

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

**Relota, Marija**

**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:123:440854>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-09**



*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**

**Marija Relota**

**Split, 2019.**

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

**Marija Relota**

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:** Marija Relota

**BROJ INDEKSA:** 4475

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

**PREDMET:** Osnove metalnih konstrukcija

### **ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 235

Objekt se nalazi na području Rijeke.

Razmak okvira: 5,4 (m)

U Splitu, 19.09.2019.

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

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

### **Sažetak:**

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Rijeke. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivost (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i promjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnji sila dobiveni su u računalnom programu „SCIA Engineer 18.1“.

### ***Ključne riječi:***

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

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

### **Abstract:**

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Rijeka. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „SCIA Engineer 18.1“.

### ***Keywords:***

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

# SADRŽAJ

<b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>	<b>1</b>
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE .....	1
1.1.1. <i>OPĆENITO</i> .....	1
1.1.2. <i>KONSTRUKTIVNI ELEMENTI</i> .....	2
1.1.2.1. SPOJEVI.....	2
1.1.2.1.1. SPOJ STUP – TEMELJ .....	2
1.1.2.1.2. SPOJ STUP – REŠETKA.....	2
1.1.2.1.3. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	3
1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE.....	3
1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	3
1.4. PRIMIJENJENI PROPISI.....	3
1.5. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA .....	4
1.6. ZAŠTITA OD POŽARA .....	4
1.7. MONTAŽA I TRANSPORT .....	4
<b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>	<b>5</b>
2.1. GLAVNA KONSTRUKCIJA (OKVIR).....	5
2.1.1. <i>STALNO OPTEREĆENJE</i> .....	5
2.1.1.1. <i>KROVNA PLOHA</i> .....	5
2.1.2. <i>POKRETNOST OPTEREĆENJE</i> .....	6
2.1.2.1. <i>DJELOVANJE SNIJEGA</i> .....	6
2.1.2.2. <i>DJELOVANJE VJETRA</i> .....	7
2.1.2.2.1. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA RAVNOG KROVA $\Theta=0$ .....	10
2.1.2.3. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE... 13	
2.1.2.3.1. <i>DJELOVANJE VJETRA NA ZABAT HALE</i> .....	16
<b>3. KONTROLA PROGIBA .....</b>	<b>18</b>
3.1. VERTIKALNI PROGIB .....	18
3.2. HORIZONTALNI POMAK .....	19
<b>4. DIJAGRAMI REZIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN).....</b>	<b>20</b>
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	20
4.1.1. <i>KOMBINACIJA <math>1,35*(G_0+G_1)+1,5*S</math></i> .....	20
4.1.2. <i>KOMBINACIJA <math>1,35*(G_0+G_1)+1,5*W_1</math></i> .....	21
4.1.3. <i>KOMBINACIJA <math>1,35*(G_0+G_1)+1,5*W_2</math></i> .....	23
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA .....	25
4.2.1. <i>ZABATNI STUPOVI</i> .....	25
4.2.2. <i>KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI</i> .....	27
4.2.3. <i>BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI</i> .....	28
4.2.4. <i>KROVNA PODROŽNICA</i> .....	29
4.2.5. <i>BOČNA PODROŽNICA</i> .....	34
<b>5. DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>36</b>
5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	36

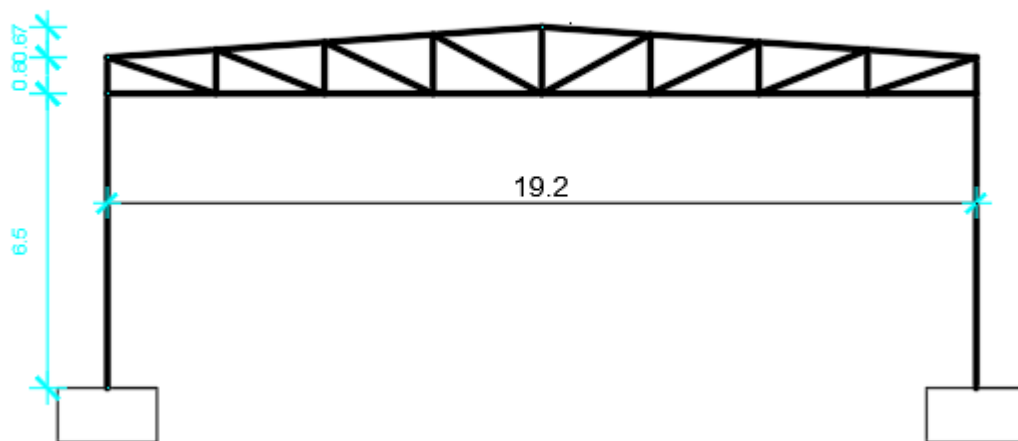
5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA .....	36
5.1.2. GORNJI POJAS REŠETKE.....	42
5.1.3. DONJI POJAS REŠETKE .....	45
5.1.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA REŠETKE .....	47
5.1.5. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA REŠETKE.....	48
5.2. SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE .....	50
5.2.1. ZABATNI STUPOVI.....	50
5.2.2. HORIZONTALNI SPREG .....	53
5.2.3. BOČNI SPREG.....	53
5.2.4. KROVNA PODROŽNICA .....	54
5.2.5. BOČNA PODROŽNICA.....	59
<b>6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA .....</b>	<b>62</b>
6.1. SPOJ STUP-TEMELJ .....	62
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE .....	66
6.3. ZGLOBNI SPOJ STUP-REŠETKA.....	68
<b>7. PRORAČUN TEMELJA .....</b>	<b>70</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>73</b>
<b>9. NACRTI .....</b>	<b>74</b>
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA .....	75
9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR.....	76
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA .....	77
9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA .....	78
9.5 DETALJ „DE1“ SPOJA STUP-TEMELJ .....	79
9.6 DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA .....	80
9.7 DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	81
<b>10. ISKAZ MATERIJALA .....</b>	<b>82</b>

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

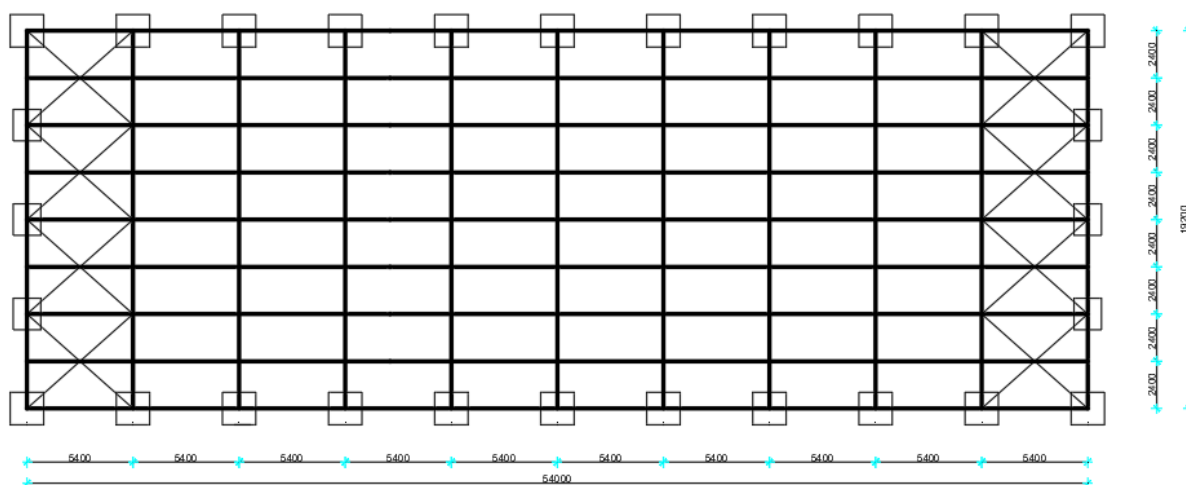
### 1.1.1. OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimenzije su 19,2 x 54,0 (m), a visina iznosi 7,97 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 4,0^\circ$ , što je ekvivalentno nagibu od 7%. Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10 ravninskih rešetki raspona 19,2 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 5,4 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije



Na gornje pojaseve se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,40 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,17 (m).

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

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

## **1.1.2.KONSTRUKTIVNI ELEMENTI**

### **Glavna rešetka**

Glavne rešetke su dimenzionirane da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenje od snijega i vjetra. Profili gornjeg i donjeg pojasa su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 150x150x6 spojeni u čvorovima. Profili vertikalna su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 50x50x4, dok su profili dijagonala pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 120x50x5.

### **Stupovi**

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA280 duljine 6500 mm. Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 200. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

### **Podrožnice**

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Podrožnica je okomita na nagib krovne plohe. Pri dimenzioniranju podrožnice koristi se djelovanje snijega, gravitacije i vjetra. Profili krovnih podrožnica su IPE 200, a bočnih podrožnica IPE 180. Duljina podrožnica je 5,4 m.

### **Spregovi**

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja. Horizontalni i vertikalni spregovi su dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka RD 14 (krovni spreg) i RD 16 (bočni spreg).

#### **1.1.2.1.SPOJEVI**

##### **1.1.2.1.1.SPOJ STUP – TEMELJ**

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 540x320x55(mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M27 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspanzirajući mort.

##### **1.1.2.1.2.SPOJ STUP – REŠETKA**

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 320x320x14(mm) i vijcima M12 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

### 1.1.2.1.3. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Spoj gornjeg i donjeg pojasa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 300x300x10 (mm) ,navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćene vijcima M20 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

## 1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

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

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 5,4 (m)širine krovne plohe.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 18.1.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao prosta greda širine 5,4 (m). Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

## 1.3.MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

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

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

## 1.4.PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

- |             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| HRN EN 1991 | vlastita težina građevine          |
| HRN EN 1992 | djelovanje snijega na konstrukciju |
| HRN EN 1993 | djelovanje vjetra na konstrukciju  |

Dimenzioniranje

- |              |   |
|--------------|---|
| HRN ENV 1993 | dimenzioniranje čeličnih konstrukcija           |
| HRN ENV 1992 | dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija |

## **1.5. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije. Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200  $\mu\text{m}$ .

## **1.6. ZAŠTITA OD POŽARA**

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

## **1.7. MONTAŽA I TRANSPORT**

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

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. GLAVNA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

#### 2.1.1. STALNO OPTEREĆENJE

##### 2.1.1.1. KROVNA PLOHA

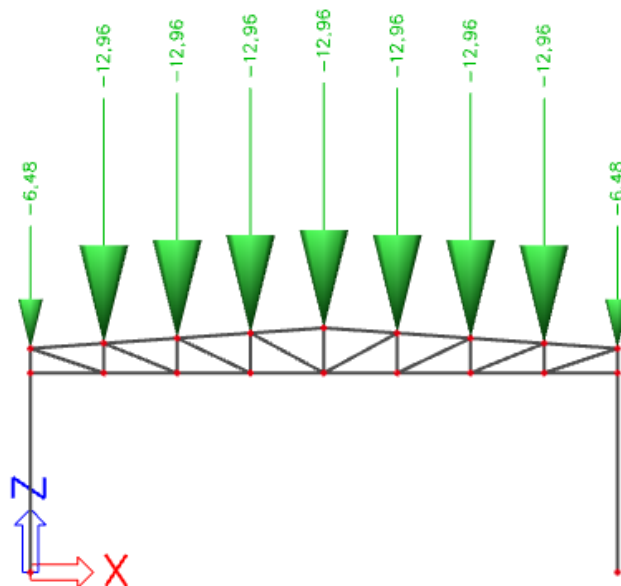
- sendvič paneli (aluminij) .....	0,20	kN/m <sup>2</sup>
- sekundarna konstrukcija i spregovi .....	0,60	kN/m <sup>2</sup>
- instalacije .....	0,20	kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma =$	<u>1,00</u> kN/m <sup>2</sup>

$$G_{kp} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,4\text{m} = 5,4 \text{ kN/m'}$$

Sile u čvorovima rešetke:

$$G1 = G_{kp} \cdot 1,2 = 6,48 \text{ kN}$$

$$G2 = G_{kp} \cdot 2,4 = 12,96 \text{ kN}$$



Slika 2.1.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima rešetke

## 2.1.2. POKRETNNO OPTEREĆENJE

### 2.1.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA

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

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

$s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$  <=> za Rijeku, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

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

$\alpha$  je nagib krova

$$\text{tg}\alpha = 7/100=0,07 \rightarrow \alpha = 4,00^\circ \text{ (Ravni krov) ;}$$

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

$c_e$  => koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

$c_t$  => toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:  $s_1 = 0,5 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,40 \text{ [ kN/m}^2 \text{ ]}$

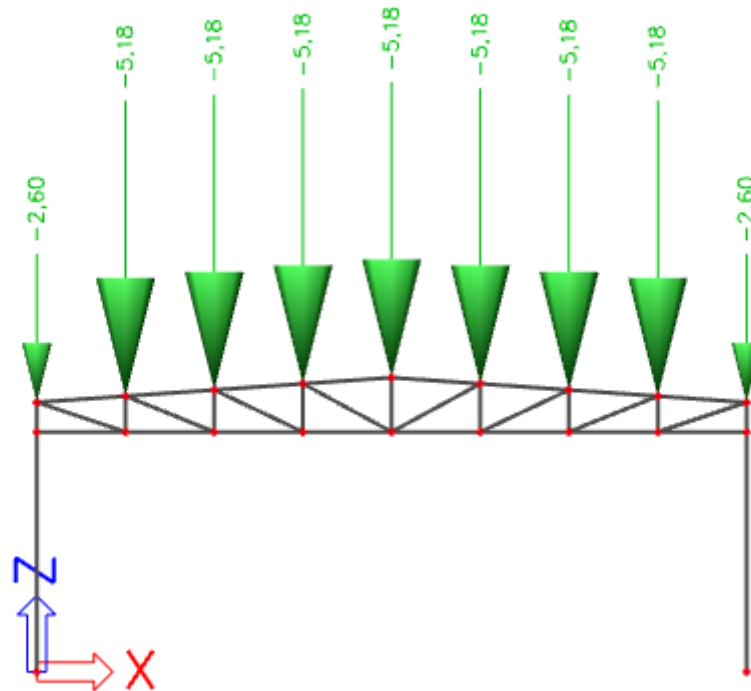
Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,40 \text{ m} = 2,16 \text{ kN/m'}$$

Sile u čvorovima rešetke:

$$S_1 = S * 1,2 = 2,60 \text{ kN}$$

$$S_2 = S * 2,4 = 5,18 \text{ kN}$$



Slika 2.1.2.1.1. Opterećenje snijegom u čvorovima rešetke

## 2.1.2.2. DJELOVANJE VJETRA

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

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

$q_p(z_e) \Rightarrow$  pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_e \Rightarrow$  referentna visina za vanjski(unutarnji) pritisak

$c_{pe} \Rightarrow$  vanjski koeficijent pritiska

$c_{pi} \Rightarrow$  unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

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

$v_b \Rightarrow$  osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0} \Rightarrow$  fundamentalna vrijednost brzine vjetra (očitano s karte  $v_{b,0} = 25 \text{ (m/s)}$ )

$c_{dir} \Rightarrow$  faktor smjera vjetra (uzima se 1,0)

$c_{season} \Rightarrow$  faktor doba godine (uzima se 1,0)

$$v_b = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25 \text{ (m/s)}$$

$v_m(z) \Rightarrow$  srednja brzina vjetra

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

$c_0(z) \Rightarrow$  faktor orografije (uzima se 1,00)

$c_r(z) \Rightarrow$  faktor hrapavosti

$k_r(z) \Rightarrow$  faktor terena (kategorija terena 2.)

