

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

Kalcina, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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:123:138214>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Iva Kalcina**

**Split, 2019.**

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

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

**Završni rad**

**Split, 2019.**

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Iva Kalcina

BROJ INDEKSA: 4417

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka: Za zadane ulazne podatke bilo je potrebno izvršiti analizu opterećenja, dimenzionirati nosive elemente konstrukcije, te dimenzionirati spojeve konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal izrade: S235

Lokacija objekta: Osijek

Razmak okvira: 5,4 m

Širina objekta: 19,2 m

Visina stupova: 4,8 m

Nagib krovne plohe: 9%

U Splitu, 23.09.2019.

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

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

### **Sažetak:**

Prema dobivenim ulaznim podacima izvršena je analiza opterećenja, te su dimenzionirani glavni i sekundarni nosivi dijelovi čelične konstrukcije. Analiza opterećenja i dimenzioniranje su proračunati prema Eurocode-u. Čelična konstrukcija ima raspon glavnog nosača od 19,2 m te deset uzdužnih raspona s na razmaku od 5,4 m, što čini ukupnu dužinu od 54 m.

### **Ključne riječi:**

Opterećenje, dimenzioniranje, eurocode, glavni nosač, sekundarni nosač, čelik.

## **Design of a steel manufacturing hall**

### **Abstract:**

According to input data it was calculated load analysis and the main and secondary load-bearing parts of the steel structure are dimensioned. Load analysis and dimension analysis were calculated according to Eurocode. Steel structure have main load-bearing span of 19,2 m in one way and ten range at distance of 5,4 m in other way, what making a total lenght of 54 m.

### **Keywords:**

Load, dimension, eurocode, main load-bearing structure, secondary load-bearing structure, steel.

## SADRŽAJ

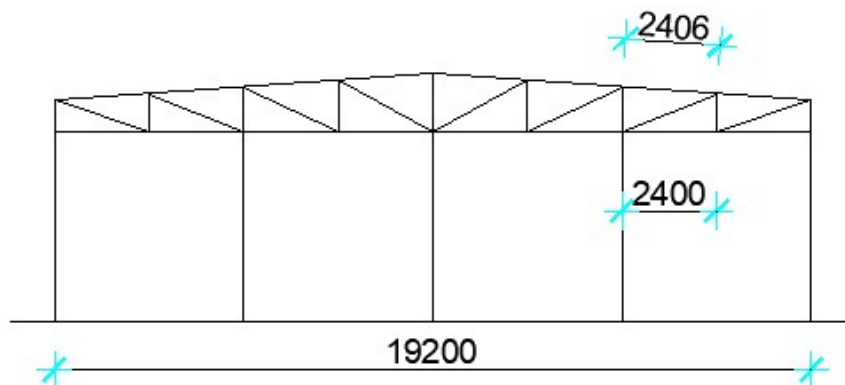
|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. TEHNIČKI OPIS.....                                   | 1  |
| 1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI .....                       | 3  |
| 1.2.2. STUPOVI.....                                     | 3  |
| 1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ.....                            | 4  |
| 1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE .....                        | 5  |
| 1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....              | 6  |
| 2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....                            | 7  |
| 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE .....                      | 8  |
| 2.3. DJELOVANJE VJETRA.....                             | 9  |
| 3. KONTROLA PROGIBA .....                               | 17 |
| 3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB .....                    | 18 |
| 4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA..... | 19 |
| 4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W2.....              | 20 |
| 4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1.....              | 21 |
| 4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....                       | 23 |
| 4.2.1. ZABATNI STUPOVI.....                             | 23 |
| 4.2.2. KROVNI .....                                     | 25 |
| 4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI.....                 | 26 |
| 4.2.4. KROVNE PODROŽNICE .....                          | 28 |
| 4.2.5. BOČNE PODROŽNICE .....                           | 32 |
| 5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....         | 34 |
| 5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA .....             | 43 |
| 5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA .....             | 47 |
| 5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA .....                  | 51 |
| 5.1.5. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA .....                 | 55 |
| 5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....                       | 59 |
| 5.2.2. ZABATNI STUPOVI.....                             | 64 |
| 5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA .....          | 68 |

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA.....                            | 72  |
| 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA .....                                | 74  |
| 6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....                               | 80  |
| 6.3. SPOJ STUP-REŠETKA.....                                     | 83  |
| 7. PRORAČUN TEMELJA .....                                       | 88  |
| 8. LITERATURA .....                                             | 90  |
| 9. POPIS TABLICA I SLIKA.....                                   | 91  |
| 9.2. POPIS TABLICA .....                                        | 93  |
| 10. NACRTI .....                                                | 94  |
| 10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200 .....                     | 95  |
| 10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50 .....                    | 96  |
| 10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10.....                               | 97  |
| 10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50 .....              | 98  |
| 10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50.....      | 99  |
| 10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10 .....                               | 100 |
| 10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU ..... | 101 |

## 1. TEHNIČKI OPIS

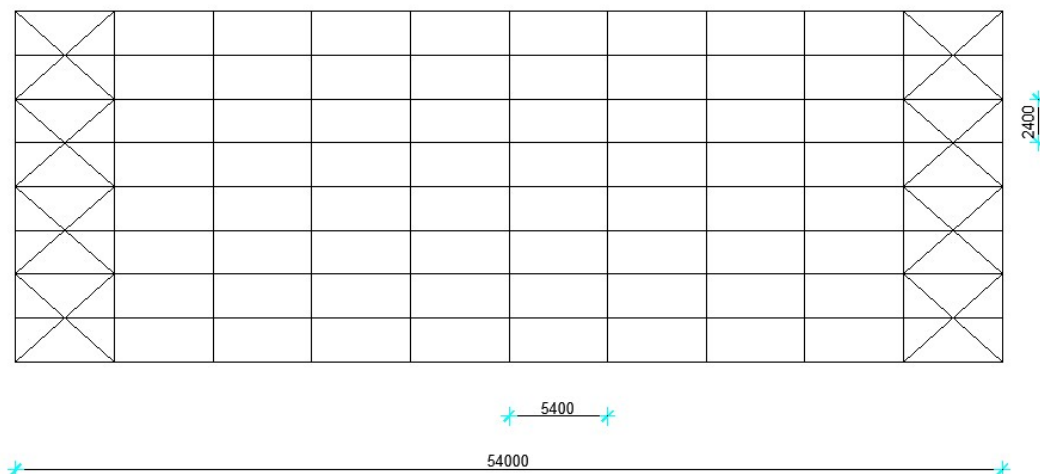
### 1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimenzije su 19.2 x 54.0 m, a visina iznosi 6.46 m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 5.14^\circ$ , što je ekvivalentno nagibu od 9%. Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1 Prikaz glavnog nisača

Glavni nosivi sustav zamišljen je kao sustav 11 ravninskih okvira raspona 19.2 m, stabilnih u svojoj ravlini na međusobnom osnom razmaku od 5.4 m.



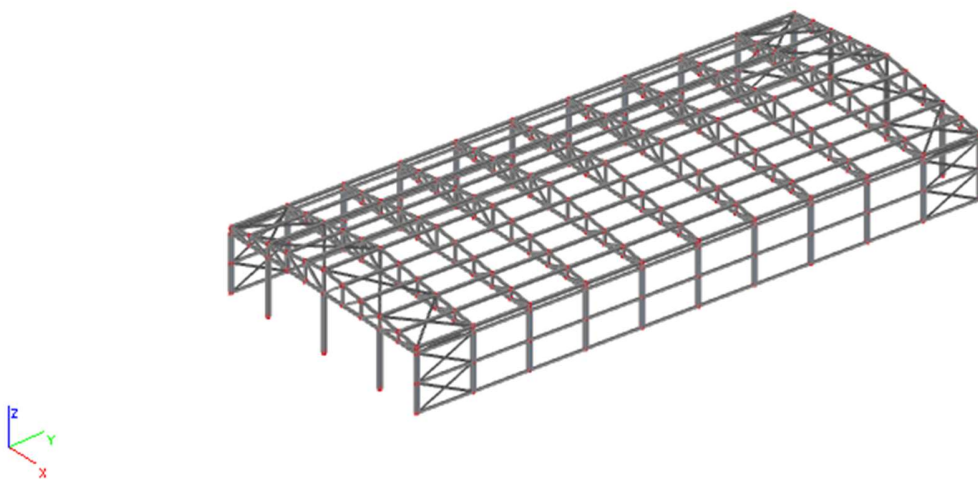
Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (krovne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.406 m, a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.4 m.

Stabilizacija hale u smjeru I u 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.

Stupovi i grede su nosači međusobno spojeni zglobnim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je upetom vezom.



Slika 3 Prostorni prikaz konstrukcije

## 1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

### 1.2.1. GREDE (gornji i donji pojas)

Proračunom su odabrani (zadovoljavaju GSN i GSU) kvadratni šuplji hladno oblikovani profili CFRHS 150x150x5.0.

Gornji pojas je ukupne dužine (do sljemena) 9623 mm, a donji pojas je ukupne dužine 19 200mm. Spojevi su pozicionirani na mjestima najvećih vlačnih sila.

### 1.2.2. STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi I profila, tipa HEA 200 ukupne dužine 4800 mm. Zabatni stupovi su I profila, tipa HEA 100 na razmacima 4,8 m. Odabrani profil stupa zadovoljava pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja, točnije pomaci stupa su manji od dopuštenih pomaka.

### 1.2.3. ISPUNA REŠETKE (Vertikale i dijagonale)

Proračunom je odabrane (zadovoljavaju GSN i GSU) za vertikale CFRHS 80x80x5, a za dijagonale šuplji hladno oblikovani profil CFRHS 80x80x5. Kako dijagonale tako i vertikale su izrađene u jednom komadu. Spoj sa gornjim odnosno donjim pojasom ostvaren je zavarom.

### 1.2.4. SEKUNDARNI NOSAČI

Sekundarni krovni nosači (krovne podrožnice) prenose opterećenje sa krovne plohe na glavni nosač sustav. Krovne podrožnice su I profili, tipa IPE 240. Projektirane su kao proste grede (od nosača do nosača) dužine su 5400mm, nalaze su u dvoosnom stanju naprezanja.

Sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) prenose opterećenje sa zidova konstrukcije, ali ne i težinu fasadne obloge zbog toga što je ona upeta u tlo te „nosi samu sebe“.

Bočna podrožnica projektirana je kao prosta greda (od stupa do stupa) ukupne dužine 5400mm.

### **1.2.5. SPREGOVI**

U konstrukciji su korišteni horizontalni (krovni) i vertikalni (bočni) spregovi za prostornu stabilizaciju objekta. Služe za prijenos horizontalnih (vjetrovnih) sila preko konstrukcije na temelje objekta. Polja za vertikalni i horizontalno ukrućenje smješteni su u prvom i posljednjem polju konstrukcije. Za spregove koristimo okrugli puni presjek, za krovne spregove profil RD 12, a za bočne spregove profil RD 12.

### **1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ**

Spoje se ostvaruje podložnom pločicom dimenzije 350/240/20 mm navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16 k.v. 5,6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano betonski temelj dimenzija 2.0x2.0x1.5m. Između armirano betonskog temelja i podložne pločice podlijeva se ekspandirajući mort.

### **1.2.7. SPOJ STUP-REŠETKA**

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzije 350x240x20 mm, ukrutom i vijcima M20 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

### **1.2.8. NASTAVAK REŠETKE**

Vlačni nastavak rešetke se ostvaruje čeonom pločom dimenzija 272x272x20 mm i vijcima M20 k.v. 8,8 nosivim na vlak i odrez.

### 1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na konstrukciju. Uzimamo u obzir stalna i promjenjiva opterećenja.

STALNA OPTEREĆENJA: - vlastita težine konstrukcije

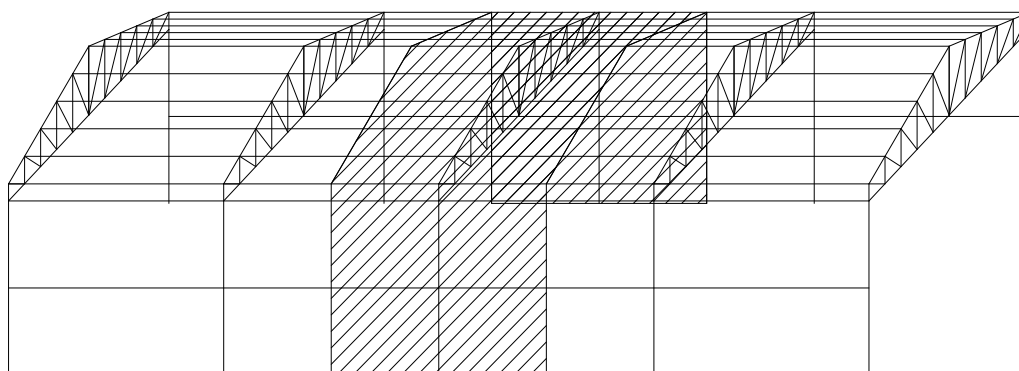
- instalacije

- pokrov

PROMJENJIVA OPTEREĆENJA: - snijeg

- vjetar (tlačno i podtlačno djelovanje)

Analiza je provedena na jednoj reprezentativnoj ravninskoj rešetki (rešetka koja preuzima najveći dio opterećenja).



Slika 4 Princip preuzimanja opterećenja

Proračun konstrukcije izvršen je u inženjerskom programu „SCIA Engineer 2018.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao proste grede obostrano zgloбно pridržane.

Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

## 1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni rešetkasti okvir, sekundarne konstrukcije, stupovi, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika (standardne kvalitete) S235.

Računske vrijednosti koeficijenta čelika su:

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

$$G\approx 81\,000\text{ N/mm}^2$$

$$\nu=0.3$$

$$f_y=235\text{ N/mm}^2 \text{ za } t\leq 40\text{ mm}$$

$$f_y=235\text{ N/mm}^2 \text{ za } 40\text{ mm}\leq t\leq 80\text{ mm}$$

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s armaturnim čelikom B500B.

## 1.5. PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije 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 |

## 1.6. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama

„Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije“.

Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom.

Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200  $\mu\text{m}$ .

## 1.7. ZAŠTITA OD POŽARA

U svrhu produljenja zagrijavanja konstruktivnih elemenata predmete 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.

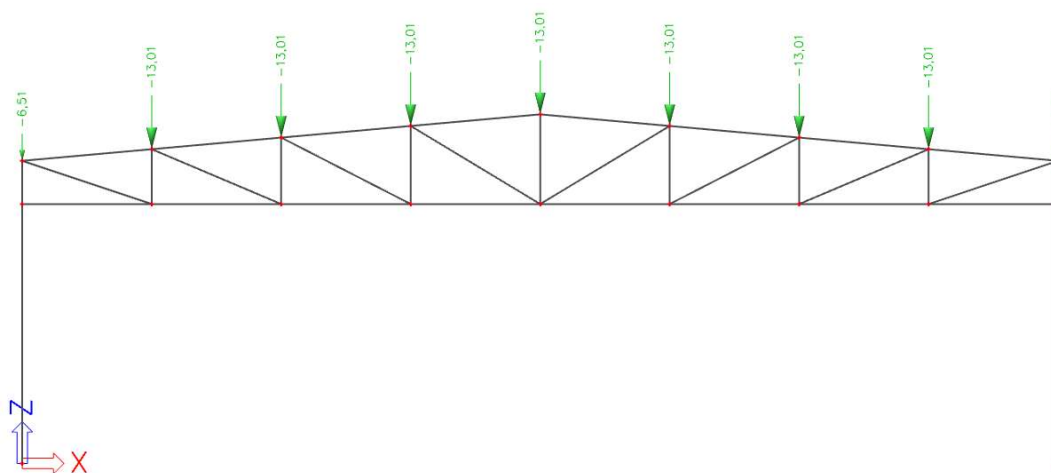
## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (REŠETKASTI NOSAČ) STALNO OPTEREĆENJE

|                                     |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|
| -sendvič paneli (aluminij)          | 0.2 kN/m <sup>2</sup> |
| -sekundarna konstrukcija i spregovi | 0.6 kN/m <sup>2</sup> |
| -instalacije                        | 0.2 kN/m <sup>2</sup> |

UKUPNO:  $\Sigma=1.0\text{N/m}^2$

$$G_{kp} = 1 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,4\text{m} = 5,4 \text{ kN/m'}$$



Slika 5 Djelovanje stalnog opterećenja na glavni nosač

## 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

### DJELOVANJE SNIJEGA

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

$\mu_i$ - koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ovisi o obliku i nagibu krova, te o nadmorskoj visini, očitano iz dijagrama)

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

$C_e$ -koeficijent izloženosti (usvojena vrijednost 1.0)

$C_t$ -toplinski koeficijent (usvojena vrijednost 1.0)

$$\alpha = 5.14^\circ \rightarrow \mu_i = 0.8$$

Lokacija objekta: Osijek

Nadmorska visina: 0-100 m n.m.

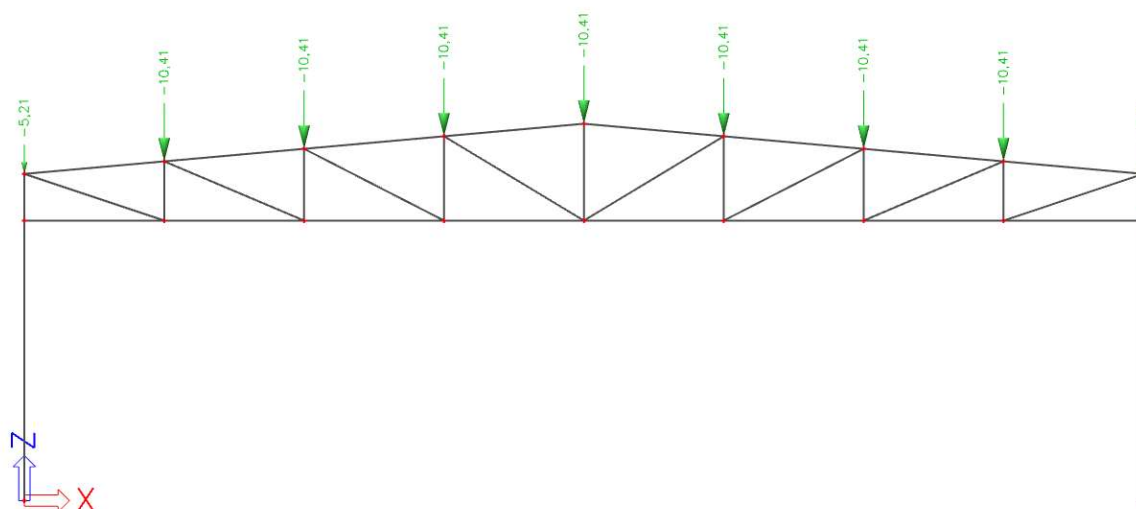
Opterećenje snijegom na tlo:  $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1.0 \cdot 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0.8 \cdot 5.4 = 4.32 \text{ kN}$$

$$\frac{S}{2} = \frac{4.32}{2} = 2.16 \text{ kN}$$



Slika 6 Opterećenje glavnog nosača snijegom

## 2.3. DJELOVANJE VJETRA

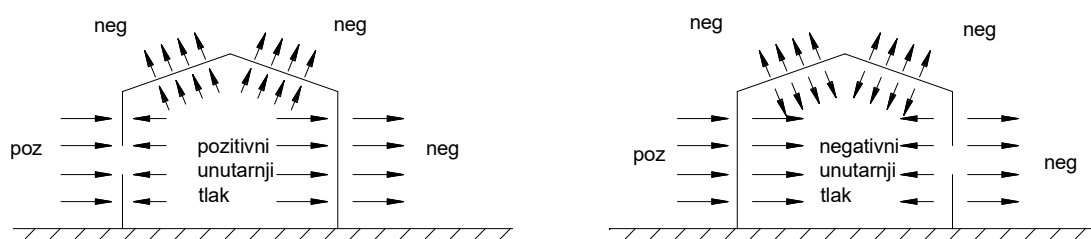
-Pritisak vjetra na vanjske površine  $w_e = q_p \cdot |z_e| \cdot C_{pe}$  [kN/m<sup>2</sup>]

-Pritisak vjetra na unutarnje površine  $w_i = q_p \cdot |z_i| \cdot C_{pi}$  [kN/m<sup>2</sup>]

$q_p|z_{e(i)}|$  - pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_{e(i)}$  - referentna visina za vanjski (unutarnji) pritisak

$C_{pe}$  - koeficijent pritiska za vanjski udar



Slika 7 Smjer pozitivnog i negativnog djelovanja vjetra

$C_{pi}$  - koeficijent pritiska za unutarnji udar

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

$\rho$  - gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa 1.25 kg/m<sup>3</sup>)

$v_b$  - osnovna brzina vjetra

Osnovna brzina vjetra se računa prema izrazu:  $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,o}$

$v_{b,o}$  - fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra (očitava se iz karte)

$c_{dir}$  - faktor smjera vjetra (usvojena vrijednost 1.0)

$c_{season}$  - faktor doba godine (usvojena vrijednost 1.0)

$v_{b,o}$  - 20 m/s (za područje Osijeka očitano iz karte)

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 20 = 20 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20^2 = 0.250 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje faktora izloženosti:

Visina objekta  $h=6,46\text{m}$

Kategorija zemljišta II

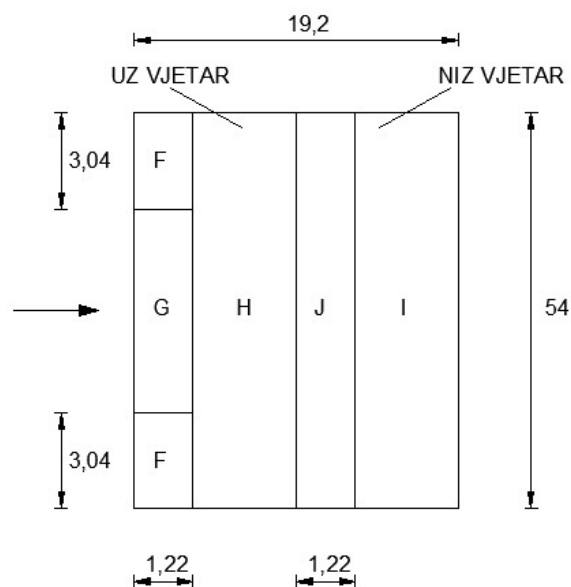
$C_{e(z)}=2.05$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = (1 + 7 * 0,326) * \frac{1}{2} * 1,25 * 121 = 0.248 \text{ kN/m}^2$$

ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KOSOG KROVA  $\Theta=0$

$$e=\min(b,2h)\rightarrow(54,12.92)\rightarrow e=12.92$$



Slika 8 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba  $\alpha=5.14^\circ$ , za područje dvostrešnog kosog krova  $\Theta=0$  (određeno interpolacijom iz tablice između  $5^\circ$  i  $15^\circ$ )

| PODRUČJE    | F    | G    | H    | I    | J    |
|-------------|------|------|------|------|------|
| $C_{pe,10}$ | -1.7 | -1.2 | -0.6 | -0.6 | +0.2 |

Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

| PODRUČJE    | F   | G   | H   | I    | J    |
|-------------|-----|-----|-----|------|------|
| $C_{pe,10}$ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.6 | -0.6 |

Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

Vrijednosti koeficijenta unutarnjeg pritiska  $C_{pi}=+0.2$   $C_{pi}=-0.3$

| PODRUČJE          | F    | G    | H    | I    | J   |
|-------------------|------|------|------|------|-----|
| $C_{pe} + C_{pi}$ | -1.9 | -1.4 | -0.8 | -0.8 | 0.0 |

Tablica 3 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=+0.2$ )

| PODRUČJE          | F    | G    | H    | I    | J    |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| $C_{pe} + C_{pi}$ | -0.3 | -0.3 | -0.3 | +0.3 | +0.3 |

Tablica 4 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=-0.3$ )

$$w_k = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 5.4 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

#### Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak

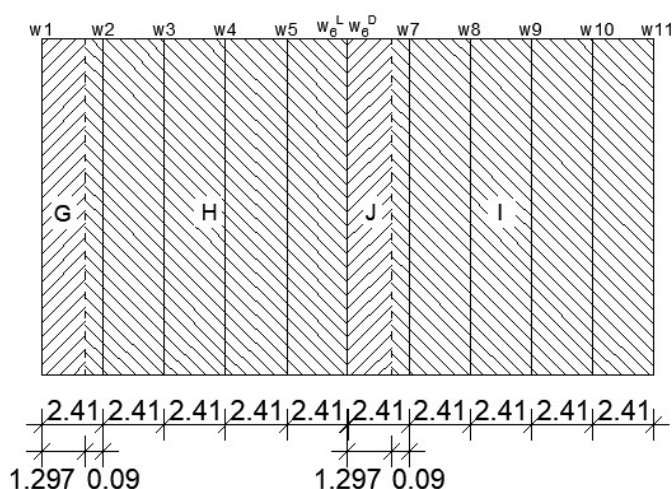
| PODRUČJE              | F     | G     | H     | I     | J    |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| $W_e$                 | -0.42 | -0.30 | -0.15 | -0.15 | 0.05 |
| $W_i$                 | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05 |
| $w_k [\text{kN/m}^2]$ | -0.47 | -0.35 | -0.2  | -0.2  | 0    |
| $W_k [\text{kN/m}']$  | -2.54 | -1.89 | -1.08 | -1.08 | 0    |

Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

| PODRUČJE             | F     | G     | H     | I     | J     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $W_e$                | 0     | 0     | 0     | -0.15 | -0.15 |
| $W_i$                | -0.07 | 0.07  | -0.07 | -0.07 | -0.07 |
| $w_k[\text{kN/m}^2]$ | -0.07 | -0.07 | -0.07 | -0.08 | -0.08 |
| $W_k[\text{kN/m}']$  | -0.38 | -0.38 | -0.38 | -0.43 | -0.43 |

Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak



Slika 9 Tlocrtni prikaz polja u odnosu na konstrukciju

| W1 (pozitivni unutarnji pritisak) |                                                           | W2(negativni unutarnji pritisak) |                                                            |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| $W_1$                             | $=1,89 \cdot 1,205 = \mathbf{2,277kN}$                    | $W_1$                            | $=0,38 \cdot 1,205 = \mathbf{0,4579kN}$                    |
| $W_2$                             | $=1,89 \cdot 0,092 + 1,08 \cdot 2,318 = \mathbf{2,677kN}$ | $W_2$                            | $=0,38 \cdot 0,092 + 0,38 \cdot 2,318 = \mathbf{0,9158kN}$ |
| $W_3$                             | $=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$                     | $W_3$                            | $=0,38 \cdot 2,41 = \mathbf{0,9158kN}$                     |
| $W_4$                             | $=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$                     | $W_4$                            | $=0,38 \cdot 2,41 = \mathbf{0,9158kN}$                     |
| $W_5$                             | $=1,08 \cdot 1,205 = \mathbf{1,301kN}$                    | $W_5$                            | $=0,38 \cdot 1,205 = \mathbf{0,4579kN}$                    |
| $W_6$                             | $=1,08 \cdot 1,205 = \mathbf{1,3014kN}$                   | $W_6$                            | $=0,43 \cdot 1,205 = \mathbf{0,5185kN}$                    |
| $W_7$                             | $=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$                     | $W_7$                            | $=0,43 \cdot 2,41 = \mathbf{1,0363kN}$                     |
| $W_8$                             | $=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$                     | $W_8$                            | $=0,43 \cdot 2,41 = \mathbf{1,0363kN}$                     |
| $W_9$                             | $=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$                     | $W_9$                            | $=0,43 \cdot 2,41 = \mathbf{1,0363kN}$                     |
| $W_{10}$                          | $=1,08 \cdot 1,205 = \mathbf{1,3014kN}$                   | $W_{10}$                         | $=0,43 \cdot 1,205 = \mathbf{0,5185kN}$                    |

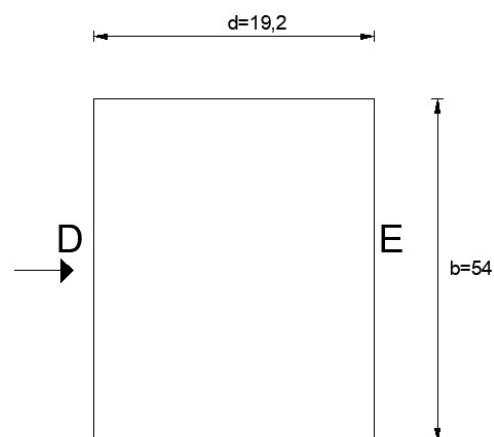
# ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE

$$e = \min(b, 2h) \rightarrow \min(54, 12.92)$$

$$e = 12.92 \text{ m}$$

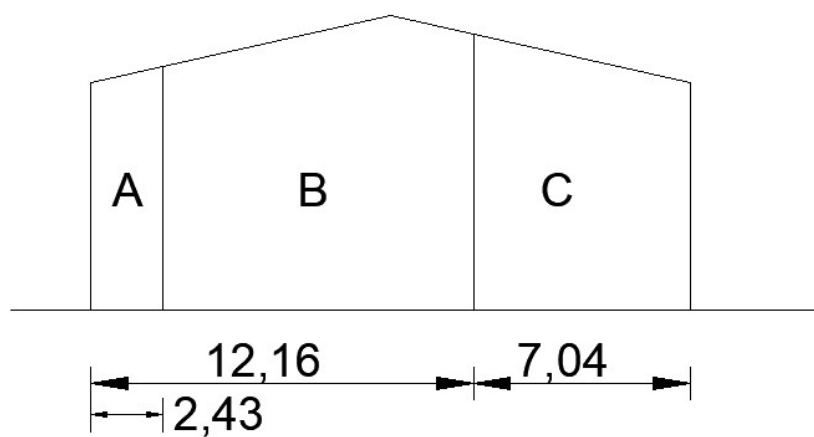
$$h = 6.46 \text{ m}$$

$$d = 19.2 \text{ m}$$



$$\frac{h}{d} = \frac{6.46}{19.2} = 0.67$$

Slika 10 Definiranje područja za vertikalne zidove



Slika 11 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove- bočni pogled

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove  $h/d=0.291$

| PODRUČJE    | A    | B    | C    | D     | E    |
|-------------|------|------|------|-------|------|
| $C_{pe,10}$ | -1.2 | -0.8 | -0.5 | +0.75 | -0.4 |

Tablica 8 Vrijednosti vanjskih koeficijenata pritiska prema područjima konstrukcije

### 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 vrijednost:

Unutrašnji koeficijenti pritiska  $\rightarrow C_{pi}=-0.3, +0.2$

| PODRUČJE          | A    | B    | C    | D     | E    |
|-------------------|------|------|------|-------|------|
| $C_{pe} + C_{pi}$ | -1.4 | -1.0 | -0.7 | +0.55 | -0.6 |

Tablica 9 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=+0.2$ )

| PODRUČJE          | A    | B    | C    | D     | E    |
|-------------------|------|------|------|-------|------|
| $C_{pe} + C_{pi}$ | -0.9 | -0.6 | -0.3 | +1.05 | -0.1 |

Tablica 10 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=-0.3$ )

$$w_k = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p = 0,248 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{preuzeto iz analize opterećenja glavnog nosača}$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 5.4 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

### Vjetar W1, pozitivni unutarnji pritisak

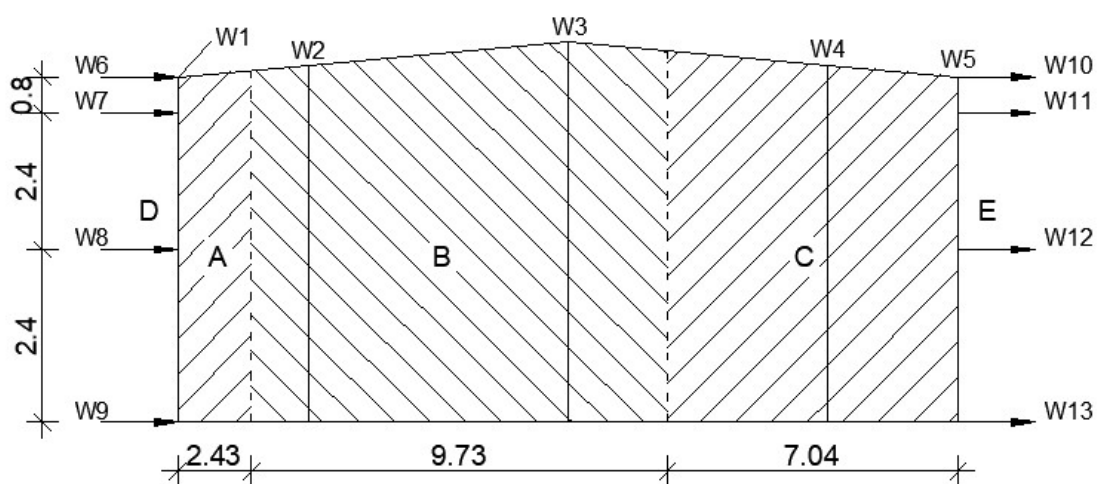
| PODRUČJE              | A     | B     | C     | D    | E     |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| $C_{pe,10}$           | -1,2  | -0,8  | -0,5  | 0,75 | -0,4  |
| $W_e [\text{kN/m}^2]$ | -0,3  | -0,2  | -0,12 | 0,19 | -0,10 |
| $W_i [\text{kN/m}^2]$ | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05 | 0,05  |
| $w_k [\text{kN/m}']$  | -0,35 | -0,25 | -0,17 | 0,14 | -0,15 |

Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vijetar W2, negativni unutarnji pritisak

| PODRUČJE      | A     | B     | C     | D     | E     |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $C_{pe,10}$   | -1,2  | -0,8  | -0,5  | 0,75  | -0,4  |
| $W_e[kN/m^2]$ | -0,3  | -0,2  | -0,12 | 0,19  | -0,10 |
| $W_i[kN/m^2]$ | -0,07 | -0,07 | -0,07 | -0,07 | -0,07 |
| $w_k[kN/m']$  | -0,23 | -0,13 | -0,05 | 0,26  | -0,03 |

Tablica 12 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak



Slika 12 Prikaz polja u odnosu na konstrukciju

Tablica 13 Ukupno rezultirajuće djelovanje vjetra po čvorovima

Slika 13 Opterećenje vjetra W1 u čvorovima rešetke

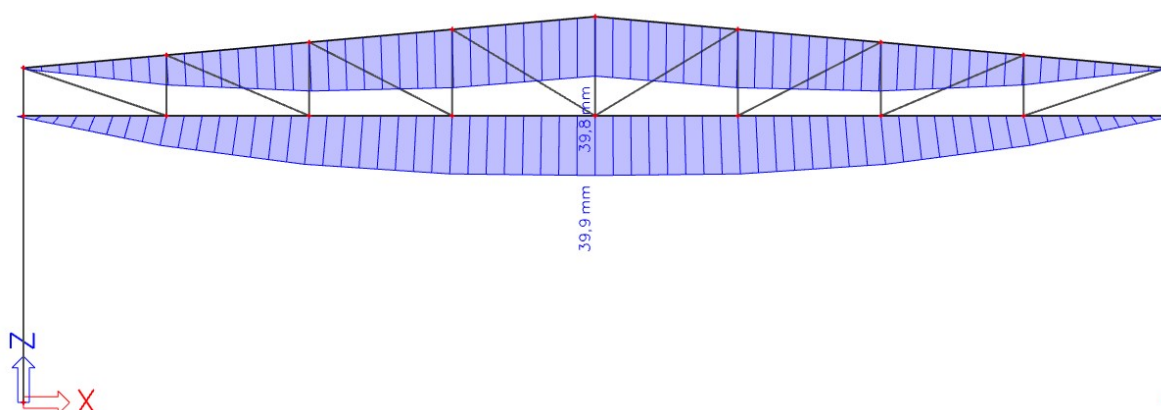
Slika 14 Opterećenje vjetra W2 u čvorovima rešetke

### 3. KONTROLA PROGIBA

#### GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

#### 3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

Najveći progib izazvan je djelovanjem kombinacije  $1.0LC_1+1.0G+1.0S$



Slika 15 Vertikalni progib glavnog nosača

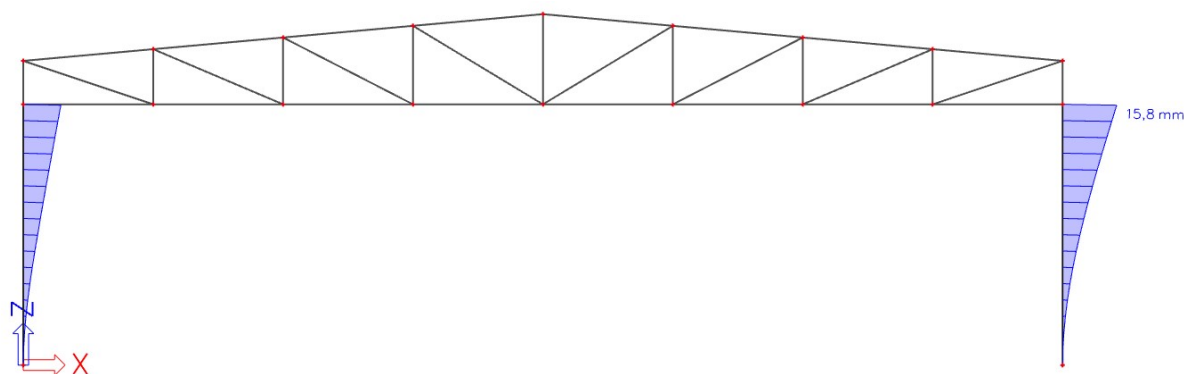
Dopušteni progib:  $\frac{L}{300} = \frac{19\,000}{300} = 63\text{mm}$

$$\frac{39,9}{64} = 0,63 \rightarrow 63\%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti do 63%.

### 3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB

Najveći progib stupa izazvan je djelovanjem kombinacije  $1.0LC_1+1.0G+1.0W_2$



Slika 16 Horizontalni progib glavnog nosača

Dopušteni progib:  $\frac{H}{300} = \frac{4800}{300} = 16\text{mm}$

$$\frac{15,8}{16} = 0.99 \rightarrow 99\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti sa 99%.

Profili konstrukcije glavnog nosača za koji su dobiveni navedeni progibi su:

- gornji pojas CFRHS 150x150x5.0
- donji pojas CFRHS 150x150x5.0
- vertikale CFRHS 60x60x3.0
- dijagonale CFRHS 60x60x3.0
- stup HEA 200

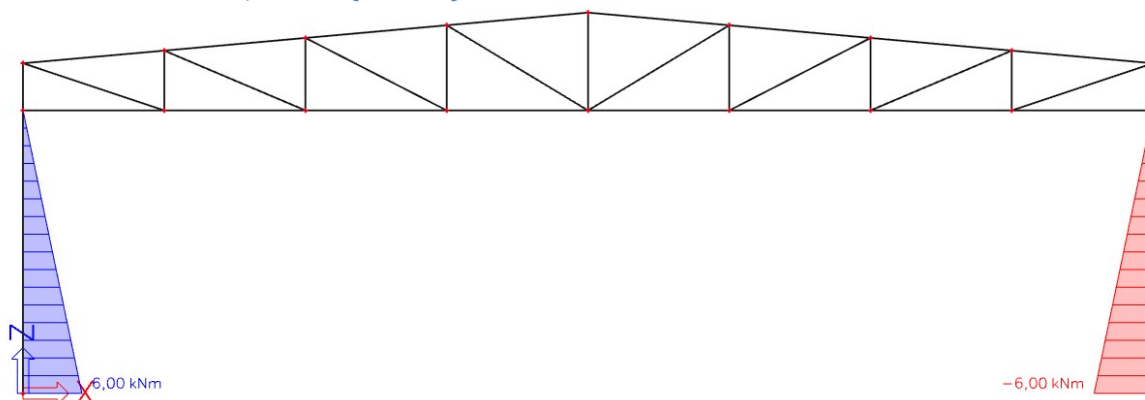
## 4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA

### GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

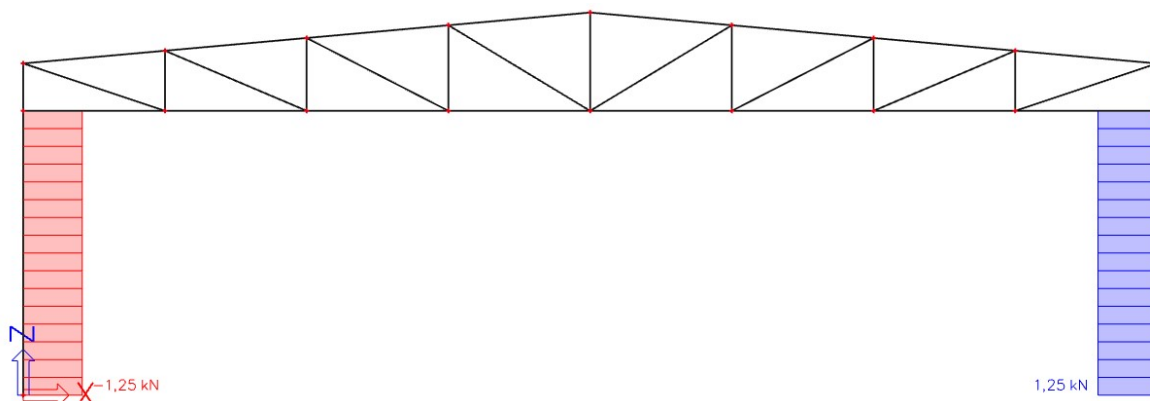
#### 4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila dobiveni su za istoimene profile koji su korišteni pri računanju progiba. Profili su usvojeni sa iskoristivosti od 84%.

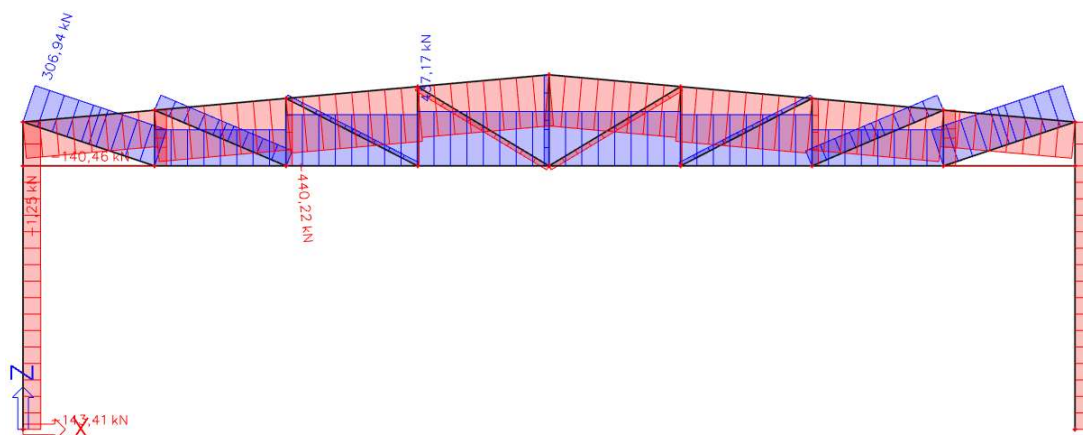
##### 4.1.1. KOMBINACIJA $1.35(LC1+G) + 1.5S$



Slika 17 Dijagram momenata za kombinaciju 1

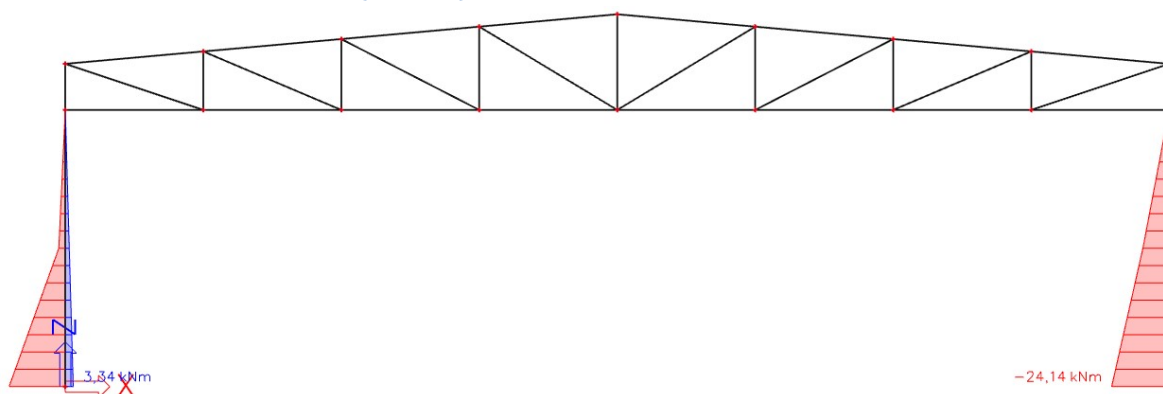


Slika 18 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1

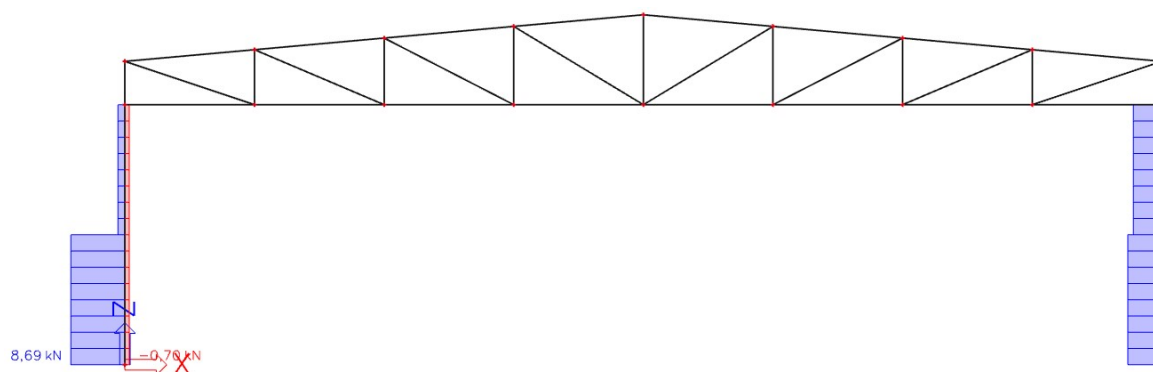


Slika 19 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

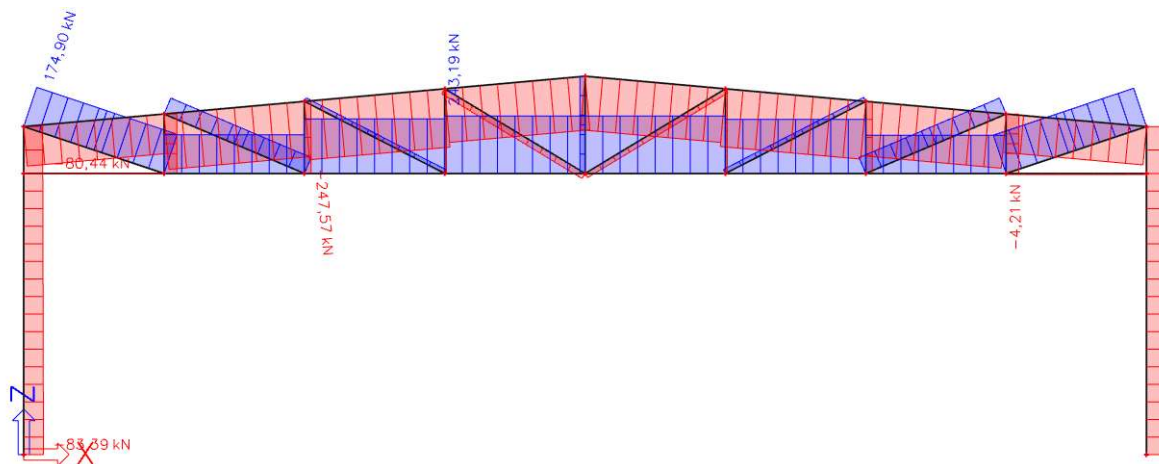
#### 4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) + 1.5W2



