

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

Vukadin, Ana

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:123:450490>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Vukadin Ana**

**Split, 2019**

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

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

**Završni rad**

**Split, 2019.**

## **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 Splita. 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“.

### ***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 Split. 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

### ***Keywords:***

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

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

|               |                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------|
| STUDIJ:       | <b>PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA</b> |
| KANDIDAT:     | Vukadin Ana                                            |
| BROJ INDEKSA: | 4458                                                   |
| KATEDRA:      | Katedra za metalne i drvene konstrukcije               |
| PREDMET:      | Osnove metalnih konstrukcija                           |

### **ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 355

Objekt se nalazi na području Splita.

Razmak okvira: 5.8 (m)

U Splitu, 19.09.2019.

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

## SADRŽAJ:

|                                                                                               |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>                                                                 | <b>1</b>      |
| 1.1. OPIS KONSTRUKCIJE.....                                                                   | 1             |
| 1.1.1. Općenito .....                                                                         | 1             |
| 1.1.2. Konstruktivni elementi .....                                                           | 2             |
| 1.1.3. Spojevi.....                                                                           | 3             |
| 1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE.....                                                            | 3             |
| 1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....                                                    | 4             |
| 1.4. PRIMIJENJENI PROPISI .....                                                               | 4             |
| 1.5. ANTIKOROZIIVNA ZAŠTITA .....                                                             | 4             |
| 1.6. ZAŠTITA OD POŽARA.....                                                                   | 4             |
| 1.7. MONTAŽA I TRANSPORT.....                                                                 | 5             |
| <br><b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>                                                       | <br><b>6</b>  |
| 2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR).....                                                  | 6             |
| 2.1.1. Stalno opterećenje.....                                                                | 6             |
| 2.1.1.1. Krovna ploha .....                                                                   | 6             |
| 2.1.2. Pokretno opterećenje .....                                                             | 7             |
| 2.1.2.1. Djelovanje snijega .....                                                             | 7             |
| 2.1.2.2. Djelovanje vjetra .....                                                              | 9             |
| 2.1.2.2.1. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova $\Theta=0^\circ$ :..... | 11            |
| 2.1.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove.....                             | 14            |
| 2.1.2.2.3. Djelovanje vjetra na zabat hale.....                                               | 18            |
| <br><b>3. GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (GSU) .....</b>                                      | <br><b>20</b> |
| 3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB .....                                                         | 20            |
| 3.2. STUPOVI-HORIZONTALNI PROGIB .....                                                        | 21            |

---

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI .....</b>                | <b>22</b> |
| 4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA .....                    | 22        |
| 4.1.1. Maksimalne rezne sile u stupu.....                | 22        |
| 4.1.2. Maksimalne rezne sile u rešetki.....              | 24        |
| 4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA .....                       | 27        |
| 4.2.1. Zabatni stupovi .....                             | 27        |
| 4.2.2. Krovni (horizontalni) spregovi .....              | 29        |
| 4.2.3. Bočni (vertikalni) spregovi.....                  | 30        |
| 4.2.4. Krovne podrožnice .....                           | 31        |
| 4.2.5. Bočne podrožnice .....                            | 41        |
| <br>                                                     |           |
| <b>5. DIMENZIONIRANJE GLAVNE KONSTRUKCIJE .....</b>      | <b>43</b> |
| 5.1. Dimenzioniranje rešetke konstruktivnog sustava..... | 43        |
| 5.1.1. Gornji pojas (GP) .....                           | 43        |
| 5.1.2. Donji pojas (DP).....                             | 47        |
| 5.1.3. Ispuna-vertikalni štapovi (V).....                | 50        |
| 5.1.4. Ispuna-dijagonalni štapovi(D) .....               | 53        |
| 5.2. Dimenzioniranje stupova (S) .....                   | 55        |
| 5.3. Sekundarne konstrukcije.....                        | 62        |
| 5.3.1. Zabatni stupovi .....                             | 62        |
| 5.3.2. Krovni(horizontalni) spreg .....                  | 66        |
| 5.3.3. Bočni spreg .....                                 | 66        |
| 5.3.4. Krovna podrožnica .....                           | 67        |
| 5.3.5. Bočna podrožnica .....                            | 73        |
| <br>                                                     |           |
| <b>6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA .....</b>                  | <b>77</b> |
| 6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ .....      | 77        |
| 6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA.....             | 82        |
| 6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA DONJEG POJASA..... | 84        |
| <br>                                                     |           |
| <b>7. PRORAČUN TEMELJA .....</b>                         | <b>86</b> |

---

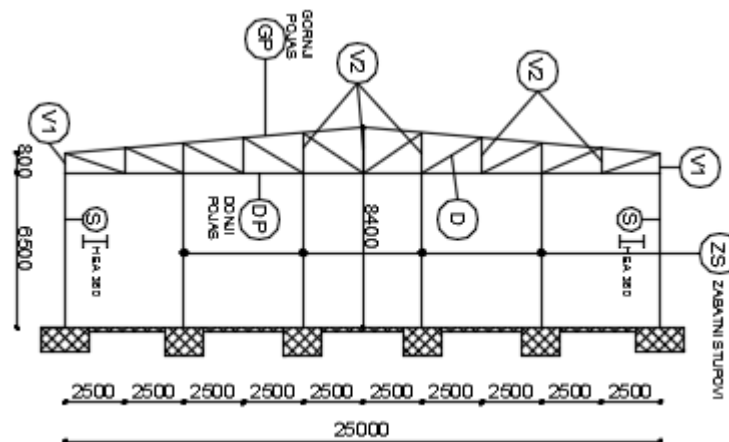
|                                                |               |
|------------------------------------------------|---------------|
| <b>8. LITERATURA .....</b>                     | <b>89</b>     |
| <br><b>9. NACRTI .....</b>                     | <br><b>90</b> |
| 9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA .....              | 90            |
| 9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR.....             | 91            |
| 9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA.....       | 92            |
| 9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA.....   | 93            |
| 9.5 DETALJ „DE1“ SPOJA STUP-TEMELJ .....       | 94            |
| 9.6 DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA.....        | 95            |
| 9.7 DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE ..... | 96            |
| <br><b>10. ISKAZ MATERIJALA .....</b>          | <br><b>97</b> |

## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

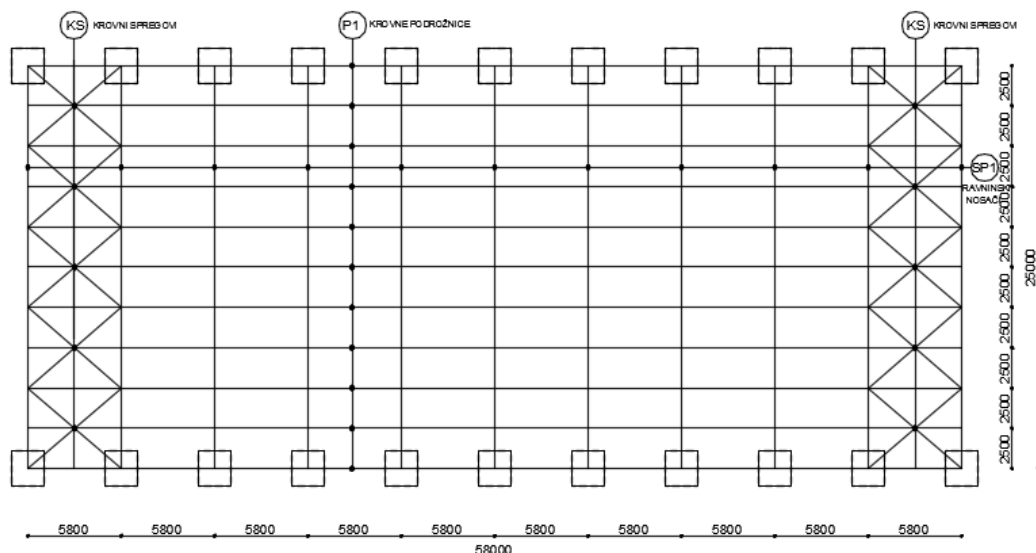
#### 1.1.1. Općenito

Predmetna građevina nalazi se na području grada Splita. Tlocrtna dimenzija je 25,0 x 58,0 (m), a visina iznosi 8,4 (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 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10 ravninskih rešetki raspona 25,0 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 5,8 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,51 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,17 (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.

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

### **1.1.2. Konstruktivni elementi**

#### **Stupovi**

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA360. Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 220.

#### **Glavna rešetka**

Glavna rešetka se sastoji od gornjeg i donjeg pojasa, a proračunom su odabrani profili pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS160x160x5 spojeni u čvorovima. Gornji pojas je napravljen od četiri dijela: dva unutarnja (ukupna dužina 12,048m) i dva vanjska (ukupna dužina 13,048m). Zbog potrebne ukupne dužine donjeg pojasa od 25m svaka greda se sastoji iz tri dijela: dva sa strane (dužine 6,5m) i u sredini (dužine 12m). Pojasevi rešetke povezani su profilima vertikalna pravokutno šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 40x40x5 i profilima dijagonala pravokutno šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 60x60x5. Za vertikalne na lijevoj i desnoj strani okvira su odabrani isti profili kao i kod donjeg i gornjeg pojasa. Elementi geometrije prikazani su na generalnom nacrtu.

#### **Podrožnice**

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače, a postavlja se okomito na nagib krovne plohe. Proračunom su odabrane krovne podrožnice valjanih I profila IPE240 i bočne podrožnice valjanih I profila IPE180. Duljina podrožnica 5,8 m.

#### **Spregovi**

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja. Kao dijagonale krovnog sprega su odabrani profili okruglog poprečnog presjeka RD12, a za dijagonale bočnog sprega su odabrani profili okruglog poprečnog presjeka RD16.

## Temelji

Proračunom su odabrani temelji dimenzija 2,0x2,0x1,0 (m).

### 1.1.3. Spojevi

#### Spoj stup-temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 620x340x45 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M27 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

#### Spoj stup-rešetka

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 340x340x14 (mm), ukutom i vijcima M12 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

#### Vlačni nastavak rešetke

Spojevi gornjeg i donjeg pojasa ostvaruju se čeonom pločom dimenzija 325x325x30 (mm), ukutom i vijcima M20 k.v. 10.9 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 25 (m) širine krovne plohe.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 19.0.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Gornji i donji pojas su izračunati kao kontinuirane grede na koje su zglobno vezane dijagonale i vertikale. Sekundarne konstrukcije modelirane su kao prosta greda širine 5,8 (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 S355.

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

### 1.4. PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

#### Analiza opterećenja

|             |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| HRN EN 1991 | vlastita težina građevine           |
| HRN EN 1992 | djelovanje snijega na konstrukciju  |
| HRN EN 1993 | djelovanje vjetrova 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 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  $\mu\text{m}$ .

### 1.6. 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 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 za suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s „Pravilnikom o zaštiti na radu“.

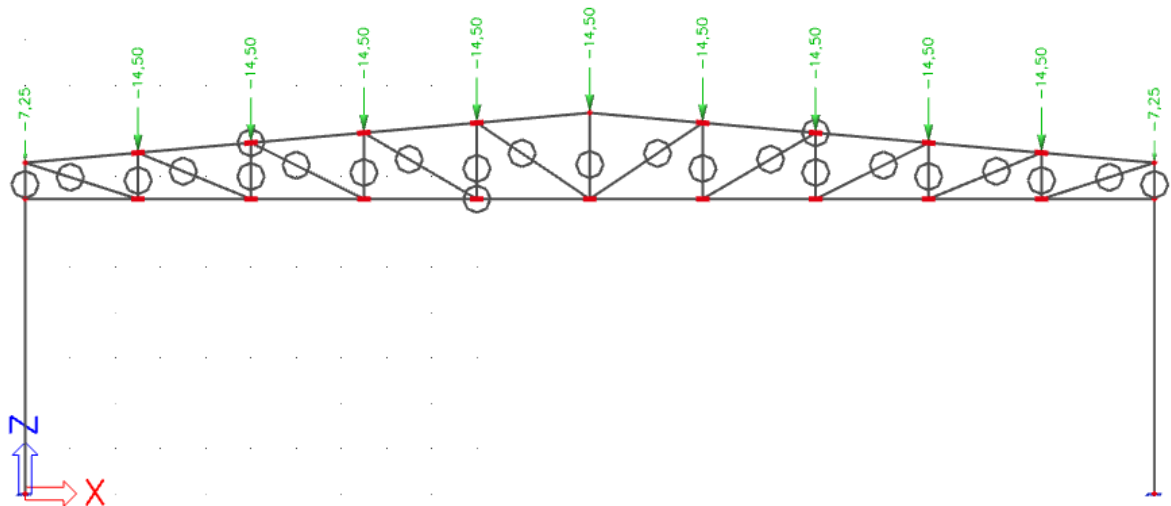
## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

#### 2.1.1. Stalno opterećenje

##### 2.1.1.1. Krovna ploha

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



Slika 2.1.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima rešetke

$$G_{kp} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,8 \text{ m} = 5,8 \text{ kN/m'}$$

Sile u čvorovima rešetke:

$$G_1 = G_{kp} \cdot 1,25 = 7,25 \text{ kN}$$

$$G_2 = G_{kp} \cdot 2,5 = 14,5 \text{ kN}$$

## 2.1.2. Pokretno opterećenje

### 2.1.2.1. Djelovanje snijega

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

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

$s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad \Leftrightarrow$  za Split, od 0-100 m nadmorske visine

Nagib krova :

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

$\alpha$  je nagib krova

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

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

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

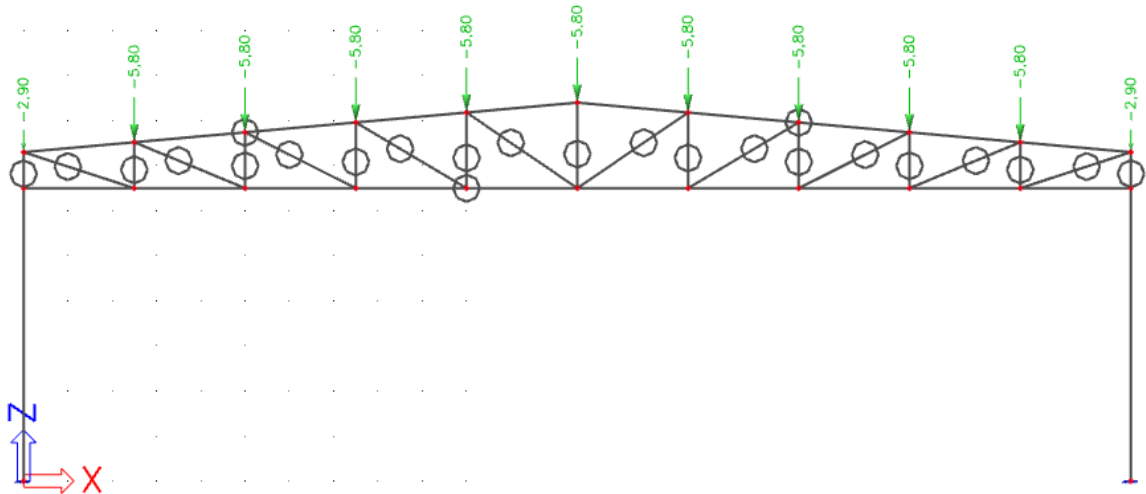
$c_t \Rightarrow$  toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s_1 = 0,5 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,40 [ \text{kN/m}^2 ]$$

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,80 \text{ m} = 2,32 \text{ kN/m'}$$



*Slika 2.1.2.1.1. Opterećenje snijegom u čvorovima nosača*

Sile u čvorovima rešetke:

$$S1 = S \cdot 1,25 = 2,9 \text{ kN}$$

$$S2 = S \cdot 2,5 = 5,8 \text{ kN}$$

### 2.1.2.2. Djelovanje vjetra

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

$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad [kN/m^2]$  - 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:

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

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

$v_b \Rightarrow$  osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0} \Rightarrow$  fundamentalna vrijednost brzine vjetra(očitano s karte  $v_{b,0} = 30 \text{ (m/s)}$ )

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

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

$$v_b = 30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 30 \quad (m/s)$$

$v_m(z) \Rightarrow$  srednja brzina vjetra

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (m/s)$$

$c_0(z) \Rightarrow$  faktor hrapavosti

$c_r(z) \Rightarrow$  faktor orografije(uzima se 1,0)

$k_r(z) \Rightarrow$  faktor terena

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

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(8,4/0,05) = 0,9736$$

$$v_m(z) = 0,9736 \cdot 1,0 \cdot 30 = 29,21 \text{ (m/s)}$$

$I_v(z) \Rightarrow$  intenzitet turbulencije

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

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(8,4/0,05)} = 0,195$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 0,5625 \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

$c_e(z) \Rightarrow$  faktor izloženosti

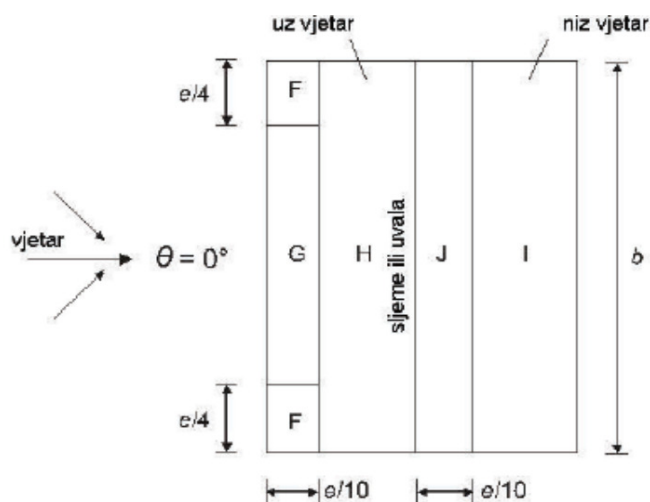
$$c_e(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) = 1 + 7 \cdot 0,195 = 2,365$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,195) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 29,21^2 = 1,261 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

### 2.1.2.2.1 Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova $\Theta=0^\circ$ :

$$e = \min(b; 2h) = \min(58; 16,8) = 16,8$$



Slika 2.1.2.2.1.1. Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove  $\Theta=0^\circ$

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba  $\alpha = 5,14^\circ$  za područja dvostrešnog krova  $\Theta=0$

Tablica 1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

| PODRUČJE    | F     | G     | H      | I      | J     |
|-------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| $c_{pe,10}$ | -1,69 | -1,19 | -0,596 | -0,597 | +0,19 |

| TaPODRUČJE  | F     | G     | H     | I     | J     |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$ | 0,003 | 0,003 | 0,003 | -0,59 | -0,59 |

### Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p = 1,261 \text{ kN/m}^2$$

