

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

**Mikulić, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2014**

*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:123:025788>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

**Ivan Mikulić**

**PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE**  
**PROIZVODNE HALE**

**Završni rad**

**Split, 2014.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Ivan Mikulić

BROJ INDEKSA: 3941

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: Fe-360

Objekt se nalazi na području Rijeke.

Razmak okvira: 7,1 (m)

U Splitu, 22. rujna 2014.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Boko Ivica

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

### ***Sažetak:***

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

### ***Ključne riječi:***

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, dimenzioniranje.

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

### ***Abstract:***

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

### ***Keywords:***

Steel, hall, load-bearing construction, dimensioning.

**SADRŽAJ**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. TEHNIČKI OPIS.....</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>2.1. STALNO OPTEREĆENJE .....</b>                               | <b>9</b>  |
| 2.1.1. KROVNA PLOHA .....  | 9         |
| <b>2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE.....</b>                           | <b>10</b> |
| 2.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA .....                                    | 10        |
| 2.2.2. DJELOVANJE VJETRA .....                                     | 11        |
| <b>3. DIJAGRAMI UNUTRAŠNJIH SILA ZA POJEDINA DJELOVANJA .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3.1. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....</b>                           | <b>17</b> |
| <b>3.2. GLAVNA KONSTRUKCIJA .....</b>                              | <b>20</b> |
| 3.2.1. Vlastita težina konstrukcija.....                           | 20        |
| 3.2.2. Stalno opterećenje – krovna ploha.....                      | 21        |
| 3.2.3. Opterećenje snijegom – krovna ploha.....                    | 23        |
| 3.2.4. Opterećenje vjetrom W1 .....                                | 24        |
| 3.2.5. Opterećenje vjetrom W2 .....                                | 26        |
| <b>4. KONTROLA PROGIBA (GSU) .....</b>                             | <b>28</b> |
| <b>4.1. VERTIKALNI PROGIB U SREDINI DONJEG POJASA REŠETKE.....</b> | <b>28</b> |
| <b>4.2. HORIZONTALNI POMAK VRHA STUPA.....</b>                     | <b>29</b> |
| <b>5. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA .....</b>             | <b>30</b> |
| <b>5.1. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE.....</b>           | <b>30</b> |
| 5.1.1. KROVNE PODROŽNICE .....                                     | 30        |
| 5.1.2. BOČNE PODROŽNICE .....                                      | 47        |
| 5.1.3. KROVNI SPREGOVI .....                                       | 53        |
| 5.1.4. BOČNI SPREGOVI .....  | 54        |
| <b>5.2. DIMENZIONIRANJE STUPOVA KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA.....</b>    | <b>55</b> |
| <b>5.3. DIMENZIONIRANJE REŠETKE.....</b>                           | <b>63</b> |
| 5.3.1. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA REŠETKE .....                | 63        |
| 5.3.2. DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE .....                 | 65        |
| 5.3.3. DIMENZIONIRANJE VERTIKALE REŠETKE.....                      | 68        |
| 5.3.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALE REŠETKE .....                    | 70        |
| <b>6. PRORAČUN SPOJEVA .....</b>                                   | <b>73</b> |
| <b>6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ .....</b>         | <b>73</b> |
| <b>6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA.....</b>                | <b>79</b> |
| <b>6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA ŠTAPA REŠETKE .....</b>   | <b>82</b> |
| <b>7. DIMENZIONIRANJE TEMELJA .....</b>                            | <b>84</b> |
| <b>8. UKUPNA TEŽINA HALE I TEŽINA PO m<sup>2</sup> .....</b>       | <b>86</b> |
| <b>10. LITERATURA .....</b>  | <b>87</b> |

## 1. TEHNIČKI OPIS

### OPIS KONSTRUKCIJE:

Montažna hala nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimenzije su 19,0 x 7,1 (m), visina iznosi 7,87 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 4,02^\circ$ , što je ekvivalentno padu od 6,00%. Projektirana je za potrebe skladištenja.

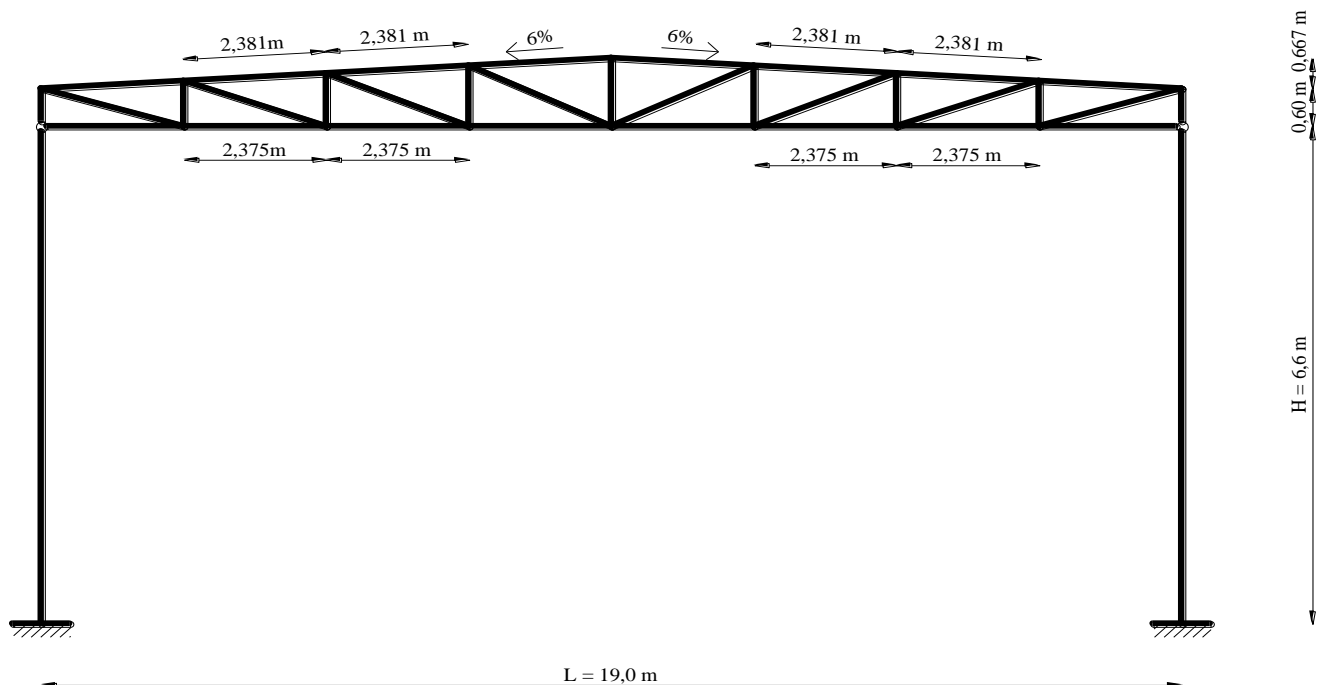
Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 11 ravninskih okvira raspona 19,00 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 7,10 (m).

Na gornje pojaseve se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,381 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 1,65(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.

### GEOMETRIJA GLAVNOG NOSAČA :



**KONSTRUKTIVNI ELEMENTI:*****Rešetka***

Proračunom su odabrani donji pojasevi profila 120x120x12 (mm), gornji pojasevi profila 100x100x10 (mm), vertikale 50x50x4 (mm) i dijagonale 70x70x8 (mm). Zbog maksimalne proizvodne dužine od 12,0 (m), donji pojas se sastoji iz dva dijela, jednog dužine 11500 (mm) i 455 (mm), gornji pojas izrađen je također iz dva dijela, duljina 1150 (mm) i 4556 (mm).

***Stupovi***

Proračunom su odabrani stupovi europskih širokopojasnih H profila HEB 340 ukupne dužine 6550 (mm).

***Podrožnice***

Proračunom su odabrane podrožnice europskih širokopojasnih H profila HEA 200.

***Sekundarni bočni nosači***

Proračunom su odabrani sekundarni bočni nosači profila HEA 180.

***Spregovi***

Kao dijagonale krovnih i bočnih spregova odabrane su čelične sajle  $\Phi$  32 mm i  $\Phi$  34 mm

**SPOJEVI:*****Vlačni nastavak rešetke***

Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 250x250x13 (mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M20; k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

***Stup – rešetka***

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 505x320x17 (mm) i vijcima M16; k.v. 4,6 nosivim na vlak i odrez.

***Stup – temelj***

Spoj se izvodi sa dvije podrožnom dimenzija 750x350x40 (mm) navarenim na kraj stupa i pričvršćenim vijcima M30; k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

**O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE:**

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

- stalno (vlastita težina okvira, sekundarna konstrukcija, instalacije),
- snijeg
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 8,1 (m) širine krovne plohe.

Odgovarajući koeficijenti za vjetar I snijeg uzeti su iz propisanih tablica. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „SCIA 2014“

### **MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE**

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika Fe-360 (S 235).

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C20/25, s betonskim čelikom B500B kao armaturom.

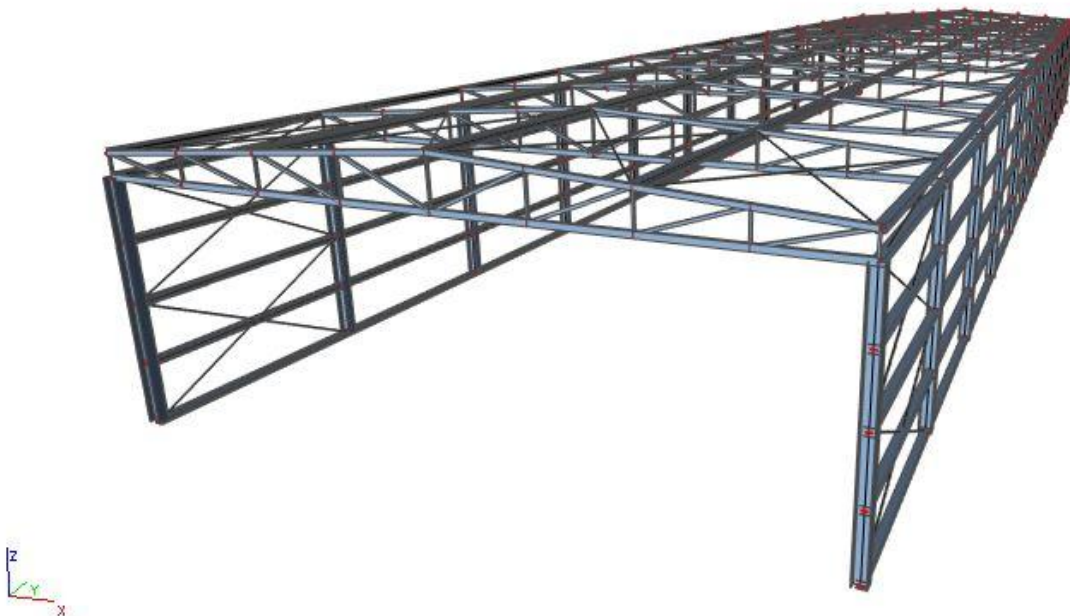
### **ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije.

Kao vrsta zaštite od korozije koristi se zaštita premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200  $\mu\text{m}$ .

### **ZAŠTITA OD POŽARA**

Svi elementi moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature, s ciljem što veće zaštite od požara. Također je potrebno opremiti objekt za slučaj nastanka požara uređajima za najavu požara kao i opremom za njegovo gašenje.





## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. STALNO OPTEREĆENJE

#### 2.1.1. KROVNA PLOHA

-sendvič paneli (aluminij):  $g=0,15 \text{ kN/m}^2$

-sekundarna konstrukcija i spregovi:  $g=0,20 \text{ kN/m}^2$

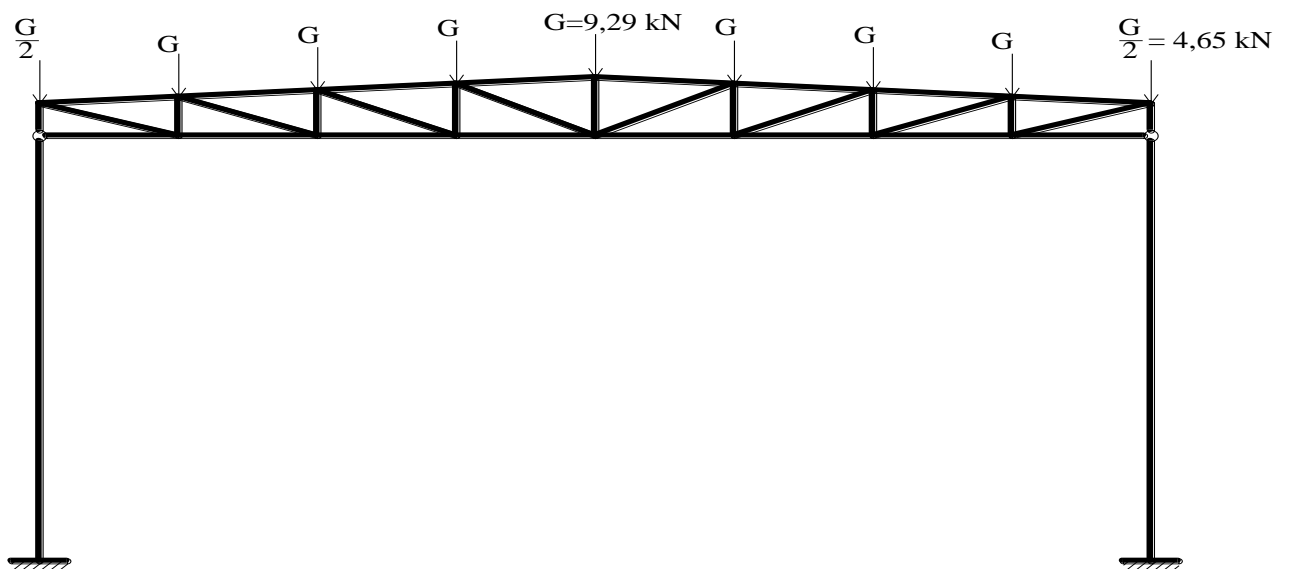
-instalacije:  $g=0,20 \text{ kN/m}^2$

**Ukupno :  $g = 0,55 \text{ kN/m}^2$**

$$a = \frac{2,38}{\cos \alpha} = \frac{2,38}{\cos 3,44} = 2,38 \text{ m}$$

$$G = g \cdot a \cdot l = 0,55 \cdot 2,38 \cdot 7,1 = 9,29 \text{ kN}$$

opterećenje čvorova:



## 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

### 2.2.1. DJELOVANJE SNJEGA

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k (\text{kN/m}^2)$$

$$C_e = C_t = 1,0$$

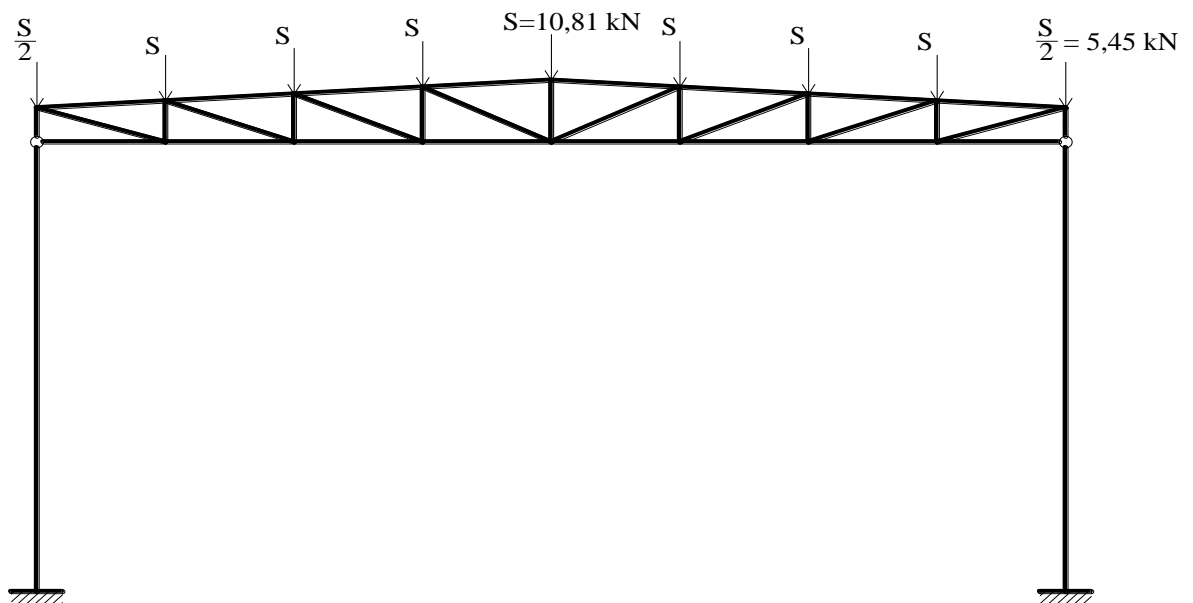
$$S_k = 0,55 \text{ kN/m}^2 - \text{očitano za područje C (120 mn.m.) - Rijeka}$$

$$\mu_i = 0,8 \text{ za kut } 4^\circ$$

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,55 = 0,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$S = s \cdot a \cdot l = 0,44 \cdot 2,38 \cdot 7,1 = 7,38 \text{ kN}$$

opterećenje čvorova:



**2.2.2. DJELOVANJE VJETRA**

vanjski pritisak  $\rightarrow w_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe}$

unutarnji pritisak  $\rightarrow w_i = q_{ref} \cdot C_e(Z_i) \cdot C_{pi}$

Referentni pritisak vjetra

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 24,09^2 = 705,6 \frac{N}{m^2} = 0,706 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$$

$$v_{ref} = v_{ref,0} \cdot C_{DIR} \cdot C_{TEM} \cdot C_{ALT} = 30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,12 = 33,6 \frac{m}{s}$$

$$C_{DIR} = C_{TEM} = 1,0$$

$$C_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot 120 = 1,12$$

$$v_{ref,0} = 30,0 \frac{m}{s} \rightarrow \text{očitano za Rijeka (II. vjetrovna zona)}$$

Nadmorska visina = 120 m n.m.