Slika 20 Dijagram momenata za kombinaciju 2

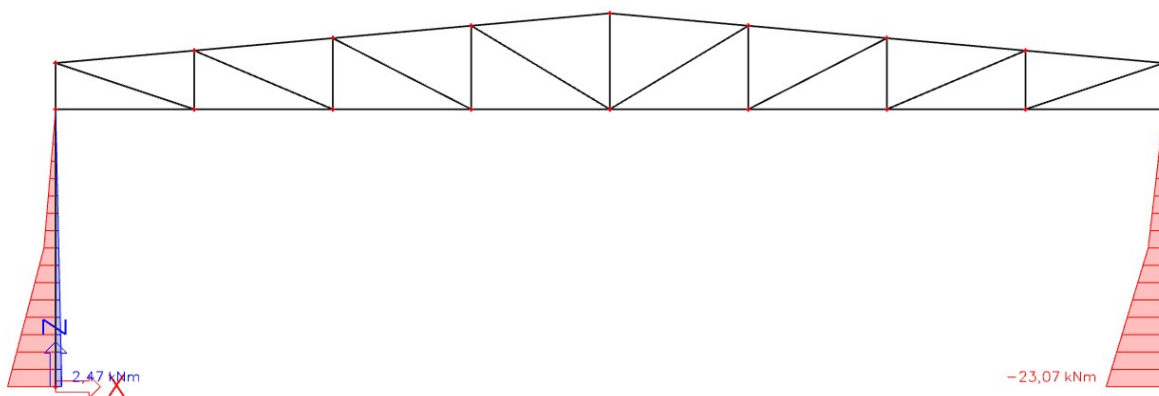


Slika 21 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2

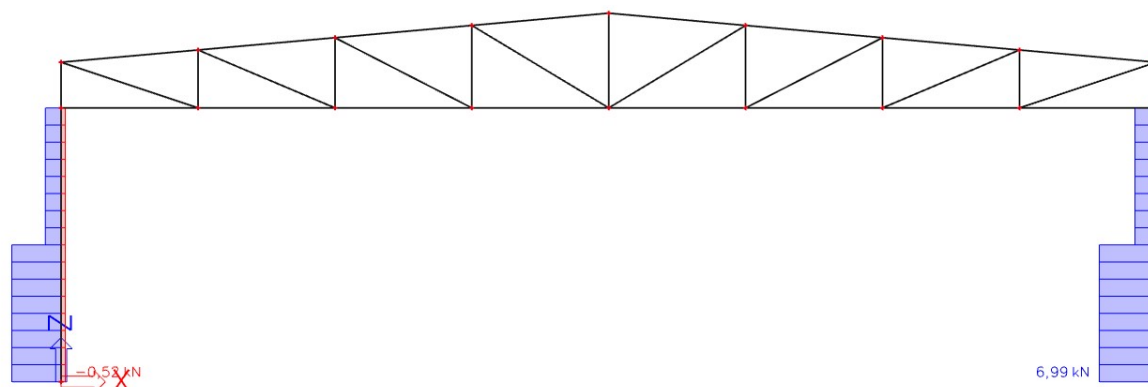


Slika 22 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

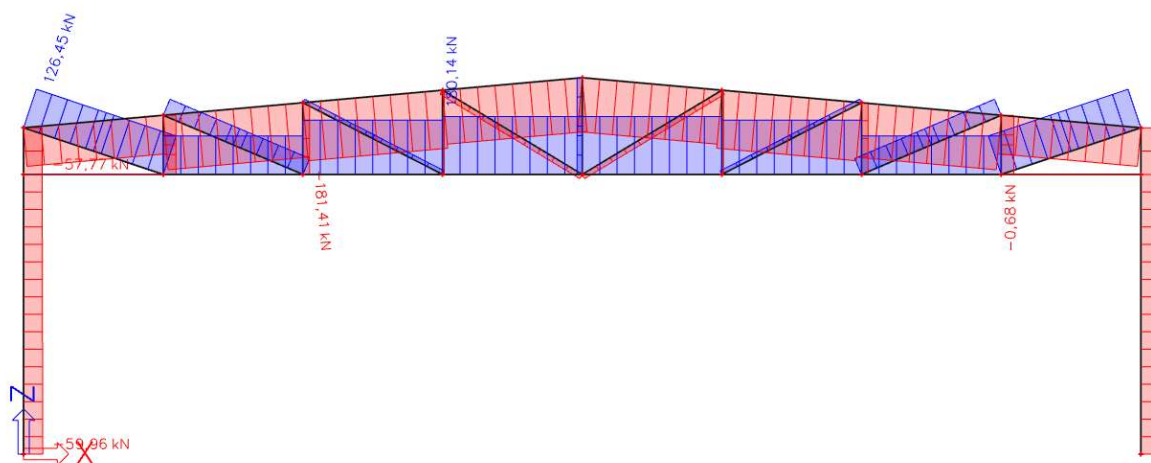
#### 4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1



Slika 23 Dijagram momenata za kombinaciju 3



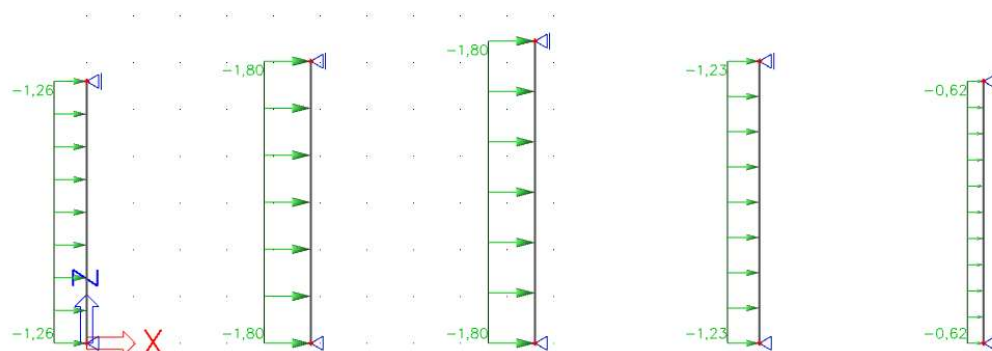
Slika 24 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3



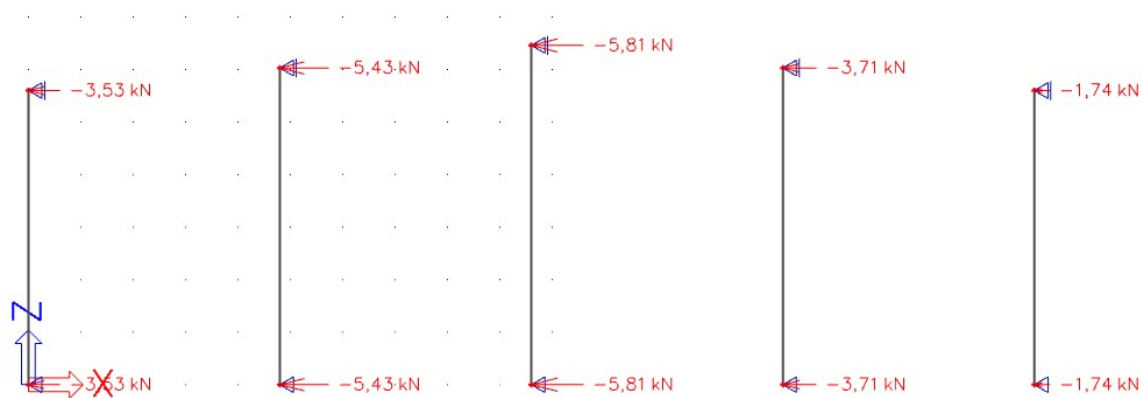
Slika 25 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

## 4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

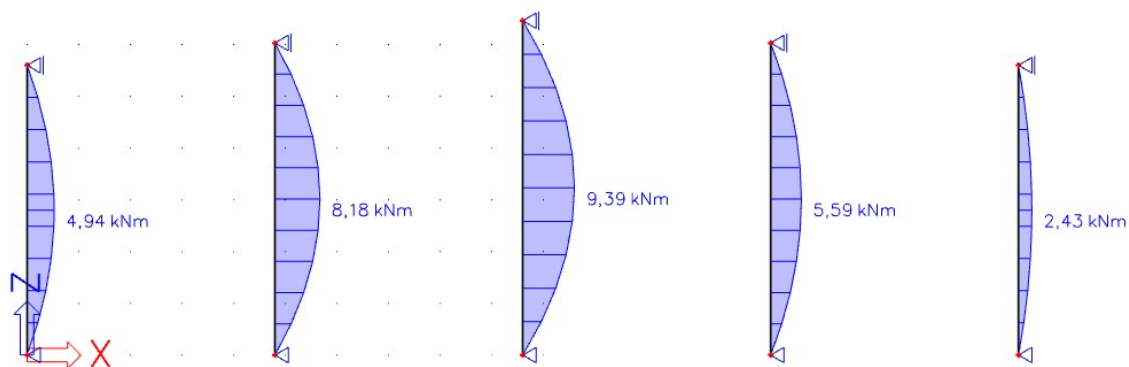
### 4.2.1. ZABATNI STUPOVI (Za djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1)



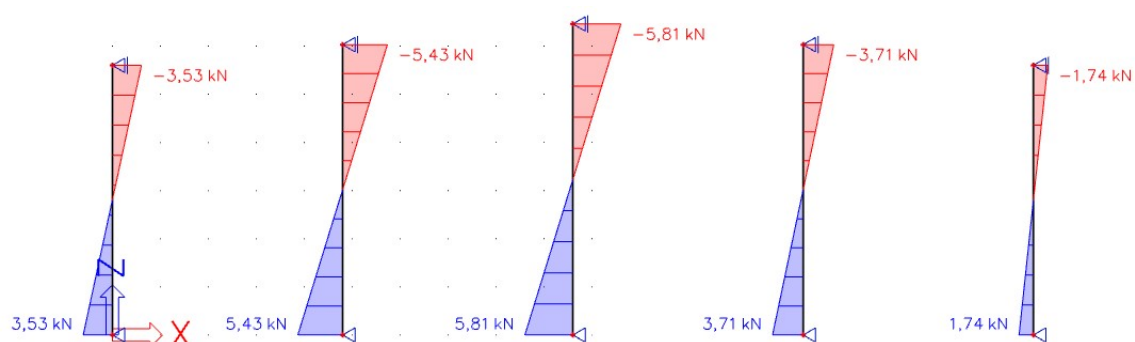
Slika 26 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2 na zabatne stupove



Slika 27 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2

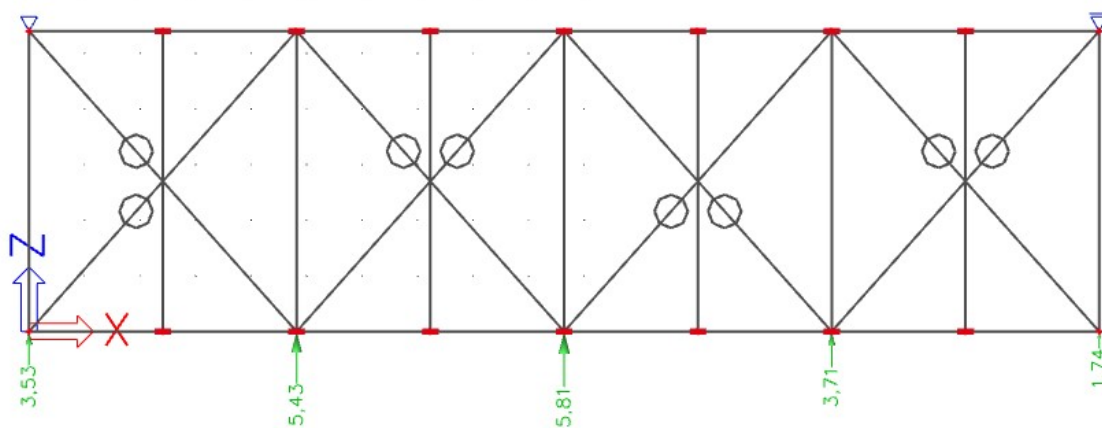


Slika 28 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja  $W_2$

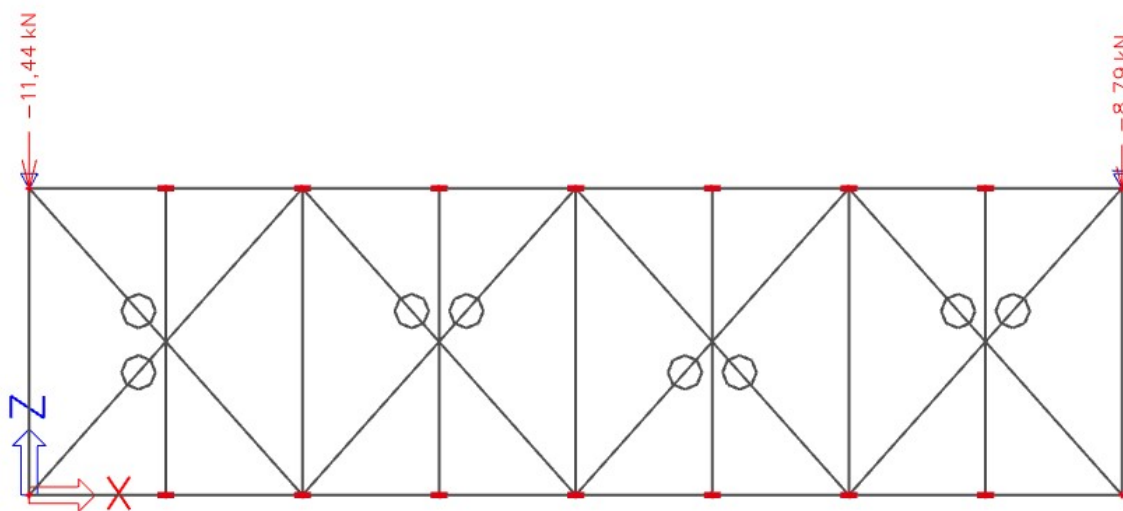


Slika 29 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja  $W_2$

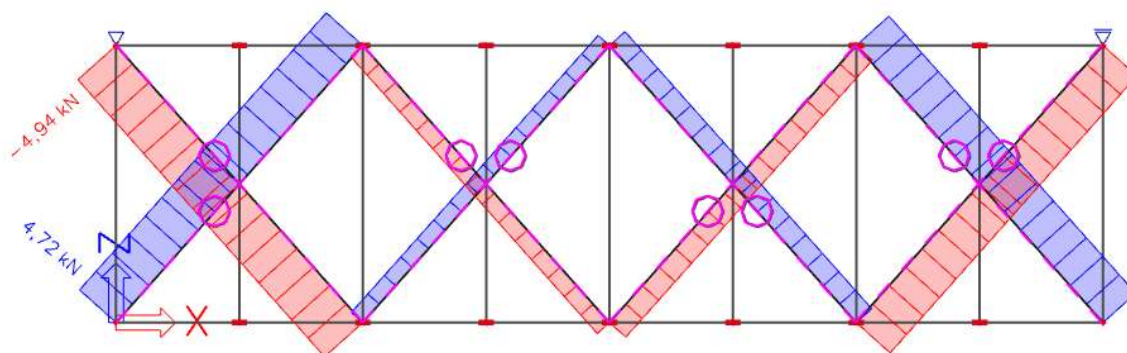
#### 4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI



Slika 30 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova)

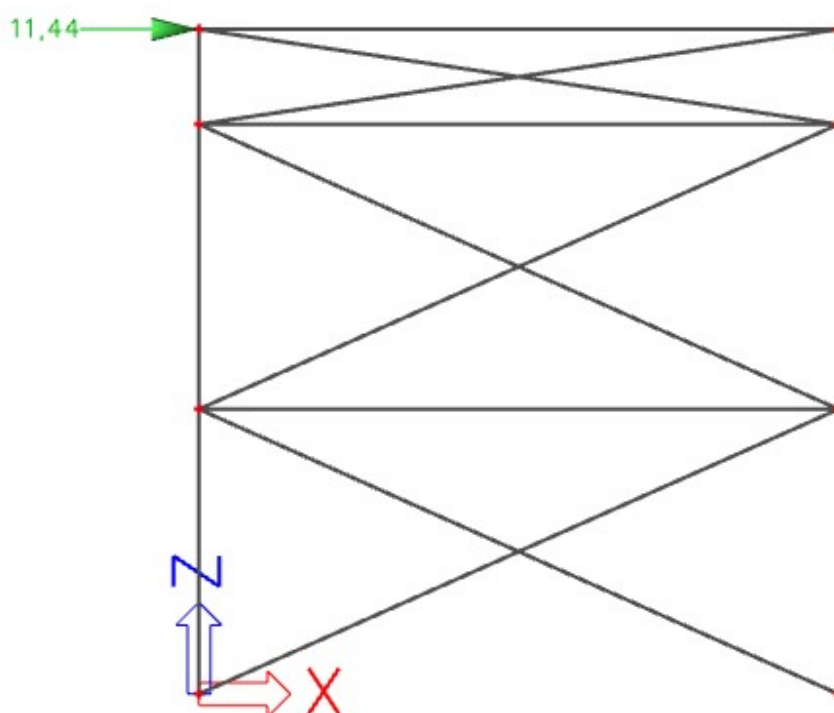


Slika 31 Reakcije horizontalnog sprega

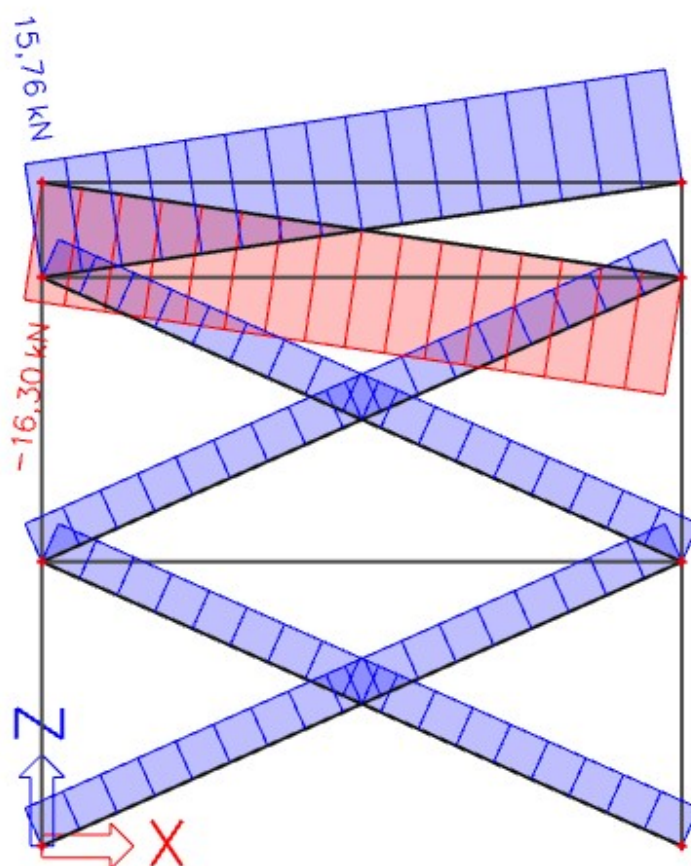


Slika 32 Dijagram uzdužnih sila

### 4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI



Slika 33 Djelovanje na bočni spreg



Slika 34 Dljagram uzdužnih sila na bočni spreg

#### 4.2.4. KROVNE PODROŽNICE

Djelovanja na krovnu podrožnicu:

$$\alpha = 5.14^\circ \quad l = 2.51 \text{ m}$$

STALNO OPTEREĆENJE

$$g = 0.25 \text{ kN/m'}$$

$$G_y = g \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 0.62 \text{ kN/m'}$$

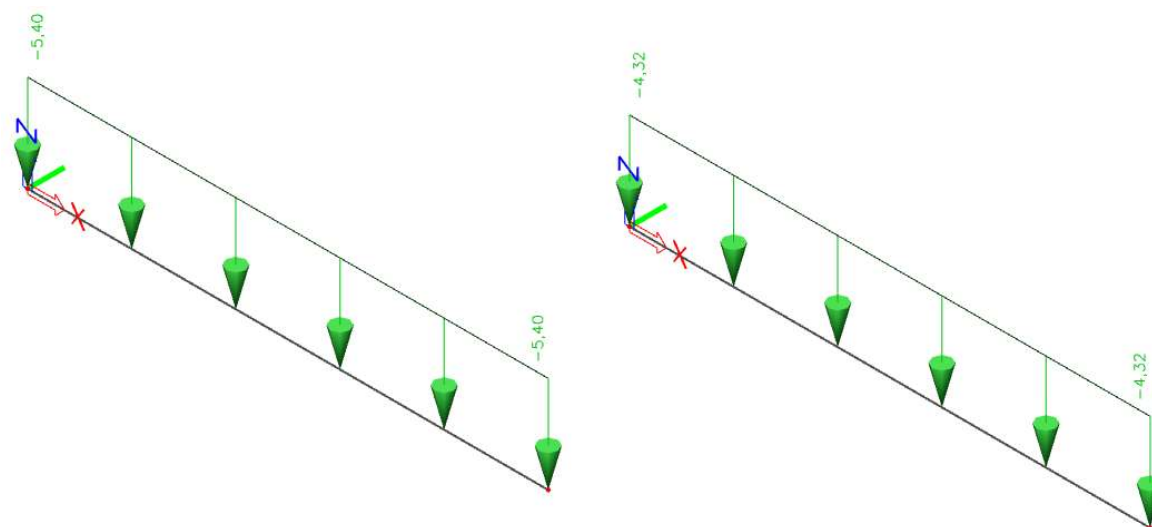
$$G_z = g \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.056 \text{ kN/m'}$$

OPREREĆENJE SNIJEGOM

$$S = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

$$S_y = S \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 1.49 \text{ kN/m'}$$

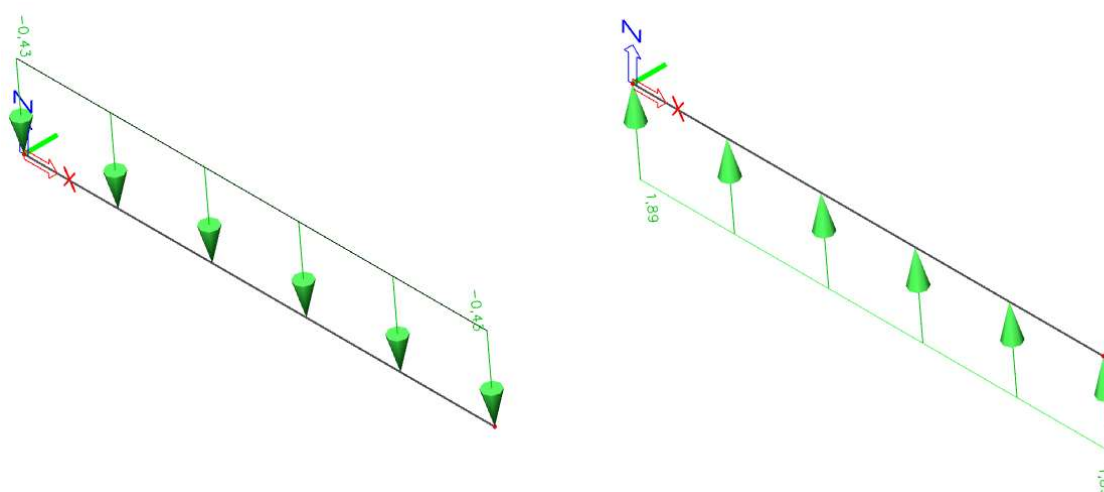
$$S_z = S \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.13 \text{ kN/m'}$$