Tablica 2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

| PODRUČJE                      | F     | G     | H      | I      | J     |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| $c_{pe,10}$                   | -1,69 | -1,19 | -0,596 | -0,597 | +0,19 |
| $w_{e1}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -2,13 | -1,5  | -0,75  | -0,75  | +0,24 |

Tablica 3. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcij

| PODRUČJE                      | F     | G     | H     | I     | J     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$                   | 0,003 | 0,003 | 0,003 | -0,59 | -0,59 |
| $w_{e2}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 0,004 | 0,004 | 0,004 | -0,74 | -0,74 |

### Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}, \quad L = 5,8 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

Tablica 4. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

| PODRUČJE                   | F      | G      | H     | I     | J      |
|----------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|
| $w_e$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -2,13  | -1,5   | -0,75 | -0,75 | -0,24  |
| $w_i$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 0,25   | 0,25   | 0,25  | 0,25  | 0,25   |
| $w_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -2,38  | -1,75  | -1,00 | -1,00 | -0,01  |
| $W_k$ (kN)                 | -19,14 | -10,15 | -5,8  | -5,8  | -0,058 |

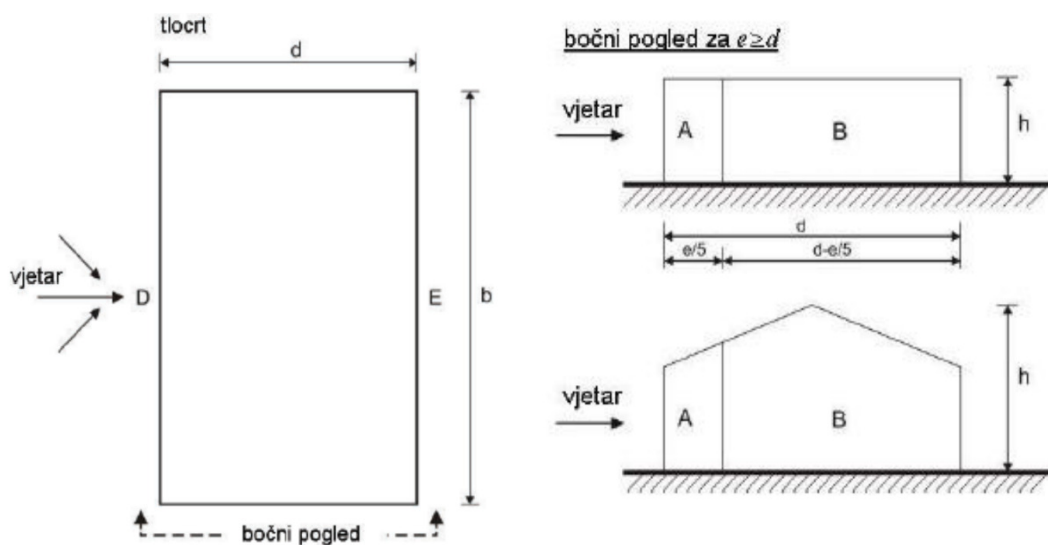
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}, \quad L = 5,8 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

Tablica 5. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativni pritisak

| PODRUČJE                      | F      | G      | H      | I     | J     |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| $w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | 0,004  | 0,004  | 0,004  | -0,74 | -0,74 |
| $w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | -0,38  | -0,38  | -0,38  | -0,38 | -0,38 |
| $w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | +0,384 | +0,384 | +0,384 | -0,36 | -0,36 |
| $W_k \text{ (kN)}$            | 2,23   | 2,23   | 2,23   | -2,09 | -2,09 |

## 2.1.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove



Slika 2.1.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove  $h/L=0,336$

Tablica 5. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

| PODRUČJE    | A    | B    | C    | D     | E     |
|-------------|------|------|------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$ | -1,2 | -0,8 | -0,5 | +0,71 | -0,32 |

## 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:

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

### Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p = 0,341 \text{ kN/m}^2$  -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

Tablica 6. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

| PODRUČJE              | A     | B     | C     | D     | E     |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$           | -1,2  | -0,8  | -0,5  | +0,71 | -0,32 |
| $w_e (\text{kN/m}^2)$ | -1,51 | -1,01 | -0,63 | +0,90 | -0,40 |

### Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

$$q_p = 1,261 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 1,261 \cdot 0,2 = +0,2522 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 1,261 \cdot -0,3 = -0,3783 \text{ kN/m}^2$$

### Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

Tablica 7. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

| PODRUČJE              | A      | B     | C     | D     | E     |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $w_e (\text{kN/m}^2)$ | -1,51  | -1,01 | -0,63 | +0,9  | -0,40 |
| $w_i (\text{kN/m}^2)$ | +0,25  | +0,25 | +0,25 | +0,25 | +0,25 |
| $w_k (\text{kN/m}^2)$ | -1,76  | -1,26 | -0,88 | +0,65 | -0,15 |
| $W_k (\text{kN})$     | -10,21 | -7,31 | -5,10 | +3,77 | -0,87 |

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

Tablica 9. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

| PODRUČJE                   | A     | B     | C     | D     | E     |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $w_e$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -1,51 | -1,01 | -0,63 | +0,9  | -0,40 |
| $w_i$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -0,38 | -0,38 | -0,38 | -0,38 | -0,38 |
| $w_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -1,13 | -0,63 | -0,25 | +1,28 | -0,02 |
| $W_k$ (kN)                 | -6,55 | -3,65 | -1,45 | +7,42 | -0,12 |

W1

$W_1 = 17,32$  (kN)      F zona       $W_{6k} = 4,09$  (kN)      D zona

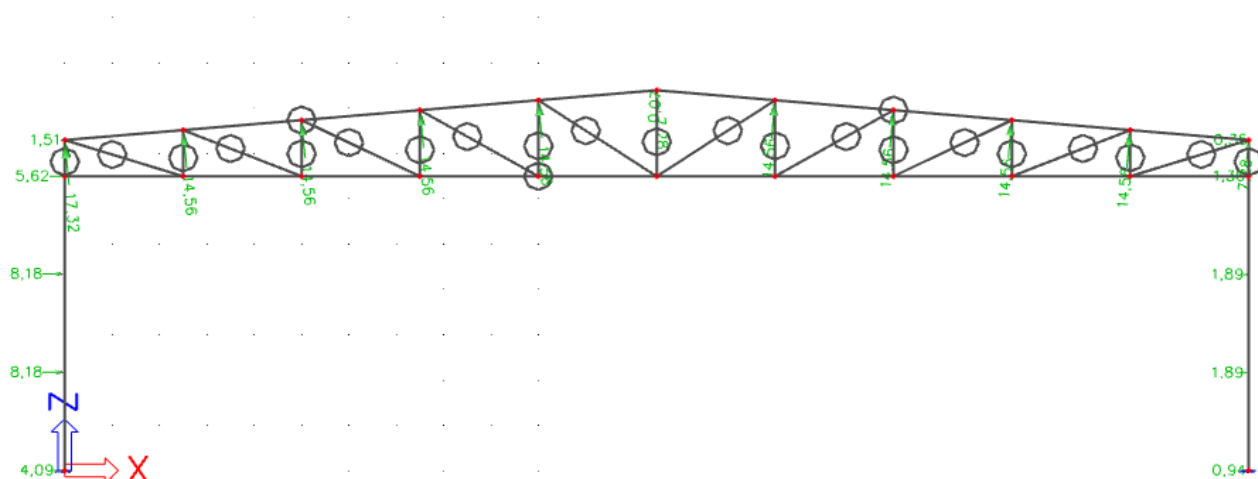
$W_2 = 14,56$  (kN)      H zona       $W_{6s} = 8,18$  (kN)      D zona

$W_{2k} = 7,28$  (kN)      H zona       $W_{7k} = 0,94$  (kN)      E zona

$W_4 = 14,56$  (kN)      I zona       $W_{7s} = 1,89$  (kN)      E zona

$W_{4k} = 7,28$  (kN)      I zona

$W_5 = 0,07$  (kN)      J zona



Slika 2.1.2.2.2. Prikaz djelovanja vjetra W1

## W2

$W_1 = 5,59 \text{ (kN)}$  *F zona*  $W_{6k} = 8,05 \text{ (kN)}$  *D zona*

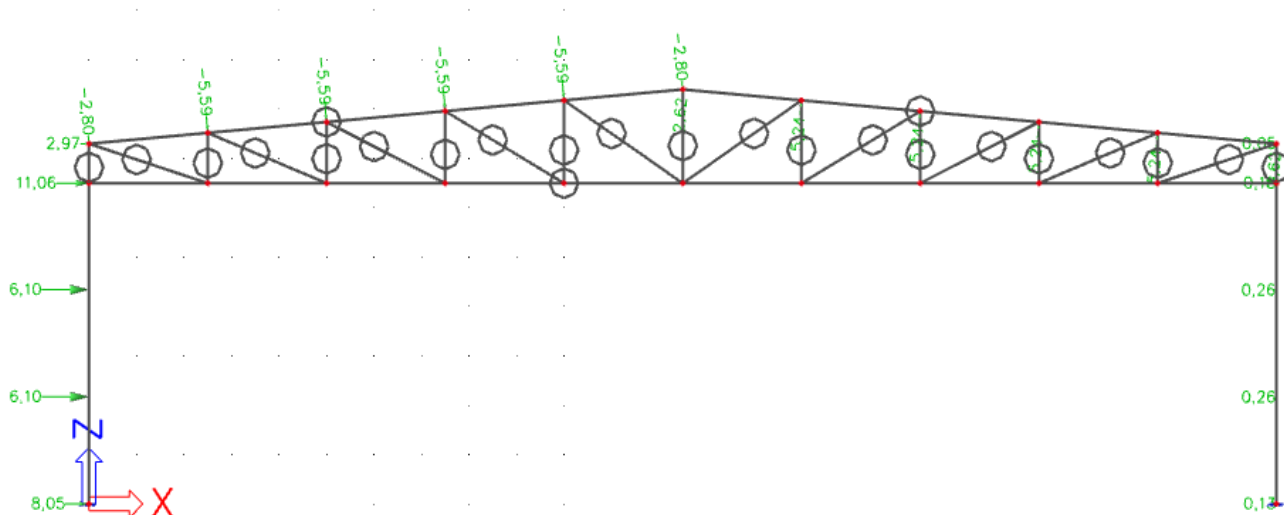
$W_2 = 5,59 \text{ (kN)}$  *H zona*  $W_{6s} = 16,10 \text{ (kN)}$  *D zona*

$W_{2k} = 2,8 \text{ (kN)}$  *H zona*  $W_{7k} = 0,13 \text{ (kN)}$  *E zona*

$W_4 = 5,24 \text{ (kN)}$  *I zona*  $W_{7s} = 0,26 \text{ (kN)}$  *E zona*

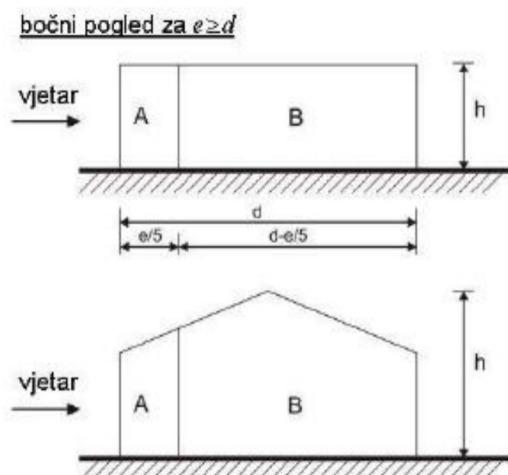
$W_{4k} = 2,62 \text{ (kN)}$  *I zona*

$W_5 = 5,24 \text{ (kN)}$  *J zona*



Slika 2.1.2.2.2.3. Prikaz djelovanja vjetra W2

### 2.1.2.2.3. Djelovanje vjetra na zabat hale



Slika 2.1.2.2.3.1. Područje pritiska vjetra na zabat

Koeficijent vanjskog pritiska na halu se dobije linearnom interpolacijom koeficijenta zadanih u tablici za vrijednost  $h/d=0,336$

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

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

| PODRUČJE                   | A     | B     | C     |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| $w_e$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -1,51 | -1,01 | -0,63 |
| $w_i$ (kN/m <sup>2</sup> ) | +0,25 | +0,25 | +0,25 |
| $w_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) | -1,76 | -1,26 | -0,88 |

$$Q1 = 2,5 \cdot A = 4,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q2 = (2,5 - 1,64) \cdot A + 1,64 \cdot B + 2,5 \cdot B = 6,73 \text{ kN/m}^2$$

$$Q3 = 2,5 \cdot B + 2,5 \cdot B = 6,3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q4 \text{ kN/m}^2 = 2,5 \cdot B + 1,8 \cdot B + 0,8 \cdot C = 6,12 \text{ kN/m}^2$$

$$Q5 = 2,5 \cdot C + 2,5 \cdot C = 4,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q6 = 2,5 \cdot C = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

Sile Q1-Q6 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. GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (GSU)

Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini koji ne smije prekoračiti vrijednost od  $L/250$  (  $L$  - duljina donjeg pojasa rešetke) i horizontalni pomak na vrhu stupa koji ne smije prekoračiti vrijednost  $H/250$  ( $H$ - visina stupa). Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU iznose 1.

#### 3.1.KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

##### 1D deformations

Values:  $u_z$

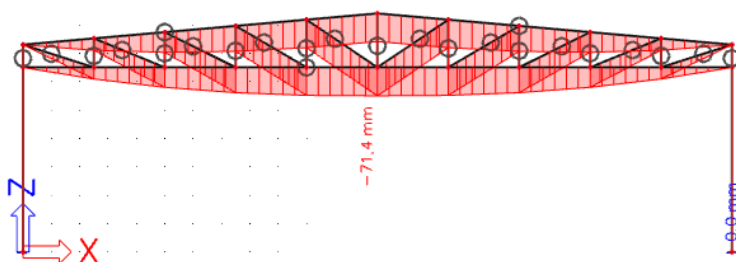
Linear calculation

Combination: TEZINA+SNDEG GSU

Coordinate system: Global

Extreme 1D: Global

Selection: All



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

Najveći progib  $\Delta_{\max}=71,4$  mm manji je od dopuštenog:

$$L/250=25000/250= 100 \text{ mm}$$

**Iskoristivost 71,4 %.**

Za pojas odabran: **CFRHS 160 x 160 x 5**

Za ispune odabran: vertikalne - **CFRHS 40 x 40 x 4**, dijagonale - **CFRHS 60 x 60 x 5**

### 3.2. STUPOVI-HORIZONTALNI PROGIB

#### 1D deformations

Values:  $u_x$

Linear calculation

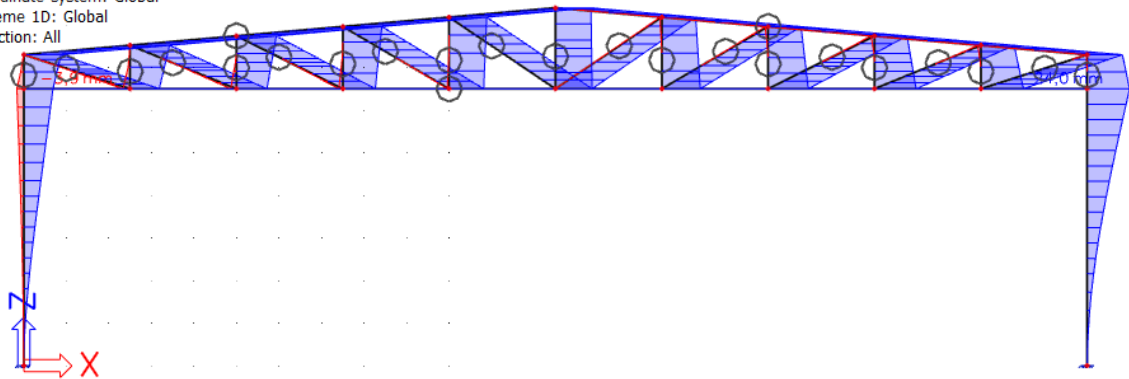
Combination: TEZINA+VJETAR W2

GSU

Coordinate system: Global

Extreme 1D: Global

Selection: All



#### 3.2.1. Horizontalni pomak vrha stupa

Najveći progib  $\Delta_{\max}=23,9$  mm manji je od dopuštenog:

$$H/200=6500/250= 26 \text{ mm}$$

**Iskoristivost 92%.**

Za stup odabran: **HEA 360**

***Granično stanje uporabljivosti je zadovoljeno !***

## 4. GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

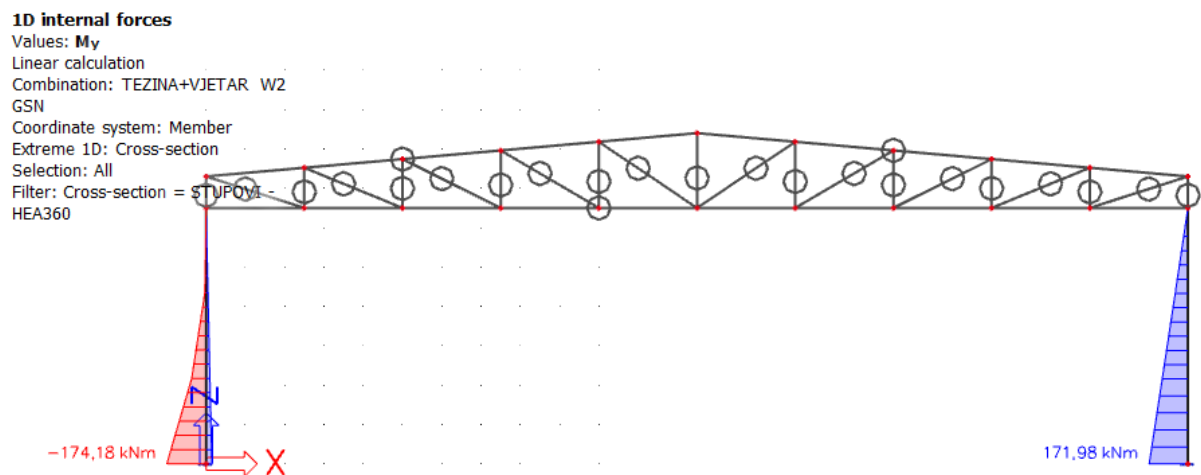
### 4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila dobiveni su za istoimene profile koji su korišteni pri računanju progiba. Profili su usvojeni sa iskoristivosti od 92%.