Koef. izloženosti

Očitano za regija P-7, kategorija zemljišta 3, visina objekta 7,87 m

$$C_e(Z_e) = C_e(Z_i) = 2,0$$

Koef. unutarnjeg tlaka

$$C_{pi} = \pm 0,3$$

koef. vanjskog tlaka:

$$\text{SMJER VJETRA } \Theta = 0^\circ$$

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{7,1 \cdot 10 = 71 ; 2 \cdot 7,87 = 15,74\} = 15,74m$$

za nagib  $3.44^\circ$

| PODRUČJE | $C_{pe,10}$ |
|----------|-------------|
| F        | -1,7        |
| G        | -1,2        |
| H        | -0,6        |
| I=J      | -0,3        |
| D        | +0,8        |
| E        | -0,3        |

Pritisak vjetra na unutrašnje površine:

$$W_i = q_{ref} \cdot C_e(Z_i) \cdot C_{pi} = 0,706 \cdot 2,0 \cdot (\pm 0,3) = \pm 0,424 \frac{kN}{m^2}$$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

$$W_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe} = 0,362 \cdot 2,0 \cdot C_{pe} = 1,412 \cdot C_{pe} \frac{kN}{m^2}$$

| PODRUČJE      | F      | G      | H      | I=J    | D      | E      |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $C_{pe,10}$   | -1,7   | -1,2   | -0,6   | -0,3   | +0,8   | -0,3   |
| $W_e(kN/m^2)$ | -2,400 | -1,694 | -0,847 | -0,424 | +1,130 | -0,424 |

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

Vjetar **W1-pozitivni** unutarnji pritisak ( $C_{pi}=+0,3$ )

| PODRUČJE      | F      | G      | H      | I=J    | D      | E      |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $W_e(kN/m^2)$ | -2,400 | -1,694 | -0,847 | -0,424 | +1,130 | -0,424 |
| $W_i$         | +0,424 | +0,424 | +0,424 | +0,424 | +0,424 | +0,424 |
| $W_k$         | -2,824 | -2,118 | -1,271 | -0,848 | +0,706 | -0,848 |

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

| PODRUČJE      | F      | G      | H      | I=J    | D      | E      |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $W_e(kN/m^2)$ | -2,400 | -1,694 | -0,847 | -0,424 | +1,130 | -0,424 |
| $W_i$         | -0,424 | -0,424 | -0,424 | -0,424 | -0,424 | -0,424 |
| $W_k$         | -1,976 | -1,270 | -0,424 | 0      | +1,554 | 0      |

Za proračun uzimamo srednji glavni nosač!

Vjetar W1

$$W_1 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-2,118) = -17,89kN$$

$$W_2 = 0,384 \cdot 7,1 \cdot (-2,118) + 1,991 \cdot 7,1 \cdot (-1,271) = -23,74kN$$

$$W_3 = W_4 = 2,375 \cdot 7,1 \cdot (-1,271) = -21,43kN$$

$$W_5 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-1,271) + 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-0,848) = -17,90kN$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = 2,375 \cdot 7,1 \cdot (-0,848) = -14,30kN$$

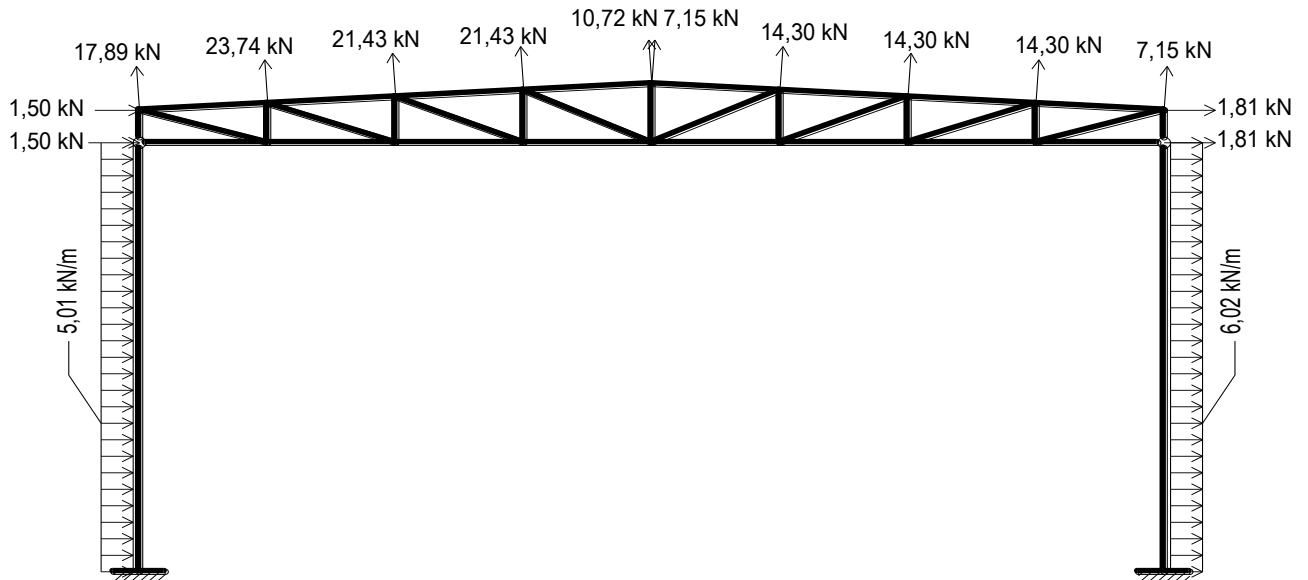
$$W_9 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-0,848) = -7,16kN$$

$$W_D = 0,3 \cdot 7,1 \cdot (0,706) = 1,50kN$$

$$W_E = 0,3 \cdot 7,1 \cdot (-0,848) = -1,81kN$$

$$W_{q2D} = 0,706 \cdot 7,1 = 5,01 \text{ kN}$$

$$W_{q2E} = (-0,848) \cdot 7,1 = -6,02 \text{ kN}$$



### Vjetar W2

$$W_1 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-1,270) = -10,73 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,384 \cdot 7,1 \cdot (-1,270) + 1,991 \cdot 7,1 \cdot (-0,424) = -9,46 \text{ kN}$$

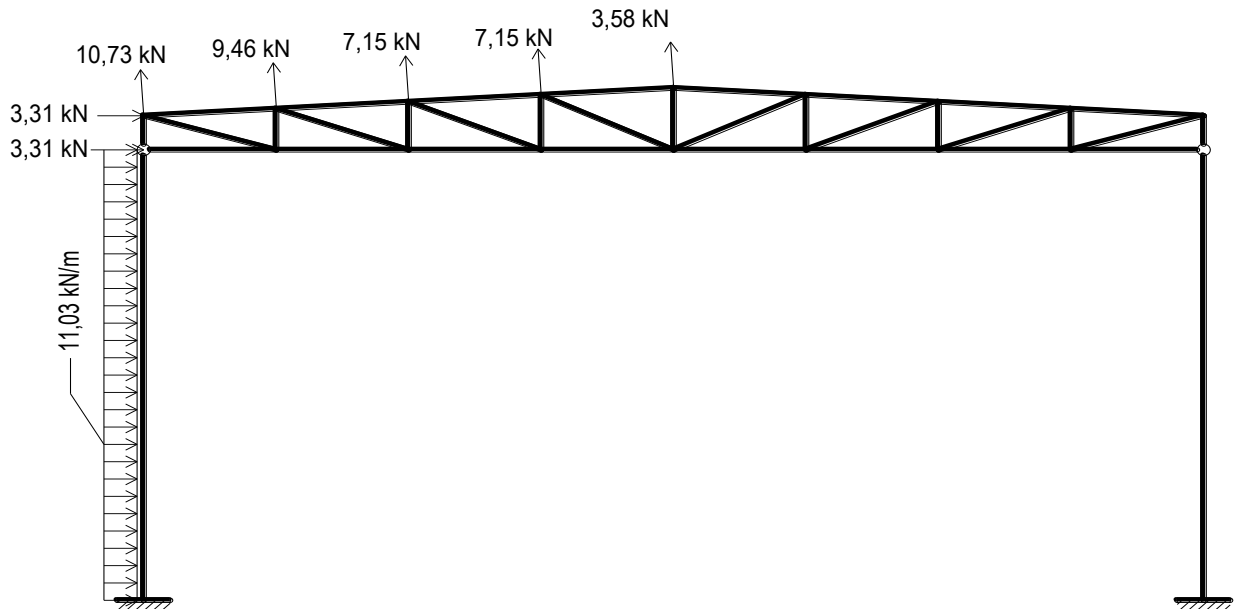
$$W_3 = W_4 = 2,375 \cdot 7,1 \cdot (-0,424) = -7,15 \text{ kN}$$

$$W_5 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-0,424) = -3,58 \text{ kN}$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = W_9 = 0 \text{ kN}$$

$$W_D = 1,554 \cdot 7,1 \cdot 0,3 = -3,31 \text{ kN}$$

$$W_{q1D} = 1,554 \cdot 7,1 = -11,03 \text{ kN}$$



## KROVNE PODROŽNICE

$$G = g * 2,381 = 0,55 * 2,381 = 1,31 \text{ kN/m}$$

$$S = s * 2,381 = 0,64 * 2,381 = 1,52 \text{ kN/m}$$

Vjetar W1

$$W_1 = 1,19 \cdot (-2,118) = -2,52 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,384 \cdot (-2,118) + 1,991 \cdot (-1,271) = -3,34 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_4 = 2,375 \cdot (-1,271) = -3,02 \text{ kN}$$

$$W_5 = 1,19 \cdot (-1,271) + 1,19 \cdot (-0,848) = -2,52 \text{ kN}$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = 2,375 \cdot (-0,848) = -2,01 \text{ kN}$$

$$W_9 = 1,19 \cdot (-0,848) = -1,01 \text{ kN}$$

Vjetar W2

$$W_1 = 1,19 \cdot (-1,270) = -1,51 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,384 \cdot (-1,270) + 1,991 \cdot (-0,424) = -1,33 \text{ kN}$$

$$W_3 = W_4 = 2,375 \cdot (-0,424) = -1,01 \text{ kN}$$

$$W_5 = 1,19 \cdot (-0,424) = -0,50 \text{ kN}$$

$$W_6 = W_7 = W_8 = W_9 = 0 \text{ kN}$$

Uzdužna sila:

-pritisak vjetra na zabat

Za područje D  $C_{pe} = +0,8$

$$w_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe} = 0,706 \cdot 2,0 \cdot 0,8 = 1,13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$w_k = 1,13 + 0,424 = 1,554 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_k = w_k \cdot A_z = w_k \cdot \frac{h \cdot l}{2} = 1,554 \cdot \frac{7,87 \cdot 4,762}{2} = 29,12 \text{ kN}$$

-sila od trenja vjetra po krovu

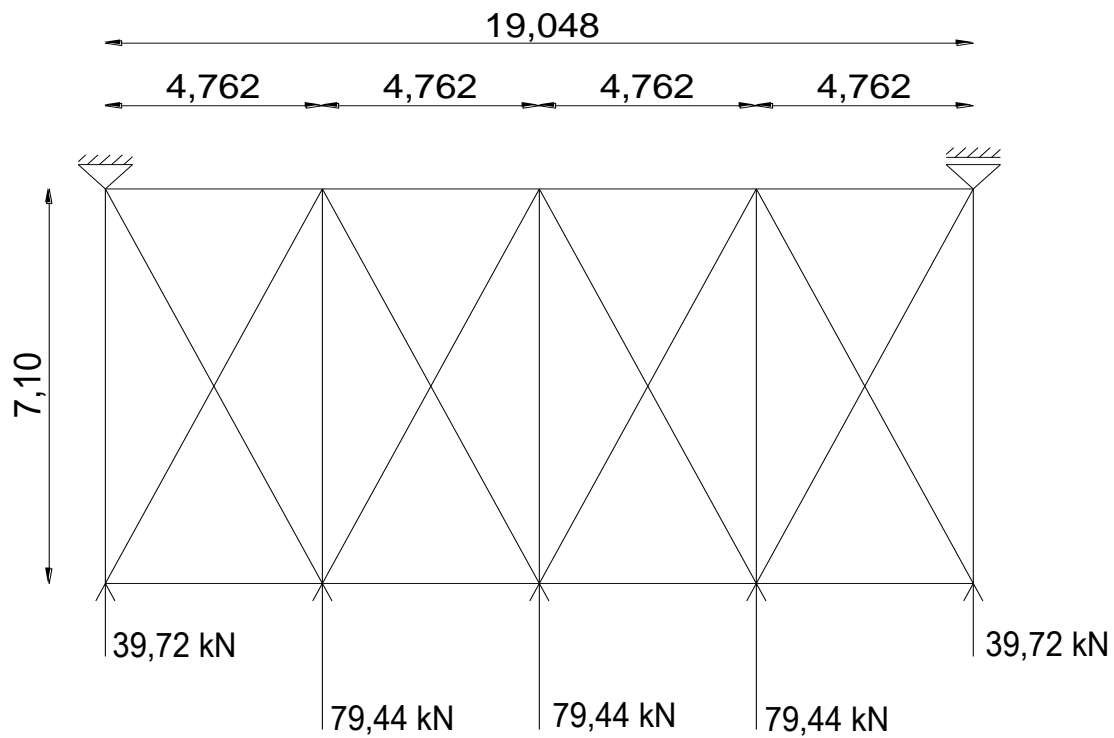
$$w_{fr} = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{fr} = 0,706 \cdot 2,0 \cdot 0,1 = 0,141 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$W_{fr} = w_{fr} \cdot A_{fr} = w_{fr} \cdot \frac{d \cdot l}{2} = 0,141 \cdot \frac{71 \cdot 4,762}{2} = 23,84 \text{ kN}$$