Slika 35 Djelovanja na krovnu podrožnicu

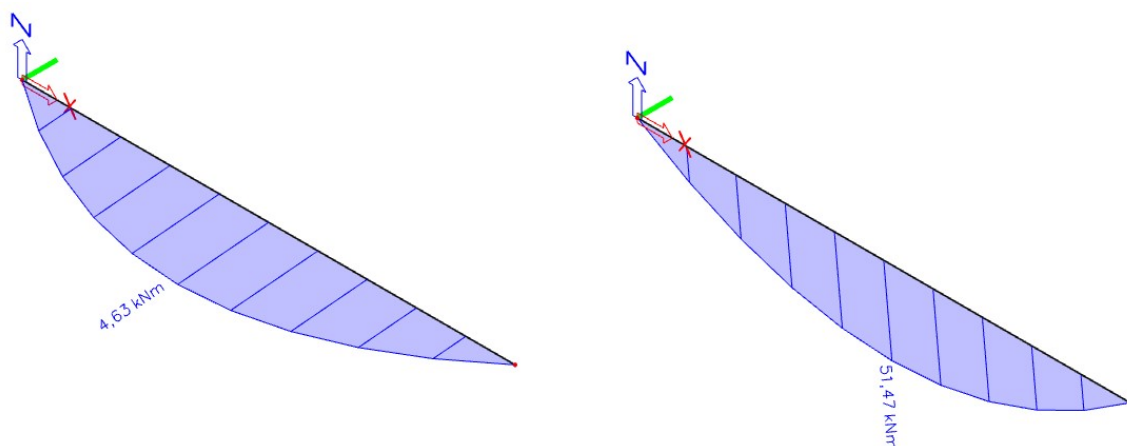
Opterećenje vjetrom  $W_1$

Opterećenje vjetrom  $W_2$

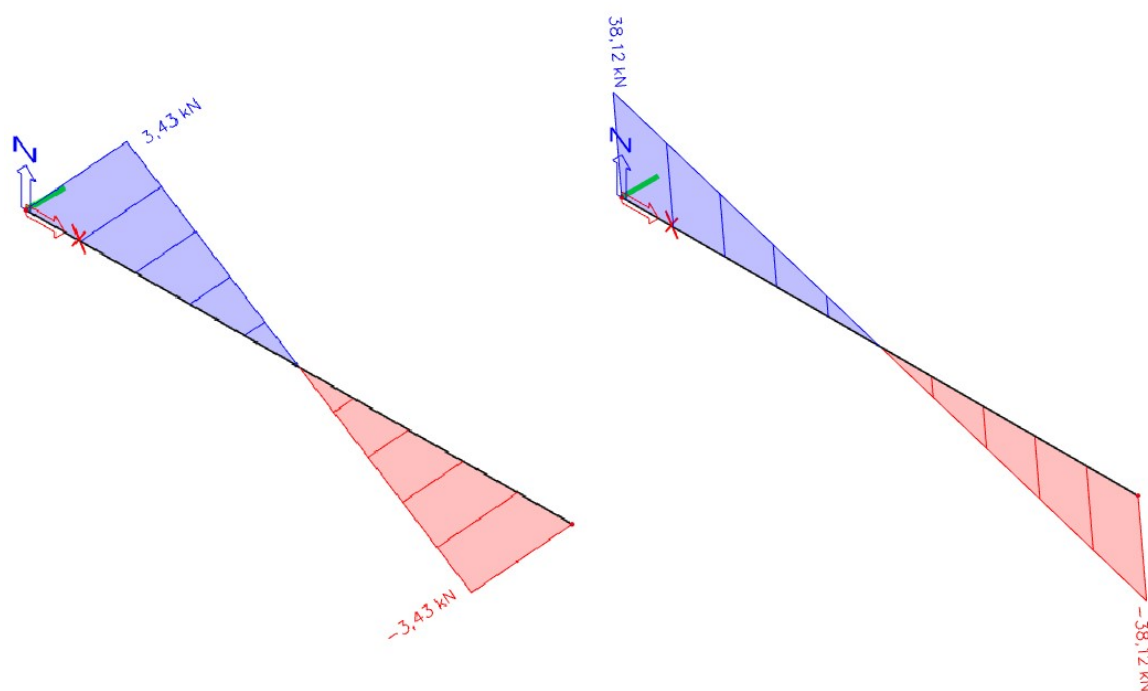


Slika 36 Djelovanje vjetra na krovne podrožnice

1. KOMBINACIJA 1.35(LC<sub>1</sub>+G)+1.5S

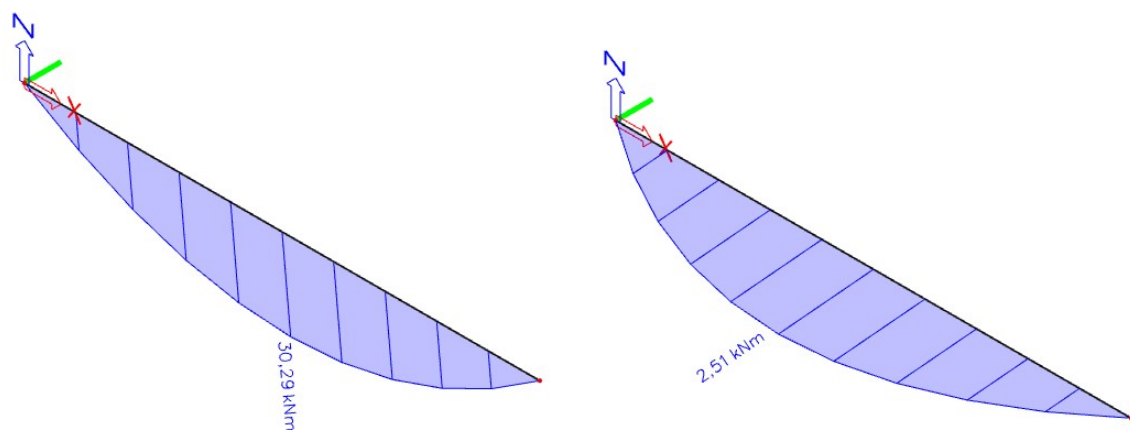


Slika 37 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 1

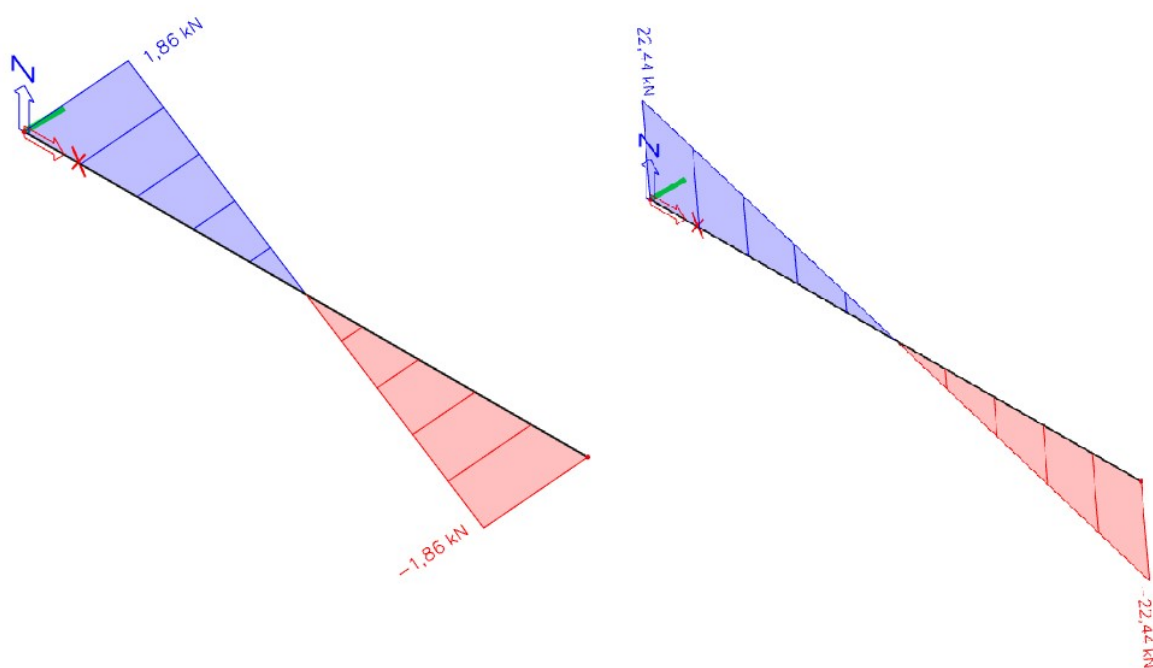


Slika 38 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 1

## 2. KOMBINACIJA 1.35(LC<sub>1</sub>+G)+1.5W<sub>2</sub>

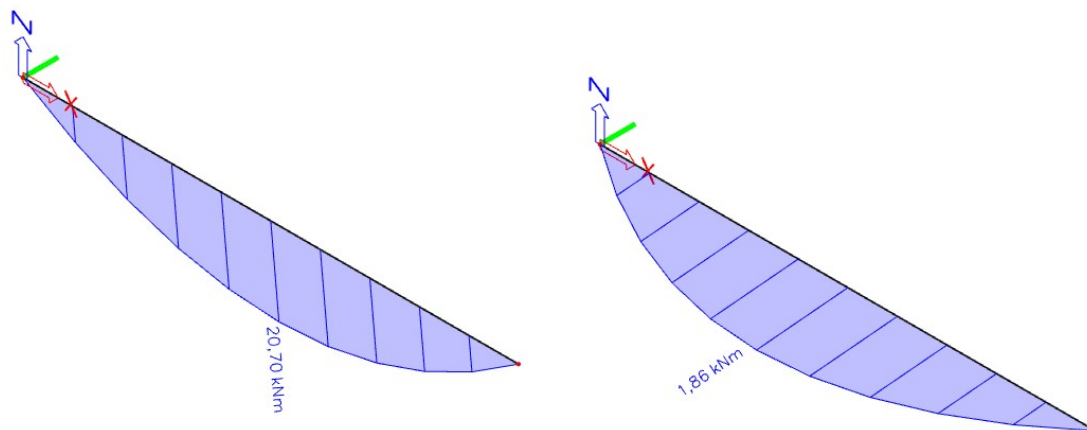


Slika 39 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 2

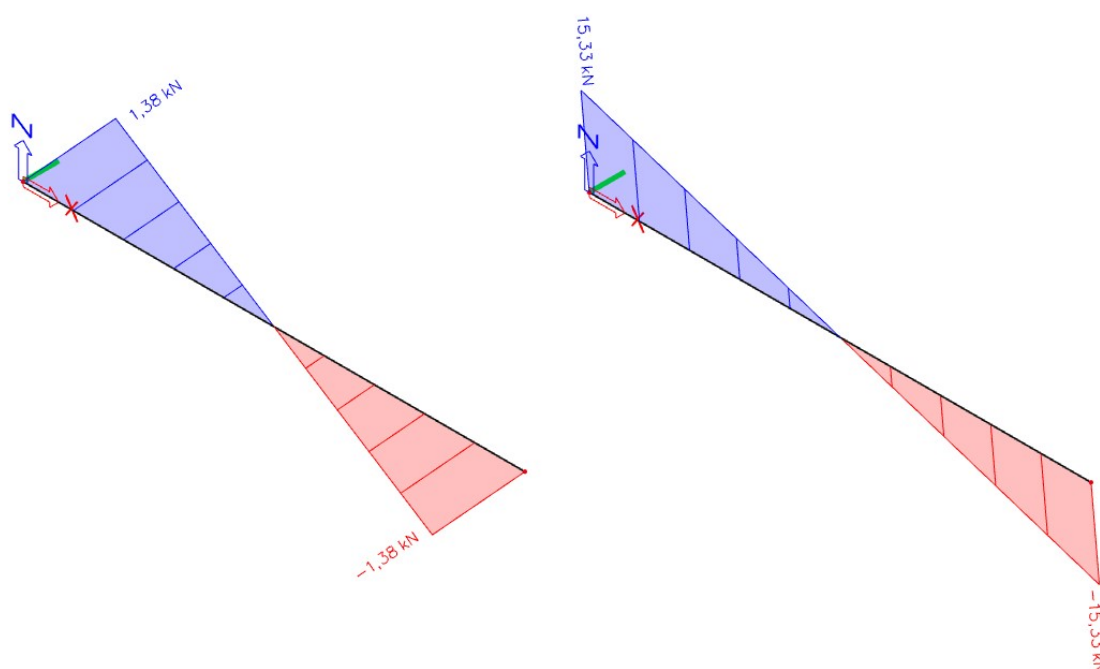


Slika 40 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 2

3. KOMBINACIJA  $1.35(LC_1+G)+1.35(S+W_2)$

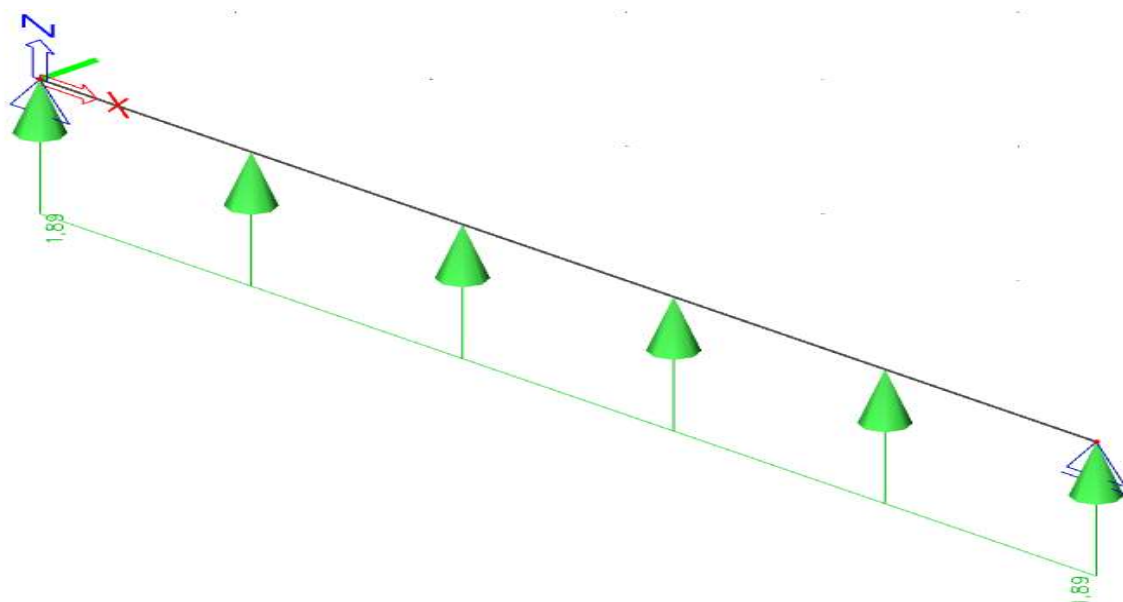


Slika 41 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 3

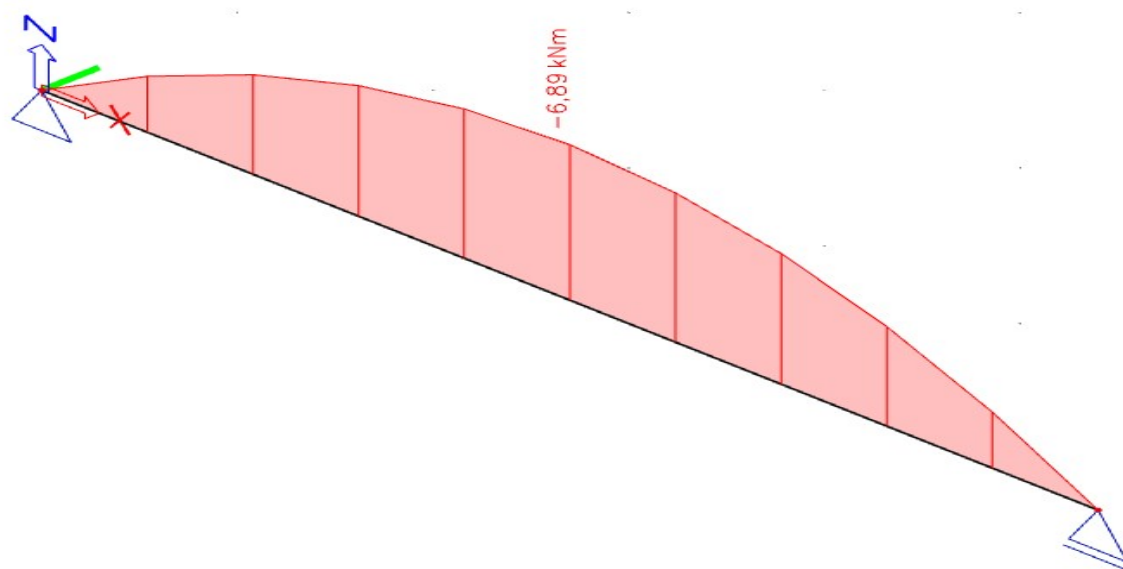


Slika 42 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 3

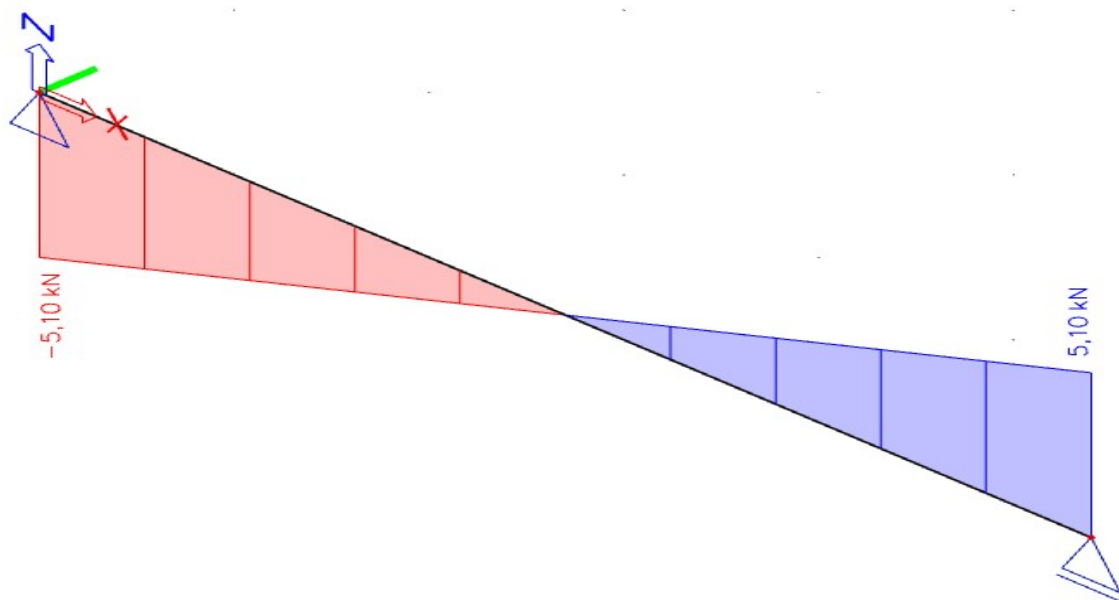
#### 4.2.5. BOČNE PODROŽNICE



Slika 43 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu



Slika 44 Dijagram momenata za djelovanje vjetra

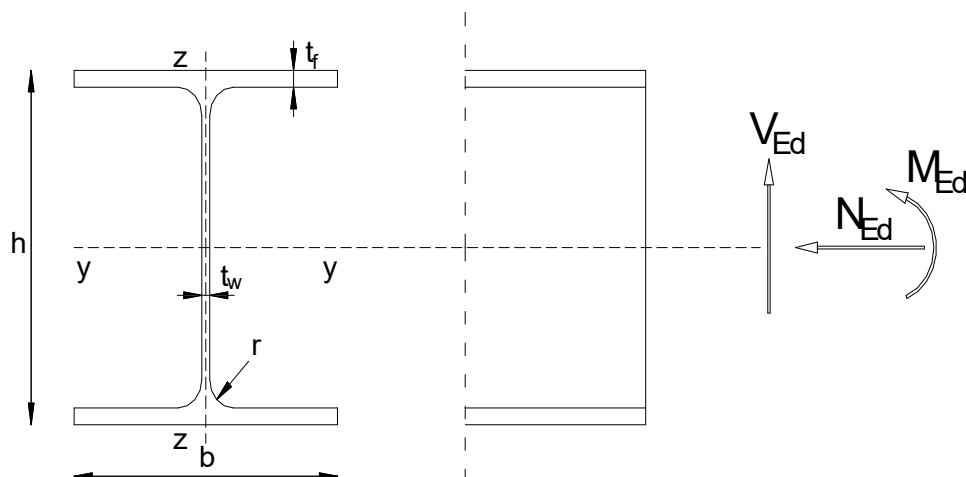


Slika 45 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

## 5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

### 5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

#### 5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 46 Poprečni presjek stupa

| Karakteristike presjeka    |                     |                       |                                                                                   |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | HEA200              | Moment tromosti       | $I_y=3690\text{cm}^4$<br>$I_z=1340\text{cm}^4$                                    |
| Tip presjeka:              | Valjani             | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=429,17\text{cm}^3$<br>$W_{PL,z}=203,75\text{cm}^3$                      |
| Visina presjeka:           | $h=190\text{mm}$    | Konstanta krivljenja: | $I_w=108000\text{cm}^6$                                                           |
| Širina presjeka:           | $b=200\text{mm}$    | Torzijska konstanta:  | $I_t=21\text{cm}^4$                                                               |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=10\text{mm}$   |                       |                                                                                   |
| Debljina hrpta:            | $t_w=7\text{mm}$    |                       |                                                                                   |
| Radius:                    | $r=18\text{mm}$     |                       |                                                                                   |
| Površina:                  | $A=53,8\text{cm}^2$ |                       |                                                                                   |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                     | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\epsilon=1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| $M_{y,Ed}=$                | 6,00 kNm            |                       |                                                                                   |
| $V_{z,Ed}=$                | 1,25 kN             |                       |                                                                                   |
| $N_{Ed}=$                  | -143,41 kN          |                       |                                                                                   |
| $M_{y,Ed}=$                | 24,14 kNm           |                       |                                                                                   |
| $V_{z,Ed}=$                | 8,69 kN             |                       |                                                                                   |
| $N_{Ed}=$                  | -83,39 kN           |                       |                                                                                   |

Tablica 14 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 190 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 18 = 134 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19,14$$

$$19,14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 19,14 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{200}{2} - \frac{7}{2} - 18 = 78,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{78,5}{10} = 7,85$$

$$7,85 \leq 9\varepsilon \rightarrow 7,85 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA NE ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,8 \cdot 23,5}{1,00} = 1264,3 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1264,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 145,61 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1264,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 83,39 \text{ kN}$$

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{429,17 \cdot 23,5}{1,00} = 10085,5 \text{ kNm} = 100,9 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 100,9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 24,24 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 100,9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6,00 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{190 - 2 \cdot 10}{7} = 24,29$$

$$24,29 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1.20} = 60$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 53,8 - 2 \cdot 20 \cdot 1 + |0,7 + 2 \cdot 1,8| \cdot 1 = 18,1 \text{ cm}^2 \geq 1,20 \cdot 17 \cdot 0,7 = 14,28 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18,1 \left| \frac{23,5}{\sqrt{3}} \right|}{1,00} = 245,58 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 245,58 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 1,25 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 245,58 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 8,69 \text{ kN}$$

### INTERAKCIJA M-V-N

$$M_{Ed} = 6,00 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,25 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -143,41 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 245,58 = 122,79 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1,25 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 122,79 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 143,41 \leq 0,25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0,25 \cdot 1264,3 = 316,075 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 143,41 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 17 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,00} = 159,8 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

### **INTERAKCIJA M-V-N**

$$M_{Ed} = 24,14 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 8,69 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -83,39 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 245,58 = 122,79 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 8,69 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 122,79 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 83,39 \leq 0.25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0.25 \cdot 1264,3 = 316,075 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 83,39 \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 17 \cdot 0.8 \cdot 23.5}{1.00} = 159,8 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI**

#### **Uzdužna tlačna otpornost**

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  
 $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

#### **OS $y - y$**

$$L_{cr} = 2 \cdot 580\text{cm} = 960\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 3690}{960^2} = 829,86\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{53,8 \cdot 23,5}{829,86}} = 1,23$$

ZA VALJANI PROFIL  $\rightarrow$

ZA OS  $y - y$  KRIVULJA IZVIJANJA b  $\rightarrow \alpha = 0.34$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (1.23 - 0.2) + 1.23^2] = 1.43$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1,43 + \sqrt{1,43^2 - 1,23^2}} = 0.46$$

OS z – z

$$L_{cr} = \frac{1}{2} \cdot 480\text{cm} = 240\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 1340}{240^2} = 4821,71\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{53,8 \cdot 23,5}{4821,71}} = 0,51$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → α = 0,49

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,49 \cdot (0,51 - 0,2) + 0,51^2] = 0,71$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,51^2}} = 0,83$$

λ = λ<sub>min</sub> = 0,46 → MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,46 \cdot 53,8 \cdot 53,5}{1,0} = 581,58\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 581,58\text{kN} > N_{Ed} = 143,41\text{kN} \quad N_{b,Rd} = 581,58\text{kN} > N_{Ed} = 83,39\text{kN}$$

#### Otpornost elementa na savijanje

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

→ ELASTIČNI KRITIČNI MOMENT BOČNOG TORZIJSKOG IZVIJANJA

$$L = 480\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{19,0}{2} = 9,5\text{cm}$$

$$k = 1,0 \quad k_2 = 1,0$$

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

$$M_{cr} = 1.77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340}{|1.0 \cdot 480^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108000}{1340} + \frac{|1.0 \cdot 560|^2 \cdot 8077 \cdot 21}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340} + |0 \cdot 9,5|^2 - 0 \cdot 9,5} \right]$$

$$M_{cr} = 37660,33 \text{ kNcm} = 376,60 \text{ kNm}$$

### **Bezdimenzijska vitkost**

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{Pl,y}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{429,17 \cdot 23,5}{37660,33}} = 0.52 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

### **Faktor redukcije**

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0,95 < 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.52 - 0.2) + 0.52^2] = 0.67$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.67 + \sqrt{0.67^2 - 0.52^2}} = 0.92 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.92 \frac{429,17 \cdot 25.5}{1.00} = 9278,66 \text{ kNcm} = 92,79 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 92,79 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6,10 \text{ kNm}$$

### INTERAKCIJA M-N

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

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

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

$$\text{za } \bar{\lambda}_z = 0,51 \geq 0,4$$

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

$$\alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$\psi = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (1,23 - 0,2) \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1 \leq 0,95 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,51}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 0,98 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right]$$

$$= 0,96$$

$$\frac{143,41}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 1,1 \cdot \frac{6,00}{0,92 \cdot 100,9} = 0,14 + 0,07 = 0,21 \leq 1,0$$

$$\frac{143,41}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 0,98 \cdot \frac{6,00}{0,92 \cdot 100,9} = 0,14 + 0,06 = 0,20 \leq 1,0$$

### INTERAKCIJA M-N

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

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

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

$$\text{za } \bar{\lambda}_z = 0,51 \geq 0,4$$

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

$$\alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$\psi = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (1,23 - 0,2) \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1 \leq 0,95 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,51}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 0,98 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right]$$

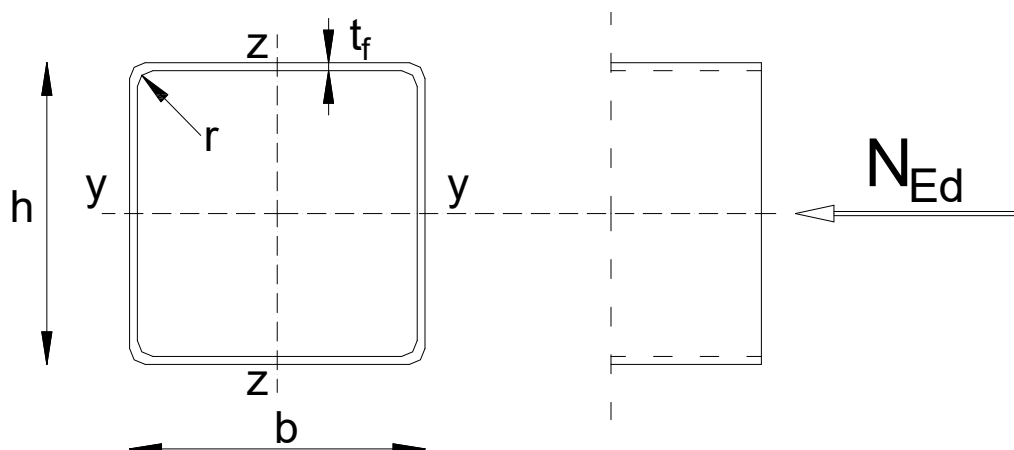
$$= 0,96$$

$$\frac{83,39}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 1,1 \cdot \frac{24,14}{0,92 \cdot 100,9} = 0,08 + 0,29 = 0,37 \leq 1,0$$

$$\frac{83,39}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 0,98 \cdot \frac{24,14}{0,92 \cdot 100,9} = 0,08 + 0,25 = 0,33 \leq 1,0$$