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

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(7,78/0,05) = 0,96$$

$$v_m(z) = 0,96 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24,0 \text{ (m/s)}$$

$I_v(z) \Rightarrow$  intenzitet turbulencije

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

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(7,97/0,05)} = 0,20$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 0,391 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$c_e(z) \Rightarrow$  faktor izloženosti

$$c_e(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) = 1 + 7 \cdot 0,20 = 2,4$$

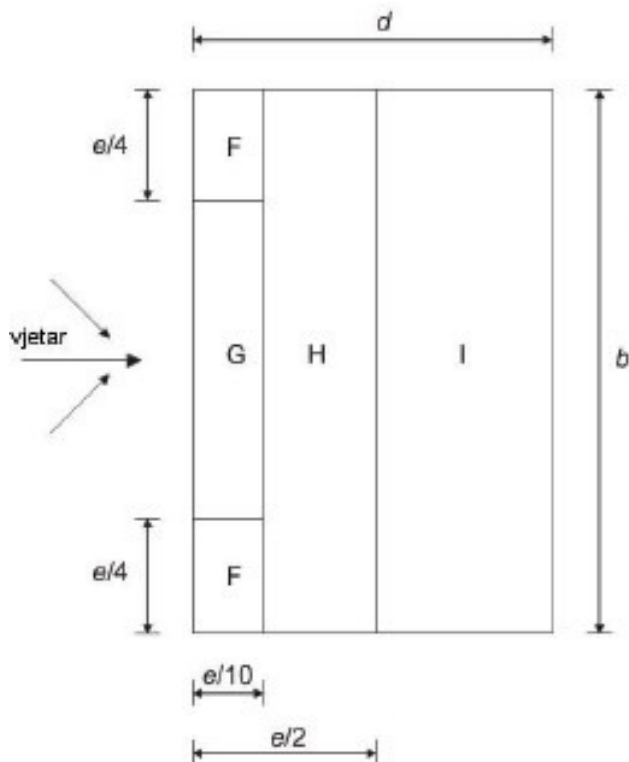
Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,20) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24^2 = 0,864 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



2.1.2.2.1. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA RAVNOG KROVA  
 $\Theta=0$

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu skrovom nagiba  $\alpha = 4,00^\circ$  za područja ravnog krova  $\Theta=0$



Slika 2.1.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za ravne krovove

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+/-0,2

Tablica 1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na vanjske površine :

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

$$q_p = 0,864 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+/-0,2
$w_{e1} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/-0,17

Tablica 2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Rezultirajuće djelovanje vjetra :

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

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

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/-0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,72	-1,21	-0,78	0,00
$W_k \text{ (kN/m}^{\prime}\text{)}$	-9,29	-6,53	-4,21	0,00

Tablica 3. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

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

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/- 0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,29	-0,78	-0,35	-0,43
$W_k \text{ (kN/m}^{\prime}\text{)}$	-6,97	-4,21	-1,89	-2,32

Tablica 4. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

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

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L=5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/-0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,72	-1,21	-0,78	-0,34
$W_k \text{ (kN/m}'\text{)}$	-9,29	-6,53	-4,21	-1,84

Tablica 5. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

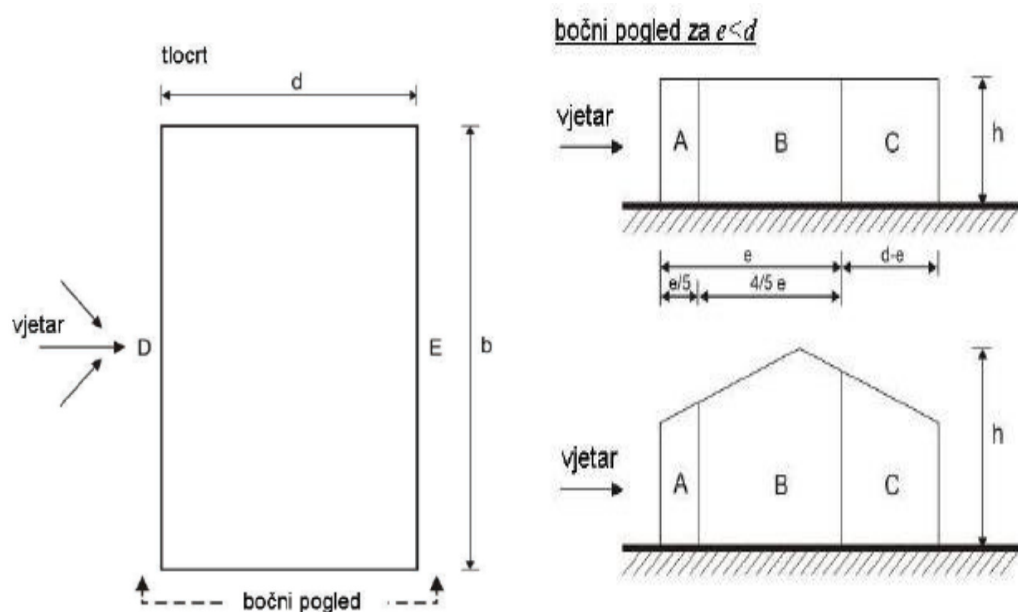
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 5,4 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,55	-1,04	-0,61	+/- 0,17
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,29	-0,78	-0,35	0,09
$W_k \text{ (kN/m}'\text{)}$	-6,97	-4,21	-1,89	0,49

Mjerodavne kombinacije su 3. i 4.

### 2.1.2.3. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE



Slika 2.1.2.3.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,72	-0,32

Tablica 6. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

#### Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

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

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p = 0,864 \text{ kN/m}^2$  -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,72	-0,32
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,04	-0,69	-0,43	0,62	-0,28

Tablica 7. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

$$q_p = 0,864 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_i = 0,864 \cdot 0,2 = +0,173 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,864 \cdot -0,3 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,04	-0,69	-0,43	0,62	-0,28
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,21	-0,86	-0,6	0,45	-0,45
$W_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	6,53	4,64	3,24	2,43	2,43

Tablica 8. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-1,04	-0,69	-0,43	0,62	-0,28
$w_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$w_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,78	-0,43	-0,17	0,88	-0,02
$W_k$ (kN/m')	4,21	2,32	0,92	4,75	0,11

Tablica 9. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

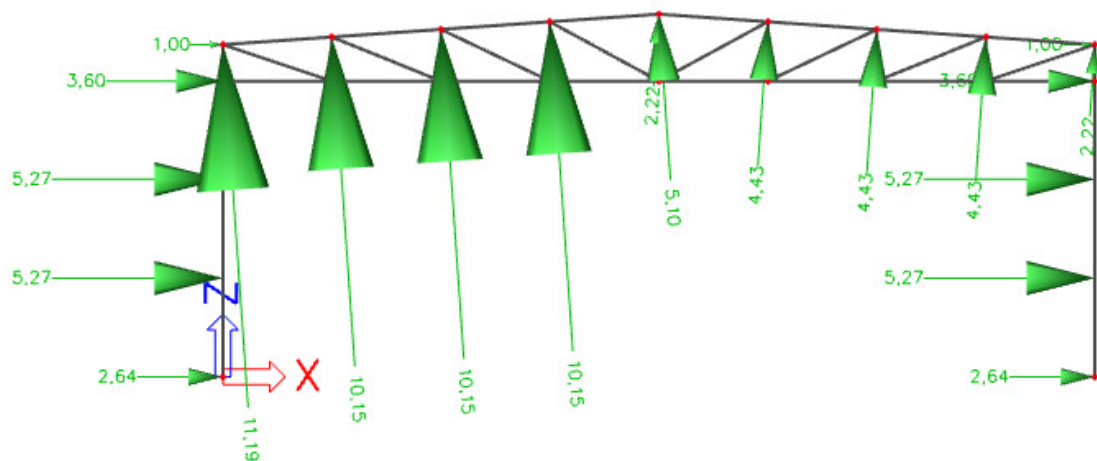
W1

$W_1 = -9,29$  (kn/m') F zona       $W_5 = 2,43$  (kn/m') D zona

$W_2 = -6,53$  (kn/m') G zona       $W_6 = 2,43$  (kn/m') E zona

$W_3 = -4,21$  (kn/m') H zona

$W_4 = -1,84$  (kn/m') I zona



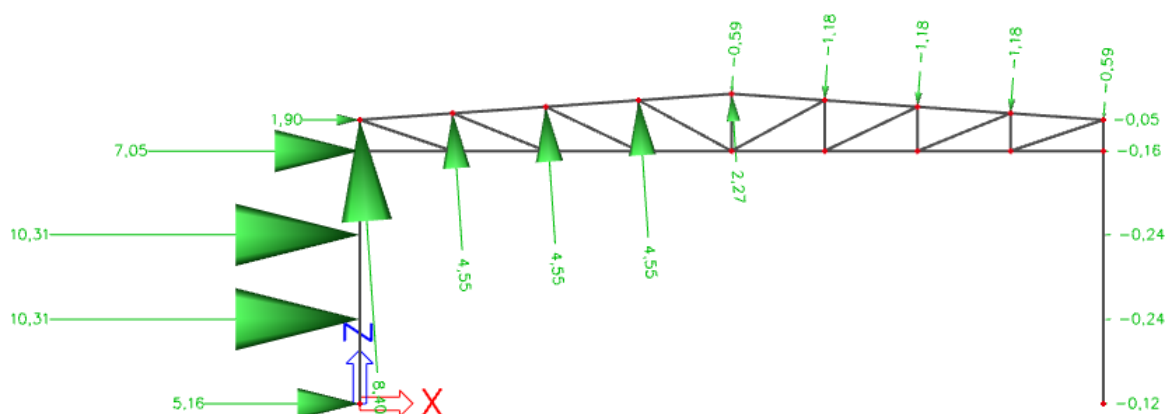
**W2**

$W_1 = -6,97 \text{ (kn/m')}$  F zona       $W_5 = 4,75 \text{ (kn/m')}$  D zona

$W_2 = -4,21 \text{ (kn/m')}$  G zona       $W_6 = -0,11 \text{ (kn/m')}$  E zona

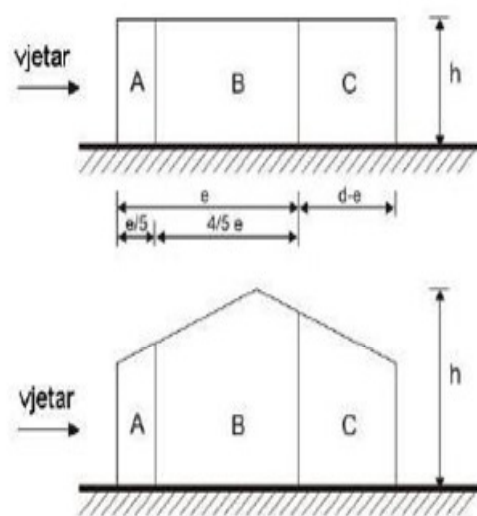
$W_3 = -1,89 \text{ (kn/m')}$  H zona

$W_4 = 0,49 \text{ (kn/m')}$  I zona



2.1.2.3.1. DJELOVANJE VJETRA NA ZABAT HALE

bočni pogled za  $e < d$



Koeficijent vanjskog pritiska na halu dobije se linearnom interpolacijom koeficijenata zadanih u tablici za vrijednost:  $h/d=0,415$

PODRUČJE	A	B	C
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5

$$e=15,94 \text{ m}$$

$$A=3,188 \text{ m}$$

$$B=12,752 \text{ m}$$

$$C=3,26 \text{ m}$$

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

PODRUČJE	A	B	C
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,04	-0,69	-0,43
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,17	0,17	0,17
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,21	-0,86	-0,6

$$Q1 = 2,4 \cdot A = 2,90 \text{ kN/m}^2$$

$$Q2 = (3,188-2,4) \cdot A + (2,4-0,788) \cdot B + 2,4 \cdot B = 4,40 \text{ kN/m}^2$$

$$Q3 = 4,8 \cdot B = 4,13 \text{ kN/m}^2$$

$$Q4 = 2,4 \cdot B + (2,4-0,86) \cdot B + 0,86 \cdot C = 3,89 \text{ kN/m}^2$$

$$Q5 = 2,4 \cdot C = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

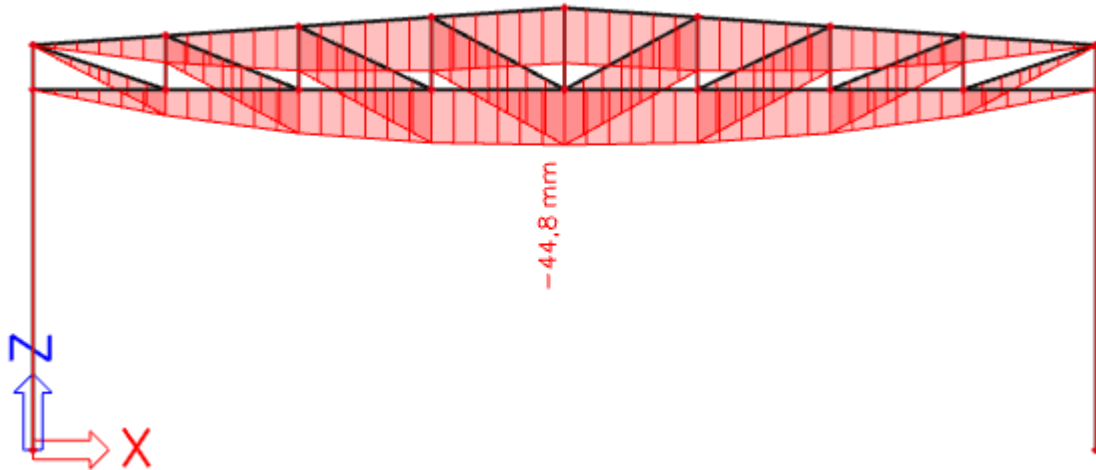
Sile Q1-Q5 su dobivene kao jednoliko raspoređeno opterećenje po zabatnim zidovima.

Reakcije u ležajevima prenose se na krovni spreg, pri čemu je mjerodavno opterećenje vjetrom "W1".



### 3. KONTROLA PROGIBA

#### 3.1. VERTIKALNI PROGIB



Slika 3.1.1. Vertikalni progib glavnog nosača

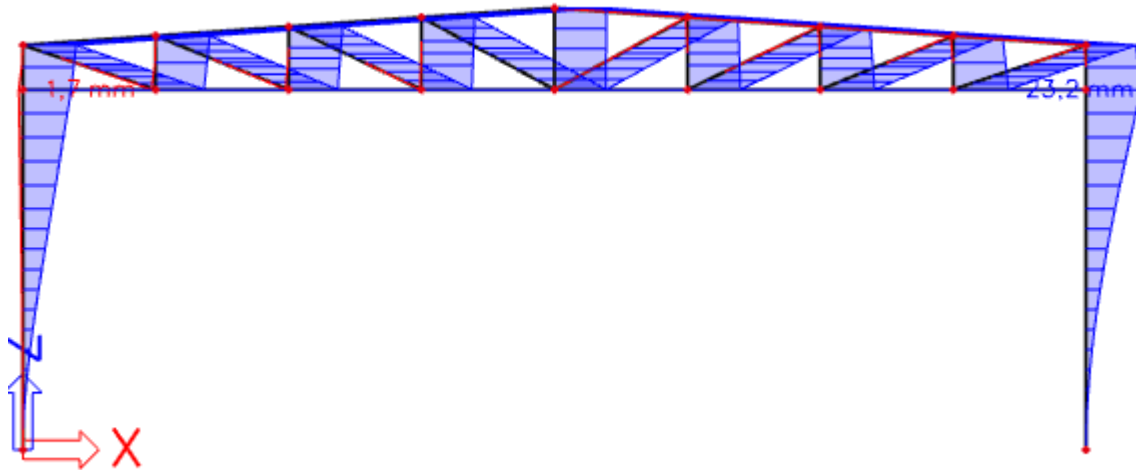
Najveći progib krovišta dobivamo za kombinaciju  $1,0*(G_0+G_1+S)$

Dopušteni progib:  $L/300 = 19200\text{mm}/250 = 76,8\text{ mm}$

$$44,8/76,8 = 58,33\%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 58,33%.

### 3.2. HORIZONTALNI POMAK



Slika 3.2.1. Horizontalni progib glavnog nosača

Najveći horizontalni progib dobivamo za kombinaciju  $1,0*(G_0+G_1+W_1)$

Dopušteni progib:  $H/250 = 6500\text{mm}/250 = 26\text{ mm}$

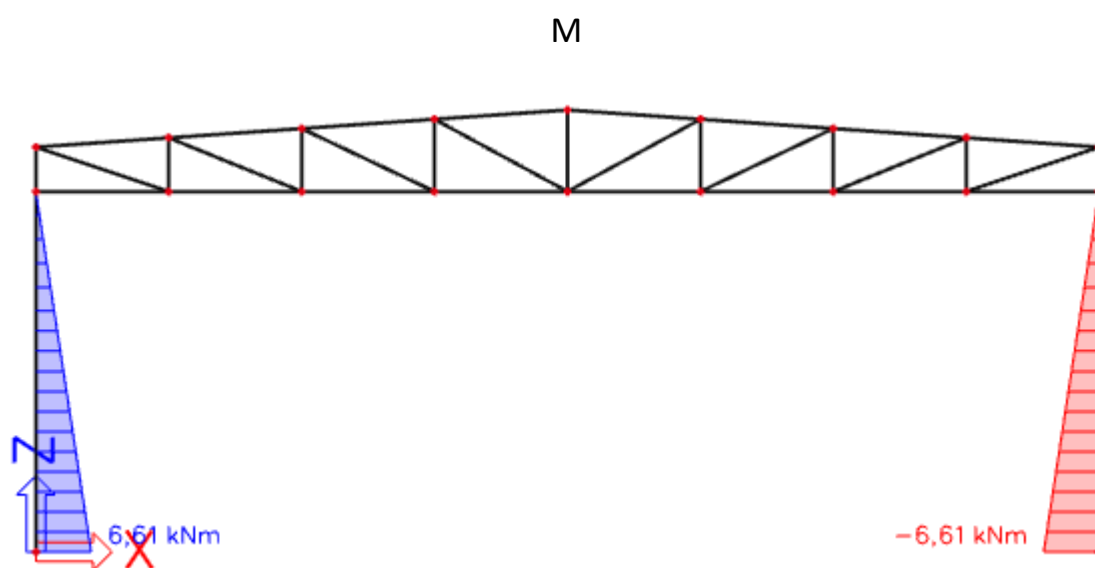
$$23,2/26 = 89,23\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 89,23 %.