#### 4.1.1. Maksimalne rezne sile u stupu

Mjerodavna kritična kombinacija = kombinacija 3

(1·vlastita težina + 1·dodatno stalno opterećenje + 1,5·vjetar w2)



Slika 4.1.1.1 Maksimalni moment u stupu

#### 1D internal forces

Values:  $V_z$

Linear calculation

Combination: TEZINA+VJETAR W2

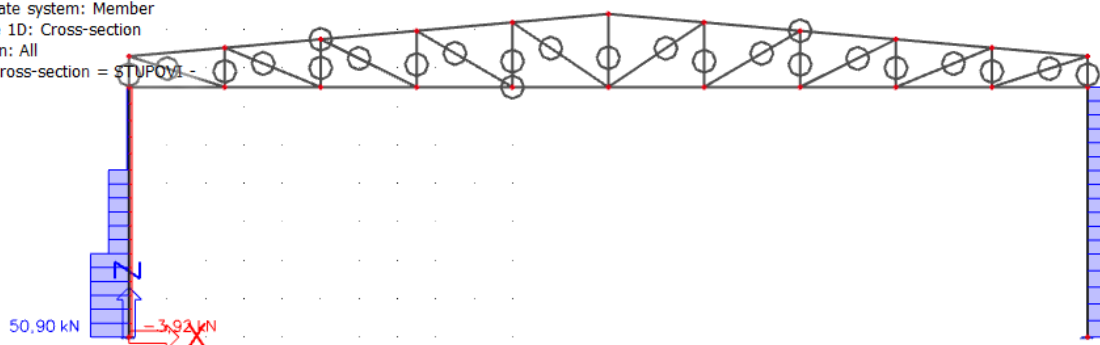
GSN

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

Selection: All

Filter: Cross-section = STUPOVI -  
HEA360



Slika 4.1.1.2 Maksimalna poprečna sila u stupu

#### 1D internal forces

Values:  $N$

Linear calculation

Combination: TEZINA+VJETAR W2

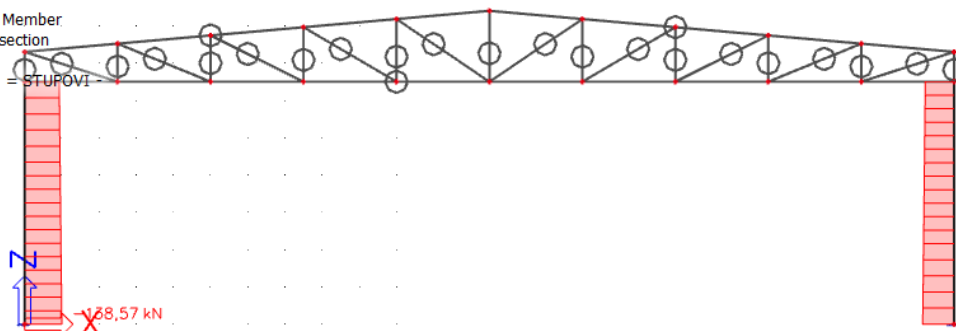
GSN

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

Selection: All

Filter: Cross-section = STUPOVI -  
HEA360



Slika 4.1.1.3. Maksimalna uzdužna sila u stupu

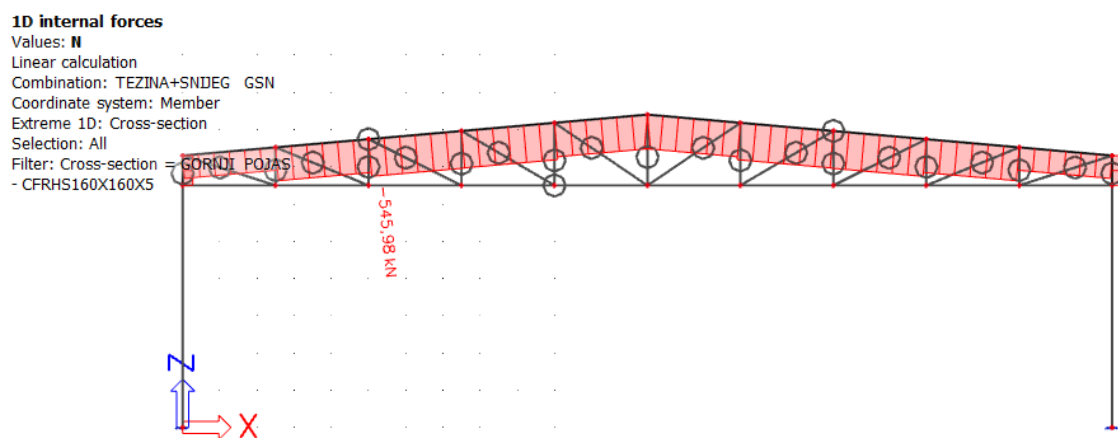
$$M_{Ed} = -174,18 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 50,09 \text{ kN}$$

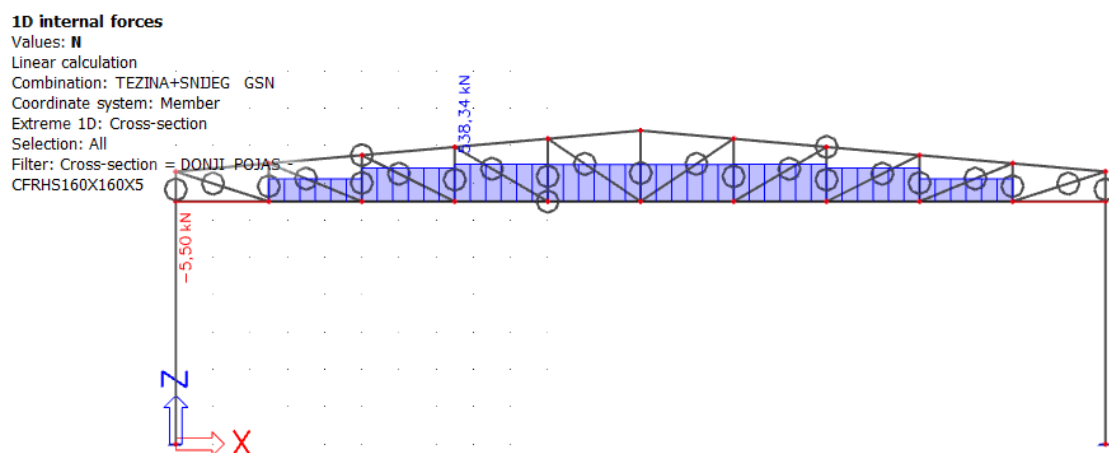
$$N_{Ed} = -138,57 \text{ kN (tlak)}$$

#### 4.1.2. Maksimalne rezne sile u rešetki

Maksimalna uzdužna sila u donjem i gornjem pojasu rešetke, dijagonala i vertikal  
= kombinacija 1  $= (1,35 \cdot \text{vlastita težina} + 1,35 \cdot \text{dodatno stalno opterećenje} + 1,5 \cdot \text{snijeg})$ :



Slika 4.1.2.1. Maksimalna uzdužna sila u gornjem pojasu rešetke



Slika 4.1.3.2. Maksimalna uzdužna sila u donjem pojasu rešetke

#### 1D internal forces

Values: **N**

Linear calculation

Combination: TEZINA+VJETAR W1

GSN

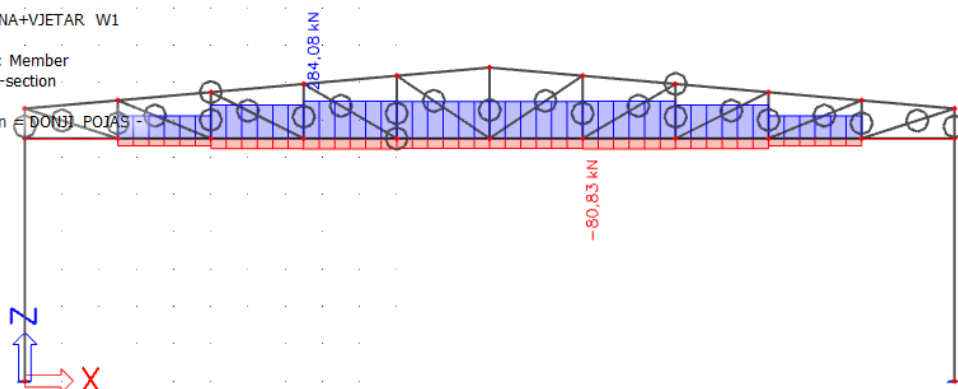
Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

Selection: All

Filter: Cross-section

CFRHS160X160X5



Slika 4.1.3.3. Maksimalna tlačna uzdužna sila u donjem pojasu rešetke

$$N_{Ed-donji\ pojas} = 538,34 \text{ (vlak)}$$

$$N_{Ed-gornji\ pojas} = - 545,98 \text{ kN (tlak)}$$

$$N_{Ed-donji\ pojas} = -80,83 \text{ (tlak)}$$

#### 1D internal forces

Values: **N**

Linear calculation

Combination: TEZINA+VJETAR W1

GSN

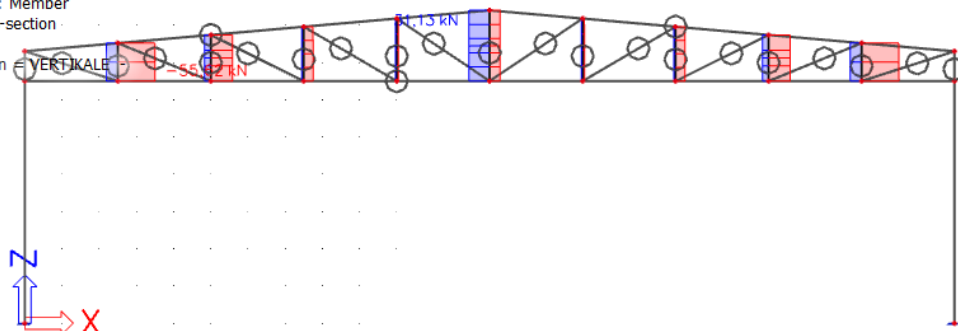
Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

Selection: All

Filter: Cross-section

CFRHS40X40X4



Slika 4.1.3.4. Maksimalna tlačna uzdužna sila u vertikalama rešetke

$$N_{Ed} = -105,80 \text{ (tlak)}$$

**1D internal forces**

Values: **N**

Linear calculation

Combination: TEZINA+VJETAR -W1

GSN

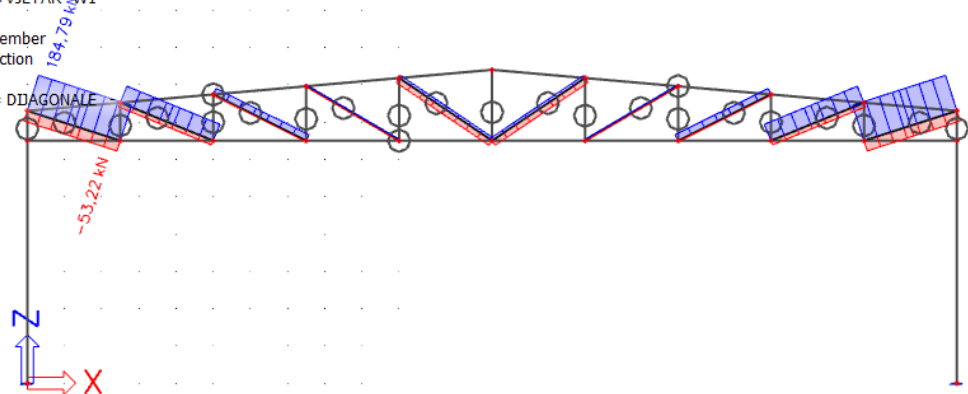
Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

Selection: All

Filter: Cross-section = DIAGONALE

CFRHS60X60X5



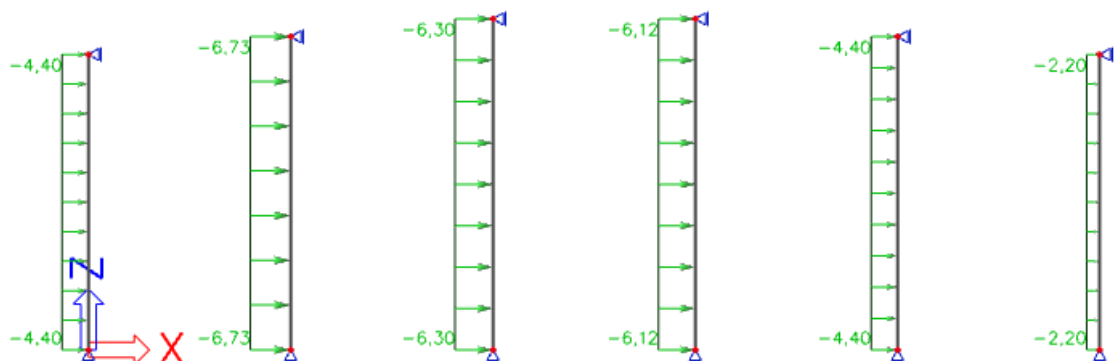
Slika 4.1.3.5. Maksimalna tlačna uzdužna sila u dijagonalama rešetke

$$N_{Ed} = 350,22 \text{ (vlak)}$$

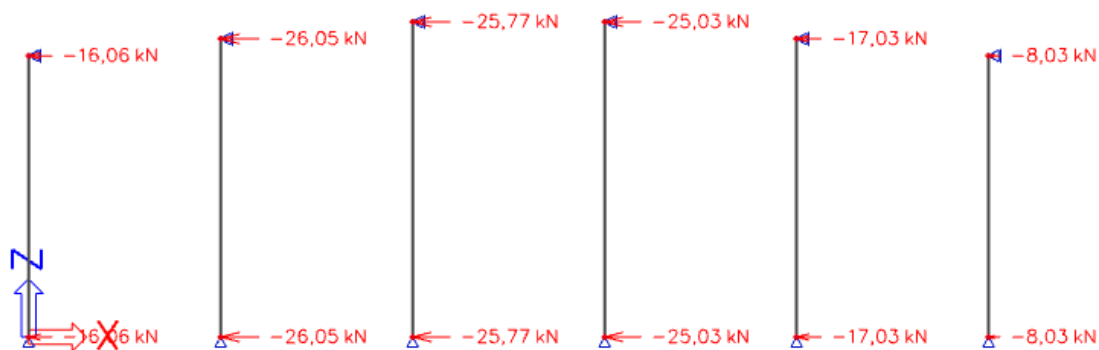
## 4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 4.2.1. Zabatni stupovi

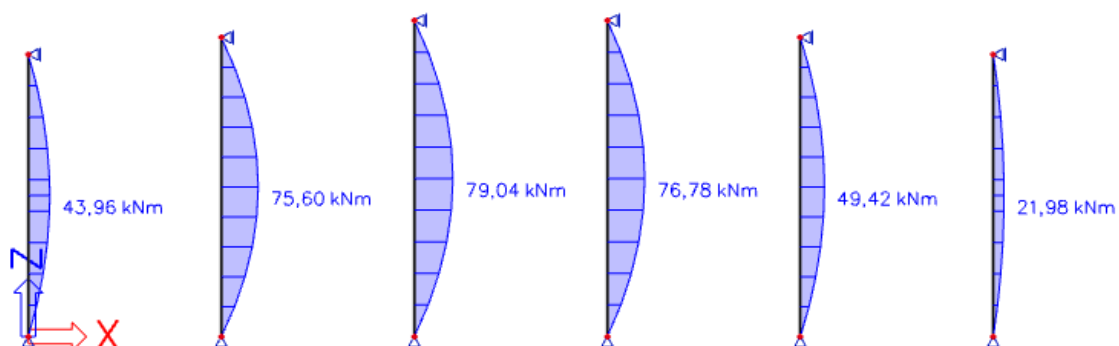
Kao mjerodavno djelovanje uzima se pritisak vjetra „W1“ na zabat čelične hale.



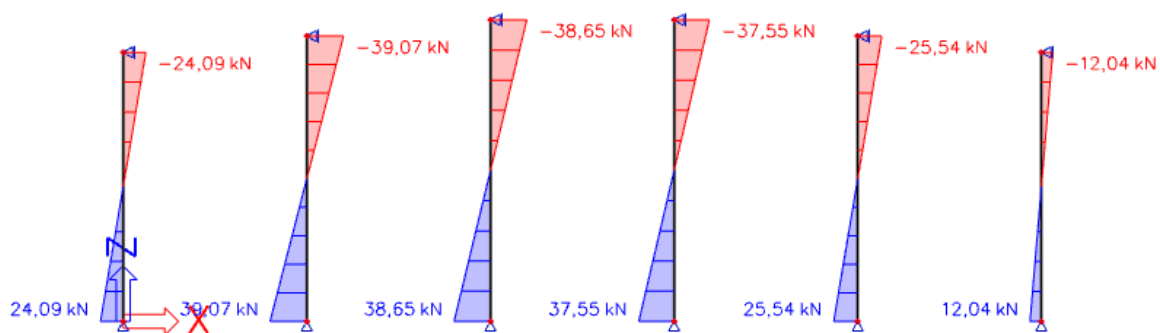
4.2.1.1. Model zabatnih stupova



4.2.1.2. Reakcije za djelovanje vjetra W1



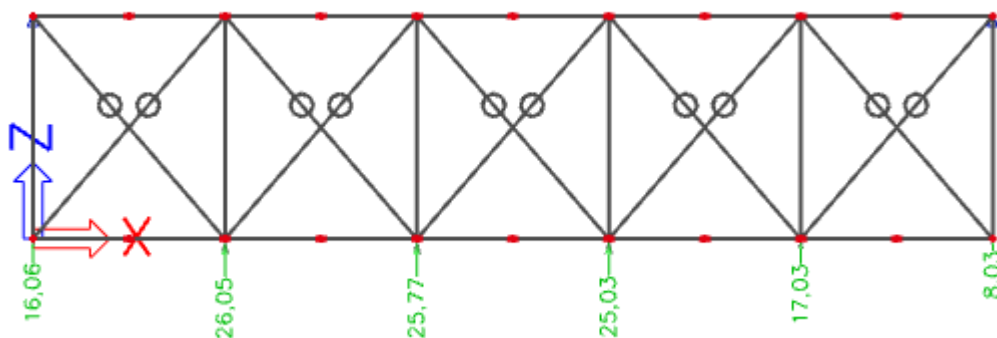
4.2.1.3. Momentni dijagram za djelovanje vjetra W1