-ukupna sila

$$F = \gamma \cdot (W_k + W_{fr}) = 1,5 \cdot (29,12 + 23,84) = 79,44 \text{ kN}$$

$$\frac{F}{2} = \frac{79,44}{2} = 39,72 \text{ kN}$$

**BOČNE PODROŽNICE:**

Vjetar 1:

$$\text{Područje D: } W(D) = w_{k,D} * 1,65 = 0,706 * 1,61 = 1,14 \text{ kN/m'}$$

$$\text{Područje E: } W(E) = w_{k,E} * 1,65 = -0,848 * 1,61 = -1,37 \text{ kN/m'}$$

Vjetar 2:

$$\text{Područje D: } W(D) = w_{k,D} * 1,65 = 1,554 * 1,61 = 2,50 \text{ kN/m'}$$

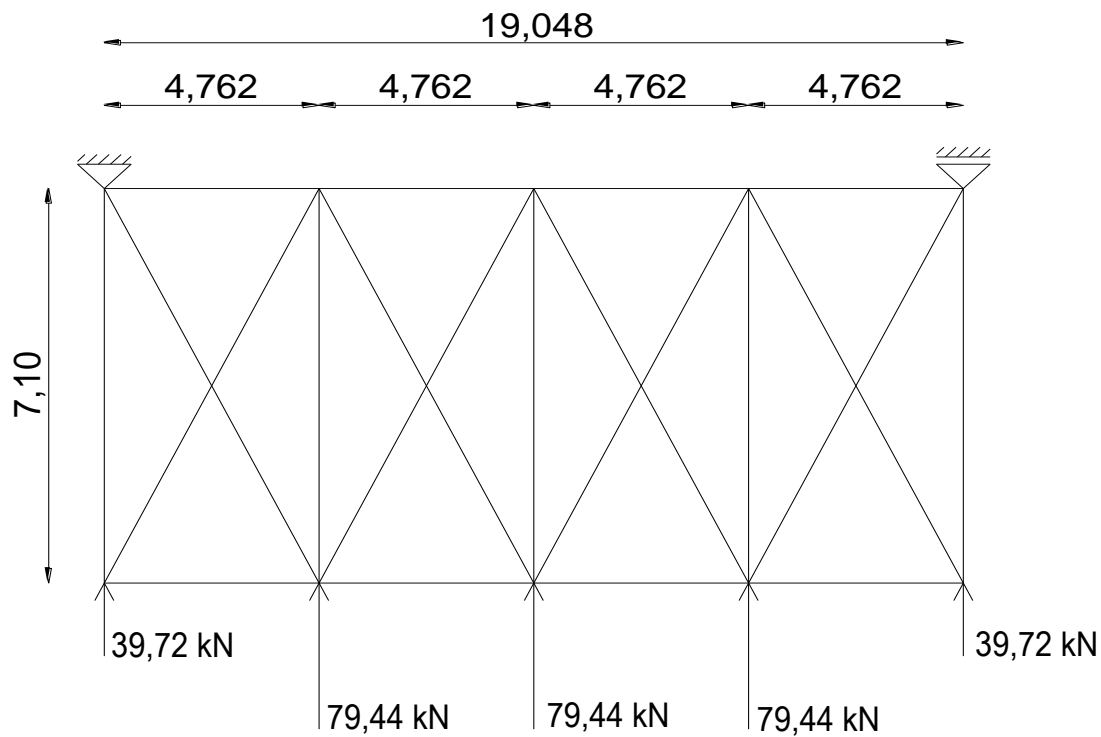
$$\text{Područje E: } W(E) = w_{k,E} * 1,65 = 0 * 1,61 = 0 \text{ kN/m'}$$



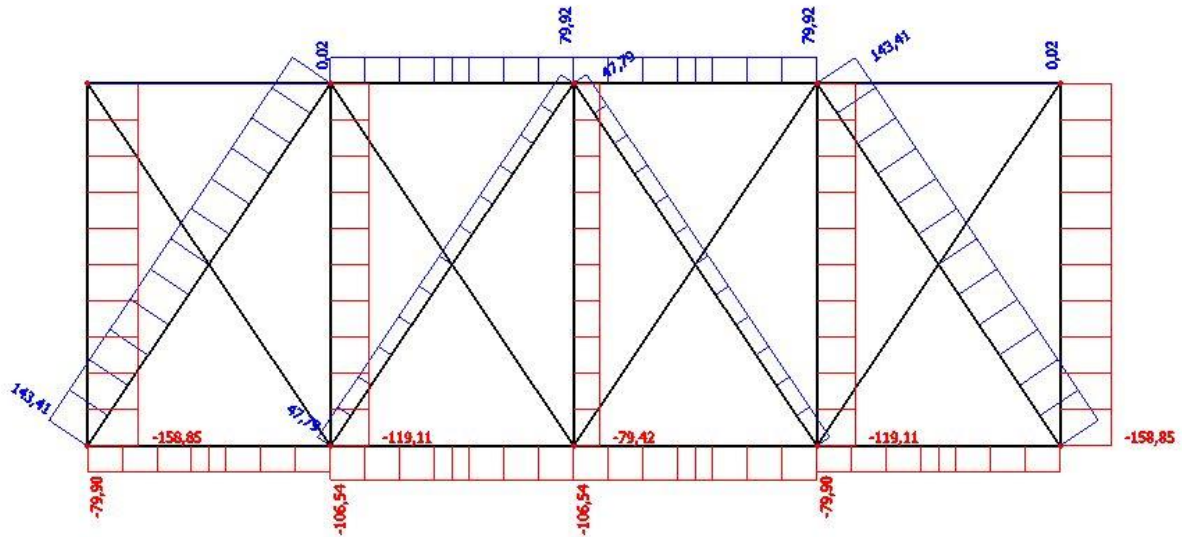
### 3. DIJAGRAMI UNUTRAŠNJIH SILA ZA POJEDINA DJELOVANJA

#### 3.1. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

Krovne podrožnice i spregovi:

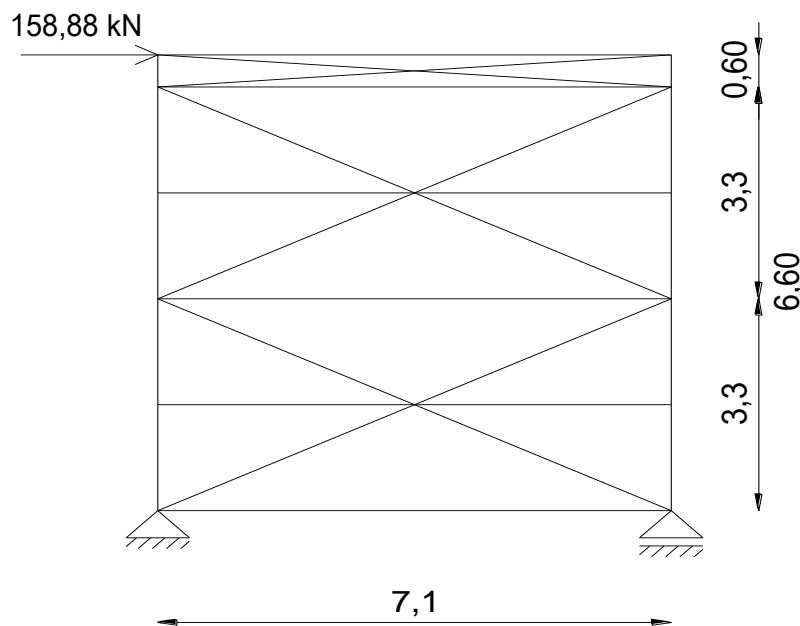


Slika 3.1.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje

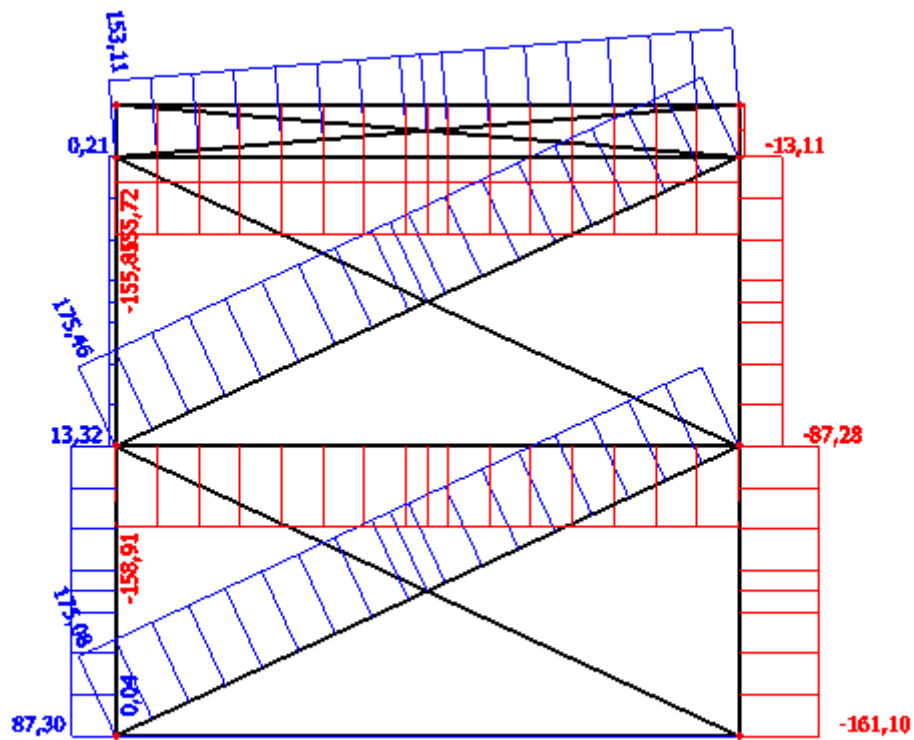


Slika 3.1.2. Uzdužne sile u podrožnicama i spregovima

Bočni spregovi:



Slika 3.1.3. Raspored bočnih spregova i opterećenje

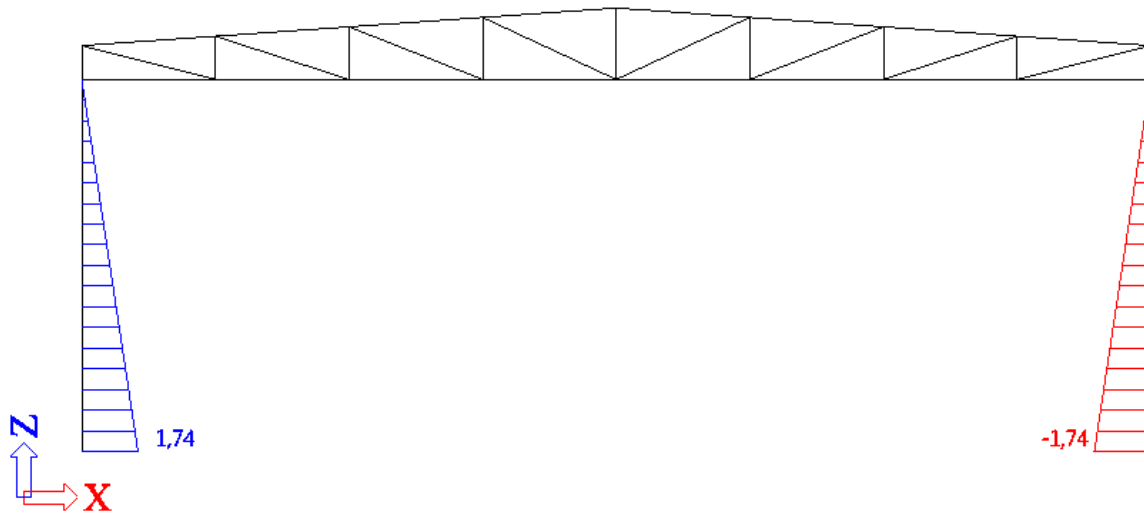


Slika 3.1.4. Maksimalne uzdužne sile u bočnim spregovima

### 3.2.GLAVNA KONSTRUKCIJA

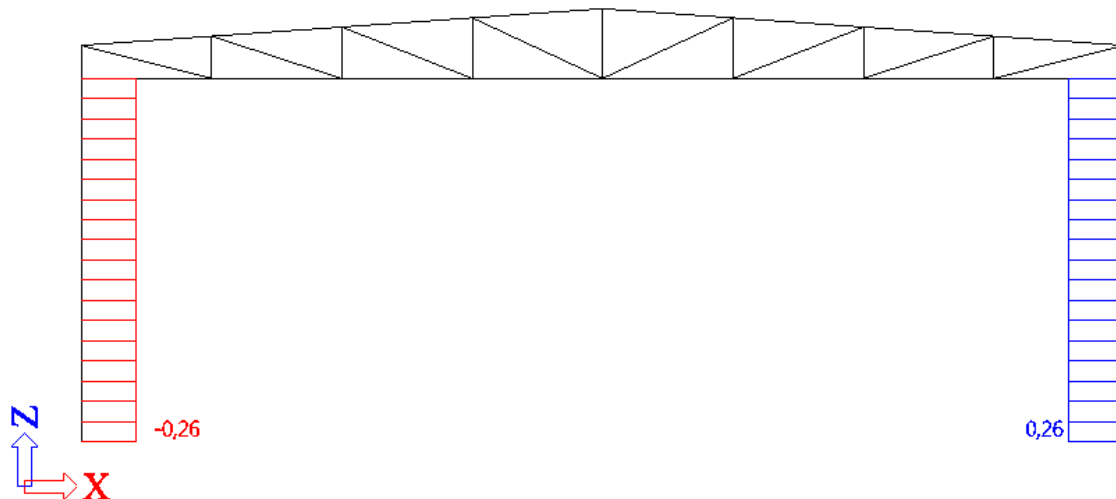
#### 3.2.1. Vlastita težina konstrukcija

M (kNm)



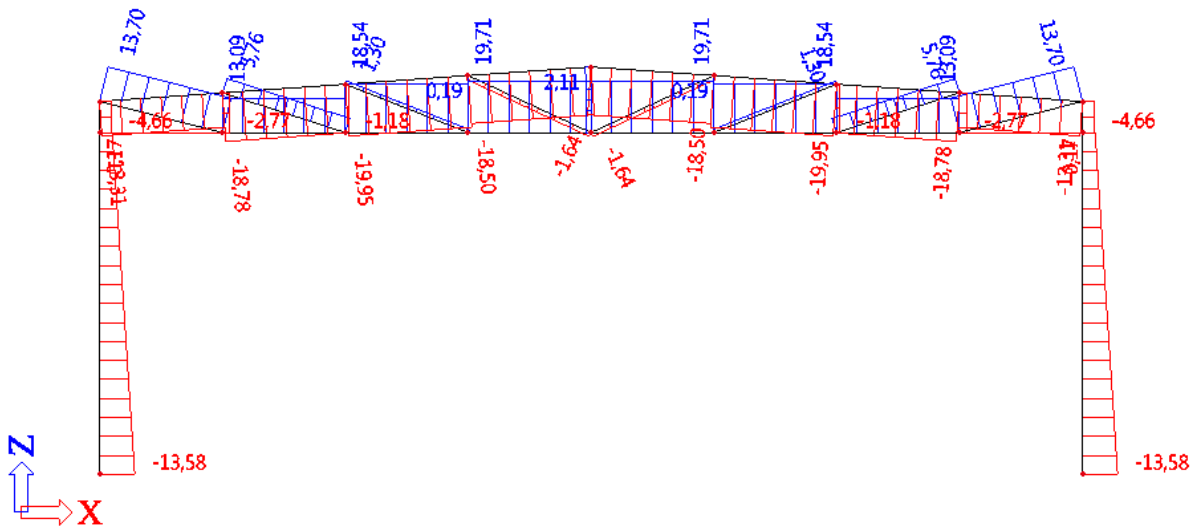
Slika 3.2.1. Momentni dijagram vlastite težine konstrukcije

V (kN)