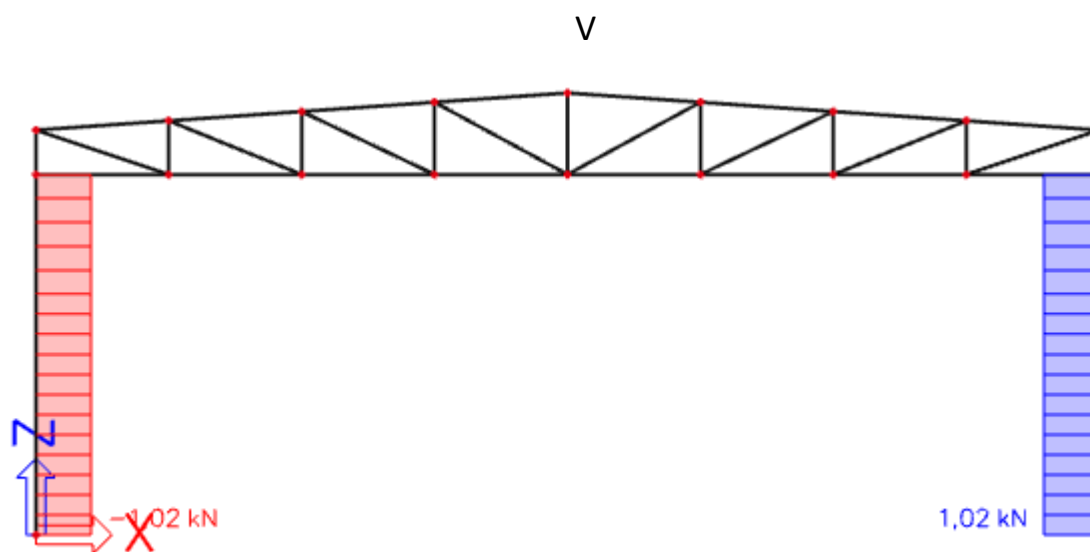
## 4. DIJAGRAMI REZIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

### 4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

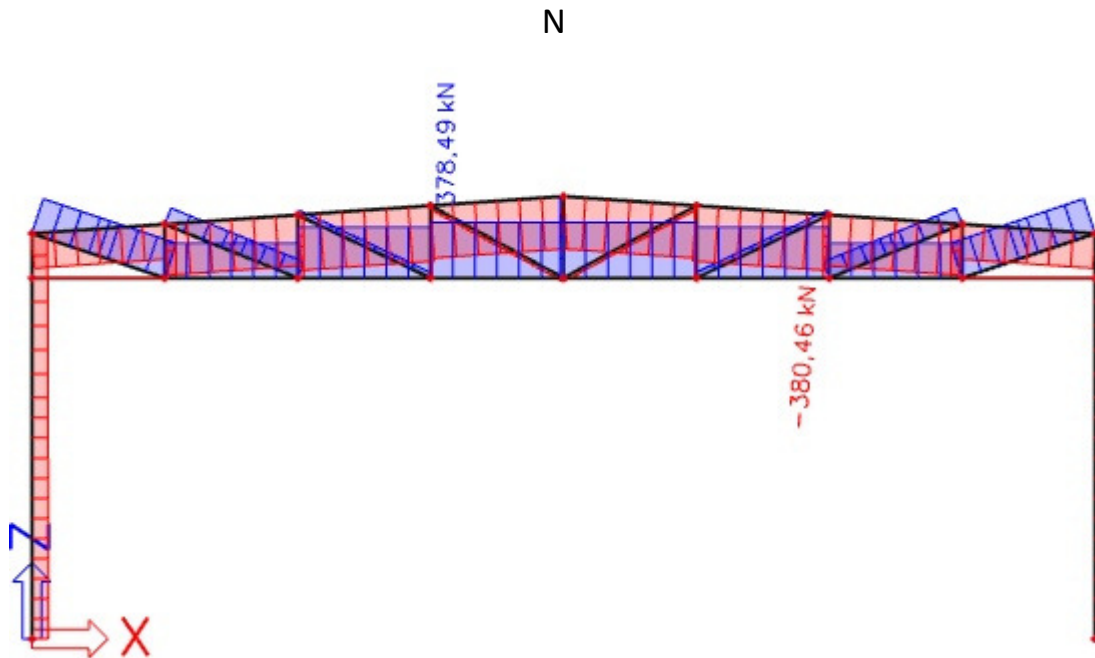
#### 4.1.1. KOMBINACIJA $1,35*(G_0+G_1)+1,5*S$



Slika 4.1.1.1. Momentni dijagram kombinacije 1

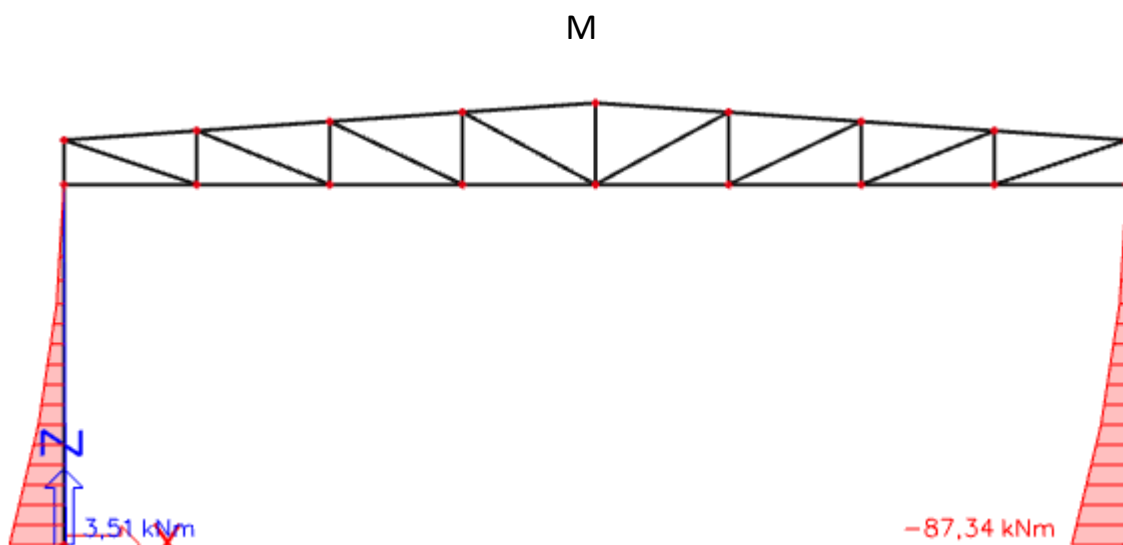


Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila kombinacije 1

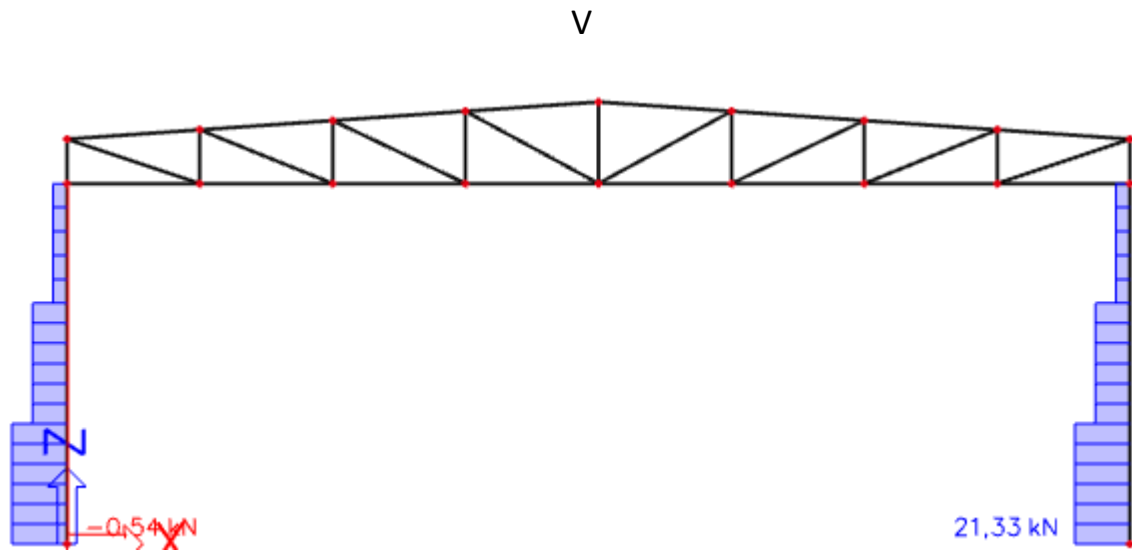


Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila kombinacije 1

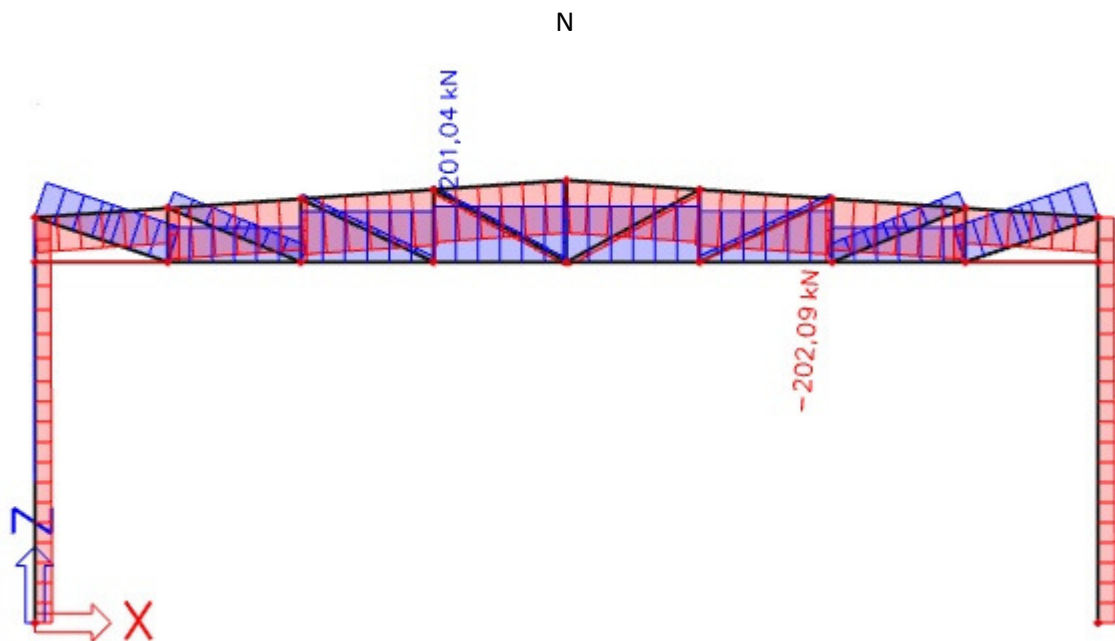
#### 4.1.2. KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_1$



Slika 4.1.2.1. Momentni dijagram kombinacije 2

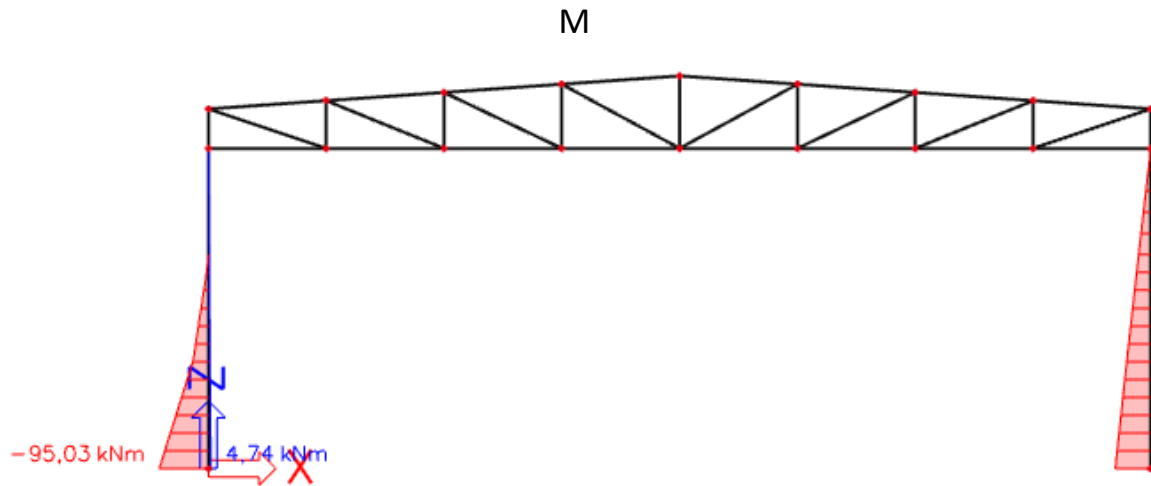


Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila kombinacije 2

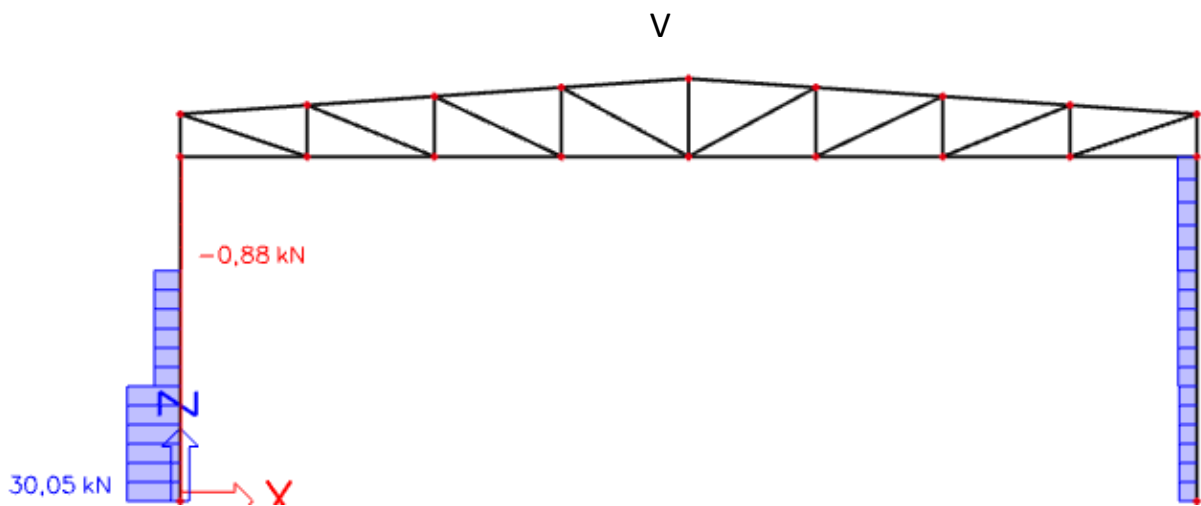


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila kombinacije 2

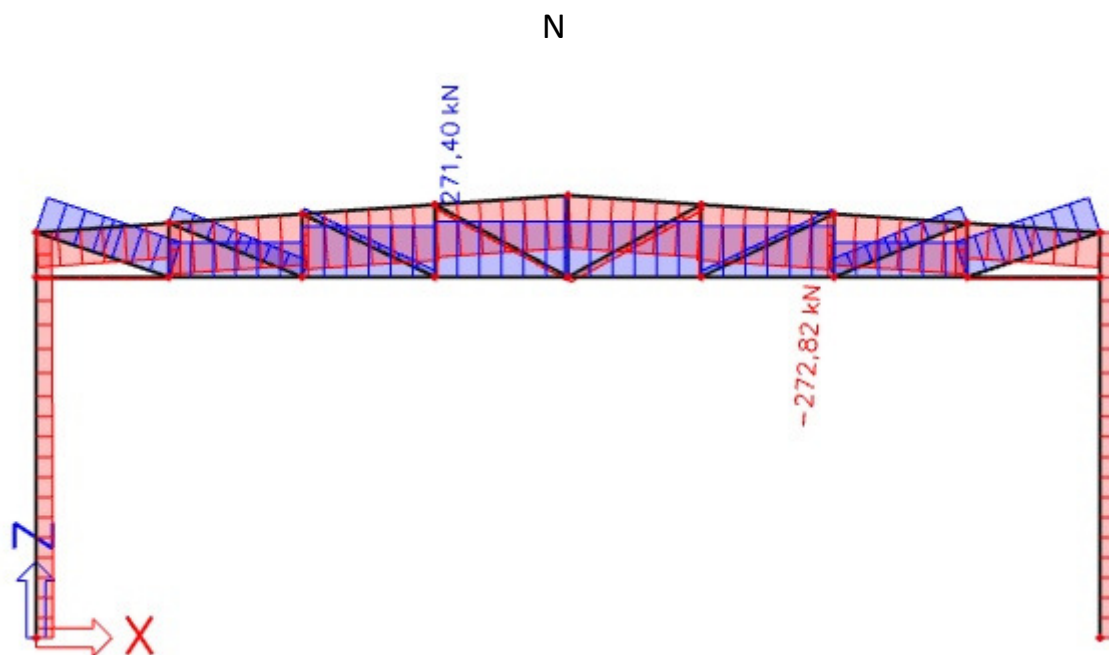
### 4.1.3 KOMBINACIJA $1,35 \cdot (G_0 + G_1) + 1,5 \cdot W_2$