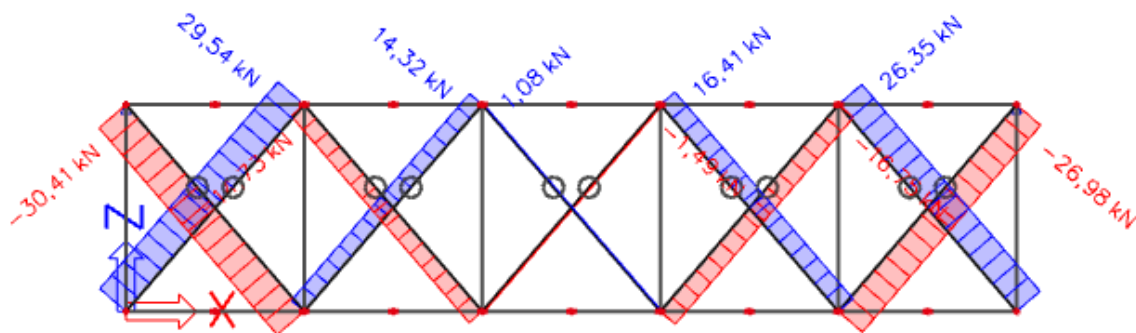
4.2.1.4. Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra W1

#### 4.2.2. Krovni (horizontalni) spregovi

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



4.2.2.1. Model krovnog sprega



4.2.2.2. Dijagram uzdužnih sila horizontalnog sprega



#### 4.2.4. Krovne podrožnice

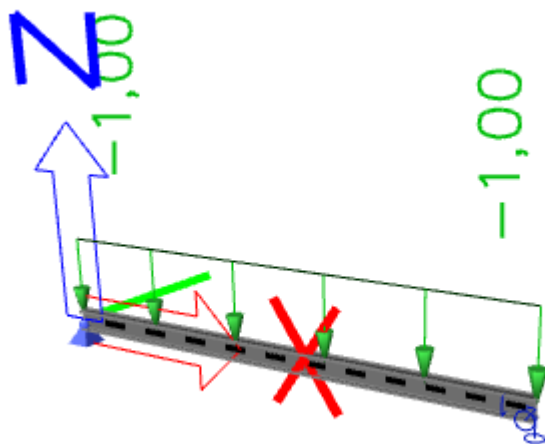
Krovne podrožnice su duljine 5,8m. Nalaze se na osnom razmaku od 2,510m i pod kutom od  $\alpha = 5,14^\circ$ . Djelovanja na krovnu podrožnicu su:

Dodatno stalno opterećenje:  $G = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,510\text{m} = 1,004 \text{ kN/m}$

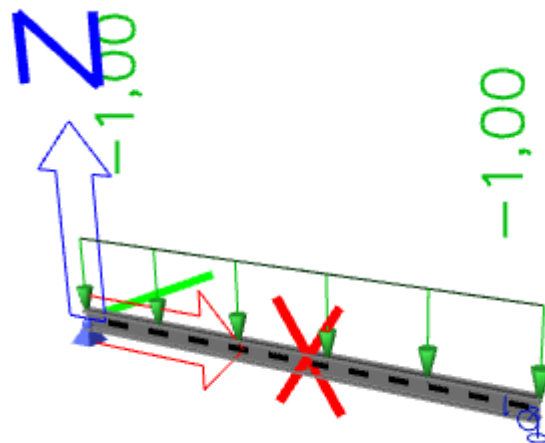
Snijeg:  $S = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,510\text{m} = 1,004 \text{ kN/m}$

Vjetar W1:  $W1 = 2,38 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,510\text{m} = 5,974 \text{ kN/m}$

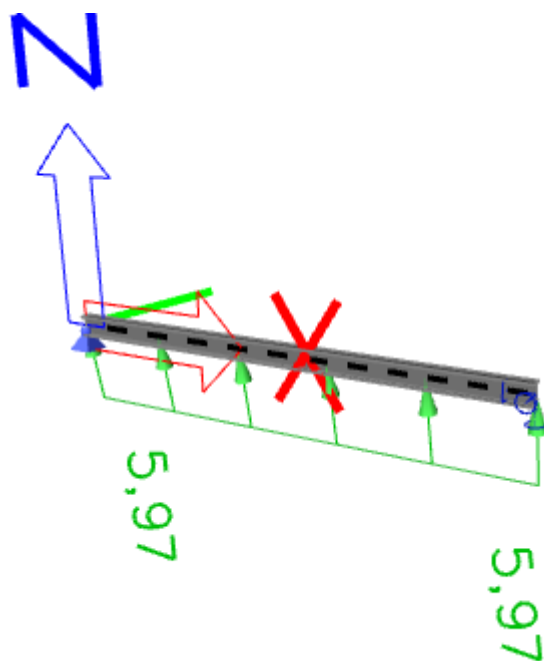
Vjetar W2:  $W2 = 0,384 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,510\text{m} = 0,964 \text{ kN/m}$



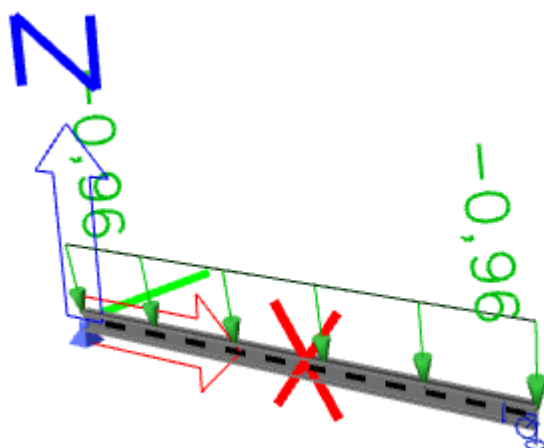
4.2.4.1. Model krovne podrožnice za djelovanje G



4.2.4.2 Model krovne podrožnice za djelovanje S



4.2.4.3 Model krovne podrožnice za djelovanje W1



4.2.4.4 Model krovne podrožnice za djelovanje W2

### 1.KOMBINACIJA 1.35(G+LC1)+1.5S

#### **1D internal forces**

Values:  $M_y$

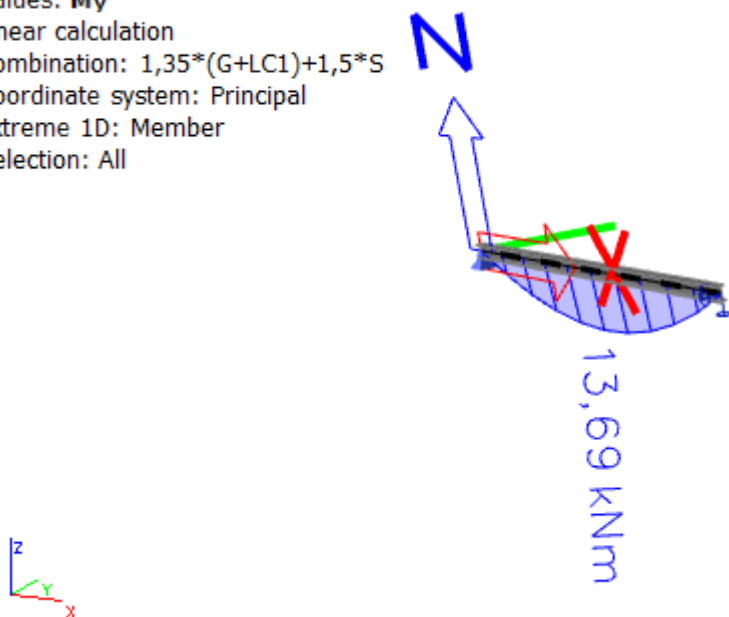
Linear calculation

Combination:  $1,35*(G+LC1)+1,5*S$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.5.Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 1

#### **1D internal forces**

Values:  $M_z$

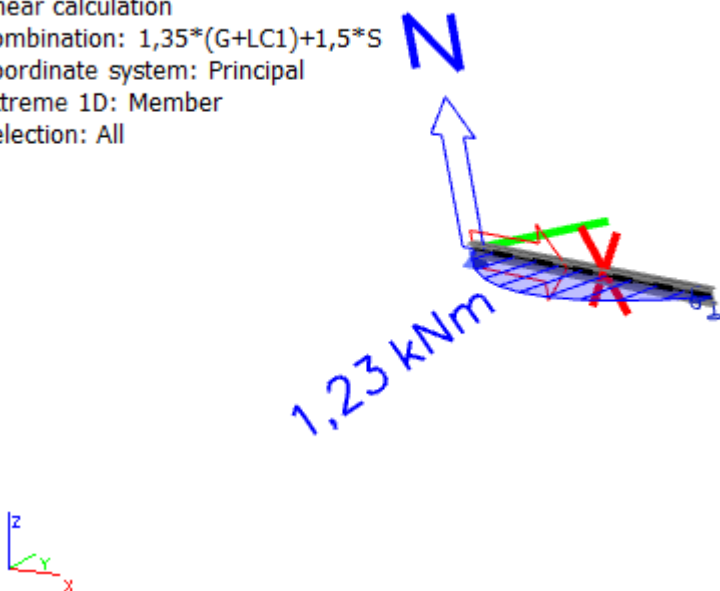
Linear calculation

Combination:  $1,35*(G+LC1)+1,5*S$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.6.Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 1

### 1D internal forces

Values:  $V_y$

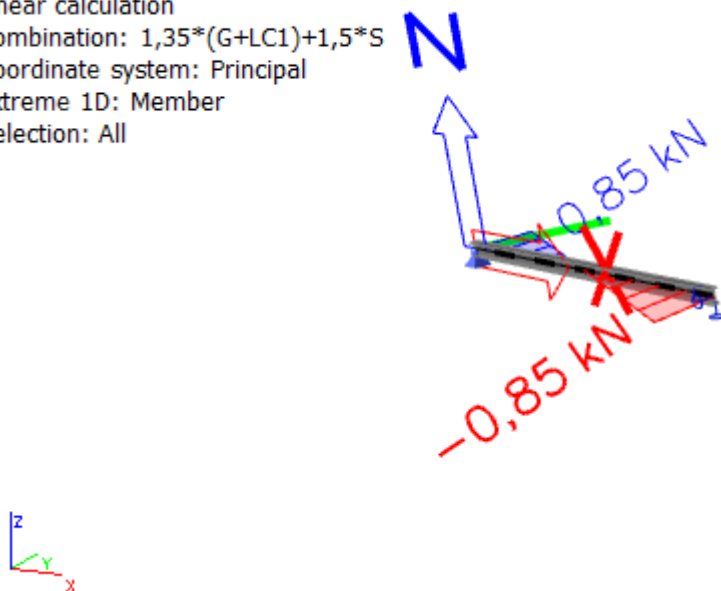
Linear calculation

Combination:  $1,35 \cdot (G+LC1) + 1,5 \cdot S$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.7. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 1

### 1D internal forces

Values:  $V_z$

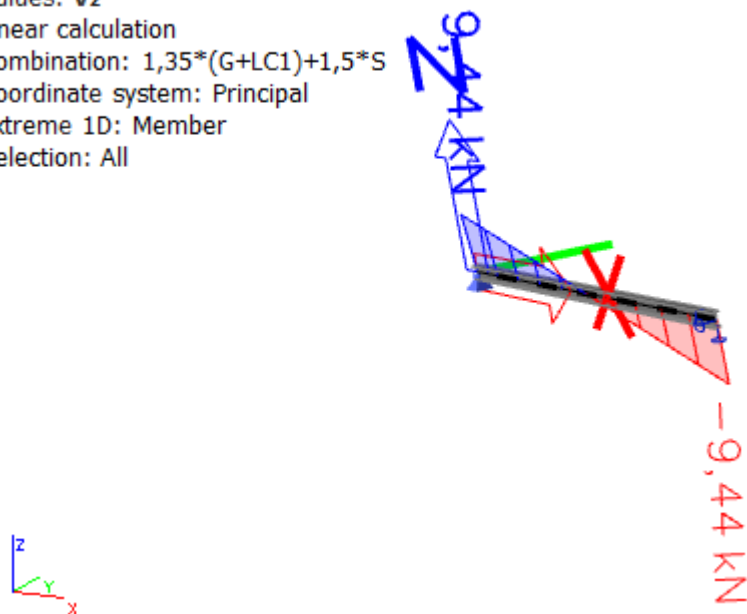
Linear calculation

Combination:  $1,35 \cdot (G+LC1) + 1,5 \cdot S$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.8. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 1

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

### 1D internal forces

Values:  $M_y$

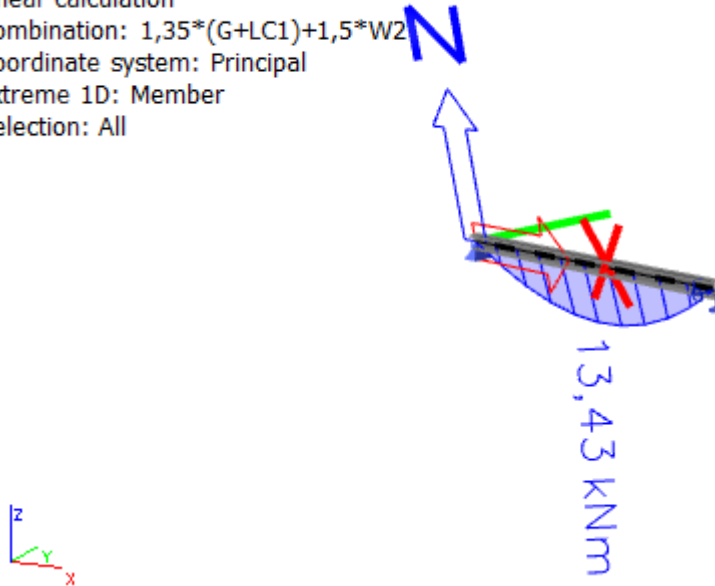
Linear calculation

Combination:  $1,35*(G+LC1)+1,5*W2$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.9.Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 2

### 1D internal forces

Values:  $M_z$

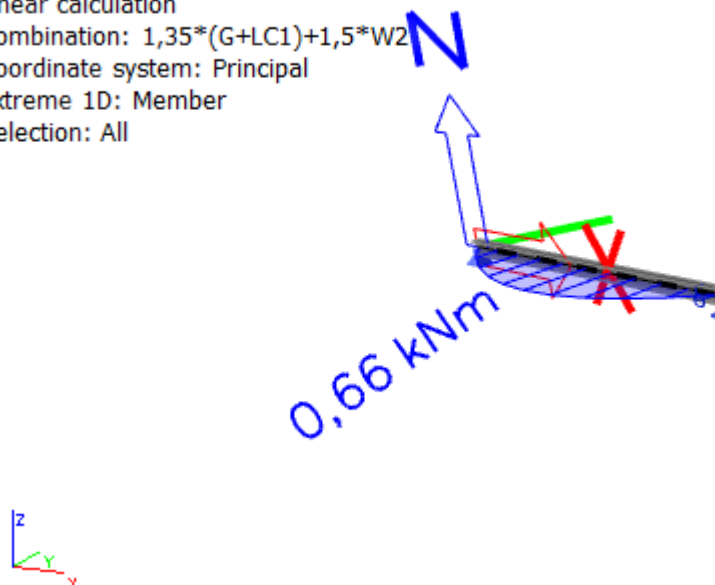
Linear calculation

Combination:  $1,35*(G+LC1)+1,5*W2$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.10.Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 2

### 1D internal forces

Values:  $V_y$

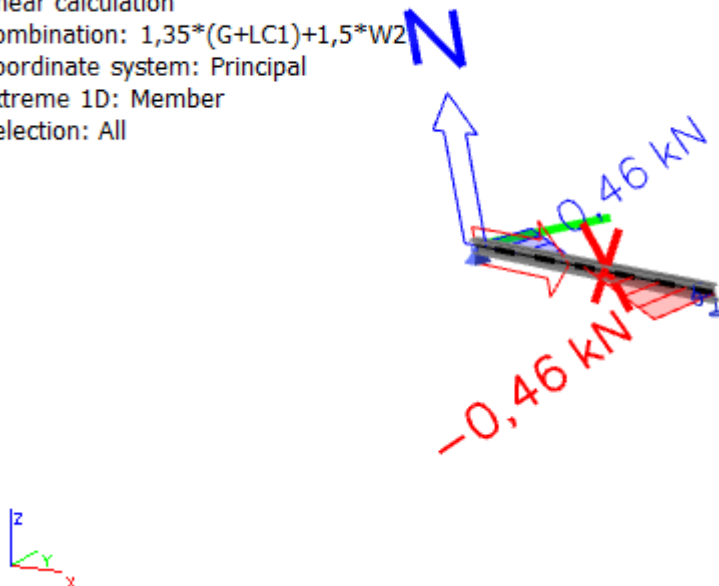
Linear calculation

Combination:  $1,35 \cdot (G+LC1) + 1,5 \cdot W2$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.11. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 2

### 1D internal forces

Values:  $V_z$

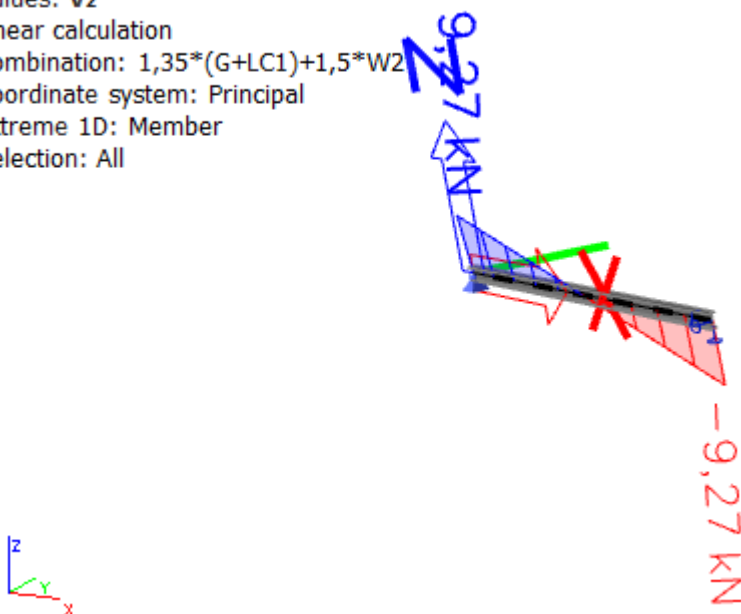
Linear calculation

Combination:  $1,35 \cdot (G+LC1) + 1,5 \cdot W2$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.12. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 2

