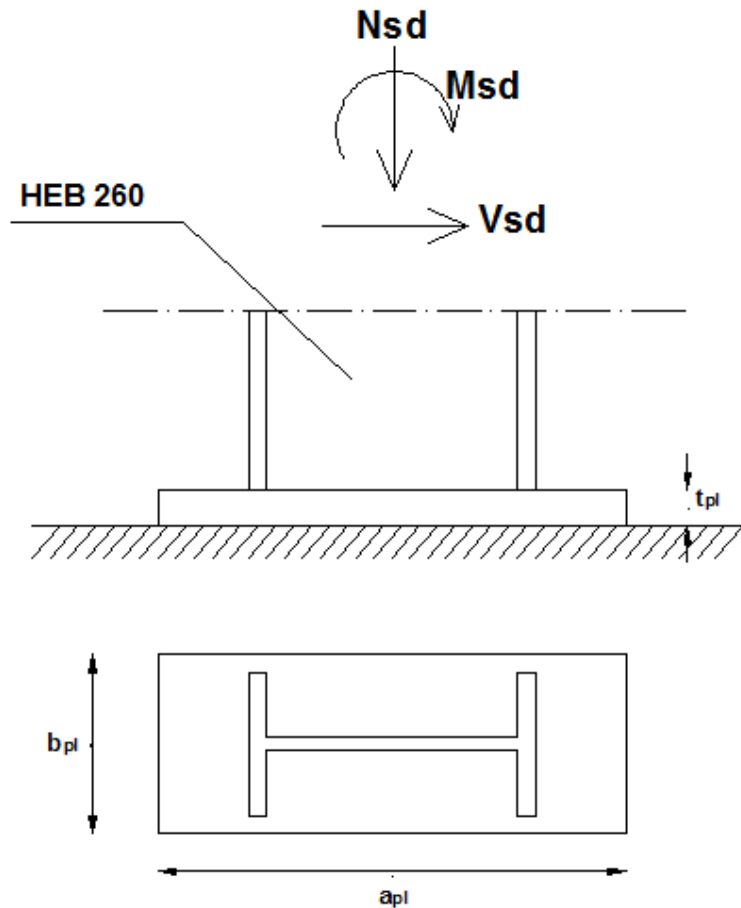
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{2,5^2 \cdot \pi}{4} = 4,90 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,90 \cdot 23,5}{1,0} = 115,35 \text{ kN} \geq N_{sd} = 74,33 \text{ kN}$$

Za bočne spregove je odabran profil Ø25!

## 6. PRORAČUN SPOJEVA

### 6.1 DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ



#### Veličine djelovanja:

$$M_{\max} = 234,13 \text{ kNm}$$

$$V_{\max} = 76,92 \text{ kN}$$

$$N_{\max} = 21,50 \text{ kN (tlak)}$$

#### Materijal:

osnovni materijal: S235

vijci: M 24, k.v. 10.9 ( $f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_u=360$ ), 4 komada

#### Poprečni presjek

Profil: HEB 260

$h = 260 \text{ mm}$

$b = 260 \text{ mm}$

$t_w = 10 \text{ mm}$

$t_f = 17,5 \text{ mm}$

**Pojasnice**

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^M = \frac{M_{sd}}{h'} = \frac{234,13}{(0,26 - 0,01)} = 773,46 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} * N_{sd} = -\frac{26,1}{118,5} * 21,5 = -4,72 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^M + N_p^N = 773,46 - 4,72 = 768,74 \text{ kN} = F_{n,Ed}$$

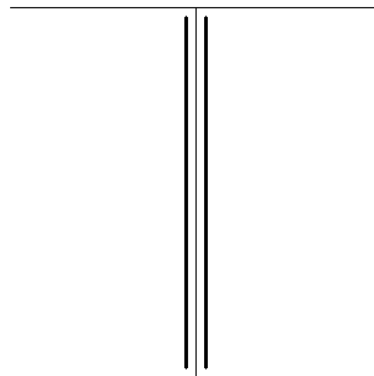
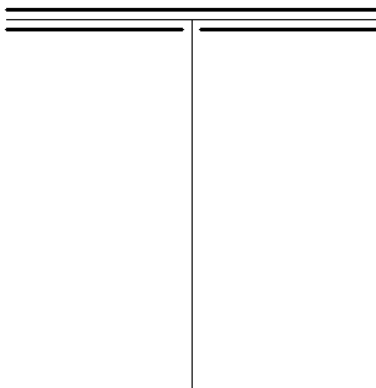
**Kontrola vara na pojasnicama i hrptu**

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 * 260 = 520 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 * 225 = 450 \text{ mm}$$



Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

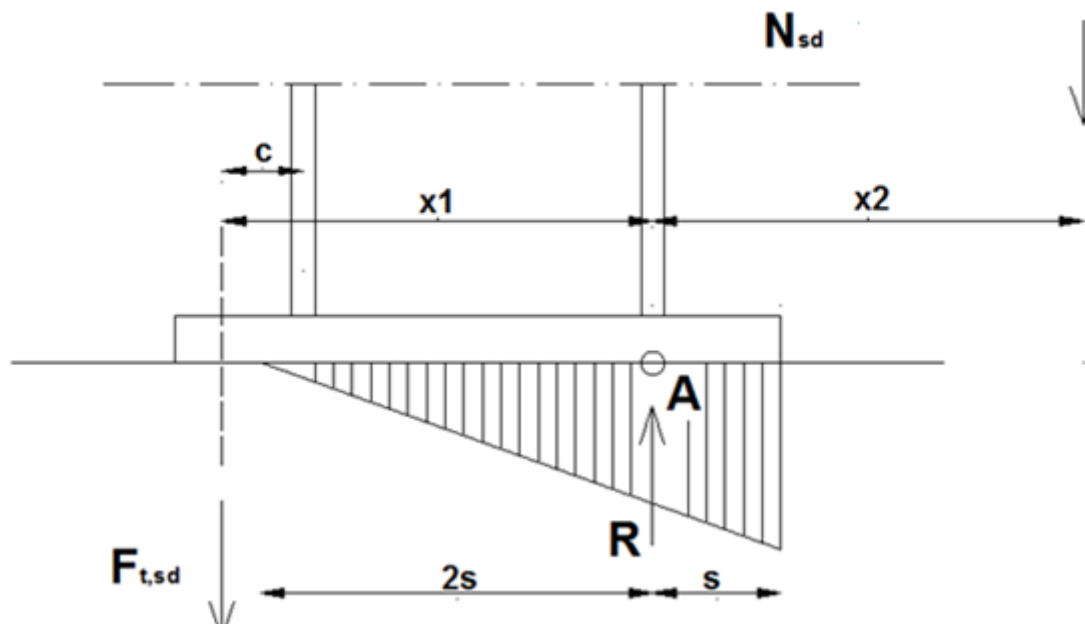
$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 10 = 7 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var  $a = 7,0 \text{ mm}$

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w} * a * L = 118,9 \text{ kN}$$

$$\text{uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} * \frac{L}{100} = \frac{118,9}{1,25} * \frac{520}{100} = 490,24 \text{ kN} > F_{w,Sd} = 768,74 \text{ kN}$$

$$\text{poprečna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} * \frac{L}{100} = \frac{118,9}{1,25} * \frac{450}{100} = 424,32 \text{ kN} > T_{Sd} = 76,92 \text{ kN}$$

**Proračun vijaka**

Uz pretpostavku vijaka M-24 udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 * 24 + 7 * 1.41 = 57,9 \text{ mm}$$

-usvojeni  $c = 58 \text{ mm}$

- ekscentricitet uzdužne sile  $e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{234,13}{21,50} = 10,90 \text{ m}$

-ekscentricitet  $x_1 = c + h - \frac{t_f}{2} = 58 + 260 - 5 = 313 \text{ mm} \cong 0,31 \text{ m}$

-ekscentricitet  $x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 10900 - \frac{260}{2} + 5 = 10775 \text{ mm} \cong 10,80 \text{ m}$

$$N_{sd} * x_2 = F_{t,sd} * x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = N_{sd} * \frac{x_2}{x_1} = 21,5 * \frac{10,80}{0,313} = 479,46 \text{ kN}$$

**Otpornost vijaka na vlak:**

$$F_{t,Rk} = 0,9 * f_{ub} * A_s = 317,7 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{317,7}{1,25} = 254,16 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Sd}}{2} = 239,73 \text{ kN}$$

**Otpornost vijaka na posmik:**

$$F_{v,Rk} = C_1 * f_{ub} * A_s = 176,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{176,5}{1,25} = 141,2 \text{ kN} \geq F_{v,Sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{76,92}{4} = 19,23 \text{ kN}$$

### Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0 \Leftrightarrow \frac{19,23}{141,2} + \frac{239,73}{1,4 * 254,16} = 0,80 \leq 1,0$$

### PRORAČUN DIMENZIJA PLOČE:

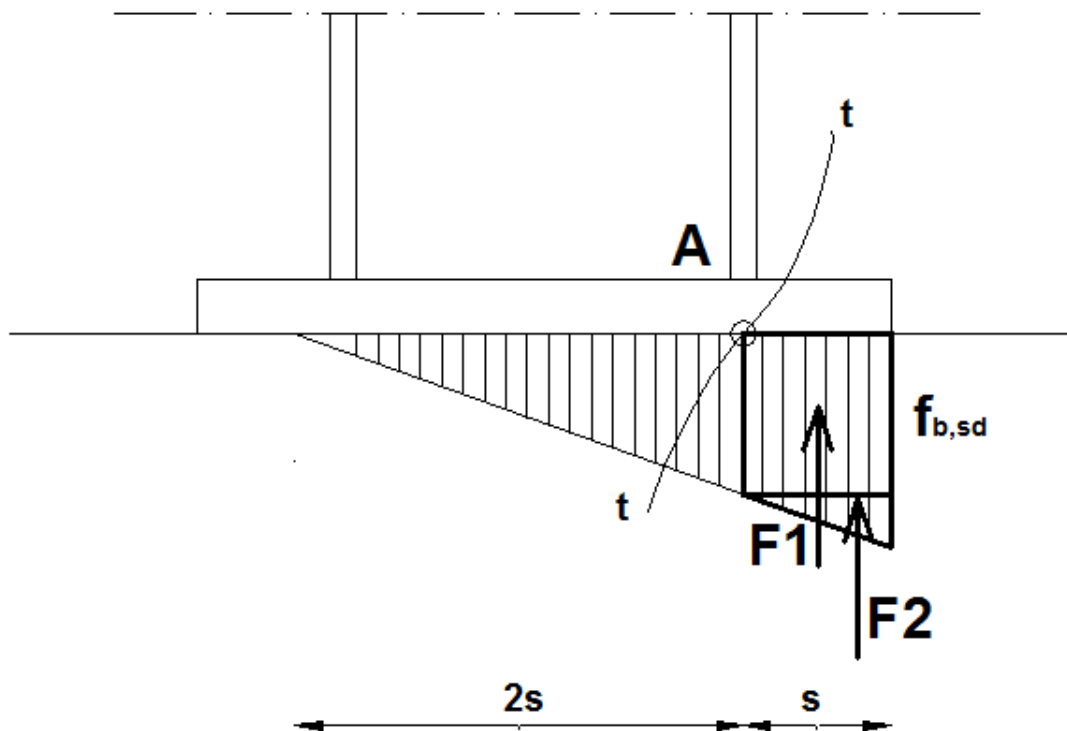
$$a_{pl}^{min} = h + 2 * (c + e_1) = 260 + 2 * (58 + 65) = 506 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20\text{mm} = 260 + 2 * 7\sqrt{2} + 20 = 300 \text{ mm}$$

$$= p_2 + 2e_2 = 85 + 2 * 55 = 195 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije **510 x 300 mm**

