

# Proračun čelične konstrukcije hale

---

Živković, Barbara

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:996424>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-10**



*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**

**Barbara Živković**

**Split, 2020.**

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

**Proračun čelične konstrukcije skladišne hale**

**Završni rad**

**Split, 2020.**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA  
KANDIDAT: Barbara Živković  
BROJ INDEKSA: 4592  
KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstrukcije  
PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

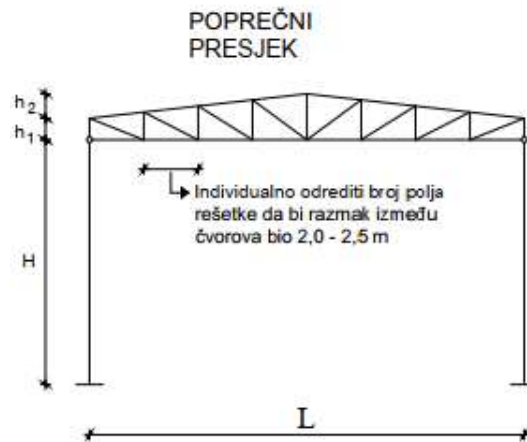
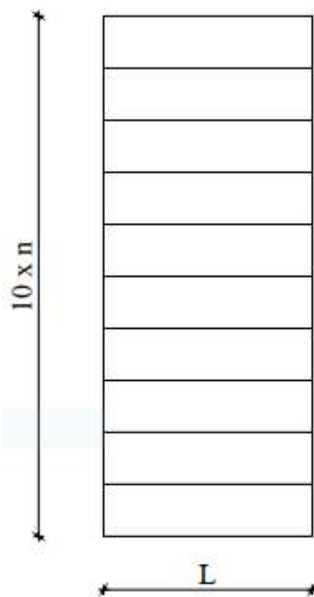
### ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka: Treba konstruirati i dimenzionirati nosivi sustav prema skici, i to:

1. Sekundarne nosače i sustav stabilizacije
2. Krovni rešetkasti nosač
3. Stupovi

TLOCRT



ZADANI PODACI:

Način izvedbe: montažno

Materijal izrade: S355

Lokacija objekta: Zagreb

Razmak okvira:  $n=4,4\text{m}$

Širina objekta:  $L=20\text{ m}$

Visina stupova:  $H=4,4\text{ m}$

Nagib krovne plohe- 9%

Visina rešetke:  $h_1+h_2=L/15$

U Splitu, 2020. g.

Voditelj završnog rada: prof. dr. sc. Boko Ivica

---

## PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE HALE

### Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Zagreba. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciju su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i promjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia engineer 19.0“.

### Ključne riječi:

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

## DESIGN OF STEEL MANUFACTURING HALL

### Abstract:

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure, its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Zagreb. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „Scia engineer 19.0“.

### Keywords:

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

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b><u>TEHNIČKI OPIS</u></b>   | <b>6</b>  |
| 1.1      | <u>OPIS KONSTRUKCIJE</u>  |           |
| 1.1.1    | <u>Općenito</u>   | 6         |
| 1.1.2    | <u>Konstruktivni elementi</u>   | 7         |
|          | <u>Grede</u>  | 7         |
|          | <u>Stupovi</u>  | 7         |
| 1.1.3    | <u>Spojevi</u>  | 7         |
|          | <u>1.1.2.3.1 SPOJ STUP – TEMELJ</u>   | 7         |
|          | <u>1.1.2.3.2 SPOJ STUP – GREDA</u>  | 7         |
|          | <u>1.1.2.3.3 SPOJ GREDA -GREDA</u>  | 7         |
| 1.2      | <u>O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE</u>   | 7         |
| 1.3      | <u>MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE</u>   | 7         |
| 1.4      | <u>PRIMIENJENI PROPISI</u>  | 8         |
| 1.5      | <u>ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA</u>   | 8         |
| 1.6      | <u>ZAŠTITA OD POŽARA</u>  | 8         |
| 1.7      | <u>MONTAŽA I TRANSPORT</u>  | 8         |
| <b>2</b> | <b><u>ANALIZA OPTEREĆENJA</u></b>   | <b>9</b>  |
| 2.1      | <u>GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (GLAVNI OKVIR)</u>  | 9         |
| 2.1.1    | <u>Stalno opterećenje</u>   | 9         |
|          | <u>2.1.1.1 Krovna ploha</u>   | 9         |
| 2.1.2    | <u>Pokretno opterećenje</u>   | 10        |
|          | <u>2.1.2.1 Djelovanje snijega</u>   | 10        |
|          | <u>2.1.2.2 Djelovanje vjetra</u>  | 11        |
|          | <u>2.1.2.2.1 Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova <math>\Theta=0</math></u> | 13        |
|          | <u>2.1.2.3 Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove</u>                                  | 15        |
| <b>3</b> | <b><u>KONTROLA PROGIBA (GSU)</u></b>  | <b>20</b> |
| 3.1      | <u>KROVIŠTE (VERTIKALNI PROGIB)</u>   | 20        |
| 3.2      | <u>STUP (HORIZONTALNI PORGIB)</u>   | 21        |
| <b>4</b> | <b><u>DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)</u></b>                               | <b>22</b> |
| 4.1      | <u>GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA</u>   | 22        |
|          | <u>4.1.1 Kombinacija 1 (1,35G+1,5S)</u>   | 22        |
|          | <u>4.1.2 Kombinacija 2 (1,35G+1,5W2)</u>  | 23        |
|          | <u>4.1.3 Kombinacija 3 (1,0G+1,5 W1)</u>  | 25        |
|          | <u>4.1.4 Kombinacija 4 (1,35G+1,35 W2+1,35S)</u>  | 26        |
| 4.2      | <u>SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA</u>  | 27        |
|          | <u>4.2.1 Zabatni stupovi</u>  | 27        |
|          | <u>4.2.2 Krovna podrožnica</u>  | 28        |

---

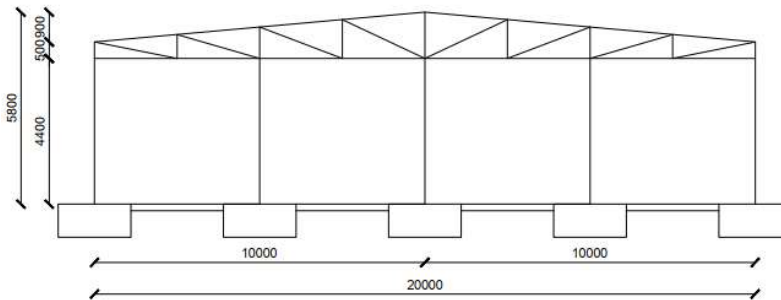
|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.2.3    | <u>Bočna podrožnica</u>                              | 31        |
| 4.2.4    | <u>Krovni (horizontalni) spregovi</u>                | 33        |
| 4.2.5    | <u>Bočni (vertikalni) spregovi</u>                   | 34        |
| <b>5</b> | <b><u>DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE</u></b> | <b>36</b> |
| 5.1      | <u>GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA</u>                    | 36        |
| 5.1.1    | <u>Dimenzioniranje stupa</u>                         | 36        |
| 5.1.2    | <u>Dimenzioniranje rešetke</u>                       | 44        |
| 5.2      | <u>SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA</u>                       | 56        |
| 5.2.1    | <u>Zabatni stupovi</u>                               | 56        |
| 5.2.2    | <u>Krovni spreg</u>                                  | 58        |
| 5.2.3    | <u>Bočni spreg</u>                                   | 58        |
| 5.2.4    | <u>Krovna podrožnica</u>                             | 59        |
| 5.2.5    | <u>Bočna podrožnica</u>                              | 64        |
| <b>6</b> | <b><u>DIMENZIONIRANJE SPOJEVA</u></b>                | <b>69</b> |
| 6.1      | <u>SPOJ STUP-TEMELJ</u>                              | 69        |
| 6.2      | <u>SPOJ STUP-REŠETKA</u>                             | 73        |
| 6.3      | <u>VLAČNI NASTAVAK REŠETKE</u>                       | 75        |
| <b>7</b> | <b><u>PRORAČUN TEMELJA</u></b>                       | <b>77</b> |
| <b>8</b> | <b><u>NACRTI</u></b>                                 | <b>79</b> |
| 8.1      | <u>GENERALNI PLAN POZICIJA</u>                       | 80        |
| 8.2      | <u>PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR</u>                     | 81        |
| 8.3      | <u>RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA</u>               | 82        |
| 8.4      | <u>RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA</u>           | 83        |
| 8.5      | <u>RADIONIČKI NACRT SPREGOVA</u>                     | 84        |
| 8.6      | <u>DETALJ „D1“ SPOJA STUP-TEMELJ</u>                 | 85        |
| 8.7      | <u>DETALJ „D2“ SPOJA STUP-REŠETKA</u>                | 85        |
| 8.8      | <u>DETALJ „D3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE</u>           | 86        |
| <b>9</b> | <b><u>ISKAZ MATERIJALA</u></b>                       | <b>87</b> |

# 1 TEHNIČKI OPIS

## 1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

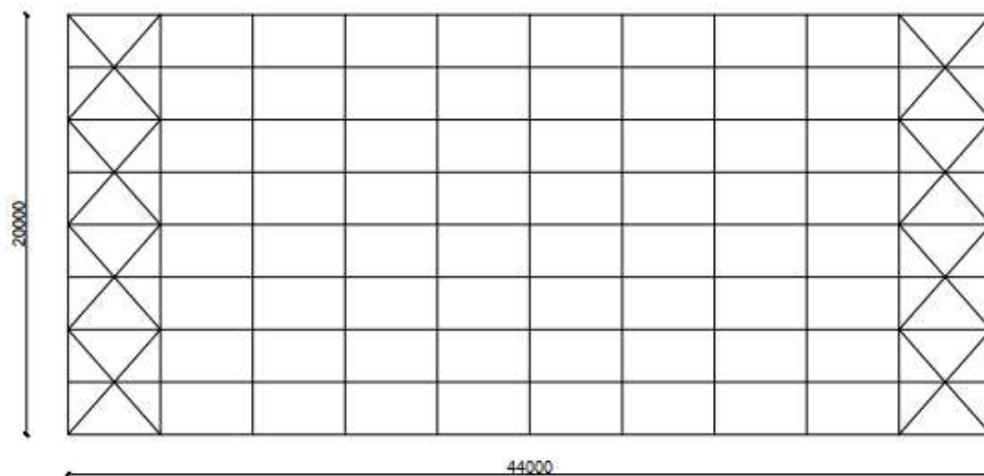
### 1.1.1 OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Zagreba. Tlocrtne dimenzije su 20,0 x 44,0 (m), a visina iznosi 5,80 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 5,14^\circ$ , stoga se u ovom slučaju radi o kosom krovu. Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1 Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10 ravninskih okvira raspona 20,0 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 4,4 (m).



Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,51 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,20 (m).

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

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.



## 1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

### GREDE (GLAVNA REŠETKA)

Glavna rešetka sastoji se od gornjeg i donjeg pojasa. Gornji pojas sastavljen je od tri dijela, a donji od dva dijela. Donji pojas premoštava širinu okvira od 20 m, te se zbog toga rade dva dijela, kod kojeg je jedan duljine 11 m, a drugi 9 m. Glavne rešetke su dimenzionirane tako da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenje od snijega i vjetra. Proračunom su odabrani hladno oblikovani profili pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFHRS 140x140x5 za gornji i donji pojas. Pojasevi rešetke povezani su vertikalama i dijagonalama, vertikale su pravokutnog poprečnog presjek CFHRS 60x60x4, a dijagonale pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFHRS 40x40x4. Na glavne rešetke oslanjaju se krovne podrožnice.

### STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA 180 ukupne dužine 4400 (mm). Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 100. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

### 1.1.3. SPOJEVI

#### SPOJ STUP – TEMELJ

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 350x250x20 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspanzirajući mort.

#### SPOJ STUP – REŠETKA

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 220x320x15 (mm), ukrutom i vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

#### VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Spoj grede i grede na krovštu ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 300x300x24 (mm), ukrutom i vijcima M22 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

## 1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

- stalno (vlastita težina građevine),
- snijeg,
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 20,0 (m) širine krovne plohe.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „SciaEngineer 2016.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 5 polja. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

### **1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE**

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S355.

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom. Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

### **1.4 PRIMIJENJENI PROPISI**

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

HRN ENV 1991-2-1                      vlastita težina građevine

HRN ENV 1991-2-3                      djelovanje snijega na konstrukciju

HRN ENV 1991-2-4                      djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje

HRN ENV 1993                              dimenzioniranje čeličnih konstrukcija

HRN ENV 1992                              dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija

### **1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama "Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcije od korozije". Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 µm.

### **1.6 ZAŠTITA OD POŽARA**

U svrhu produljenja zagrijavanja konstruktivnih elemenata predmetne hale, svi takvi elementi moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature. Također je potrebno opremiti objekt za slučaj nastanka požara uređajima za najavu požara kao i opremom za njegovo gašenje.

### **1.7 MONTAŽA I TRANSPORT**

Elementi okvira će se izrezati u radionici te transportirati na gradilište. Pri tome je potrebno obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla neporebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s „Pravilnikom o zaštiti na radu“

## 2 ANALIZA OPTEREĆENJA

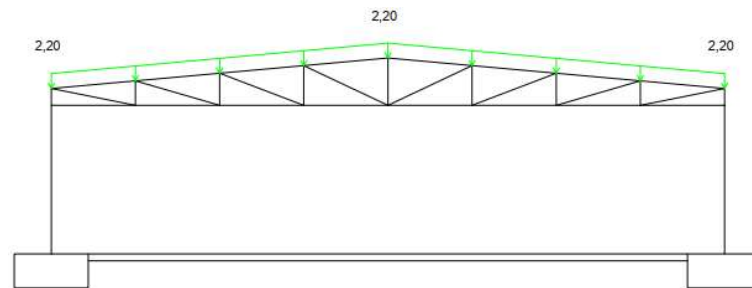
### 2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

#### 2.1.1 STALNO OPTEREĆENJE

##### 2.1.1.1 KROVNA PLOHA

|  |            |                       |
|--|------------|-----------------------|
| - sendvič paneli (aluminij) .....          | 0,2        | kN/m <sup>2</sup>     |
| - sekundarna konstrukcija i spregovi ..... | 0,2        | kN/m <sup>2</sup>     |
| - instalacije .....                        | 0,1        | kN/m <sup>2</sup>     |
|  | $\Sigma =$ | 0,5 kN/m <sup>2</sup> |

$$G_{kp} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,4\text{m} = 2,2 \text{ kN/m'}$$



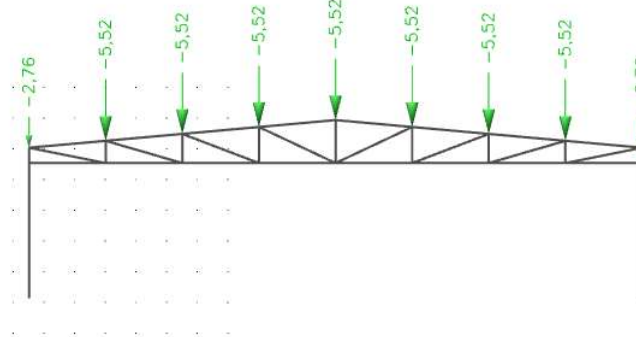
Slika 3: Stalno raspodijeljeno opterećenje pročelja

Koncentrična sila u prvoj i zadnjoj podrožnici:

$$G_{kp} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,4\text{m} \cdot 1,255\text{m} = 2,76 \text{ kN}$$

Koncentrična sila u svim ostalim podrožnicama:

$$G_{kp} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,4\text{m} \cdot 2,51\text{m} = 5,52 \text{ kN}$$



Slika 4: Stalno koncentrirano opterećenje pročelja

## 2.1.2 POKRETNO OPTEREĆENJE

### 2.1.2.1 DJELOVANJE SNIJEGA

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

$s_k \Rightarrow$  karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u  $\text{kN/m}^2$

$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 \Leftrightarrow$  za Zagreb, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

$\mu_i \Rightarrow$  koeficijent oblika za opterećenje snijegom , očitamo ga ovisno o  $\alpha$ ,

$\alpha$  je nagib krova

$$\text{tg} \alpha = 9/100 = 0,09 \rightarrow \alpha = 5,14^\circ ;$$

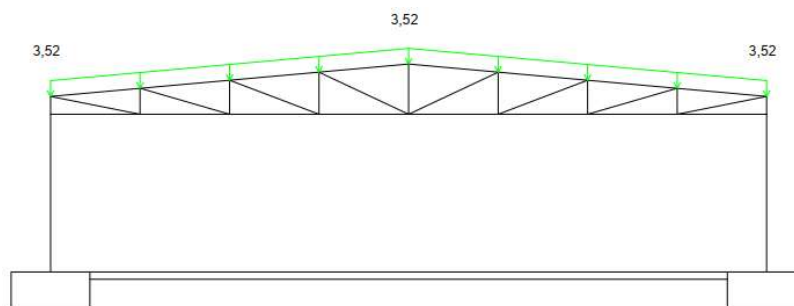
$\mu_i = 0,8 \Leftrightarrow$  za nagib krova  $0^\circ < \alpha < 15^\circ$       $\alpha_1 = \alpha_2$

$c_e \Rightarrow$  koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

$c_t \Rightarrow$  toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:  $s_1 = 1,0 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,8 \text{ [ kN/m}^2 \text{ ]}$

Raspodijeljena sila na glavni nosač:  $S = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,4 \text{ m} = 3,52 \text{ kN/m}$



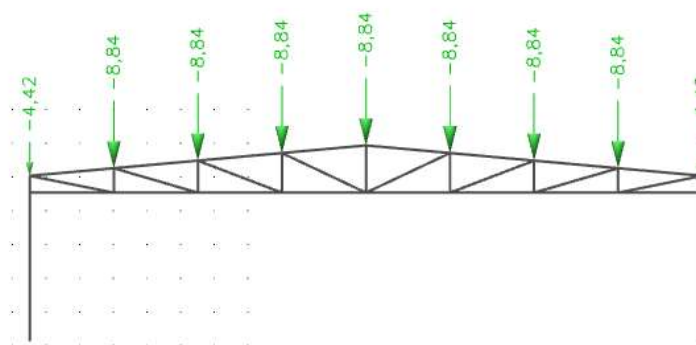
Slika 5: Raspodijeljeno opterećenje snijegom pročelja

Koncentrična sila u prvaj i zadnjoj podrožnici:

$$S_{kp} = 0,80 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,4 \text{ m} \cdot 1,255 \text{ m} = 4,42 \text{ kN}$$

Koncentrična sila u svim ostalim podrožnicama:

$$S_{kp} = 0,80 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,4 \text{ m} \cdot 2,51 \text{ m} = 8,84 \text{ kN}$$



Slika 6: Koncentrirano opterećenje snijegom pročelja

### 2.1.2.2 DJELOVANJE VJETRA

$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$  [ kN/m<sup>2</sup> ] - pritisak vjetra na vanjske površine

$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$  [ kN/m<sup>2</sup> ] - pritisak vjetra na unutarnje površine

$q_p(z_e)$  => pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_e$  => referentna visina za vanjski(unutarnji) pritisak

$c_{pe}$  => vanjski koeficijent pritiska

$c_{pi}$  => unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

$\rho$  => gustoća zraka(usvaja se  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ )

$v_b$  => osnovna brzina vjetra

$$v_b = c_{season} \cdot c_{dir} \cdot v_{b,0} \text{ (m/s)}$$

$v_{b,0}$  => fundamentalna vrijednost brzine vjetra(očitano s karte  $v_{b,0} = 20 \text{ (m/s)}$ )

$c_{dir}$  => faktor smjera vjetra(uzima se 1,0)

$c_{season}$  => faktor doba godine(uzima se 1,0)

$$v_b = 20 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 20 \text{ (m/s)}$$

$v_m(z)$  => srednja brzina vjetra

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \text{ (m/s)}$$

$c_0(z)$  => faktor hrapavosti

$c_r(z)$  => faktor orografije(uzima se 1,0)

$k_r(z)$  => faktor terena

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(5,80/0,05) = 0,903$$

$$v_m(z) = 0,903 \cdot 1,0 \cdot 20 = 18,06 \text{ (m/s)}$$

$I_v(z) \Rightarrow$  intenzitet turbulencije

$k_1 \Rightarrow$  faktor turbulencije (uzima se 1,0)

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(5,80/0,05)} = 0,21$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 0,250 (kN / m^2)$$

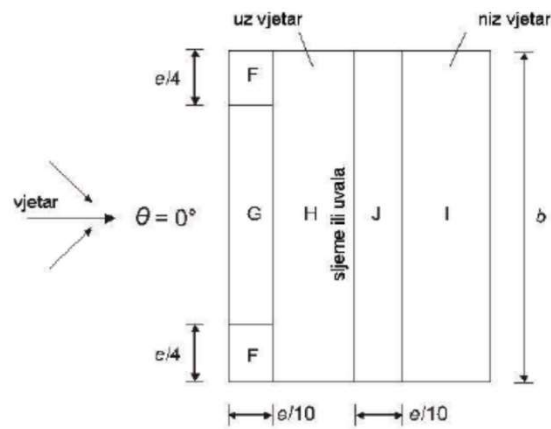
$c_e(z) \Rightarrow$  faktor izloženosti

$$c_e(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z))$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,21) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 18,06^2 \cdot 10^{-3} = 0,504 (kN/m^2)$$

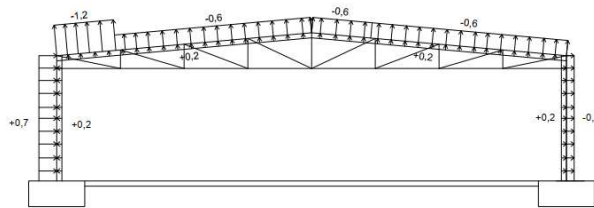
### 2.1.2.2.1 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KROVA $\theta=0$



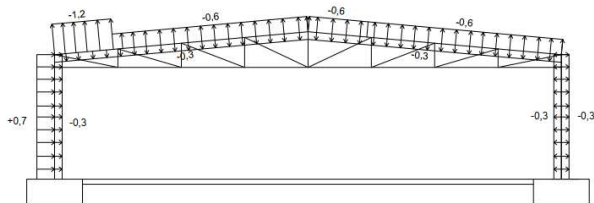
Slika7 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove  $\theta=0$

Prilikom djelovanja vjetra promatramo četiri slučajeve koji su mogući i odaberemo dva najkritičnija. Jedan je odizujući, a drugi je pritiskajući.