### 3.KOMBINACIJA 1(G+LC1)+1.5W1

#### **1D internal forces**

Values:  $M_y$

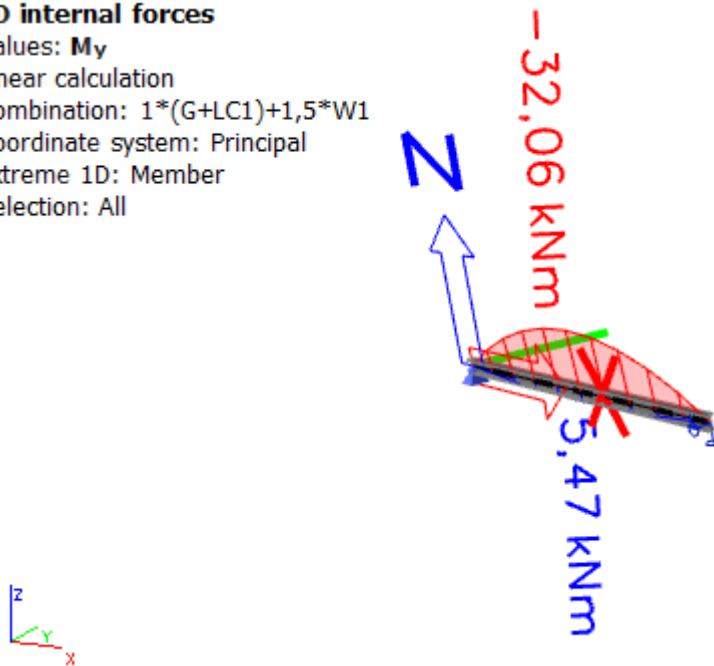
Linear calculation

Combination:  $1*(G+LC1)+1,5*W1$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.13.Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 3

#### **1D internal forces**

Values:  $M_z$

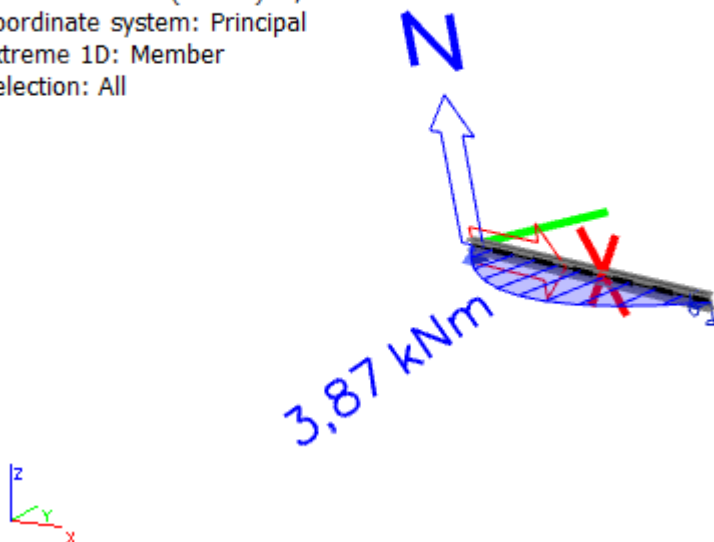
Linear calculation

Combination:  $1*(G+LC1)+1,5*W1$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.14.Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 3

#### 1D internal forces

Values:  $M_y$

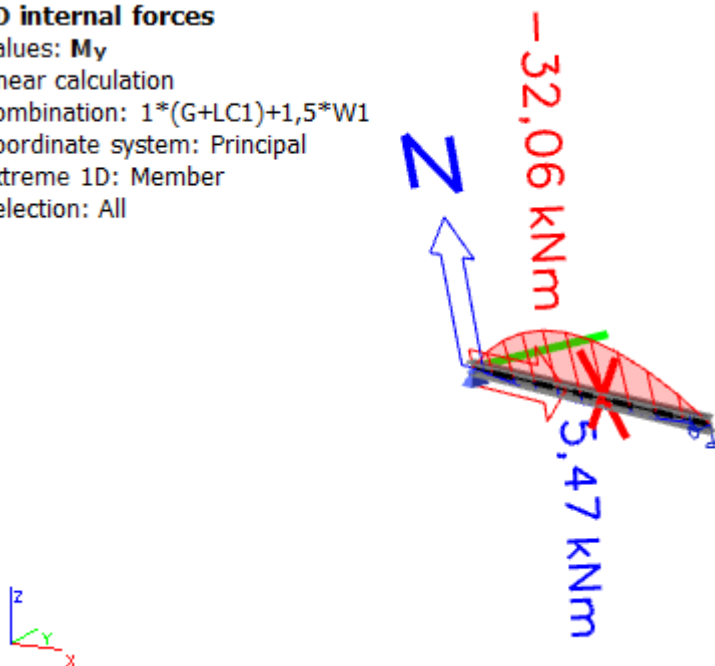
Linear calculation

Combination:  $1*(G+LC1)+1,5*W1$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.15. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 3

#### 1D internal forces

Values:  $V_z$

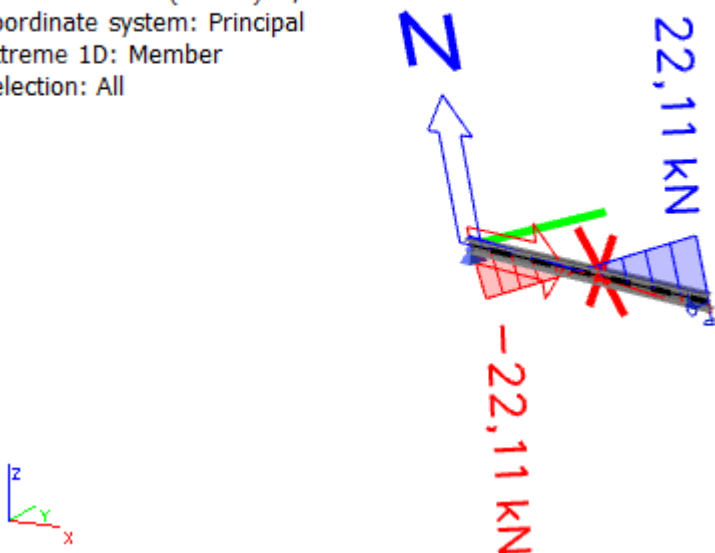
Linear calculation

Combination:  $1*(G+LC1)+1,5*W1$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.16. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 3

#### 4.KOMBINACIJA $1.35(G+LC1)+1.35(S+W2)$

##### 1D internal forces

Values:  $M_y$

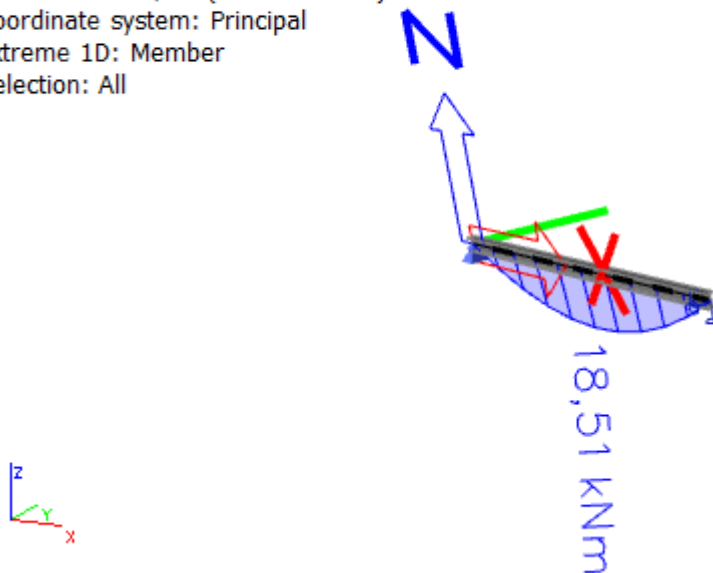
Linear calculation

Combination:  $1.35*(G+LC1+S+W2)$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.17.Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 4

##### 1D internal forces

Values:  $M_z$

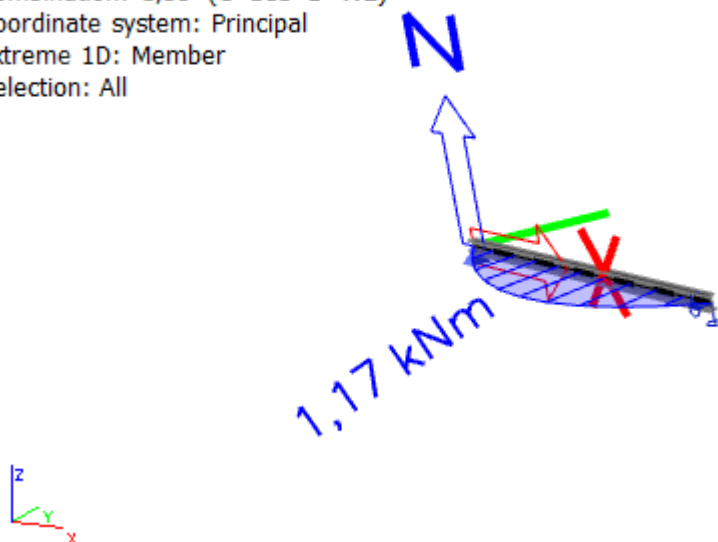
Linear calculation

Combination:  $1.35*(G+LC1+S+W2)$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.18.Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 4

### 1D internal forces

Values:  $V_y$

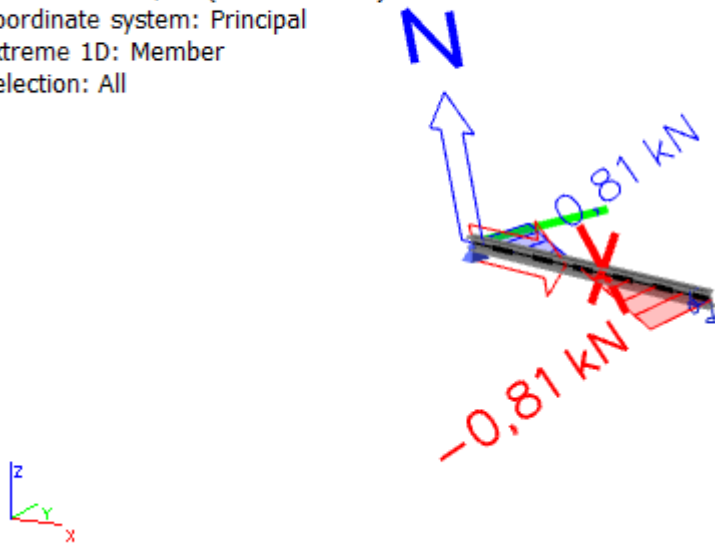
Linear calculation

Combination:  $1,35 \cdot (G + LC1 + S + W2)$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



4.2.4.19. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 4

### 1D internal forces

Values:  $V_z$

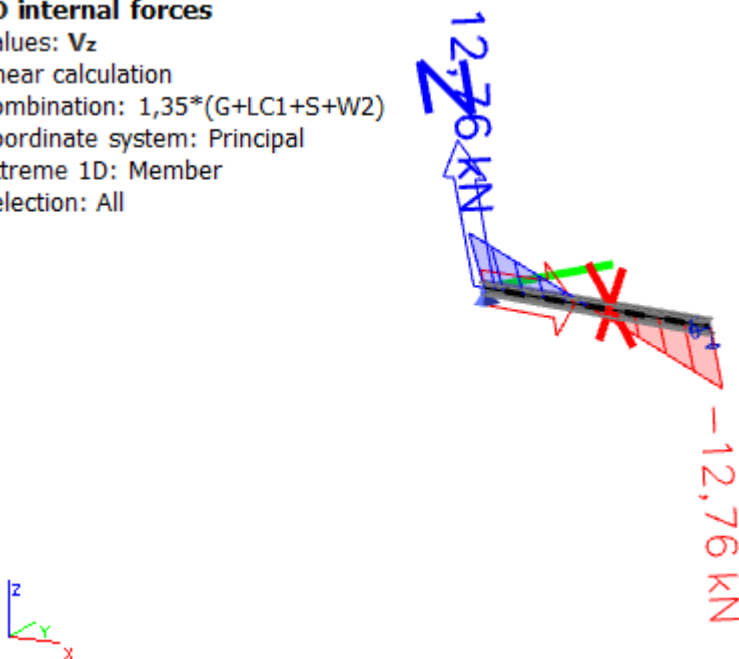
Linear calculation

Combination:  $1,35 \cdot (G + LC1 + S + W2)$

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



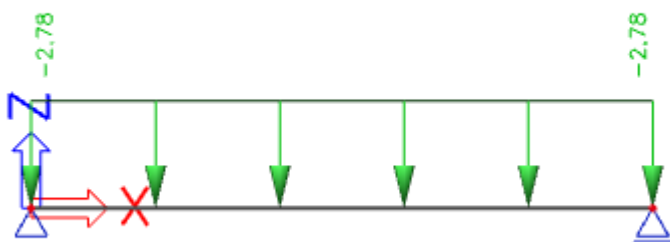
4.2.4.20. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 4

#### 4.2.5. Bočne podrožnice

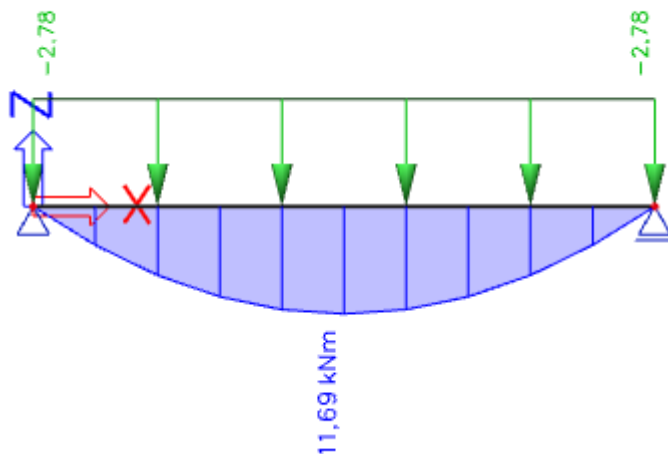
Opterećenje bočne podrožnice vjetrom je uzeto za područje D i pritisak na vertikalne zidove koji iznosi  $w_k = 1,28 \text{ kN/m}^2$ .

$$W_k = w_k \cdot n = 1,28 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,170 \text{ m} = 2,78 \text{ kN/m}$$

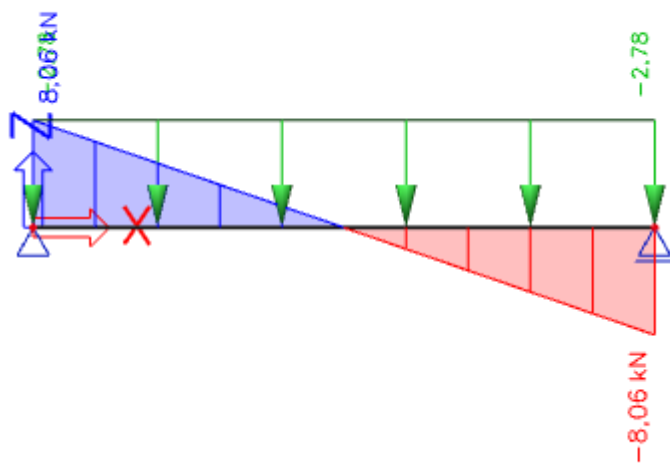
n- razmak između bočnih podrožnica



4.2.5.1. Model bočne podrožnice



4.2.5.2. Momentni dijagram bočne podrožnice



4.2.5.3. Dijagram poprečnih sila bočne podrožnice

## 5. DIMENZIONIRANJE GLAVNE KONSTRUKCIJE

### 5.1. Dimenzioniranje rešetke konstruktivnog sustava

#### 5.1.1. Gornji pojas (GP)

Gornji pojas je u svim kombinacijama izložen uzdužnoj tlačnoj sili.

Maksimalne rezne sile

$$N_{Ed} = -545,98 \text{ kN (tlak)}$$

Potrebne karakteristike poprečnog presjeka

|                                              |                    |                     |
|----------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| Odabrani profil                              |                    | CFRHS 160 x 160 x 5 |
| Tip poprečnog presjeka                       |                    | Valjani             |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                    | 30,36               |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$ | 1202,4              |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$ | 1202,4              |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     |                    | 160                 |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    |                    | 160                 |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                    | 5                   |

Materijal S355

$$f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon = 0,81$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Važan nam je odnos ravnog dijela pojasnice  $c$  i debljine pojasnice  $t_f$ .

Uvjet za klasu 2:

$$\frac{c}{t} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 160 - 3 \cdot 5 = 145 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t} = \frac{145}{5} = 29$$
$$\frac{c}{t} = 29 \leq 38 \cdot \varepsilon = 38 \cdot 0,81 = 30,78$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 2.*

***Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 2.***

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$
$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{30,36 \cdot 35,5}{1,0} = 1077,78 \text{ kN}$$
$$N_{pl,Rd} = 1077,78 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 545,98 \text{ kN}$$

***Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.***

### **Otpornost elementa na izvijanje**

Izvijanje se događa oko obje osi, a proračun se mora za svaku os posebno.

-izvijanje oko osi y-y:

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{251^2} = 3955,67 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 35,5}{3955,67}} = 0,52$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

- za hladno oblikovani šuplji pravokutni profil, krivulja izvijanja c
- za krivulju izvijanja c, faktor imperfekcije  $\alpha=0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,52 - 0,2) + 0,52^2] = 0,71$$

$$\chi = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,52^2}} = 0,84 \leq 1,0$$

-izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 502,0 \text{ cm}$$

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{502^2} = 988,92 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 35,5}{988,92}} = 1,04$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

- za hladno oblikovani šuplji pravokutni profil, krivulja izvijanja c
- za krivulju izvijanja c, faktor imperfekcije  $\alpha=0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(1,04 - 0,2) + 1,04^2] = 1,25$$

$$\chi = \frac{1}{1,25 + \sqrt{1,25^2 - 1,04^2}} = 0,51 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,51$ .

$$N_{b,Rd} = \frac{0,51 \cdot 30,36 \cdot 35,5}{1,0} = 549,67 \text{ kN}$$
$$N_{b,Rd} = 549,67 \geq N_{Ed} = 545,98 \text{ kN}$$

***Otpornost elementa zadovoljava.***

***Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek CFRHS 160 x 160 x 5, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:***

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{545,98}{549,67} \cdot 100 = 99,33\%$$

### 5.1.2. Donji pojas (DP)

Donji pojas je u svim kombinacijama izložen uzdužnoj vlačnoj sili.

#### Maksimalne rezne sile

$$N_{Ed} = 538,34 \text{ kN (vlak)}$$

#### Potrebne karakteristike poprečnog presjeka

|                                              |                    |                     |
|----------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| Odabrani profil                              |                    | CFRHS 160 x 160 x 5 |
| Tip poprečnog presjeka                       |                    | Valjani             |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                    | 30,36               |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$ | 1202,4              |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$ | 1202,4              |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     |                    | 160                 |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    |                    | 160                 |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                    | 5                   |

Materijal S355

$$f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon = 0,81$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice.

Važan nam je odnos ravnog dijela pojasnice  $c$  i debljine pojasnice  $t_f$ .