### PRORAČUN DEBLJINE PLOČE:



### Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,Ed} = \frac{T_{Sd}}{4} = \frac{76,92}{4} = 19,23 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 * \alpha * f_u * d * t = 2,5 * 0,769 * 360 * 24 * 10 = 166,104 \text{ kN}$$



$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} * \frac{t_{pl}}{10} = \frac{166,104}{1,25} * \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Sd} = 19,23 \text{ kN} \Rightarrow t_{pl} = 1.03 \text{ mm}$$

**Savijanje ploče od odgovora betonske podloge:**

$$s = \frac{520 - 260 + 10}{2} = 135 \text{ mm} \cong 13,5 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,Sd} + N_{Sd} = 479,46 + 21,5 = 500,96 \text{ kN}$$

**Naprezanje na betonu:**

$$f_{B,Sd} = \frac{R}{\frac{3 * s * b_{pl}}{2}} = \frac{500,96}{\frac{3 * 13,5 * 30}{2}} = 0,824 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{1,4}{1,5} = 0,93 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

**Savijanje ploče:**

$$M_{sd} = F_1 * \frac{s}{2} + F_2 * \frac{2}{3} s = \frac{2}{3} f_{B,Sd} * s * b_{pl} * \frac{s}{2} + \frac{1}{3} f_{B,Sd} * s * b_{pl} * \frac{2}{3} s =$$

$$= \frac{2}{3} * 8240 * 0,135 * 0,3 * \frac{0,135}{2} + \frac{1}{3} * 8240 * 0,135 * 0,24 * \frac{2}{3} * 0,135 = 19 \text{ kNm}$$

**Savijanje ploče od vlačnih vijaka:**

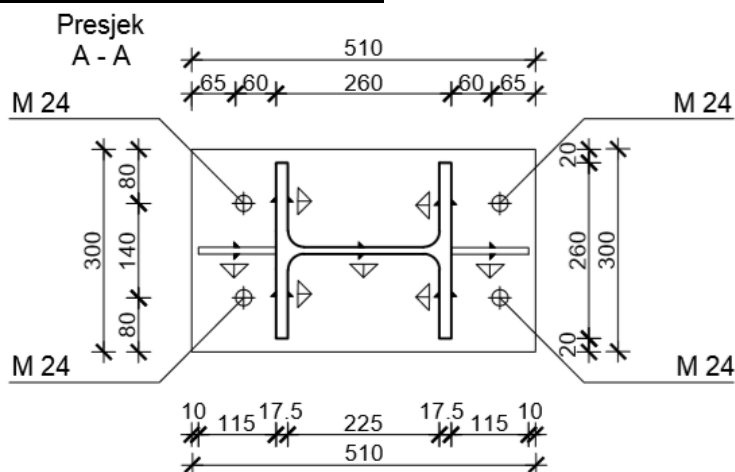
$$M_{sd} = F_{t,Sd} * (c + 5 \text{ mm}) = 479,46 * 0,063 = 30,21 \text{ kNm}$$

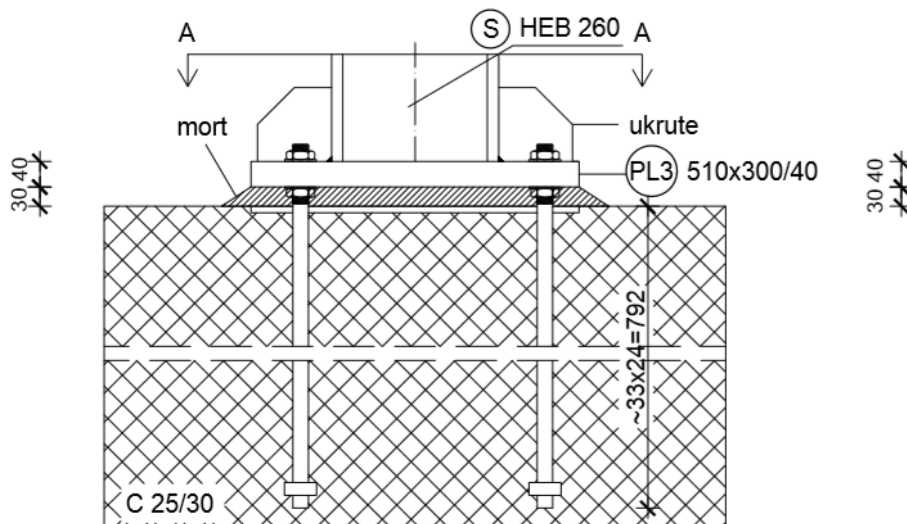
$$M_{sd} \leq \frac{W_{min} * f_y}{1,1} \Rightarrow W_{min} = \frac{1,1 * M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} * t_{pl}^2}{6}$$

$$\Rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{sd} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\left(\frac{1,1 * 3021 * 6}{30 * 23,5}\right)} = 5,32 \text{ cm}$$

Zbog prevelike debljine pločice, postavljene su ukrute.

**Usvojene dimenzije ploče su: 510 x 300 x 40 mm**





## 6.2 DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA

### Stup:

$N_{sd} = 44,70 \text{ kN}$  (vlak),  $T_{sd} = 9,15 \text{ kN}$

Profil HE 260 B

$h = 260 \text{ mm}$

$b = 260 \text{ mm}$

$t_f = 17,5 \text{ mm}$

$t_w = 10 \text{ mm}$

### Zavar u uvali:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{sd}^2 + T_{sd}^2} = \sqrt{44,70^2 + 9,15^2} = 48,69 \text{ kN}$$

Profil HE 260 B:

Dužina vara:  $l \approx 2 \cdot (260 - 10) + 2 \cdot (260 - 2 \cdot 17,5) = 950 \text{ mm}$

Max. duljina vara :  $a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ mm}$

Za pretpostavljeni var:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{181,9}{1,25} \cdot \frac{950}{100} = 1382,44 \text{ kN} > F_{w,Sd} = 48,69 \text{ kN}$$

Profil 60 x 60 x 5:

Dužina vara:  $l \approx 2 \cdot 60 = 120 \text{ mm}$

Max. duljina vara :  $a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$

Za pretpostavljeni var:

$$F_{w,Rk} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8} \cdot 3 \cdot 120 = 93,53 \text{ kN}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} = \frac{93,56}{1,25} = 74,824 > F_{w,Sd} = 48,69 \text{ kN}$$

Pretpostavka : vijci M 16

Profil HE 260 B:

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3\sqrt{2} = 36,24 \approx 37 \text{ mm}$$

Profil 90 x 90 x 4:

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 2,5\sqrt{2} = 35,54 \approx 36 \text{ mm}$$

### Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1,25} = 113,04 \text{ kN} > F_{t,Sd} = \frac{44,70}{2} = 22,35 \text{ kN}$$

### Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{78,5}{1,25} = 62,8 \text{ kN} > F_{v,Sd} = \frac{19,15}{2} = 9,58 \text{ kN}$$

### Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{9,58}{62,8} + \frac{22,35}{1,4 \cdot 113,04} = 0,35 < 1$$

### Proračun dimenzija ploče

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2e_2 = 55 + 2 \cdot 30 = 115 \text{ mm}$$

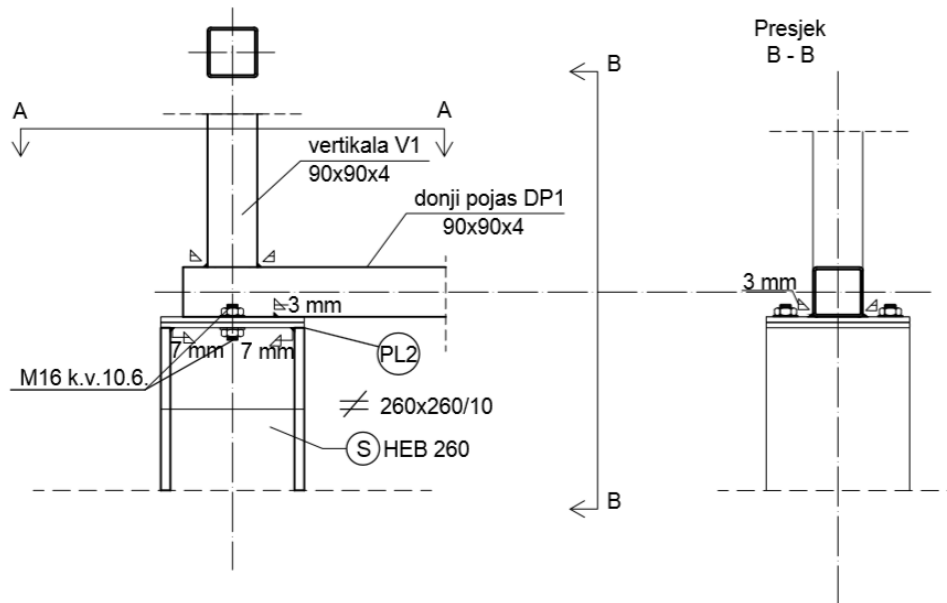
Odabrane dimenzije ploče su 260x 260 mm

### Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{sd} = F_{t,Sd} \cdot c = 22,35 \cdot 0,025 = 0,0559 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 55,9 \cdot 6}{23,5 \cdot 26}} = 0,78 \text{ cm} \rightarrow \text{usvojeno } 10 \text{ mm}$$

**Odabrane dimenzije ploče su 260 x 260 x 10 mm**



## **6.3 DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA ŠTAPA REŠETKE**

### **6.3.1. DONJI POJAS**

#### **Ulazni podaci**

Veličina djelovanja na mjestu spoja

$N_{sd} = 218,35 \text{ kN}$  (Vlačna sila)

Materijal

Osnovni materijal: S235

Poprečni presjek

Profil: 90x90x4

#### **Kontrola varova**

Određivanje maksimalne debljine vara:

$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 4 = 2.8 \text{ mm} \rightarrow$  odabrano  $a = 3,0 \text{ mm}$

Otpornost vara:

$L_w = 0 = 4 \cdot 90 = 360 \text{ mm}$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{wrk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{360}{100} = 224,83 \text{ kN} > N_{sd} = 218,35 \text{ kN}$$

### Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 16 k.v. 10.9.