**Odabrani profil HEA200, kvalitete čelika S 235 zadovoljava GSN (mala iskoristivost  $\eta=37\%$ ), međutim mjerodavan je za dimenzioniranje s obzirom da zadovoljava GSU sa iskoristivosti od  $\eta=99\%$ .**

### 5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 47 Poprečni presjek gornjeg pojasa

| Karakteristike presjeka                                                                                          |                                                                                                  |                       |                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:<br>Tip presjeka:<br>Visina presjeka:<br>Širina presjeka:<br>Debljina pojasnice:<br>Radijus:<br>Površina: | CFRHS<br>Valjani<br>h=150mm<br>b=150mm<br>t <sub>f</sub> =5mm<br>r=8mm<br>A=28.36cm <sup>2</sup> | Moment tromosti       | I <sub>y</sub> =982.12cm <sup>4</sup><br>I <sub>z</sub> =982.12cm <sup>4</sup>                                                                         |
|                                                                                                                  |                                                                                                  | Moment otpora:        | W <sub>PL,y</sub> =152.98cm <sup>3</sup> ;W <sub>y</sub> =cm <sup>3</sup><br>W <sub>PL,z</sub> =152.98cm <sup>3</sup> ;W <sub>z</sub> =cm <sup>3</sup> |
|                                                                                                                  |                                                                                                  | Konstanta krivljenja: | I <sub>w</sub> =cm <sup>6</sup>                                                                                                                        |
|                                                                                                                  |                                                                                                  | Torzijska konstanta:  | I <sub>t</sub> =cm <sup>4</sup>                                                                                                                        |
| Ulazni podaci (rezne sile)                                                                                       |                                                                                                  | Materijal S235→       | f <sub>y</sub> =235N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                   |
| N <sub>Ed</sub> =                                                                                                | -445.18 kN                                                                                       |                       | ε=1<br>E=210 000 N/mm <sup>2</sup><br>ν=0.3                                                                                                            |

Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 150 - 2 \cdot 5 = 140 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{140}{5} = 28$$

$$28 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28.36 \cdot 23.5}{1.0} = 666.46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 666.46 \text{ kN} > N_{Ed} = 447.13 \text{ kN}$$

#### **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  
 $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

$$L_{cr} = 241 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 982.12}{241^2} = 3504.69 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{28.36 \cdot 23.5}{3504.69}} = 0.44$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA  $\alpha \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.44 - 0.2) + 0.44^2] = 0.62$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.62 + \sqrt{0.62^2 - 0.44^2}} = 0.95$$

OS z – z

$$L_{cr} = 482 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 982.12}{482^2} = 876.17 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{28.36 \cdot 23.5}{876.17}} = 0.87$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA  $\alpha \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.87 - 0.2) + 0.87^2] = 0.95$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0.95 + \sqrt{0.95^2 - 0.87^2}} = 0.75$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.75 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

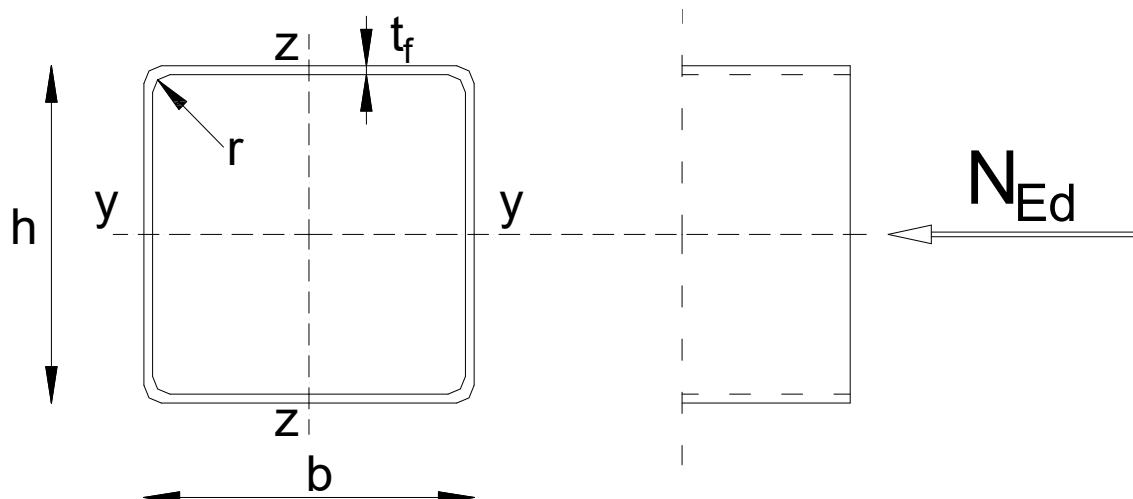
$$N_{b,Rd} = \frac{0.75 \cdot 28.36 \cdot 23.5}{1.0} = 499.85 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 499.85 \text{ kN} > N_{Ed} = 445.18 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{445.18}{499.85} = 0.89 \rightarrow \eta = 89\%$$

**Odabrani profil CFRHS 150x150x5.0, kvalitete čelika S 235, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 89%.**

### 5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA



Slika 48 Poprečni presjek donjega pojasa

| Karakteristike presjeka    |                      |                       |                                                                                                |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | CFRHS                | Moment tromosti       | $I_y=982.12\text{cm}^4$<br>$I_z=982.12\text{cm}^4$                                             |
| Tip presjeka:              | Valjani              | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=152.98\text{cm}^3; W_y=\text{cm}^3$<br>$W_{PL,z}=152.98\text{cm}^3; W_z=\text{cm}^3$ |
| Visina presjeka:           | $h=150\text{mm}$     | Konstanta krivljenja: | $I_w=\text{cm}^6$                                                                              |
| Širina presjeka:           | $b=150\text{mm}$     | Torzijska konstanta:  | $I_t=\text{cm}^4$                                                                              |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=5\text{mm}$     |                       |                                                                                                |
| Radius:                    | $r=8\text{mm}$       |                       |                                                                                                |
| Površina:                  | $A=28.36\text{cm}^2$ |                       |                                                                                                |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                      | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\varepsilon=1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$           |
| $N_{Ed}=$                  | 445.02 kN<br>3.77    |                       |                                                                                                |

Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 180 - 2 \cdot 6 = 168 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{168}{6} = 28$$

$$28 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 1449.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1449.47 \text{ kN} > N_{Ed} = 169.99 \text{ kN}$$

#### **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  
 $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

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

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2036.5}{250^2} = 6753.41\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{40.83 \cdot 35.5}{6753.41}} = 0.46$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA  $\alpha \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.46 - 0.2) + 0.46^2] = 0.63$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.63 + \sqrt{0.63^2 - 0.46^2}} = 0.94$$

OS z – z

$$L_{cr} = 1250\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2036.5}{1250^2} = 270.14\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{40.83 \cdot 35.5}{270.14}} = 2.32$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA  $\alpha \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.21 \cdot (2.32 - 0.2) + 2.32^2] = 3.41$$

$$\lambda_z = \frac{1}{3.41 + \sqrt{3.41^2 - 2.32^2}} = 0.17$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.17 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.17 \cdot 40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 246.41 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 246.41 \text{ kN} > N_{Ed} = 169.99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{169.99}{246.41} = 0.69 \rightarrow \eta = 69\%$$

**Odabrani profil CFRHS 150x150x5.0, kvalitete čelika S 235, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 69%.**

NAPOMENA:

Na sredini donjeg pojasa postavljeno je pridržanje da bi se smanjila prevelika duljina izvijanja.

**Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili**

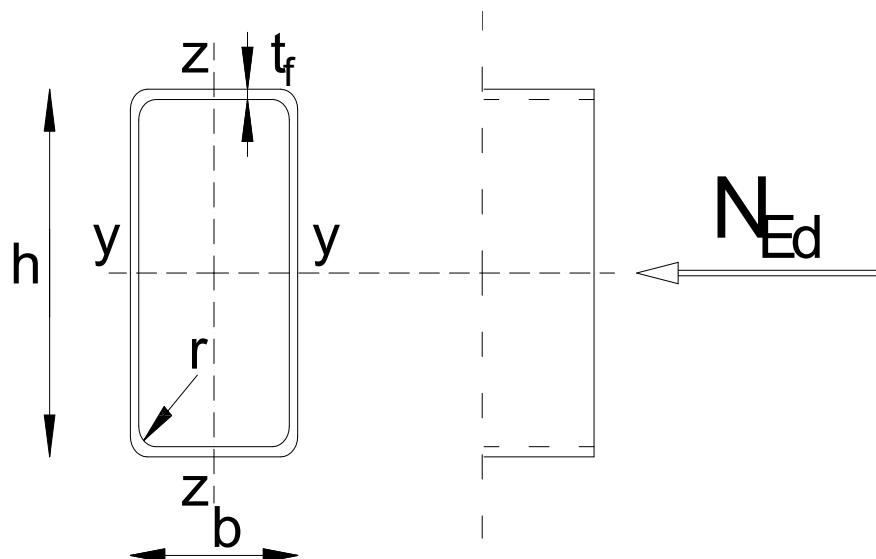
Gornji pojas je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 4 u iznosu od  $N_{Ed}=573.87 \text{ kN}$ .

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 1449.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1449.47 \text{ kN} > N_{Ed} = 573.87 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{445.02}{666.46} = 0.67 \rightarrow \eta = 67\%$$

#### 5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 49 Poprečni presjek vertikala

| Karakteristike presjeka    |                      |                       |                                                                                   |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | CFRHS80x80x5         | Moment tromosti       | $I_y=131,44\text{cm}^4$<br>$I_z=131,44\text{cm}^4$                                |
| Tip presjeka:              | Valjani              | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=39,74\text{cm}^3$<br>$W_{PL,z}=39,74\text{cm}^3$                        |
| Visina presjeka:           | $h=80\text{mm}$      | Konstanta krivljenja: | $I_w=1365,3\text{cm}^6$                                                           |
| Širina presjeka:           | $b=80\text{mm}$      | Torzijska konstanta:  | $I_t=217,83\text{cm}^4$                                                           |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=5\text{mm}$     |                       |                                                                                   |
| Radius:                    | $r=10\text{mm}$      |                       |                                                                                   |
| Površina:                  | $A=14,36\text{cm}^2$ |                       |                                                                                   |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                      | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\epsilon=1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| $N_{Ed}=$                  | -140,46kN<br>38,90   |                       |                                                                                   |

Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 80 - 2 \cdot 5 = 70 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{70}{5} = 14$$

$$14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 14 \rightarrow 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23.5}{1.0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 140,46 \text{ kN}$$

#### **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  
 $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

$$L_{cr} = 80\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{80^2} = 4256,64\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{4256,64}} = 0,28$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c →  $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,34 \cdot (0,28 - 0,2) + 0,28^2] = 0,55$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0,55 + \sqrt{0,55^2 - 0,28^2}} = 0,98$$

OS z – z

$$L_{cr} = 80\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{80^2} = 4256,64\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{4256,64}} = 0,28$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA b →  $\alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5[1 + 0,49 \cdot (0,28 - 0,2) + 0,28^2] = 0,56$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,28^2}} = 0,96$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0,96 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,96 \cdot 14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 323,96 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 323,96 \text{ kN} > N_{Ed} = 140,46 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{140,46}{323,96} = 0,43 \rightarrow \eta = 43\%$$

**Poprečni presjek CFRHS 80x80x5, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN s iskoristivosti 43%, ali je mjerodavan zbog uvjeta da dijagonala i vertikala imaju isti presjek.**

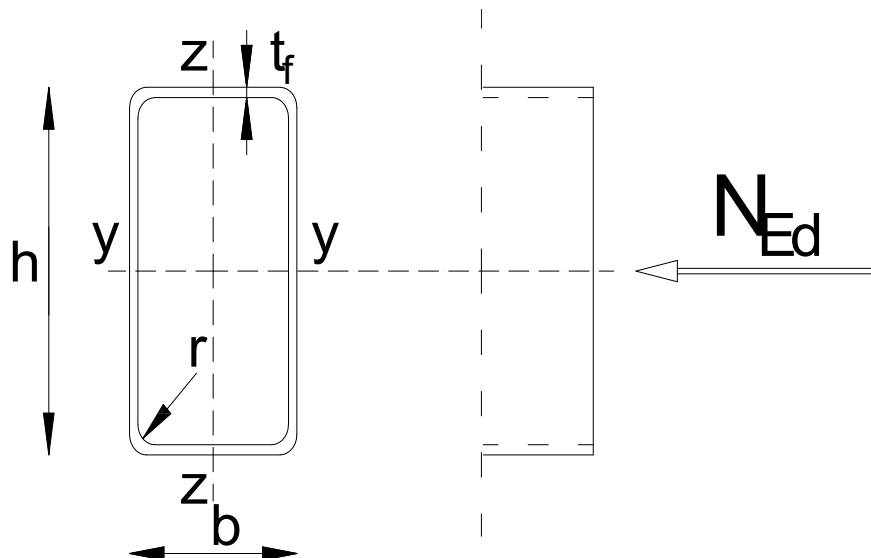
**Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

Gornji pojas je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 3 u iznosu od  $N_{Ed}=53.83\text{kN}$ .

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 38,90 \text{ kN}$$

### 5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 50 Poprečni presjek dijagonala

| Karakteristike presjeka    |                       |                       |                                                                                   |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | CFRHS80x80x5          | Moment tromosti       | $I_y=131,44\text{cm}^4$<br>$I_z=131,44\text{cm}^4$                                |
| Tip presjeka:              | Valjani               | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=39,74\text{cm}^3$<br>$W_{PL,z}=39,74\text{cm}^3$                        |
| Visina presjeka:           | $h=80\text{mm}$       | Konstanta krivljenja: | $I_w=1365,3\text{cm}^6$                                                           |
| Širina presjeka:           | $b=80\text{mm}$       | Torzijska konstanta:  | $I_t=217,83\text{cm}^4$                                                           |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=5\text{mm}$      |                       |                                                                                   |
| Radijus:                   | $r=10\text{mm}$       |                       |                                                                                   |
| Površina:                  | $A=14,36\text{cm}^2$  |                       |                                                                                   |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                       | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\epsilon=1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| $N_{Ed}=$                  | -36,64kN<br>306,94 kN |                       |                                                                                   |

Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 80 - 2 \cdot 5 = 70 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{70}{5} = 14$$

$$14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 14 \rightarrow 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23.5}{1.0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 36,64 \text{ kN}$$

#### **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

$$L_{cr} = 249\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{249^2} = 439,39\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{439,39}} = 0,88$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c →  $\alpha = 0,34$

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

$$\lambda_y = \frac{1}{1 + \sqrt{1^2 - 0,88^2}} = 0,68$$

OS y – y

$$L_{cr} = 249\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{249^2} = 439,39\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{439,39}} = 0,88$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c →  $\alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,49 \cdot (0,88 - 0,2) + 0,88^2] = 1,05$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 0,88^2}} = 0,62$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0,62 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,62 \cdot 14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 209,23 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 209,23 \text{ kN} > N_{Ed} = 36,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{36,64}{209,23} = 0,18 \rightarrow \eta = 18\%$$

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

Gornji pojas je izložen vlačnoj sili u kombinaciji 3 u iznosu od  $N_{Ed}=53.83 \text{ kN}$ .

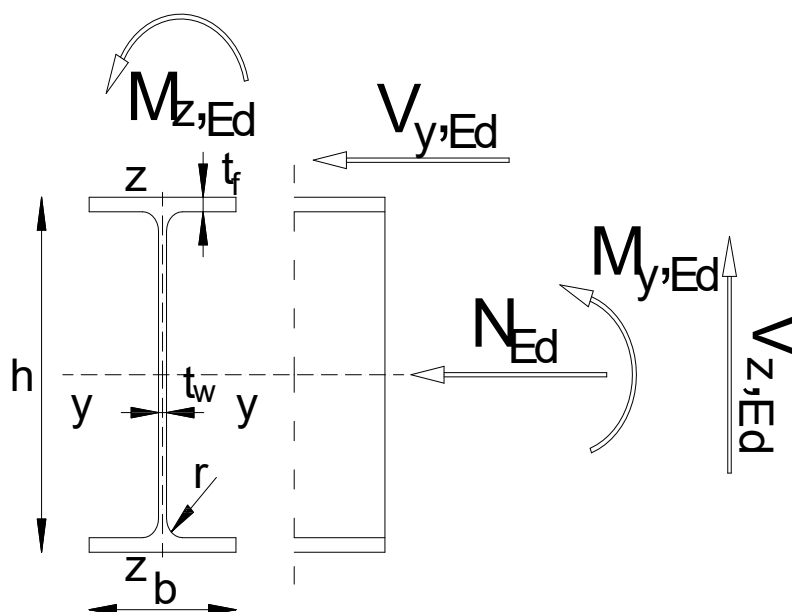
$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 306,94 \text{ kN}$$

**Poprečni presjek CFRHS 80x80x5, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN s iskoristivosti 91%.**

## 5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 5.2.1. KROVNE PODROŽNICE



Slika 51 Poprečni presjek krovne podrožnice

| Karakteristike presjeka    |                     |                       |                                                                                     |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | IPE 240             | Moment tromosti       | $I_y=3892\text{cm}^4$<br>$I_z=284\text{cm}^4$                                       |
| Tip presjeka:              | Valjani             | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=367\text{cm}^3$<br>$W_{PL,z}=73,9\text{cm}^3$                             |
| Visina presjeka:           | $h=240\text{mm}$    | Konstanta krivljenja: | $I_w=37400\text{cm}^6$                                                              |
| Širina presjeka:           | $b=120\text{mm}$    | Torzijska konstanta:  | $I_t=12.9\text{cm}^4$                                                               |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=10\text{mm}$   |                       |                                                                                     |
| Debljina hrpta:            | $t_w=6\text{mm}$    |                       |                                                                                     |
| Radius:                    | $r=15\text{mm}$     |                       |                                                                                     |
| Površina:                  | $A=39,1\text{cm}^2$ |                       |                                                                                     |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                     | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\epsilon=0.1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| $M_{y,Ed}=$                | 51,47kNm            |                       |                                                                                     |
| $M_{z,Ed}=$                | 4,63kNm             |                       |                                                                                     |
| $V_{y,Ed}=$                | 3,47kN              |                       |                                                                                     |
| $V_{z,Ed}=$                | 38,12kN             |                       |                                                                                     |
| $N_{Ed}=$                  | 0kN                 |                       |                                                                                     |

Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 240 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 190 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{190}{6} = 31,67$$

$$31,67 \leq 72\varepsilon \rightarrow 31,67 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{120}{2} - \frac{6}{2} - 15 = 40 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{40}{10} = 4$$

$$4 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

#### **Otpornost presjeka izloženog savijanju**

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{367 \cdot 23,5}{1,00} = 8624,5 \text{ kNcm} = 86,25 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 86,25 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 51,07 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{73,9 \cdot 23,5}{1,00} = 1736,65 \text{ kNcm} = 17,37 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 17,37 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 4,63 \text{ kNm}$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{240 - 2 \cdot 10}{6} = 36,67$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$36,67 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1.20} = 60$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 39,7 - 2 \cdot 12 \cdot 1.0 + |0.6 + 2 \cdot 1.5| \cdot 1.0 = 18.7 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 22 \cdot 0.6 = 15,84 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18.7 |23.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 253,72 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 253,72 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 37,83 \text{ kN}$$

U smjeru y-y

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ &= 39,1 - 22 \cdot 0.6 = 25,9 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{25,9 |23.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 351,40 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 351,40 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 3,43 \text{ kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 540\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{240}{2} = 12\text{cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284}{|1.0 \cdot 540^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{37400}{284} + \frac{|1.0 \cdot 540|^2 \cdot 8077 \cdot 12.9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284} + |0.454 \cdot 12|^2} - 0.454 \cdot 12 \right]$$

$$M_{cr} = 26991,37 \text{ kNcm} = 269,91 \text{ kNm}$$

### Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{367 \cdot 23.5}{26991,37}} = 0,57 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

### **Faktor redukcije**

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.57 - 0.2) + 0.57^2] = 0.70$$

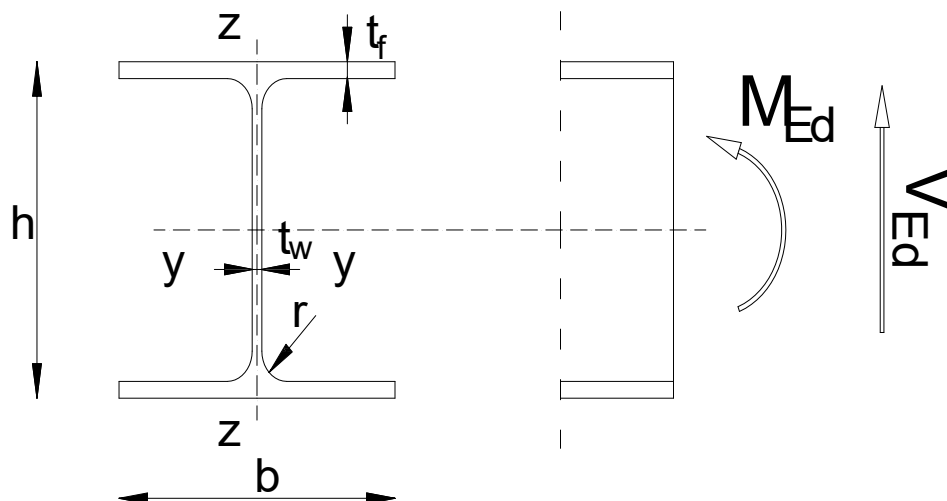
$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.70 + \sqrt{0.70^2 - 0.57^2}} = 0.90 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.90 \frac{367 \cdot 23.5}{1.00} = 7762.05 \text{ kNm} = 77.62 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 77.62 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 51.47 \text{ kNm}$$

**Profil IPE 240, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od  $\eta=66\%$ .**

## 5.2.2. ZABATNI STUPOVI



Slika 52 Poprečni presjek zabatnog stupa

| Karakteristike presjeka    |                     |                       |                                                                                  |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | HEA100              | Moment tromosti       | $I_y=349\text{cm}^4$<br>$I_z=134\text{cm}^4$                                     |
| Tip presjeka:              | Valjani             | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=82,92\text{cm}^3$<br>$W_{PL,z}=41,13\text{cm}^3$                       |
| Visina presjeka:           | $h=96\text{mm}$     | Konstanta krivljenja: | $I_w=2581,3\text{cm}^6$                                                          |
| Širina presjeka:           | $b=100\text{mm}$    | Torzijska konstanta:  | $I_t=5,24\text{cm}^4$                                                            |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=8\text{mm}$    |                       |                                                                                  |
| Debljina hrpta:            | $t_w=5\text{mm}$    |                       |                                                                                  |
| Radius:                    | $r=12\text{mm}$     |                       |                                                                                  |
| Površina:                  | $A=21,2\text{cm}^2$ |                       |                                                                                  |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                     | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\epsilon=1$<br>$E=210\,000\text{N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| $M_{y,Ed}=$                | 9,39 kNm            |                       |                                                                                  |
| $V_{z,Ed}=$                | 5,81 kN             |                       |                                                                                  |

Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 96 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{56}{6} = 11,2$$

$$11,2 \leq 72\varepsilon \rightarrow 11,2 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{100}{2} - \frac{5}{2} - 12 = 35,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35,5}{8} = 4,44$$

$$4,44 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4,44 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{82,92 \cdot 23,5}{1,00} = 1948,62 \text{ kNcm} = 19,49 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 19,49 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9,39 \text{ kNm}$$

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

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{96 - 2 \cdot 18}{5} = 16$$

$$16 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,20} = 60$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 21,2 - 2 \cdot 10 \cdot 0,8 + |0,5 + 2 \cdot 1,2| \cdot 0,8 = 7,52 \text{ cm}^2 \geq 1,20 \cdot 8 \cdot 0,5 = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{7,52 |23,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 102,03 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 102,03 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 5,81 \text{ kN}$$

### **INTERAKCIJA M-V**

Presjek u  $L/4=1.62$

$$0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 102,03 = 51,02 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 5,81 < 51,02 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD UZDUŽNE SILE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{9,39}{19,49} = 0,48 < 1$$