Slika 3.2.2. Dijagram poprečnih sila vlastite težine konstrukcije

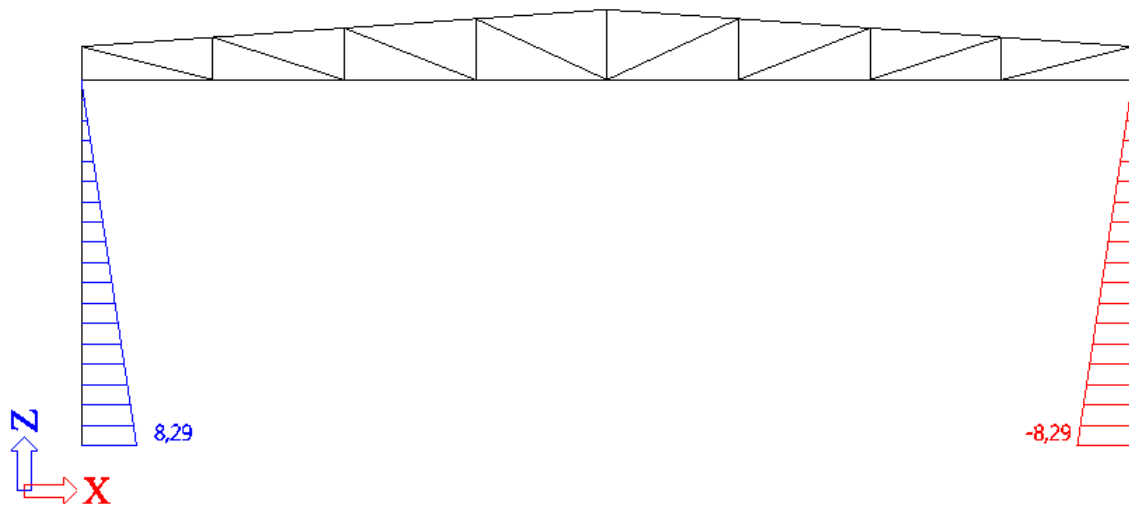
N (kN)



Slika 3.2.3. Dijagram uzdužnih sila vlastite težine konstrukcije

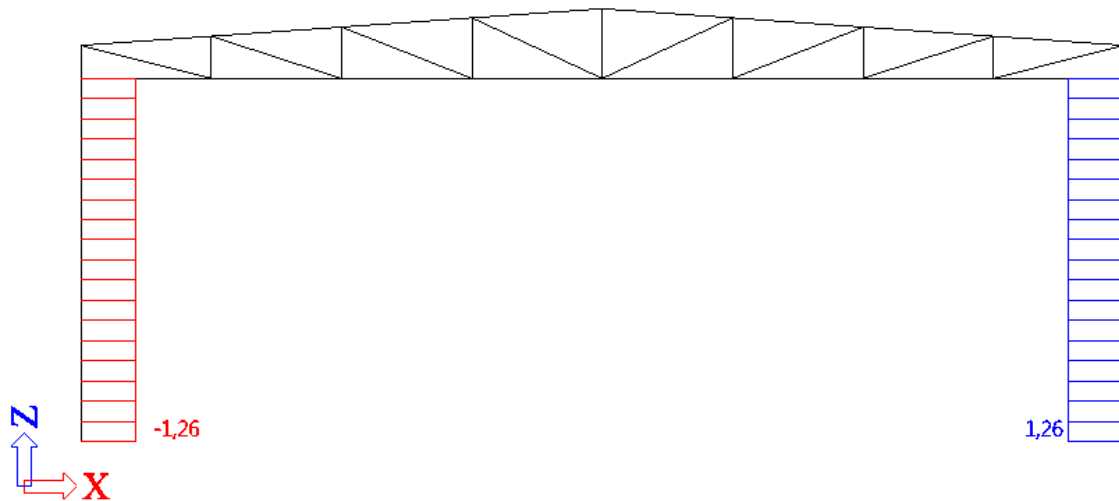
### 3.2.2. Stalno opterećenje – krovna ploha

M (kNm)



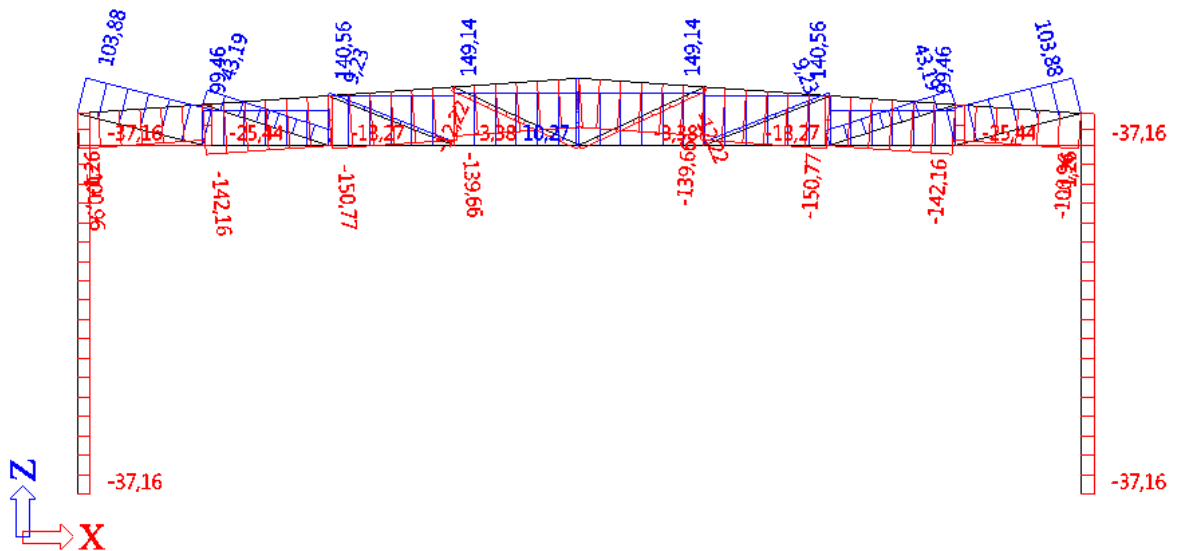
Slika 3.2.4. Momentni dijagram stalnog opterećenja

V (kN)



Slika 3.2.5. Dijagram poprečnih sila stalnog opterećenja

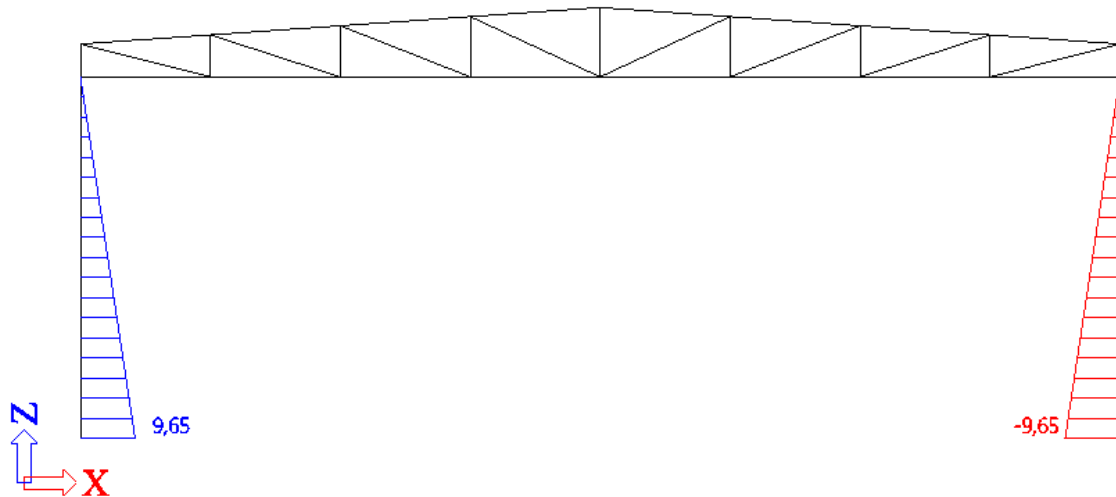
N (kN)



Slika 3.2.6. Dijagram uzdužnih sila stalnog opterećenja

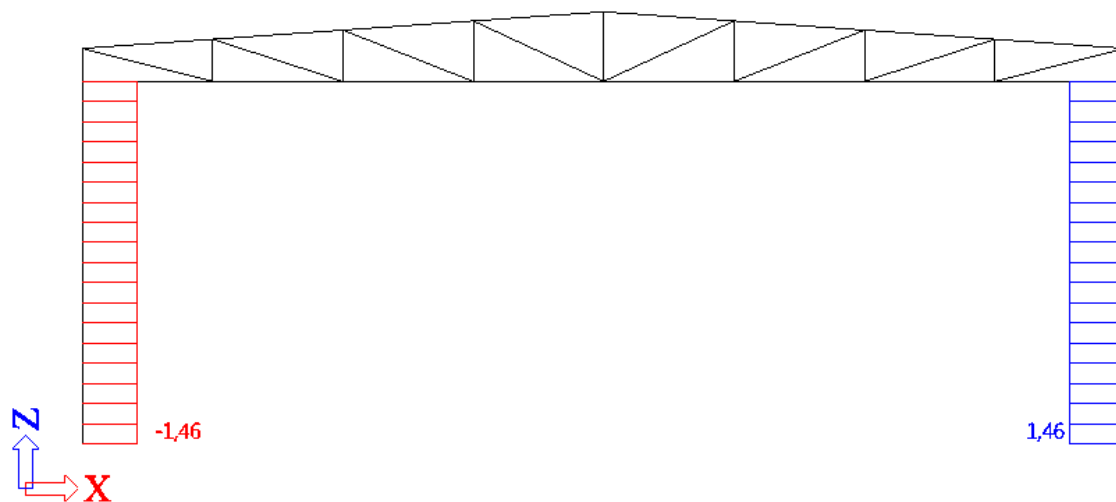
### 3.2.3. Opterećenje snijegom – krovna ploha

M (kNm)



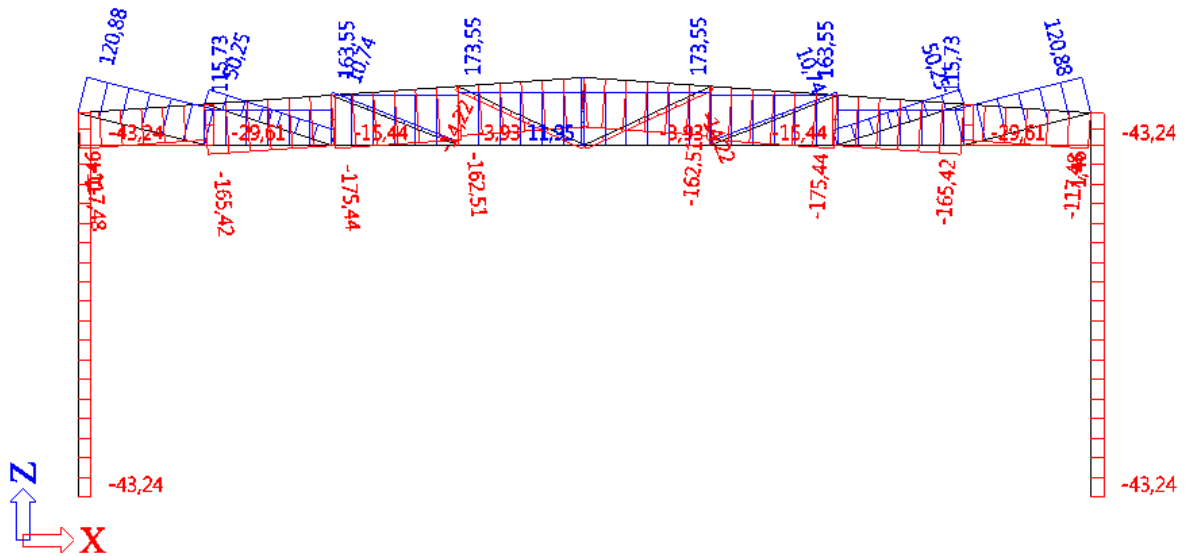
Slika 3.2.7. Momentni dijagram opterećenja snijegom

V (kN)



Slika 3.2.8. Dijagram poprečnih sila opterećenja snijegom

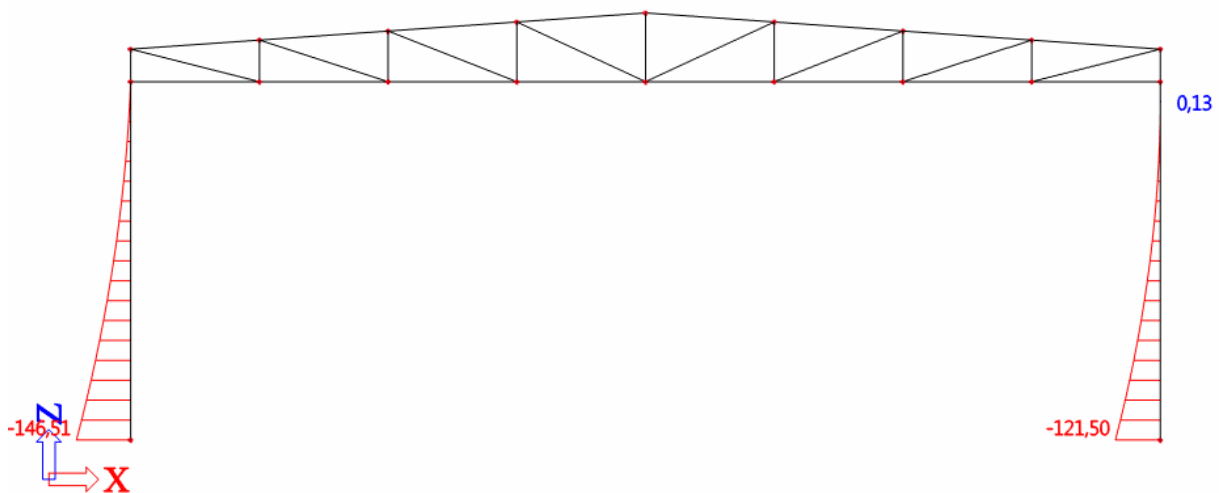
N (kN)



Slika 3.2.9. Dijagram uzdužnih sila opterećenja snijegom

### 3.2.4. Opterećenje vjetrom W1

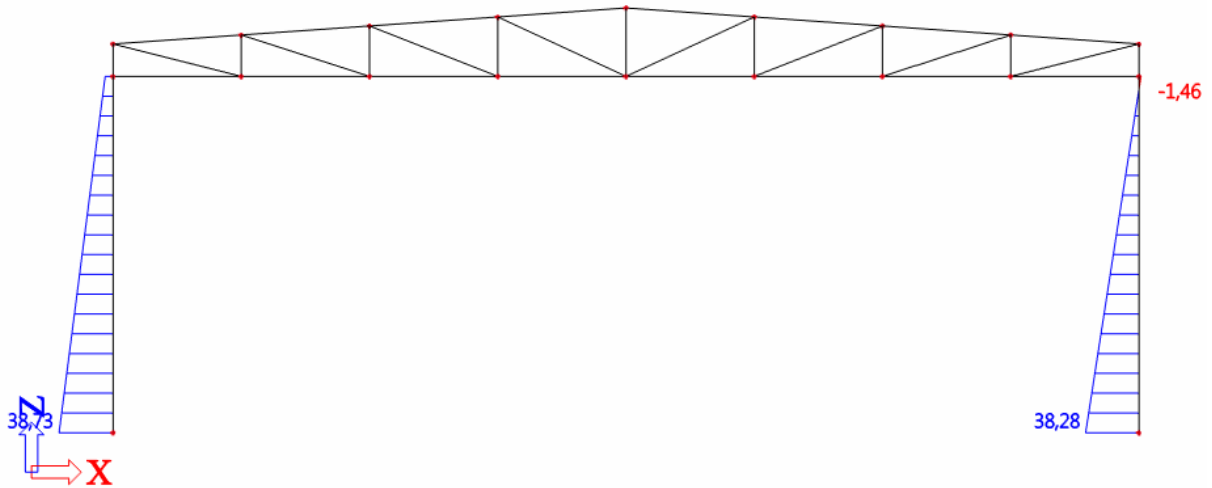
M (kNm)