$n = 4$  vijka

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{218,35}{1,25} = 54,59kN$$

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{1,25} = \frac{141,3}{1,25} = 113,04kN \leq F_{t,Rd} = 54,59kN$$

### Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 2,5\sqrt{2} = 35mm$$

$$b_{pl,min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 30 + 55 = 115mm$$

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20mm = 117mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 218 x 218 mm

Proračun minimalne debljine ploče  $t_{pl}$

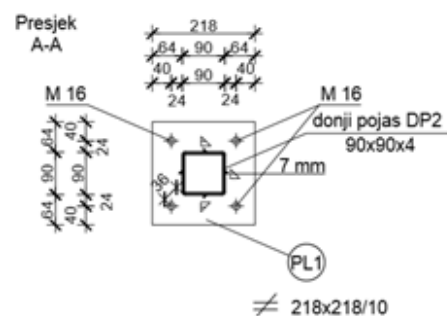
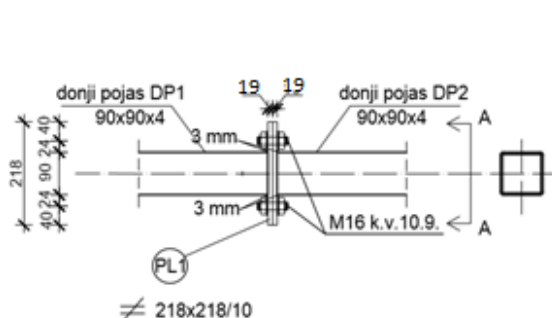
$b_{pl} = 218$  mm

$$M_{sd} = 2 \cdot F_{t,sd} \cdot e = \frac{218,35}{2} \cdot 0,024 = 2,6202kNm$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6}$$

$$\Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 262,02 \cdot 6}{218 \cdot 23,5}} = 0,184cm \rightarrow \text{usvojeno } 19 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 218 x 218 x 19 mm



### 6.3.2. GORNJI POJAS

#### Ulazni podaci

Veličina djelovanja na mjestu spoja

$$N_{sd} = 182,83 \text{ kN (Vlačna sila)}$$

Materijal

Osnovni materijal: S235

Poprečni presjek

Profil: 110X110X4

#### Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 4 = 2.8 \text{ mm} \rightarrow \text{odabrano } a = 3,0 \text{ mm}$$

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 4 \cdot 110 = 440 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{wrk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{440}{100} = 274,208 \text{ kN} > N_{sd} = 182,83 \text{ kN}$$

#### Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 16 k.v. 10.9.

$n = 4$  vijaka

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1,25} = 113,04 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rk} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{141,3}{4} = 45,71 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 113,04 \text{ kN}$$

#### Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 2\sqrt{2} = 35 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 30 + 55 = 115 \text{ mm}$$

$$b_{pl, \min} = b + 2 \cdot a \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 136 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 236x 236 mm

Proračun minimalne debljine ploče  $t_{pl}$

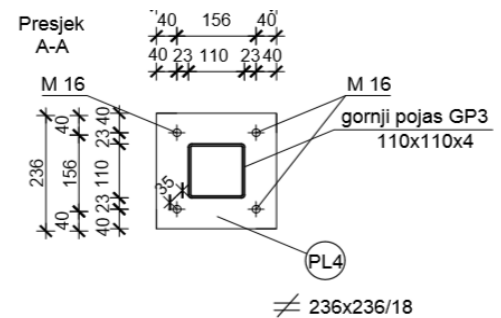
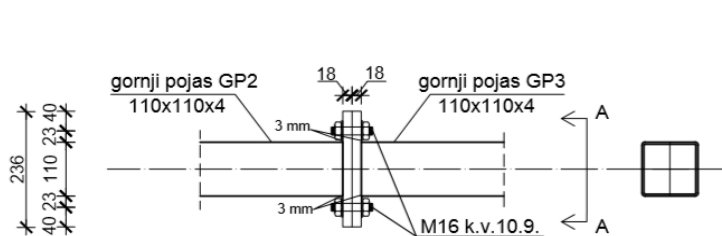
$$b_{pl} = 236 \text{ mm}$$

$$M_{sd} = 2 \cdot F_{t, sd} \cdot e = 2,10 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$\Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 210 \cdot 6}{23,6 \cdot 23,5}} = 1,58 \text{ cm} \rightarrow \text{usvojeno } 18 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 236 x 236 x 18 mm



## 6.4. DIMENZIONIRANJE SPOJA NASTAVKA KROVNIH PODROŽNICA

### Ulazni podaci

$$N_{Ed} = 0$$

$$M_{Ed} = 6,0 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 0,3 \text{ kN}$$

Nastavci krovni podrožnica postavljeni su na otprilike sredine polja između glavnih nosača radi jednostavnosti izvedbe i samih reznih sila koje nisu velike. Stoga je sam nastavak dimenzioniran na maksimalni moment koji se javlja u polju.

### Materijal:

Osnovni materijal: S235

Vijci: k.v. 10.9

### Poprečni presjek:

Profil: HEA 140

$$h = 133 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

### Raspodjela sila po presjeku nosača:

#### *Pojasnice:*

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{6,0}{(0,133 - 0,0085)} = 48,19 \text{ kN}$$

Sila u pojasnici od uzdužne sile:

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

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 48,19 + 0 \text{ kN} = 48,19 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

#### *Kontrola vara na pojasnicama i hrptu:*

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 \cdot 140 = 280 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot (133 - 2 \cdot 8,5) = 232 \text{ mm}$$



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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2,8\text{mm}$$

Za pretpostavljeni var **a=3,0mm**:

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{77,9}{1.25} \cdot \frac{280}{100} = 174,50\text{kN} > F_{w,Ed} = 48,19\text{kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{77,9}{1.25} \cdot \frac{232}{100} = 144,58\text{kN} > V_{Ed} = 0,3\text{kN}$$

### Pretpostavljeni vijak

M 12 ; k.v. 10.9

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

Usvojeni  $c = 30$  mm.

### Otpornost vijka na vlak:

Vlačna sila se raspoređuje na 2 vijaka.

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1.25} = 60,72\text{kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_P}{2} = \frac{48,19}{2} = 24,09\text{kN}$$

### Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1.25} = 33,76\text{kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = \frac{0,03}{6} = 0,05\text{kN}$$

### Komentar VLAK PRI IZDIZANJU

**Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak:**

$$\frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1.0 \Rightarrow \frac{24,09}{1.4 \cdot 60,72} + \frac{0,05}{33,76} = 0,28 < 1.0$$

### Proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl}^{\min} = h + (c + e_1) = 133 + (30 + 30) = 193\text{mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 30 + 2 \cdot 30 = 90\text{mm}$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 220x160mm**

Proračun debljine ploče**Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala**

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{6} = 0,05 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{0,05 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 0,075 \text{ mm}$$

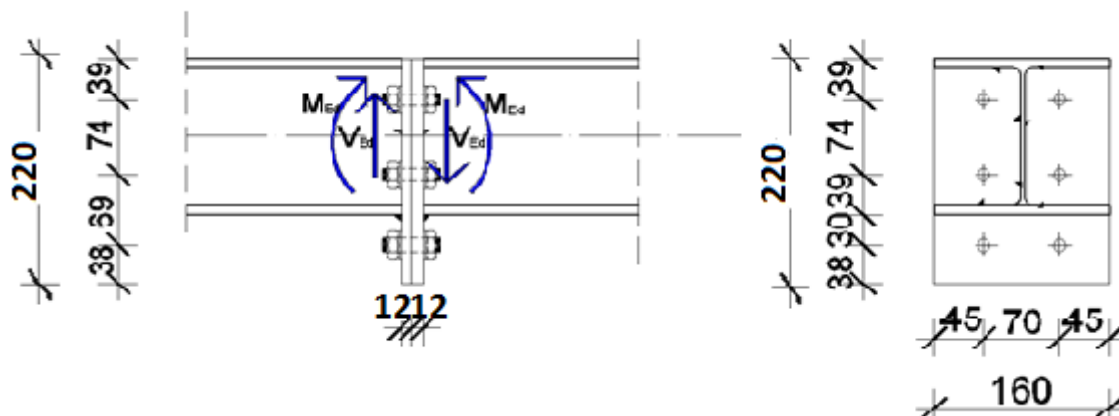
**Savijanje ploče od vlačnih vijaka:**

$$M_{sd} = F_{t,Ed} \cdot c = 24,09 \cdot 0,030 = 0,7227 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 72,27 \cdot 6}{16 \cdot 23,5}} =$$

$$t_{pl} = 1,12 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su: **220x160x12mm**



## 6.5. DIMENZIONIRANJE SPOJA NASTAVKA BOČNIH PODROŽNICA

### Ulazni podaci

$$N_{Ed} = 0$$

$$M_{Ed} = 13,27 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 13,0 \text{ kN}$$

Nastavci bočnih podrožnica postavljeni su na otprilike sredine polja između stupova radi jednostavnosti izvedbe i samih reznih sila koje nisu velike. Stoga je sam nastavak dimenzioniran na maksimalni moment koji se javlja u polju.

### Materijal:

Osnovni materijal: S235

Vijci: k.v. 10.9

### Poprečni presjek:

Profil: HEA140

$$h = 133 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

### Raspodjela sila po presjeku nosača:

#### *Pojasnice:*

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{13,27}{(0,133 - 0,0085)} = 106,59 \text{ kN}$$

Sila u pojasnici od uzdužne sile:

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

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 106,59 + 0 \text{ kN} = 106,59 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

#### *Kontrola vara na pojasnicama i hrptu:*

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 \cdot 140 = 280 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot (133 - 2 \cdot 8,5) = 232 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2,8\text{mm}$$

Za pretpostavljeni var **a=3,0mm**:

Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{77,9}{1.25} \cdot \frac{280}{100} = 174,50\text{kN} > F_{w,sd} = 106,59\text{kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{77,9}{1.25} \cdot \frac{232}{100} = 144,58\text{kN} > V_{Ed} = 13,0\text{kN}$$

### **Pretpostavljeni vijak**

M 12 ; k.v. 10.9

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

Usvojeni  $c = 30$  mm.