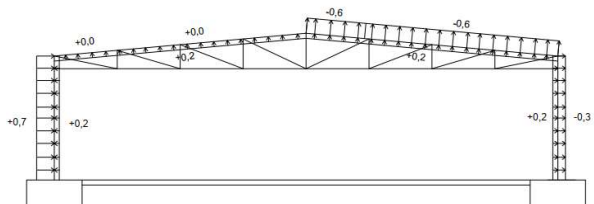
PRVA KOMBINACIJA



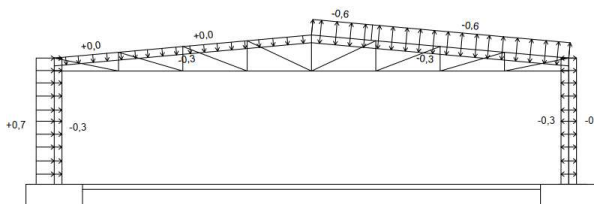
DRUGA KOMBINACIJA



TREĆA KOMBINACIJA



ČETVRTA KOMBINACIJA



Prva i četvrta kombinacija su najkritičnije i u nastavku njih razmatramo.

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu skrovom nagiba  $\alpha = 5^\circ$  za područja dvostrešnog krova  $\Theta=0$

▪ *Tablica 1 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE    | F    | G    | H    | I    | J    |
|-------------|------|------|------|------|------|
| $c_{pe,10}$ | -1,7 | -1,2 | -0,6 | -0,6 | -0,6 |

| TaPODRUČJE  | F    | G    | H    | I    | J    |
|-------------|------|------|------|------|------|
| $c_{pe,10}$ | +0,0 | +0,0 | +0,0 | -0,6 | -0,6 |

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p = 0,504 \text{ kN/m}^2$$

*Tablica 2 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE                 | F     | G     | H     | I     | J     |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$              | -1,7  | -1,2  | -0,6  | -0,6  | -0,6  |
| $w_{e1} (\text{kN/m}^2)$ | -0,86 | -0,60 | -0,30 | -0,30 | +0,30 |

*Tablica 3 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE                 | F    | G    | H    | I     | J     |
|--------------------------|------|------|------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$              | +0,0 | +0,0 | +0,0 | -0,6  | -0,6  |
| $w_{e2} (\text{kN/m}^2)$ | +0,0 | +0,0 | +0,0 | -0,30 | -0,30 |

Rezultirajuće djelovanje vjetra :  $w_k = w_e + w_i$  [kN/m<sup>2</sup>]

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = +0,2$ )

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 4,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

*Tablica 4 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak*

| PODRUČJE              | F     | G     | H     | I     | J     |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $w_e (\text{kN/m}^2)$ | -0,86 | -0,60 | -0,30 | -0,30 | -0,30 |
| $w_i (\text{kN/m}^2)$ | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  |
| $w_k (\text{kN/m}^2)$ | -0,96 | -0,70 | -0,40 | -0,40 | -0,40 |
| $W_k (\text{kN/m}')$  | -4,22 | -3,08 | -1,76 | -1,76 | -1,76 |



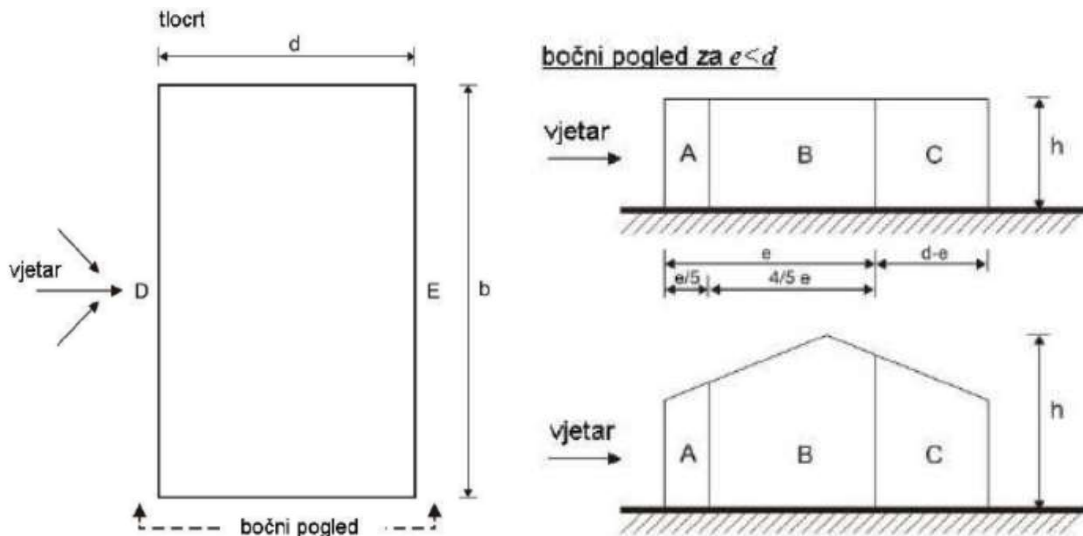
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )

$W_k = w_k \cdot L$  [kN/m'],  $L = 4,4$  m → razmak okvira

*Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

| PODRUČJE                   | F     | G     | H     | I     | J     |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $w_e$ (kN/m <sup>2</sup> ) | +0,0  | +0,0  | +0,0  | -0,30 | -0,30 |
| $w_i$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,15 |
| $w_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,15 |
| $W_k$ (kN/m')              | -0,66 | -0,66 | -0,66 | 0,66  | 0,66  |

**2.1.2.3 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE**



*Slika 8 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidov*

$e=2h; b \rightarrow e=2h=11,6$  m <  $d=20$  m

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove  
 $h/d=5,8/20=0,29 \rightarrow$  uzmemo za  $\leq 25$

▪ *Tablica 6 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE    | A    | B    | C    | D    | E    |
|-------------|------|------|------|------|------|
| $c_{pe,10}$ | -1,2 | -0,8 | -0,5 | +0,7 | -0,3 |

Određivanje koeficijenta unutarnjeg pritiska

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

- Unutrašnji koeficijent pritiska →  $c_{pi} = -0,3$  i  $+0,2$

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p = 0,504 \text{ kN/m}^2$  -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

*Tablica 7 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE                      | A     | B     | C     | D     | E     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$                   | -1,2  | -0,8  | -0,5  | +0,7  | -0,3  |
| $w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,60 | -0,40 | -0,25 | +0,35 | -0,15 |
| $W_k \text{ (kN/m')}$         | 2,64  | 1,76  | 1,10  | 1,54  | 0,66  |

Pritisak vjetra na unutarnje površine

$$w_i = q_p \cdot c_{pi} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$q_p = 0,504 \text{ kN/m}^2$ ,  $c_i(z_i) = 2,0$

$$w_i = 0,504 \cdot 0,2 = +0,1008 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,504 \cdot (-0,3) = -0,1512 \text{ kN/m}^2$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = +0,2$ )

*Tablica 8 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak*

| PODRUČJE                      | A     | B     | C     | D     | E     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,60 | -0,40 | -0,25 | +0,35 | -0,15 |
| $w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  |
| $w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,70 | -0,50 | -0,35 | 0,25  | -0,25 |
| $W_k \text{ (kN/m')}$         | 3,08  | 2,20  | 1,54  | +1,10 | -1,10 |

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

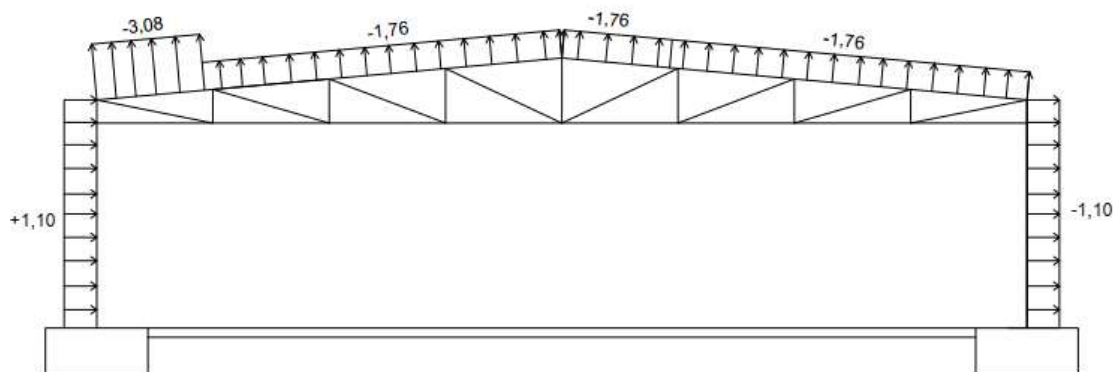
*Tablica 9 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

| PODRUČJE                      | A     | B     | C     | D     | E     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,60 | -0,40 | -0,25 | +0,35 | -0,15 |
| $w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,15 | -0,15 |
| $w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,45 | -0,25 | -0,10 | 0,50  | +0,0  |
| $W_k \text{ (kN/m')}$         | 1,98  | 1,10  | 0,44  | +2,20 | +0,0  |

**W1**

|                              |        |                              |        |
|------------------------------|--------|------------------------------|--------|
| $W_1 = 4,42 \text{ (kn/m')}$ | F zona | $W_6 = 1,10 \text{ (kn/m')}$ | D zona |
| $W_2 = 3,08 \text{ (kn/m')}$ | G zona | $W_7 = 1,10 \text{ (kn/m')}$ | E zona |
| $W_3 = 1,76 \text{ (kn/m')}$ | H zona |                              |        |
| $W_4 = 1,76 \text{ (kn/m')}$ | I zona |                              |        |
| $W_5 = 1,76 \text{ (kn/m')}$ | J zona |                              |        |

**PRVA KOMBINACIJA**

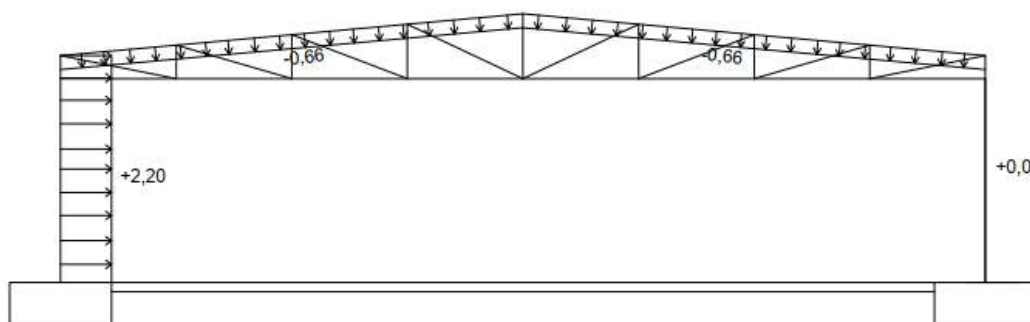


Slika 9 Opterećenje vjetrom W1 u čvorovima rešetke

**W2**

|                              |        |                              |        |
|------------------------------|--------|------------------------------|--------|
| $W_1 = 0,66 \text{ (kn/m')}$ | F zona | $W_6 = 2,20 \text{ (kn/m')}$ | D zona |
| $W_2 = 0,66 \text{ (kn/m')}$ | G zona | $W_7 = 0,0 \text{ (kn/m')}$  | E zona |
| $W_3 = 0,66 \text{ (kn/m')}$ | H zona |                              |        |
| $W_4 = 0,66 \text{ (kn/m')}$ | I zona |                              |        |
| $W_5 = 0,66 \text{ (kn/m')}$ | J zona |                              |        |

**ČETVRTA KOMBINACIJA**

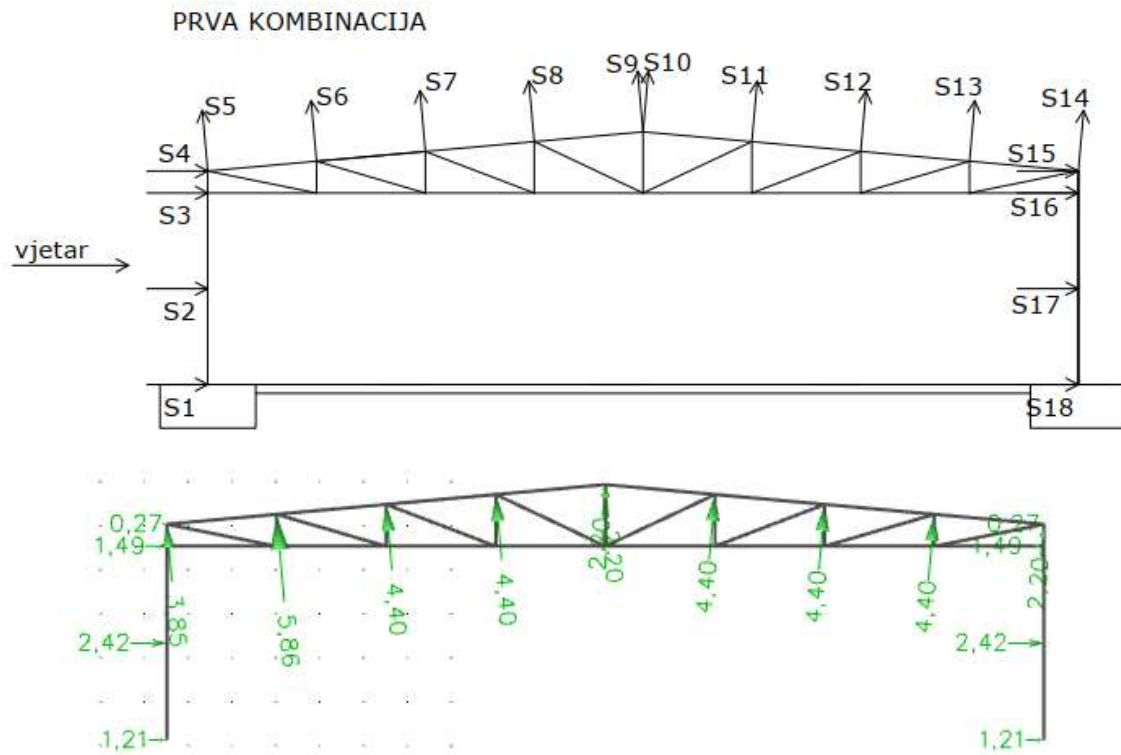


Slika 10 Opterećenje vjetrom W2 u čvorovima rešetke

Koncentrirane sile za prvu i četvrtu kombinaciju. Prva kombinacija predstavlja odižujući vjetar, a četvrta pritiskajući vjetar.

PRVA KOMBINACIJA

|                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| $S_1 = 1,21 \text{ (kN)}$ | $S_{10} = 2,20 \text{ (kN)}$ |
| $S_2 = 2,42 \text{ (kN)}$ | $S_{11} = 4,40 \text{ (kN)}$ |
| $S_3 = 1,49 \text{ (kN)}$ | $S_{12} = 4,40 \text{ (kN)}$ |
| $S_4 = 0,27 \text{ (kN)}$ | $S_{13} = 4,40 \text{ (kN)}$ |
| $S_5 = 3,85 \text{ (kN)}$ | $S_{14} = 2,20 \text{ (kN)}$ |
| $S_6 = 5,86 \text{ (kN)}$ | $S_{15} = 0,27 \text{ (kN)}$ |
| $S_7 = 4,40 \text{ (kN)}$ | $S_{16} = 1,49 \text{ (kN)}$ |
| $S_8 = 4,40 \text{ (kN)}$ | $S_{17} = 2,42 \text{ (kN)}$ |
| $S_9 = 2,20 \text{ (kN)}$ | $S_{18} = 1,21 \text{ (kN)}$ |



Slika 11 Opterećenje prvom kombinacijom

ČETVRTA KOMBINACIJA

$$S_1 = 2,42 \text{ (kN)}$$

$$S_2 = 4,84 \text{ (kN)}$$

$$S_3 = 2,97 \text{ (kN)}$$

$$S_4 = 0,55 \text{ (kN)}$$

$$S_5 = 0,83 \text{ (kN)}$$

$$S_6 = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$S_7 = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$S_8 = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$S_9 = 0,83 \text{ (kN)}$$

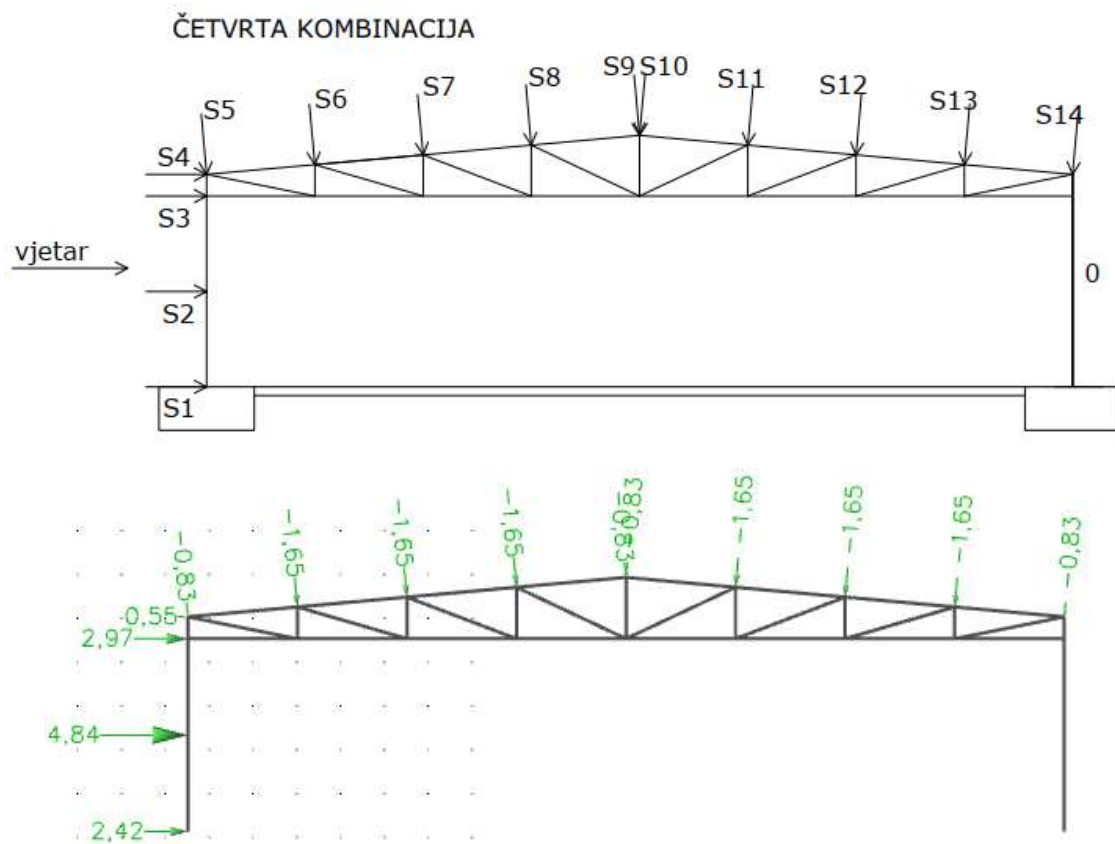
$$S_{10} = 0,83 \text{ (kN)}$$

$$S_{11} = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$S_{12} = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$S_{13} = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$S_{14} = 0,83 \text{ (kN)}$$



Slika 12 Opterećenje četvrtom kombinacijom

### 3 KONTROLA PROGIBA (GSU)

Odabrani profili za koje dobivamo vrijednosti progiba u iznosu od minimalno 80% dopuštenih progiba su:

a)stup- HEA 280  
b)grede dimenzija- 140x140x5

#### 3.1 KROVIŠTE

Najveći progib krovišta dobivamo za kombinaciju GSU2- **1,0G+1,0S+1,0W2**

##### 1D deformations

Values: uz

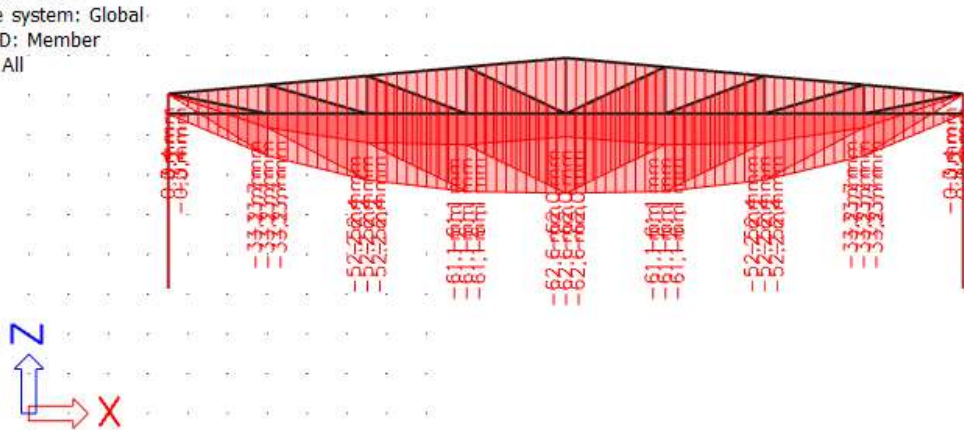
Linear calculation

Combination: GSU2

Coordinate system: Global

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 13Vertikalni progib rešetke

Pomak(mm)

Dopušteni progib:  $L/250 = 20000\text{mm}/250 = 80\text{ mm}$

$(62,6/80) \times 100 = 78,3\%$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 78,3%.