Slika 3.2.10. Momentni dijagram opterećenja vjetrom W1

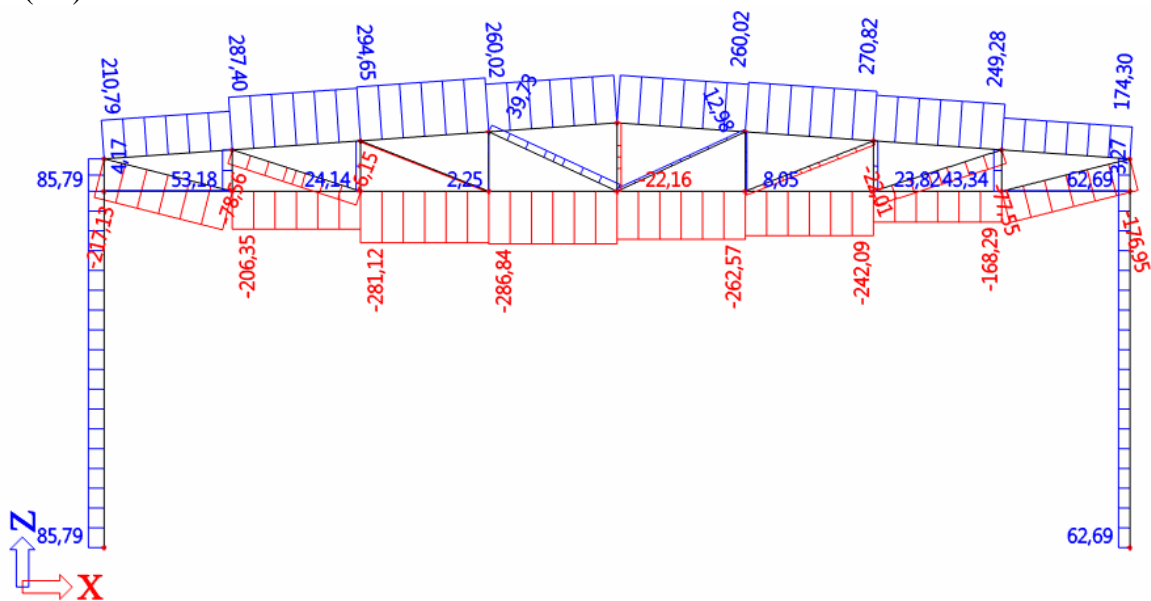


V (kN)



Slika 3.2.11. Dijagram poprečnih sila opterećenja vjetrom W1

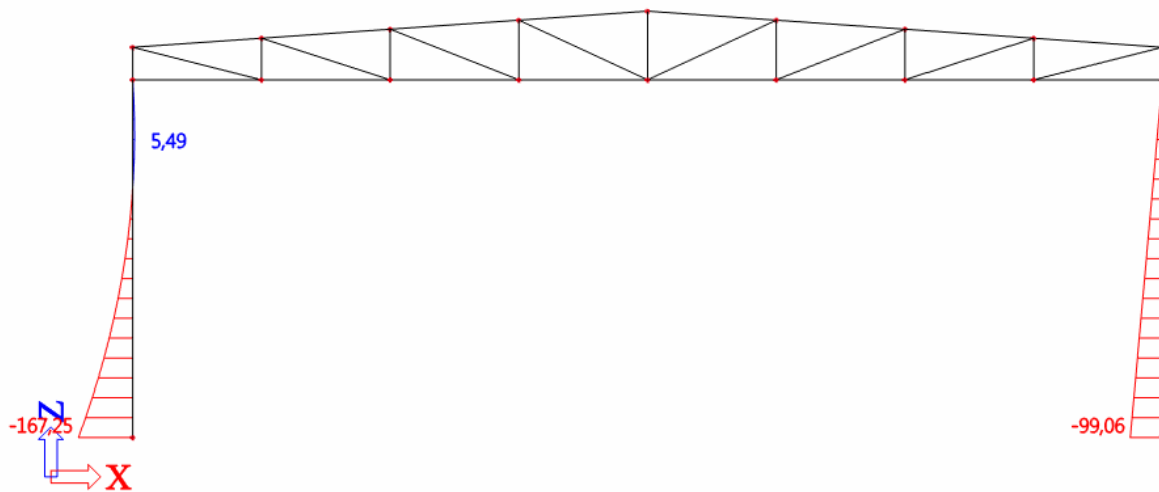
N (kN)



Slika 3.2.12. Dijagram uzdužnih sila opterećenja vjetrom W1

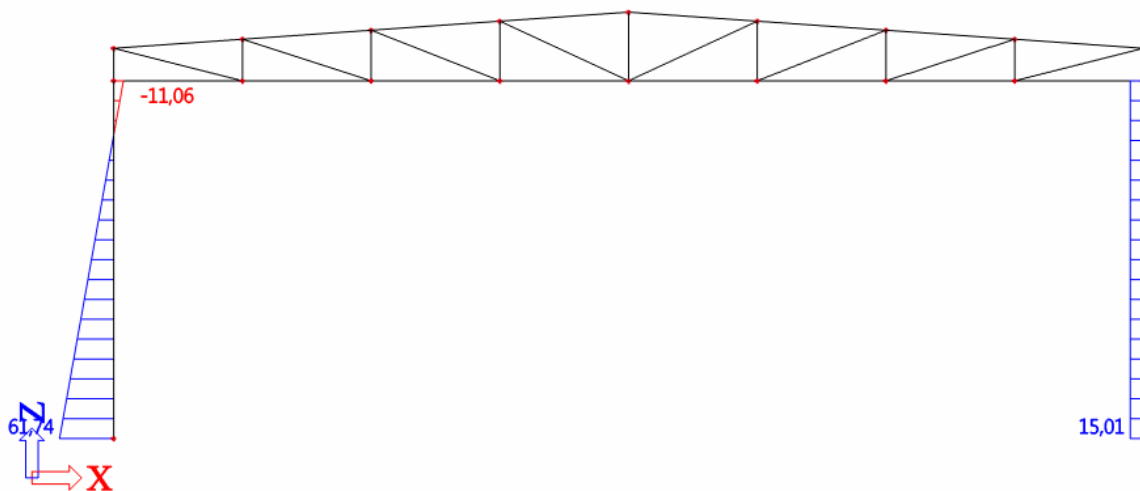
### 3.2.5. Opterećenje vjetrom W2

M (kNm)



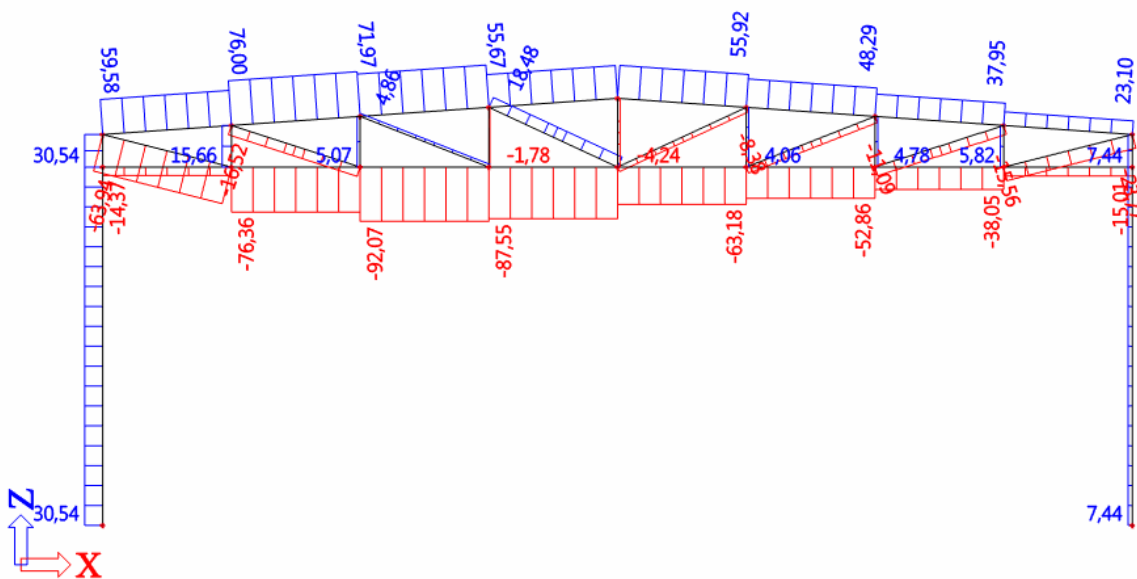
Slika 3.2.13. Momentni dijagram opterećenja vjetrom W2

V (kN)



Slika 3.2.14. Dijagram poprečnih sila opterećenja vjetrom W2

N (kN)



Slika 3.2.15. Dijagram uzdužnih sila opterećenja vjetrom W2

#### 4. KONTROLA PROGIBA (GSU)

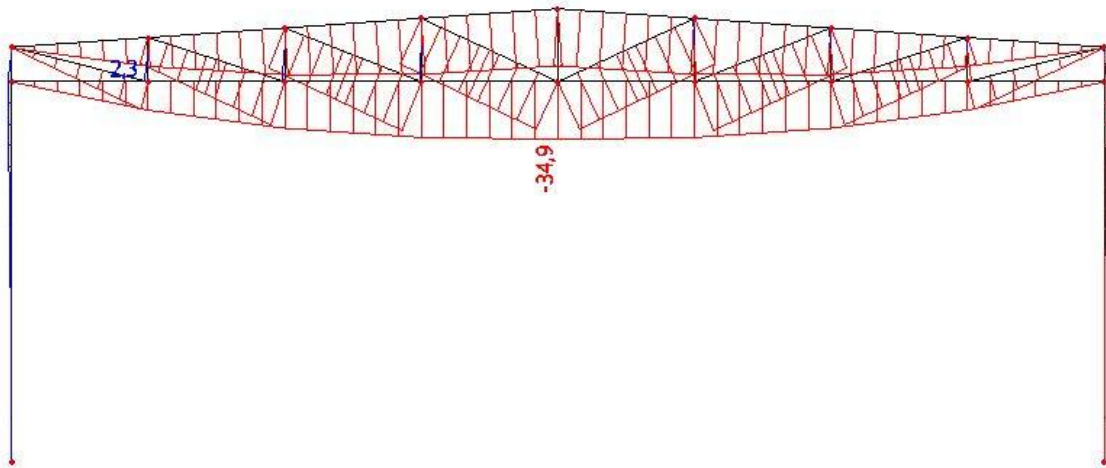
Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini koji ne smije prekoračiti vrijednost od  $L/150$ , pri čemu je  $L$  duljina donjeg pojasa rešetke i horizontalni pomak na vrhu stupa koji ne smije prekoračiti vrijednost  $H/250$  pri čemu je  $H$  visina stupa. Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU su jednaki jedinici.

##### 4.1. VERTIKALNI PROGIB U SREDINI DONJEG POJASA REŠETKE

Mjerodavna kombinacija (1.00\* vl. težina + 1.00\*stalni teret + 1.00\*snijeg):

Prikaz plana pomaka za navedenu kombinaciju :

*Napomena* : vrijednost progiba u mm



*Slika 4.1.1. Vertikalni pomak rešetke*

Najveći progib  $\delta_{\max}=3,49$  cm je manji od dopuštenog  $L/300=1900/300=6,33$  cm !

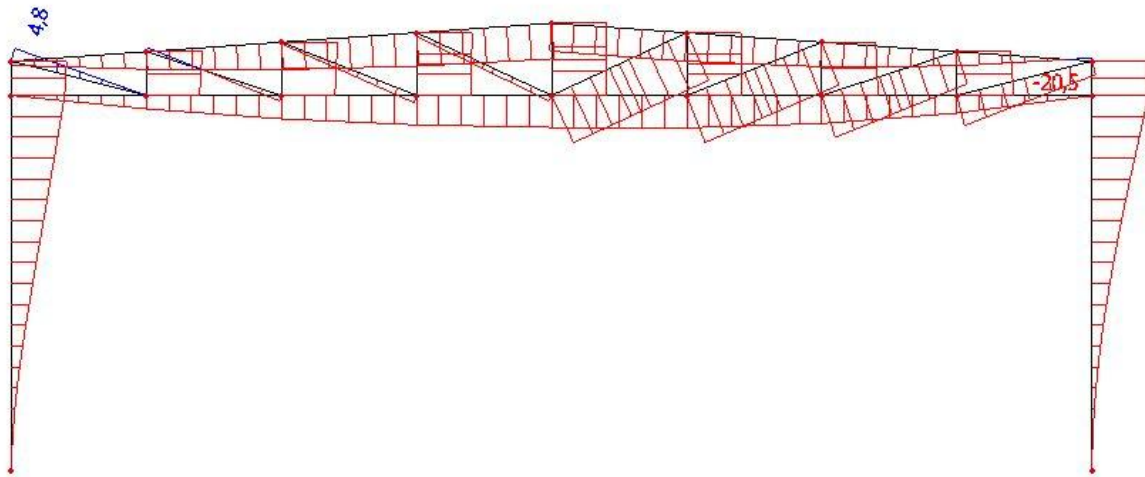
Iskoristivost 55,1 %.

## 4.2. HORIZONTALNI POMAK VRHA STUPA

Mjerodavna kombinacija (1.00\* vl. težina + 1.00\*stalni teret + 1.00\*vjetar W2):

Prikaz plana pomaka za navedenu kombinaciju :

*Napomena* : vrijednost pomaka u mm



*Slika 4.2.1. Horizontalni pomak rešetke*

Najveći pomak  $\delta_{\max}=2,05$  cm je manji od dopuštenog  $H/300=660/300=2,2$  cm !

Iskoristivost 93,18 %.

**Granično stanje uporabljivosti je zadovoljeno !**

## 5. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA

### 5.1. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

#### 5.1.1. KROVNE PODROŽNICE

**1. kritična kombinacija** ( $1,35X_{\text{stalno opterećenje}} + 1,5X_{\text{snijeg}}$ ):

$$M_y = k \cdot \left( \frac{G}{2} \cos 4,02 \cdot 1,35 + \frac{S}{2} \cos 4,02 \cdot 1,5 \right) \cdot L^2$$

$$M_y = 0,1057 \cdot (0,66 \cos 4,02 \cdot 1,35 + 0,76 \cos 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2 = 10,79 \text{ kNm}$$

$$V_z = k_R \cdot \left( \frac{G}{2} \cos 4,02 \cdot 1,35 + \frac{S}{2} \cos 4,02 \cdot 1,5 \right) \cdot L$$

$$V_z = 1,1341 \cdot (0,66 \cos 4,02 \cdot 1,35 + 0,76 \cos 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 16,31 \text{ kN}$$

$$M_z = k \cdot \left( \frac{G}{2} \sin 4,02 \cdot 1,35 + \frac{S}{2} \sin 4,02 \cdot 1,5 \right) \cdot L^2$$

$$M_z = 0,1057 \cdot (0,66 \sin 4,02 \cdot 1,35 + 0,76 \sin 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2 = 0,8 \text{ kNm}$$

$$V_y = k_R \cdot \left( \frac{G}{2} \sin 4,02 \cdot 1,35 + \frac{S}{2} \sin 4,02 \cdot 1,5 \right) \cdot L$$

$$V_y = 1,1341 \cdot (0,66 \sin 4,02 \cdot 1,35 + 0,76 \sin 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 1,15 \text{ kN}$$

**Mjerodavna 2. kritična kombinacija**(1,00Xstalno opterećenje + 1,5Xvjetar):

$$M_y = k \cdot \left( -\frac{G}{2} \cos 3,43 \cdot 1,00 + W \cdot 1,5 \right) \cdot L^2$$

$$M_y = 0,1057 \cdot (-0,66 \cos 4,02 \cdot 1,00 + 3,34 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2 = 23,19 \text{ kNm}$$

$$V_z = k_R \cdot \left( -\frac{G}{2} \cos 4,02 \cdot 1,00 + W \cdot 1,5 \right) \cdot L$$

$$V_z = 1,1341 \cdot (-0,66 \cos 4,02 \cdot 1,00 + 3,34 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 35,04 \text{ kN}$$