Slika 4.1.3.1. Momentni dijagram kombinacije 3



Slika 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

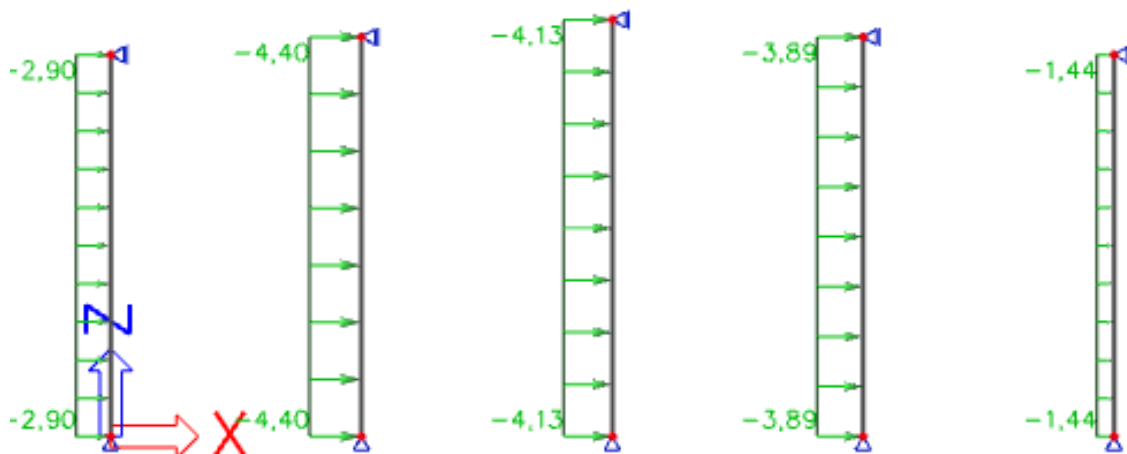


Slika 4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila kombinacije 3

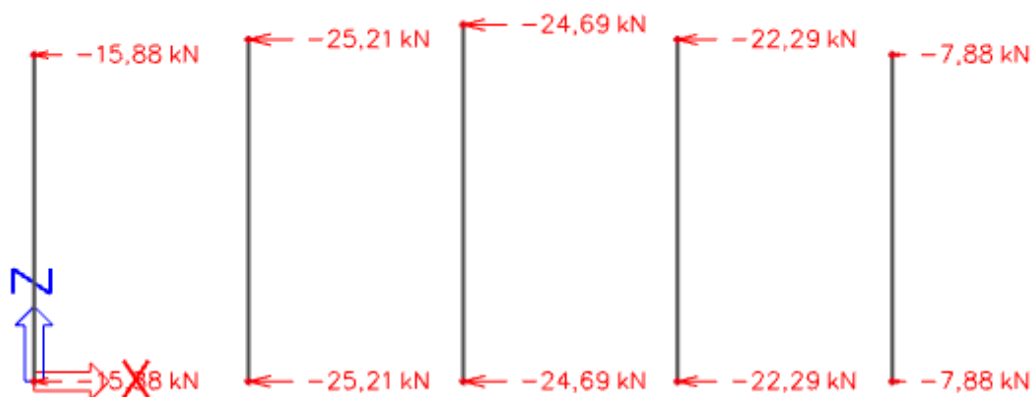
## 4.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 4.2.1 ZABATNI STUPOVI

Kao mjerodavno djelovanje uzima se pritisak vjetra "W1" na zabat čelične hale.

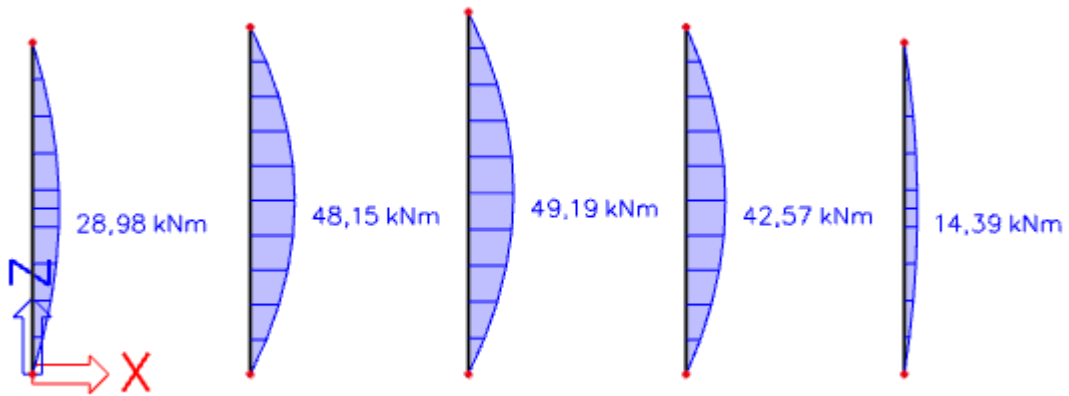


Slika 4.13. Model zabatnih stupova

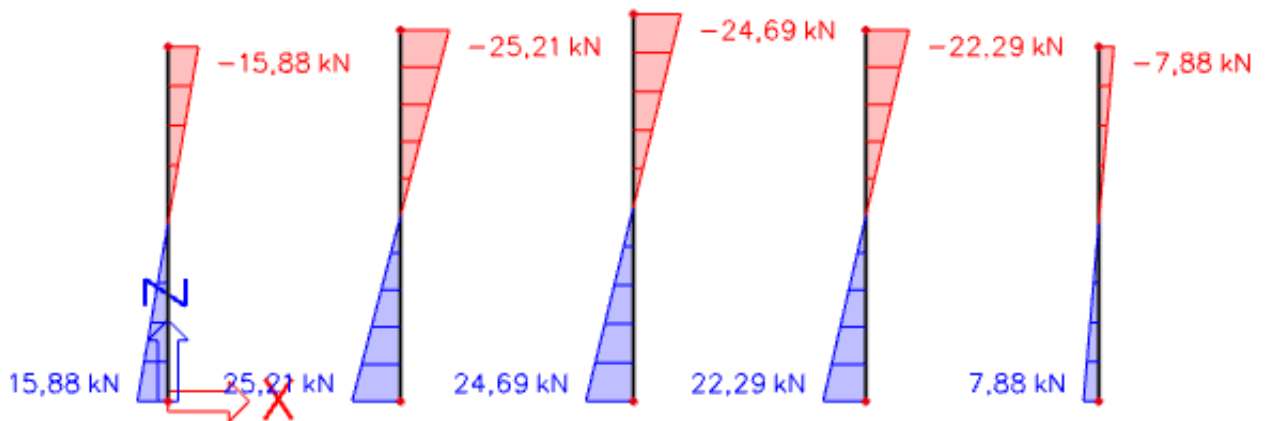


Slika 4.14. Reakcije za djelovanje vjetra W1





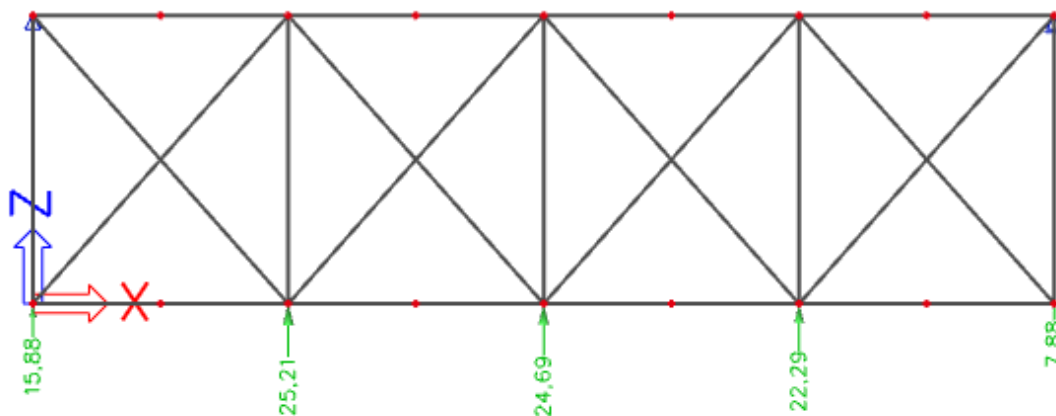
Slika 4.15. Momentni dijagram za djelovanje vjetra W1



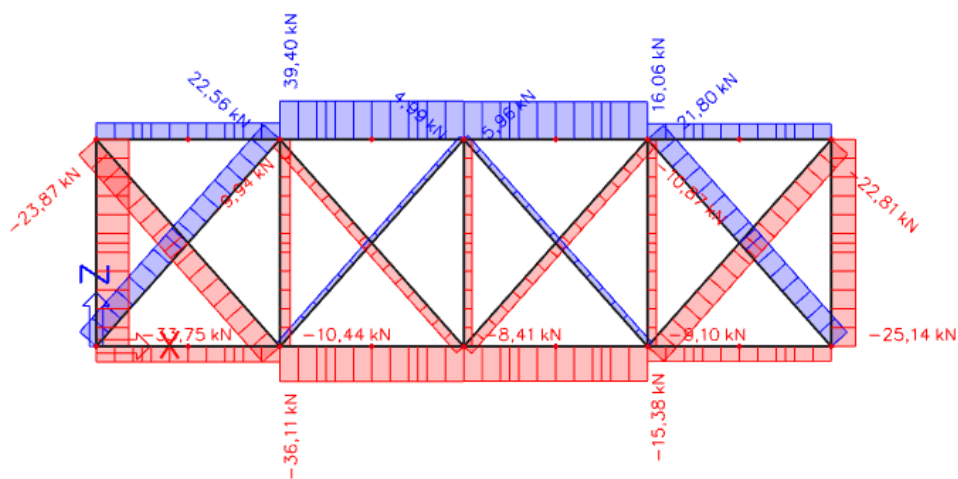
Slika 4.16. Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra W1

#### 4.2.2 KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI

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



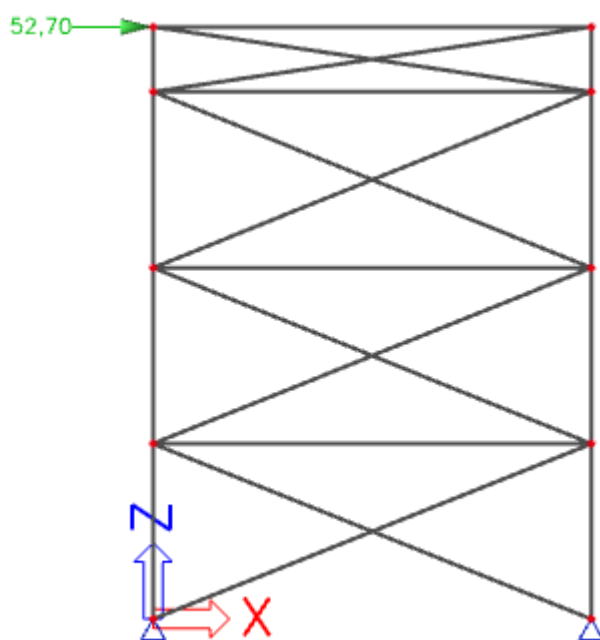
Slika 4.17. Model krovnog sprega



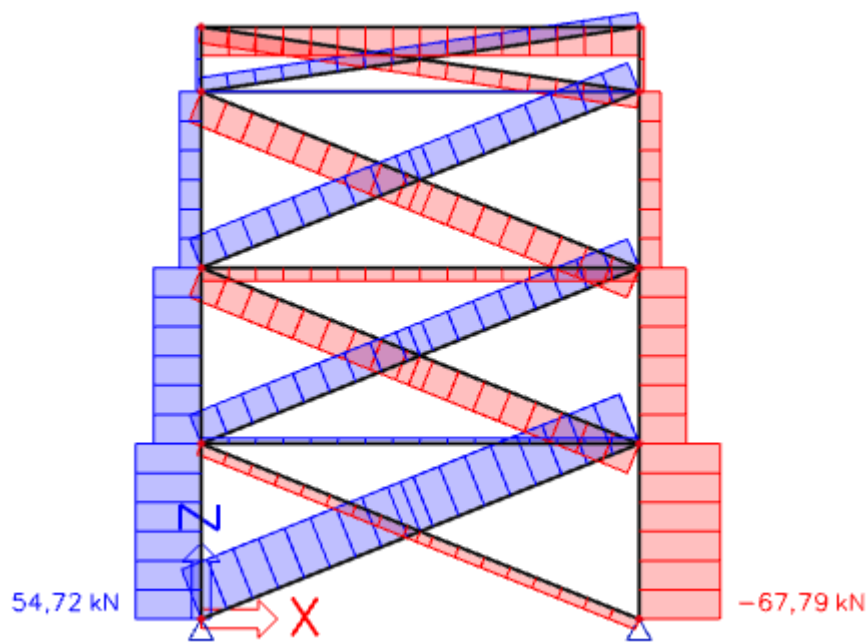
Slika 4.18. Dijagram uzdužnih sila horizontalnog sprega

### 4.2.3 BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI

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



Slika 4.19. Model bočnog sprega



Slika 4.20. Dijagram uzdužnih sila vertikalnog sprega

#### 4.2.4 KROVNA PODROŽNICA

Krovne podrožnice su duljine 5,4 m. Nalaze se na osnom razmaku od 2,4 m i pod kutom su od  $\alpha=4^\circ$ .