## 3.2 STUP

Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju GSU2- **1,0G+1,0S+1,0W2**

### 1D deformations

Values:  $u_x$

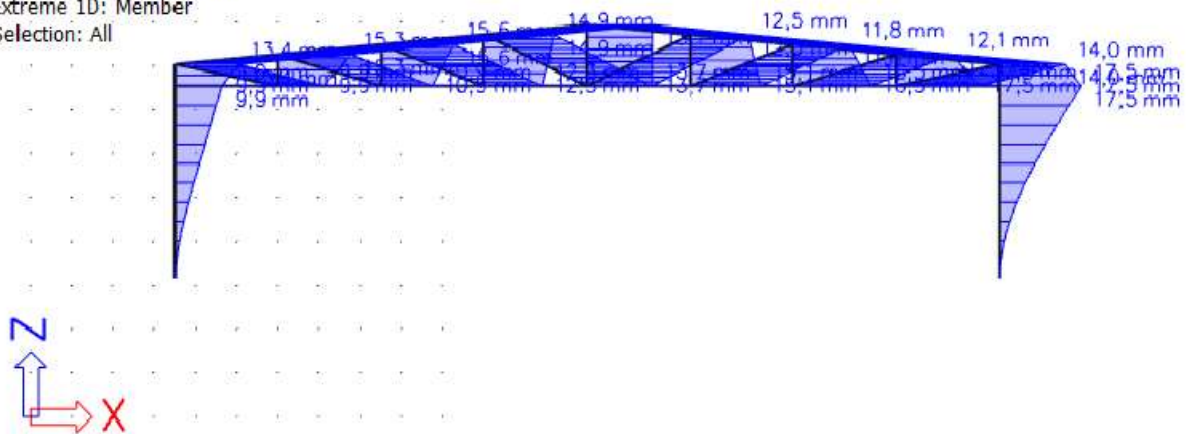
Linear calculation

Combination: GSU2

Coordinate system: Global

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 14 Horizontalni progib stupa

Pomak(mm)

Dopušteni progib:  $H/200 = 4400\text{mm}/200 = 22\text{mm}$

$(17,5/22) \times 100 = 79,5\%$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 79,5%.

## 4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

### 4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila su za profile za koje dobivamo vrijednosti progiba u iznosu od oko 80% dopuštenih progiba su:

- stup – HEA280
- grede dimenzija- 140x140x5

#### 4.1.1 KOMBINACIJA 1 (1,35G+1,5S)

##### 1D internal forces

Values:  $M_y$

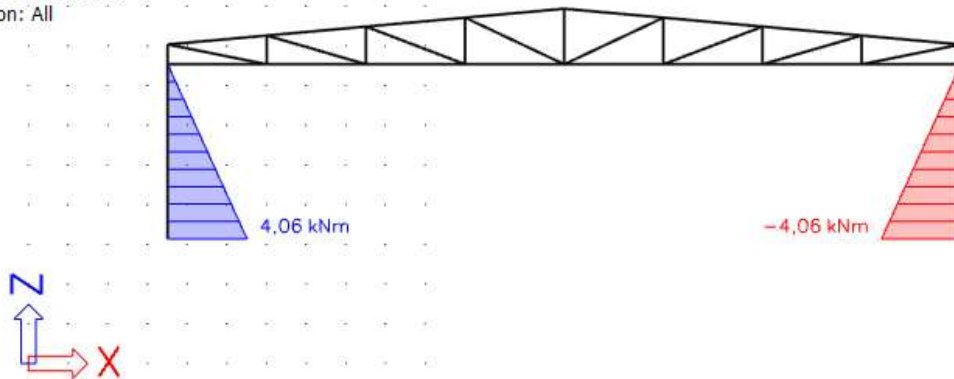
Linear calculation

Combination: Kombinacija 1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 15 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 1

##### 1D internal forces

Values:  $V_z$

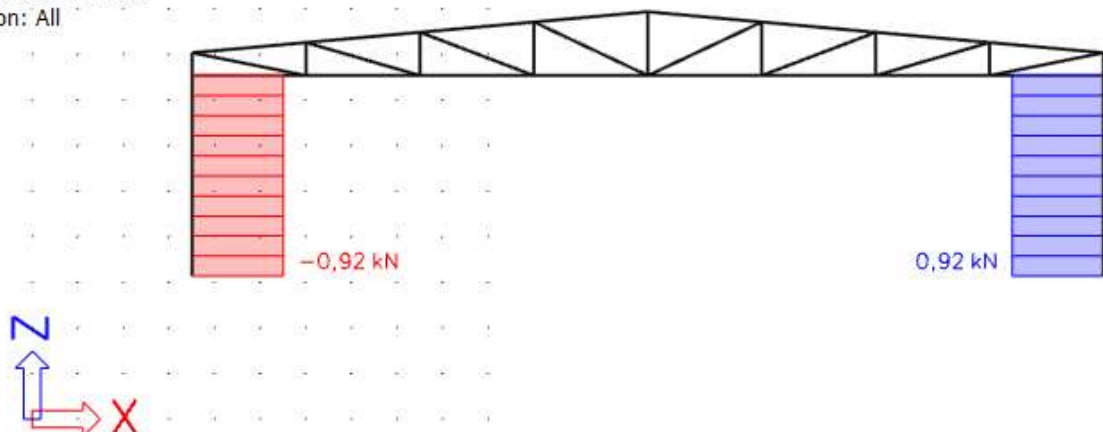
Linear calculation

Combination: Kombinacija 1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 16 Dijagram poprečnih sila kombinacije 1



**1D internal forces**

Values: **N**

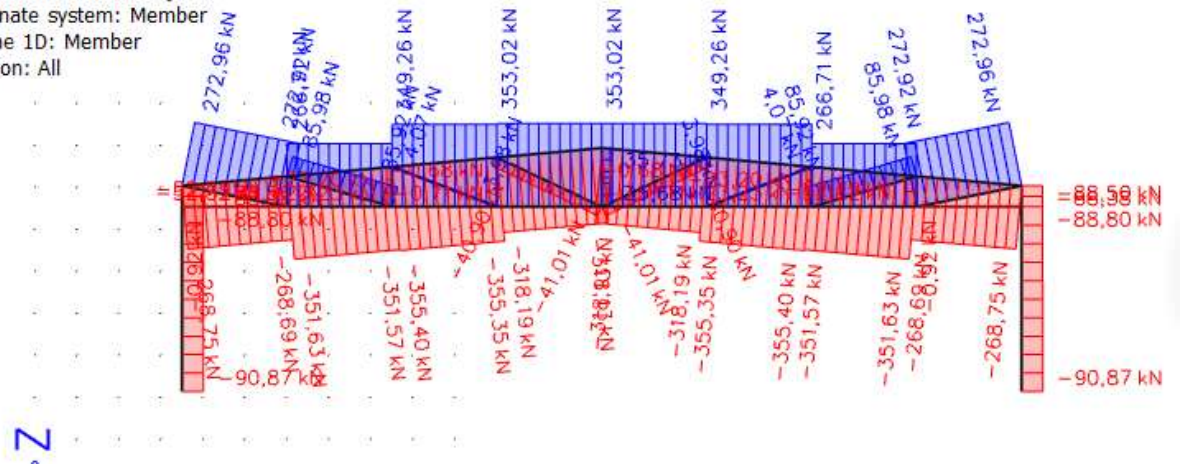
Linear calculation

Combination: Kombinacija 1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 17 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 1

**4.1.2 KOMBINACIJA 2 (1,35G+1,5W<sub>2</sub>)**

**1D internal forces**

Values: **M<sub>y</sub>**

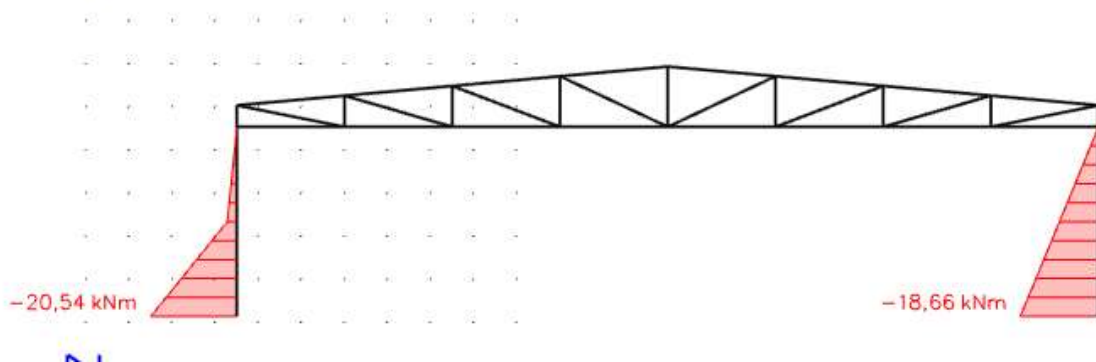
Linear calculation

Combination: Kombinacija 2

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 18 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 2

**1D internal forces**

Values:  $V_z$

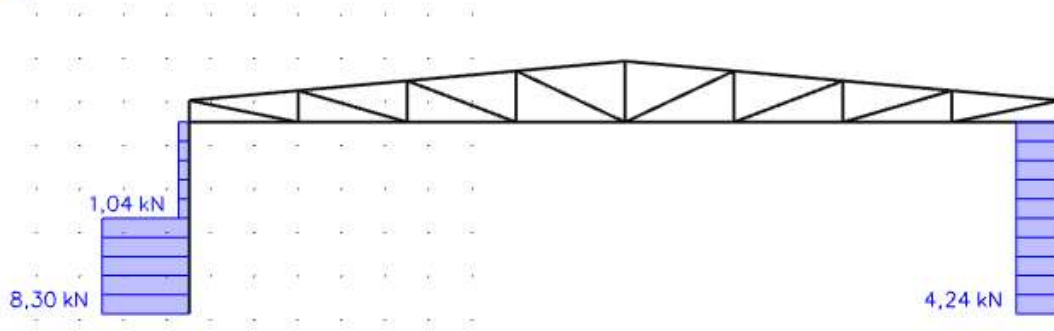
Linear calculation

Combination: Kombinacija 2

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 19 Dijagram poprečnih sila kombinacije 2

**1D internal forces**

Values:  $N$

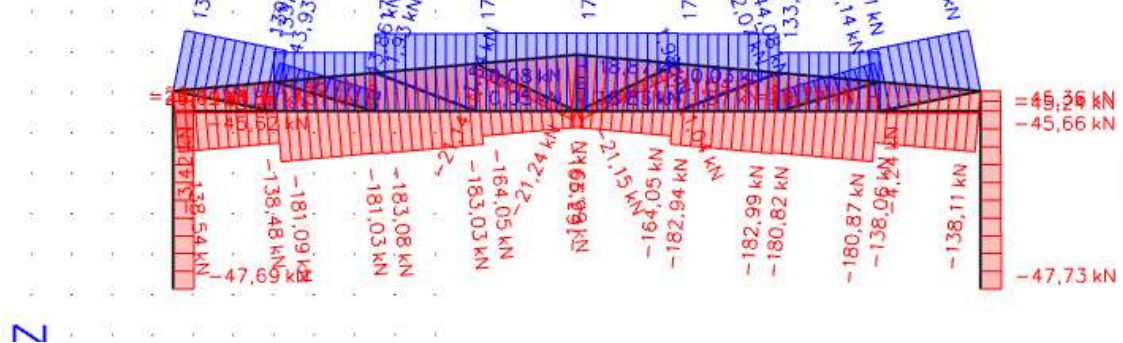
Linear calculation

Combination: Kombinacija 2

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 20 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 2

### 4.1.3 KOMBINACIJA 3 (1,0G+1,5W<sub>1</sub>)

#### 1D internal forces

Values:  $M_y$

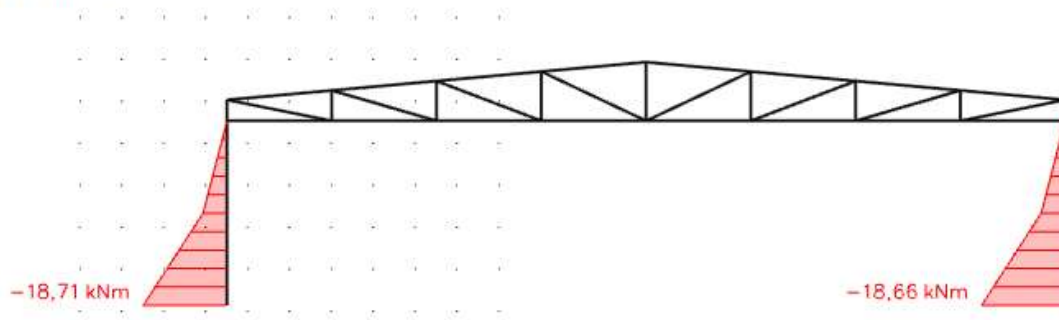
Linear calculation

Combination: Kombinacija 3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 21 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 3

#### 1D internal forces

Values:  $V_z$

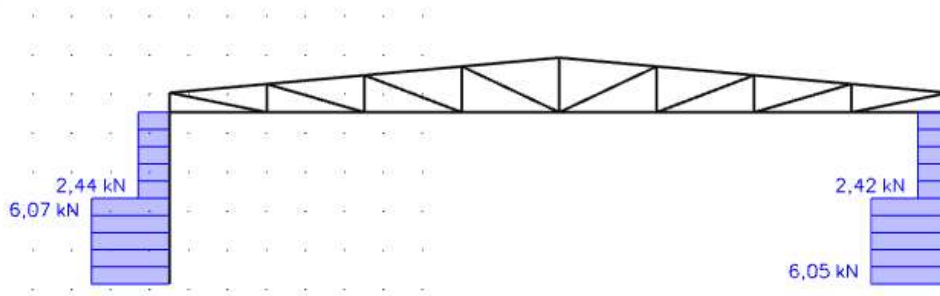
Linear calculation

Combination: Kombinacija 3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 22 Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

#### 1D internal forces

Values:  $N$

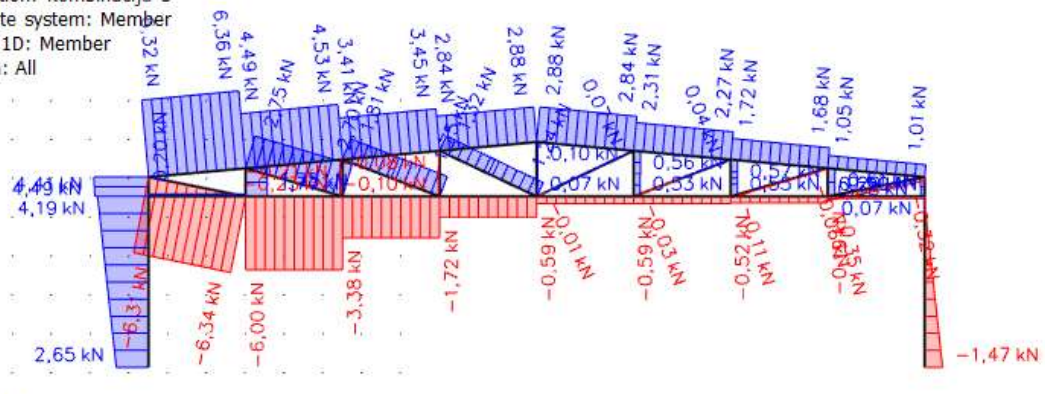
Linear calculation

Combination: Kombinacija 3

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 23 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 3

#### 4.1.4 KOMBINACIJA 4 (1,35G+1,35W2+1,35S)

##### 1D internal forces

Values:  $M_y$

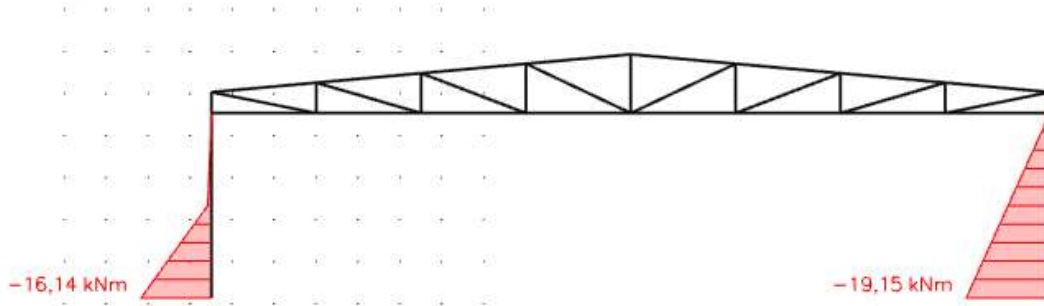
Linear calculation

Combination: Kombinacija 4

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 24 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 4

##### 1D internal forces

Values:  $V_z$

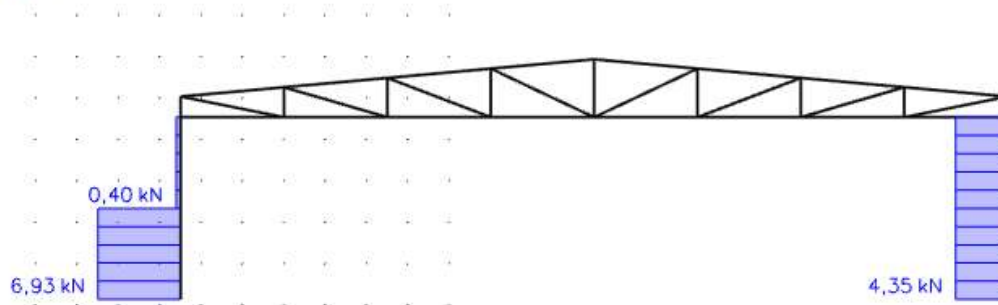
Linear calculation

Combination: Kombinacija 4

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 25 Dijagram poprečnih sila kombinacije 4

##### 1D internal forces

Values:  $N$

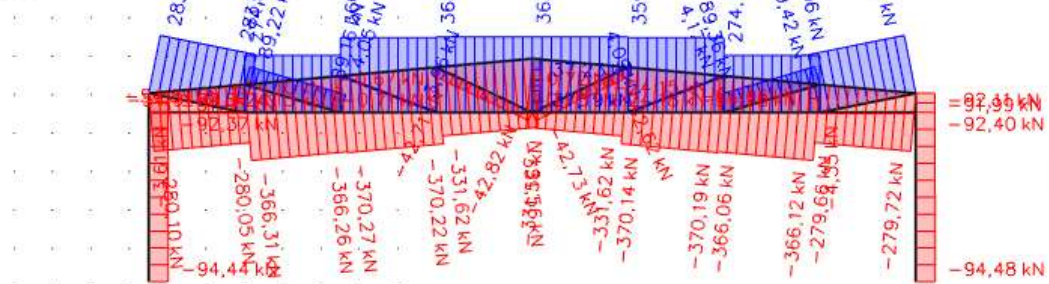
Linear calculation

Combination: Kombinacija 4

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

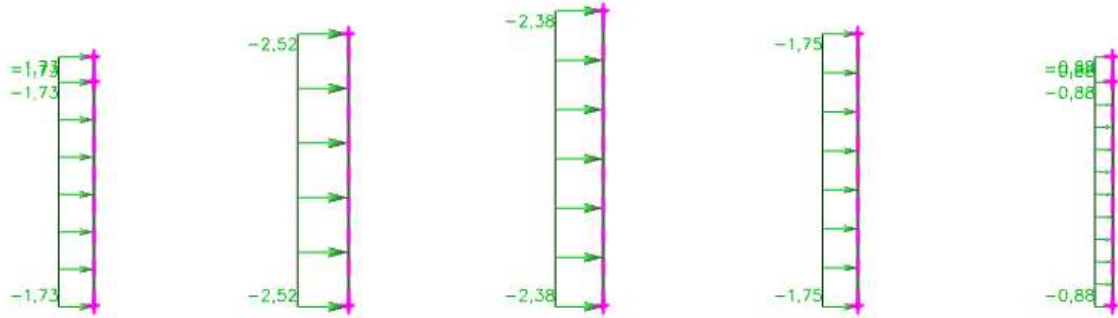


Slika 26 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 4

## 4.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 4.2.1 ZABATNI STUPOVI

Kao mjerodavno djelovanje uzima se pritisak vjetra na zabat čelične hale.