### **Otpornost vijka na vlak:**

Vlačna sila se raspoređuje na 2 vijaka. Zbog kombinacije opterećenja s vjetrom koja odiže konstrukciju postavljeno

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1.25} = 60,72\text{kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_P}{2} = \frac{106,59}{2} = 53,30\text{kN}$$

### **Otpornost vijaka na posmik:**

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1.25} = 33,76\text{kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = \frac{13,0}{6} = 2,17\text{kN}$$

### **Komentar VLAK PRI IZDIZANJU**

### **Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak:**

$$\frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1.0 \Rightarrow \frac{53,30}{1.4 \cdot 60,72} + \frac{2,17}{33,76} = 0,70 < 1.0$$

### **Proračun dimenzija ploče:**

$$a_{pl}^{\min} = h + (c + e_1) = 133 + (30 + 30) = 193\text{mm}$$

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

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 200x140mm

Proračun debljine ploče**Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala**

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{6} = 2,17\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{2,17 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 0,033\text{mm}$$

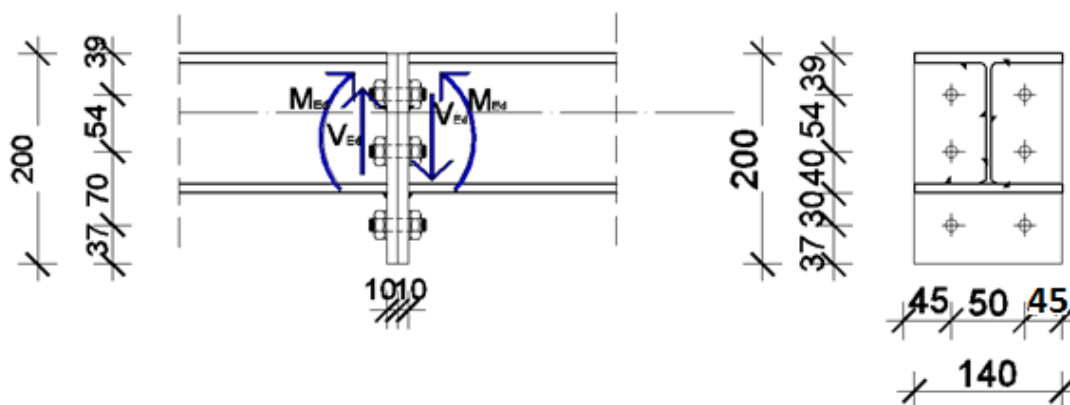
**Savijanje ploče od vlačnih vijaka:**

$$M_{sd} = F_{t,Ed} \cdot c = 53,30 \cdot 0,030 = 1,59\text{kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 155,9 \cdot 6}{14 \cdot 23,5}} =$$

$$t_{pl} = 1,76\text{cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su: **200x140x18mm**



## 6.6. DIMENZIONIRANJE SPOJA KROVNE PODROŽNICE NA GP

### Ulazni podaci

$$N_{Ed} = 0,88 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0$$

$$V_{z,Ed} = 11,31 \text{ kN (odizanje)}$$

$$M_{z,Ed} = 0$$

$$V_{y,Ed} = 0,60 \text{ kN}$$

### Materijal:

Osnovni materijal: S235

Vijci: k.v. 10.9

### Poprečni presjek:

Krovna podrožnica:

Profil: HEA 140

h= 133 mm

b= 140 mm

t<sub>w</sub>= 5,5 mm

t<sub>f</sub>= 8,5 mm

Gornji pojas:

Profil: 110x110x4

h= 110 mm

b= 110 mm

t= 4 mm

Spoj podrožnice na gornji pojas izvest će se zavarivanjem pravokutne ploče na gornji pojas nosača dimenzija 150x150mm debljine 5mm.

### **Pretpostavljeni vijak**

M 12 ; k.v. 10.9

### ***Uvjet nosivosti neto poprečnog presjeka:***

$$A_{netto} = (150 - 2 \cdot 13) \cdot 5 = 620 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 620 \cdot 360}{1,25} = 160,70 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$0,88 \text{ kN} < 160,70 \text{ kN}$$

### ***Uvjet nosivosti bruto poprečnog presjeka:***

$$A_{brutto} = 150 \cdot 5 = 750 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{750 \cdot 235}{1,0} = 176,25 \text{ kN}$$

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

$$0,88 \text{ kN} < 176,25 \text{ kN}$$

**Kontrola varova**

$$F_{w,Ed} = (11,31^2 + 0,88^2)^{0,5} = 11,36 \text{ kN}$$

Određivanje maksimalne debljine vara:

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

odabrano  $a = 3 \text{ mm}$

Otpornost vara:

$$L_w = O = 2 \cdot 110 = 220 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M,w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{220}{100} = 137,10 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 11,36 \text{ kN}$$

**Otpornost vijaka na posmik:**

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1,25} = 33,76 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = 2,82 \text{ kN}$$

**Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:**

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{83,1 \cdot 5}{1,25 \cdot 10} = 33,2 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = 2,82 \text{ kN}$$

**Otpornost vijka na vlak:**

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1,25} = 60,72 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = 0,15 \text{ kN}$$

## 6.7. DIMENZIONIRANJE SPOJA BOČNE PODROŽNICE NA STUP

### Ulazni podaci

$$N_{Ed} = 0$$

$$M_{y,Ed} = 0$$

$$V_{z,Ed} = 13,34 \text{ kN (odizanje)}$$

$$M_{z,Ed} = 0$$

$$V_{y,Ed} = 1,61 \text{ kN}$$

### Materijal:

Osnovni materijal: S235

Vijci: k.v. 10.9

### Poprečni presjek:

Bočna podrožnica:

Profil: HEA140

h= 133 mm

b= 140 mm

t<sub>w</sub>= 5,5 mm

t<sub>f</sub>= 8,5 mm

Stup:

Profil: HEB 260

h= 260 mm

b= 260 mm

t<sub>w</sub>= 10 mm

t<sub>f</sub>= 17,5 mm

### **Pretpostavljeni vijak**

M 12 ; k.v. 10.9

### **Otpornost vijka na vlak:**

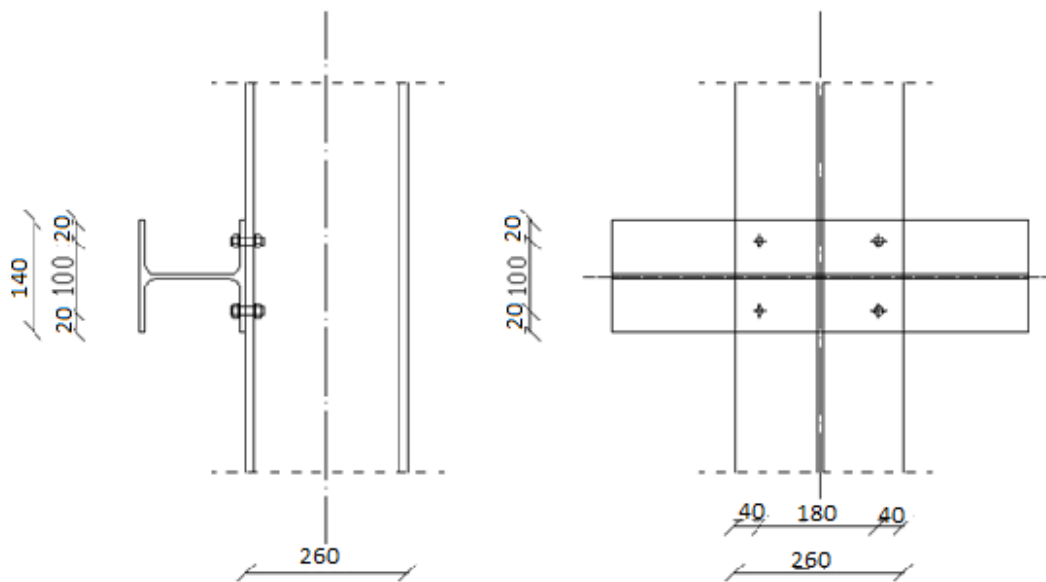
$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{75,9}{1,25} = 60,72 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = 3,35 \text{ kN}$$

### **Otpornost vijaka na posmik:**

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{42,2}{1,25} = 33,76 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{1,61}{4} = 0,40 \text{ kN}$$





## 6.8.DIMENZIONIRANJE SPOJA KROVNIH SPREGOVA

### Ulazni podaci

$$N_{Ed} = 55,37 \text{ (vlak)}$$

### Materijal:

Osnovni materijal: S235

Vijci: k.v. 10.9

### Poprečni presjek:

Profil: Ø20

d= 20 mm

### *Uvjet nosivosti neto poprečnog presjeka:*

$$A_{netto} = (2 \cdot e_2 - d) \cdot t = (2 \cdot 30 - 20) \cdot 8 = 320 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 320 \cdot 360}{1,25} = 82,9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$55,37 \text{ kN} < 82,9 \text{ kN}$$

### *Uvjet nosivosti bruto poprečnog presjeka:*

$$A_{brutto} = 60 \cdot 8 = 480 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{480 \cdot 235}{1,0} = 112,8 \text{ kN}$$

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

$$55,37 \text{ kN} < 112,8 \text{ kN}$$

### *Otpornost vijaka na posmik:*

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{78,5}{1,25} = 62,8 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 55,37 \text{ kN}$$

### *Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:*

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{106,7 \cdot 8}{1,25 \cdot 10} = 68,29 kN > F_{v,Ed} = 55,37 N$$

### Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

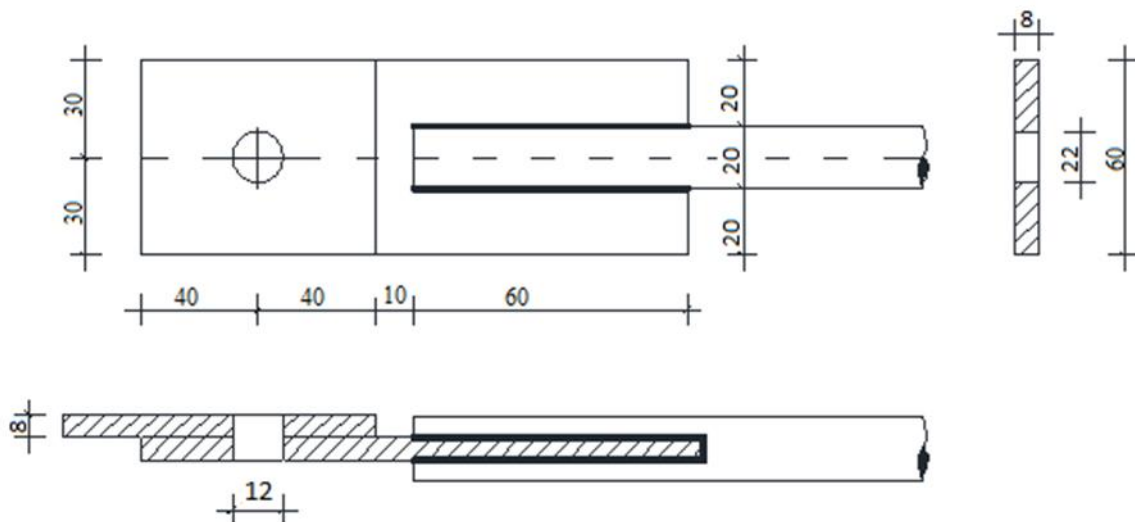
$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

odabrano  $a = 3 \text{ mm}$

Otpornost vara:

$$L_w = O = 4 \cdot 60 = 240 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M,w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{240}{100} = 149,6 kN > N_{Ed} = 55,37 kN$$



## 6.9. DIMENZIONIRANJE SPOJA BOČNIH SPREGOVA

### Ulazni podaci

$$N_{Ed} = 74,33 \text{ (vlak)}$$

Budući da je sila u bočnim spregovima veća nego u krovnim spregovima, dimenzioniranje je izvršeno samo za bočne spregove koji su mjerodavni.