### **OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE**

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

$$L = 646 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{9,6}{2} = 4,8 \text{ cm}$$

$$k = 1,0 \quad k_2 = 1,0$$

$$C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 134}{|1,0 \cdot 646^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{2581,3}{134} + \frac{|1,0 \cdot 646|^2 \cdot 8077 \cdot 5,24}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 134}} + |0,454 \cdot 4,8|^2 - 0,454 \cdot 4,8 \right]$$

$$M_{cr} = 1763,38 \text{ kNcm} = 17,63 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{82,92 \cdot 23.5}{1763,38}} = 1.05 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

FAKTOR REDUKCIJE

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{96}{100} = 0.96 < 2 \rightarrow \text{VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.05 - 0.2) + 1.05^2] = 1.14$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.14 + \sqrt{1.14^2 - 1.05^2}} = 0.63 \leq 1.0$$

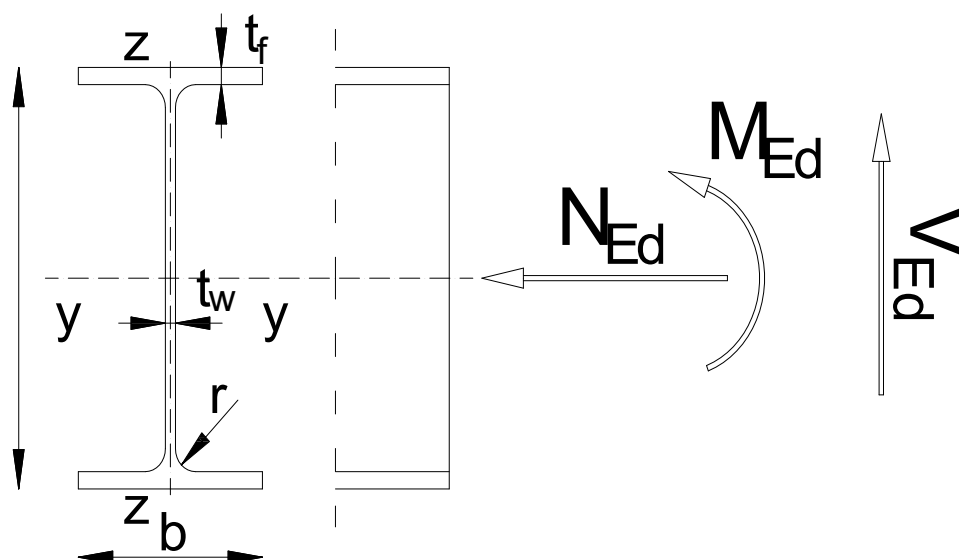
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.63 \frac{82,92 \cdot 23.5}{1.00} = 1227,63 \text{ kNcm} = 12,27 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 12,27 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9,39 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{9,39}{12,27} = 0.77 < 1.0$$

**Profil HEA100, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti od 77%.**

### 5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 53 Poprečni presjek bočne podrožnice

| Karakteristike presjeka    |                     |                       |                                                                                      |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Profil:                    | IPE180              | Moment tromosti       | $I_y=1317\text{cm}^4$<br>$I_z=101\text{cm}^4$                                        |
| Tip presjeka:              | Valjani             | Moment otpora:        | $W_{PL,y}=166\text{ cm}^3$<br>$W_{PL,z}=34,6\text{cm}^3$                             |
| Visina presjeka:           | $h=180\text{mm}$    | Konstanta krivljenja: | $I_w=7430\text{cm}^6$                                                                |
| Širina presjeka:           | $b=91\text{mm}$     | Torzijska konstanta:  | $I_t=4,79\text{cm}^4$                                                                |
| Debljina pojasnice:        | $t_f=8\text{mm}$    |                       |                                                                                      |
| Debljina hrpta:            | $t_w=5\text{mm}$    |                       |                                                                                      |
| Radius:                    | $r=9\text{mm}$      |                       |                                                                                      |
| Površina:                  | $A=23,9\text{cm}^2$ |                       |                                                                                      |
| Ulazni podaci (rezne sile) |                     | Materijal S235→       | $f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\varepsilon=1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| $M_{y,Ed}=$                | 6,89 kNm            |                       |                                                                                      |
| $V_{z,Ed}=$                | 5,10 kN             |                       |                                                                                      |
| $N_{Ed}=$                  | 0kN                 |                       |                                                                                      |

Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 180 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 9 = 146 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5} = 29.2007$$

$$29.2 \leq 72\varepsilon \rightarrow 29.2 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{91}{2} - \frac{5}{2} - 9 = 34 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} = 4.25$$

$$4.25 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4.25 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166 \cdot 23.5}{1.00} = 3901 \text{ kNcm} = 39.01 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 39.01 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6.89 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

$$32,8 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,20} = 60$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 23,9 - 2 \cdot 9,1 \cdot 0,8 + |0,5 + 2 \cdot 0,9| \cdot 0,8 = 11,18 \text{ cm}^2 \geq 1,20 \cdot 16,4 \cdot 0,5 = 9,84 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{11,18 |23,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 151,69 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 151,69 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 5,10 \text{ kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 540 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 9,0 \text{ cm}$$

$$k = 1,0 \quad k_2 = 1,0$$

$$C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{|1,0 \cdot 540^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{|1,0 \cdot 540|^2 \cdot 8077 \cdot 4,79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101} + |0,454 \cdot 9|^2} - 0,454 \cdot 9 \right]$$

$$M_{cr} = 1698,92 \text{ kNcm} = 16,99 \text{ kNm}$$

### **Bezdimenzijska vitkost**

ZA KLASU 1 I 2  $W_y = W_{pl,y}$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{166 \cdot 23.5}{1698,92}} = 1.52 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

### **Faktor redukcije**

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.98 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.52 - 0.2) + 1.52^2] = 1.79$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.79 + \sqrt{1.79^2 - 1.52^2}} = 0.37 \leq 1.0$$

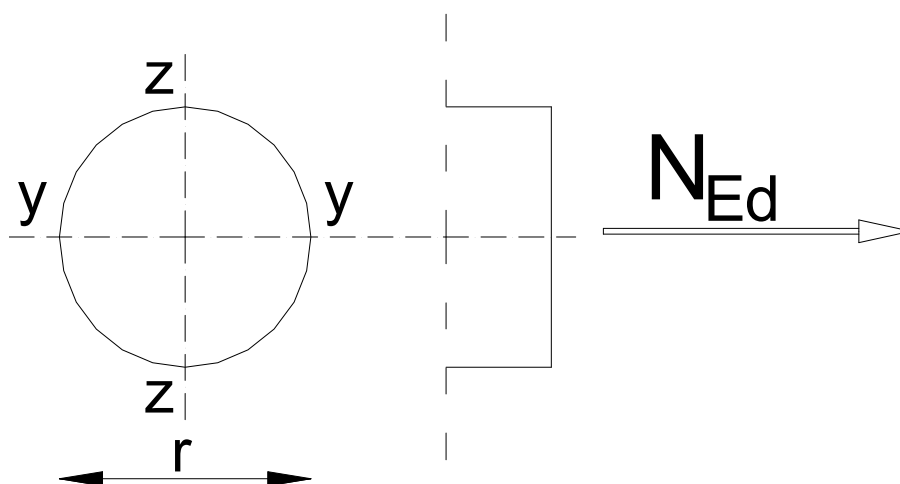
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.37 \frac{166 \cdot 23.5}{1.00} = 1443,37 \text{ kNm} = 14,43 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,43 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6,89 \text{ kNm}$$

**Profil IPE180, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od  $\eta=48\%$ .**

## 5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA

### 5.2.4.1. HORIZONTALNI SPREG



Slika 54 Poprečni presjek sprega

|                                                       |                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Karakteristike presjeka: RD 12<br>$A=1,13\text{cm}^2$ | Materijal S235 $\rightarrow f_y=235\text{N/mm}^2$<br>$\epsilon=1$<br>$E=210\,000\text{ N/mm}^2$<br>$\nu=0.3$ |
| Ulazni podaci:<br>$N_{Ed}=4,72\text{ kN}$             |                                                                                                              |

Tablica 22 Karakteristike poprečnog presjeka sprega

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 23,5}{1,0} = 26,56\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 26,56\text{kN} > N_{Ed} = 4,72\text{kN}$$

$$\eta = \frac{4,72}{26,56} = 0,17 < 1,0$$

**Profil RD 12, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od  $\eta=17\%$ .**

#### 5.2.4.2. DIMENZIONIRANJE BOČNOG SPREGA

|                                                         |                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Karakteristike presjeka: RD 12<br>A=1.13cm <sup>2</sup> | Materijal S235 → f <sub>y</sub> =235N/mm <sup>2</sup><br>ε=1<br>E=210 000 N/mm <sup>2</sup><br>ν=0.3 |
| Ulazni podaci:<br>N <sub>Ed</sub> =15,76 kN             |                                                                                                      |

Tablica 23 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega

#### **OTPOROST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.13 \cdot 23.5}{1.0} = 26,56 \text{ kN}$$

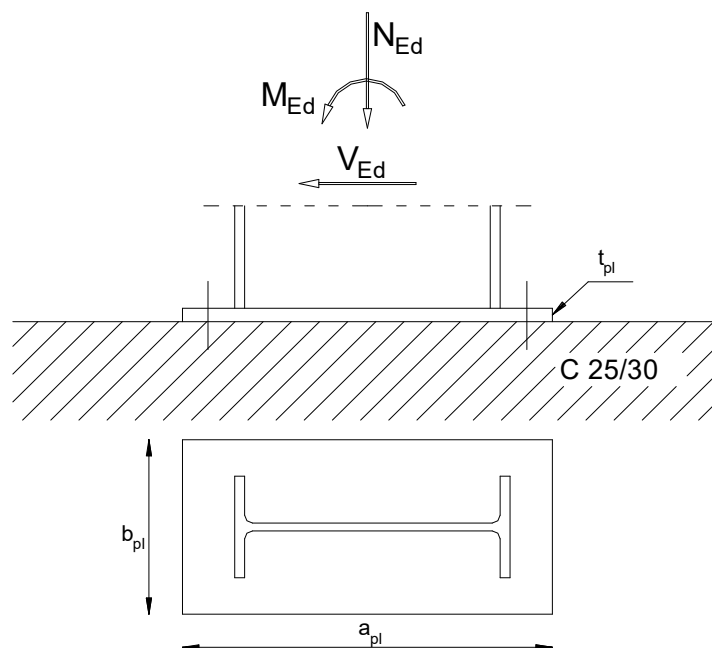
$$N_{c,Rd} = 26,56 \text{ kN} > N_{Ed} = 15,76 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{15,76}{26,56} = 0,59 < 1.0$$

**Profil RD 12, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od η=59%.**

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 55 Spoj stup-temelj

| Veličine djelovanja: |          | Materijal:                                   | Poprečni presjek (STUP, HEA 200) |                     |
|----------------------|----------|----------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| $M_{Ed}=$            | 24,24kNm | Osnovni materijal S235<br><br>Vijci k.v. 5,6 | $h=$                             | 190mm               |
| $V_{Ed}=$            | 5,48kN   |                                              | $b=$                             | 200mm               |
| $N_{Ed}=$            | 85,59kN  |                                              | $t_w=$                           | 7mm                 |
|                      |          |                                              | $t_f=$                           | 10mm                |
|                      |          |                                              | $A=$                             | 53,8cm <sup>2</sup> |

Tablica 24 Tablica karakteristika spoja stup-temelj

Veličine djelovanja su dobivene za istu kritičnu kombinaciju kao I kod graničnog stanja uporabljivosti.

### RASPODJELA SILA PO PRESJEKU NOSAČA:

#### Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

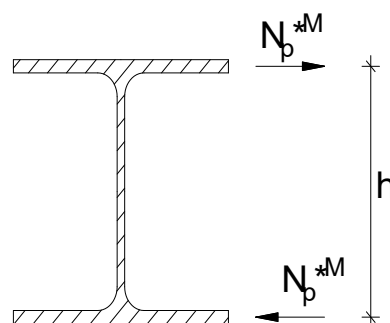
$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{24,24}{(0,19 - 0,01)} = 134,67 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1}{53,8} \cdot (-85,59) = -31,82 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 134,67 - 31,82 = 102,85 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$



### KONTROLA VAROVA:

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2t_f) = 2 \cdot (190 - 2 \cdot 10) = 340 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 7 = 4,9 \text{ mm}$$

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

| KARAKTERISTIČNA OTPORNOST VARA U UVALI                                   |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L$          |      |       |       |       | $a$ – debljina vara<br>$L$ – dužina vara<br>$\beta_w$ = koeficijent korelacije |       |       |       |       |
| Otpornost zavara $F_{w,Rk}$ za var dužine 100 mm                         |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |
| Debljina vara<br>$a$ [mm]                                                | 3    | 4     | 5     | 6     | 7                                                                              | 8     | 9     | 10    | 12    |
| S 235; $\beta_w=0,8$                                                     | 77,9 | 103,9 | 129,9 | 155,9 | 181,9                                                                          | 207,8 | 233,8 | 259,8 | 311,8 |
| S 275;<br>$\beta_w=0,85$                                                 | 87,6 | 116,8 | 146,0 | 175,2 | 204,4                                                                          | 233,7 | 262,9 | 292,1 | 350,5 |
| S 355; $\beta_w=0,9$                                                     | 98,1 | 130,9 | 163,6 | 196,3 | 229,0                                                                          | 261,7 | 294,4 | 327,2 | 392,6 |
| Za dužinu vara različitu od 100 mm, gornje vrijednosti množiti s $L/100$ |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |

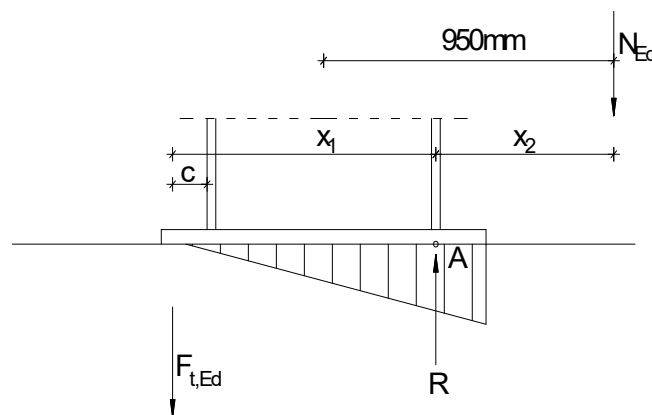
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 332,5 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 102,85 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 282,6 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 5,48 \text{ kN}$$

### PRORAČUN VIJAKA



Uz pretpostavku vijaka M-16 udaljenost  $c_{min}$  vijaka od ruba pojasnice iznosi:

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

-Usvojeni  $c=40 \text{ mm}$

-Ekscentricitet uzdužne sile  $e = M_{Ed}/N_{Ed} = 24,24/85,59 = 0,28 \text{ m} = 280 \text{ mm}$

-Ekscentricitet  $X_1 = c + h - t_f/2 = 40 + 190 + 10/2 = 225 \text{ mm} = 0,225 \text{ m}$

-Ekscentricitet  $X_2 = e - h/2 + t_f/2 = 280 - 190/2 + 10/2 = 190 \text{ mm} = 0,190 \text{ m}$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{t,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 85,59 \cdot \frac{0,19}{0,225} = 72,28 \text{ kN}$$

### OTPORNOST VIJAKA NA VLAK



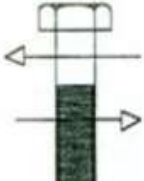
$$F_{t,Rk} = 0,9 \times f_{ub} \times A_s$$

| Promjer vijka d [mm] | KV. | 12   | 16    | 20    | 22    | 24    | 27    | 30    | 36    |
|----------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4,6                  |     | 30,3 | 56,5  | 88,2  | 109,1 | 127,1 | 165,2 | 202,0 | 294,1 |
| 5,6                  |     | 37,9 | 70,7  | 110,3 | 136,4 | 158,9 | 206,6 | 252,5 | 367,7 |
| 8,8                  |     | 60,7 | 113,0 | 176,4 | 218,2 | 254,2 | 330,5 | 403,9 | 588,2 |
| 10,9                 |     | 75,9 | 141,3 | 220,5 | 272,7 | 317,7 | 413,1 | 504,9 | 735,3 |

Slika 56 Karakteristična vlačna otpornost za jedan vijak u (kN)

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{70,7}{1,25} = 56,56 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{72,28}{2} = 36,14 \text{ kN}$$

### OTPORNOST VIJAKA NA POSMIK



$$F_{v,Rk} = \alpha_v \times f_{ub} \times A_s$$

gdje je:  $\alpha_v = 0,6$  za klasu 4,6, 5,6 i 8,8  
 $\alpha_v = 0,5$  za klasu 4,8, 5,8 i 10,9

| Promjer vijka                             | d [mm]                            | 12   | 16   | 20    | 22    | 24    | 27    | 30    | 36    |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promjer rupe                              | d <sub>0</sub> [mm]               | 13   | 18   | 22    | 24    | 26    | 30    | 33    | 39    |
| Površina jezgre vijka                     | A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ] | 84,3 | 157  | 245   | 303   | 353   | 459   | 561   | 817   |
| Posmična otpornost F <sub>v,Rk</sub> [kN] | KV.                               |      |      |       |       |       |       |       |       |
|                                           | 4,6                               | 20,2 | 37,7 | 58,8  | 72,7  | 84,7  | 110,2 | 134,6 | 196,1 |
|                                           | 5,6                               | 25,3 | 47,1 | 73,5  | 90,9  | 105,9 | 137,7 | 168,3 | 245,1 |
|                                           | 8,8                               | 40,5 | 75,4 | 117,6 | 145,4 | 169,4 | 220,3 | 269,3 | 392,2 |
|                                           | 10,9                              | 42,2 | 78,5 | 122,5 | 151,5 | 176,5 | 229,5 | 280,5 | 408,5 |

Slika 57 Karakteristična posmična otpornost za jedan vijak i jednu posmičnu površinu u (kN)

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{47,1}{1,25} = 37,68 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{5,48}{4} = 1,37 \text{ kN}$$

### INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1,37}{37,68} + \frac{72,28}{1,4 \cdot 56,56} = 0,95 \leq 1,0$$

## PRORAČUN PLOČE

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 190 + 2(40 + 40) = 350mm$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20mm = 200 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 231,31mm$$

$$= p_2 + 2e_2 = 52 + 2 \cdot 30 = 112mm$$

ODRABRANE DIMENZIJE PLOČE SU **350x240mm**

### Proračun debljine ploče $t_{pl}^{min}$

$$F_{b,Rk} = k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{c_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

|                         |                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promjer vijka           | d [mm]                          | 12    | 16    | 20    | 22    | 24    | 27    | 30    | 36    |
| Promjer rupe            | d <sub>0</sub> [mm]             | 13    | 18    | 22    | 24    | 26    | 30    | 33    | 39    |
| Kompaktni detalj        | c <sub>1</sub>                  | 20    | 27,5  | 35    | 37,5  | 40    | 45    | 50    | 60    |
|                         | p <sub>1</sub> ; p <sub>2</sub> | 30    | 40    | 50    | 55    | 60    | 67,5  | 75    | 90    |
|                         | c <sub>2</sub>                  | 20    | 25    | 30    | 32,5  | 35    | 40    | 45    | 55    |
|                         | S 235                           | 55,4  | 70,7  | 91,4  | 101,8 | 110,8 | 121,5 | 136,4 | 166,2 |
|                         | S 275                           | 68,2  | 84,4  | 109,1 | 121,5 | 132,3 | 145,1 | 162,9 | 198,5 |
|                         | S 355                           | 78,5  | 100,1 | 129,4 | 144,1 | 156,9 | 172,1 | 193,2 | 235,4 |
| Preporučene vrijednosti | c <sub>1</sub>                  | 30    | 40    | 50    | 55    | 60    | 67,5  | 75    | 90    |
|                         | p <sub>1</sub> ; p <sub>2</sub> | 40    | 55    | 70    | 75    | 80    | 90    | 100   | 120   |
|                         | c <sub>2</sub>                  | 25    | 30    | 40    | 45    | 50    | 55    | 60    | 70    |
|                         | S 235                           | 83,1  | 106,7 | 136,4 | 151,3 | 166,2 | 182,3 | 204,5 | 249,2 |
|                         | S 275                           | 99,2  | 127,4 | 162,9 | 180,7 | 198,5 | 217,7 | 244,3 | 297,7 |
|                         | S 355                           | 117,7 | 151,1 | 193,2 | 214,3 | 235,4 | 258,2 | 289,8 | 353,1 |

### Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{sd}}{4} = \frac{5,48}{4} = 1,37kN = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{106,7}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl}^{min} > \frac{1,37 \cdot 1,25 \cdot 10}{106,7} = 0,160mm$$

### Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{350 - 190 + 10}{2} = 85mm = 0,085m$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 72,28 + 85,59 = 157,87kN$$

### Naprezanje na betonu

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{157,87}{\frac{3 \cdot 8,5 \cdot 24}{2}} = \frac{0,52 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

#### **SAVIJANJE PLOČE**

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 5200 \cdot 0,085 \cdot 0,24 \cdot \frac{0,085}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 5200 \cdot 0,085 \cdot 0,24}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,085 = 4 \text{ kNm}$$

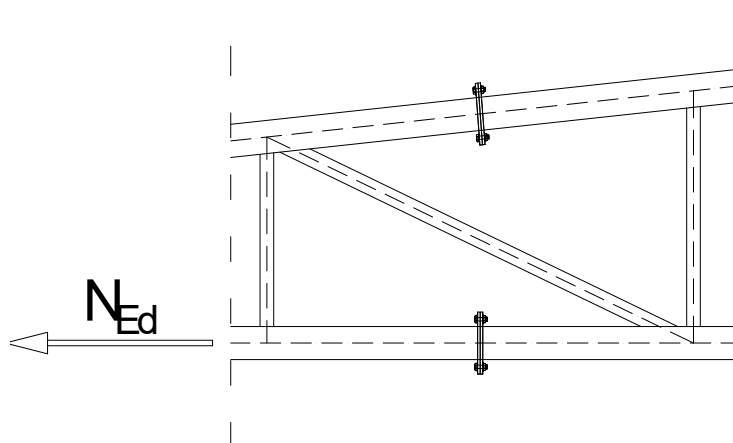
#### **SAVIJANJE PLOČE OD VLAČNIH VIJAKA**

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left( c + \frac{t_f}{2} \right) = 72,28 \cdot \left( 40 + \frac{10}{2} \right) = 3252,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}}$$
$$= \sqrt{\frac{1,1 \cdot 325,26 \cdot 6}{24 \cdot 23,5}} = 1,95 \text{ cm} = 19,5 \text{ mm}$$

#### **ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 350x240x20 mm**

## 6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 58 Vlačni nastavak rešetke

| Veličine djelovanja: |          | Materijal:                           | Poprečni presjek (CFRHS 150x150x5.0) |                                               |
|----------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| $N_{Ed} =$           | 289,88kN | Osnovni materijal S235<br>Vijci k.v. | h=<br>b=<br>t <sub>f</sub> =<br>A=   | 150mm<br>150mm<br>5mm<br>28,36cm <sup>2</sup> |

### 1.KONTROLA VAROVA

#### Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 5 = 3,5\text{mm}$$

Odabrano a=4mm

#### Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 150 = 600\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 373,92\text{kN} > N_{Ed} = 289,88\text{kN}$$

| KARAKTERISTIČNA OTPORNOST VARA U UVALI                                   |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L$          |      |       |       |       | $a$ – debljina vara<br>$L$ – dužina vara<br>$\beta_w$ = koeficijent korelacije |       |       |       |       |
| Otpornost zavarivanja $F_{w,Rk}$ za var dužine 100 mm                    |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |
| Debljina vara<br>$a$ [mm]                                                | 3    | 4     | 5     | 6     | 7                                                                              | 8     | 9     | 10    | 12    |
| S 235; $\beta_w=0,8$                                                     | 77,9 | 103,9 | 129,9 | 155,9 | 181,9                                                                          | 207,8 | 233,8 | 259,8 | 311,8 |
| S 275;<br>$\beta_w=0,85$                                                 | 87,6 | 116,8 | 146,0 | 175,2 | 204,4                                                                          | 233,7 | 262,9 | 292,1 | 350,5 |
| S 355; $\beta_w=0,9$                                                     | 98,1 | 130,9 | 163,6 | 196,3 | 229,0                                                                          | 261,7 | 294,4 | 327,2 | 392,6 |
| Za dužinu vara različitu od 100 mm, gornje vrijednosti množiti s $L/100$ |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |

## 2.PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: M20 k.v. 8,8

$n=4$  vijaka

### Otpornost vijaka na vlak

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

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{289,88}{4} = 72,47 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

|  $F_{t,Rk} = 0,9 \times f_{ub} \times A_s$ |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promjer<br>vijka $d$<br>[mm]                                                                                                  | KV   | 12   | 16    | 20    | 22    | 24    | 27    | 30    | 36    |
| Vlačna<br>otpornost<br>$F_{t,Rk}$ [kN]                                                                                        | 4.6  | 30,3 | 56,5  | 88,2  | 109,1 | 127,1 | 165,2 | 202,0 | 294,1 |
|                                                                                                                               | 5.6  | 37,9 | 70,7  | 110,3 | 136,4 | 158,9 | 206,6 | 252,5 | 367,7 |
|                                                                                                                               | 8.8  | 60,7 | 113,0 | 176,4 | 218,2 | 254,2 | 330,5 | 403,9 | 588,2 |
|                                                                                                                               | 10.9 | 75,9 | 141,3 | 220,5 | 272,7 | 317,7 | 413,1 | 504,9 | 735,3 |