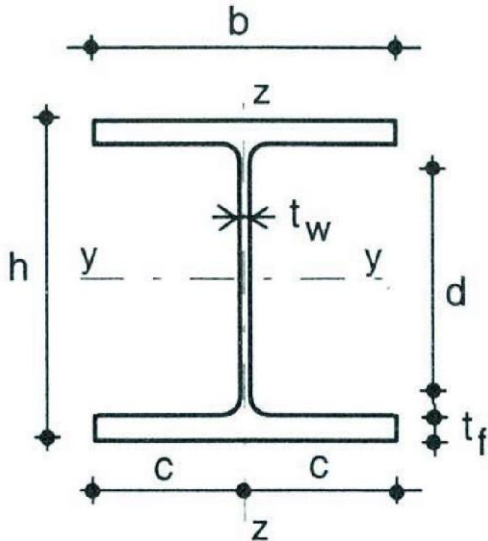
$$M_z = k \cdot \left( \frac{G}{2} \sin 4,02 \cdot 1,35 \right) \cdot L^2$$

$$M_z = 0,1057 \cdot (0,66 \sin 4,02 \cdot 1,35) \cdot 7,1^2 = 0,33 \text{ kNm}$$

$$V_y = k_R \cdot \left( \frac{G}{2} \sin 4,02 \cdot 1,35 \right) \cdot L$$

$$V_y = 1,1341 \cdot (0,66 \sin 4,02 \cdot 1,35) \cdot 7,1 = 0,50 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 158,12 \text{ kN (tlak)}$$

|   |                           |
|---|---------------------------|
|  | $M_{y,sd} = 23,19kNm$     |
|   | $V_{z,sd} = 35,04kN$      |
|   | $M_{z,sd} = 0,33kNm$      |
|   | $V_{y,sd} = 0,50kN$       |
|   | $N_{sd} = 158,12kN(tlak)$ |

| Odabrani profil          | HEA 200                 |                            |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Tip poprečnog presjeka   | valjani                 |                            |
| Površina pop. presjeka   | <b>A</b>                | 54,68 cm <sup>2</sup>      |
|                          | <b>A<sub>z</sub></b>    | 13,83cm <sup>2</sup>       |
|                          | <b>A<sub>y</sub></b>    | 41,75cm <sup>2</sup>       |
| Momenti tromosti:        | <b>I<sub>y</sub></b>    | 3712,62cm <sup>4</sup>     |
|                          | <b>I<sub>z</sub></b>    | 1335,71 cm <sup>4</sup>    |
| Momenti otpora:          | <b>W<sub>el,y</sub></b> | 390,8 cm <sup>3</sup>      |
|                          | <b>W<sub>pl,y</sub></b> | 433,1 cm <sup>3</sup>      |
|                          | <b>W<sub>el,z</sub></b> | 133,57 cm <sup>3</sup>     |
|                          | <b>W<sub>pl,z</sub></b> | 204,17 cm <sup>3</sup>     |
| Radijusi tromosti:       | <b>i<sub>y</sub></b>    | 8,24 cm                    |
|                          | <b>i<sub>z</sub></b>    | 4,94 cm                    |
| Konstanta krivljenja     | <b>I<sub>w</sub></b>    | 108000,0cm <sup>6</sup>    |
| Torzijska konstanta      | <b>I<sub>t</sub></b>    | 22,2 cm <sup>4</sup>       |
| Visina presjeka          | <b>h</b>                | 190,0 mm                   |
| Širina pojasnice         | <b>b</b>                | 200,0 mm                   |
| Debljina pojasnice       | <b>t<sub>f</sub></b>    | 10,0 mm                    |
| Ravni dio hrpta          | <b>d</b>                | 134,0 mm                   |
| Debljina hrpta           | <b>t<sub>w</sub></b>    | 7,0 mm                     |
| <b>Osnovni materijal</b> |                         |                            |
| Granica popuštanja       | <b>f<sub>y</sub></b>    | 235,0 N/mm <sup>2</sup>    |
| Vlačna čvrstoća          | <b>f<sub>u</sub></b>    | 360,0 N/mm <sup>2</sup>    |
| Modul elastičnosti       | <b>E</b>                | 210000,0 N/mm <sup>2</sup> |
| Poissonov koeficijent    | <b>v</b>                | 0,3                        |



**Klasifikacija poprečnog presjeka****Hrbat**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134,0}{7} = 19,14 < 33 \quad \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{158,12}{2 \times 7,0 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,53 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{13,4} \times \left( \frac{13,4}{2} + 5,3 \right) = 0,89$$

$$\alpha = 0,89 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,89 - 1} = 37,26 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

**Pojasnica**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{100,0}{10,0} = 10,0; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{200}{2} = 100$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

**Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu I.**

**Otpornost poprečnog presjeka****Uzdužna sila  $N_{sd}$** 

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{54,68 \times 23,5}{1,1} = 1168,19 \text{ kN} \geq N_{sd} = 158,12 \text{ kN}$$

**Moment savijanja  $M_{y,sd}$** 

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{433,1 \times 23,5}{1,1} = 92,53 \text{ kNm} \geq M_{y,sd} = 23,19 \text{ kNm}$$

**Moment savijanja  $M_{z,sd}$** 

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{204,17 \times 23,5}{1,1} = 43,62 \text{ kNm} \geq M_{z,sd} = 0,33 \text{ kNm}$$

**Poprečna sila  $V_{y,sd}$** 

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{41,75 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 514,96 \text{ kN} \geq V_{y,sd} = 0,50 \text{ kN}$$

**Poprečna sila  $V_{z,sd}$** 

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19,14 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{13,29 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 163,92 \text{ kN} \geq V_{z,sd} = 39,97 \text{ kN}$$

**Interakcija M - N - V**

$$\left( \frac{M_{N.V.y,Rd}}{M_{y,Rd}} \right) = 1,0$$

$$M_{N,V,Y,Rd} = 92,53 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{N.V.Z,Rd}}{M_{Z,Rd}} \right) = 1,0$$

$$M_{N,V,Z,Rd} = 43,62 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{y,Sd}}{M_{N.V.Y.,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z,Sd}}{M_{N.V.Z.,Rd}} \right) = \left( \frac{23,19}{92,53} \right)^2 + \left( \frac{0,33}{43,62} \right) = 0,070 < 1,0$$

### Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

#### Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku:

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:  $l_{iy} = 710 \text{ cm}$   $l_{iz} = 710 \text{ cm}$

Efektivna vitkost:  $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{710}{8,24} = 86,17$  ;  $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{710}{94} = 143,66$

Svedena vitkost:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \quad ; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{86,17}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,918$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{143,66}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,53$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 10 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Os y-y → mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_y = 0,918$

Os z-z → mjerodavna linija izvijanja c:  $\bar{\lambda}_z = 1,53$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,6499$  ;  $\chi_z = 0,3051 \rightarrow \chi_{\min} = 0,3051$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 0,3051 \times 1168,19 = 356,43 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 158,12 \text{ kN} < 356,43 \text{ kN}$$

**Otpornost elemenata na bočno izvijanje**

$$- g = -\frac{h}{2} = -\frac{19,0}{2} = 9,50 \text{ cm}; \quad L=710 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$k=1,0; \quad k_w=1,0; \quad C_1=1,285; \quad C_2=1,562$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 281,52 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,60 \geq 0,4; \quad (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a:  $\chi_{LT} = 0,8695$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 82,3 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$23,19 \text{ kNm} < 82,3 \text{ kNm}$$

**Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\beta_{M,y} = 1,8 - 0,7 \cdot \psi = 1,8$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}) = 1,8 + \frac{20,75}{29,51} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \times (2 \times \beta_M - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = -0,259 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1,049$$

$$k_y = 1,049 \leq 1,5$$

$$\beta_{M,z} = 1,8 - 0,7 \cdot \psi = 1,8$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,z} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,z}) = 1,8 + \frac{0,36}{0,52} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z \times (2 \times \beta_M - 4) + \frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}} = -0,083 \leq 0,9$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \times N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_z} = 1,034 < 1,5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{158,12}{0,6499 \times \frac{53,8 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,05 \times 23,19 \times 100}{\frac{433,1 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,03 \times 0,33}{\frac{204,17 \times 23,5}{1,1}} =$$

$$0,48 \leq 1,0$$

**Interakcija M-N zadovoljava**

**Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_M - 0,15 = 0,15 \cdot 1,53 \cdot 1,45 - 0,15 = 0,183 \leq 0,9$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}) = 1,8 + \frac{20,75}{29,51} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{0,183 \times 182,12}{0,8895 \times 54,48 \times 23,5} = 0,926 < 1,0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{158,12}{0,3051 \times \frac{54,68 \times 23,5}{1,1}} + \frac{0,926 \times 23,19 \times 100}{0,8895 \times \frac{433,1 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,034 \times 0,33}{\frac{204,17 \times 23,5}{1,1}} = 0,712 < 1,0$$

Iskoristivost = 71,2%

Za krovne podrožnice usvajamo presjek HEA 200

**2. Srednji nosač max. Moment savijanja, manja uzdužna sila****1. kritična kombinacija** (*1,35Xstalno opterećenje + 1,5Xsnijeg*):

$$M_y = k \cdot (G \cos 4,02 \cdot 1,35 + S \cos 4,02 \cdot 1,5) \cdot L^2$$

$$M_y = 0,1057 \cdot (1,31 \cos 4,02 \cdot 1,35 + 1,52 \cos 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2 = 21,52 \text{ kNm}$$

$$V_z = k_R \cdot (G \cos 4,02 \cdot 1,35 + S \cos 4,02 \cdot 1,5) \cdot L$$

$$V_z = 1,1341 \cdot (1,31 \cos 4,02 \cdot 1,35 + 1,52 \cos 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 32,52 \text{ kN}$$

$$M_z = k \cdot (G \sin 4,02 \cdot 1,35 + S \sin 4,02 \cdot 1,5) \cdot L^2$$

$$M_z = 0,1057 \cdot (1,31 \sin 4,02 \cdot 1,35 + 1,52 \sin 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2 = 1,51 \text{ kNm}$$

$$V_y = k_R \cdot (G \sin 4,02 \cdot 1,35 + S \sin 4,02 \cdot 1,5) \cdot L$$

$$V_y = 1,1341 \cdot (1,31 \sin 4,02 \cdot 1,35 + 1,52 \sin 4,02 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 2,29 \text{ kN}$$

**Mjerodavna 2. kritična kombinacija**(*1,00Xstalno opterećenje + 1,5Xvjedar*):

$$M_y = k \cdot (-G \cos 4,02 \cdot 1,00 + W \cdot 1,5) \cdot L^2$$

$$M_y = 0,1057 \cdot (-1,31 \cos 4,02 \cdot 1,00 + 3,34 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2 = 19,73 \text{ kNm}$$

$$V_z = k_R \cdot (-G \cos 4,02 \cdot 1,00 + W \cdot 1,5) \cdot L$$

$$V_z = 1,1341 \cdot (-1,31 \cos 4,02 \cdot 1,00 + 3,34 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 29,82 \text{ kN}$$

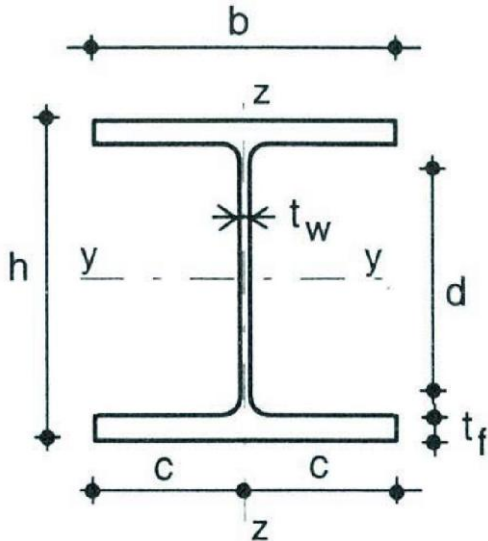
$$M_z = k \cdot (G \sin 4,02 \cdot 1,35) \cdot L^2$$

$$M_z = 0,1057 \cdot (1,31 \sin 4,02 \cdot 1,35) \cdot 7,1^2 = 0,66 \text{ kNm}$$

$$V_y = k_R \cdot (G \sin 4,02 \cdot 1,35) \cdot L$$

$$V_y = 1,1341 \cdot (1,31 \sin 4,02 \cdot 1,35) \cdot 7,1 = 1,00 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 118,16 \text{ kN}(\text{tlak})$$

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
|  | $M_{y,sd} = 19,73kNm$            |
|   | $V_{z,sd} = 29,82kN$             |
|   | $M_{z,sd} = 0,66kNm$             |
|   | $V_{y,sd} = 1,00kN$              |
|   | $N_{sd} = 118,16kN(\text{tlak})$ |

| Odabrani profil          | HEA 200                 |                            |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Tip poprečnog presjeka   | valjani                 |                            |
| Površina pop. presjeka   | <b>A</b>                | 54,68 cm <sup>2</sup>      |
|                          | <b>A<sub>z</sub></b>    | 13,83cm <sup>2</sup>       |
|                          | <b>A<sub>y</sub></b>    | 41,75cm <sup>2</sup>       |
| Momenti tromosti:        | <b>I<sub>y</sub></b>    | 3712,62cm <sup>4</sup>     |
|                          | <b>I<sub>z</sub></b>    | 1335,71 cm <sup>4</sup>    |
| Momenti otpora:          | <b>W<sub>el,y</sub></b> | 390,8 cm <sup>3</sup>      |
|                          | <b>W<sub>pl,y</sub></b> | 433,1 cm <sup>3</sup>      |
|                          | <b>W<sub>el,z</sub></b> | 133,57 cm <sup>3</sup>     |
|                          | <b>W<sub>pl,z</sub></b> | 204,17 cm <sup>3</sup>     |
| Radijusi tromosti:       | <b>i<sub>y</sub></b>    | 8,24 cm                    |
|                          | <b>i<sub>z</sub></b>    | 4,94 cm                    |
| Konstanta krivljenja     | <b>I<sub>w</sub></b>    | 108000,0cm <sup>6</sup>    |
| Torzijska konstanta      | <b>I<sub>t</sub></b>    | 22,2 cm <sup>4</sup>       |
| Visina presjeka          | <b>h</b>                | 190,0 mm                   |
| Širina pojasnice         | <b>b</b>                | 200,0 mm                   |
| Debljina pojasnice       | <b>t<sub>f</sub></b>    | 10,0 mm                    |
| Ravni dio hrpta          | <b>d</b>                | 134,0 mm                   |
| Debljina hrpta           | <b>t<sub>w</sub></b>    | 7,0 mm                     |
| <b>Osnovni materijal</b> |                         |                            |
| Granica popuštanja       | <b>f<sub>y</sub></b>    | 235,0 N/mm <sup>2</sup>    |
| Vlačna čvrstoća          | <b>f<sub>u</sub></b>    | 360,0 N/mm <sup>2</sup>    |
| Modul elastičnosti       | <b>E</b>                | 210000,0 N/mm <sup>2</sup> |
| Poissonov koeficijent    | <b>ν</b>                | 0,3                        |



**Klasifikacija poprečnog presjeka****Hrbat**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134,0}{7} = 29,14 < 33 \quad \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{118,16}{2 \times 7,0 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,79 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{13,4} \times \left( \frac{13,4}{2} + 0,79 \right) = 0,79$$

$$\alpha = 0,79 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,79 - 1} = 42,43 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

**Pojasnica**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{100,0}{10,0} = 10,0; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{200}{2} = 100$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu I.