Slika 27 Model zabatnih stupova

#### Reactions

Values:  $R_x$

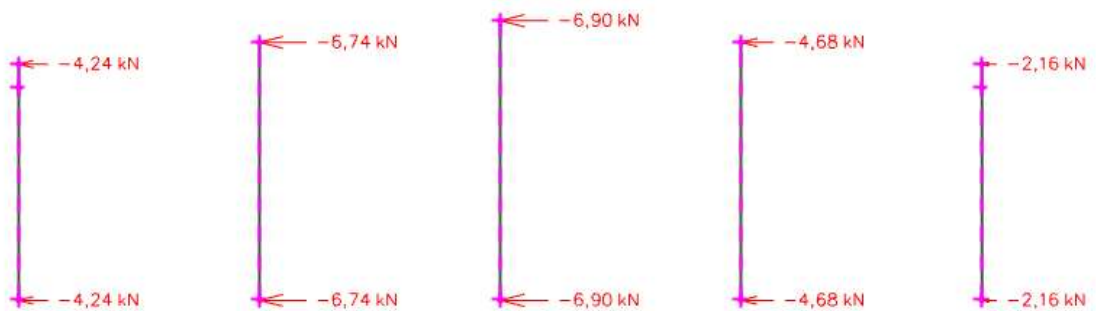
Linear calculation

Load case: vjetar pritiskajući

System: Global

Extreme: Member

Selection: All



Slika 28 Reakcije za djelovanje vjetra

#### 1D internal forces

Values:  $M_y$

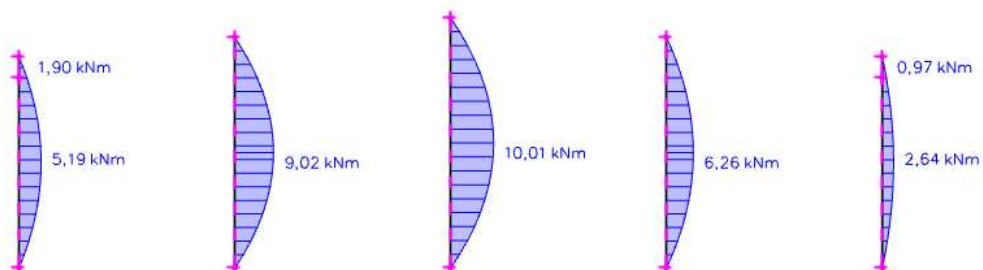
Linear calculation

Load case: vjetar pritiskajući

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 29 Momentni dijagram za djelovanje vjetra



**1D internal forces**

Values: Vz

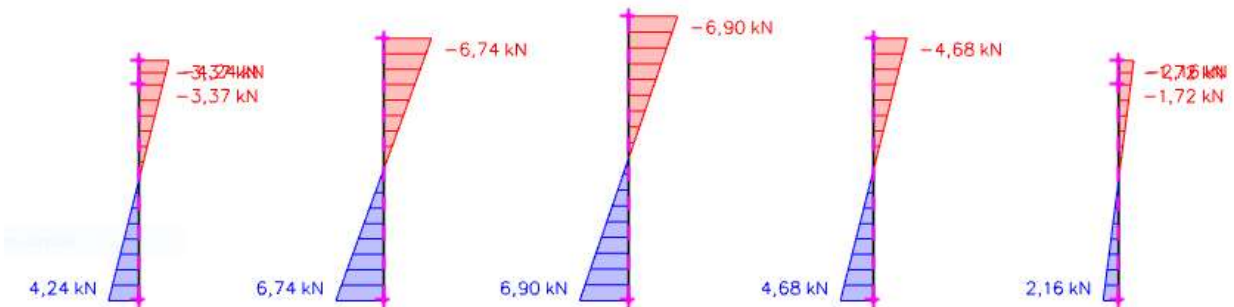
Linear calculation

Load case: vjetar pritiskajući

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 30 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

**4.2.2 KROVNA PODROŽNICA**

Krovne podrožnice su duljine 4400 mm. Nalaze se na osnom razmaku od 2,51 m i pod kutom od  $\alpha=5,14^\circ$ .

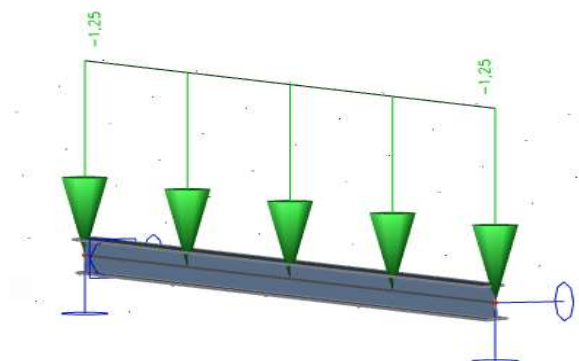
Djelovanja na krovnu podrožnicu su sljedeća:

Dodatno stalno opterećenje:  $G = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,51 \text{ m} = 1,21 \text{ kN/m}'$

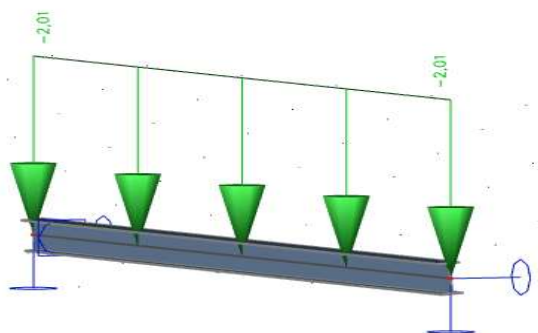
Snijeg:  $S = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,51 \text{ m} = 2,01 \text{ kN/m}'$

Vjetar W1:  $W1 = 0,53 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,51 \text{ m} = 1,33 \text{ kN/m}'$

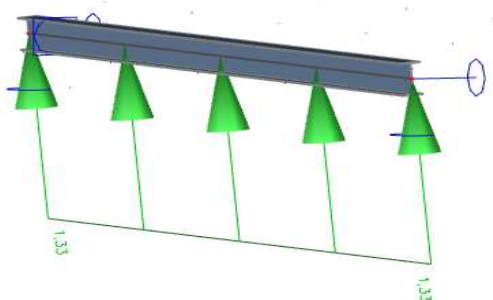
Vjetar W2:  $W2 = 0,15 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,51 \text{ m} = 0,38 \text{ kN/m}'$



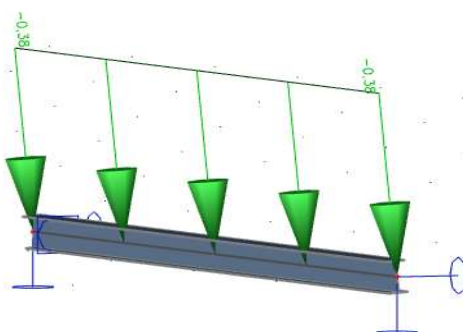
Slika 31 Model krovne podrožnice za djelovanje G



Slika 32 Model krovne podrožnice za djelovanje snijega S



Slika 33 Model krovne podrožnice za djelovanje odižućeg vjetra



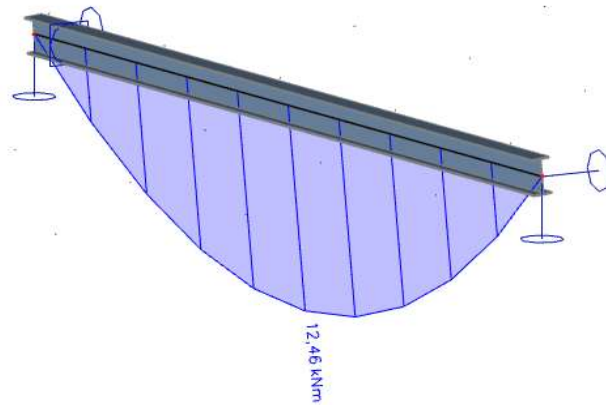
Slika 34 Model krovne podrožnice za djelovanje pritiskajućeg vjetra



Slika 35 Model krovne podrožnice za djelovanje uzdužne sile.

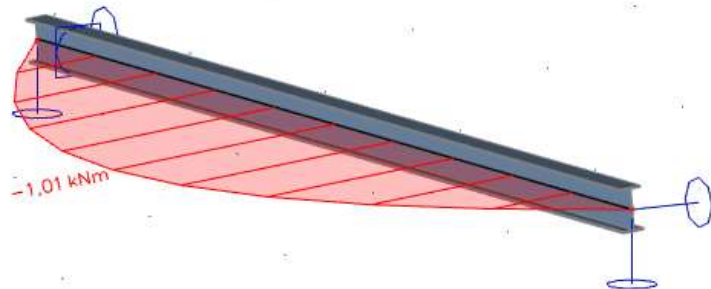
Mjerodavna kombinacija je:  $4 \rightarrow (1,35G + 1,35W2 + 1,35S)$

**1D internal forces**  
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: Kombinacija 4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



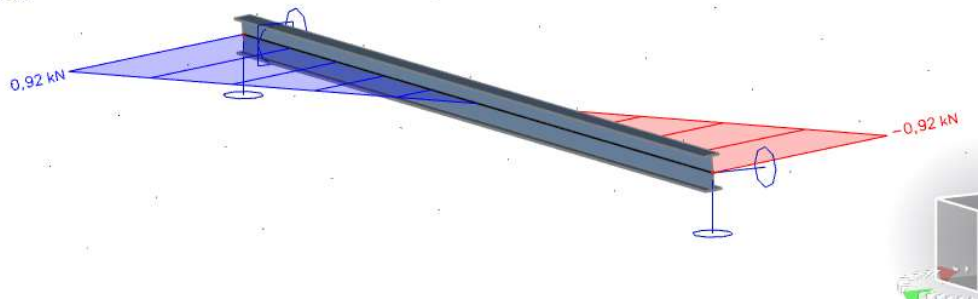
Slika 36 Momentni dijagram  $M_y$  za mjerodavnu kombinaciju

**1D internal forces**  
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: Kombinacija 4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 37 Momentni dijagram  $M_z$  za mjerodavnu kombinaciju

**1D internal forces**  
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: Kombinacija 4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

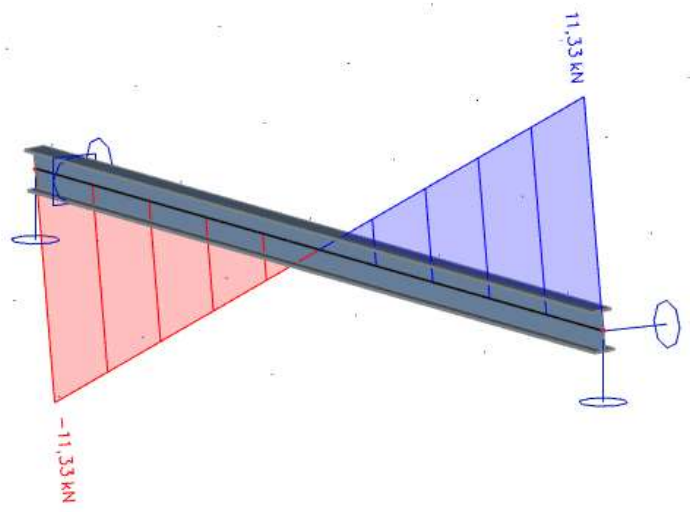


Slika 38 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za mjerodavnu kombinaciju



**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
 Linear calculation  
 Combination: Kombinacija 4  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All



Slika 39 Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za mjerodavnu kombinaciju

**4.2.3 BOČNA PODROŽNICA**

Opterećenje bočne podrožnice je uzeto za područje D i pritisak na vertikalne zidove koji iznosi

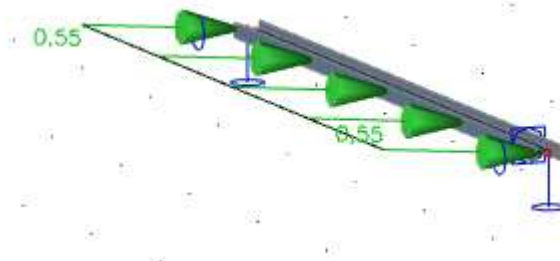
$$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2 \text{ i } w_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$n$  - razmak između bočnih podrožnica

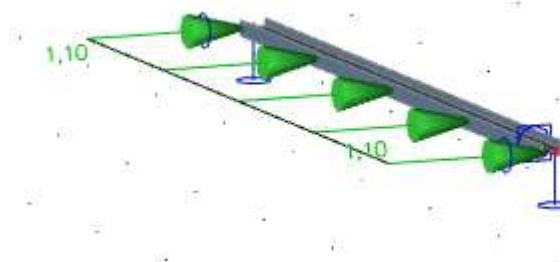
$$W_k(1) = w_k \cdot n = 0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,2 \text{ m} = 0,55 \text{ kN/m'}$$

$$W_k(2) = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,2 \text{ m} = 1,1 \text{ kN/m'}$$

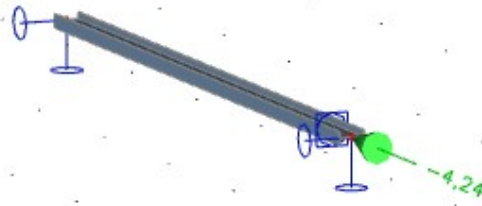
Mjerodavna kombinacija za bočnu podrožnicu je „Kombinacija 2“:  $(1,35G + 1,5W_2)$



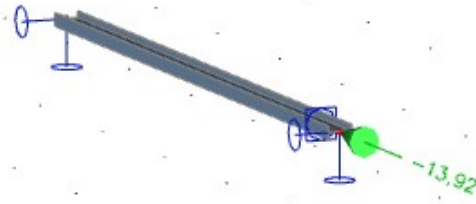
Slika 40 Model bočne podrožnice opterećen s vjetrom odižućim



Slika 41 Model bočne podrožnice opterećen s vjetrom pritiskajućim

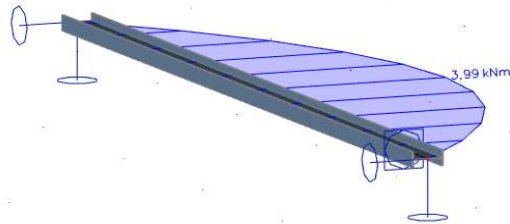


Slika 42 Model bočne podrožnice opterećen uzdužnom silom od zabatnih stupova



Slika 43 Model bočne podrožnice opterećen uzdužnom silom od bočnog sprega

**1D internal forces**  
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: Kombinacija 2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Member  
Selection: All



Slika 44 Momentni dijagram  $M_y$  za mjerodavnu kombinaciju

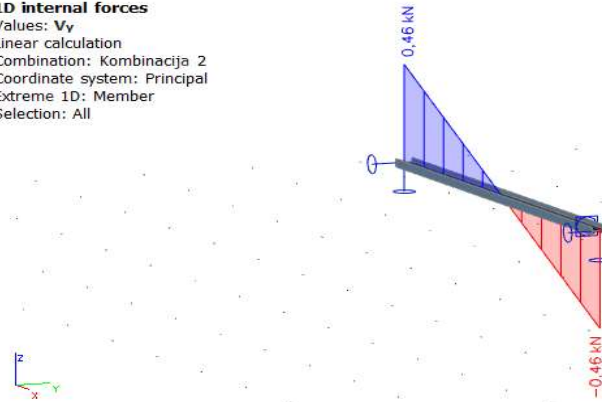
**1D internal forces**  
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: Kombinacija 2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Member  
Selection: All



Slika 45 Momentni dijagram  $M_z$  za mjerodavnu kombinaciju

**1D internal forces**

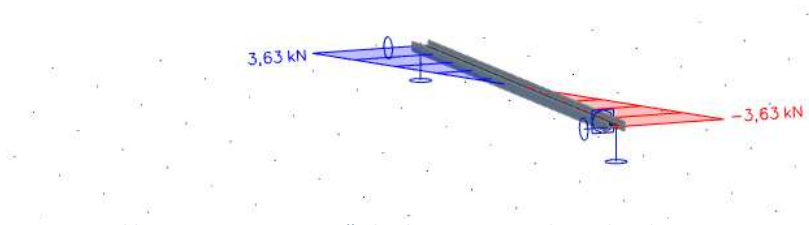
Values:  $V_y$   
 Linear calculation  
 Combination: Kombinacija 2  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All



Slika 46 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za mjerodavnu kombinaciju

**1D internal forces**

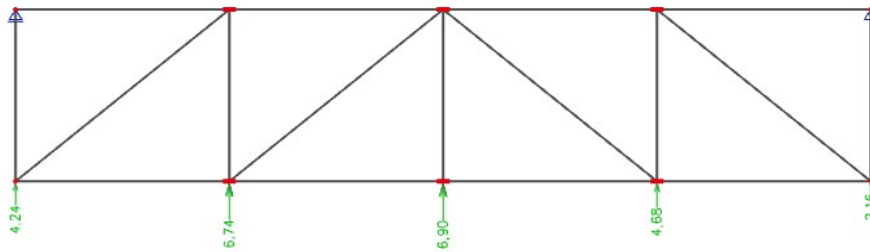
Values:  $V_z$   
 Linear calculation  
 Combination: Kombinacija 2  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All



Slika 47 Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za mjerodavnu kombinaciju

#### 4.2.4 KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI

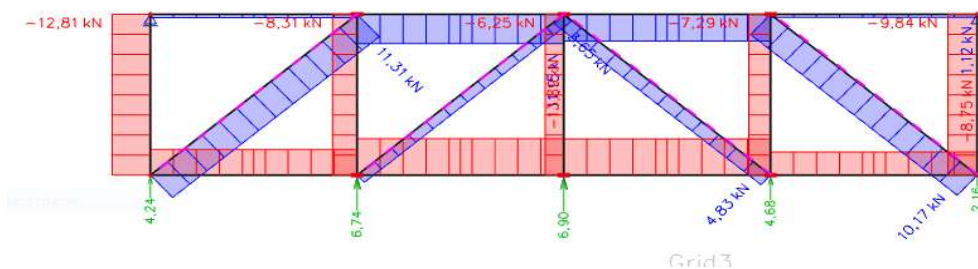
Sile koje djeluju na krovne spregove su prenesene reakcije sa zabatnih stupova.



Slika 48 Model krovnog sprega

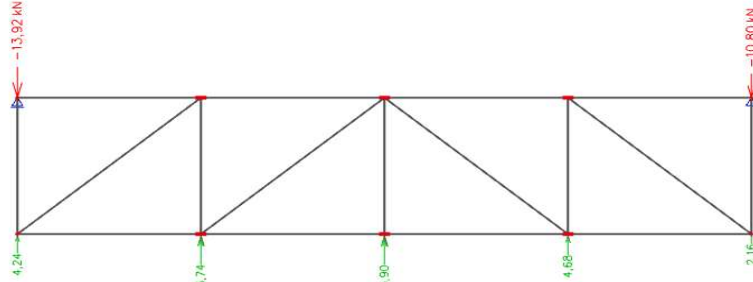
**1D internal forces**

Values:  $N$   
 Linear calculation  
 Load case: vjetar pritiskajući  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All



Slika 49 Dijagram uzdužnih sila krovnog sprega

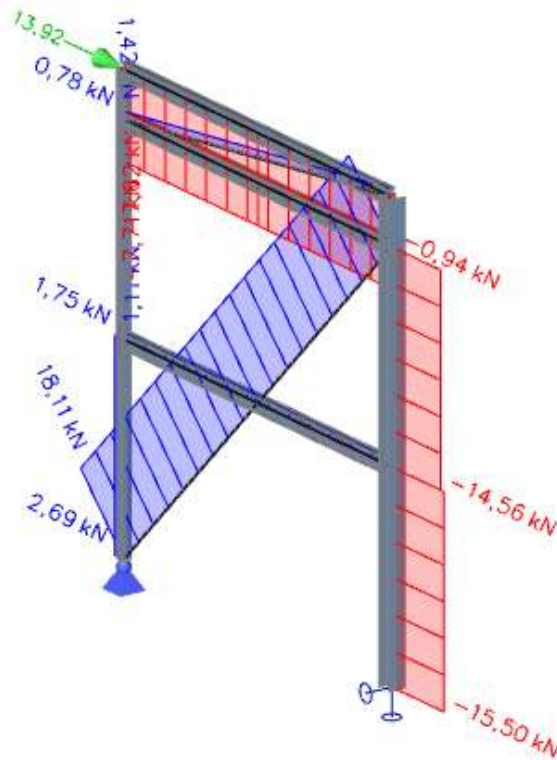
Reactions  
Values: Rz  
Linear calculation  
Load case: vjeter pritiskajući  
System: Global  
Extreme: Global  
Selection: All



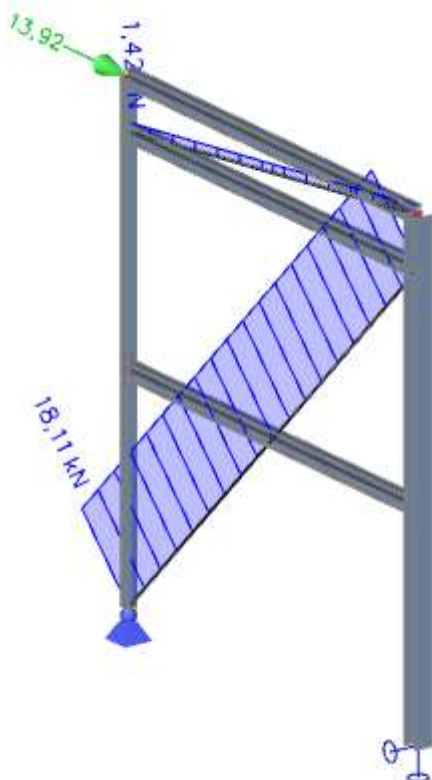
Slika 50 Reakcije na krovnoj podrožnici

#### 4.2.5 BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI

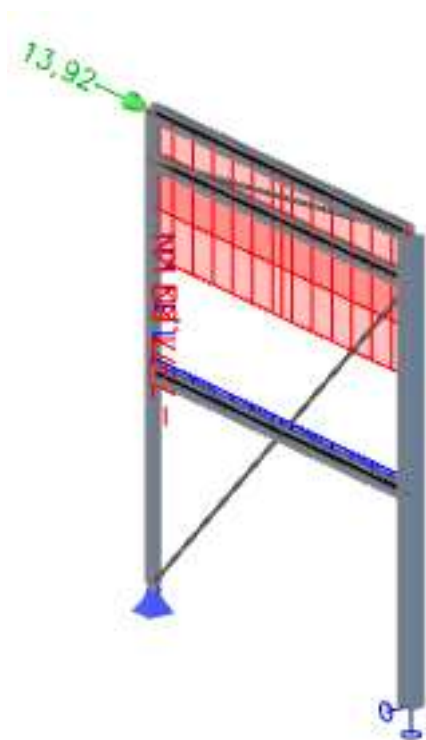
Sila koja djeluje na bočne spregove je prenesena reakcija (veća) sa krovnih spregova.