### 3.PRORAČUN PLOČE

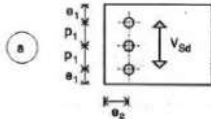
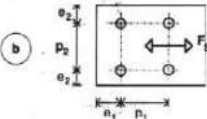
#### Proračun dimenzije ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 2 + 4\sqrt{2} = 44,24\text{mm}$$

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

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20\text{mm} = 150 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 178,48\text{mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE **272x272 mm**

| RAZMACI IZMEĐU VIJAKA OPTEREĆENIH NA POSMIK<br>RAZMACI $e_2$ I $p_2$ MJERE SE OKOMITO NA SMJER DJELOVANJA SILE                                                                                                                                   |            |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|-------|
|                                                                                |            |       |       |
| 1. $2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq \max(12t_1; 150\text{ mm})$<br>1. $5 \cdot d_0 \leq e_2 \leq \max(12t_1; 150\text{ mm})$<br>2. $2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \max(14t_1; 200\text{ mm})$<br>3. $0 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \max(14t_1; 200\text{ mm})$ |            |       |       |
| PREPORUČENE VRIJEDNOSTI RAZMAKA VIJAKA                                                                                                                                                                                                           |            |       |       |
| VIJCI                                                                                                                                                                                                                                            | [mm]       |       |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                  | $p_1; p_2$ | $e_1$ | $e_2$ |
| M 12                                                                                                                                                                                                                                             | 40         | 30    | 25    |
| M 16                                                                                                                                                                                                                                             | 55         | 40    | 30    |
| M 20                                                                                                                                                                                                                                             | 70         | 50    | 40    |
| M 24                                                                                                                                                                                                                                             | 80         | 60    | 50    |
| M 27                                                                                                                                                                                                                                             | 90         | 70    | 55    |
| M 30                                                                                                                                                                                                                                             | 100        | 75    | 60    |
| M 36                                                                                                                                                                                                                                             | 120        | 90    | 70    |

#### Proračun minimalne debljine ploče $t_{pl}$

$$e = 26\text{mm}$$

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

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 72,47 \cdot 0,026 = 3,8\text{kNm}$$

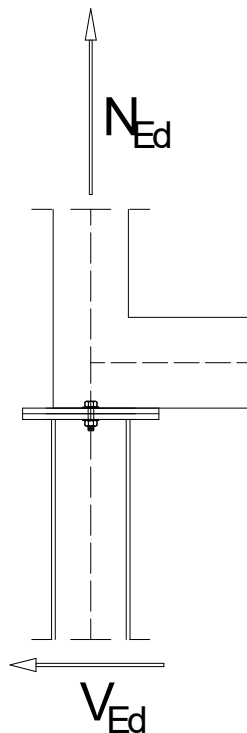
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 380 \cdot 6}{27,2 \cdot 23,5}} = 1,98\text{cm} = 19,2\text{mm}$$

ZADOVOLJAVA PLOČA DEBLJINE  $t_{pl} = 20\text{mm}$

**ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 272x272x20 mm**

### 6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



| Veličine djelovanja:                                                                                   | Materijal:                                      | Poprečni presjek:                                                                                              |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Poprečna sila u stupu<br>$V_{Ed}=13.72 \text{ kN}$<br>Vlačna sila u vertikali<br>$N_{Ed}=0 \text{ kN}$ | Osnovni materijal<br>S235<br><br>Vijci k.v. 8,8 | HEA 200( stup )<br><br>$h=190 \text{ mm}$<br>$t_f=200 \text{ mm}$<br>$t_f=10 \text{ mm}$<br>$t_w=7 \text{ mm}$ | CFRHS 150x150x5.0<br><br>$h=150 \text{ mm}$<br>$b=150 \text{ mm}$<br>$t_f=5.0 \text{ mm}$ |

## 1.KONTROLA VAROVA

### Dužina vara hrpta

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 6 = 4.2\text{mm}$$

### Dužina vara pojasa

$$l_2 = 0 = 4 \cdot 180 = 720\text{mm}$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_w = 0.7 \cdot 9 = 6.3\text{mm}$$

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_f = 0.7 \cdot 6 = 4.2\text{mm}$$

$$\text{ODABRANO } a = 4.0\text{mm}$$

### Otpornost vara

| KARAKTERISTIČNA OTPORNOST VARA U UVALI                                   |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L$          |      |       |       |       | $a$ – debljina vara<br>$L$ – dužina vara<br>$\beta_w$ = koeficijent korelacije |       |       |       |       |
| Otpornost zavarivanja $F_{w,Rk}$ za var dužine 100 mm                    |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |
| Debljina vara<br>$a$ [mm]                                                | 3    | 4     | 5     | 6     | 7                                                                              | 8     | 9     | 10    | 12    |
| S 235; $\beta_w=0,8$                                                     | 77,9 | 103,9 | 129,9 | 155,9 | 181,9                                                                          | 207,8 | 233,8 | 259,8 | 311,8 |
| S 275;<br>$\beta_w=0,85$                                                 | 87,6 | 116,8 | 146,0 | 175,2 | 204,4                                                                          | 233,7 | 262,9 | 292,1 | 350,5 |
| S 355; $\beta_w=0,9$                                                     | 98,1 | 130,9 | 163,6 | 196,3 | 229,0                                                                          | 261,7 | 294,4 | 327,2 | 392,6 |
| Za dužinu vara različitu od 100 mm, gornje vrijednosti množiti s $L/100$ |      |       |       |       |                                                                                |       |       |       |       |

### Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{130.9}{1.25} \cdot \frac{556}{100} = 582.24\text{kN} > V_{Ed} = 13.72\text{kN}$$

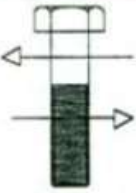
### Uzdužna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{130.9}{1.25} \cdot \frac{720}{100} = 753.98\text{kN} > N_{Ed} = 53.83\text{kN}$$

## 2.PRORAČUN VIJAKA

Odabrani vijak M16, k.v. 8.8

### Otpornost vijka na posmik



$$F_{v,Rk} = \alpha_v \times f_{ub} \times A_s$$

gdje je:  $\alpha_v = 0,6$  za klasu 4,6, 5,6 i 8,8  
 $\alpha_v = 0,5$  za klasu 4,8, 5,8 i 10,9

|                                           |                                   |      |             |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promjer vijka                             | d [mm]                            | 12   | 16          | 20    | 22    | 24    | 27    | 30    | 36    |
| Promjer rupe                              | d <sub>0</sub> [mm]               | 13   | 18          | 22    | 24    | 26    | 30    | 33    | 39    |
| Površina jezgre vijka                     | A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ] | 84,3 | 157         | 245   | 303   | 353   | 459   | 561   | 817   |
| Posmična otpornost F <sub>v,Rk</sub> [kN] | KV.                               |      |             |       |       |       |       |       |       |
|                                           | 4.6                               | 20,2 | 37,7        | 58,8  | 72,7  | 84,7  | 110,2 | 134,6 | 196,1 |
|                                           | 5.6                               | 25,3 | 47,1        | 73,5  | 90,9  | 105,9 | 137,7 | 168,3 | 245,1 |
|                                           | 8.8                               | 40,5 | <b>75,4</b> | 117,6 | 145,4 | 169,4 | 220,3 | 269,3 | 392,2 |
|                                           | 10.9                              | 42,2 | 78,5        | 122,5 | 151,5 | 176,5 | 229,5 | 280,5 | 408,5 |

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{75.4}{1.25} = 60.32 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{13.72}{2} = 6.86 \text{ kN}$$

### Otpornost vijka na vlak



$$F_{t,Rk} = 0.9 \times f_{ub} \times A_s$$

|                                         |      |      |              |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|------|------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promjer vijka d [mm]                    | KV.  | 12   | 16           | 20    | 22    | 24    | 27    | 30    | 36    |
| Vlačna otpornost F <sub>t,Rk</sub> [kN] | 4.6  | 30,3 | 56,5         | 88,2  | 109,1 | 127,1 | 165,2 | 202,0 | 294,1 |
|                                         | 5.6  | 37,9 | 70,7         | 110,3 | 136,4 | 158,9 | 206,6 | 252,5 | 367,7 |
|                                         | 8.8  | 60,7 | <b>113,0</b> | 176,4 | 218,2 | 254,2 | 330,5 | 403,9 | 588,2 |
|                                         | 10.9 | 75,9 | 141,3        | 220,5 | 272,7 | 317,7 | 413,1 | 504,9 | 735,3 |

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{113}{1.25} = 90.4 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{53.83}{2} = 26.92 \text{ kN}$$

### Interakcija uzdužne i posmične sile

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow \frac{6.86}{60.32} + \frac{53.83}{1.4 \cdot 90.4} = 0.54 \leq 1.0$$

### 3.PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE

| RAZMACI IZMEĐU VIJAKA OPTEREĆENIH NA POSMIK<br>RAZMACI $e_1$ i $p_2$ MJERE SE OKOMITO NA SMJER DJELOVANJA SILE                                                                                                                                       |            |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                      |            |       |       |
| 1. $2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$<br>1. $5 \cdot d_0 \leq e_2 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$<br>2. $2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \max(14t_1; 200 \text{ mm})$<br>3. $0 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \max(14t_1; 200 \text{ mm})$ |            |       |       |
| PREPORUČENE VRIJEDNOSTI RAZMAKA VIJAKA                                                                                                                                                                                                               |            |       |       |
| VIJCI                                                                                                                                                                                                                                                | [mm]       |       |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                      | $p_1; p_2$ | $e_1$ | $e_2$ |
| M 12                                                                                                                                                                                                                                                 | 40         | 30    | 25    |
| M 16                                                                                                                                                                                                                                                 | 55         | 40    | 30    |
| M 20                                                                                                                                                                                                                                                 | 70         | 50    | 40    |
| M 24                                                                                                                                                                                                                                                 | 80         | 60    | 50    |
| M 27                                                                                                                                                                                                                                                 | 90         | 70    | 55    |
| M 30                                                                                                                                                                                                                                                 | 100        | 75    | 60    |
| M 36                                                                                                                                                                                                                                                 | 120        | 90    | 70    |

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37.66 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$a_{pl,min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 310 + 2 \cdot (40 + 40) = 470 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 331.31 \text{ mm} = 340 \text{ mm}$$

### Pritisak po omotaču rupe

$$F_{v,Ed} = \frac{T_{Ed}}{2} = \frac{13.72}{2} = 6.86 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} = \frac{6.86 \cdot 1.25 \cdot 10}{150.96} = 0.56 \text{ mm}$$

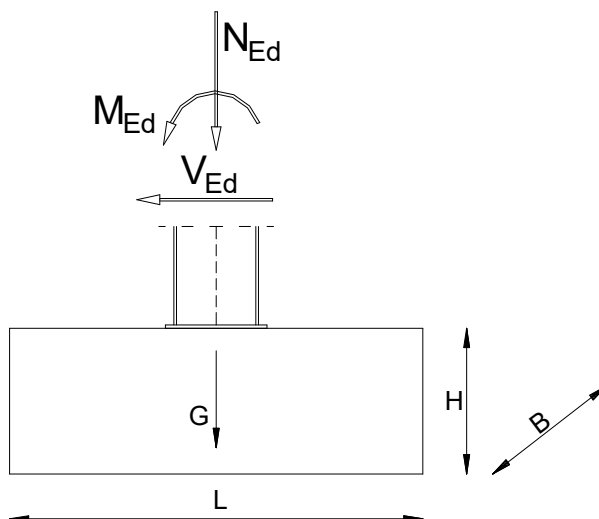
**Savijanje ploče od vlačnih vijaka**

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 26.92 \cdot 0.04 = 1.07 \text{ kNm}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 107 \cdot 6}{34 \cdot 35.5}} = 0.76 \text{ cm} = 7.6 \text{ mm}$$

**ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 470x340x10mm**

## 7. PRORAČUN TEMELJA



Tablica 25 Temelj i opterećenja temelja

| Pretpostavljene dimenzije temelja: | Rezne sile:              | Karakteristike (temelj, beton, čelik):            |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|
| L=2.0m                             | $N_{Ed}=85,59\text{kN}$  | Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim}=300\text{kN/m}^2$ |
| B=2.0m                             | $V_{Ed}=5,48\text{kN}$   | Beton C25/30: $f_{ck}=2.5\text{kN/cm}^2$          |
| H=1.5m                             | $M_{Ed}=24,24\text{kNm}$ | Čelik B500B: $f_{yk}=50.0\text{kN/cm}^2$          |

Tablica 26 Karakteristike temelja i temeljnog tla

Površina temeljne stope:

$$A = L \cdot B = 2.0 \cdot 2.0 = 4.0\text{m}^2$$

Težina temeljne stope:

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2.0 \cdot 2.0 \cdot 1.5 \cdot 25 = 150\text{kN}$$

Moment otpora temeljne stope:

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2.0 \cdot 2.0^2}{6} = 1.33\text{m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{85,59 + 150}{4} \pm \frac{24,24}{1,33}$$
$$\sigma_1 = 77,12 \text{ kN/m}^2$$
$$\sigma_2 = 40,67 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{24,24}{85,59 + 150} = 0,10 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2}{2} - 0,10 \right) = 2,7 \text{ m}$$
$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (85,59 + 150)}{5,4} = \frac{87,26 \text{ kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2 - 0,19}{2} = 0,91 \text{ m}$$
$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2,7 - 0,91}{2,7} \cdot 87,26 = 57,85 \text{ kN/m}^2$$
$$M_{Ed}^{1-1} = \gamma \cdot \left( \sigma_{1-1} \cdot \frac{L_1^2}{2} \cdot B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} \cdot L_1 \cdot B \cdot \frac{2}{3} \cdot L_1 \right)$$
$$M_{Ed}^{1-1} = 1,4 \cdot \left( 57,85 \cdot \frac{0,91}{2} \cdot 2 + \frac{87,26 - 57,85}{2} \cdot 0,91 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,91 \right) = 96,43 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu:

$$z \approx 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,5 = 120 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{9643}{120 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 3,061,85 \text{ cm}^2 < A_{S1,min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 30,0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armature:

Odabrano: glavna armatura →  $\phi 12/10$

razdjelna armature →  $\phi 8/25$

## 8. LITERATURA

- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Meta lne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [2] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 2, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [3] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [4] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hachbau.
- [5] Prof.dr sc. Ivica Boko: Predavanja
- [6] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

## 9. POPIS TABLICA I SLIKA

### 9.1. POPIS SLIKA

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1 Prikaz glavnog nisača .....                                            | 1  |
| Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije .....                                     | 1  |
| Slika 3 Prostorni prikaz konstrukcije .....                                    | 2  |
| Slika 4 Princip preuzimanja opterećenja .....                                  | 5  |
| Slika 5 Djelovanje stalnog opterećenja na glavni nosač .....                   | 7  |
| Slika 6 Opterećenje glavnog nisača snijegom .....                              | 8  |
| Slika 7 Smjer pozitivnog i negativnog djelovanja vjetra .....                  | 9  |
| Slika 8 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove .....                     | 10 |
| Slika 9 Tlocrtni prikaz polja u odnosu na konstrukciju .....                   | 12 |
| Slika 10 Definiranje područja za vertikalne zidove .....                       | 13 |
| Slika 11 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove- bočni pogled .....       | 13 |
| Slika 12 Prikaz polja u odnosu na konstrukciju .....                           | 15 |
| Slika 13 Opterećenje vjetra W1 u čvorovima rešetke .....                       | 16 |
| Slika 14 Opterećenje vjetra W2 u čvorovima rešetke .....                       | 16 |
| Slika 15 Vertikalni progib glavnog nisača .....                                | 17 |
| Slika 16 Horizontalni progib glavnog nisača .....                              | 18 |
| Slika 17 Dijagram momenata za kombinaciju 1 .....                              | 19 |
| Slika 18 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1 .....                        | 19 |
| Slika 19 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1 .....                         | 20 |
| Slika 20 Dijagram momenata za kombinaciju 2 .....                              | 20 |
| Slika 21 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2 .....                        | 20 |
| Slika 22 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2 .....                         | 21 |
| Slika 23 Dijagram momenata za kombinaciju 3 .....                              | 21 |
| Slika 24 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3 .....                        | 22 |
| Slika 25 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3 .....                         | 22 |
| Slika 29 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2 na zabatne stupove ..... | 23 |
| Slika 30 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2 .....        | 23 |
| Slika 31 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja W2 .....          | 24 |
| Slika 32 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja W2 .....    | 24 |
| Slika 33 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova) .....          | 25 |
| Slika 34 Reakcije horizontalnog sprega .....                                   | 25 |
| Slika 35 Dijagram uzdužnih sila .....                                          | 26 |
| Slika 36 Djelovanje na bočni spreg .....                                       | 26 |

|          |                                                                                             |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 37 | Dijagram uzdužnih sila na bočni spreg .....                                                 | 27 |
| Slika 38 | Djelovanja na krovnu podrožnicu.....                                                        | 28 |
| Slika 39 | Djelovanje vjetra na krovne podrožnice .....                                                | 28 |
| Slika 40 | Dijagram momenata $M_y$ i $M_z$ za kombinaciju 1 .....                                      | 29 |
| Slika 41 | Dijagram poprečnih sila $V_y$ i $V_z$ za kombinaciju 1 .....                                | 29 |
| Slika 42 | Dijagram momenata $M_y$ i $M_z$ za kombinaciju 2 .....                                      | 30 |
| Slika 43 | Dijagram poprečnih sila $V_y$ i $V_z$ za kombinaciju 2 .....                                | 30 |
| Slika 44 | Dijagram momenata $M_y$ i $M_z$ za kombinaciju 3 .....                                      | 31 |
| Slika 45 | Dijagram poprečnih sila $V_y$ i $V_z$ za kombinaciju 3 .....                                | 31 |
| Slika 49 | Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu .....                                                 | 32 |
| Slika 50 | Dijagram momenata za djelovanje vjetra .....                                                | 32 |
| Slika 51 | Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra .....                                          | 33 |
| Slika 53 | Poprečni presjek stupa .....                                                                | 34 |
| Slika 54 | Poprečni presjek gornjeg pojasa .....                                                       | 43 |
| Slika 55 | Poprečni presjek donjega pojasa.....                                                        | 47 |
| Slika 56 | Poprečni presjek vertikala .....                                                            | 51 |
| Slika 57 | Poprečni presjek dijagonala .....                                                           | 55 |
| Slika 58 | Poprečni presjek krovne podrožnice.....                                                     | 59 |
| Slika 59 | Poprečni presjek zabatnog stupa .....                                                       | 64 |
| Slika 60 | Poprečni presjek bočne podrožnice .....                                                     | 68 |
| Slika 61 | Poprečni presjek sprega .....                                                               | 72 |
| Slika 62 | Spoj stup-temelj .....                                                                      | 74 |
| Slika 64 | Karakteristična posmična otpornost za jedan vijak i jednu posmičnu površinu u (kN)<br>..... | 77 |
| Slika 63 | Karakteristična vlačna otpornost za jedan vijak u (kN) .....                                | 77 |
| Slika 65 | Vlačni nastavak rešetke .....                                                               | 80 |

## 9.2. POPIS TABLICA

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra.....                                   | 11 |
| Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra.....                                   | 11 |
| Tablica 3 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=+0.2$ ) .....        | 11 |
| Tablica 4 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pe}=-0.3$ ) .....        | 11 |
| Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak .....        | 11 |
| Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak .....        | 12 |
| Tablica 7 Ukupno rezultirajuće djelovanje po čvorovima .....                             | 12 |
| Tablica 8 Vrijednosti vanjskih koeficijenata pritiska prema područjima konstrukcije..... | 14 |
| Tablica 9 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=+0.2$ ) .....        | 14 |
| Tablica 10 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=-0.3$ ) .....       | 14 |
| Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak .....       | 14 |
| Tablica 12 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak .....       | 15 |
| Tablica 13 Ukupno rezultirajuće djelovanje vjetra po čvorovima .....                     | 16 |
| Tablica 14 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa.....                          | 34 |
| Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa .....                        | 43 |
| Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa .....                         | 47 |
| Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala.....                              | 51 |
| Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala .....                            | 55 |
| Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice .....                     | 59 |
| Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa.....                         | 64 |
| Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice.....                       | 68 |
| Tablica 22 Karakteristike poprečnog presjeka sprega .....                                | 72 |
| Tablica 23 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega .....                         | 73 |
| Tablica 24 Tablica karakteristika spoja stup-temelj .....                                | 74 |
| Tablica 26 Karakteristike temelja i temeljnog tla .....                                  | 88 |
| Tablica 25 Temelj i opterećenja temelja .....                                            | 88 |

## **10. NACRTI**

## **10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200**

## **10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50**

### **10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10**

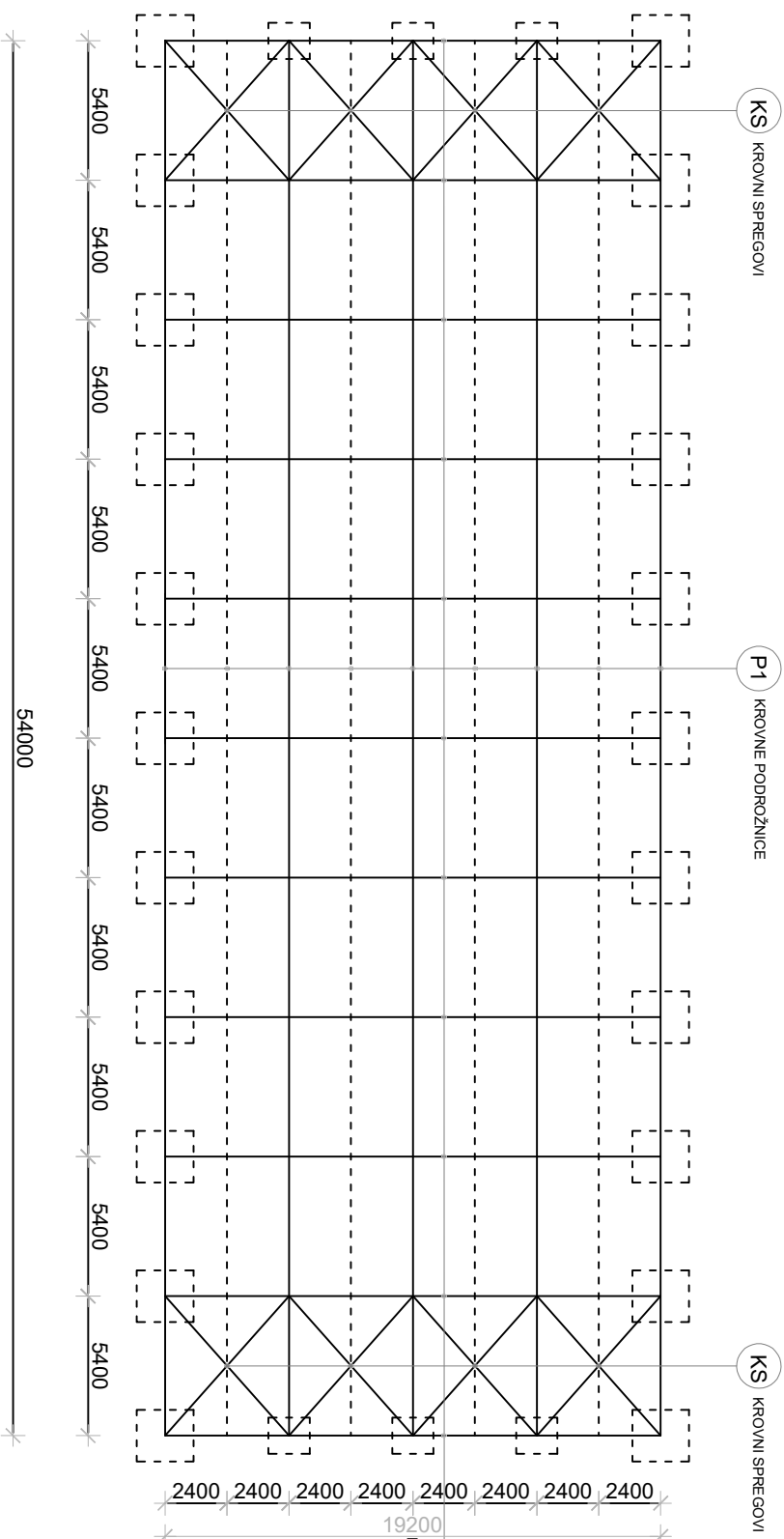
#### **10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50**