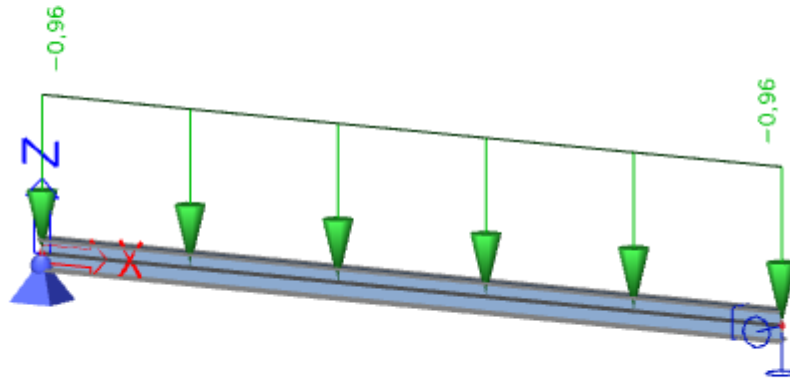
Djelovanja na krovnu podrožnicu su sljedeća:

Dodatno stalno opterećenje:  $G = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 0,96 \text{ kN/m}'$

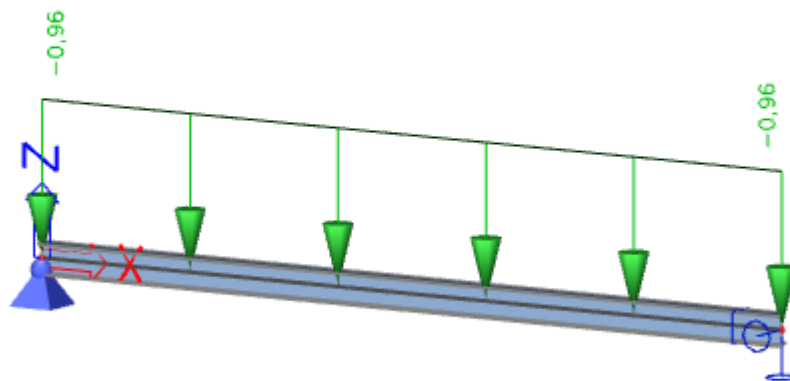
Snijeg:  $S = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 0,96 \text{ kN/m}'$

Vjetar W1:  $W1 = 1,835 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 4,413 \text{ kN/m}'$

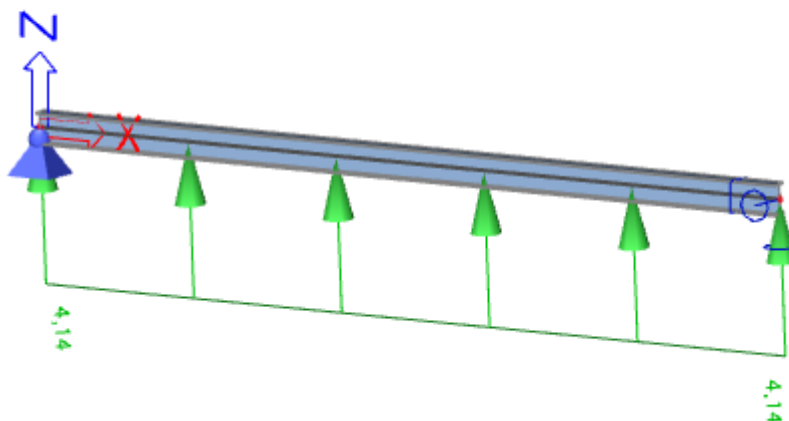
Vjetar W2:  $W2 = 0,091 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,405 \text{ m} = 0,22 \text{ kN/m}'$



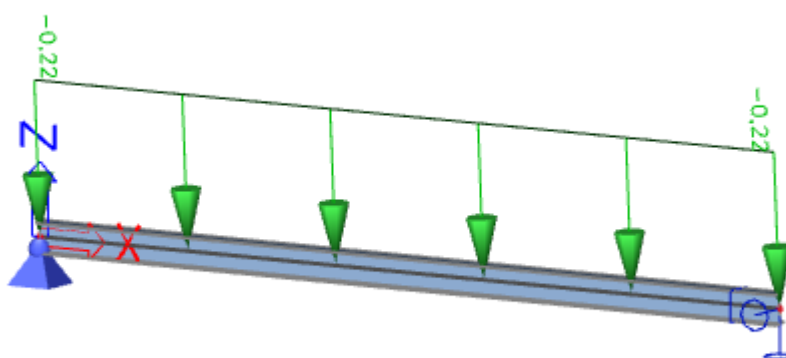
Slika 4.21. Model krovne podrožnice za djelovanje  $G$



Slika 4.22. Model krovne podrožnice za djelovanje snijega  $S$

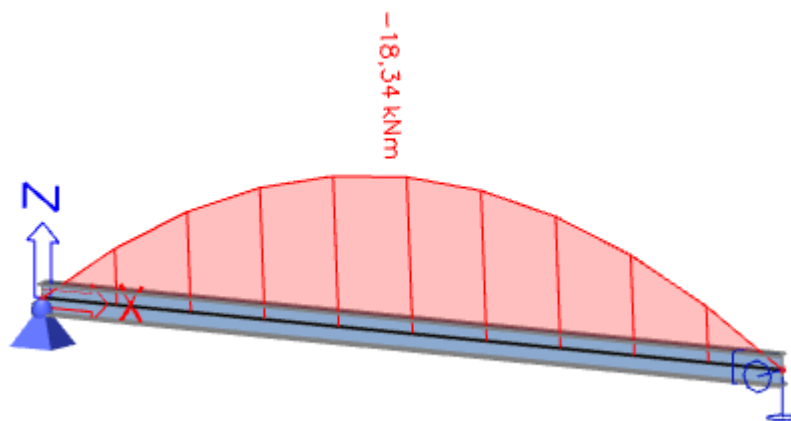


Slika 4.23. Model krovne podrožnice za djelovanje vjetra W1

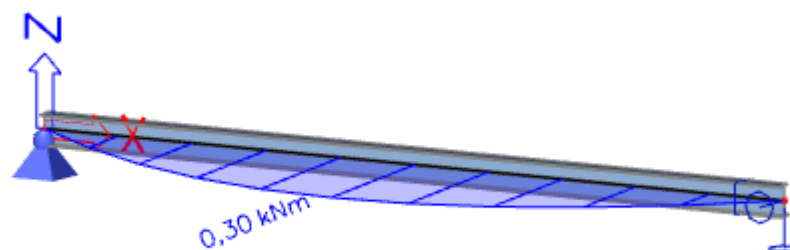


Slika 4.24. Model krovne podrožnice za djelovanje vjetra W2

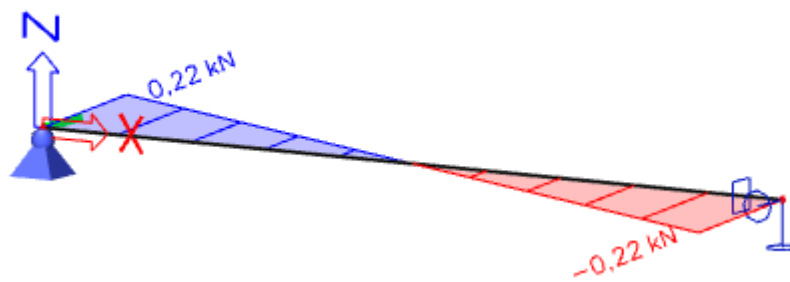
Mjerodavna kombinacija:  $1.0 \cdot (G+G1) + 1.5 \cdot W1$



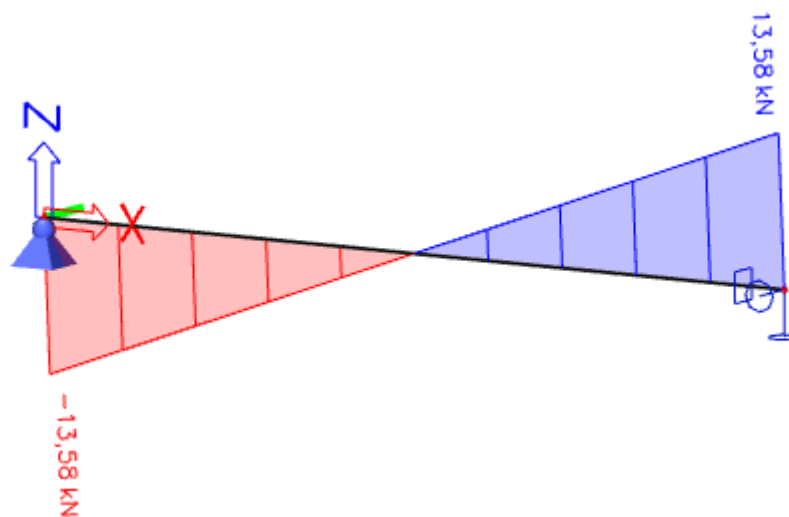
Slika 4.25. Momentni dijagram  $M_y$  za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.26. Momentni dijagram  $M_z$  za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.27. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.28. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za mjerodavnu kombinaciju

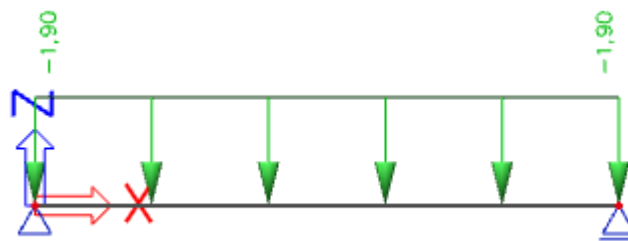


#### 4.2.5 BOČNA PODROŽNICA

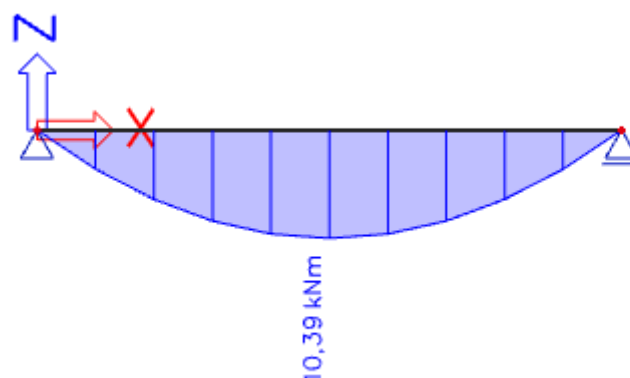
Opterećenje bočne podrožnice je uzeto za područje D i pritisak na vertikalne zidove koji iznosi  $w_k=0,88 \text{ kN/m}^2$

$$W_k = w_k \cdot n = 0,88 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,16 \text{ m} = 1,90 \text{ kN/m}$$

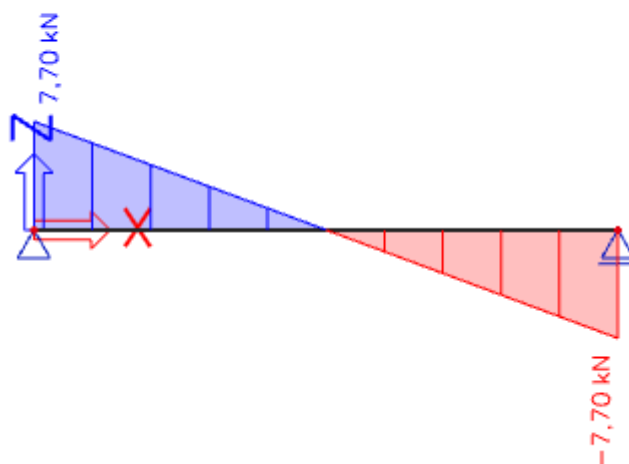
n - razmak između bočnih podrožnica



Slika 4.29. Model bočne podrožnice



Slika 4.30. Momentni dijagram za mjerodavnu kombinaciju



Slika 4.31. Dijagram poprečnih sila za mjerodavnu kombinaciju

## 5. DIMENZIONIRANJE

### 5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

#### 5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA

**Profil: HEA 280**

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 270$  mm

Širina pojasnice:  $b = 280$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f = 13$  mm

Debljina hrpta:  $t_w = 8$  mm

Radijus:  $r = 24$  mm

Površina:  $A = 97,3$  cm<sup>2</sup>

Momenti tromosti:  $I_y = 13700$  cm<sup>4</sup>

$I_z = 4760$  cm<sup>4</sup>

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 1112,5$  cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z} = 516,67$  cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w = 785370$  cm<sup>6</sup>

Torzijska konstanta:  $I_t = 62,1$  cm<sup>4</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila  $\rightarrow M_{y,Ed} = 95,03$  kNm

$\rightarrow V_{z,Ed} = 30,05$  kN

$\rightarrow N_{Ed} = 85,54$  (tlak)

Materijal: S235  $\rightarrow f_y = 235$  N/mm<sup>2</sup>

$\rightarrow \varepsilon = 1,00$

$\rightarrow E = 210\,000$  N/mm  $\rightarrow \nu = 0,3$

#### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

##### Hrbat

$d = h - 2t_f - 2r = 270 - 26 - 48 = 196$  mm

$$\frac{d}{t_w} = \frac{196}{8} = 24,50$$

$$a = \frac{N_{ed}}{\frac{2 \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}} = \frac{85,54}{\frac{2 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1}} = 2,27$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{19,6} \left( \frac{19,6}{2} + 2,27 \right) = 0,61 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot 1,00}{13 \cdot 0,61 - 1} = 56,50$$

$$24,50 \leq 56,50$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{280 - 8 - 48}{2} = 112 \text{ mm}$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13} = 8,62$$

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

$$8,62 \leq 9,00$$

Pojasnica je klase 1.

Presjek je klase 1.

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{97,30 \cdot 23,5}{1} = 2286,55 \text{ kN}$$

$$N_{cRd} = 2286,55 \text{ kN} > N_{Ed} = 85,54 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{85,54}{2286,55} = 0,037 = 3,70\%$$

***Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju***

$$M_{cRd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1112,5 \cdot 23,5}{1} = 26143,75 \text{ kNm} = 261,44 \text{ kNm}$$

$$M_{cRd} = 261,44 \text{ kNm} > M_{edy} = 95,03 \text{ kNm}$$

***Posmična otpornost poprečnog presjeka***

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 26}{8} = 30,5$$

$$30,5 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$30,5 < 72 \cdot \frac{1,00}{1,20}$$

$$30,5 < 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{v,z} = 97,3 - 2 \cdot 28 \cdot 1,3 + (0,8 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,3 = 31,78 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 24,4 \cdot 0,8 = 23,42 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{31,78 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 431,18 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 431,18 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 30,05 \text{ kN}$$

**Interakcija M-V-N**

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} \quad \Rightarrow \quad V_{Ed} = 30,05 \text{ kN} < 215,59$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje.

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

$$N_{Ed} = 85,54 \leq 0,25 \cdot 2286,55 = 571,64 \text{ kN}$$

$$2. N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

$$N_{Ed} = 85,54 \leq \frac{0,5 \cdot 24,4 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,0} = 229,36$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Profil HEA 280 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

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

*Uzdužna tlačna otpornost*

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

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

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} < 1,2 \quad t_f = 13 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

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

Za os z-z: krivulja izvijanja c  $\rightarrow (\alpha = 0,49)$

*Izvijanje oko osi y*

$$L_{cr,y} = 1300 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 13700}{1300^2} = 1680,17 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{97,30 \cdot 23,5}{1680,17}} = 1,17$$

$$\chi_y = 0,50 \quad \text{za } y - y \Rightarrow \text{krivulja b } (\alpha = 0,34)$$

*Izvijanje oko osi z*

$$L_{cr,z} = 216,7 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760}{216,7^2} = 21009,13 \text{ kN}$$

$$\lambda_{z,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{97,30 \cdot 23,5}{21009,13}} = 0,33 \quad (\alpha = 0,49)$$

$$\chi_z = 0,93 \quad \text{za } z - z \Rightarrow \text{krivulja b } (\alpha = 0,49)$$

Mjerodavna je manja vrijednost  $\chi = 0,50$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,50 \cdot 97,30 \cdot 23,5}{1,0} = 1143,27 > N_{ed} = 85,54 \text{ kN}$$

### **Otpornost na savijanje**

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right] = 5110,46 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ cm}$$

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

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

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

Bezdimenzijska vitkost

$$\lambda_{LTcr} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,226 < 0,4$$

$$M_{b,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 261,43 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 261,43 \text{ kNm} > M_{ed} = 95,03 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{95,03}{261,43} = 0,36 = 36,3\%$$

Profil HEA 280 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 36,3%.