Slika 51 Dijagram uzdužnih sila bočnog sprega



Slika 52 Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama



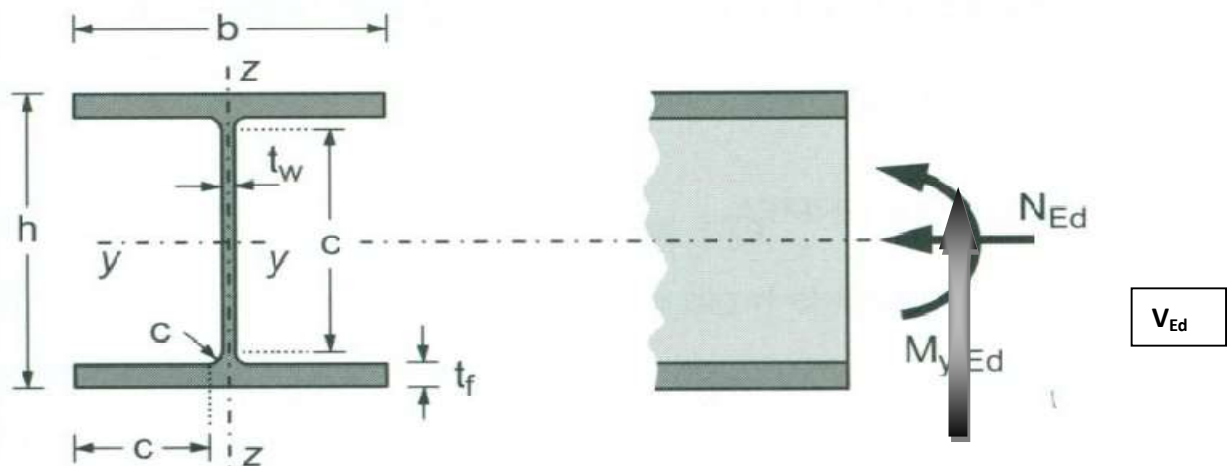
Slika 53 Dijagram uzdužnih sila u bočnim podrožnicama

## 5 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

### 5.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

#### 5.1.1 DIMENZIONIRANJE STUPA

##### •POPREČNI PRESJEK



Slika 25 Poprečni presjek stupa

Profil: HEA 180

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 171$  mm

Širina pojasnice:  $b = 180$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f = 10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w = 6$  mm

Radius:  $r = 15$  mm

Površina:  $A = 45,30$  cm<sup>2</sup>

Momenti tromosti:  $I_y = 2510$  cm<sup>4</sup>

$I_z = 925$  cm<sup>4</sup>

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 325$  cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z} = 156,67$  cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w = 60211$  cm<sup>6</sup>

Torzijska konstanta:  $I_t = 14,8$  cm<sup>4</sup>

ULAZNI PODATCI: četvrta kombinacija

Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila

→  $M_{y,Ed} = 19,18$  kNm

→  $V_{z,Ed} = 4,36$  kN

→  $N_{Ed} = 95,15$  (tlak)

Materijal: S355 →  $f_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>

→  $\epsilon = 0,81$

→  $E = 210\,000$  N/mm<sup>2</sup>

→  $\nu = 0,3$

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 171 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 121 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20,17$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{95,15}{2 \cdot 6 \cdot 35,5 / 1,0} = 0,22$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{12,1} \left( \frac{12,1}{2} + 0,22 \right) = 0,52 > 0,5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 20,17 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,52 - 1} = 55,69$$

Hrbat je klase 1.

#### Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 6 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{72}{10} = 7,2$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 7,2 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

Pojasnica je klase 1.

**Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.**

### Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ( $N_{Ed} = 95,15 \text{ kN}$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,30 \cdot 35,5}{1,0} = 1608,15 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1608,15 \text{ kN} > N_{Ed} = 95,15 \text{ kN}$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju ( $M_{y,Ed} = 19,18 \text{ kNm}$ )

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{325 \cdot 35,5}{1,0} = 11537,5 \text{ kNcm} = 115,38 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 115,38 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 19,18 \text{ kNm}$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka ( $V_{z,Ed} = 4,36 \text{ kN}$ )

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25,17$$

$$25,17 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,2} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{v,z} = 43,50 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 15,1 \cdot 0,6 = 10,87 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{12,9 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 264,39 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 264,39 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 4,36 \text{ kN}$$



Interakcija M-V-N

Presjek u  $x = 0$  m (dno stupa):

→  $M_{y,Ed} = 19,18$  kNm

→  $V_{z,Ed} = 4,36$  kN

→  $N_{Ed} = 95,15$  (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.

$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 264,39 = 132,19$  kN

$V_{z,Ed} = 4,36$  kN  $<$   $0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 132,19$  kN →

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

$N_{Ed} = 95,15$  kN  $\leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 1608,15 = 402,04$  kN

$N_{Ed} = 95,15$  kN  $\leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 35,5}{1,0} = 160,82$  kN

niska razina  
uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

**Profil HEA 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

**Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili**

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 < 1,2 \quad t_f = 10 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-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:

$$L_{cr,y} = 880 \text{ cm (2L)}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{880^2} = 671,78 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45,30 \cdot 35,5}{671,78}} = 1,55$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,55 - 0,2) + 1,55^2] = 1,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,62 + \sqrt{1,62^2 - 1,55^2}} = 0,48 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 308 \text{ cm (0,7L)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{308^2} = 2020,97 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,30 \cdot 35,5}{2020,97}} = 0,89$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,89 - 0,2) + 0,89^2] = 1,07$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,07 + \sqrt{1,07^2 - 0,89^2}} = 0,60 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,48$ .

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,48 \cdot 45,30 \cdot 35,5}{1,0} = 771,91 \text{ kN} > N_{Ed} = 95,15 \text{ kN}$$

### -Otpornost elementa na savijanje (M)

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$L = H = 440,0 \text{ cm} \rightarrow$  razmak nultočaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{17,1}{2} = 8,55 \text{ cm}$$

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

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

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

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 440)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 440)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0 \cdot 8,55)^2} - 0 \cdot 8,55 \right] = 113444,94 \text{ kNcm} = 1134,45 \text{ kNm}$$

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

$$\text{Za klasu 1 i 2 vrijedi: } W_y = W_{pl,y} = 325 \text{ cm}^3$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 35,5}{113444,94}} = 0,32 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_Y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 35,5}{1,0} = 11537,5 \text{ kNcm} = 115,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 115,38 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 19,18 \text{ kNm}$$

### -Interakcija M-N

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za  $\bar{\lambda}_z = 1,15 > 0,4$ :

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0/20,71 = 0$$

$$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0/20,71 = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (1,55 - 0,2) \cdot \frac{95,15}{0,48 \cdot 1608,15 / 1,0} \right] = 1,01$$

$$k_{yy} = 1,31 > 0,95 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{95,15}{0,48 \cdot 1608,15 / 1,0} \right] = 1,04$$

$$k_{yy} = 1,01$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,89}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{95,15}{0,601 \cdot 1608,15 / 1,0} \right] = 0,987$$

$$k_{zy} = 0,987 < \left[ 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{95,15}{0,601 \cdot 1608,15 / 1,0} \right] = 0,986$$

$$k_{zy} = 0,987$$

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

$$\frac{95,15}{0,48 \cdot 1608,15 / 1,0} + 1,01 \cdot \frac{19,18}{1 \cdot 115,38 / 1,0} = 0,29 \leq 1,0$$

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

$$\frac{95,15}{0,601 \cdot 1608,15 / 1,0} + 0,987 \cdot \frac{19,18}{1 \cdot 115,38 / 1,0} = 0,26 \leq 1,0$$

**Profil HEA 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:  
 $\eta = 29\%$ .**

**Postoji još i kombinacija u kojoj je moment na stupu veći, ali on iznosi 20,71kNm. Dakle, za 1,53kNm je veći, ali uzdužna sila je 48,36kN (tlak), a poprečna je 8,29kN. Dok su u ovoj kombinaciji rezne sile: M=19,18kNm, V=4,36kN , N=95,15kN (tlak) pa je ovo kritičnija kombinacija.**

## 5.1.2 DIMENZIONIRANJE REŠETKE

### Gornji pojas rešetke

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 140×140×5

Tip presjeka:

hladno

oblikovani

Visina

presjeka:

$h=140$  mm

Širina

pojasnice:

$b=140$  mm

Debljina

pojasnice:  $t=5$

mm Povšina:

$A=26,36$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:

$I_y=790,56$  cm<sup>4</sup>

$I_z=790,56$  cm<sup>4</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=373,31$  kN (tlak)

### Klasifikacija p.p

Provjera-pojasnice

(pojasnica izložena tlaku).

$$- \frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 5 = 125 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{125}{5} = 25$$

$$- \quad = \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$25 \leq 26,73$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

**Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.**

### Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ( $N_{Ed} = 372,41 \text{ kN}$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 935,78 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 935,78 \text{ kN} > N_{Ed} = 372,41 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

### Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{140}{140} = 1,00 < 1,2 \quad t_f = 5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-za bilo koju os je krivulja izvijanja  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 251,0 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{251,0^2} = 2600,79 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{2600,79}} = 0,59$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,77$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,59^2}} = 0,79 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 502 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{502^2} = 650,19 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{650,19}} = 1,19$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,19 - 0,2) + 1,19^2] = 1,45$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,45 + \sqrt{1,45^2 - 1,19^2}} = 0,44$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,44$ .

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,44 \cdot 26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 411,74 \text{ kN} > N_{Ed} = 372,41 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:**  
 $\eta = (372,41 / 411,74) \cdot 100 = 90,45\%$



## Donji pojas rešetke

### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 140×140×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=140$  mm

Širina pojasnice:  $b=140$  mm

Debljina pojasnice:  $t=5$  mm

Povšina:  $A=26,36$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=790,56$  cm<sup>4</sup>

$I_z=790,56$  cm<sup>4</sup>

### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=366,14$  kN (vlak)

### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

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

$$c = b - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 5 = 125 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{125}{5} = 25$$

$$- \quad = \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

**Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1**

### Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili ( $N_{Ed} = 366,14 \text{ kN}$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 935,78 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 935,78 \text{ kN} > N_{Ed} = 366,14 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:  
 $\eta = (366,14/935,75) \cdot 100 = 39,13\%$**

### Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ( $N_{Ed} = 4,81 \text{ kN}$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 935,78 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 935,78 \text{ kN} > N_{Ed} = 4,81 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

### Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} < 1,0$$

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora provesti za svaku os posebno. Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{140}{140} = 1,00 < 1,2 \quad t_f = 5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-za bilo koju os je krivulja izvijanja  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 1000,0\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{1000,0^2} = 163,85\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{163,85}} = 2,39$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,39 - 0,2) + 2,39^2] = 3,89$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,89 + \sqrt{3,89^2 - 2,39^2}} = 0,14 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 250\text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{250^2} = 2621,64\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{2621,64}} = 0,59$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,77$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,59^2}} = 0,79$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,14$ .

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,14 \cdot 26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 131,01\text{kN} > N_{Ed} = 4,81\text{kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:**

$$\eta = (4,81/131,01) \cdot 100 = 3,67\%$$

## Vertikale

### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 40×40×4

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=40$  mm

Širina pojsnice:  $b=40$  mm

Debljina pojasnice:  $t=4$  mm

Povšina:  $A=3,01$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=11,07$  cm<sup>4</sup>

$I_z=11,07$  cm<sup>4</sup>

### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=37,13$  kN (vlak)

$N_{Ed}=54,84$  kN (tlak)

### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

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

$$c = b - 3 \cdot t = 40 - 3 \cdot 4 = 28 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t} = \frac{28}{4} = 7$$

$$- \quad = \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

**Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.**

### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili ( $N_{Ed} = 37,13\text{kN}$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,35 \cdot 35,5}{1,0} = 189,93\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 189,93\text{kN} > N_{Ed} = 37,13\text{kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili**

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ( $N_{Ed} = 54,84\text{ kN}$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,35 \cdot 35,5}{1,0} = 189,93\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 189,93\text{kN} > N_{Ed} = 54,84\text{kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

### **Otpornost elementa na izvijanje**

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

- krivulja izvijanja  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$L_{cr} = 36,0\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 11,07}{36^2} = 1770,36\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,35 \cdot 35,5}{1770,36}} = 0,33 < 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 5,35 \cdot 35,5}{1,0} = 189,93 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 189,93\text{kN} > N_{Ed} = 54,84\text{kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355,zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:**

$$\eta = (54,84/189,30) \cdot 100 = 28,97\%$$

## Dijagonale

### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 60×60×4

Tip presjeka:

hladno

oblikovani

Visina presjeka:

$h=60$  mm Širina

pojsnice:  $b=60$

mm Debljina

pojasnice:  $t=4$

mm Povšina:

$A=8,55$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:

$I_y=43,55$  cm<sup>4</sup>

$I_z=43,55$ cm<sup>4</sup>

ULAZNI PODACI → djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=286,19$ kN (vlak)

$N_{Ed}=43,14$  kN (tlak)

### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice(pojasnica izložena tlaku).

$$-\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 60 - 3 \cdot 4 = 48 \text{ mm}$$

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

$$-\frac{c}{t} = \frac{48}{4}$$

$$= 12 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

**Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.**

### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili ( $N_{Ed} = 286,19kN$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,55 \cdot 35,5}{1,0} = 303,53kN$$

$$N_{c,Rd} = 303,53kN > N_{Ed} = 286,19kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili**

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ( $N_{Ed} = 43,14kN$ )

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,55 \cdot 35,5}{1,0} = 303,53kN$$

$$N_{c,Rd} = 303,53kN > N_{Ed} = 43,14kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

### **Otpornost elementa na izvijanje**

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

- krivulja izvijanja c  $\rightarrow \alpha = 0,49$



$$L_{cr} = 136,0\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 43,55}{136^2} = 488,01\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8,55 \cdot 35,5}{488,01}} = 0,79$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,79 - 0,2) + 0,79^2] = 0,96$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,79^2}} = 0,66 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,66 \cdot 8,55 \cdot 35,5}{1,0} = 200,33\text{kN}$$

$$N_{b,Rd} = 200,33\text{kN} > N_{Ed} = 43,14\text{kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:**

$$\eta = (43,14 / 200,33) \cdot 100 = 21,53\%$$

## 5.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 5.2.1 ZABATNI STUPOVI

**Profil: HE100**

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 96 \text{ mm}$

Širina pojasnice:  $b = 100 \text{ mm}$

Debljina pojasnice:  $t_f = 8 \text{ mm}$

Debljina hrpta:  $t_w = 5 \text{ mm}$

Radijus:  $r = 12 \text{ mm}$

Površina:  $A = 21,20 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti:  $I_y = 349,20 \text{ cm}^4$

$I_z = 133,80 \text{ cm}^4$

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 83,01 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 41,14 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja:  $I_w = 2,58 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta:  $I_t = 5,24 \text{ cm}^4$

Djelovanje:

$M_{ed} = 10,01 \text{ kNm}$

$V = 6,90 \text{ kN}$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

**Hrpat**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{96 - 16 - 24}{5} = 11,20$$

$$11,20 < 72\varepsilon = 11,20 < 58,32$$

Hrpat je klase 1

**Pojasnica**

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{100 - 5 - 24}{2} = 35,5$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35,5}{8} < 9\varepsilon = 4,44 < 7,29$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

#### Otpornost poprečnog presjeka

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{83,01 * 35,5}{1} = 2946,86 \text{ kNcm} = 29,47 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 29,47 \text{ kNm} > M_{Ed} = 10,01 \text{ kNm}$$

#### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{96 - 16}{5} = 16$$

$$16 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 48,6$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 21,20 - 2 \cdot 10 \cdot 0,8 + (0,5 + 2,4) \cdot 0,8 = 7,52 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 8 \cdot 0,5 = 4,80 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{7,52 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 154,13 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 154,13 \geq V_{Ed} = 6,90 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 154,13 = 77,07 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,90 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 77,07 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 29,47 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{10,01}{29,47} = 0,34 < 1$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 133,80}{580^2}$$

$$\cdot \left[ \sqrt{1^2 \cdot \frac{2,58}{133,80} + \frac{580^2 \cdot 8077 \cdot 5,24}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 133,80}} + (0,454 \cdot 4,8)^2 - 0,454 \cdot 4,8 \right] = 19,12 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{96}{2} = 48 \text{ mm}$$

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

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$L = 580 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{83,01 \cdot 35,5}{1912,39}} = 1,24 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,38 + \sqrt{1,38^2 - 1,24^2}} = 0,50 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,24 - 0,2) + 1,24^2] = 1,38$$

Za krivulju izvijanja  $\alpha \rightarrow 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,50 \cdot \frac{83,01 \cdot 35,5}{1} = 14,73 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,73 > M_{y,Ed} = 10,01$$

$$\eta = \frac{10,01}{14,73} = 0,68 = 67,96 \%$$

**Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 67,96 %.**

---

## 5.2.2 KROVNI SPREG

Za spregove je odabran profil **RD14**

Maksimalna vlačna sila:  $N = 11,31 \text{ kN}$

$A = 1,54 \text{ cm}^2$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,54 * 35,5}{1} = 54,67 \text{ kN} > N_{Ed} = 11,31 \text{ kN}$$

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{11,31}{54,67} = 0,207 = 20,69 \%$$

**Profil RD14, kvalitete čelika S355, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=20,69\%$ .**

## 5.2.3 BOČNI SPREG

Za spregove je odabran profil **RD14**

Maksimalna vlačna sila:  $N = 18,11 \text{ kN}$

$A = 1,54 \text{ cm}^2$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,54 * 35,5}{1} = 54,67 \text{ kN} > N_{Ed} = 18,11 \text{ kN}$$

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{18,11}{54,67} = 0,331 = 33,13\%$$

**Profil RD14, kvalitete čelika S355, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=33,13\%$ .**

## 5.2.4 KROVNA PODROŽNICA

### Profil: IPE 180

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 180 \text{ mm}$

Širina pojasnice:  $b = 91 \text{ mm}$

Debljina pojasnice:  $t_f = 8 \text{ mm}$

Debljina hrpta:  $t_w = 5 \text{ mm}$

Radijus:  $r = 9 \text{ mm}$

Površina:  $A = 23,90 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti:  $I_y = 1317 \text{ cm}^4$

$I_z = 100,9 \text{ cm}^4$

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 166,4 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 34,60 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja:  $I_w = 7,43 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta:  $I_t = 4,79 \text{ cm}^4$

Djelovanje uslijed kombinacije:

$$\underline{1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 0,9 \cdot 1,5 \cdot (S + W_2)}$$

$$M_{y,Ed} = 12,46 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,01 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,92 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,33 \text{ kN}$$

I uzdužna sila:  $N_{Ed} = 6,90 \text{ kN}$  (tlak) koja se na krovnu podrožnicu prenosi sa zabatnog stupa.

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Hrbat

$$d = h - 2t_f - 2r = 180 - 16 - 18 = 146 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5} = 29,2$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2 \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}} = \frac{6900}{\frac{2 \cdot 5 \cdot 355}{1}} = 1,94$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{146} \left( \frac{146}{2} + 1,94 \right) = 0,51 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,51 - 1} = 56,97$$

$$29,2 \leq 56,97$$

Hrbat je klase 1.

#### Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{91 - 5 - 18}{2} = 34 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} = 4,25$$

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

$$4,25 \leq 7,29$$

Pojasnica je klase 1.

Presjek je klase 1.

**Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{23,9 \cdot 35,5}{1} = 848,45 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 848,45 \text{ kN} > N_{ed} = 6,90 \text{ kN}$$

**Savijanje oko osi y-y**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{166,4 \cdot 35,5}{1} = 5907,2 \text{ kNcm} = 59,07 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 59,07 \text{ kNm} > M_{Ed} = 12,46 \text{ kNm}$$

**Savijanje oko osi z-z**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{34,60 \cdot 35,5}{1} = 1228,3 \text{ kNcm} = 12,28 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 12,28 \text{ kNm} > M_{Ed} = 0,99 \text{ kNm}$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru osi z**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{180 - 16}{5} = 32,8$$

$$32,8 < 72 \cdot \frac{\epsilon}{\eta} = 32,8 < 48,6$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 23,9 - 2 \cdot 9,1 \cdot 0,8 + (0,5 + 2 \cdot 0,9) \cdot 0,8 = 11,18 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 16,4 \cdot 0,5 = 9,84 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{11,18 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 229,14 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 229,14 \geq V_{Ed} = 11,33 \text{ kN}$$

**U smjeru osi y**

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,y} = 23,9 - \sum 16,4 \cdot 0,5 = 15,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{15,7 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 321,79 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,92 \text{ kN}$$

**Interakcija My i Mz (dvoosno savijanje)**

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

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{6,90}{848,45} = 0,008 < 1 \rightarrow \beta = 1 \quad \dots \quad \alpha = 2; \beta = 1$$

### Poprečna sila u smjeru osi z

$$V_z = 11,33 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 229,14 = 114,57 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,33 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 114,57 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

### Poprečna sila u smjeru osi y

$$V_y = 0,92 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 321,79 = 160,89 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,92 < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 160,89 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

$$\left(\frac{12,46}{59,07}\right)^2 + \left(\frac{1,01}{12,28}\right)^2 \leq 1,0 = 0,13 < 1$$

Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

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

$$6,90 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 848,45 = 212,11 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 16,4 \cdot 0,5 \cdot 35,5}{1} = 145,55$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

### Uzdužna tlačna otpornost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

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

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1,97 > 1,2 \quad t_f = 8 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Za os y-y: krivulja izvijanja a → ( $\alpha = 0,21$ )

Za os z-z: krivulja izvijanja b → ( $\alpha = 0,34$ )

### Izvijanje oko osi y

$$L_{cr,y} = 440 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1317}{440^2} = 1409,94 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{23,9 \cdot 35,5}{1409,94}} = 0,78$$

$$\alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,21(0,78 - 0,2) + 0,78^2] = 0,87$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,78^2}} = 0,80$$

Izvijanje oko osi z

$$L_{cr,z} = 440 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 100,9}{440^2} = 108,02 \text{ kN}$$

$$\lambda_{z,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{23,9 \cdot 35,5}{108,02}} = 2,80$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,34(2,80 - 0,2) + 2,80^2] = 4,86$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\chi_z = \frac{1}{4,86 + \sqrt{4,86^2 - 2,80^2}} = 0,11$$

Mjerodavna je manja vrijednost  $\chi = 0,11$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,11 \cdot 23,9 \cdot 35,5}{1,0} = 93,33 > N_{ed} = 6,90 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa na savijanje**

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

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 100,9}{440^2} \cdot \left[ \sqrt{1^2 \cdot \frac{7,43}{100,9} + \frac{440^2 \cdot 8077 \cdot 4,79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 100,9} + (0,454 \cdot 9)^2} - 0,454 \cdot 9 \right] = 18,59 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$L = 440 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166,4 \cdot 35,5}{1859,82}} = 1,78 > 0,4$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,78 - 0,2) + 1,78^2] = 2,25$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,25 + \sqrt{2,25^2 - 1,78^2}} = 0,28 < 1$$

Za krivulju izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,28 \cdot \frac{166,4 \cdot 35,5}{1} = 16,54 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 16,54 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12,46 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{12,46}{16,54} = 0,753 = 75,33\%$$



### Interakcija My i Mz

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

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

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

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

$$L_{cr,z} = 440 \text{ cm}$$

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

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow$$

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

$$\psi = 0 \rightarrow$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (0,78 - 0,2) \cdot \frac{6,90}{0,80 \cdot 848,45/1} \right] \leq 0,95 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{6,90}{0,80 \cdot 848,45/1} \right]$$

$$k_{yy} = 0,96 \leq 0,96$$

$$k_{yy} = 0,96$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (2 \cdot 2,80 - 0,6) \cdot \frac{6,90}{0,11 \cdot 848,45/1} \right] \leq 0,95 \cdot \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{6,90}{0,11 \cdot 848,45/1} \right]$$

$$k_{zz} = 1,30 \leq 1,05$$

$$k_{zz} = 1,05$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,05 = 0,63$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 2,80}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{6,90}{0,11 \cdot 848,45/1} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{6,90}{0,11 \cdot 848,45/1} \right]$$

$$k_{zy} = 0,97 \leq 0,99$$

$$k_{zy} = 0,99$$

$$\frac{6,90}{0,80 \cdot 848,45/1} + 0,96 \cdot \frac{12,46}{0,28 \cdot 59,07/1} + 0,63 \cdot \frac{1,01}{12,28} = 0,785 \leq 1,0$$

$$\frac{6,90}{0,11 \cdot 848,45/1} + 0,99 \cdot \frac{12,46}{0,28 \cdot 59,07/1} + 1,05 \cdot \frac{1,01}{12,28} = 0,906 \leq 1,0$$

**Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 90,55%.**

## 5.2.5 BOČNA PODROŽNICA

### Profil: IPE 160

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 160$  mm

Širina pojasnice:  $b = 82$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f = 7$  mm

Debljina hrpta:  $t_w = 5$  mm

Radijus:  $r = 9$  mm

Površina:  $A = 20,10$  cm<sup>2</sup>

Momenti tromosti:  $I_y = 869,30$  cm<sup>4</sup>

$I_z = 108,70$  cm<sup>4</sup>

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 123,90$  cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z} = 26,10$  cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w = 3,96$  cm<sup>6</sup>

Torzijska konstanta:  $I_t = 3,60$  cm<sup>4</sup>

Djelovanje:

$$M_{y,Ed} = 3,99 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,51 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,46 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 3,63 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{b.s.} = 13,92 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{z.ab.} = 4,24 \text{ kN}$$

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{160 - 14 - 18}{5} = 25,6$$

$$25,6 < 72 \varepsilon = 25,6 < 58,32$$

Hrbat je klase 1

#### Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{82 - 5 - 18}{2} = 29,5$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{29,5}{7} < 9\varepsilon = 4,21 < 7,29$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1

### Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{20,10 \cdot 35,5}{1} = 713,55 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 713,55 \text{ kN} > N_{ed} = 13,92 + 4,24 = 18,16 \text{ kN}$$

### Savijanje oko osi y-y

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{123,9 * 35,5}{1} = 4398,45 \text{ kNcm} = 43,98 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 43,98 \text{ kNm} > M_{Ed} = 3,99 \text{ kNm}$$

### Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{26,10 * 35,5}{1} = 926,55 \text{ kNcm} = 9,27 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 9,27 \text{ kNm} > M_{Ed} = 0,51 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru osi z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{160 - 14}{5} = 29,20$$

$$29,20 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 29,20 < 48,60$$

→ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,z} = 20,10 - 2 \cdot 8,2 \cdot 0,7 + (0,5 + 2 \cdot 0,9) \cdot 0,7 = 10,23 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 14,6 \cdot 0,5 = 8,76 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{8,76 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,54 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,54 \geq V_{Ed} = 3,63 \text{ kN}$$

**U smjeru osi y**

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$A_{v,y} = 20,10 - \sum 14,6 \cdot 0,5 = 12,80 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{12,80 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 262,35 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,46 \text{ kN}$$

**Interakcija My i Mz (dvoosno savijanje)**

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

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{18,16}{713,55} = 0,03 < 1 \rightarrow \beta = 1$$

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

**Poprečna sila u smjeru osi z**

$$V_z = 3,63 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 179,54 = 89,77 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 3,63 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 89,77 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

**Poprečna sila u smjeru osi y**

$$V_y = 0,46 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 262,35 = 131,18 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,46 < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 131,18 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

$$\left(\frac{3,99}{43,98}\right)^2 + \left(\frac{0,51}{9,27}\right)^1 \leq 1,0 = 0,06 < 1$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

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

$$18,16 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 713,55 = 178,39 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 18,16 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 14,6 \cdot 0,5 \cdot 35,5}{1} = 129,58 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

### ***Uzdužna tlačna otpornost***

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeka klase 1,2,3}$$

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

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1,95 > 1,2 \quad t_f = 7 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Za os y-y: krivulja izvijanja a  $\rightarrow$  ( $\alpha = 0,21$ )

Za os z-z: krivulja izvijanja b  $\rightarrow$  ( $\alpha = 0,34$ )

#### *Izvijanje oko osi y*

$$L_{cr,y} = 440 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 869,30}{440^2} = 930,64 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20,10 \cdot 35,5}{930,64}} = 0,88$$

$$\alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,21(0,88 - 0,2) + 0,88^2] = 0,96$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,88^2}} = 0,74$$

#### *Izvijanje oko osi z*

$$L_{cr,z} = 440 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 108,7}{440^2} = 116,37 \text{ kN}$$

$$\lambda_{z,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20,10 \cdot 35,5}{116,37}} = 2,48$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,34(2,48 - 0,2) + 2,48^2] = 3,96$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\chi_z = \frac{1}{3,96 + \sqrt{3,96^2 - 2,48^2}} = 0,14$$

Mjerodavna je manja vrijednost  $\chi = 0,14$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,14 \cdot 20,10 \cdot 35,5}{1,0} = 99,89 \text{ kN} > N_{ed} = 18,16 \text{ kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 108,7}{440^2} \cdot \left[ \sqrt{1^2 \cdot \frac{3,96}{108,7} + \frac{440^2 \cdot 8077 \cdot 3,60}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 108,7}} + (0,454 \cdot 8)^2 - 0,454 \cdot 8 \right] = 16,51 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$L = 440 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{123,9 \cdot 35,5}{1650,94}} = 1,63 > 0,4$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,63 - 0,2) + 1,63^2] = 1,98$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,98 + \sqrt{1,98^2 - 1,63^2}} = 0,32 < 1$$

Za krivulju izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,32 \cdot \frac{123,9 \cdot 35,5}{1} = 14,08 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,08 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 3,66 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{3,66}{14,08} = 0,26 = 25,99 \%$$

### Interakcija My i Mz

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

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

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

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

$$L_{cr,z} = 440 \text{ cm}$$

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

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h = 0,95$$

$$\psi = 0 \rightarrow$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h = 0,95$$

$$C_{mLT} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (0,88 - 0,2) \cdot \frac{18,16}{0,74 \cdot 713,55/1} \right] \leq 0,95 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{18,16}{0,74 \cdot 713,55/1} \right]$$

$$k_{yy} = 0,97 < 0,98$$

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

$$k_{zz} = 0,95 * \left[ 1 + (2 * 2,48 - 0,6) \cdot \frac{18,16}{0,14 * 713,55/1} \right] \leq 0,95 * \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{18,16}{0,14 \cdot 713,55/1} \right]$$

$$k_{zz} = 0,90 \geq 1,19$$

$$k_{zz} = 0,90$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 0,90 = 0,54$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 2,48}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{18,16}{0,14 \cdot 713,55/1} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{18,16}{0,14 \cdot 713,55/1} \right]$$

$$k_{zy} = 0,94 \leq 0,97$$

$$k_{zy} = 0,94$$

$$\frac{18,16}{0,74 \cdot 713,55/1} + 0,98 * \frac{3,99}{0,32 * 43,98/1} + 0,54 * \frac{0,51}{9,27} = 0,34 \leq 1,0$$

$$\frac{18,16}{0,14 \cdot 713,55/1} + 0,94 * \frac{3,99}{0,32 * 43,98/1} + 0,90 * \frac{0,51}{9,27} = 0,49 \leq 1,0$$

**Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 49,78%.**

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1 SPOJ STUP-TEMELJ

#### Ulazni podaci:

$$N_{Ed} = 95,15 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{y,Ed} = 19,18 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 4,36 \text{ kN}$$

#### Osnovni materijal: S355

#### Vijci: k.v. 5.6

#### Poprečni presjek:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 171 \text{ mm}$

Širina pojasnice:  $b = 180 \text{ mm}$

Debljina pojasnice:  $t_f = 10 \text{ mm}$

Debljina hrpta:  $t_w = 6 \text{ mm}$

#### Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N_{P}^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{19,18}{0,171 - 0,01} = 120,99 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_{P}^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{18 \cdot 1}{45,30} \cdot (95,15) = -37,81 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_{P}^{*M} + N_{P}^N = -120,99 - 37,81 = -158,8 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

#### Kontrola varova

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice

$$l \approx 2 \cdot 180 = 360 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta

$$l_1 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (171 - 2 \cdot 10) = 302 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6 = 4,20 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var  $a=4 \text{ mm}$

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{360}{100} = 376,99 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 158,8 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{302}{100} = 316,25 \text{ kN} > V_{Ed} = 4,36 \text{ kN}$$

### Proračun vijaka

Odabrani vijak: M 16 ; k.v. 5.6

Uz pretpostavku vijaka M16 udaljenost  $c_{min}$  vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{min} = (2 \cdot d) + (a \cdot \sqrt{2}) = (2 \cdot 16) + (4 \cdot \sqrt{2}) = 37,66 \text{ mm}$$

Usvojeni  $c = 40 \text{ mm}$

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{19,18}{95,15} = 0,202 \text{ m}$$

Ekscentricitet

$$x_1 = c + h + \frac{t_f}{2} = 40 + 171 - \frac{10}{2} = 206 \text{ mm} = 0,206 \text{ m}$$

Ekscentricitet

$$x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 202 - \frac{171}{2} + \frac{10}{2} = 121,5 \text{ mm} = 0,122 \text{ m}$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,Sd} = \frac{x_2}{x_1} \cdot N_{Ed} = \frac{0,122}{0,206} \cdot 95,15 = 56,35 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{70,7}{1,25} = 56,56 \text{ kN} > \frac{F_{t,Sd}}{2} = \frac{56,35}{2} = 28,18 \text{ kN}$$

### Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{47,1}{1,25} = 37,68 \text{ kN} > F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = \frac{4,36}{4} = 1,09 \text{ kN}$$

(svaki vijak prenosi 1,09 kN)

Interakcija uzdužne sile i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{1,09}{37,68} + \frac{28,18}{1,4 \cdot 56,56} = 0,38 \leq 1,0$$

Iskoristivost vijaka je 38%.



## Proračun dimenzija ploče Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 171 + 2 \cdot (40 + 40) = 331 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 180 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 = 211,31 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 55 + 2 \cdot 25 = 105 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 350x250 mm

## Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = \frac{4,36}{4} = 1,09 \text{ kN} = F_{b,Sd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} = \frac{151,1}{1,25} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{1,09 \cdot 1,25 \cdot 10}{151,1} = 0,09 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$S = (350 - 171 + 10) / 2 = 94,5 \text{ mm} = 9,45 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,Sd} + N_{Ed} = 56,35 + 95,15 = 151,5 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu C(25/30):

$$f_{B,Sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{151,5}{\frac{3 \cdot 9,45 \cdot 25}{2}} = 0,43 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče:

$$M_{Sd} = F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s =$$

$$\frac{2}{3} \cdot f_{B,Sd} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{1}{3} f_{B,Sd} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{2}{3} s = \frac{2}{3} \cdot 4300 \cdot 0,09 \cdot 0,25 \cdot \frac{0,09}{2} + \frac{1}{3} \cdot 4300 \cdot 0,09 \cdot 0,25 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,09 = 3,81 \text{ kNm}$$

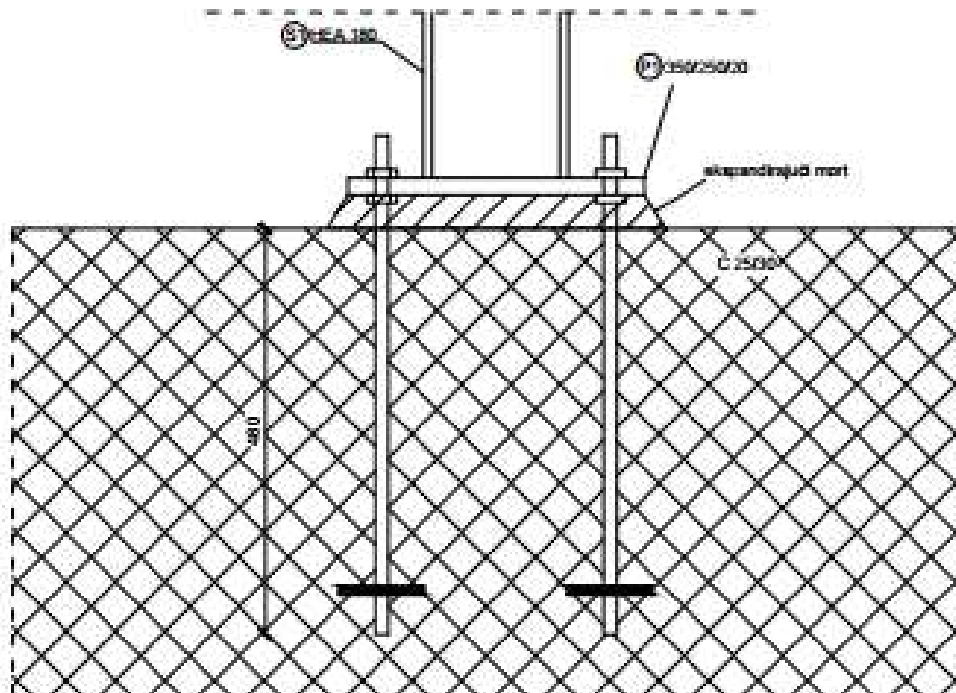
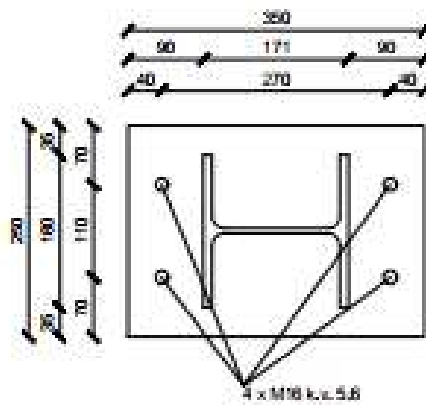
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot (c + \frac{t_f}{2}) = 56,35 \cdot 0,045 = 2,54 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 381 \cdot 6}{35,5 \cdot 25}} = 1,68 \text{ cm}$$

Debljina ploče ne smije biti manja od 10 mm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 1,68cm=16,8mm. Iz tog razloga mi odabiremo za debljinu ploče d=20 mm.

Usvojene dimenzije ploče su 350x250x200 mm



Slika 54 Spoj stup-temelj

## 6.2 SPOJ STUP-REŠETKA

$$V_{Ed} = 4,35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4,35 \text{ kN (tlak)}$$

STUP HEA 180 *Profil: CFHRS 140x140x5*

$$h = 171 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

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

$$r = 15 \text{ mm}$$

### Kontrola varova

Kontrola varova:

$$F_{w,Ed} = (V_{Ed}^2 + N_{Ed}^2)^{0,5} = (4,35^2 + 4,35^2)^{0,5} = 6,15 \text{ kN}$$

Dužina vara:

$$l = 2 \cdot b + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot 180 + 2 \cdot (171 - 2 \cdot 10) = 662 \text{ mm}$$

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

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

Za pretpostavljeni var  $a = 4,0 \text{ mm}$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{662}{100} = 693,25 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 6,15 \text{ kN}$$

### Proračun vijaka

Odabrani vijak: M 12 ; k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 4\sqrt{2} = 29,66 \text{ mm}$$

Odabrano  $c = 40 \text{ mm}$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,35}{1,25} = 20,24 \text{ kN} > F_{V,sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{4,35}{2} = 2,175 \text{ kN}$$

### Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 171 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 = 202,31 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{mi} = b + 2 \cdot (c + e_1) = 180 + 2 \cdot (40 + 30) = 320 \text{ mm}$$

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

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su **220x320mm**

**Proračun debljine ploče**

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{4,35}{2} = 2,175 \text{ kN} = F_{b,sd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} = \frac{117,7}{1,25} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{1,09 \cdot 1,25 \cdot 10}{117,7} = 0,12 \text{ mm}$$

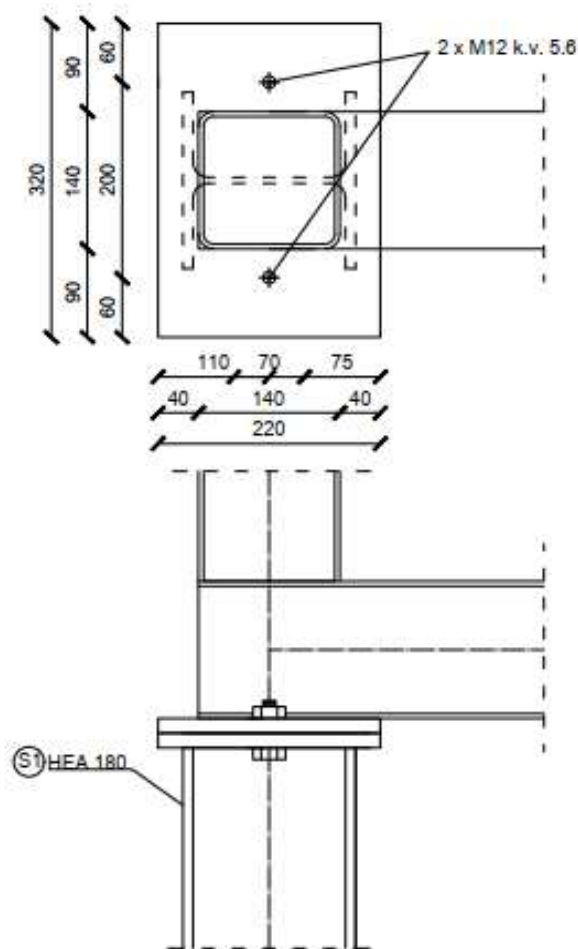
**Savijanje ploče od vlačnih vijaka:**

$$M_{Sd} = F_{t,sd} \cdot c = 56,35 \cdot 0,040 = 2,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 225 \cdot 6}{35,5 \cdot 25}}$$

$$= 1,29 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 220x320x15 mm.