### Materijal:

Osnovni materijal: S235

Vijci: k.v. 10.9

### Poprečni presjek:

Profil: Ø25

d= 25 mm

### *Uvjet nosivosti neto poprečnog presjeka:*

$$A_{netto} = (2 \cdot e_2 - d) \cdot t = (2 \cdot 37,5 - 25) \cdot 8 = 400 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 360}{1,25} = 103,68 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$74,33 \text{ kN} < 103,68 \text{ kN}$$

### *Uvjet nosivosti bruto poprečnog presjeka:*

$$A_{brutto} = 75 \cdot 8 = 600 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{600 \cdot 235}{1,0} = 141,0 \text{ kN}$$

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

$$74,33 \text{ kN} < 141,0 \text{ kN}$$

### *Otpornost vijaka na posmik:*

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{122,5}{1,25} = 98 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 74,33 \text{ kN}$$

**Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:**

$$F_{b,rd} = \frac{F_{b,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{106,7 \cdot 10}{1,25 \cdot 10} = 85,36 kN > F_{v,Ed} = 74 kN$$

**Kontrola varova**

Određivanje maksimalne debljine vara:

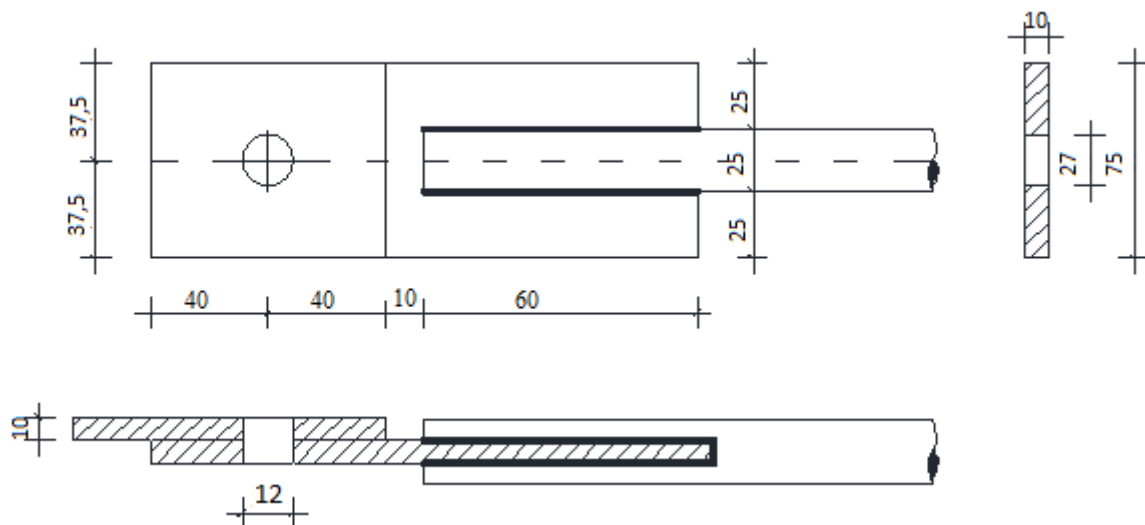
$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 10 = 7,0 \text{ mm}$$

odabrano  $a = 3 \text{ mm}$

Otpornost vara:

$$L_w = O = 4 \cdot 60 = 240 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M,w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{240}{100} = 149,6 kN > N_{Ed} = 74,33 kN$$



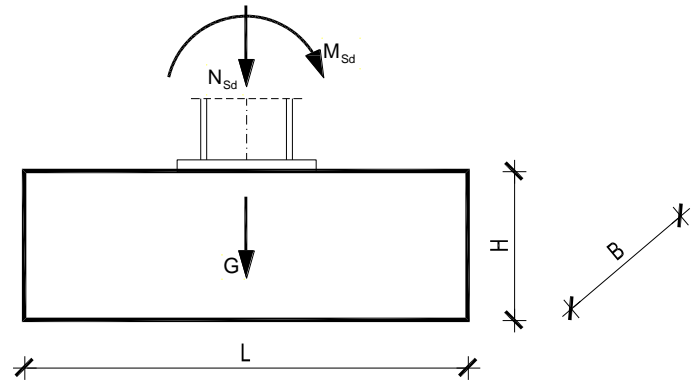
## 7. PRORAČUN TEMELJA

### ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$B = 2,5 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \text{ m}$$



### MATERIJAL

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

Beton C25/30  $f_{ck} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

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

### REZNE SILE

$$N_{Sd} = -21,50 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 76,92 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 234,13 \text{ kNm}$$

Površina temeljne stope

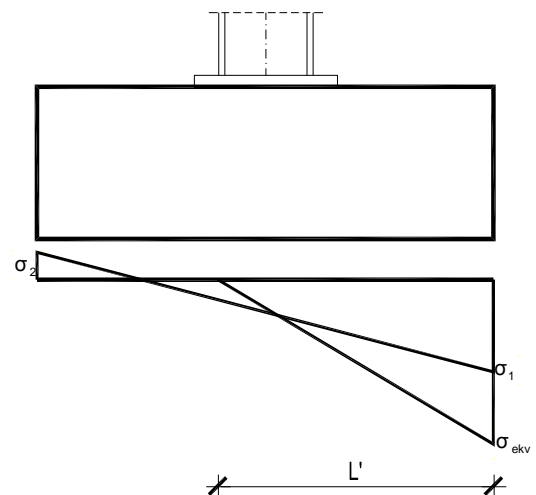
$$A = L \cdot B = 2,5 \cdot 2,5 = 6,25 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 1,5 \cdot 25 = 234,375 \text{ kN}$$

Moment otpora temeljne stope

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2,5 \cdot 2,5^2}{6} = 2,60 \text{ m}^3$$



Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

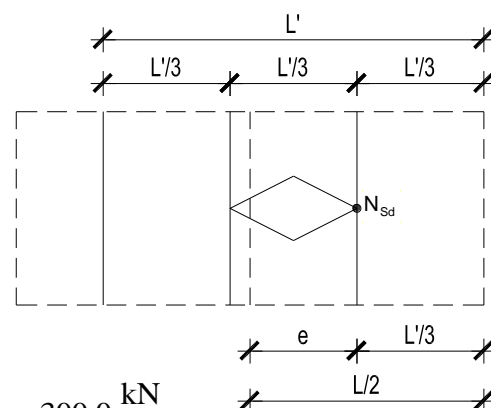
$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{sd} + G}{A} \pm \frac{M_{sd}}{W} = \frac{21,50 + 234,38}{6,25} \pm \frac{234,13}{2,60} = 40,94 \pm 90,05$$

$$\sigma_1 = 130,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} (\text{tlak})$$

$$\sigma_2 = 49,11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} (\text{vlak})$$

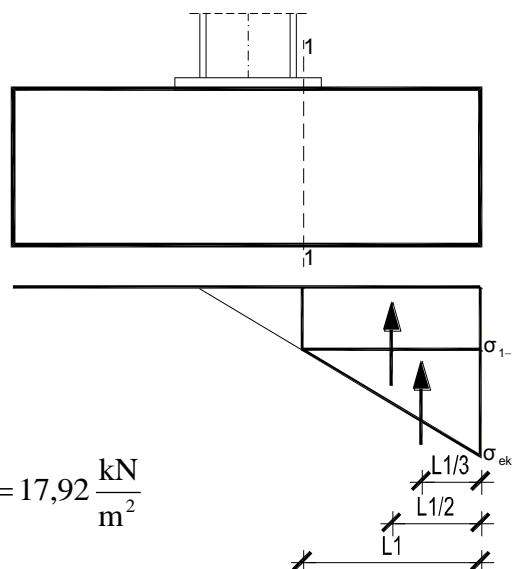
$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd} + G} = \frac{234,13}{21,50 + 234,38} = 0,91 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2,5}{2} - 0,91 \right) = 1,02 \text{ m}$$



$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (21,50 + 234,38)}{1,02 \cdot 2,5} = 200,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{ila,lim} = 300,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### PRORAČUN ARMATURE TEMELJA



$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,5 - 0,26}{2} = 1,12 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1,12 - 1,02}{1,12} \cdot 200,69 = 17,92 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$M_{sd}^{1-1} = 1,4 \cdot \left( 17,92 \cdot \frac{1,12^2}{2} \cdot 2,5 + \frac{200,69 - 17,92}{2} \cdot 1,12 \cdot 2,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1,12 \right) = 306,82 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{30682}{75 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 9,41 \text{ cm}^2 < A_{s1,\min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 37,5 \text{ cm}^2$$

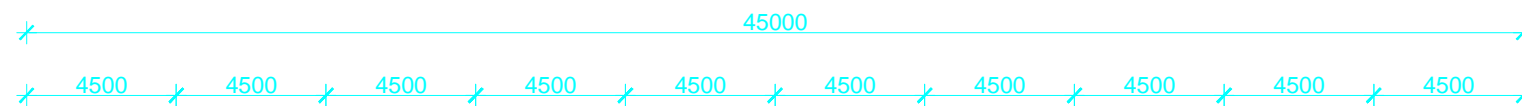
Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura → ø20/10      12 kom = 37,70 cm<sup>2</sup>  
              razdjelna armatura → ø8/25