Uvjet za klasu 2:

$$\frac{c}{t} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$c = b - 3 \cdot t = 160 - 3 \cdot 5 = 145 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t} = \frac{145}{5} = 29$$

$$\frac{c}{t} = 29 \leq 38 \cdot \varepsilon = 38 \cdot 0,81 = 30,78$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 2.*

***Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 2.***

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

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{30,36 \cdot 35,5}{1,0} = 1077,78 \text{ kN}$$
$$N_{pl,Rd} = 1077,78 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 538,35 \text{ kN}$$

***Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.***

***Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek CFRHS 160 x 160 x 5, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:***

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{538,35}{1077,78} \cdot 100 = 50\%$$

U donjem pojasu nam dolazi do pojave uzdužne tlačne sile iznosa 80,83 ,te moramo provjeriti otpornost poprečnog presjeka i elementa na tlačnu silu.

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$
$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{30,36 \cdot 35,5}{1,0} = 1077,78 \text{ kN}$$
$$N_{pl,Rd} = 1077,78 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 80,83 \text{ kN}$$

***Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.***

### **Otpornost elementa na izvijanje**

Širina objekta 25m je kritična duljina izvijanja,a da bi otpornost elementa na izvijanje bila zadovoljena moramo postaviti pridrzanje na pola širine objekta.

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

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{1250^2} = 159,5 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 35,5}{159,5}} = 2,59$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

- za hladno oblikovani šuplji pravokutni profil, krivulja izvijanja c
- za krivulju izvijanja c, faktor imperfekcije  $\alpha=0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(2,59 - 0,2) + 2,59^2] = 4,44$$

$$\chi = \frac{1}{4,44 + \sqrt{4,44^2 - 2,59^2}} = 0,12 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,12 \cdot 30,36 \cdot 35,5}{1,0} = 129,33 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 129,33 \geq N_{Ed} = 80,83 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa zadovoljava.**

### 5.1.3. Ispuna-vertikalni štapovi (V)

#### Maksimalne rezne sile

$$N_{Ed} = -105,80 \text{ kN (tlak)}$$

#### Potrebne karakteristike poprečnog presjeka

|                                              |                    |                   |
|----------------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Odabrani profil                              |                    | CFRHS 40 x 40 x 4 |
| Tip poprečnog presjeka                       |                    | Valjani           |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                    | 5,35              |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$ | 11,07             |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$ | 11,07             |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     |                    | 40                |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    |                    | 40                |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                    | 4,0               |

Materijal S355  
 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\varepsilon = 0,81$   
 $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Važan nam je odnos ravnog dijela pojasnice  $c$  i debljine pojasnice  $t_f$ .

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

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

$$\frac{c}{t} = 7 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

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

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

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

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

$$N_{pl,Rd} = 189,93 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 105,80 \text{ kN}$$

***Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.***

### **Otpornost elementa na izvijanje**

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 11,07}{102^2} = 220,53 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{5,35 \cdot 35,5}{220,53}} = 0,92$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

- za hladno oblikovani šuplji pravokutni profil, krivulja izvijanja c
- za krivulju izvijanja c, faktor imperfekcije  $\alpha=0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,92 - 0,2) + 0,92^2] = 1,1$$

$$\chi = \frac{1}{1,1 + \sqrt{1,1^2 - 0,92^2}} = 0,59 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,59 \cdot 5,35 \cdot 35,5}{1,0} = 112,06 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 112,06 \geq N_{Ed} = 105,80 \text{ kN}$$

***Otpornost elementa zadovoljava.***

***Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek CFRHS 40 x 40 x 4, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:***

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{105,80}{112,06} \cdot 100 = 94,4\%$$

#### 5.1.4. Ispuna-dijagonalni štapovi(D)

##### Maksimalne rezne sile

$$N_{Ed} = 350,22 \text{ kN (vlak)}$$

##### Potrebne karakteristike poprečnog presjeka

|                                              |                   |
|----------------------------------------------|-------------------|
| Odabrani profil                              | CFRHS 60 x 60 x 5 |
| Tip poprečnog presjeka                       | Valjani           |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ | 10,36             |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     | 60                |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    | 60                |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                | 5,0               |

Materijal S355  
 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\varepsilon = 0,81$   
 $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

##### Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Važan nam je odnos ravnog dijela pojasnice  $c$  i debljine pojasnice  $t_f$ .

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = b - 3 \cdot t = 60 - 3 \cdot 5 = 45 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t} = \frac{45}{5} = 9$$

$$\frac{c}{t} = 9 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

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

**Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

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

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{10,36 \cdot 35,5}{1,0} = 367,78 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 367,78 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 350,22 \text{ kN}$$

*Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.*

*Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek CFRHS 60 x 60 x 5, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:*

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{350,22}{367,78} \cdot 100 = 95,2\%$$

## 5.2. Dimenzioniranje stupova (S)

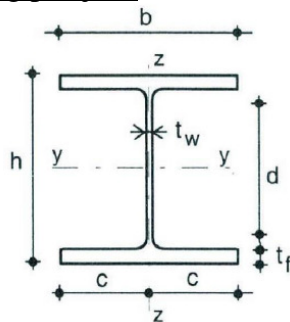
Maksimalne rezne sile:

$$M_{y, sd} = 174,18 \text{ kNm};$$

$$N_{sd} = -138,57 \text{ kN}$$

$$V_{z, sd} = 50,90 \text{ kN}$$

Potrebne karakteristike poprečnog presjeka



|                                              |                         |          |
|----------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Odabrani profil                              |                         | HEA 360  |
| Tip poprečnog presjeka                       |                         | I profil |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                         | 143      |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$      | 33100,0  |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$      | 7890,0   |
| Moment otpora                                | $W_{pl,y}(\text{cm}^3)$ | 2087,5   |
|                                              | $W_{pl,z}(\text{cm}^3)$ | 804,17   |
| Konstanta krivljenja                         | $I_w(\text{cm}^6)$      | 2176600  |
| Torzijska konstanta                          | $I_t(\text{cm}^4)$      | 149      |
| Visina presjeka h (mm)                       |                         | 350      |
| Širina pojasnice b (mm)                      |                         | 300      |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                         | 18       |
| Debljina hrpta $t_w$ (mm)                    |                         | 10       |
| Radijus r (mm)                               |                         | 27       |

Materijal S355  
 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\epsilon = 0,81$   
 $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 350 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 27 = 260 \text{ mm}$$

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{260}{10} = 26$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{138,57}{2 \cdot 1 \cdot 35,5 / 1,0} = 1,95$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{260} \cdot \left( \frac{260}{2} + 1,95 \right) = 0,51 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} = 26 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,51 - 1} = 56,97$$

*Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.*

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{300 - 10 - 2 \cdot 27}{2} = 118 \text{ mm}$$

$$t_f = 18 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{118}{18} = 6,56$$

$$\frac{c}{t_f} = 6,56 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{143 \cdot 35,5}{1,0} = 5076,5 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 5076,5 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 138,57 \text{ kN}$$

**Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.**

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \text{ za presjeke klase 1,2,3}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{2087,5 \cdot 35,5}{1,0} = 74106,25 \text{ kNcm} = 741,06 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 741,06 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 174,18 \text{ kNm}$$

### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{350 - 2 \cdot 18}{10} = 31,4$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 31,4 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

**Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.**

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

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

$$A_{V,z} = 143 - 2 \cdot 30 \cdot 1 + (1 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,8 = 94,52 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 31,4 \cdot 1 = 37,68 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{37,68 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 772,29 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 772,29 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 50,90 \text{ kN}$$

### **Interakcija M-V-N**

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

$$V_{z,Rd} = 50,90 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 772,29 = 386,15 \text{ kN}$$

***Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.***

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

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

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

$$(1) N_{Ed} = 138,57 \leq 0,25 \cdot 5076,5 \text{ kN} = 1269,13 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 138,57 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 31,4 \cdot 1 \cdot 35,5}{1,0} = 557,35 \text{ kN}$$

***Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.***

***Profil HEA 360 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.***

### **Otpornost elementa izloženog savijanju i uzdužnoj sili**

#### **Uzdužna tlačna otpornost (N)**

$$L_{cr,y} = 2L = 1300 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 33100}{1300^2} = 4059,39 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{143 \cdot 35,5}{4059,39}} = 1,12$$

$$\frac{h}{b} = \frac{350}{300} = 1,17 < 1,2 \quad t_f = 18 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,12 - 0,2) + 1,12^2] = 1,28$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,28 + \sqrt{1,28^2 - 1,12^2}} = 0,53$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,53 \cdot 143 \cdot 35,5}{1,0} = 2690,55 \text{ kN} > N_{Ed} = 138,57 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa zadovoljava.**

### **Otpornost elementa na savijanje (M)**

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{350}{2} = 17,5 \text{ cm}$$

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

L- razmak točaka bočnog pridržanja: L=217,1cm

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,77$$

$$C_2 = 0$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7890}{217,1^2} \cdot \sqrt{\left( 1^2 \cdot \frac{2176600}{7890} + \frac{217,1^2 \cdot 8077 \cdot 149}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7890} \right)} = 10822,28 \text{ kNm}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2087,5 \cdot 35,5}{10822,28}} = 0,262 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$M_{b,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2087,5 \cdot 35,5}{1,0} = 741,06 \text{ kNm} > 174,18 \rightarrow \text{zadovoljava!}$$

### **Otpornost elementa na interakciju M-N (jednoosno savijanje)**

Interakcijski faktori  $k_{yy}$  i  $k_{zz}$  (klasa I i II):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[ 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

Određivanje  $C_{my}$ ,  $C_{mLT}$ :

$$C_{my} = 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.6 > 0.4$$

$$C_{mLT} = 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.6 > 0.4$$

$$k_{yy} = 0.6 \cdot \left[ 1 + (0.27 - 0.2) \cdot \frac{138.57}{0.53 \cdot 5076.5} \right] \leq 0.6 \cdot \left[ 1 + 0.8 \cdot \frac{138.57}{0.53 \cdot 5076.5} \right]$$

$$k_{yy} = 0.60 \leq 0.62 \rightarrow k_{yy} = 0.60$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0.1 \cdot 0.4}{0.6 - 0.25} \cdot \frac{138.57}{0.86 \cdot 34695.76/1.0} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0.1}{0.6 - 0.25} \cdot \frac{138.57}{0.86 \cdot 34695.76/1.0} \right]$$

$$k_{zy} = 0.999 \leq 0.999 \rightarrow k_{zy} = 0.999$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0$$

$$\frac{138,57}{0,53 \cdot \frac{5076,5}{1}} + 0,60 \cdot \frac{174,18}{1 \cdot \frac{741,06}{1}} = 0,20 \leq 1.0 \rightarrow \text{zadovoljava!}$$

$$\frac{138,57}{0,86 \cdot \frac{5076,5}{1}} + 0,999 \cdot \frac{174,18}{1 \cdot \frac{741,06}{1}} = 0,27 \leq 1.0 \rightarrow \text{zadovoljava!}$$

**Profil HEA 360 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti:**

$$\eta = 27\%$$

### 5.3. Sekundarne konstrukcije

#### 5.3.1. Zabatni stupovi

|                                              |                         |          |
|----------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Odabrani profil                              |                         | HEA 220  |
| Tip poprečnog presjeka                       |                         | I profil |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                         | 64,3     |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$      | 5410     |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$      | 1960     |
| Moment otpora                                | $W_{pl,y}(\text{cm}^3)$ | 566,67   |
|                                              | $W_{pl,z}(\text{cm}^3)$ | 270,42   |
| Konstanta krivljenja                         | $I_w(\text{cm}^6)$      | 193270   |
| Torzijska konstanta                          | $I_t(\text{cm}^4)$      | 28,5     |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     |                         | 210      |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    |                         | 220      |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                         | 11       |
| Debljina hrpta $t_w$ (mm)                    |                         | 7        |
| Radijus $r$ (mm)                             |                         | 18       |

$$M_{ed} = 79,04 \text{ kNm}$$

$$V = 39,07 \text{ kN}$$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

##### Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{210 - 22 - 36}{7} = 21,71$$

$$21,71 < 72\varepsilon = 21,71 < 58,32$$

Hrbat je klase 1.

##### Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{220 - 7 - 36}{2} = 88,5$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{88,5}{11} < 10\varepsilon = 8,05 < 8,1$$

Pojasnica je klase 2.

**Poprečni presjek je klase 2.**

### **Otpornost poprečnog presjeka**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{566,67 \cdot 35,5}{1} = 20116,79 \text{ kNcm} = 201,17 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 201,17 > M_{Ed} = 79,04$$

### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{210 - 22}{7} = 26,86$$

$$26,86 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 29,11 < 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{v,z} = 64,3 - 2 \cdot 22 \cdot 1,1 + (0,7 + 2 \cdot 1,8) \cdot 1,1 = 20,63 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 18,8 \cdot 0,7 \\ = 15,79 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{20,63 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 422,83 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 422,83 \geq V_{Ed} = 39,07 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 422,83 = 211,42 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 23,19 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 211,42 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 422,83 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{63,5}{422,83} = 0,15 < 1$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$= 120,45 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{21}{2} = 10,5 \text{ cm}$$

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

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

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

$$L = 818 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{566,67 \cdot 35,5}{12045}} = 1,29 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,45 + \sqrt{1,45^2 - 1,29^2}} = 0,47 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,29 - 0,2) + 1,29^2] = 1,45$$

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

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

$$M_{b,Rd} = 0,47 * \frac{566,67 * 35,5}{1} = 9454,89 \text{ kNcm} = 94,55 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 94,55 > M_{y,Ed} = 79,04$$

$$\eta = \frac{79,04}{94,55} = 0,83596 = 83,6 \%$$

**Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 83,6%**

### 5.3.2. Krovni(horizontalni) spreg

Maksimalna vlačna sila:  $N = 29,54 \text{ kN}$

$$A = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,13 * 35,5}{1} = 40,12 \text{ kN} > N_{Ed} = 29,54 \text{ kN}$$

Za spregove je odabran profil RD 12, kvalitete čelika S355.

**Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:**

$$\eta = \frac{29,54}{40,12} = 0,7363 = 73,63 \%$$

### 5.3.3. Bočni spreg

Maksimalna vlačna sila:  $N = 48,75 \text{ kN}$

$$A = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{2,01 * 35,5}{1} = 71,36 \text{ kN} > N_{Ed} = 48,75 \text{ kN}$$

Za spregove je odabran profil RD 16, kvalitete čelika S355.

**Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:**

$$\eta = \frac{48,75}{71,36} = 0,6832 = 68,32 \%$$

### 5.3.4. Krovna podrožnica

|                                              |                         |          |
|----------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Odabrani profil                              |                         | IPE 240  |
| Tip poprečnog presjeka                       |                         | I profil |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                         | 39,1     |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$      | 3892     |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$      | 284      |
| Moment otpora                                | $W_{pl,y}(\text{cm}^3)$ | 367      |
|                                              | $W_{pl,z}(\text{cm}^3)$ | 73,9     |
| Konstanta krivljenja                         | $I_w(\text{cm}^6)$      | 37400    |
| Torzijska konstanta                          | $I_t(\text{cm}^4)$      | 12,9     |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     |                         | 240      |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    |                         | 120      |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                         | 10       |
| Debljina hrpta $t_w$ (mm)                    |                         | 6        |
| Radijus $r$ (mm)                             |                         | 15       |

$$M_{y,Ed} = 32,06 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 3,87 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 2,67 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 22,11 \text{ kN}$$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

##### Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{240 - 20 - 30}{6} = 31,67$$

$$31,67 < 72 \varepsilon = 31,67 < 58,32$$

Hrbat je klase 1.

### Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{120 - 6 - 30}{2} = 42$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{42}{10} < 9\varepsilon = 4,2 < 7,29$$

Pojasnica je klase 1.

**Poprečni presjek je klase 1.**

### Otpornost poprečnog presjeka

#### Savijanje oko osi y-y

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{367 * 35,5}{1} = 13028,5 \text{ kNcm} = 130,285 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 130,285 > M_{Ed} = 32,06$$

#### Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{73,9 * 35,5}{1} = 2623,45 \text{ kNcm} = 26,23 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 26,23 > M_{Ed} = 3,87$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

#### U smjeru osi z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{240 - 20}{6} = 36,67$$

$$36,67 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 36,67 < 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$$A_{V,z} = 39,1 - 2 \cdot 12 \cdot 1,0 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1,0 = 18,7 \text{ cm}^2 \geq 1,2 \cdot 22,0 \cdot 0,6 \\ = 15,84 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{18,7 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 383,27 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 383,27 \geq V_{Ed} = 22,11 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y

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

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

$$A_{v,y} = 39,1 - \sum 22 \cdot 0,6 = 25,9 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{25,9 \cdot \left(\frac{35,5}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 530,84 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 2,67 \text{ kN}$$

### **Interakcija M-V**

Presjek u  $x=5,8/4=1,45 \text{ m}$

Savijanje u smjeru osi y-y

$$M_{y,Ed} = 23,73 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 11,06 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 383,27 = 191,64 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,06 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 191,64 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

#### Savijanje u smjeru osi z-z

$$M_{z,Ed} = 2,87 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 1,34 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 530,84 = 265,42 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1,34 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 265,42 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

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

$$\alpha = 2; \beta = 1 \text{ (za I i H profile)}$$

$$\left(\frac{32,06}{130,285}\right)^2 + \left(\frac{3,87}{26,23}\right)^1 \leq 1,0 = 0,21 < 1$$

**Profil IPE 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

#### Otpornost elementa na savijanje

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right] = 43,51 \text{ kNm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ cm}$$

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

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

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{367 \cdot 35,5}{4351}} = 1,73 > 0,4$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,16 + \sqrt{2,16^2 - 1,73^2}} = 0,29 < 1$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,73 - 0,2) + 1,73^2] = 2,16$$

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

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

$$M_{b,Rd} = 0,29 \cdot \frac{367 \cdot 35,5}{1} = 3778,265 \text{ kNcm} = 37,78 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 37,78 > M_{y,Ed} = 32,06$$

$$\eta = \frac{32,06}{37,78} = 0,8486 = 84,86 \%$$

### **Interakcija My i Mz**

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

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

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

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

$$L_{cr,z} = 580 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 284}{580^2} = 174,98 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{39,1 * 35,5}{174,98}} = 2,82 > 0,4$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$k_{zy} = 1$$

$$0 + 0,95 * \frac{32,06}{0,29 * 130,285} + 0,57 * \frac{3,87}{26,23} = 0,89 \leq 1,0$$

$$0 + 1 * \frac{32,06}{0,29 * 130,285} + 0,95 * \frac{3,87}{26,23} = 0,99 \leq 1,0$$

**Profil IPE 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 99%.**

### 5.3.5. Bočna podrožnica

|                                              |                         |          |
|----------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Odabrani profil                              |                         | IPE 180  |
| Tip poprečnog presjeka                       |                         | I profil |
| Površina poprečnog presjeka $A(\text{cm}^2)$ |                         | 23,9     |
| Moment tromosti                              | $I_y(\text{cm}^4)$      | 1317     |
|                                              | $I_z(\text{cm}^4)$      | 101      |
| Moment otpora                                | $W_{pl,y}(\text{cm}^3)$ | 166      |
|                                              | $W_{pl,z}(\text{cm}^3)$ | 34,6     |
| Konstanta krivljenja                         | $I_w(\text{cm}^6)$      | 7430     |
| Torzijska konstanta                          | $I_t(\text{cm}^4)$      | 4,79     |
| Visina presjeka $h$ (mm)                     |                         | 180      |
| Širina pojasnice $b$ (mm)                    |                         | 91       |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)                |                         | 8        |
| Debljina hrpta $t_w$ (mm)                    |                         | 5        |
| Radijus $r$ (mm)                             |                         | 9        |

$$M_{y,Ed} = 11,69 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 8,06 \text{ kN}$$

#### Klasifikacija poprečnog presjeka

##### Hrbat

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

$$29,2 < 72 \varepsilon = 29,2 < 58,32$$

Hrbat je klase 1.