Slika 55 Spoj stup-rešetka

### 6.3 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

$$N_{Ed} = 366,14 \text{ kN}$$

Profil- CFHRS 140x140x5

#### Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara

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

Za pretpostavljeni var  $a = 3,0 \text{ mm}$

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 0 = 2 \cdot 140 + 2 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98,1}{1,25} \cdot \frac{560}{100} = 439,49 \text{ kN} > N_{Ed} = 366,14 \text{ kN}$$

#### Proračun vijaka

Pretpostavka M22 k.v. 5.6.

$N = 4$  vijaka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{136,4}{1,25} = 109,12 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{366,14}{4} = 91,54 \text{ kN}$$

$$60,58 / 88,24 = 0,686$$

#### Proračun dimenzija ploče

##### Proračun širine i dužine ploče

$$c = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 3 \cdot \sqrt{2} = 48,24 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 140 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 168,49 \text{ mm}$$

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

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 300x300mm.

##### Proračun minimalne debljine ploče:

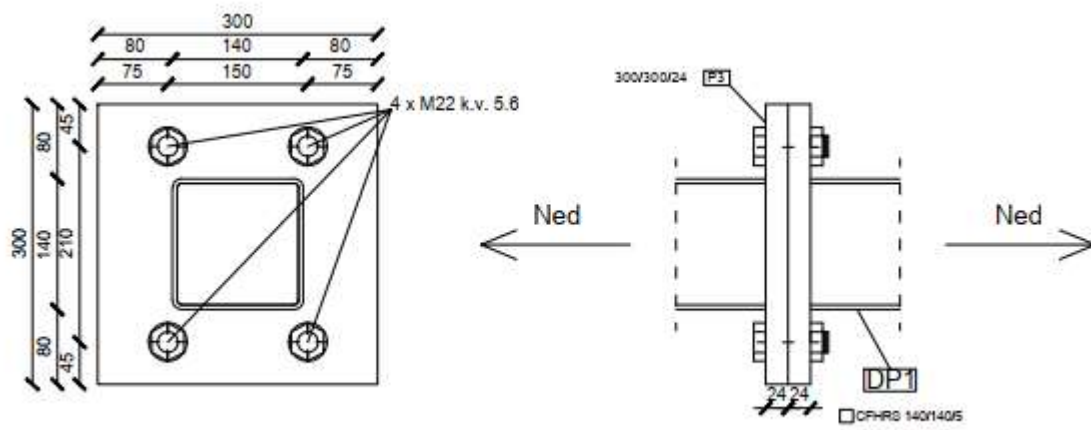
$e = 50 \text{ mm}$

$b_{pl} = 300 \text{ mm}$

$$M_{Sd} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 91,54 \cdot 0,050 = 9,15 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 915 \cdot 6}{35,5 \cdot 30}} = 2,38 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 300x300x24mm.



Slika 56 Vlačni nastavak rešetke

## 7. PRORAČUN TEMELJA

### ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA:

$L=2,0$  m

$B=2,0$  m

$H=1,0$  m

### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

- moment savijanja  $M_{Ed}=16,08$  kNm
- poprečna sila  $V_{Ed}=7,84$  kN
- uzdužna sila  $N_{Ed}=54,33$  kN (tlak)

### ***Osnovni podaci o temelju***

$N = -54,33$  kN (tlak)

$T_y = 7,84$  kN

$M_y = 16,08$  kN

C 12/16

$f_{ck} = 1,20$  kN/cm<sup>2</sup>

$\tau_{rd} = 0,018$  kN/cm<sup>2</sup>

MA 500/560

$f_{yk} = 50$  kN/cm<sup>2</sup>

$\gamma_c = 1,50$ ,  $\gamma_s = 1,15$

$\sigma_{tla, dop.} = 400,00$  kN/m<sup>2</sup>

$b_x = 80,0$  cm

$b_y = 80,0$  cm

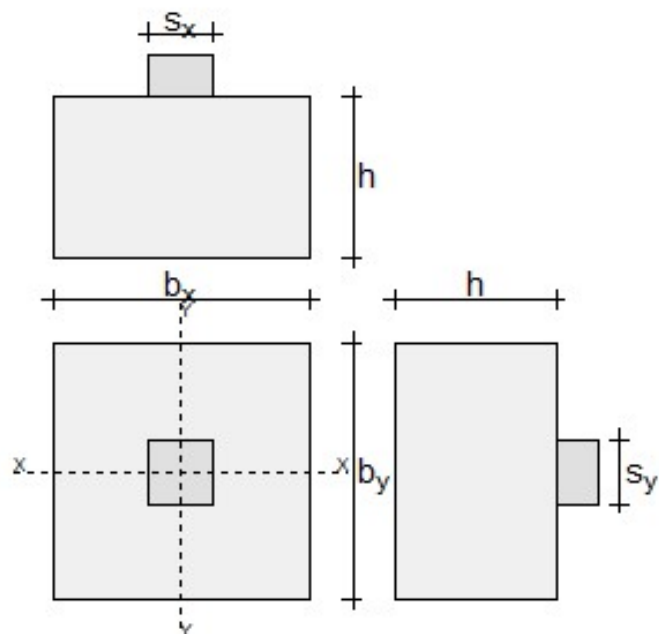
$h = 50,0$  cm

$s_x = 20,0$  cm

$s_y = 20,0$  cm

$L_x = 0,0$  cm

$L_y = 0,0$  cm



### Proračun temelja

$$A = 0,64 \text{ m}^2$$

$$W_x = 0,09 \text{ m}^3$$

$$W_y = 0,09 \text{ m}^3$$

$$e_x = -29,60 \text{ cm}$$

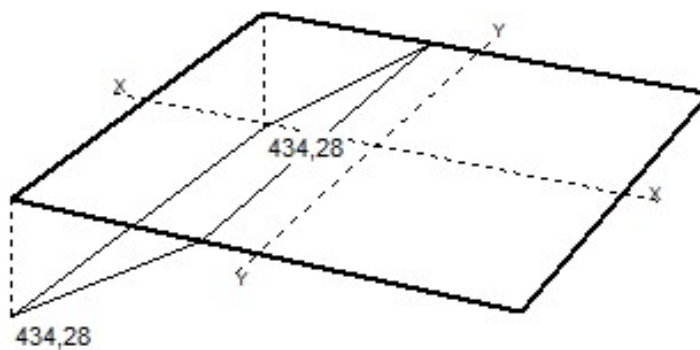
$$e_y = 0,00 \text{ cm}$$

$$\sigma_2 = 434,28 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 = 434,28 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{a,x} = 0,91 \text{ cm}^2$$

$$A_{a,y} = 0,38 \text{ cm}^2$$

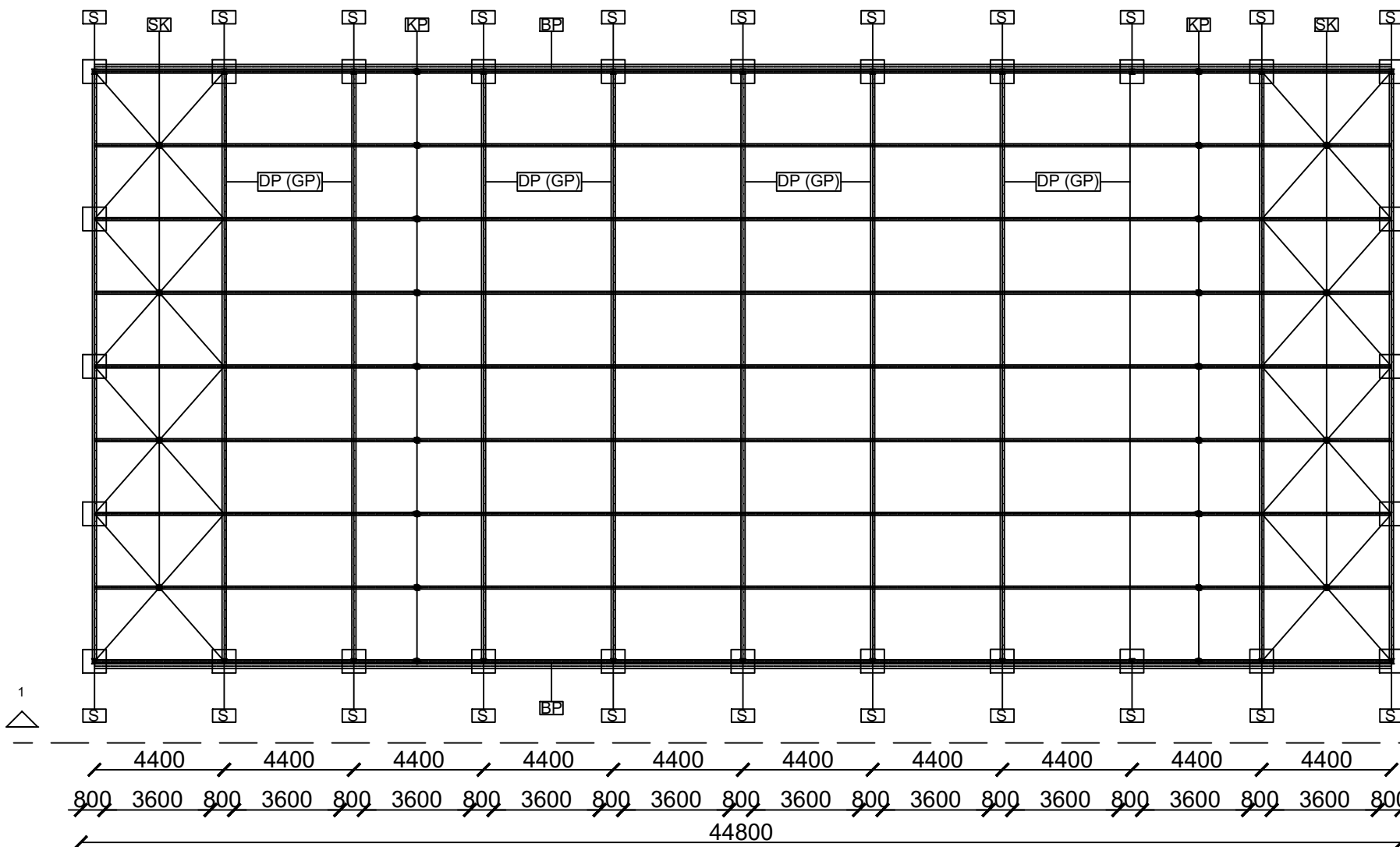




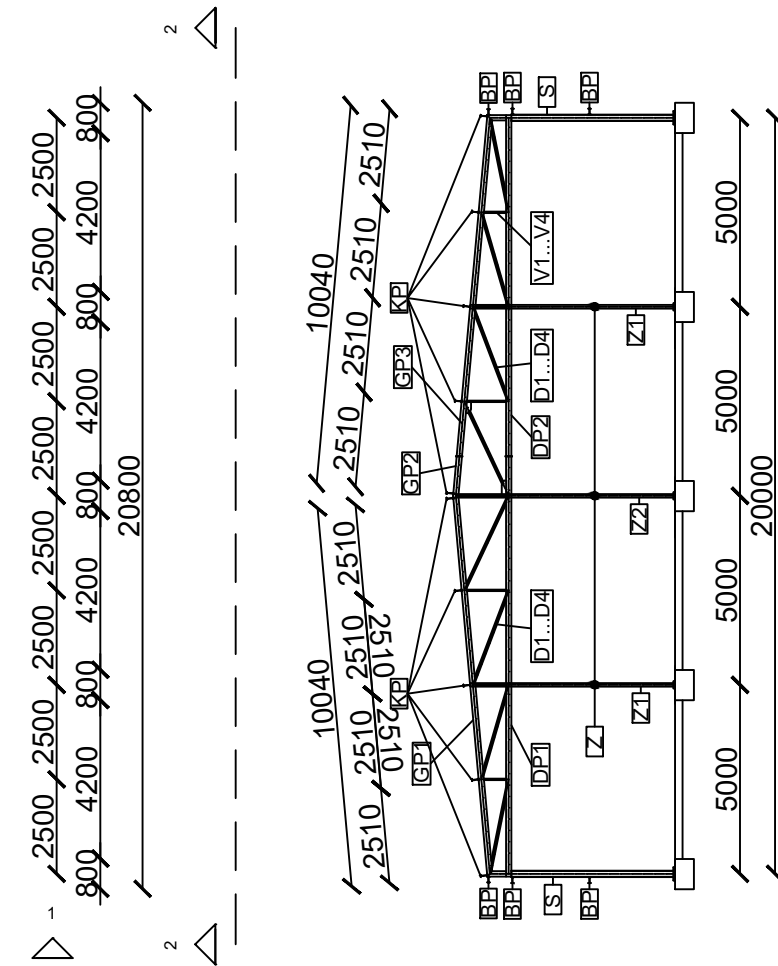
## **8. NACRTI**

# 8.1 GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

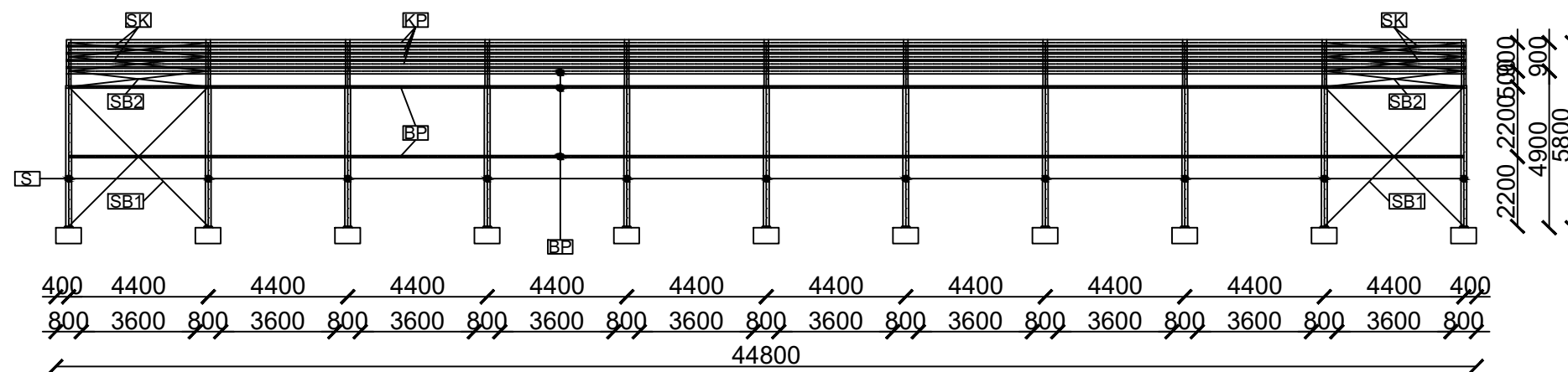
TLOCRTNI POGLED




BOČNI POGLED (2-2)



UZDUŽNI POGLED (1-1)



| PRIKAZ I OPIS POZICIJA |           |                                       |
|------------------------|-----------|---------------------------------------|
| POZICIJA               | PROFIL    | NAZIV                                 |
| STUP (S)               | HEA 180   | Stup glavne konstrukcije              |
| DONJI POJAS (DP)       | 140/140/5 | Donji pojas krovne rešetke            |
| GORNJI POJAS (GP)      | 140/140/5 | Gornji pojas krovne rešetke           |
| VERTIKALE (V)          | 30x30x3   | Vertikalne ispune krovne rešetke      |
| DIJAGONALE (D)         | 60x60x4   | Dijagonalne ispune krovne rešetke     |
| KROVNA PODR. (KP)      | IPE 180   | Sekundarna krovna konstrukcija        |
| BOČNA PODR. (BP)       | IPE 160   | Sekundarna bočna konstrukcija         |
| ZABAT (Z)              | HE 100    | Sekundarna konstrukcija na zabtu hale |
| KROVNI SPREG (SK)      | RD 14     | Krovna dijagonala vjetrovnog sprega   |
| BOČNI SPREG (SB)       | RD 14     | Bočna dijagonala vjetrovnog sprega    |



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
 GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

**Osnove metalnih konstrukcija**

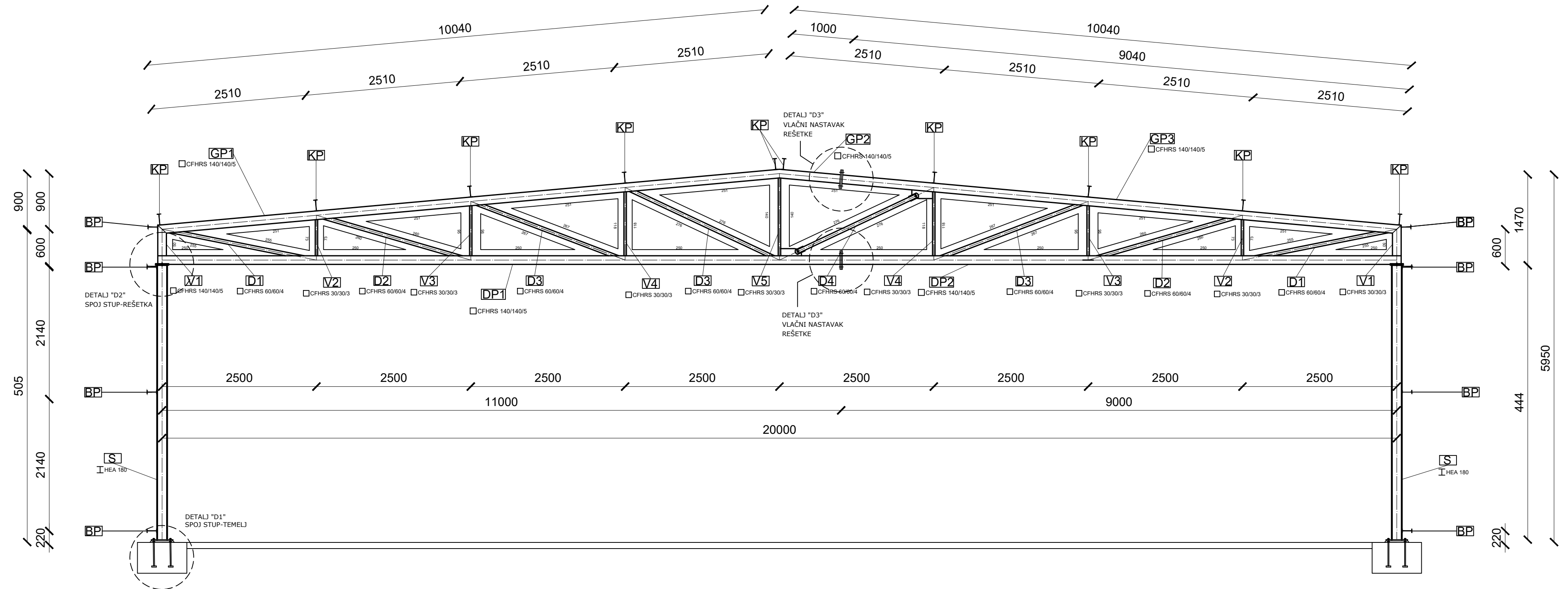
TEMA: **PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE**

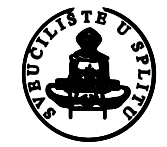
STUDENT: **Barbara Živković**

SADRŽAJ: **Generalni plan pozicija**      MJERILO: **1:200**

DATUM: **rujan 2020.**      BROJ PRILOGA: **1**

## 8.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50

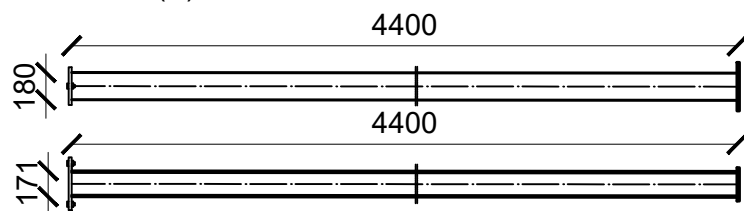


|  |  |                 |
|--|--|-----------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>         GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>         21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | <b>Osnove metalnih konstrukcija</b>          |                 |
|  | TEMA<br>PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |                 |
|  | STUDENT<br>Barbara Živković                  |                 |
|  | SADRŽAJ<br>Presjek kroz glavni okvir         | MJERILO<br>1:50 |
| DATUM<br>rujan 2020.   | BROJ PRILOGA<br>2                            |                 |