### **Interakcija M-N**

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

$$\lambda_{z,cr} = 0,33$$

$$\lambda_{y,cr} = 1,17$$

$$k_{zy} = 0,6 + \lambda_{zcr} \leq \left[ 1 - \frac{0,1\lambda_{zcr}}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$\Psi = 0$$

$$0,6 + 0,4 \Psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6$$

$$C_{mLT} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[ 1 + (1,17 - 0,2) \cdot \frac{85,54}{0,6 \cdot \frac{2286,55}{1,0}} \right] = 0,643 > 0,6 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{85,54}{0,5 \cdot \frac{2286,55}{1,0}} \right] = 0,635$$

$$k_{zy} = 0,6 + 0,33 = 0,93$$

$$\leq \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,33}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{85,54}{0,93 \cdot 2286,55 / 1,0} \right] = 0,996$$

$$k_{yy} = 0,64$$

$$k_{zy} = 0,93$$

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

$$\frac{85,54}{0,5 \cdot 2286,55 / 1,0} + 0,64 \cdot \frac{95,03}{1 \cdot 261,43} = 0,31 \leq 1,0$$

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

$$\frac{85,54}{0,93 \cdot 2286,55 / 1,0} + 0,93 \cdot \frac{95,03}{1 \cdot 261,43} = 0,38 \leq 1,0$$

**Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 38 %.**



### 5.1.2. GORNJI POJAS REŠETKE

#### CFRHS 150/150/6

Visina presjeka:  $h = 150 \text{ mm}$

Širina presjeka:  $b = 150 \text{ mm}$

Debljina:  $t_f = 6 \text{ mm}$

Radijus:  $r = 6 \text{ mm}$

Površina:  $A = 33,63 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti:  $I_y = 1145,9 \text{ cm}^4$

$$I_z = 1145,9 \text{ cm}^4$$

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 179,88 \text{ cm}^3$

$$W_{pl,z} = 179,88 \text{ cm}^3$$

Konstanta krivljenja:  $I_w = 37969 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta:  $I_t = 1832,7 \text{ cm}^4$

#### ULAZNI PODATCI:

Djelovanje: uzdužna sila  $\rightarrow N_{Ed} = 380,46 \text{ kN}$  (tlak)

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

$$\rightarrow \varepsilon = 1$$

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

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

#### ***Klasifikacija poprečnog presjeka***

*Provjera hrpta*

$$d = h - 3t = 150 - 18 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22 < 33\varepsilon = 33$$

Hrbat svrstan u klasu 1

Poprečni presjek svrstan u klasu 1

*Otpornost poprečnog presjeka*

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{33,63 \cdot 23,5}{1} = 790.305 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 790.305 \text{ kN} > N_{ed} = 380,46 \text{ kN}$$

$$\frac{380,46}{790,305} = 0,48 = 48 \%$$

**Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

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

Za valjani pravokutni profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

-za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,49$

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 240,6 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1145,9}{240,6^2} = 4102,75 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{33,63 \cdot 23,5}{4102,75}} = 0,44$$

$$\lambda_y = 0,876$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 480,2 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1145,9}{480,2^2} = 1029,97 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{33,63 \cdot 23,5}{1029,97}} = 0,876$$

$$\lambda_z = 0,616$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{min} = 0,616$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,616 \cdot 33,63 \cdot 23,5}{1,0} = 484,89 > N_{edz} = 383,03 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{380,46}{484,89} = 0,78 = 78,46 \%$$

**Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 78,46 %.**

### 5.1.3. DONJI POJAS REŠETKE

#### CFRHS 150/150/6

Visina presjeka:  $h = 150 \text{ mm}$

Širina presjeka:  $b = 150 \text{ mm}$

Debljina:  $t_f = 6 \text{ mm}$

Radius:  $r = 6 \text{ mm}$

Površina:  $A = 33,63 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti:  $I_y = 1145,9 \text{ cm}^4$

$I_z = 1145,9 \text{ cm}^4$

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 179,88 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} = 179,88 \text{ cm}^3$

Konstanta krivljenja:  $I_w = 37969 \text{ cm}^6$

Torzijska konstanta:  $I_t = 1832,7 \text{ cm}^4$

#### ULAZNI PODATCI:

Djelovanje: uzdužna sila  $\rightarrow N_{Ed} = 378,49 \text{ kN}$  (vlak)

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

$\rightarrow \varepsilon = 1$

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

$\rightarrow \nu = 0,3$

### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

$$d = h - 3t = 150 - 18 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22 < 33\varepsilon = 33$$

$$\frac{d}{t} < 33\varepsilon$$

$$\frac{132}{6} < 33$$

$$22 < 33$$

Poprečni presjek je klase 1.

### **Otpornost poprečnog presjeka**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{33,63 \cdot 23,5}{1} = 790,31 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 790,31,27 \text{ kN} > N_{ed} = 379,06 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{378,49}{790,31} = 0,48 = 48 \%$$

**Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 48,0%.**

#### 5.1.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA REŠETKE

##### **CFRHS 120x50x5**

$$A = 15,36 \text{ cm}^2$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

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

$$N = 251,31 \text{ kN (vlak)}$$

##### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

$$d = h - 3t = 120 - 15 = 105 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{105}{6} = 17,5 < 33\varepsilon = 33$$

Poprečni presjek je klase 1.

##### **Otpornost poprečnog presjeka**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{15,36 \cdot 23,5}{1} = 360,96 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 360,96 \text{ kN} > N_{ed} = 251,31 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{251,31}{360,96} = 0,698 = 70 \%$$

**Poprečni presjek zadovoljava s iskorištenosti od 70%.**

### 5.1.5. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA REŠETKE

#### **CFRHS 50x50x4**

$$A = 6,95 \text{ cm}^2$$

$$h = 50 \text{ mm}$$

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

$$I_y = 23,74 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 23,74 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,y} = 11,73 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 11,73 \text{ cm}^3$$

$$N = 78,41 \text{ (tlak)}$$

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

$$d = h - 3t = 50 - 12 = 38 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{38}{4} = 9,5 < 33\epsilon = 33$$

$$9,5 < 33$$

Poprečni presjek je klase 1.

#### **Otpornost poprečnog presjeka**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{6,95 \cdot 23,5}{1} = 163,32 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 163,25 \text{ kN} > N_{ed} = 78,41 \text{ kN}$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

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

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

-za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,49$

$L_{cr} = 96,7$  cm

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 23,74}{96,7^2} = 526,19 \text{ kN}$$

$$\lambda_{y,cr} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,95 \cdot 23,5}{526,19}} = 0,557$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,81 \cdot 6,95 \cdot 23,5}{1,0} = 132,29 > N_{ed} = 78,41 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{78,41}{132,29} = 0,59 = 59,27 \%$$

**Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 59,27 %.**



## 5.2. SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

### 5.2.1. ZABATNI STUPOVI

**Profil: HEA 200**

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 190$  mm

Širina pojasnice:  $b = 200$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f = 10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w = 7$  mm

Radijus:  $r = 18$  mm

Površina:  $A = 53,8$  cm<sup>2</sup>

Momenti tromosti:  $I_y = 3690$  cm<sup>4</sup>

$I_z = 1340$  cm<sup>4</sup>

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 429,17$  cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z} = 203,75$  cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w = 108000$  cm<sup>6</sup>

Torzijaska konstanta:  $I_t = 21$  cm<sup>4</sup>

$$M_{ed} = 49,19 \text{ kNm}$$

$$V = 25,21 \text{ kN}$$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

##### *Hrbat*

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{190 - 20 - 36}{7} = 19,14$$

$$19,14 < 72\varepsilon = 19,14 < 72$$

Hrbat je klase 1

##### *Pojasnica*

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{200 - 7 - 36}{2} = 78,5$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{78,5}{10} < 9\varepsilon = 7,85 < 9$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

### Otpornost poprečnog presjeka

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{429,17 \cdot 23,5}{1} = 10085,495 \text{ kNcm} = 100,85 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 100,85 > M_{Ed} = 49,19$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{190 - 20}{7} = 24,29$$

$$24,29 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \quad 24,29 < 60$$

→ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

$$A_{v,z} = 53,8 - 2 \cdot 20 \cdot 1 + (0,7 + 2 \cdot 1,8) \cdot 1 = 18,1 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 17 \cdot 0,7 = 14,28 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{18,1 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 245,58 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 245,58 \geq V_{Ed} = 25,21 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V

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

$$V_{z,Ed} = 14,81 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 122,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 100,85 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{41,32}{100,85} = 0,40 < 1$$

### Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right] = 87,50 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{190}{2} = 9,5 \text{ cm}$$

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

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

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

$$L = 797 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429,17 \cdot 23,5}{87,50}} = 1,07 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,07^2}} = 0,62 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,07 - 0,2) + 1,07^2] = 1,16$$

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

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

$$M_{b,Rd} = 0,62 \cdot \frac{429,17 \cdot 23,5}{1} = 6253,01 \text{ kNcm} = 62,53 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 62,53 > M_{y,Ed} = 49,19$$

$$\eta = \frac{49,19}{62,53} = 0,786 = 78,6 \%$$

**Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 78,7 %.**

### 5.2.2. HORIZONTALNI SPREG

Maksimalna vlačna sila:  $N = 22,56 \text{ kN}$

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

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,54 * 23,5}{1} = 36,19 \text{ kN} > N_{Ed} = 22,56 \text{ kN}$$

Za spregove je odabran profil **RD14**

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{22,56}{36,19} = 0,62 = 62,3 \%$$

**Profil RD14, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=62,3\%$ .**

### 5.2.3 BOČNI SPREG

Maksimalna vlačna sila:  $N = 44,5 \text{ kN}$

$$A = 2,009 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{2,01 * 23,5}{1} = 47,23 \text{ kN} > N_{Ed} = 44,50 \text{ kN}$$

Za spregove je odabran profil **RD16**

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{44,50}{47,23} = 0,94 = 94,2 \%$$

**Profil RD16, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=94,2\%$ .**

## 5.2.4. KROVNA PODROŽNICA

### Profil: IPE 200

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka:  $h = 200$  mm

Širina pojasnice:  $b = 100$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f = 9$  mm

Debljina hrpta:  $t_w = 6$  mm

Radijus:  $r = 12$  mm

Površina:  $A = 28,50$  cm<sup>2</sup>

Momenti tromosti:  $I_y = 1943$  cm<sup>4</sup>

$I_z = 142$  cm<sup>4</sup>

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 221$  cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z} = 44,6$  cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w = 13000$  cm<sup>6</sup>

Torzijska konstanta:  $I_t = 6,98$  cm<sup>4</sup>

$$M_{y,Ed} = 18,45 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,30 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,22 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 13,58 \text{ kN}$$

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{200 - 18 - 24}{6} = 26,33$$

$$26,33 < 72 \varepsilon = 29,2 < 72$$

Hrbat je klase 1.

#### Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{100 - 6 - 24}{2} = 35$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35}{9} < 9\varepsilon = 3,89 < 9$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek je klase 1.

**Otpornost poprečnog presjeka**

**Savijanje oko osi y-y**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{221 * 23,5}{1} = 5193,5 \text{ kNcm} = 51,94 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 51,94 > M_{Ed} = 18,45$$

**Savijanje oko osi z-z**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{44,6 * 23,5}{1} = 1048,1 \text{ kNcm} = 10,48 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 10,48 > M_{Ed} = 0,30$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru osi z**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{200 - 18}{6} = 30,3$$

$$30,3 < 72 * \frac{\epsilon}{\eta} = 30,3 < 60$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

$$A_{v,z} = 28,5 - 2 \cdot 10 \cdot 0,9 + (0,6 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,9 = 13,2 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 18,2 \cdot 0,6 = 13,10 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13,2 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,10 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,10 \geq V_{Ed} = 13,58 \text{ kN}$$

**U smjeru osi y**

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

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

$$A_{v,y} = 28,5 - \sum 18,2 * 0,6 = 17,58 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17,58 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 238,52 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,22 \text{ kN}$$

### Interakcija $M_y$ i $M_z$ (dvoosno savijanje)

Presjek:  $5.4/4=1.35$

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

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

### Poprečna sila u smjeru osi z

$$V_z = 6,79 \text{ kN}$$

$$0,5 * V_{pl,z,Rd} = 0,5 * 179,10 = 89,55 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 6,79 < 0,5 * V_{pl,z,Rd} = 89,55 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

### Poprečna sila u smjeru osi y

$$V_y = 0,11 \text{ kN}$$

$$0,5 * V_{pl,y,Rd} = 0,5 * 238,52 = 119,26 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,11 < 0,5 * V_{pl,y,Rd} = 119,26 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti od poprečne sile

$$\left(\frac{18,43}{51,93}\right)^2 + \left(\frac{0,30}{10,48}\right)^1 \leq 1,0 = 0,15 < 1$$

Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

### Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right] = 24,30 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$$

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

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

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

$$L = 540 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 23,5}{2429,51}} = 1,46 > 0,4$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,70 + \sqrt{1,70^2 - 1,46^2}} = 0,39 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,70$$

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

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

$$M_{b,Rd} = 0,39 \cdot \frac{221 \cdot 23,5}{1} = 2025,46 \text{ kNcm} = 20,02 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 20,02 > M_{y,Ed} = 18,43$$

$$\eta = \frac{18,43}{20,02} = 0,9205 = 92,05 \%$$

### Interakcija My i Mz

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



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

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

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

$$L_{cr,z} = 540 \text{ cm}$$

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

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95$$

$$k_{zz} = 0,95$$

$$k_{yz} = 0,57$$

$$k_{zy} = 1$$

$$0 + 0,95 \cdot \frac{18,43}{0,39 \cdot 51,93} + 0,57 \cdot \frac{0,30}{10,48} = 0,88 \leq 1,0$$

$$0 + 1 \cdot \frac{18,43}{0,39 \cdot 51,93} + 0,95 \cdot \frac{0,30}{10,48} = 0,937 \leq 1,0$$

**Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 94%.**

### 5.2.5. BOČNA PODROŽNICA

**Profil: IPE 180**

Tip presjeka: valjani  
Visina presjeka:  $h = 180 \text{ mm}$   
Širina pojasnice:  $b = 91 \text{ mm}$   
Debljina pojasnice:  $t_f = 8 \text{ mm}$   
Debljina hrpta:  $t_w = 5 \text{ mm}$   
Radijus:  $r = 9 \text{ mm}$   
Površina:  $A = 23,9 \text{ cm}^2$

Momenti tromosti:  $I_y = 1317 \text{ cm}^4$   
 $I_z = 101 \text{ cm}^4$   
Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 166 \text{ cm}^3$   
 $W_{pl,z} = 34,6 \text{ cm}^3$   
Konstanta krivljenja:  $I_w = 7430 \text{ cm}^6$   
Torzijska konstanta:  $I_t = 4,79 \text{ cm}^4$

$$M_{y,Ed} = 10,39 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,70 \text{ kN}$$

**Klasifikacija poprečnog presjeka**

**Hrbat**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{180 - 16 - 18}{5} = 29,2$$

$$29,2 < 72 \varepsilon = 29,2 < 72$$

Hrbat je klase 1

**Pojasnica**

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} < 9\varepsilon = 4,25 < 9$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1

**Otpornost poprečnog presjeka**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{166 * 23,5}{1} = 3901 \text{ kNcm} = 39,01 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 39,01 > M_{Ed} = 10,39$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

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

→ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

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

$$V_{pl,Rd} = \frac{11,18 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 151,69 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 151,69 \geq V_{Ed} = 7,70 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 151,69 = 75,84 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,70 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 75,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 39,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{10,39}{39,01} = 0,27 < 1$$

### Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right] = 16,99 \text{ kNm}$$

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

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

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

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

$$L = 540 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166 \cdot 23,5}{1698,82}} = 1,52 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,37 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,52 - 0,2) + 1,52^2] = 1,79$$

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

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

$$M_{b,Rd} = 0,37 \cdot \frac{166 \cdot 23,5}{1} = 1443,37 \text{ kNcm} = 14,43 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,43 > M_{y,Ed} = 10,39$$

$$\eta = \frac{10,39}{14,43} = 0,719 = 71,98 \%$$

**Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 72%.**

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1. SPOJ STUP-TEMELJ

#### Veličine djelovanja

$$N_{Ed} = 85,54 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 95,03 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 30,05 \text{ kN}$$

#### Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

#### Vijci: k.v. 5.6

#### Poprečni presjek:

Profil: HEA 280

Momenti tromosti:  $I_y = 13700 \text{ cm}^4$

Tip presjeka: valjani

$I_z = 4760 \text{ cm}^4$

Visina presjeka:  $h = 270 \text{ mm}$

Momenti otpora:  $W_{pl,y} = 1112,5 \text{ cm}^3$

Širina pojasnice:  $b = 280 \text{ mm}$

$W_{pl,z} = 516,67 \text{ cm}^3$

Debljina pojasnice:  $t_f = 13 \text{ mm}$

Konstanta krivljenja:  $I_w = 785370 \text{ cm}^6$

Debljina hrpta:  $t_w = 8 \text{ mm}$

Torzijska konstanta:  $I_t = 62,1 \text{ cm}^4$

Radius:  $r = 24 \text{ mm}$

Površina:  $A = 97,3 \text{ cm}^2$

#### Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N_p^* M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{95,03}{0,27 - 0,013} = 369,77 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{28 \cdot 1,3}{97,3} \cdot 85,54 = -32,00 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_p^* M + N_p^N = 369,77 - 32,00 = 337,77 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

### **KONTROLA VAROVA**

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice

$$l \approx 2 \cdot 280 = 560 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta

$$l \approx 2 \cdot 244 = 488 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

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

Za pretpostavljeni var  $a=5 \text{ mm}$

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129,9}{1,25} \cdot \frac{560}{100} = 581,95 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 337,77 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129,9}{1,25} \cdot \frac{488}{100} = 507,13 \text{ kN} > V_{Ed} = 30,05 \text{ kN}$$

### **PRORAČUN VIJAKA**

Uz pretpostavku vijaka M-27 udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice iznosi

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 27 + 5\sqrt{2} = 61,07$$

-usvojeni  $c=65 \text{ mm}$

-ekscentricitet uzdužne sile

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{95,03}{85,54} = 1,11 \text{ m}$$

-ekscentricitet

$$x_1 = 65 + 270 - 6,5 = 328,5 \text{ mm} = 0,329 \text{ m}$$

$$x_2 = 1110 - 270/2 + 6,5 = 981,5 \text{ mm} = 0,9815 \text{ m}$$

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Ed} \cdot x_1 \quad \Rightarrow \quad F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 85,54 \cdot \frac{0,9815}{0,329} = 238,81 \text{ kN}$$

### **PRORAČUN VIJAKA**

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{206,6}{1,25} = 165,28 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = 119,41 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{137,7}{1,25} = 110,16 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{30,05}{4} = 7,51 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

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

$$\frac{7,51}{110,16} + \frac{119,41}{1,4 \cdot 165,28} \leq 1,0 \Rightarrow 0,58 \leq 1,0$$

### **PRORAČUN PLOČE**

$$a_{pl}^{\min} = h + 2(c + e_1) = 270 + 2 \cdot (65 + 70) = 540 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 5\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 314,14 \text{ mm}$$

$$= p_2 + 2e_2 = 90 + 2 \cdot 55 = 200 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 540x320 mm

Proračun debljine ploče -  $t_{pl}^{\min}$

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{30,05}{4} = 7,51 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{182,3}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 7,51 \text{ kN} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = 0,515 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{540 - 270 + 13}{2} = 141,5 \text{ mm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 238,81 + 85,54 = 324,35 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{b,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{324,35}{\frac{3 \cdot 14,15 \cdot 32,0}{2}} = 0,48 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

**Savijanje ploče**

$$M_{Ed} = F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 4800 \cdot 0,1415 \cdot 0,320 \cdot \frac{0,1415}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 4800 \cdot 0,1415 \cdot 0,320}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,1415 = 13,67 \text{ kNm}$$

**Savijanje ploče od vlačnih vijaka**

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left( c + \frac{t_f}{2} \right) = 238,81 \cdot (0,065 + 0,0065) = 17,07 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{pl} \cdot f_y}{1,1}$$

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

$$t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1707 \cdot 6}{32 \cdot 23,5}} = 3,87 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče 540x320x55 mm.