## **10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50**

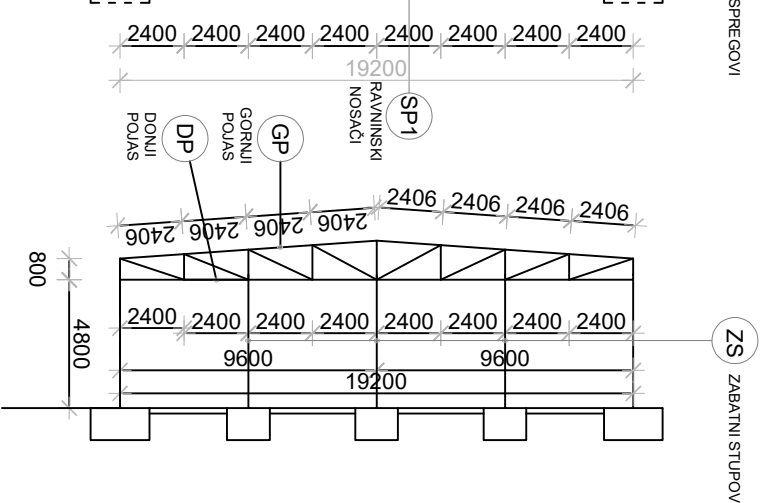
## **10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10**

## **10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU**

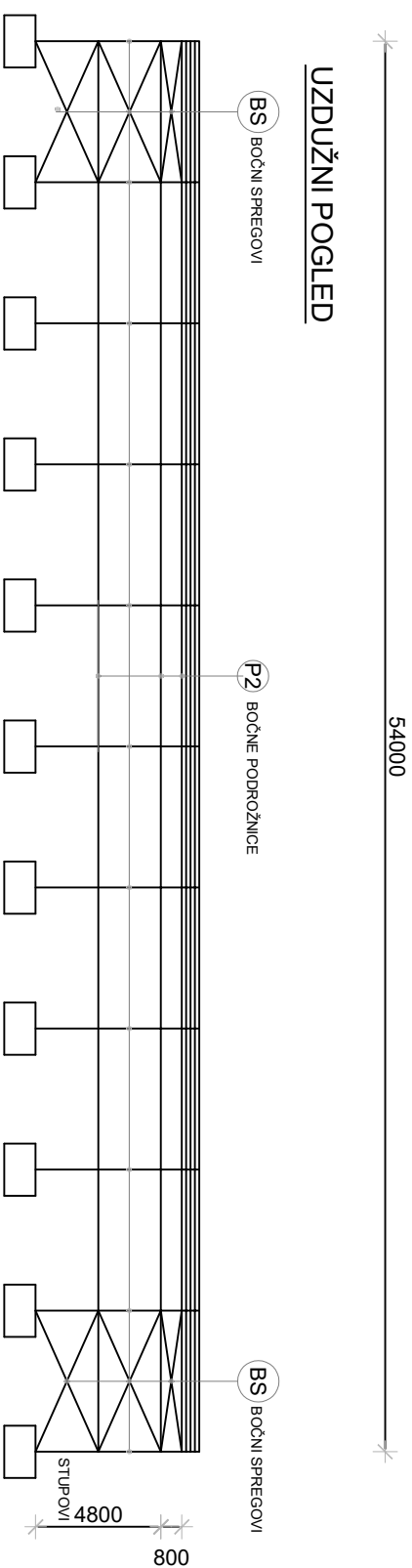
## TLOCRTNI POGLED



## BOČNI POGLED



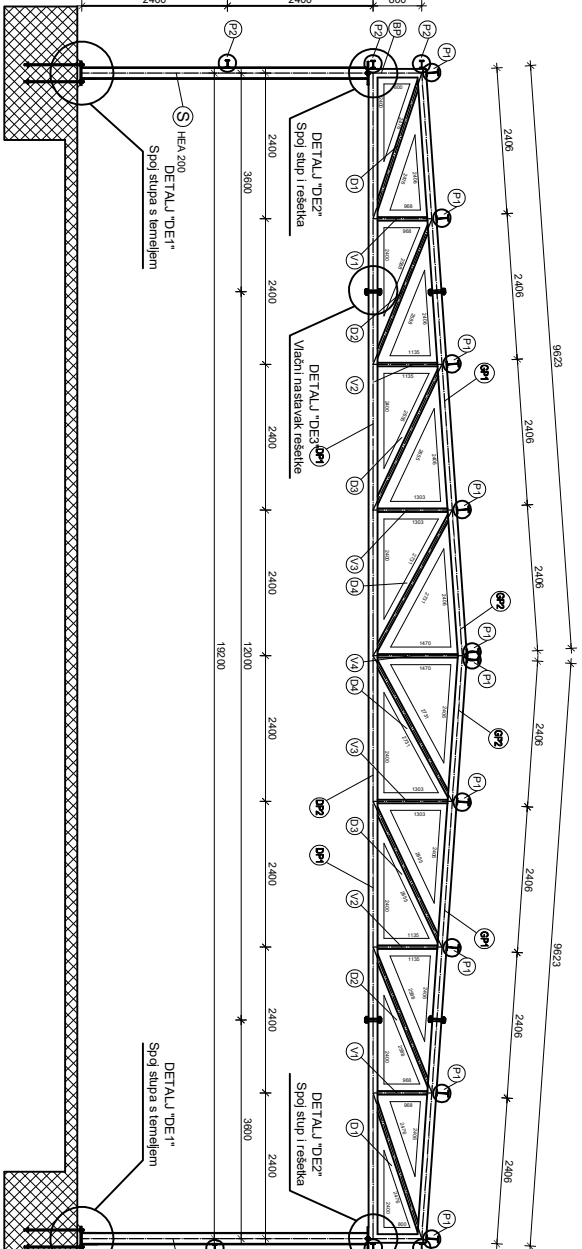
## UZDUŽNI POGLED



- S - STUP
- P1 - KROVNA PODROŽNICA
- P2 - BOČNA PODROŽNICA
- KS - KROVNI SPREGOVI
- BS - BOČNI SPREGOVI
- GP - GORNJI POJAS
- DP - DONJI POJAS
- ZS - ZABATNI STUP
- SP1 - RAVINSKI NOSAČI

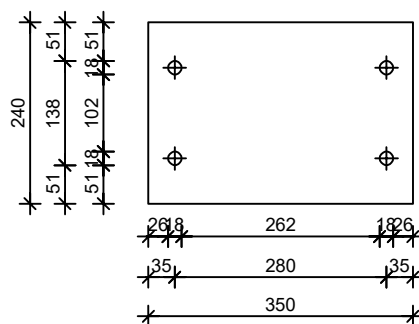
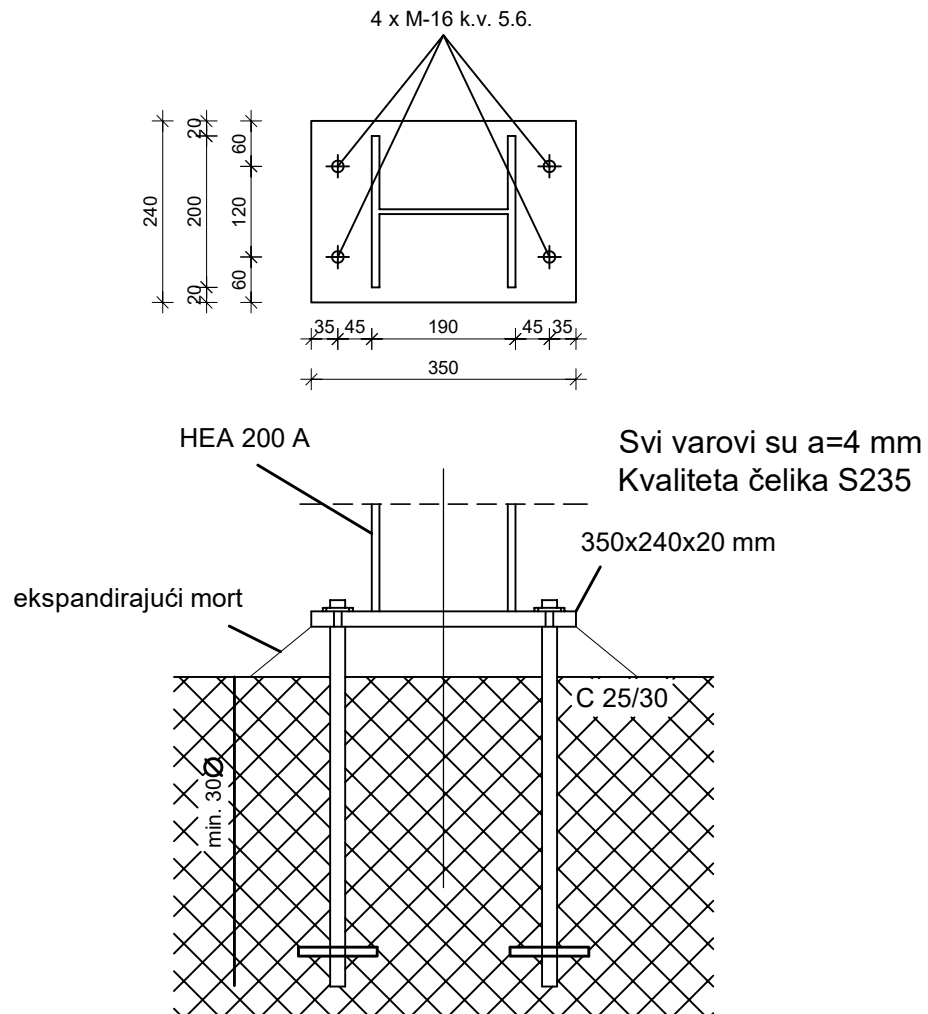
|                                                                                     |                                      |                                     |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
|  |                                      | <b>Osnove metalnih konstrukcija</b> |             |
| TIPOS                                                                               | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | STUDENTI                            | Iva Kalčina |
| SVRHA                                                                               | Geometrija sustava                   | SKUPNO                              | 1.200       |
| DATUM                                                                               | rujan 2019.                          | PROJEKTOVA                          | 1           |

## M 1:50



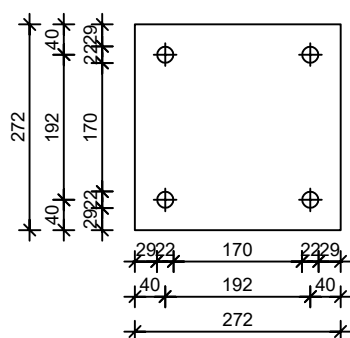
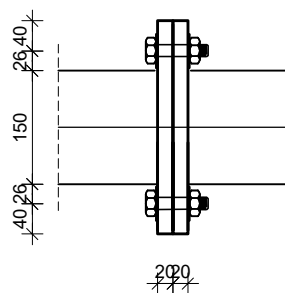
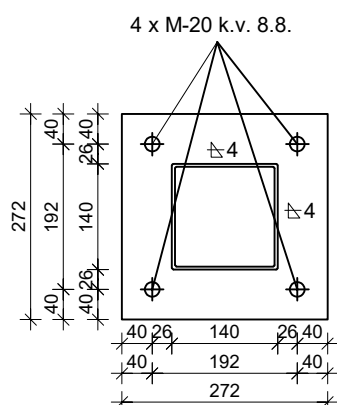
**Napomena:**  
Materijal konstrukcije za sve elemente  
je S235.

## 7.4 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ M 1:10



|                                                                                                                                                                          |                              |                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,<br/>ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p> | Osnove metalnih konstrukcija |                                      |
|                                                                                                                                                                          | TEMA:                        | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
|                                                                                                                                                                          | STUDENTI:                    | Iva Kalcina                          |
|                                                                                                                                                                          | SADRŽAJ:                     | Detalj spoja stup-temelj             |
|                                                                                                                                                                          | DATUM:                       | rujan 2019.                          |
|                                                                                                                                                                          |                              | MJERILO: 1:10                        |
|                                                                                                                                                                          |                              | BROJ PRILOGA: 6                      |

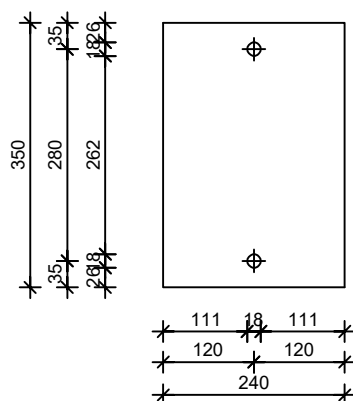
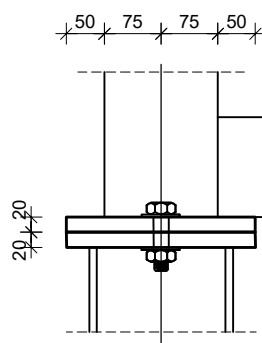
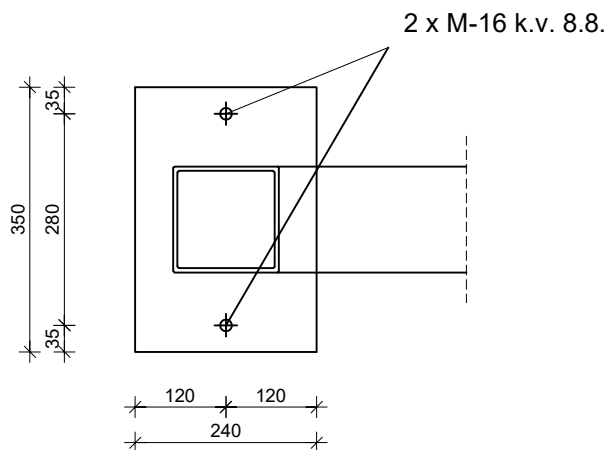
## 7.5 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10



|                                                                                                                                                                          |                              |                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,<br/>ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p> | Osnove metalnih konstrukcija |                                      |
|                                                                                                                                                                          | TEMA:                        | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
|                                                                                                                                                                          | STUDENTI:                    | Iva Kalcina                          |
|                                                                                                                                                                          | SADRŽAJ:                     | Vlačni nastavak rešetke              |
| DATUM:                                                                                                                                                                   | rujan 2019.                  |                                      |
|                                                                                                                                                                          | MJERILO:                     | 1:10                                 |
|                                                                                                                                                                          |                              | BROJ PRILOGA:                        |
|                                                                                                                                                                          |                              | 7                                    |

## 7.6 ZGLOBNA VEZA STUP-REŠETKA

### M 1:10



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA:

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI:

Iva Kalcina

SADRŽAJ:

Zglobna veza stup-rešetka

MJERILO:

1:10

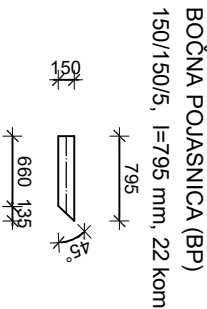
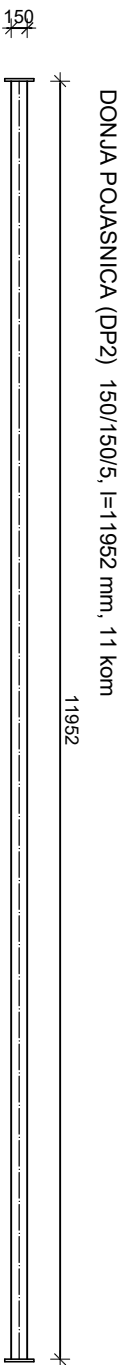
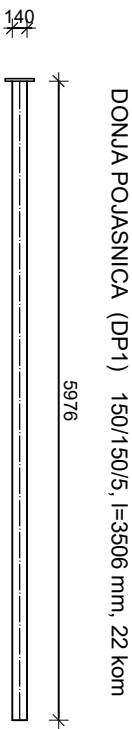
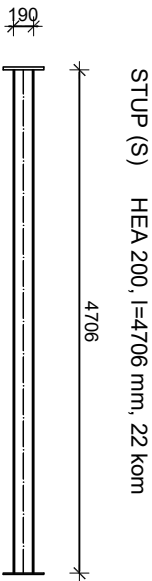
BROJ PRILOGA:

8

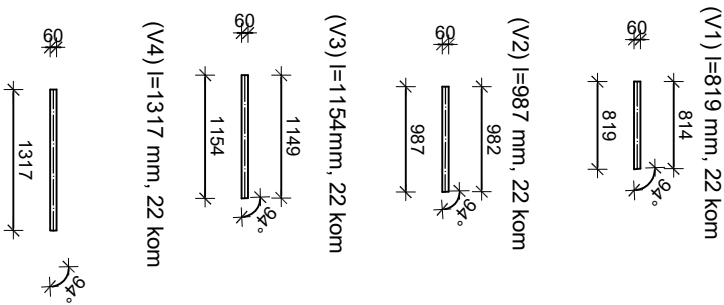
DATUM:

rujan 2019.

7.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA  
M 1:50



ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE 60/60/3

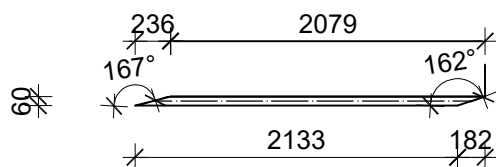


|                              |                                      |            |   |
|------------------------------|--------------------------------------|------------|---|
| Osnove metalnih konstrukcija |                                      |            |   |
| TEMA                         | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |            |   |
| STUDENTI                     | Iva Kalčina                          |            |   |
| SKUPINA                      | Radionički nacrt, glavni nosač       |            |   |
| DATA                         | rujan 2019.                          | PROJEKTOVA | 3 |

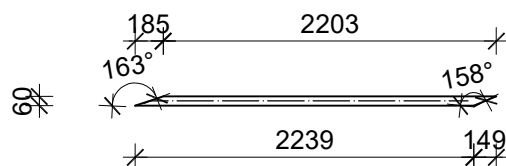
## 7.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, DIJAGONALE 60/60/3

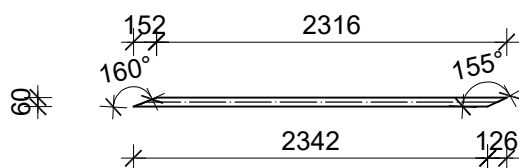
(K1)  $l=2315$  mm, 22 kom



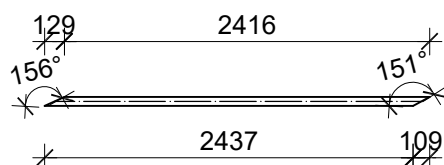
(K2)  $l=2388$  mm, 22 kom



(K3)  $l=2468$  mm, 22 kom



(K4)  $l=2545$  mm, 22 kom



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI: Iva Kalcina

SADRŽAJ: Radionički nacrt, glavni nosač

MJERILO: 1:50

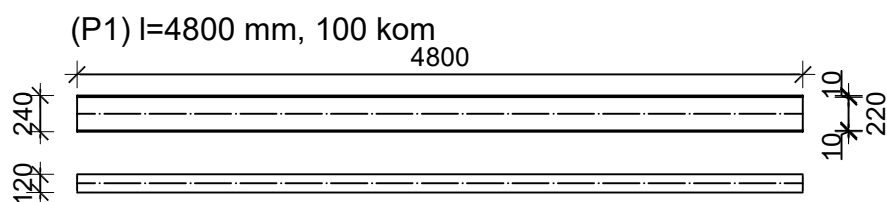
DATUM: rujan 2019.

BROJ PRILOGA:

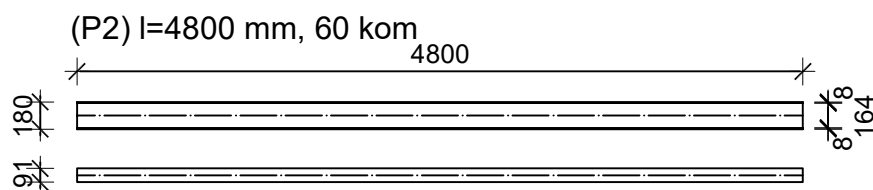
4

## 7.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50

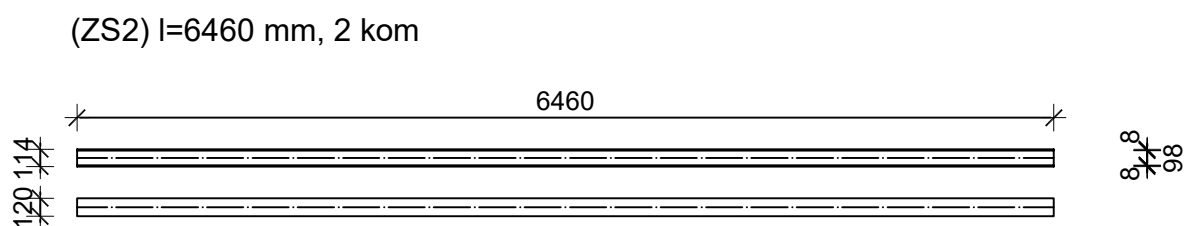
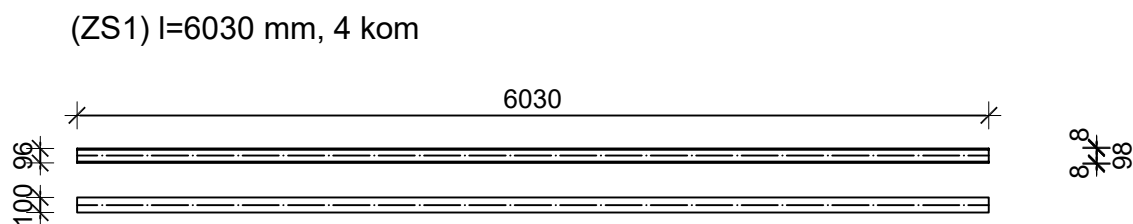
### KROVNE PODROŽNICE IPE 240



### BOČNE PODROŽNICE IPE 180



### ZABATNI STUPOVI HEA 100



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI: Iva Kalcina

SADRŽAJ: Radionički nacrt, glavni nosač

DATUM: rujan 2019.

MJERILO: 1:50

BROJ PRILOGA: 5

| TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU |            |                           |        |                           |                    |
|-----------------------------------------------------|------------|---------------------------|--------|---------------------------|--------------------|
| POZICIJA                                            | PROFIL     | DUŽINA (mm)               | KOMADA | JED. TEŽINA (kg/m)        | UKUPNA TEŽINA (kg) |
| Stup (S)                                            | HEA 200    | 4706                      | 22     | 35,56                     | 3681,60            |
| Donji pojas (DP1)                                   | 150X150X5  | 3506                      | 22     | 23,39                     | 1804,12            |
| Donji pojas (DP2)                                   | 150X150X5  | 11952                     | 11     | 23,39                     | 3075,13            |
| Gornji pojas (GP1)                                  | 150X150X5  | 5996                      | 22     | 23,39                     | 3085,42            |
| Gornji pojas (GP2)                                  | 150X150X5  | 3649                      | 22     | 23,39                     | 1877,70            |
| Bočna pojasnica                                     | 150X150X5  | 795                       | 22     | 23,39                     | 409,09             |
| Vertikala (V4)                                      | 60X60X3    | 1317                      | 11     | 8,16                      | 118,21             |
| Vertikala (V3)                                      | 60X60X3    | 1154                      | 22     | 8,16                      | 207,17             |
| Vertikala (V2)                                      | 60X60X3    | 987                       | 22     | 8,16                      | 177,19             |
| Vertikala (V1)                                      | 60X60X3    | 819                       | 22     | 8,16                      | 147,03             |
| Dijagonala (D1)                                     | 60X60X3    | 2315                      | 22     | 8,16                      | 415,59             |
| Dijagonala (D2)                                     | 60X60X3    | 2388                      | 22     | 8,16                      | 428,69             |
| Dijagonala (D3)                                     | 60X60X3    | 2468                      | 22     | 8,16                      | 443,06             |
| Dijagonala (D4)                                     | 60X60X3    | 2545                      | 22     | 8,16                      | 456,88             |
| Pločica (P1)                                        | 350x240x20 | Proračun preko zapremnine | 22     | Proračun preko zapremnine | 389,82             |
| Pločica (P2)                                        | 272x272x24 | Proračun preko zapremnine | 44     | Proračun preko zapremnine | 613,30             |
| Pločica (P3)                                        | 350x240x20 | Proračun preko zapremnine | 22     | Proračun preko zapremnine | 236,25             |
| Krovni spregovi (KS)                                | R 12       | 7238                      | 16     | 1,39                      | 160,97             |
| Bočni spregovi (BS1)                                | R 12       | 5909                      | 16     | 1,39                      | 131,42             |
| Bočni spregovi (BS2)                                | R 12       | 5459                      | 8      | 1,39                      | 60,70              |
| Zabatni stupovi (ZS)                                | HEA 100    | 6030                      | 4      | 19,86                     | 479,02             |
| Zabatni stupovi (ZS)                                | HEA 100    | 6460                      | 2      | 19,86                     | 256,59             |
| Krovne podrožnice (P1)                              | IPE 240    | 4800                      | 100    | 25,12                     | 12057,6            |
| Bočne podrožnice (P2)                               | IPE 180    | 4800                      | 60     | 10,36                     | 2983,68            |
| suma                                                |            |                           |        |                           | 33696,23           |
| + 2,0% spojna sredstva                              |            |                           |        |                           | 673,92             |
| UKUPNO (kg)                                         |            |                           |        |                           | 34370,15           |
| UKUPNO (kg/m2)                                      |            |                           |        |                           | 33,5               |