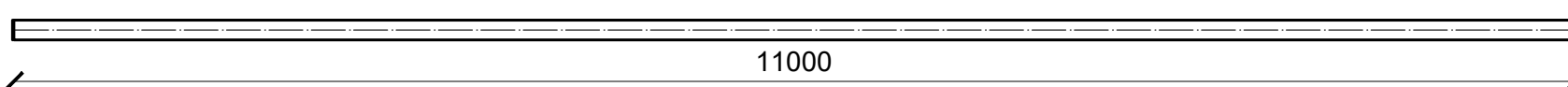
# 8.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

## M 1:50

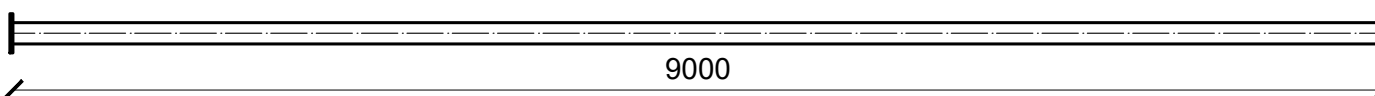
STUP (S) HEA 180, l=4400mm



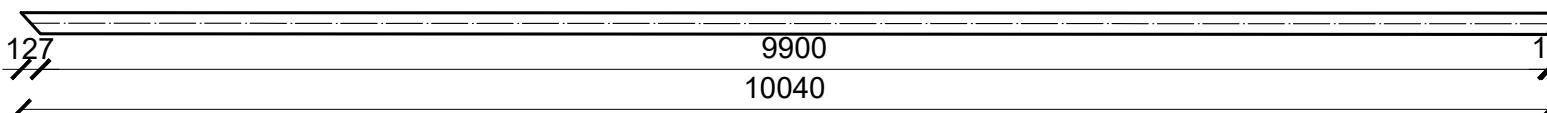
DONJI POJAS (DP1) CFHRS 140/140/5, l=11000mm



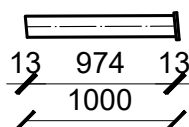
DONJI POJAS (DP2) CFHRS 140/140/5, l=9000mm



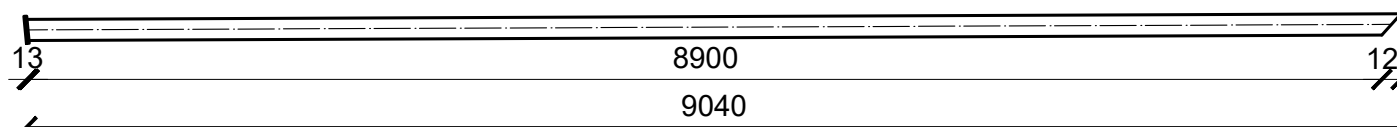
GORNJI POJAS (GP1) CFHRS 140/140/5, l=10040mm



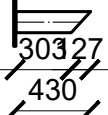
GORNJI POJAS (GP2)  
CFHRS 140/140/5, l=1000mm



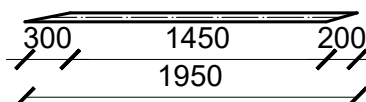
GORNJI POJAS (GP3) CFHRS 140/140/5, l=9040mm



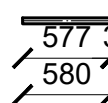
VERTIKALA (V1)  
CFHRS 140/140/5, l=430mm



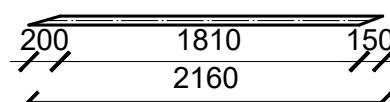
DIJAGONALA (D1) CFHRS 60/60/4, l=1950mm



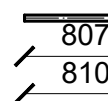
VERTIKALA (V2)  
CFHRS 40/40/4, l=580mm



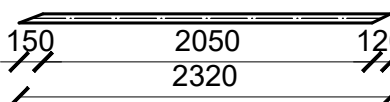
DIJAGONALA (D2) CFHRS 60/60/4, l=2160mm



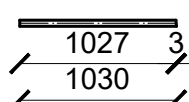
VERTIKALA (V3)  
CFHRS 40/40/4, l=810mm



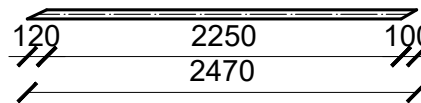
DIJAGONALA (D3) CFHRS 60/60/4, l=2320mm



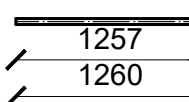
VERTIKALA (V4)  
CFHRS 40/40/4, l=1030mm



DIJAGONALA (D4) CFHRS 60/60/4, l=2470mm



VERTIKALA (V5)  
CFHRS 40/40/4, l=1260mm



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA  
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT  
Barbara Živković

SADRŽAJ  
Radionički nacrt glavnog nosača

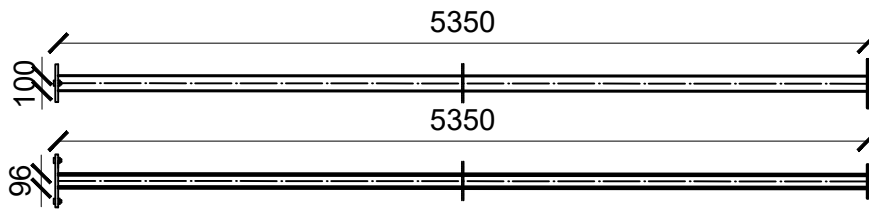
MJERILO  
1:50

DATUM  
rujan 2020.

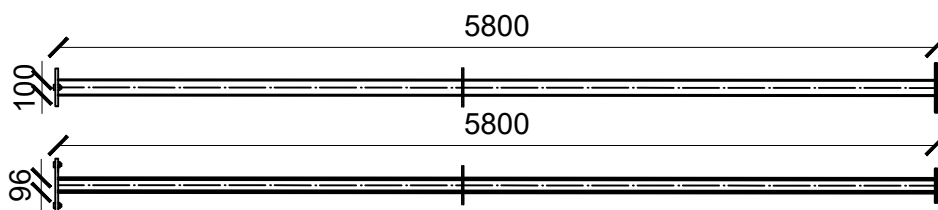
BROJ PRILOGA  
3

## 8.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50

ZABATNI STUP (Z1) HE 100, l=5350mm, kom=2

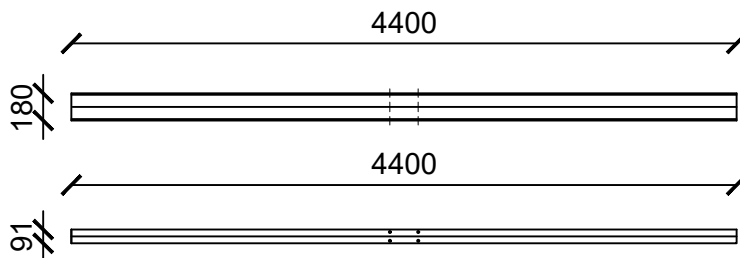


ZABATNI STUP (Z2) HE 100, l=5800mm, kom=1



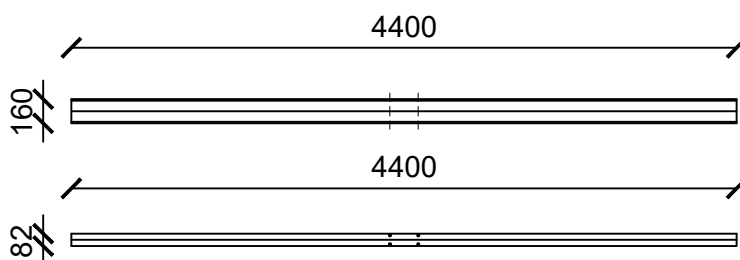
### KROVNA SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA


PODROŽNICA (KP) I IPE 180, l=4400 mm, kom=100



### BOČNA SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

PODROŽNICA (BP) I IPE 160, l=4400 mm, kom=60

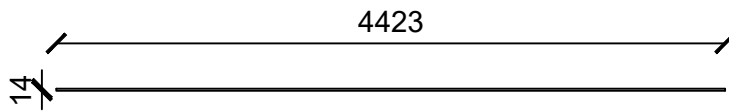


|  |                              |                                      |
|--|------------------------------|--------------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Osnove metalnih konstrukcija |                                      |
|  | TEMA                         | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
|  | STUDENT                      | Barbara Živković                     |
|  | SADRŽAJ                      | Radionički nacrt sekundarnog nosača  |
| DATUM  | rujan 2020.                  | MJERILO<br>1:10                      |
|  |                              | BROJ PRILOGA<br>4                    |

## 8.5 RADIONIČKI NACRT SPREGOVA M 1:50

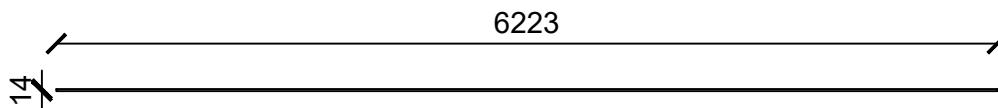
### KROVNI SPREGOVI

KROVNI SPREG (SK)  $\text{O}\varnothing 14$ ,  $l=4423$  mm, kom=16

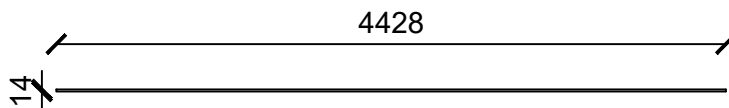



### BOČNI SPREGOVI

BOČNI SPREG (SB1)  $\text{O}\varnothing 14$ ,  $l=6223$  mm, kom=8

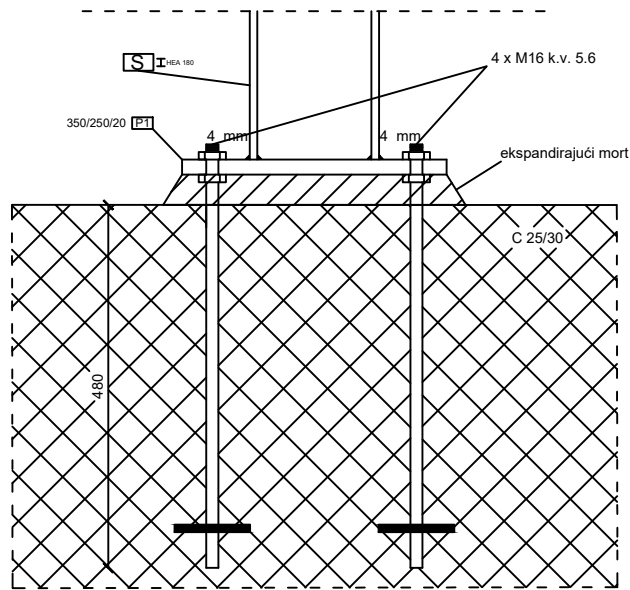
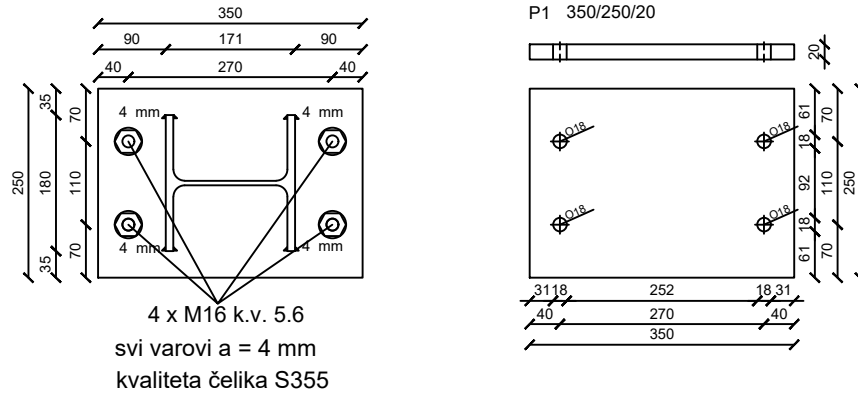


BOČNI SPREG (SB2)  $\text{O}\varnothing 14$ ,  $l=4428$  mm, kom=8

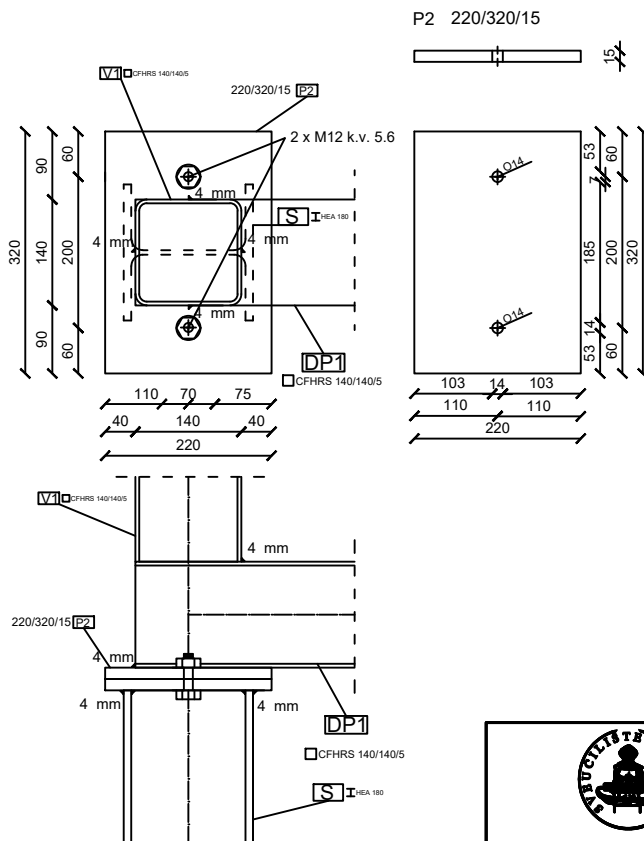


|  |                              |                                      |      |
|--|------------------------------|--------------------------------------|------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Osnove metalnih konstrukcija |                                      |      |
|  | TEMA                         | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |      |
|  | STUDENT                      | Barbara Živković                     |      |
|  | SADRŽAJ                      | Spregovi                             |      |
| DATUM  | rujan 2020.                  | MJERILO                              | 1:10 |
|  |                              | BROJ PRILOGA                         | 5    |

8.6 DETALJ "D1" SPOJA STUP-TEMELJ  
M 1:10



8.7 DETALJ "D2" SPOJ STUP-REŠETKA  
M 1:10

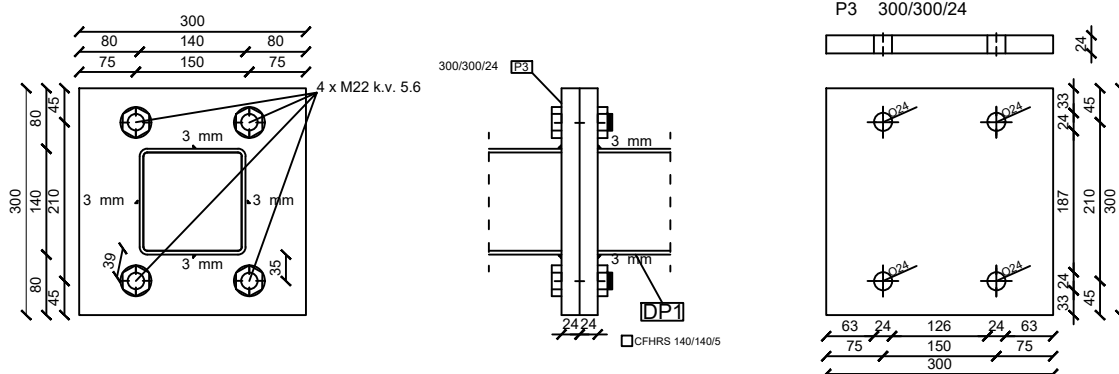


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

|                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Osnove metalnih konstrukcija |                                      |
| TEMA                         | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
| STUDENT                      | Barbara Živković                     |
| SADRŽAJ                      | Detalji spojeva                      |
| MJERILO                      | 1:10                                 |
| BROJ PRILOGA                 | 6                                    |
| DATUM                        | rujan 2020.                          |

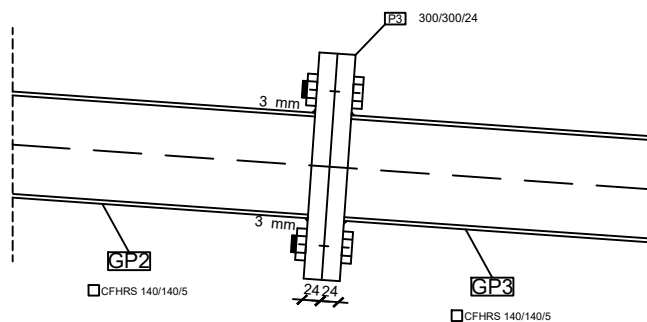
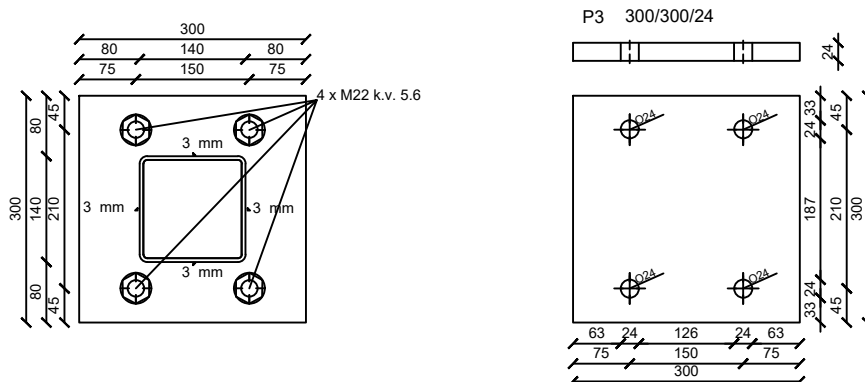
## 8.8 DETALJ "D3" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10


### NASTAVAK DONJEG POJASA



### DETALJ "D3" SPOJ STUP-REŠETKA M 1:10

#### NASTAVAK GORNJEG POJASA



|  |  |                  |
|--|--|------------------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | <b>Osnove metalnih konstrukcija</b>          |                  |
|  | TEMA<br>PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |                  |
|  | STUDENT<br>Barbara Živković                  |                  |
|  | SADRŽAJ<br>Detalji spojeva                   | MJERILO<br>1:10  |
|  | DATUM<br>rujan 2020.                         | BRJ PRILOGA<br>7 |



# 9.ISKAZ MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

| Element    | Pop. presjek | Površina (mm <sup>2</sup> ) | Duljina (mm) | Masa (kg/m') | Broj komada | Masa (kg)    |
|------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| S          | HEA 180      | 4530                        | 4400         | 35,56        | 22          | 3442,21      |
| DP1        | 140/140/5    | 2636                        | 11000        | 20,69        | 11          | 2503,49      |
| DP2        | 140/140/5    | 2636                        | 9000         | 20,69        | 11          | 2048,31      |
| GP1        | 140/140/5    | 2636                        | 10040        | 20,69        | 11          | 2285,00      |
| GP2        | 140/140/5    | 2636                        | 1000         | 20,69        | 11          | 227,59       |
| GP3        | 140/140/5    | 2636                        | 9040         | 20,69        | 11          | 2057,41      |
| V1         | 140/140/5    | 2636                        | 430          | 20,69        | 22          | 195,73       |
| V2         | 40x40x4      | 535                         | 580          | 4,19         | 22          | 53,46        |
| V3         | 40x40x4      | 535                         | 810          | 4,19         | 22          | 74,67        |
| V4         | 40x40x4      | 535                         | 1030         | 4,19         | 22          | 94,95        |
| V5         | 40x40x4      | 535                         | 1260         | 4,19         | 11          | 58,07        |
| D1         | 60x60x4      | 855                         | 1950         | 6,71         | 22          | 287,86       |
| D2         | 60x60x4      | 855                         | 2160         | 6,71         | 22          | 318,86       |
| D3         | 60x60x4      | 855                         | 2320         | 6,71         | 22          | 342,48       |
| D4         | 60x60x4      | 855                         | 2470         | 6,71         | 22          | 364,62       |
| V2         | 40x40x4      | 535                         | 580          | 4,19         | 22          | 53,46        |
| V3         | 40x40x4      | 535                         | 810          | 4,19         | 22          | 74,67        |
| V4         | 40x40x4      | 535                         | 1030         | 4,19         | 22          | 94,95        |
| V5         | 40x40x4      | 535                         | 1260         | 4,19         | 11          | 58,07        |
| Z1         | HE 100       | 2120                        | 5350         | 16,64        | 2           | 178,05       |
| Z2         | HE 100       | 2120                        | 5800         | 16,64        | 1           | 96,51        |
| SK         | RD 14        | 154                         | 4423         | 1,21         | 16          | 85,63        |
| SB1        | RD 14        | 154                         | 6223         | 1,21         | 8           | 60,24        |
| SB2        | RD 14        | 154                         | 4428         | 1,21         | 8           | 42,86        |
| KP         | IPE 180      | 2390                        | 4400         | 18,76        | 22          | 1815,97      |
| BP         | IPE 160      | 2010                        | 4400         | 15,78        | 22          | 1527,50      |
|            |              |                             |              |              | ∑ =         | 18161,47     |
| Spoj.sred. |              |                             |              |              |             | (363,23) +2% |
|            |              |                             |              |              | ∑ =         | 18524,69     |

|                           |
|---------------------------|
| Masa (kg/m <sup>2</sup> ) |
| 17,45                     |