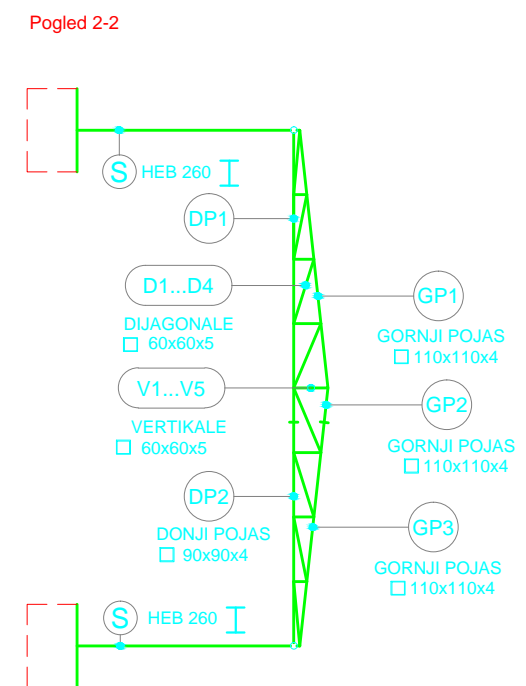
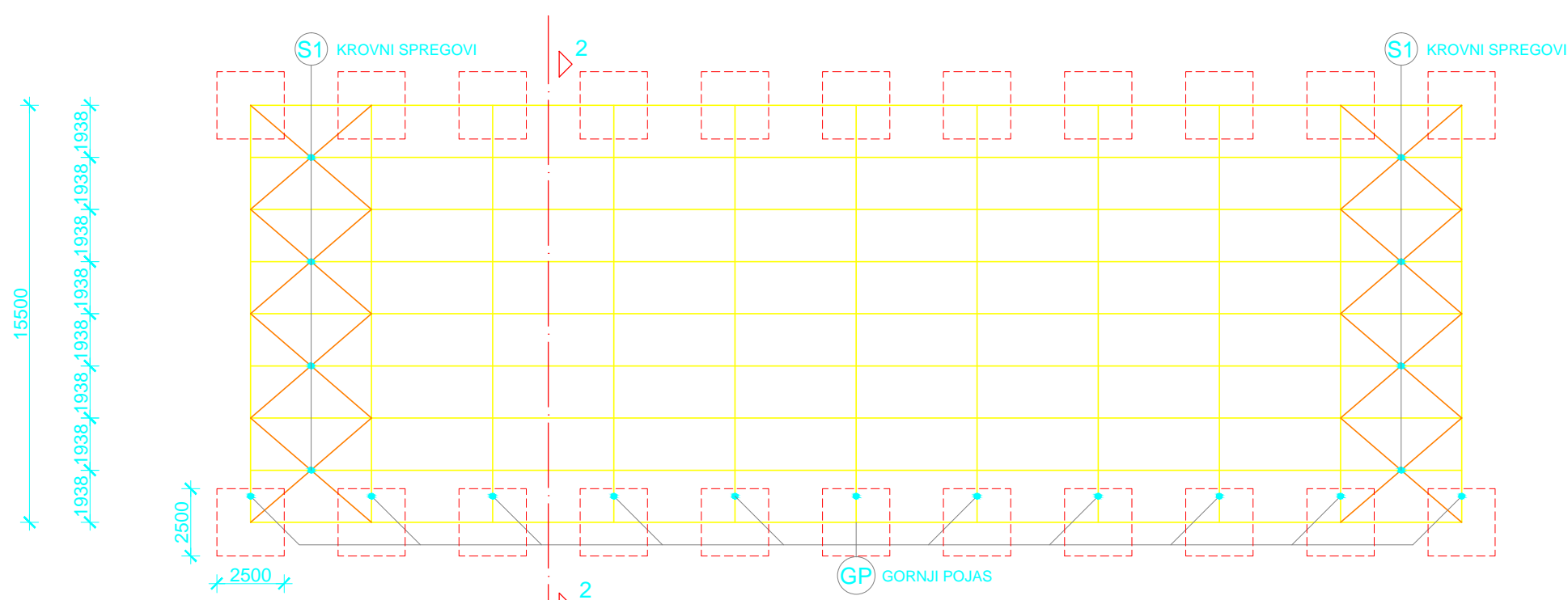


## **8.NACRTI**

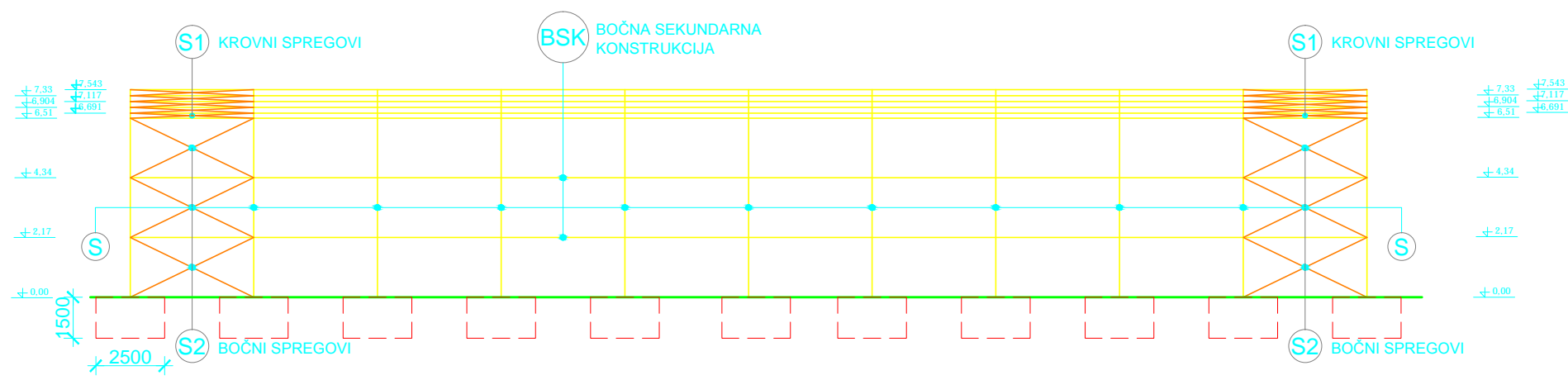
### TLOCRTNI PRIKAZ




### GENERALNI PLAN POZICIJA M1:200

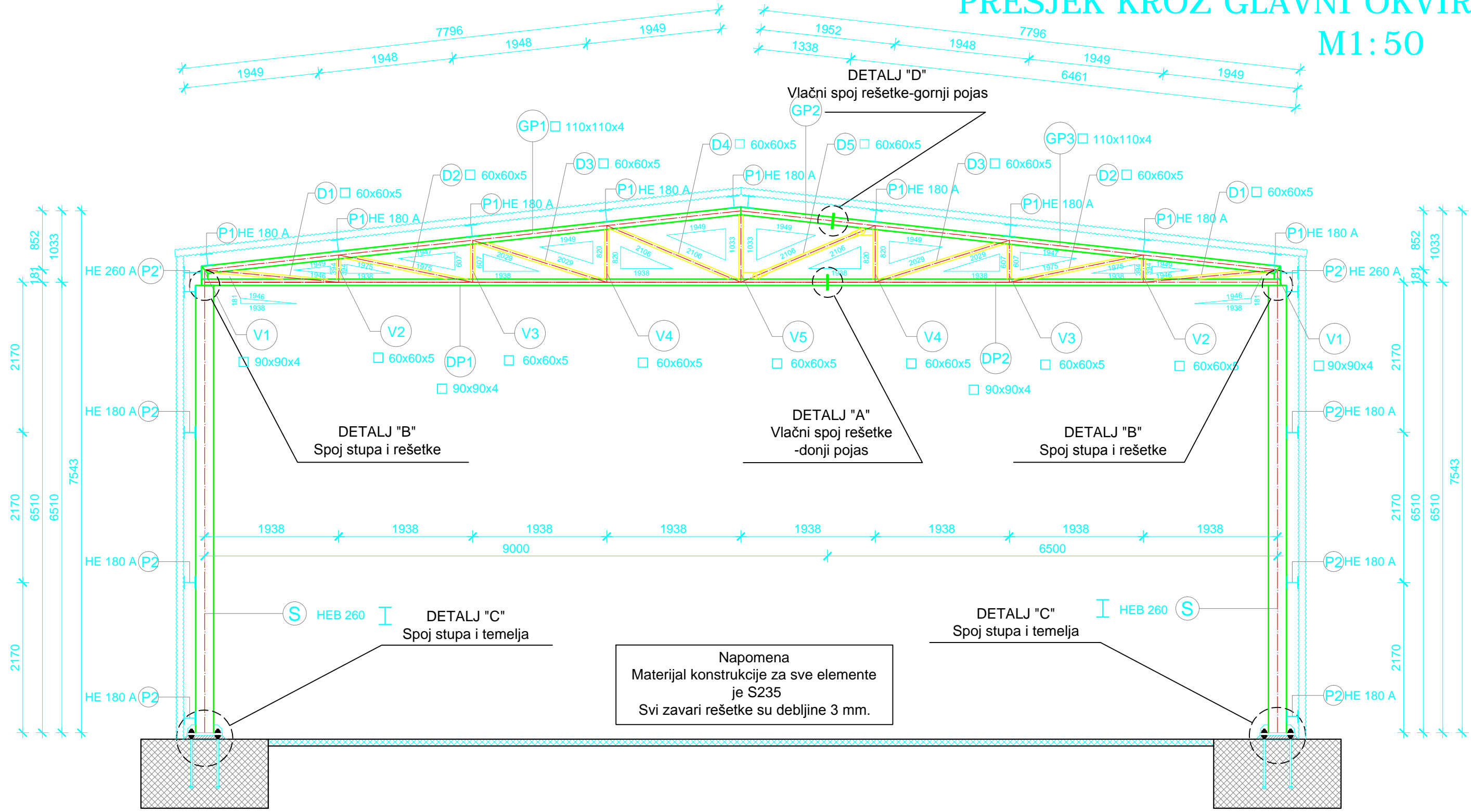



### BOČNI PRIKAZ



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	<b>Osnove metalnih konstrukcija</b>		
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT	Leon Paljušić	
	SADRŽAJ	Generalni plan pozicija	MJERILO
DATUM	lipanj 2015	BROJ PRILOGA	1

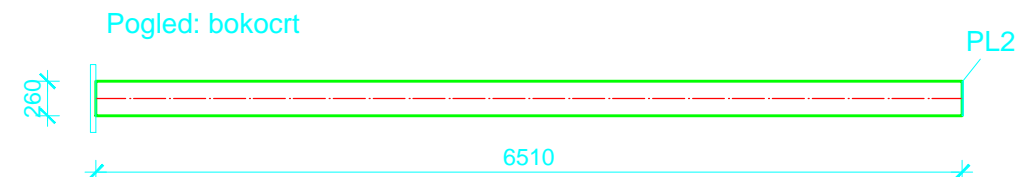
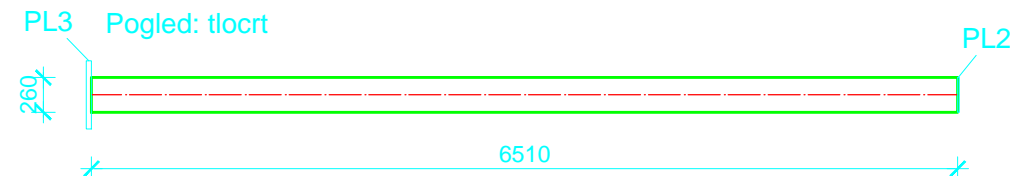
# PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M1:50



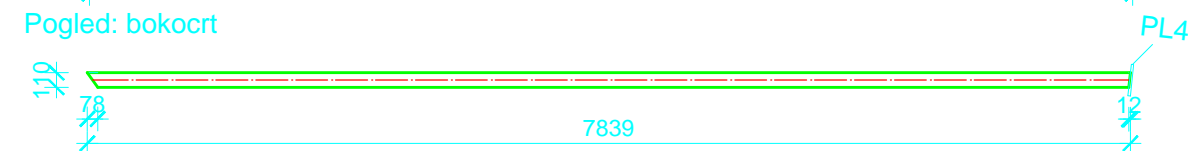
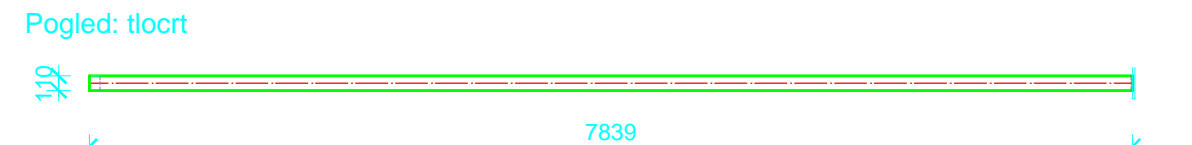
 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	<b>Osnove metalnih konstrukcija</b>	
	TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT Leon Paljušić	
	SADRŽAJ Presjek kroz glavni okvir	MJERILO 1:50
	lipanj 2015	BROJ PRILOGA 2

# RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA M1:50

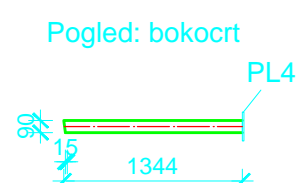
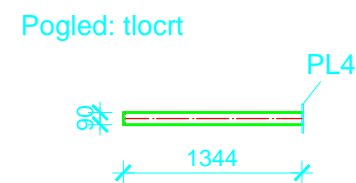
STUP (S)  HEB 260, l=6510 mm, kom=2x11



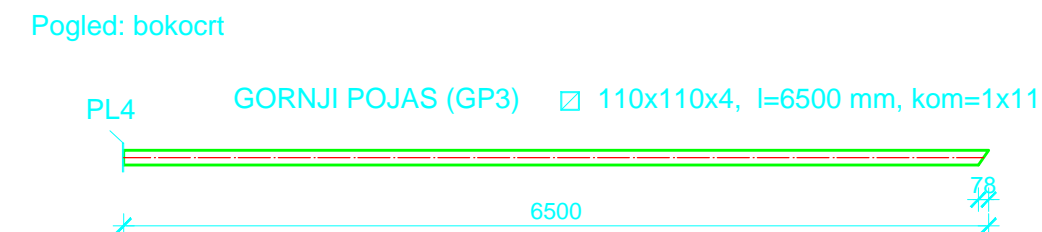
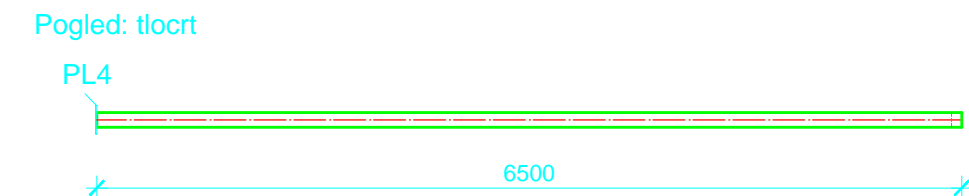
GORNJI POJAS (GP1)  110x110x4, l=7839 mm, kom=1x11



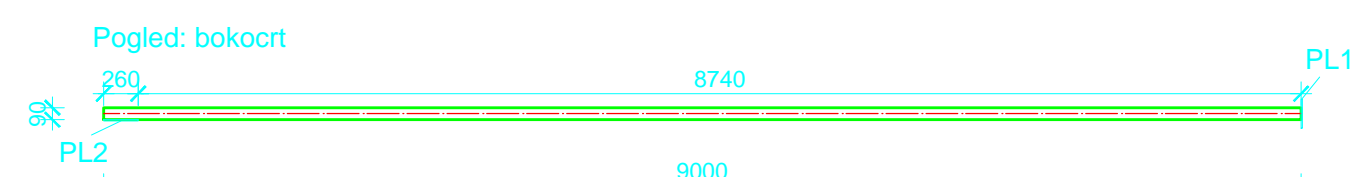
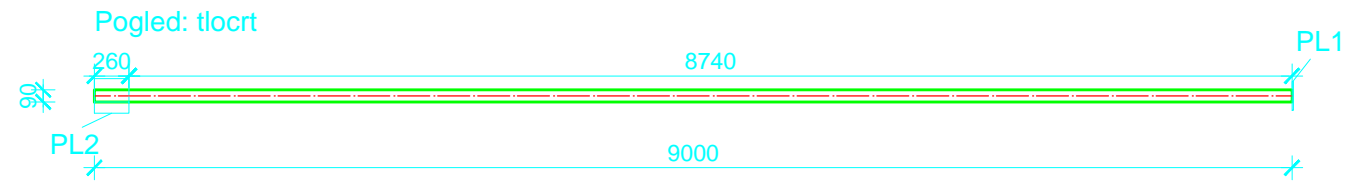
GORNJI POJAS (GP2)  110x110x4, l=1317 mm, kom=1x11



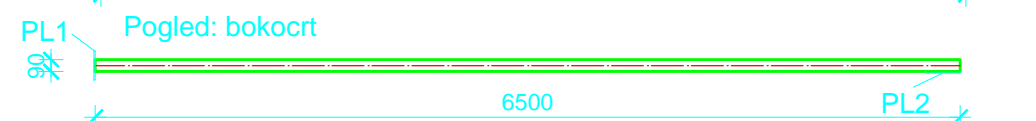
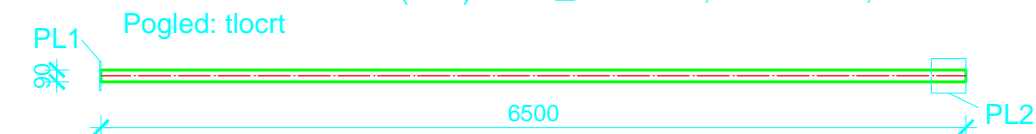
GORNJI POJAS (GP3)  110x110x4, l=6500 mm, kom=1x11



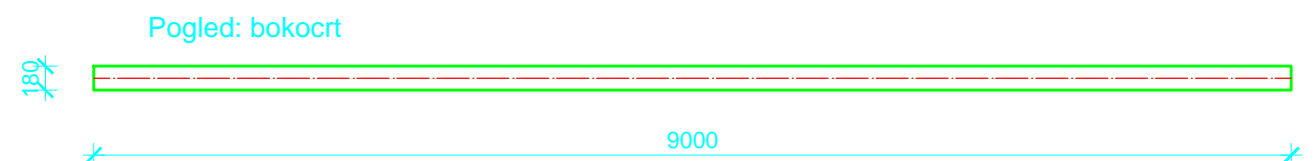
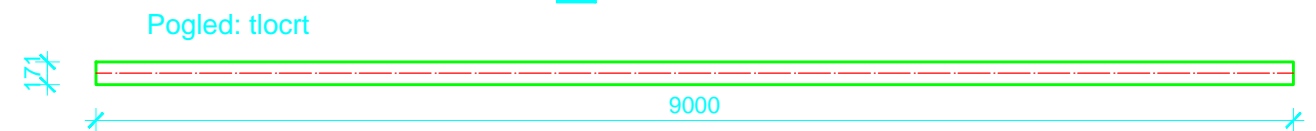
DONJI POJAS (DP1)  90X90X4, l=9000 mm, kom=1x11




DONJI POJAS (DP2)  90X90X4, l=6500 mm, kom=1x11



KROVNA PODROŽNICA (P1)  HE 180 A, l=9000 mm, kom=2x5



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Leon Paljušić
	SADRŽAJ	Presjek kroz glavni okvir
DATUM	lipanj 2015	MJERILO BROJ PRILOGA
		1:50 3

# RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA M1:50

KROVNA PODROŽNICA (P1) I HE 180 A, l=1200 mm, kom=2x15

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

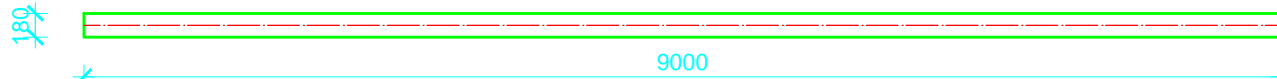


BOČNA PODROŽNICA (P2) I HE 180 A, l=9000 mm, kom=2x4

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

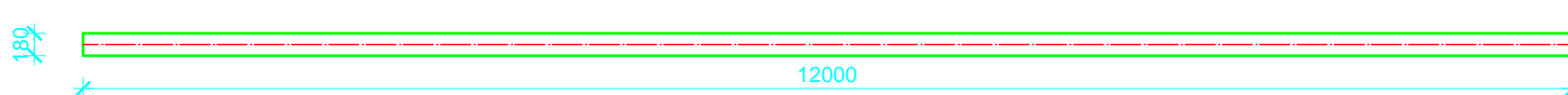


BOČNA PODROŽNICA (P2) I HE 180 A, l=1200 mm, kom=2x12

Pogled: tlocrt

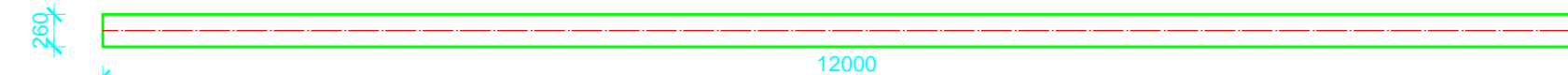


Pogled: bokocrt

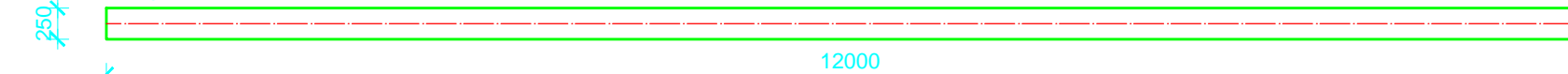


BOČNA PODROŽNICA (P2') I HE 260 A, l=1200 mm, kom=2x3

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

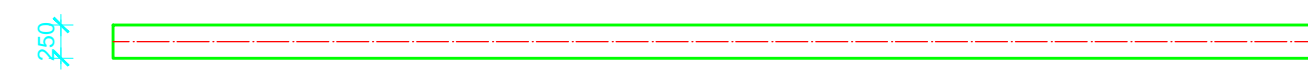



BOČNA PODROŽNICA (P2') I HE 260 A, l=9000 mm, kom=2x1

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Leon Paljušić
	SADRŽAJ	Presjek kroz glavni okvir
DATUM	lipanj 2015	MJERILO 1:50 BROJ PRILOGA 4

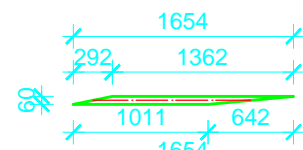
# RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA M1:50