##### Pojasnica

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} < 9\varepsilon = 4,25 < 7,29$$

Pojasnica je klase 1.

**Poprečni presjek je klase 1.**

**Otpornost poprečnog presjeka**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{166 \cdot 35,5}{1} = 5893 \text{ kNcm} = 58,93 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 58,93 > M_{Ed} = 11,69$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**

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

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

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

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

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

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

$$V_{pl,Rd} = 229,14 \geq V_{Ed} = 8,06 \text{ kN}$$

### **Interakcija M-V**

Presjek u  $x=5,8/4=1,45$  m

$$M_{Ed}=8,65 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed}=4,03 \text{ kN}$$

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

$$V_{Ed} = 4,03 < 0,5 \cdot V_{Rd} = 114,57 \text{ kN}$$

→ nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 58,93 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{11,69}{58,93} = 0,198 < 1$$

### **Otpornost elementa na savijanje**

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

$$= 15,858 \text{ kNm}$$

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

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

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

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

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

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166 \cdot 35,5}{1585,8}} = 1,93 > 0,4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,54 + \sqrt{2,54^2 - 1,93^2}} = 0,24 < 1$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,93 - 0,2) + 1,93^2] = 2,54$$

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

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

$$M_{b,Rd} = 0,24 \cdot \frac{166 \cdot 35,5}{1} = 1414,32 \text{ kNcm} = 14,14 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,14 > M_{y,Ed} = 11,69$$

$$\eta = \frac{11,69}{14,14} = 0,8267 = 82,67 \%$$

**Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 82,67%.**

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ

Veličine djelovanja

$$N_{Ed} = 138,57kN \text{ (tlačna sila)}$$

$$M_{y,Ed} = 174,18kNm$$

$$V_{z,Ed} = 50,90kN$$

Osnovni materijal: Fe-360 (S355)

Vijci: k.v. 8.8

Poprečni presjek:

|                                       |                  |          |
|---------------------------------------|------------------|----------|
| Odabrani profil                       |                  | HEA 360  |
| Tip poprečnog presjeka                |                  | I profil |
| Površina poprečnog presjeka $A(cm^2)$ |                  | 143      |
| Moment tromosti                       | $I_y(cm^4)$      | 33100,0  |
|                                       | $I_z(cm^4)$      | 7890,0   |
| Moment otpora                         | $W_{pl,y}(cm^3)$ | 2087,5   |
|                                       | $W_{pl,z}(cm^3)$ | 804,17   |
| Konstanta krivljenja                  | $I_w(cm^6)$      | 2176600  |
| Torzijska konstanta                   | $I_t(cm^4)$      | 149      |
| Visina presjeka h (mm)                |                  | 350      |
| Širina pojasnice b (mm)               |                  | 300      |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm)         |                  | 18       |
| Debljina hrpta $t_w$ (mm)             |                  | 10       |
| Radijus r (mm)                        |                  | 27       |

### **Pojasnice**

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N_{p}^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{174,18}{0,35 - 0,018} = 524,64 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_{p}^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{36 \cdot 1}{143} \cdot 138,57 = -34,88 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_{p}^{*M} + N_{p}^N = 524,64 - 34,88 = 489,76 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

### **KONTROLA VAROVA**

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice

$$l \approx 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta

$$l \approx 2 \cdot 314 = 628 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

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

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

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{163,6}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 785,28 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 489,76 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{163,6}{1,25} \cdot \frac{628}{100} = 821,93 \text{ kN} > V_{Ed} = 50,90 \text{ kN}$$

## **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  $c=65$  mm

-ekscentricitet uzdužne sile

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{174,18}{138,57} = 1,26 \text{ m}$$

-ekscentricitet

$$x_1 = 65 + 300 - 9 = 356 \text{ mm} = 0,356 \text{ m}$$

$$x_2 = 1260 - 300/2 + 9 = 1119 \text{ mm} = 1,119 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Ed} \cdot x_1 \quad \Rightarrow \quad F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 138,57 \cdot \frac{1,119}{0,356} = 435,56 \text{ kN}$$

## **PRORAČUN VIJAKA**

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{330,5}{1,25} = 264,4 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = 217,78 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{220,3}{1,25} = 176,24 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{50,90}{4} = 12,73 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

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

$$\frac{12,73}{176,24} + \frac{217,78}{1,4 \cdot 264,4} \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad 0,66 \leq 1,0$$

## **PRORAČUN PLOČE**

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 350 + 2 \cdot (65 + 70) = 620 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 5\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 334,14 \text{ mm}$$

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

*Odabrane dimenzije ploče su 620x340 mm*

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

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{50,90}{4} = 12,73 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{258,2}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 12,73 \text{ kN} \Rightarrow t_{pl}^{min} = 0,61 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{620 - 350 + 18}{2} = 144 \text{ mm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 435,56 + 138,57 = 574,13 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{b,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{574,13}{\frac{3 \cdot 14,4 \cdot 34,0}{2}} = 0,78 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s \\ &= \frac{2}{3} \cdot 7800 \cdot 0,144 \cdot 0,340 \cdot \frac{0,144}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 7800 \cdot 0,144 \cdot 0,340}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,144 = 24,44 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left( c + \frac{t_f}{2} \right) = 435,56 \cdot (0,065 + 0,009) = 32,23 \text{ kNm}$$

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

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

$$t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 3223 \cdot 6}{34 \cdot 35,5}} = 4,198 \text{ cm}$$

**Usvojene dimenzije ploče 620x340x45 mm.**

## 6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA

### Veličine djelovanja

$$V_{z,Ed} = 5,5kN$$

Osnovni materijal: Fe-360 (S355)

Vijci: k.v. 8.8

Poprečni presjek:

|                                        |                     |
|----------------------------------------|---------------------|
| Odabrani profil                        | CFRHS 160 x 160 x 5 |
| Odabrani profil                        | HEA 360             |
| Tip poprečnog presjeka                 | I profil            |
| Visina presjeka h (mm)                 | 350                 |
| Širina pojasnice b (mm)                | 300                 |
| Debljina pojasnice t <sub>f</sub> (mm) | 18                  |
| Debljina hrpta t <sub>w</sub> (mm)     | 10                  |
| Radius r (mm)                          | 27                  |

### KONTROLA VAROVA

Dužina vara hrpta

$$l_1 = 2 * (h - 2 * t_f) = 2 * (350 - 2 * 18) = 628 \text{ mm}$$

Dužina vara pojasa

$$l_2 = 0 = 4 * 160 = 640 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

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

Za pretpostavljeni var a=4 mm

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{628}{100} = 657,64 \text{ kN} > V_{Ed} = 5,5 \text{ kN}$$

## **PRORAČUN VIJAKA**

Odabrani vijci: M12; kv 8.8

### **Otpornost vijaka na posmik**

Poprečna sila se raspoređuje na 2 vijka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{40,5}{1,25} = 32,4 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,75 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{2,75}{32,4} = 0,08 \leq 1,0$$

## **PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE**

Proračun širine i dužine ploče:

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 331,31 \text{ mm}$$

*Odabrane dimenzije ploče su 340x340 mm*

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

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,75 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} * \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} * \gamma_{Mb} * 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{2,75 * 1,25 * 10}{117,7} = 0,29 \text{ mm}$$

**Usvojene dimenzije ploče 340x340x14 mm.**

### 6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA DONJEG POJASA

Veličine djelovanja

$$N_{z,Ed} = 538,34 kN$$

Osnovni materijal: Fe-360 (S355)

Poprečni presjek:

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| Odabrani profil               | CFRHS 160 x 160 x 5 |
| Tip poprečnog presjeka        | Valjani             |
| Visina presjeka h (mm)        | 160                 |
| Širina pojasnice b (mm)       | 160                 |
| Debljina pojasnice $t_f$ (mm) | 5                   |

#### **KONTROLA VAROVA**

Određivanje maksimalne debljine vara:

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

Za pretpostavljeni var  $a=4,0$  mm

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 2 \cdot 160 + 2 \cdot 160 = 640 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{640}{100} = 670,21 \text{ kN} > N_{sd} = 538,34 \text{ kN}$$

#### **PRORAČUN VIJAKA**

Pretpostavka: M20 k.v. 10.9

n=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{220,5}{1,25} = 176,4 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{sd}}{4} = \frac{538,34}{4} = 134,59 \text{ kN}$$

### **Proračun dimenzija ploče**

#### **Proračun širine i dužine ploče**

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

$$b_{pl}^{min} = 2 \cdot e_1 + p_2 = 2 \cdot 50 + 70 = 170 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 160 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 191,31 \text{ mm}$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 325×325mm.**

#### **Proračun minimalne debljine ploče**

$$e = 33 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 325 \text{ mm}$$

$$M_{sd} = 2 \cdot F_{t,sd} \cdot e = 2 \cdot 176,4 \cdot 0,033 = 11,64 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}}$$
$$= \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1164 \cdot 6}{32,5 \cdot 35,5}} = 2,58 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 2,58 \text{ cm}$$

**Usvojene dimenzije ploče su 325×325×30mm.**

## 7. PRORAČUN TEMELJA

### Odabrane dimenzije temelja:

$$L = 2.0(\text{m})$$

$$B = 2.0(\text{m})$$

$$H = 1.5(\text{m})$$

### Materijali:

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

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

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

### Rezne sile:

$$N_{sd} = -138,57 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 50,90 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 174,18 \text{ kNm}$$

### Površina temeljne stope

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

### Težina temeljne stope

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

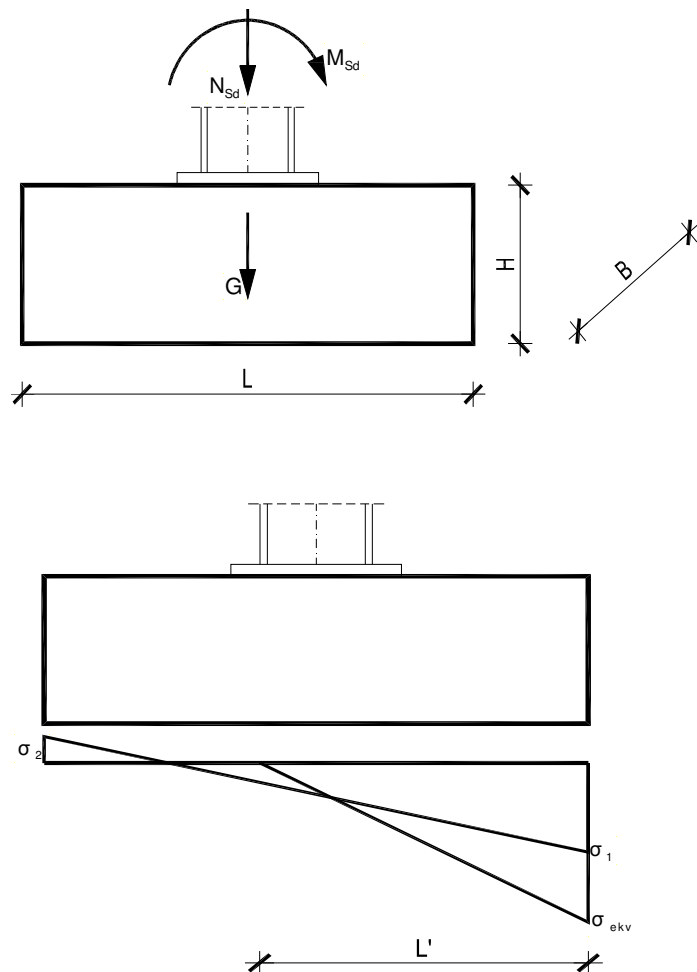
### Moment otpora temeljne stope

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

### Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{sd} + G}{A} \pm \frac{M_{sd}}{W} = \frac{138,57 + 100,0}{4,0} \pm \frac{174,18}{1,33} = 59,64 \pm 130,96$$

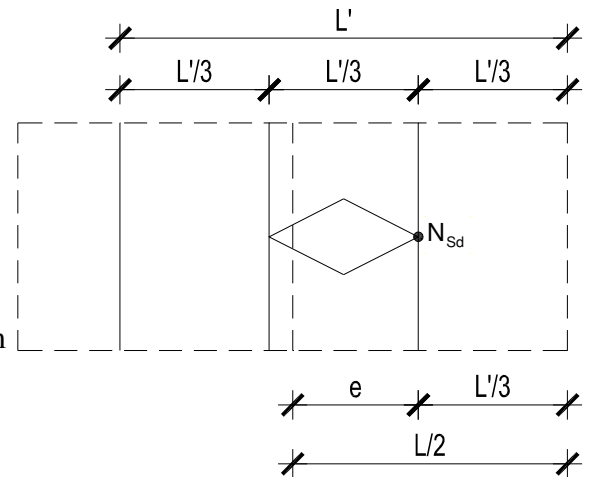
$$\sigma_1 = 190,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



$$\sigma_2 = -71,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd} + G} = \frac{174,18}{138,57 + 100,0} = 0,7 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2,0}{2} - 0,7 \right) = 0,9 \text{ m}$$



$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (138,57 + 100,0)}{0,9 \cdot 2,0} = 265,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{ila, \lim} = 300,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

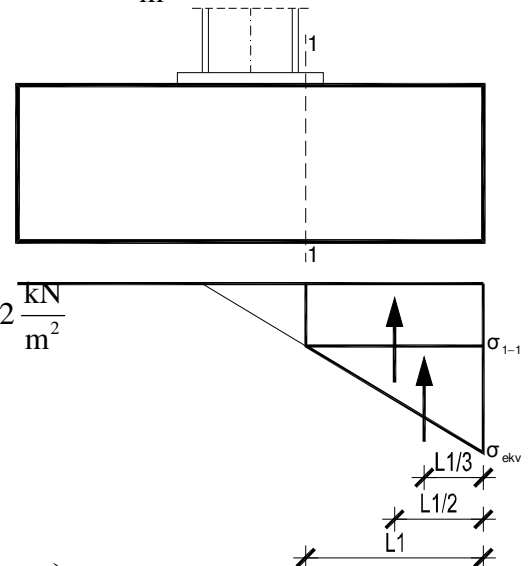
### Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,350}{2} = 0,83 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{0,9 - 0,83}{0,9} \cdot 265,08 = 20,62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$M_{Sd}^{1-1} = 1,4 \cdot \left( 20,62 \cdot \frac{0,83^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{265,08 - 20,62}{2} \cdot 0,83 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,83 \right) = 177,07 \text{ kNm}$$



### 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

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{17707}{80 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 5,09 \text{ cm}^2 < A_{S1, \min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 20,0 \text{ cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura →  $\emptyset 12/10$  19 kom =  $21,48 \text{ cm}^2$   
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 Hachbau.
- [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**

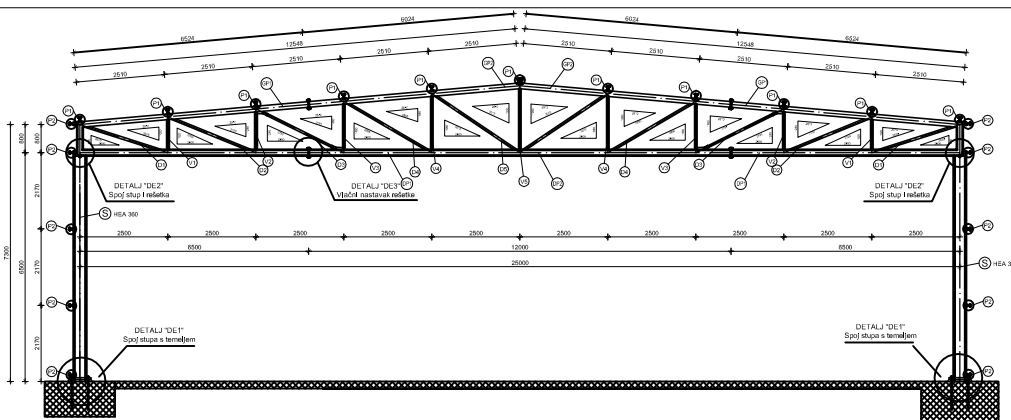
## **9.6 DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA**

## **9.7 DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE**

## **10. ISKAZ MATERIJALA**

Technical drawing of a roof structure (KROVNI PRISLOVJE) showing a grid of 8x8 bays. The drawing includes labels for 'KROVNI SPREGOVI' (Roof Trusses) at the corners, 'KROVNI PODROZICE' (Roof Subdivisions) along the top edge, and 'KROVNI NOSAČI' (Roof Supports) along the right edge. Dimensions are provided: 5800 units for the width of each bay and 2500 units for the height of each bay. The total width is 58000 units and the total height is 25000 units.

S - Stup HEA360  
P1 - Krovna podrožnica IPE240  
P2 - Bočna podrožnica IPE180  
KS - Krovni spregom RD12  
BS - Bočni spregovi RD16  
GP - Gornji pojas CFRHS160/160/5  
DP - Donji pojas CFRHS160/160/5  
ZS - Zablatni stup HEA220  
SP1 - Ravlnski nosač  
V1 - Vertikale CFRHS160/160/5  
V2 - Vertikale CFRHS40/40/4  
D - Dijagonale CFRHS60/60/5



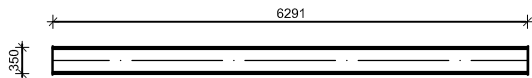
9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR  
M 1:50

- S - Šup HEA300
- P1 - Krovna podbranca IPE240
- P2 - Bočna podbranca IPE180
- GP - Gornji pojs CP-RHS100x100S
- GP1-2 - Donji pojs CP-RHS100x100S
- V1-4 - Vertikal CP-RHS40x40
- D1-6 - Diagonala CP-RHS60x60S

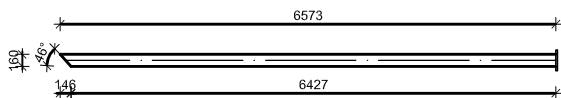
Napomena:  
Materijal konstruiran je od čelika S355.