## 6.2 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

$$N_{Ed} = 347,35kN$$

$$150/150/6$$

### **KONTROLA VAROVA**

Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 6 = 4,2mm$$

odabrano  $a = 4mm$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 150 = 600mm$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{103,9}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 498,72kN > N_{Ed} = 347,35kN$$

### **PRORAČUN VIJAKA**

Pretpostavka: vijci M20 k.v.8.8

n=4vijka

Otpornost vijaka na vlak

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

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{347,35}{4} = 86,84kN < F_{t,Rd} = 141,12kN$$

### **PRORAČUN PLOČE**

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,66mm$$

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

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 150 + 11,31 + 20 = 181,31mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 314x314mm

Proračun minimalne debljine ploče  $t_{pl}$

$$e=32\text{mm}$$

$$b_{pl}=314\text{mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 86,84 \cdot 0,032 = 5,56 \text{ kNm}$$

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

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 556 \cdot 6}{314 \cdot 23,5}} = 0,70 \text{ cm}$$

Zadovoljava ploča debljine  $t_{pl} = 10\text{mm}$

Odabrane dimenzije ploče su **314x314x10mm**.

### 6.3. ZGLOBNI SPOJ STUP-REŠETKA

$$V_{Ed} = 10,95 \text{ kN}$$

STUP HEA 280 *Profil: MSH 150x150x6*

$$A = 97,3 \text{ cm}^2$$

$$h = 270 \text{ mm}$$

$$b = 280 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

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

#### **KONTROLA VAROVA**

**Dužina vara hrpta**

$$l_1 = 2 * (h - 2 * t_f) = 2 * (270 - 2 * 13) = 488 \text{ mm}$$

**Dužina vara pojasa**

$$l_2 = 0 = 4 * 150 = 600 \text{ mm}$$

**Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača**

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

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

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{488}{100} = 405,63 \text{ kN} > V_{Ed} = 10,95 \text{ kN}$$

### **PRORAČUN VIJAKA**

Odabrani vijci: M12; kv 8.8

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

Poprečna sila se raspoređuje na 2 vijka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{40,5}{1,25} = 32,4 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{10,95}{2} = 5,47 \text{ kN}$$

$$\frac{5,47}{32,4} \leq 1,0$$

$$0,16 \leq 1,0$$

### **PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE**

Proračun širine i dužine ploče:

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 311,31 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 320x320 mm

#### **Proračun debljine ploče - $t_{pl}^{\min}$**

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{2} = \frac{10,95}{2} = 5,47 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} * \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl}$$
$$> \frac{F_{b,Sd} * \gamma_{Mb} * 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{5,47 * 1,25 * 10}{83,1} = 0,82 \text{ mm}$$

Usvojene dimenzije ploče 320x320x14 mm.

## 7. PRORAČUN TEMELJA

### ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA

$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$B = 2,0 \text{ m}$$

$$H = 1,0 \text{ m}$$

### MATERIJAL

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

Beton C25/30  $f_{ck} = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

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

### REZNE SILE

$$N_{Sd} = -85,54 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 30,05 \text{ kN}$$

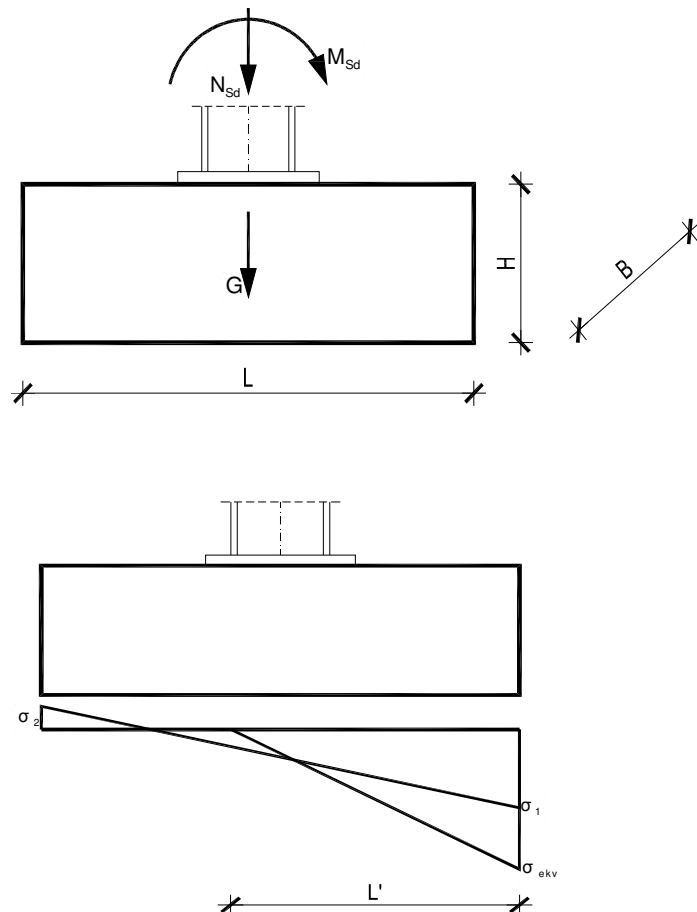
$$M_{Sd} = 95,03 \text{ kNm}$$

Površina temeljne stope

$$A = L \cdot B = 2,0 \cdot 2,0 = 4,0 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2,0 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 100,0 \text{ kN}$$



Moment otpora temeljne stope

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2,0 \cdot 2,0^2}{6} = 1,33 \text{ m}^3$$

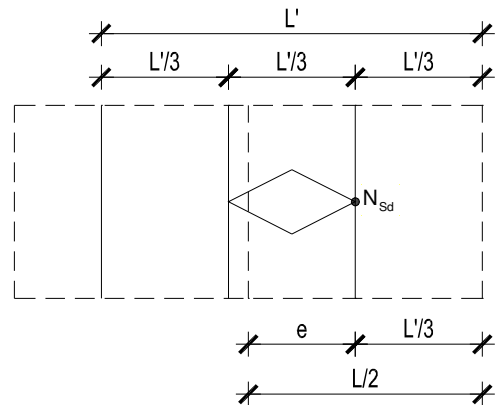
Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{sd} + G}{A} \pm \frac{M_{sd}}{W} = \frac{85,54 + 100,0}{4,0} \pm \frac{95,03}{1,33} = 46,39 \pm 71,45$$

$$\sigma_1 = 117,84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_2 = -25,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

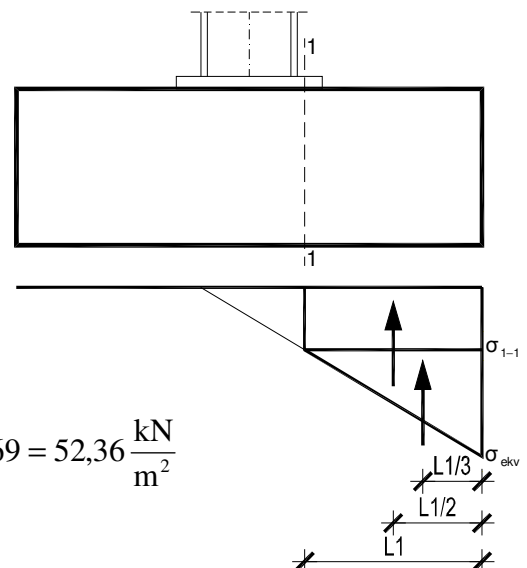
$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd} + G} = \frac{95,03}{85,54 + 100,0} = 0,5 \text{ m}$$



$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2,0}{2} - 0,5 \right) = 1,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (85,54 + 100,0)}{1,5 \cdot 2,0} = 123,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{ila,lim} = 300,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### PRORAČUN ARMATURE TEMELJA



$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,27}{2} = 0,865 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1,5 - 0,865}{1,5} \cdot 123,69 = 52,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$M_{Sd}^{1-1} = \gamma \cdot \left( \sigma_{1-1} \cdot \frac{L_1^2}{2} \cdot B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} \cdot L_1 \cdot B \cdot \frac{2}{3} \cdot L_1 \right)$$

$$M_{Sd}^{1-1} = 1,4 \cdot \left( 52,36 \cdot \frac{0,865^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{123,69 - 52,36}{2} \cdot 0,865 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,865 \right) = 104,66 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ m} = 80 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{10466}{80 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 3,01 \text{ cm}^2 < A_{S1, \min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 20,0 \text{ cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura →  $\emptyset 12/10$  19 kom = 21,48 cm<sup>2</sup>  
razdjelna armatura →  $\emptyset 8/25$

## 8. LITERATURA

- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne 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 Hochbau.
- [5] Prof.dr.sc. Ivica Boko: Predavanja
- [6] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu



## 9.NACRTI

## 9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA

## 9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR

### 9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

## 9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA

## 9.5 DETALJ „DE1“ SPOJA STUP-TEMELJ

## 9.6 DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA

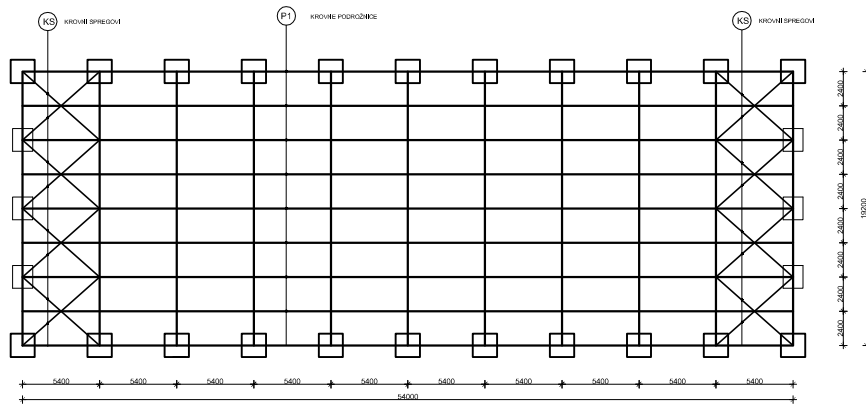
## 9.7 DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



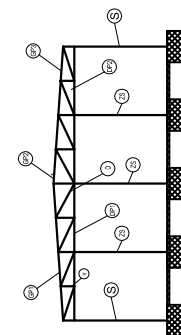
## 10. ISKAZ MATERIJALA

9.1 GENERALNI  
PLAN POZICIJA  
M 1:150

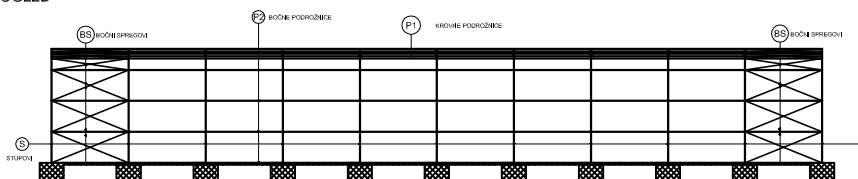
TLOCRTNI POGLED



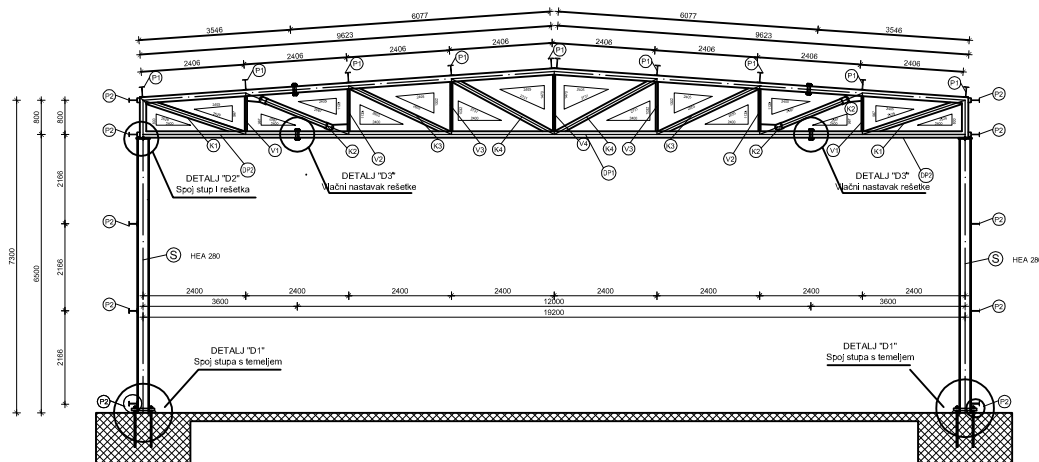
BOČNI POGLED



UZDUŽNI POGLED



- S - STUP HEA 280
- P1 - KROVNA PODROŽNICA IPE 200
- P2 - BOČNA PODROŽNICA IPE 180
- KS - KROVNI SPREGOVI RD 14
- BS - BOČNI SPREGOVI RD 16
- GP1 - GORNJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
- GP2 - GORNJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
- GP3 - GORNJA POJASNICA 3 CFRHS 150/150/6
- DP1 - DONJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
- DP2 - DONJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
- ZS - ZABATNI STUP HEA 200
- D - DIJAGONALA CFRHS 120/50/5
- V - VERTIKALA CFRHS 50/50/4



9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR  
M 1:50

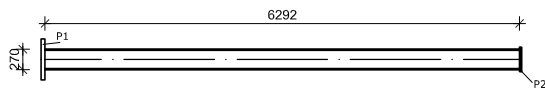
- S - STUP HEA 280
- P1 - KROVNA PODROŽNICA IPE 200
- P2 - BOČNA PODROŽNICA IPE 180
- GP1 - GORNJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
- GP2 - GORNJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
- GP3 - GORNJA POJASNICA 3 CFRHS 150/150/6
- DP1 - DONJA POJASNICA 1 CFRHS 150/150/6
- DP2 - DONJA POJASNICA 2 CFRHS 150/150/6
- K - DIJAGONALA CFRHS 120/50/5
- V - VERTIKALA CFRHS 50/50/4

Napomena:  
Materijal konstrukcije za sve elemente  
je S235.