DIJAGONALA (D1) □ 90X90X6, l=1654 mm, kom=2x11

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

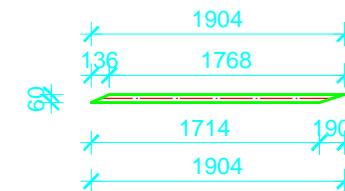


DIJAGONALA (D3) □ 60X60X5, l=1904 mm, kom=2x11

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

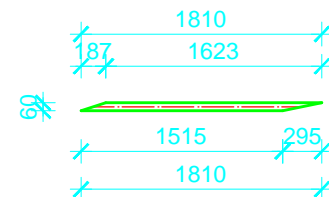


DIJAGONALA (D2) □ 60X60X5, l=1810 mm, kom= 2x11

Pogled: tlocrt

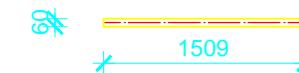


Pogled: bokocrt



DIJAGONALA (D5) □ 60X60X5, l=1509 mm, kom=1x11

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

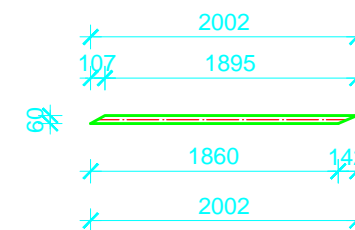


DIJAGONALA (D4) □ 60X60X5, l=2002 mm, kom=1x11

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt

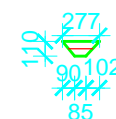


VERTIKALA (V1) □ 110X110X4, l=275 mm, kom=2x11

Pogled: tlocrt

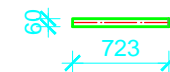


Pogled: bokocrt

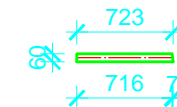


VERTIKALA (V4) □ 60X60X5, l=723 mm, kom=2x11

Pogled: tlocrt

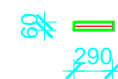


Pogled: bokocrt

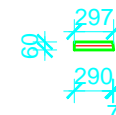


VERTIKALA (V2) □ 60X60X5, l=297 mm, kom= 2x11

Pogled: tlocrt

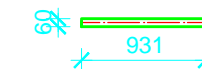


Pogled: bokocrt

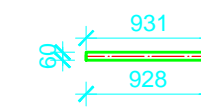


VERTIKALA (V5) □ 60X60X5, l=931 mm, kom=2x11

Pogled: tlocrt

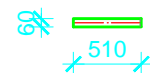


Pogled: bokocrt

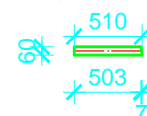



VERTIKALA (V3) □ 60X60X5, l=510 mm, kom=2x11

Pogled: tlocrt



Pogled: bokocrt



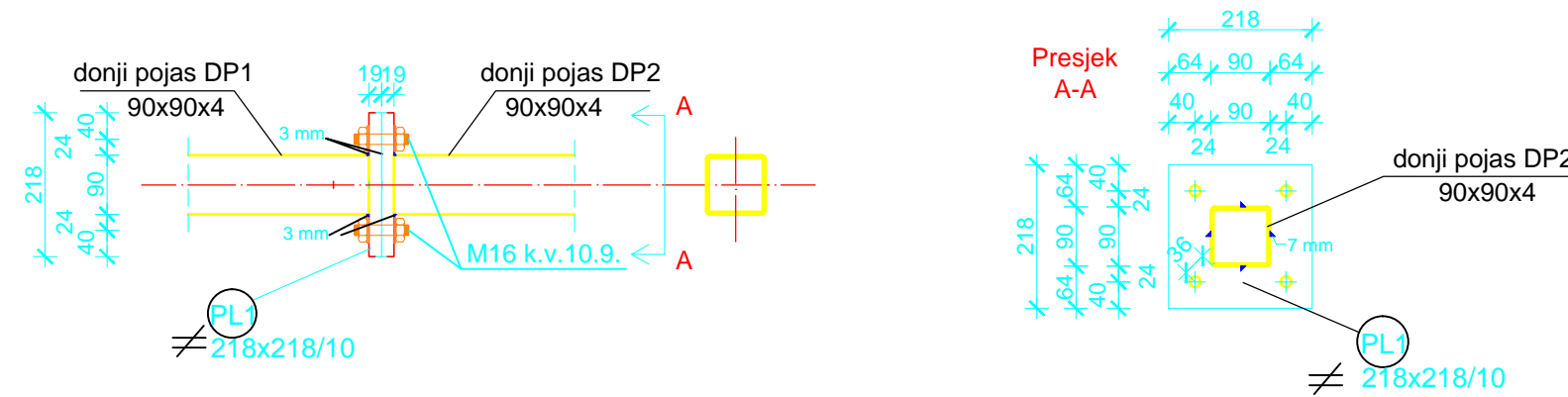
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Osnove metalnih konstrukcija			
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE		
	STUDENT	Leon Paljušić		
	SADRŽAJ	Presjek kroz glavni okvir	MJERILO	1:50
	DATUM	lipanj 2015	BROJ PRILOGA	5



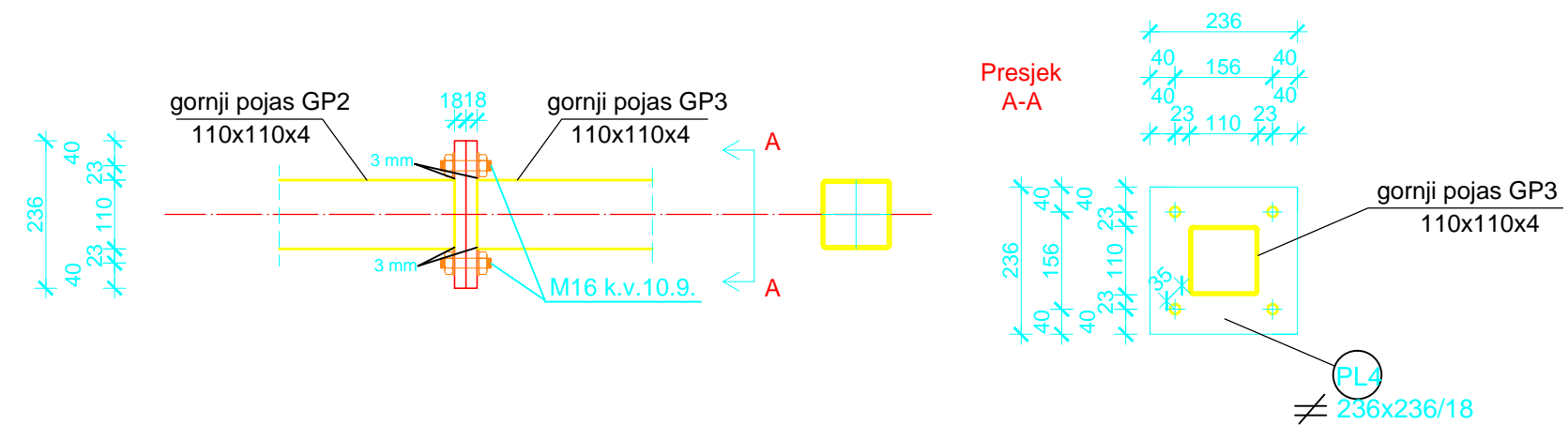
# DETALJI SPOJEVA


M 1:10

## DETALJ "A" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE-DONJI POJAS



## DETALJ "D" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE-GORNJI POJAS

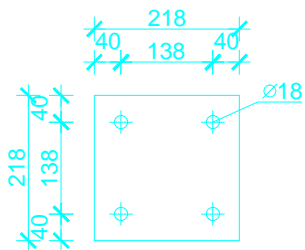


 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Leon Paljušić
	SADRŽAJ	Detalji spojeva
DATUM	lipanj 2015	MJERILO 1:10 BROJ PRILOGA 7

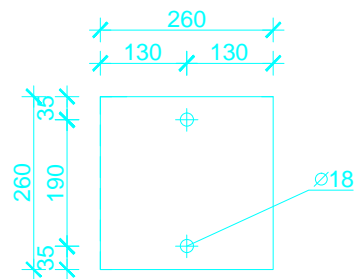


# PRIKAZ PLOČICA M1:10

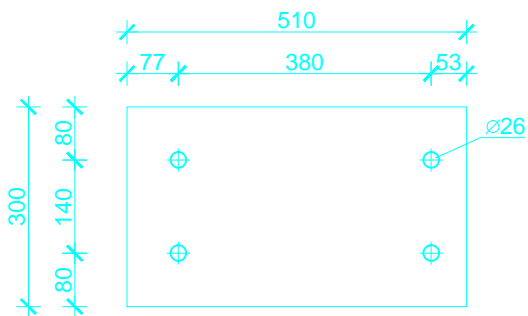
Pločica (PL1); 218x218/10  
kom=2x11nosača



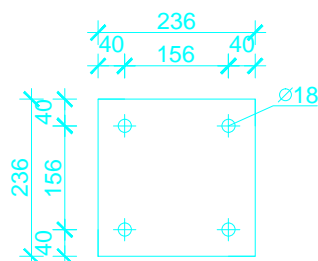
Pločica (PL2); 260x260/10  
kom=2x11nosača



Pločica (PL3); 510x300/10  
kom=2x11nosača



Pločica (PL4); 236x236/18  
kom=2x11nosača



SVEUČILIŠTE U SPLITU,  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE  
I GEODEZIJE  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA  
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI  
Leon Paljušić

SADRŽAJ  
Prikaz pločica

MJERILO  
1:10

BROJ PRILOGA  
10

DATUM  
lipanj 2015

# RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA

## Iskaz materijala-tablica

### M1:50

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU (DUŽINSKI ELEMENTI)					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup	HEB 260	6510	22	93	13319,46
Donji pojas (DP1)	90X90X4	9000	11	10,7	1059,3
Donji pojas (DP2)	90X90X4	6500	11	10,7	765,05
Gornji pojas (GP1)	110X110X4	7839	11	11,9	1026,13
Gornji pojas (GP2)	110X110X4	1344	11	11,9	175,93
Gornji pojas (GP3)	110X110X4	6500	11	11,9	850,85
Vertikala (V1)	60X60X5	277	22	8,47	51,62
Vertikala (V2)	60X60X5	297	22	8,47	55,34
Vertikala (V3)	60X60X5	510	22	8,47	95,03
Vertikala (V4)	60X60X5	723	22	8,47	134,72
Vertikala (V5)	60X60X5	931	22	8,47	173,48
Dijagonala (D1)	60X60X5	1654	22	8,47	308,21
Dijagonala (D2)	60X60X5	1810	22	8,47	337,28
Dijagonala (D3)	60X60X5	1904	22	8,47	354,79
Dijagonala (D4)	60X60X5	2002	11	8,47	186,53
Dijagonala (D5)	60X60X5	1509	11	8,47	140,59
Krov.podrož. (P1)	HE 180 A	12000	30	35,5	12780
Krov.podrož. (P1)	HE 180 A	9000	10	35,5	3195
Boč.podrož. (P2)	HE 180 A	12000	30	35,5	12780
Boč.podrož. (P2)	HE 180 A	9000	10	35,5	3195
Boč.podrož. (P2')	HE 260 A	12000	6	60,2	4334,4
Boč.podrož. (P2')	HE 260 A	9000	2	60,2	1083,6
Boč.spreg (S_1)	Ø25	4996	24	3,853	461,99
Boč.spreg (S_1)	Ø25	4504	8	3,853	138,83
Krov.spreg (S2)	Ø20	5938	16	2,466	234,29
Pločica (PL1)	218x218/10		22	7850	82,07
Pločica (PL2)	260x260/10		44	7850	233,49
Pločica (PL3)	510x300/40		22	7850	173,14
Pločica (PL4)	236x236/18		22	7850	264,23
Ukupno (kg)					57990,35
+ 2,0% spojna sredstva					1159,807
UKUPNO (kg)					59150,16



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
 GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

#### Osnove metalnih konstrukcija

TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Leon Paljušić
SADRŽAJ	Radionički nacrt glavnog okvira
DATUM	lipanj 2015
MJERILO	1:50
BROJ PRILOGA	6