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

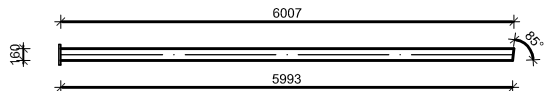
STUP (S) HEA 360, l=6291 mm, 22 kom



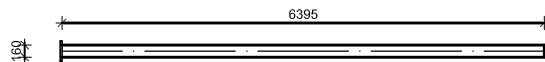
GORNJA POJASNICA (GP1) CFRHS 160/160/5, l=6573 mm 22 kom



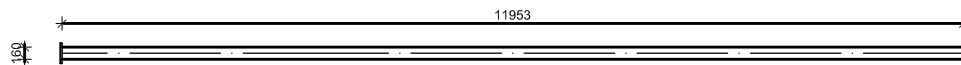
GORNJA POJASNICA (GP2) CFRHS 160/160/5, l=6007 mm, 22 kom



DONJA POJASNICA (DP1) CFRHS 160/160/5, l=6395 mm, 22 kom

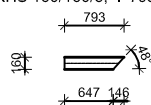


DONJA POJASNICA (DP2) CFRHS 160/160/5, l=11953 mm, 11 kom



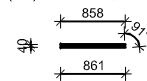
BOČNA POJASNICA (BP)

CFRHS 160/160/5, l=793 mm, 22 kom

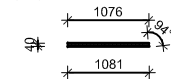


ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE CFRHS 40/40/4

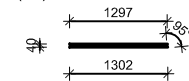
(V1) l=861 mm, 22 kom



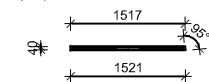
(V2) l=1081 mm, 22 kom



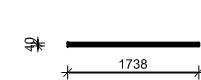
(V3) l=1302 mm, 22 kom



(V4) l=1521 mm, 22 kom



(V5) l=1738 mm, 22 kom

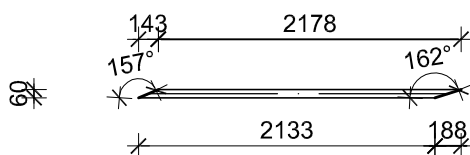


|                                                                                                                                                                                              |                              |                                      |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br/>GRADEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET<br/>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Osnove metalnih konstrukcija |                                      |                |
|                                                                                                                                                                                              | TEMA                         | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |                |
|                                                                                                                                                                                              | STUDENT                      | Vukadin Ana                          |                |
|                                                                                                                                                                                              | SADRŽAJ                      | Radionički nacrt                     | MJERILO 1:50   |
|                                                                                                                                                                                              | DATUM                        | lipanj 2019.                         | BROJ PRILOGA 3 |

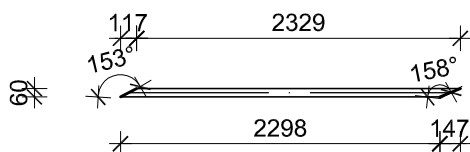
## 9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, DIJAGONALE CFRHS 60/60/5

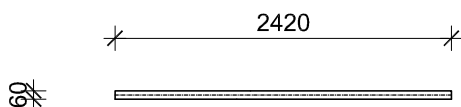
(D1) l=2321 mm, 22 kom



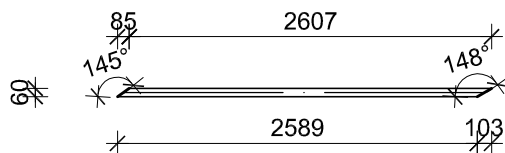
(D2) l=2446 mm, 22 kom



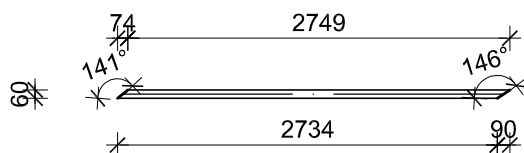
(D3) l=2420 mm, 22 kom



(D4) l=2692 mm, 22 kom



(D5) l=2824 mm, 22 kom



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT

Vukadin Ana

SADRŽAJ

Radionički nacrt

DATUM

lipanj 2019.

MJERILO

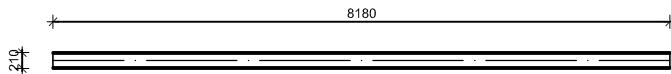
1:50

BROJ PRILOGA

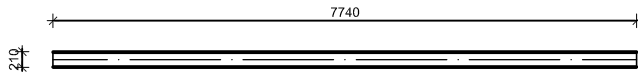
4

## 9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50

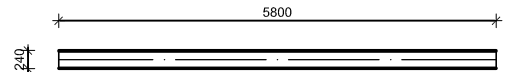
ZABATNI STUP (ZS1) HEA 220, l=8180 mm, 4 kom



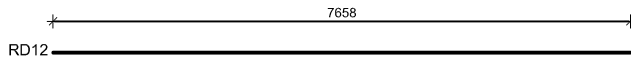
ZABATNI STUP (ZS2) HEA 220, l=7740 mm, 4 kom



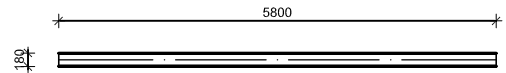
KROVNE PODROŽNICE (KP) IPE 240, l=5800 mm, 120 kom



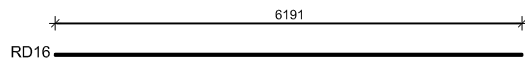
KROVNI SPREGOVI(KS) RD12, l=7658 mm, 20 kom



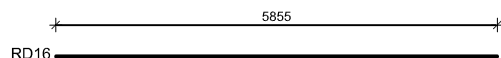
BOČNE PODROŽNICE (BP) IPE 180, l=5800 mm, 100 kom



BOČNI SPREGOVI(BS1) RD16, l=6191 mm, 24 kom

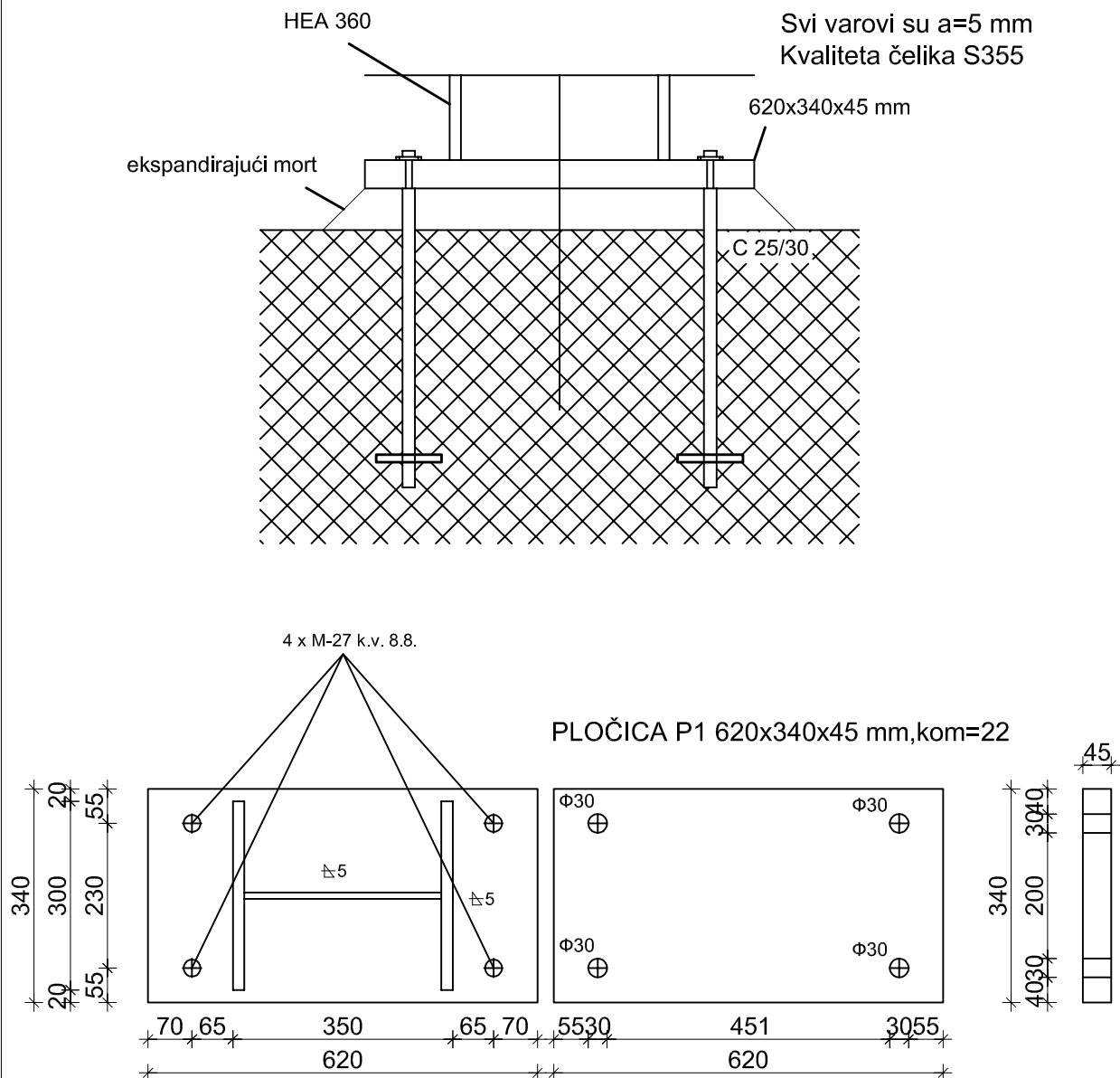


BOČNI SPREGOVI(BS2) RD16, l=5855 mm, 8 kom



|                                                                                                                                                                                        |                              |                                      |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Osnove metalnih konstrukcija |                                      |                |
|                                                                                                                                                                                        | TEMA                         | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |                |
|                                                                                                                                                                                        | STUDENT                      | Vukadin Ana                          |                |
|                                                                                                                                                                                        | SADRŽAJ                      | Radionički nacrt                     | MJERILO 1:50   |
|                                                                                                                                                                                        | DATUM                        | lipanj 2019.                         | BROJ PRELOGA 5 |

## 9.5 DETALJ "DE1" SPOJA STUP-TEMELJ M 1:10

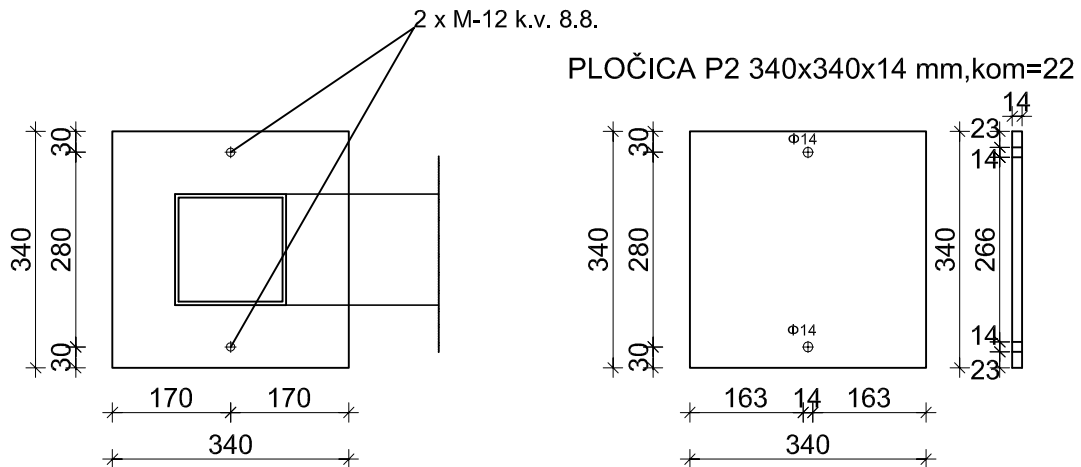
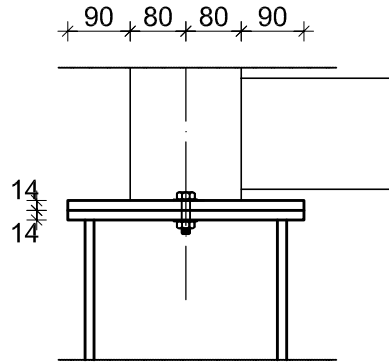


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

### Osnove metalnih konstrukcija

|          |                                      |              |      |
|----------|--------------------------------------|--------------|------|
| TEMA     | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |              |      |
| STUDENTI | Vukadin Ana                          |              |      |
| SADRŽAJ  | Detalj spoja stup-temelj             | MJERILO      | 1:10 |
| DATUM    | lipanj 2019.                         | BROJ PRILOGA | 6    |

## 9.6 DETALJ "DE2" SPOJ 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  
Vukadin Ana

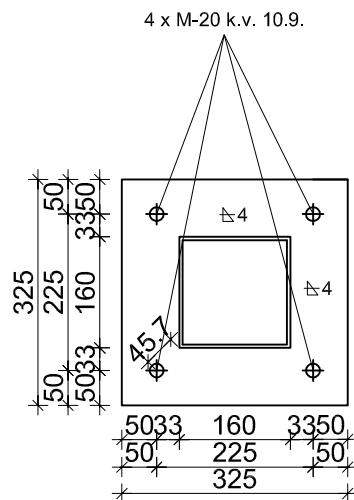
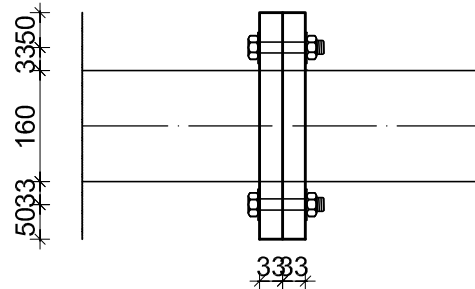
SADRŽAJ  
Spoj stup-rešetka

DATUM  
lipanj 2019.

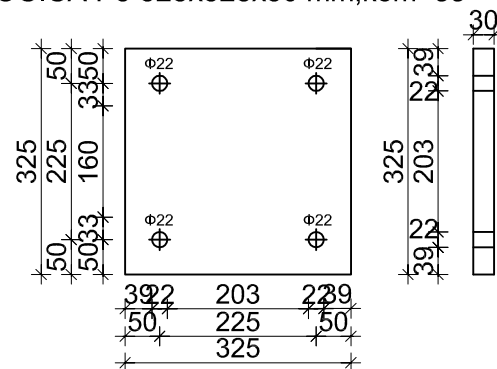
MJERILO  
1:10

BROJ PRILOGA  
7

## 9.7 DETALJ "DE3" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10



PLOČICA P3 325x325x30 mm, kom=88



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI

Vukadin Ana

SADRŽAJ

Vlačni nastavak rešetke

MJERILO

1:10

BROJ PRILOGA

8

DATUM

lipanj 2019.

# 10. TABLICA ISKAZA MATERIJALA

| TABLICA ISKAZA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU |            |             |        |                    |                    |
|--------------------------------------------------|------------|-------------|--------|--------------------|--------------------|
| POZICIJA                                         | PROFIL     | DUŽINA (mm) | KOMADA | JED. TEŽINA (kg/m) | UKUPNA TEŽINA (kg) |
| Stup (S)                                         | HEA360     | 6291        | 22     | 112,3              | 15542,54           |
| Donji pojas (DP1)                                | 160x160x5  | 6395        | 22     | 71,48              | 10056,52           |
| Donji pojas (DP2)                                | 160x160x5  | 11953       | 11     | 71,48              | 9398,40            |
| Gornji pojas (GP1)                               | 160x160x5  | 6573        | 22     | 71,48              | 10336,44           |
| Gornji pojas (GP2)                               | 160x160x5  | 6007        | 22     | 71,48              | 9446,37            |
| Vertikala (V1)                                   | 40x40x4    | 861         | 22     | 4,2                | 79,56              |
| Vertikala (V2)                                   | 40x40x4    | 1081        | 22     | 4,2                | 99,88              |
| Vertikala (V3)                                   | 40x40x4    | 1302        | 22     | 4,2                | 120,3              |
| Vertikala (V4)                                   | 40x40x4    | 1521        | 22     | 4,2                | 140,54             |
| Vertikala (V5)                                   | 40x40x4    | 1738        | 22     | 4,2                | 160,59             |
| Dijagonala (D1)                                  | 60x60x5    | 2321        | 22     | 8,13               | 415,13             |
| Dijagonala (D2)                                  | 60x60x5    | 2446        | 22     | 8,13               | 437,49             |
| Dijagonala (D3)                                  | 60x60x5    | 2420        | 22     | 8,13               | 432,84             |
| Dijagonala (D4)                                  | 60x60x5    | 2692        | 22     | 8,13               | 481,49             |
| Dijagonala (D5)                                  | 60x60x5    | 2824        | 22     | 8,13               | 505,10             |
| Bočni pojas (BP)                                 | 160x160x5  | 793         | 22     | 71,48              | 1247,04            |
| P1                                               | 620x340x45 | -           | 22     | 7850(kg/m³)        | 1638,23            |
| P2                                               | 340x340x14 | -           | 22     | 7850(kg/m³)        | 279,5              |
| P3                                               | 325x325x30 | -           | 88     | 7850(kg/m³)        | 2188,97            |
| Zablatni stup (ZS1)                              | HEA220     | 8180        | 4      | 50,48              | 1651,71            |
| Zablatni stup(ZS2)                               | HEA220     | 7740        | 4      | 50,48              | 1562,86            |
| K.spregovi(KS)                                   | RD12       | 7658        | 20     | 0,89               | 136,31             |
| B.spregovi(BS1)                                  | RD16       | 6191        | 24     | 1,58               | 234,76             |
| B.spregovi(BS2)                                  | RD16       | 5855        | 8      | 1,58               | 74,01              |
| K.podrožnice (KP)                                | IPE240     | 5800        | 120    | 30,69              | 21360,24           |
| B.podrožnice (BP)                                | IPE180     | 5800        | 100    | 18,76              | 10880,8            |
| Ukupno (kg)<br>+2,0% spojna sredstva             |            |             |        |                    | 98907,62<br>1978,2 |
| UKUPNO (kg)                                      |            |             |        |                    | 100885,82          |
| UKUPNO (kg/m²)                                   |            |             |        |                    | 69,6               |



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

## Osnove metalnih konstrukcija

|          |                                      |  |                |
|----------|--------------------------------------|--|----------------|
| TEMA     | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |  |                |
| STUDENTI | Vukadin Ana                          |  |                |
| SADRŽAJ  | Tablica iskaza materijala            |  | MJERILO 1:10   |
| DATUM    | lipanj 2019.                         |  | BROJ PRILOGA 9 |