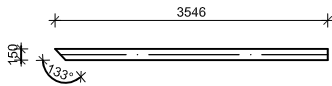
Osnove metalnih konstrukcija			
PROJEKT	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	PROJEKTOVANJE	1:50
PROJEKTOVANJE	Mirza Redžić	PROJEKTOVANJE	2
PROJEKTOVANJE	Presjek kroz glavni okvir	PROJEKTOVANJE	2
PROJEKTOVANJE	10.01.2018.	PROJEKTOVANJE	2

### 9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

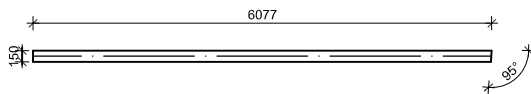
STUP (S) HEA 280, l=629,2 mm, 22 kom



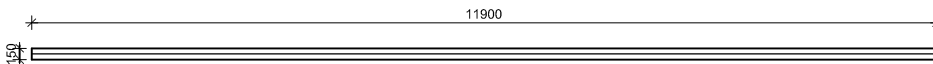
GORNJA POJASNICA (GP1) 150/150/6, l=3546 mm, 22 kom



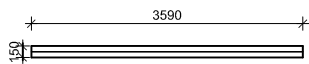
GORNJA POJASNICA (GP1) 150/150/6, l=6077 mm, 22 kom



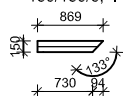
DONJA POJASNICA (DP1) 150/150/6, l=11900 mm, 11 kom



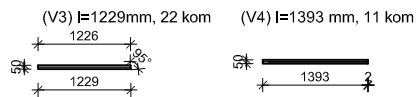
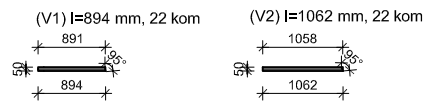
DONJA POJASNICA (DP2) 150/150/6, l=3590 mm, 22 kom




BOČNA POJASNICA (BP)  
150/150/6, l=869 mm, 22 kom



ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE CFRHS 50/50/4

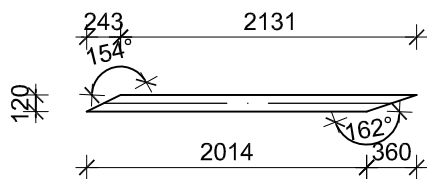


 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Osnove metalnih konstrukcija					
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE				
	STUDENTI	Marilja Relota				
	SADRŽAJ	Radionički nacrt, glavni nosač				
DATUM	lipanj 2019.	<table border="1"> <tr> <td>MJERILO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BROJ PRILOGA</td> <td>3</td> </tr> </table>	MJERILO		BROJ PRILOGA	3
MJERILO						
BROJ PRILOGA	3					

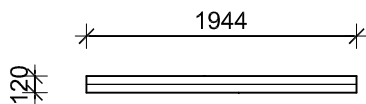
# 9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, CFRHS 120/50/5

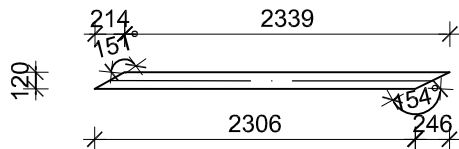
(K1)  $l=2374$  mm, 22 kom



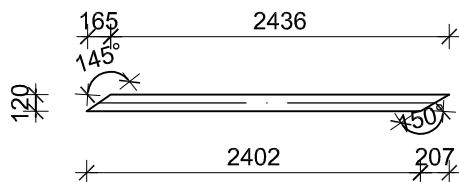
(K2)  $l=1944$  mm, 22 kom



(K3)  $l=2553$  mm, 22 kom



(K4)  $l=2609$  mm, 22 kom



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA  
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI  
Marija Relota

SADRŽAJ  
Radionički nacrt, glavni nosač

MJERILO  
1:50

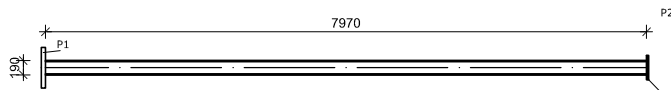
BROJ PRILOGA

4

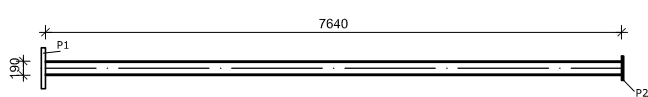
DATUM

## 9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50

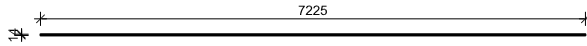
ZABATNI STUP (ZS) HEA 200, l=7970 mm, 2 kom



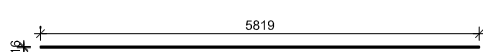
ZABATNI STUP (ZS) HEA 200, l=7640 mm, 4 kom



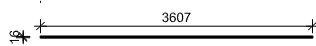
KROVNI SPREG (KS) RD14, l=7225 mm, 16 kom



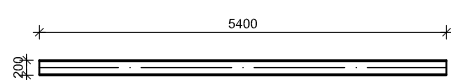
BOČNI SPREG (BS) RD16, l=5819 mm, 12 kom



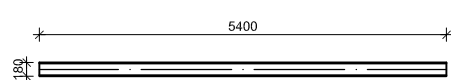
BOČNI SPREG (BS) RD16, l=3607 mm, 4 kom




KROVNA PODROŽNICA (P1) IPE 200, l=5400 mm, 100 kom

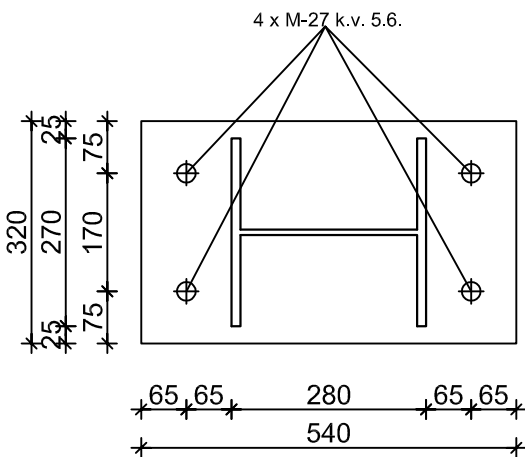
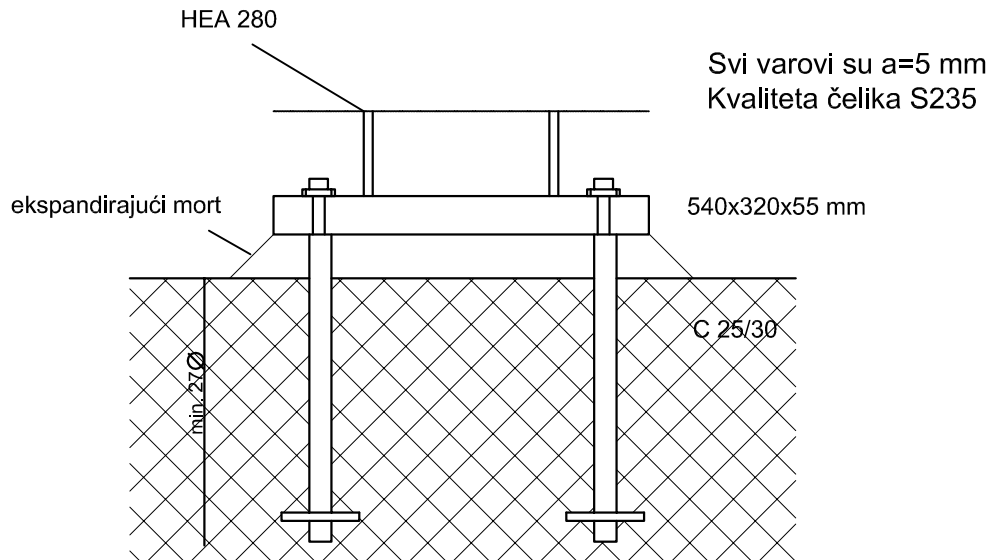


BOČNA PODROŽNICA (P2) IPE 180, l=5400 mm, 100 kom

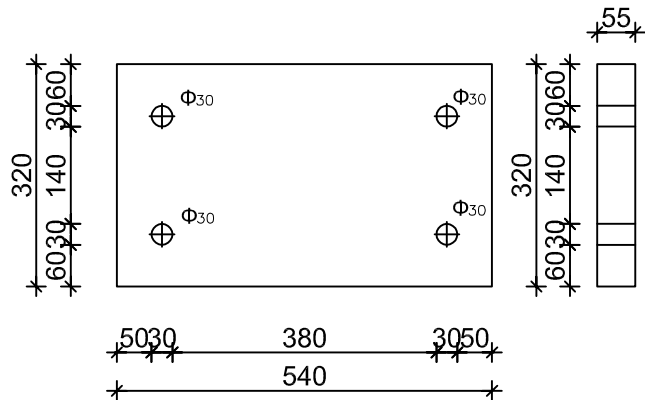



 <small>SVEUČILIŠTE U SPLITU          GRADEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET          21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</small>	<b>Osnove metalnih konstrukcija</b>	
	TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI Marlja Relota	
	SADRŽAJ Radionički nacrt, sekundarni nosač	IMJERILO
	DATUM lipanj 2019.	BROJ PRILOGA
		<b>5</b>

# 9.5 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ M 1:10

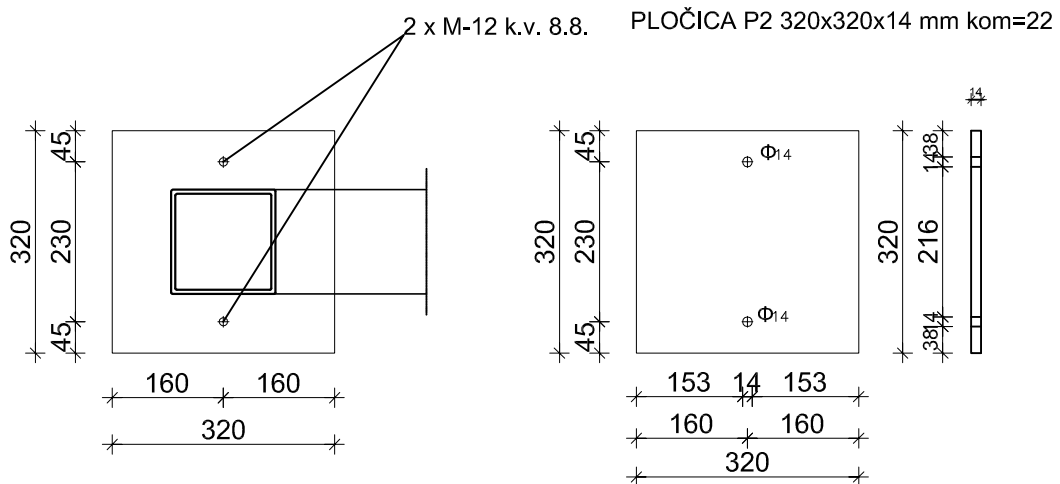
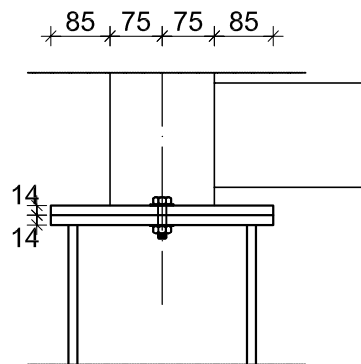


PLOČICA P1 540x320x55 mm kom=22



 SVEUČILIŠTE U SPLITU GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	<b>Osnove metalnih konstrukcija</b>	
	TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI Marija Relota	
	SADRŽAJ Detalj spoja stup-temelj	MJERILO 1:10
	DATUM lipanj 2019.	BROJ PRILOGA 6

# 9.6 ZGLOBNA VEZA STUP-REŠETKA M 1:10



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

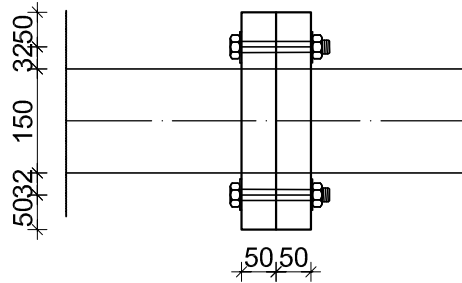
## Osnove metalnih konstrukcija

TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUDENTI	Marija Relota	
SADRŽAJ	Spoj stup-rešetka	MJERILO 1:10
DATUM	lipanj 2019.	BROJ PRILOGA 7



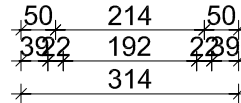
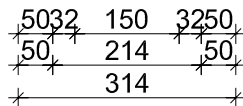
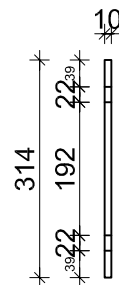
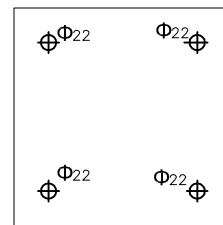
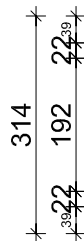
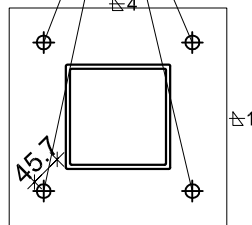
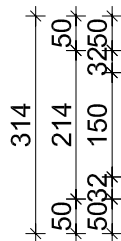
# 9.7 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

## M 1:10




4 x M-20 k.v. 8.8

PLOČICA P3 314x314x10 mm kom=88



TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 280	6500	22	76,38	10922,34
Donji pojas (DP1)	150x150x6	3600	22	26,4	2090,88
Donji pojas (DP2)	150x150x6	12000	11	26,4	3484,8
Gornji pojas (GP1)	150x150x6	3546	22	26,4	2059,52
Gornji pojas (GP2)	150x150x6	6077	22	26,4	3529,52
Vertikala (V1)	50x50x4	967	22	5,46	116,16
Vertikala (V2)	50x50x4	1135	22	5,46	136,34
Vertikala (V3)	50x50x4	1303	22	5,46	156,52
Vertikala (V4)	50x50x4	1470	11	5,46	88,29
Dijagonala (D1)	120x50x5	2131	22	12,06	565,40
Dijagonala (D2)	120x50x5	1944	22	12,06	515,78
Dijagonala (D3)	120x50x5	2553	22	12,06	677,36
Dijagonala (D4)	120x50x5	2609	22	12,06	692,22
Pločica (P1)	540x320x55	Proračun preko zapremnine	22	7850 (kg/m <sup>3</sup> )	1641,34
Pločica (P2)	320x320x14	Proračun preko zapremnine	22	7850 (kg/m <sup>3</sup> )	247,58
Pločica (P3)	314x314x10	Proračun preko zapremnine	88	7850 (kg/m <sup>3</sup> )	681,1
Krovna podrožnica (P1)	IPE200	5400	100	22,37	12079,8
Bočna podrožnica (P2)	IPE180	5400	100	18,76	10130,4
Kr. spreg (KS)	Ø14	7225	16	1,21	139,88
Boč. spreg (BS1)	Ø16	5816	24	1,58	220,54
Boč. spreg (BS2)	Ø16	5459	8	1,58	69,0
Zabatni stup(ZS1)	HEA200	7970	2	42,23	673,15
Zabatni stup(ZS2)	HEA200	7640	4	42,23	1290,54
Ukupno (kg) +2,0% spojna sredstva					52208,46 1044,17
UKUPNO (kg)					53252,63
UKUPNO (kg/m <sup>2</sup> )					51,36

 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>	Osнове metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Marija Relota, 4475
	SADRŽAJ	Predmjer materijala
	DATUM	rujan 2019.
		MJERILO BROJ PRILOGA <b>9</b>



**OBRAZAC:**

Obrazac osnovnih podataka završnog rada preddiplomskog sveučilišnog studija Građevinarstva i stručnog studija Građevinarstva za pohranu u Repozitoriju Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije (Dabar)

1.	<b>STUDIJ:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo
2.	<b>KANDIDAT/KINJA:</b>	Relota Marija
3.	<b>BROJ INDEKSA:</b>	4475
4.	<b>KATEDRA:</b>	Katedra za metalne i drvene konstrukcije
5.	<b>PREDMET:</b>	Osnove metalnih konstrukcija
6.	<b>DATUM OBRANE:</b>	19.09.2019.
7.	<b>MENTOR:</b>	prof.dr.sc. Ivica Boko
8.	<b>NASLOV ZAVRŠNOG RADA:</b>	Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale
9.	<b>SAŽETAK (minimalno 150 znakova):</b>	Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Rijeke. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i promjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila su dobiveni u računalnom programu „Scia Engineer 19.0“.
10.	<b>KLJUČNE RIJEČI:</b>	Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, podrožnice, rešetka, stup, dimenzioniranje, spojevi.
11.	<b>NASLOV ZAVRŠNOG RADA (na engleskom jeziku):</b>	Design of a steel manufacturing hall
12.	<b>SAŽETAK (na engleskom jeziku):</b>	Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Rijeka. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „SCIA Engineer 19.0“.
13.	<b>KLJUČNE RIJEČI (na engleskom jeziku):</b>	Steel, hall, load-bearing structure, bracings, purlins, grating, column, design, joints.



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

UNIVERSITY OF SPLIT  
**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY**

Napomena:

Ovaj obrazac se ispunjava računalno, a zatim se u istom formatu (MS Word dokument) pohranjuje na CD-u/DVD-u uz završni rad.