**Otpornost poprečnog presjeka****Uzdužna sila  $N_{sd}$** 

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{54,68 \times 23,5}{1,1} = 1168,19 \text{ kN} \geq N_{sd} = 118,16 \text{ kN}$$

**Moment savijanja  $M_{y,sd}$** 

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{433,1 \times 23,5}{1,1} = 92,53 \text{ kNm} \geq M_{y,sd} = 19,73 \text{ kNm}$$

**Moment savijanja  $M_{z,sd}$** 

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{204,17 \times 23,5}{1,1} = 43,62 \text{ kNm} \geq M_{z,sd} = 0,66 \text{ kNm}$$

**Poprečna sila  $V_{y,sd}$** 

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{41,75 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 514,96 \text{ kN} \geq V_{y,sd} = 1,00 \text{ kN}$$

**Poprečna sila  $V_{z,sd}$** 

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19,14 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{13,83 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 170,61 \text{ kN} \geq V_{z,sd} = 29,57 \text{ kN}$$

**Interakcija M - N - V**

$$\left( \frac{M_{N,V,y,Rd}}{M_{y,Rd}} \right) = 1,0$$

$$M_{N,V,Y,Rd} = 92,53 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{N,V,Z,Rd}}{M_{Z,Rd}} \right) = 1,0$$

$$M_{N,V,Z,Rd} = 43,62 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{y,Sd}}{M_{N.V.Y.,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z,Sd}}{M_{N.V.Z.,Rd}} \right) = \left( \frac{19,73}{92,53} \right)^2 + \left( \frac{0,66}{43,62} \right) = 0,061 < 1,0$$

### Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

#### Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:  $l_{iy} = 710 \text{ cm}$   $l_{iz} = 710 \text{ cm}$

Efektivna vitkost:  $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{710}{8,24} = 86,17$  ;  $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{710}{4,94} = 143,66$

Svedena vitkost:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \quad ; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{86,17}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,918$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{143,66}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,53$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 10 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Os y-y → mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_y = 0,918$

Os z-z → mjerodavna linija izvijanja c:  $\bar{\lambda}_z = 1,53$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,6499$  ;  $\chi_z = 0,3051 \rightarrow \chi_{\min} = 0,3051$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 0,3051 \times 1168,19 = 358,43 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 118,16 \text{ kN} < 358,43 \text{ kN}$$

**Otpornost elemenata na bočno izvijanje**

$$- g = -\frac{h}{2} = -\frac{19,0}{2} = 9,50 \text{ cm}; \quad L=710 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$k=1,0; \quad k_w=1,0; \quad C_1=1,285; \quad C_2=1,562$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 281,52 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,601 \geq 0,4; \quad (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a:  $\chi_{LT} = 0,8895$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 82,3 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$19,73 \text{ kNm} < 82,3 \text{ kNm}$$

**Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja**

$$\chi_{\min} \times \frac{N_{Sd}}{A \times f_y} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{W_{pl,y} \times f_y} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{W_{pl,z} \times f_z} \leq 1$$

$$\beta_{M,y} = 1,8 - 0,7 \cdot \psi = 1,8$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}) = 1,8 + \frac{21,24}{30,23} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \times (2 \times \beta_M - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = -0,259 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1,037$$

$$k_y = 1,037 \leq 1,5$$

$$\beta_{M,z} = 1,8 - 0,7 \cdot \psi = 1,8$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,z} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,z}) = 1,8 + \frac{0,74}{1,05} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z \times (2 \times \beta_M - 4) + \frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}} = -0,083 \leq 0,9$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \times N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_z} = 1,025 < 1,5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{106,80}{0,5719 \times \frac{53,8 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,21 \times 17,98 \times 100}{\frac{429,17 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,5 \times 0,62}{\frac{203,75 \times 23,5}{1,1}} =$$

$$0,40 \leq 1,0$$

Interakcija M-N zadovoljava

### Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 1,73 \cdot 1,45 - 0,15 = 0,226 \leq 0,9$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}) = 1,8 + \frac{0,74}{1,05} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{0,226 \times 106,8}{0,8614 \times 53,8 \times 23,5} = 0,98 < 1,0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{118,16}{0,3051 \times \frac{54,68 \times 23,5}{1,1}} + \frac{0,926 \times 23,19 \times 100}{0,8895 \times \frac{433,1 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,034 \times 0,33}{\frac{204,17 \times 23,5}{1,1}} = 0,574 < 1,0$$

Iskoristivost = 57,4 %

Za krovne podrožnice usvajamo presjek HEA 200

## 5.1.2. BOČNE PODROŽNICE

|  |  |
|--|--|
|  | $M_{y,sd} = k \cdot (W \cdot 1,5) \cdot L^2$ $M_{y,sd} = 0,1057 \cdot (2,50 \cdot 1,5) \cdot 7,1^2$ $= 19,98 \text{ kNm}$ $V_{z,sd} = k \cdot (W \cdot 1,5) \cdot L$ $V_{z,sd} = 1,134 \cdot (2,50 \cdot 1,5) \cdot 7,1 = 30,19 \text{ kN}$ $N_{sd} = 161,10 \text{ kN}$ |
|--|--|

| Odabrani profil          | HEA 180                 |                            |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Tip poprečnog presjeka   | valjani                 |                            |
| Površina pop. presjeka   | <b>A</b>                | 51,32 cm <sup>2</sup>      |
|                          | <b>A<sub>z</sub></b>    | 10,67 cm <sup>2</sup>      |
|                          | <b>A<sub>y</sub></b>    | 37,98 cm <sup>2</sup>      |
| Momenti tromosti:        | <b>I<sub>y</sub></b>    | 2811,62 cm <sup>4</sup>    |
|                          | <b>I<sub>z</sub></b>    | 398,97 cm <sup>4</sup>     |
| Momenti otpora:          | <b>W<sub>el,y</sub></b> | 328,848 cm <sup>3</sup>    |
|                          | <b>W<sub>pl,y</sub></b> | 367,47 cm <sup>3</sup>     |
|                          | <b>W<sub>el,z</sub></b> | 108,78 cm <sup>3</sup>     |
|                          | <b>W<sub>pl,z</sub></b> | 169,01 cm <sup>3</sup>     |
| Radijusi tromosti:       | <b>i<sub>y</sub></b>    | 7,4 cm                     |
|                          | <b>i<sub>z</sub></b>    | 4,37 cm                    |
| Konstanta krivljenja     | <b>I<sub>w</sub></b>    | 62988,03 cm <sup>6</sup>   |
| Torzijska konstanta      | <b>I<sub>t</sub></b>    | 29,36 cm <sup>4</sup>      |
| Visina presjeka          | <b>h</b>                | 171,0 mm                   |
| Širina pojasnice         | <b>b</b>                | 180,0 mm                   |
| Debljina pojasnice       | <b>t<sub>f</sub></b>    | 10,0 mm                    |
| Ravni dio hrpta          | <b>d</b>                | 121,0 mm                   |
| Debljina hrpta           | <b>t<sub>w</sub></b>    | 6,0 mm                     |
| <b>Osnovni materijal</b> |                         |                            |
| Granica popuštanja       | <b>f<sub>y</sub></b>    | 235,0 N/mm <sup>2</sup>    |
| Vlačna čvrstoća          | <b>f<sub>u</sub></b>    | 360,0 N/mm <sup>2</sup>    |
| Modul elastičnosti       | <b>E</b>                | 210000,0 N/mm <sup>2</sup> |
| Poissonov koeficijent    | <b>v</b>                | 0,3                        |

**Klasifikacija poprečnog presjeka****Hrbat**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121,0}{6} = 20,17 < 33 \quad \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{Sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{128,79}{2 \times 6,0 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,502 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{12,1} \times \left( \frac{12,1}{2} + 0,502 \right) = 0,54$$

$$\alpha = 0,54 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,54 - 1} = 65,78 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

**Pojasnica**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{90,0}{10,0} = 9,0; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{180}{2} = 90$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

Zaključak: **Odabrani presjek je svrstan u klasu I.**



**Otpornost poprečnog presjeka****Uzdužna sila  $N_{sd}$** 

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,3 \times 23,5}{1,1} = 967,77 \text{ kN} \geq N_{sd} = 128,79 \text{ kN}$$

**Moment savijanja  $M_{y,sd}$** 

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{325 \times 23,5}{1,1} = 69,43 \text{ kNm} \geq M_{y,sd} = 13,84 \text{ kNm}$$

**Poprečna sila  $V_{z,sd}$** 

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20,17 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10,99 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 135,55 \text{ kN} \geq V_{z,sd} = 18,32 \text{ kN}$$

**Interakcija M - N - V**

*Poprečna sila :*

$$V_{z,sd} = 18,32 \text{ kN}$$

*Uvjet:*

$$V_{z,sd} < 0,5 \times V_{pl,z,Rd} = 67,78 \text{ kN}$$

*Razina uzdužne sile:*

$$N_{sd} = 128,79 \text{ kN}$$

$$N_{sd} < 0,25 \times N_{pl,Rd} \text{— uvjet niske razine uzdužne sile}$$

$$128,79 < 0,25 \times 967,77 = 241,94 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Za nisku razinu uzdužne sile i za  $V_{sd} < 0,5 \times V_{pl}$  vrijedi:

$$\frac{M_{N.V.y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,0 \rightarrow M_{N.V.y,Rd} \rightarrow 69,43 \text{ kNm}$$

**Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja****Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)**Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:  $l_{iy} = 810 \text{ cm}$   $l_{iz} = 810 \text{ cm}$ 

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{810}{7,4} = 109,46 ; \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{810}{4,5} = 180,00$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 ; \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{109,46}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,17$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{180}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,92$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 > 1,2$$

$$t_f = 10 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Os y-y  $\rightarrow$  mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_y = 1,17$ Os z-z  $\rightarrow$  mjerodavna linija izvijanja c:  $\bar{\lambda}_z = 1,92$ 

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,4947$  ;  $\chi_z = 0,2104 \rightarrow \chi_{\min} = 0,2104$ 

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 0,2104 \times 967,77 = 203,62 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 128,79 \text{ kN} < 203,62 \text{ kN}$$

**Otpornost elemenata na bočno izvijanje**

$$- g = -\frac{h}{2} = -\frac{17,1}{2} = 8,55 \text{ cm}; \quad L=810 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$k=1,0; \quad k_w=1,0; \quad C_1=1,285; \quad C_2=1,562$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 146,07 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,69 \geq 0,4; \quad (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a:  $\chi_{LT} = 0,8524$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 53,54 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$13,84 \text{ kNm} < 53,54 \text{ kNm}$$

**Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}) = 1,8 + \frac{16,40}{23,32} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \times (2 \times \beta_M - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 1,17 \times (2 \times 1,45 - 4) + \frac{325 - 294}{294} = -1,182 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{-1,182 \times 128,79}{0,4947 \times 45,3 \times 23,5} = 1,29$$

$$k_y = 1,00 \leq 1,5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{128,79}{0,4947 \times \frac{45,3 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,29 \times 13,84 \times 100}{\frac{325 \times 23,5}{1,1}} = 0,52 \leq 1,0$$

Interakcija M-N zadovoljava

### Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_M - 0,15 = 0,15 \cdot 0,2104 \cdot 1,45 - 0,15 = -0,104 \leq 0,9$$

$$\text{Koeficijent } \beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}) = 1,8 + \frac{16,215}{23,07} (1,3 - 1,8) = 1,45$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{-0,104 \times 128,79}{0,8524 \times 45,3 \times 23,5} = 1,01 \rightarrow k_{LT} = 1,0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{128,79}{0,2104 \times \frac{45,3 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,0 \times 13,84 \times 100}{0,8524 \times \frac{325 \times 23,5}{1,1}} = 0,866 < 1,0$$

Iskoristivost = 86,6%

Za bočne podrožnice usvajamo presjek HEA 180

**5.1.3. KROVNI SPREGOVI**

$$N_{sd}=143,41 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} \geq \frac{1,1 \cdot 143,41}{23,5} \geq 6,713 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 6,713}{\pi}} \geq 2,92 \text{ cm}$$

$$\mathbf{d_{odabrano} = 30mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{3,0^2 \cdot \pi}{4} = 7,07 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,07 \cdot 23,5}{1,1} = 151,01 \text{ kN} > N_{sd} = 143,41 \text{ kN}$$

Za krovne spregove odabran profil Ø30

**5.1.4. BOČNI SPREGOVI**

$$N_{sd}=175,46 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} \geq \frac{1,1 \cdot 175,46}{23,5} \geq 8,213 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 8,213}{\pi}} \geq 3,23 \text{ cm}$$

$$\mathbf{d_{odabrano} = 34 \text{ mm}}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{3,4^2 \cdot \pi}{4} = 9,08 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,08 \cdot 23,5}{1,1} = 193,96 \text{ kN} > N_{sd} = 175,46 \text{ kN}$$

Za bočne spregove odabran profil Ø34

## 5.2. DIMENZIONIRANJE STUPOVA KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA

Za sve stupove konstruktivnog sustava usvajamo isti profil poprečnog presjeka !

### Maksimalne rezne sile u lijevom stupu ( kritičnijem )

**Mjerodvna kritična kombinacija** ( *vlastita težina nosača + stalni teret + vjetar W2* )

(Napomena : Izveden je proračun i za kombinaciju *vlastita težina nosača+stalni teret+snijeg*, ali budući je kritičnija gore navedena kombinacija onda je i za tu kombinaciju prikazan proračun.)

$$M_{y, sd} = 1,5 \cdot M_{W2} - 1,0 \cdot M_{vl. tež.} - 1,0 \cdot M_G = 1,5 \cdot 167,25 - 1,0 \cdot 1,74 - 1,0 \cdot 8,29 = 240,85 \text{ kNm}$$

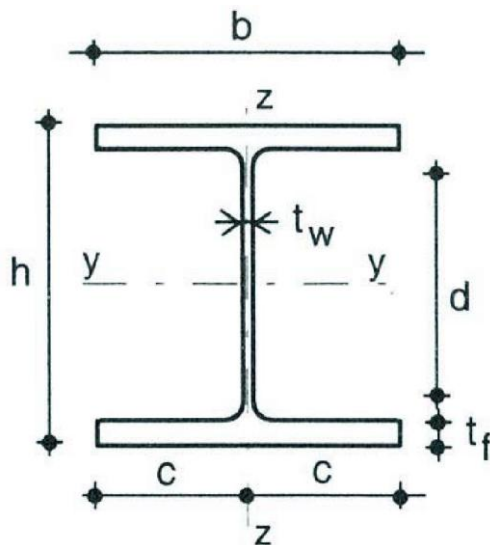
$$V_{z, sd} = 1,5 \cdot V_{W2} - 1,0 \cdot V_{vl. tež.} - 1,0 \cdot V_G = 1,5 \cdot 61,74 - 1,0 \cdot 0,26 - 1,0 \cdot 1,26 = 91,09 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 1,5 \cdot N_{W2} - 1,0 \cdot N_{vl. tež.} - 1,0 \cdot N_{S, G} = 1,5 \cdot 30,54 - 1,0 \cdot 17,48 - 1,0 \cdot 37,16 = 8,83 \text{ kN (TLAK)}$$

$$N_{sd} = 1,35 \cdot N_G + 1,35 \cdot N_{vl. tež.} + 1,5 \cdot N_S = 1,35 \cdot 37,16 + 1,35 \cdot 17,48 + 1,5 \cdot 43,24 = 138,62 \text{ kN (TLAK)}$$

### Karakteristike poprečnog presjeka

| Odabrani profil          | <b>HEB 340</b>          |                             |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Tip poprečnog presjeka   | <b>valjani</b>          |                             |
| Površina pop. presjeka   | <b>A</b>                | 170,9 cm <sup>2</sup>       |
| Momenti tromosti:        | <b>I<sub>y</sub></b>    | 36660,0 cm <sup>4</sup>     |
|                          | <b>I<sub>z</sub></b>    | 9690,0 cm <sup>4</sup>      |
| Momenti tromosti:        | <b>W<sub>el,y</sub></b> | 2156,0 cm <sup>3</sup>      |
|                          | <b>W<sub>pl,y</sub></b> | 2156,0 cm <sup>3</sup>      |
|                          | <b>W<sub>el,z</sub></b> | 646,0 cm <sup>3</sup>       |
|                          | <b>W<sub>pl,z</sub></b> | 985,7 cm <sup>3</sup>       |
| Radijusi tromosti:       | <b>i<sub>y</sub></b>    | 14,65 cm                    |
|                          | <b>i<sub>z</sub></b>    | 7,53 cm                     |
| Konstanta krivljenja     | <b>I<sub>w</sub></b>    | 2454628,625 cm <sup>6</sup> |
| Torzijska konstanta      | <b>I<sub>t</sub></b>    | 257,2 cm <sup>4</sup>       |
| Visina presjeka          | <b>h</b>                | 340,0 mm                    |
| Širina pojasnice         | <b>b</b>                | 300,0 mm                    |
| Debljina pojasnice       | <b>t<sub>f</sub></b>    | 21,5 mm                     |
| Ravni dio hrpta          | <b>d</b>                | 134,0 mm                    |
| Debljina hrpta           | <b>t<sub>w</sub></b>    | 12,0 mm                     |
| <b>Osnovni materijal</b> |                         |                             |
| Granica popuštanja       | <b>f<sub>y</sub></b>    | 210000,0 N/mm <sup>2</sup>  |
| Vlačna čvrstoća          | <b>f<sub>u</sub></b>    | 360,0 N/mm <sup>2</sup>     |
| Modul elastičnosti       | <b>E</b>                | 210000,0 N/mm <sup>2</sup>  |
| Poissonov koeficijent    | <b>v</b>                | 0,3                         |

Skica poprečnog presjeka**Klasifikacija poprečnog presjeka****Hrbat**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{243,0}{21,5} = 11,30 < 33 \quad \varepsilon = 33 \rightarrow \text{klasa I Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{8,83}{2 \times 2,15 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,096 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{24,3} \times \left( \frac{24,3}{2} + 0,096 \right) = 0,504$$

$$\alpha = 0,504 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \leq 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,504 - 1} = 71,49 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

**Pojasnica**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150,0}{21,5} = 6,98; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{300}{2} = 150$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:



$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu I.

### Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{170,9 \times 23,5}{1,1} = 3651,05 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$8,83 \text{ kN} \leq 3651,05 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Za kombinaciju vlastita težina nosača+stalni teret+snijeg ( $N_{Sd} < N_{pl,Rd}$  ;  $138,62 < 3651,05$ ) također zadovoljava

- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2683,0 \times 23,5}{1,1} = 573,19 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,sd} \leq M_{c,Rd}$$

$$240,85 \text{ kNm} \leq 573,19 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{243,0}{12,0} = 20,25 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$A_{v,z} = 1.04 \cdot h \cdot t_w = 1.04 \cdot 34,0 \cdot 1,20 = 42,43 \text{ cm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{42,43 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 545,71 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 91,09 \text{ kN}$$

- Interakcija M - N - V

*Poprečna sila :*

$$V_{z,Sd} = 91,09 \text{ kN}$$

*Uvjet:*

$$V_{z,Sd} < 0,5 \times V_{pl,z,Rd} = 272,86 \text{ kN}$$

Razina uzdužne sile:

$$N_{Sd} = 8,83 \text{ kN}$$

$N_{Sd} < 0,25 \times N_{pl,Rd}$  – uvjet niske razine uzdužne sile

$$4,31 < 0,25 \times 3651,05 = 312,76 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Za nisku razinu uzdužne sile i za  $V_{Sd} < 0,5 \times V_{pl}$  vrijedi:

$$\frac{M_{N.V.y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,0 \rightarrow M_{N.V.y,Rd} \rightarrow 573,19 \text{ kNm}$$

*Uvjet nosivosti:*

$$M_{y,Sd} \leq M_{N.V.y,Rd}$$

$$240,85 \text{ kNm} < 573,19 \text{ kNm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:  $l_{iy} = 2,0 \cdot H = 2,0 \cdot 660 = 1320 \text{ cm}$

$l_{iz} = 330 \text{ cm}$  (razmak zidne sekundarne konstrukcije)

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1320}{14,65} = 90,10 ; \quad \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{330}{7,53} = 43,82$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \quad ; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{90,10}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,96$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{43,82}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,47$$

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{340}{300} = 1,13 > 1,2$$

$$t_f = 21,5 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Os y-y → mjerodavna linija izvijanja a:  $\bar{\lambda}_y = 0,96$

Os z-z → mjerodavna linija izvijanja b:  $\bar{\lambda}_z = 0,47$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0,6990$  ;  $\chi_z = 0,8901 \rightarrow \chi_{\min} = 0,6990$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd} = 0,6990 \times 3651,05 = 2552,08 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 8,83 \text{ kN} < 2552,08 \text{ kN}$$

### Otpornost elemenata na bočno izvijanje

$$- \quad g = -\frac{h}{2} = -\frac{34}{2} = 17 \text{ cm} ; \quad L = 660 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$k=0,7 ; k_w=0,7 ; C_1=2,092 ; C_2=0,0$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left( C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 3848,37 \text{ kNm}$$

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,43 \geq 0,4 ; (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a:  $\chi_{LT} = 0,9391$  - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 482,71 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$240,85 \text{ kNm} < 482,71 \text{ kNm}$$

**Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja**

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Koeficijent  $\beta_{My} = 1,8 - 0,7 \psi = 1,8$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \times (2 \times \beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 0,49 \times (2 \times 1,8 - 4) + \frac{2406 - 2156}{2156} = -0,08 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{-0,08 \times 8,83}{0,9751 \times 170,9 \times 23,5} = 1,00$$

$$k_y = 1,00 \leq 1,5$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{8,83}{0,9751 \times \frac{170,9 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,00 \times 240,85 \times 100}{\frac{2406 \times 23,5}{1,1}} = 0,471 \leq 1,0$$

Interakcija M-N zadovoljava

### Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 0,47 \cdot 1,8 - 0,15 = 0,0023 \leq 0,9$$

Koeficijent  $\beta_{M,LT} = 1,8 - 0,7 \psi = 1,8$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{0,0023 \times 8,83}{0,8518 \times 170,9 \times 23,5} = 1,0 \rightarrow k_{LT} = 1,0$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{8,83}{0,8518 \times \frac{170,9 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,0 \times 240,85 \times 100}{0,9391 \times \frac{2406 \times 23,5}{1,1}} = 0,502 < 1,0$$

Interakcija M-N zadovoljava

Osvrt na dimenzioniranje :

Iz priloženog proračuna je vidljivo da je presjek male iskoristivosti odnosno predimenzioniran s obzirom na granično stanje nosivosti.

Međutim da bi zadovoljili granično stanje uporabljivosti **usvajamo** ovaj **presjek (HEB 340)** budući da za ovaj presjek se javljaju maksimalni dozvoljeni progibi odnosno pomaci u konstruktivnom sustavu !



### 5.3. DIMENZIONIRANJE REŠETKE

#### 5.3.1. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA REŠETKE

| Odabrani profil             | 120x120x12             |                         |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Tip poprečnog presjeka      | valjani                |                         |
| Površina poprečnog presjeka | <b>A</b>               | 45,66 cm <sup>2</sup>   |
| Moment tromosti             | <b>I<sub>y</sub></b>   | 881,97 cm <sup>4</sup>  |
|                             | <b>I<sub>z</sub></b>   | 881,97 cm <sup>4</sup>  |
| Moment otpora               | <b>W<sub>y=Z</sub></b> | 147,00 cm <sup>3</sup>  |
|                             | <b>W<sub>pl</sub></b>  | 174,1 cm <sup>3</sup>   |
| Torzijska konstanta         | <b>I<sub>t</sub></b>   | 1728,00 cm <sup>4</sup> |
| Radijus tromosti            | <b>i<sub>y</sub></b>   | 4,4 cm                  |
|                             | <b>i<sub>z</sub></b>   | 4,4 cm                  |
| Visina presjeka             | <b>h</b>               | 120 mm                  |
| Širina presjeka             | <b>b</b>               | 120 mm                  |
| Debljina pojasnice          | <b>t<sub>f</sub></b>   | 12 mm                   |
| Debljina hrpta              | <b>t<sub>w</sub></b>   | 12 mm                   |

#### Mjerodavna kombinacija

$$K1 = 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S = 1,35 \cdot (19,71 + 149,14) + 1,5 \cdot 173,55 = 488,27 \text{ kN} \quad (\text{TLAK})$$

#### Klasifikacija Poprečnog Presjeka

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h - 3t_f}{t_w} = 7,0 \leq 33\varepsilon = 33 \quad \text{Hrbat u klasi 1.}$$

Pojasnica

Uvjet za klasu 1

$$\frac{b - 3t_w}{t_f} = 7,0 \leq 33\varepsilon = 33 \quad \text{Pojasnica u klasi 1.}$$

Poprečni presjek je u klasi 1

#### Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,66 \times 23,5}{1,1} = 975,45 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$488,27 \text{ kN} \leq 975,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:

$$l_{iy} = 238,1 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 476,2 \text{ cm}$$

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{238,12}{4,4} = 54,17; \quad \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{476,2}{4,4} = 108,35$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{54,17}{93,91} \times \sqrt{1} = 0,577$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{108,35}{93,91} \times \sqrt{1} = 1,154$$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0.8986$ ;  $\chi_z = 0.5599$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0.5599$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd} = 0.5599 \times 975,45 = 546,12 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 488,27 \text{ kN} < 546,12 \text{ kN}$$

Iskoristivost je 89,41%



**5.3.2. DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE**

| Odabrani profil             | <b>100x100x10</b>                  |                         |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Tip poprečnog presjeka      | <b>valjani</b>                     |                         |
| Površina poprečnog presjeka | <b>A</b>                           | 31,70 cm <sup>2</sup>   |
| Moment tromosti             | <b>I<sub>y</sub></b>               | 425,33 cm <sup>4</sup>  |
|                             | <b>I<sub>z</sub></b>               | 425,33cm <sup>4</sup>   |
| Moment otpora               | <b>W<sub>y=W<sub>z</sub></sub></b> | 85,06cm <sup>3</sup>    |
|                             | <b>W<sub>pl</sub></b>              | 100,74 cm <sup>3</sup>  |
| Torzijska konstanta         | <b>I<sub>t</sub></b>               | 1000,00 cm <sup>4</sup> |
| Radijus tromosti            | <b>i<sub>y</sub></b>               | 3,66 cm                 |
|                             | <b>i<sub>z</sub></b>               | 3,66cm                  |
| Visina presjeka             | <b>h</b>                           | 100 mm                  |
| Širina presjeka             | <b>b</b>                           | 100 mm                  |
| Debljina pojasnice          | <b>t<sub>f</sub></b>               | 10 mm                   |
| Debljina hrpta              | <b>t<sub>w</sub></b>               | 10 mm                   |

**Mjerodavna kombinacija**

$$K1 = 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S = 1,35 \cdot (19,95 + 150,77) + 1,5 \cdot 175,44 = 493,63 \text{ kN (VLAK)}$$

**Otpornost poprečnog presjeka**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{31,70 \times 23,5}{1,1} = 677,23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$493,63 \text{ kN} \leq 677,235 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Mjerodavna kombinacija**

$$K2 = 1,5 \cdot W_1 - 1,0 \cdot G = 1,5 \cdot 286,84 - 1,0 \cdot (19,95 + 150,77) = 259,54 \text{ kN (TLAK)}$$

**Klasifikacija poprečnog presjeka**

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h - 3t_f}{t_w} = 5,53 \leq 33\epsilon = 33$$

Hrbat u klasi 1.**Pojasnica**

Uvjet za klasu 1

$$\frac{b-3t_w}{t_f} = 5,53 \leq 33\varepsilon = 33 \text{ Pojasnica u klasi 1.}$$

**Poprečni presjek je u klasi 1**

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{36,05 \times 23,5}{1,1} = 677,23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$259,54 \text{ kN} \leq 677,23 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Otpornost elementa na izvijanje**Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:

$$l_{iy} = 237,5 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 475,0 \text{ cm}$$

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{237,5}{3,66} = 64,85; \quad \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{475,0}{3,66} = 129,69$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{64,85}{93,91} \times \sqrt{1} = 0,69$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{129,69}{93,91} \times \sqrt{1} = 1,38$$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

$$\text{Očitano iz tablica: } \chi_y = 0,8522; \quad \chi_z = 0,4273$$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0,4273$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd} = 0,4273 \times 677,23 = 289,38 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 259,54 \text{ kN} < 289,38 \text{ kN}$$

Iskoristivost je 89,7%

**5.3.3. DIMENZIONIRANJE VERTIKALE REŠETKE**

| Odabrani profil             | <b>50x50x4</b>                     |                        |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Tip poprečnog presjeka      | <b>valjani</b>                     |                        |
| Površina poprečnog presjeka | <b>A</b>                           | 6,67 cm <sup>2</sup>   |
| Moment tromosti             | <b>I<sub>y</sub></b>               | 20,80 cm <sup>4</sup>  |
|                             | <b>I<sub>z</sub></b>               | 20,80 cm <sup>4</sup>  |
| Moment otpora               | <b>W<sub>y</sub>=W<sub>z</sub></b> | 9,16cm <sup>3</sup>    |
|                             | <b>W<sub>pl</sub></b>              | 11,02 cm <sup>3</sup>  |
| Torzijska konstanta         | <b>I<sub>t</sub></b>               | 125,00 cm <sup>4</sup> |
| Radijus tromosti            | <b>i<sub>y</sub></b>               | 1,85 cm                |
|                             | <b>i<sub>z</sub></b>               | 1,85 cm                |
| Visina presjeka             | <b>h</b>                           | 50 mm                  |
| Širina presjeka             | <b>b</b>                           | 50 mm                  |
| Debljina pojasnice          | <b>t<sub>f</sub></b>               | 4 mm                   |
| Debljina hrpta              | <b>t<sub>w</sub></b>               | 4 mm                   |

**Mjerodavna kombinacija**

$$\mathbf{K1 = 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S = 1,35 \cdot (4,66 + 37,16) + 1,5 \cdot 43,24 = 121,32 \text{ kN (TLAK)}}$$

**Klasifikacija poprečnog presjeka**

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h - 3t_f}{t_w} = 9,5 \leq 33\varepsilon = 33 \quad \underline{\text{Hrbat u klasi 1.}}$$

Pojasnica

Uvjet za klasu 1

$$\frac{b - 3t_w}{t_f} = 9,5 \leq 33\varepsilon = 33 \quad \underline{\text{Pojasnica u klasi 1.}}$$

Poprečni presjek je u klasi 1

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,67 \times 23,5}{1,1} = 142,57 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$121,32 \text{ kN} \leq 142,57 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:

$$l_{iy} = 60 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{60}{1.85} = 32,38; \quad \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{60}{1.85} = 32,38$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{32,38}{93,91} \times \sqrt{1} = 0,345$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{32,38}{93,91} \times \sqrt{1} = 0,345$$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

$$\text{Očitano iz tablica: } \chi_y = 0,9668; \quad \chi_z = 0,9668$$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0,9668$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd} = 0,9668 \times 142,57 = 137,83 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 121,32 \text{ kN} < 137,83 \text{ kN}$$

Iskoristivost je 88,0 %

**5.3.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALE REŠETKE**

| Odabrani profil             | <b>70x70x8</b>                     |                        |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Tip poprečnog presjeka      | <b>valjani</b>                     |                        |
| Površina poprečnog presjeka | <b>A</b>                           | 17,09 cm <sup>2</sup>  |
| Moment tromosti             | <b>I<sub>y</sub></b>               | 112,11 cm <sup>4</sup> |
|                             | <b>I<sub>z</sub></b>               | 112,11 cm <sup>4</sup> |
| Moment otpora               | <b>W<sub>y=W<sub>z</sub></sub></b> | 32,03cm <sup>3</sup>   |
|                             | <b>W<sub>pl</sub></b>              | 36,88 cm <sup>3</sup>  |
| Torzijska konstanta         | <b>I<sub>t</sub></b>               | 343,00 cm <sup>4</sup> |
| Radijus tromosti            | <b>i<sub>y</sub></b>               | 2,56 cm                |
|                             | <b>i<sub>z</sub></b>               | 2,56 cm                |
| Visina presjeka             | <b>h</b>                           | 70 mm                  |
| Širina presjeka             | <b>b</b>                           | 70 mm                  |
| Debljina pojasnice          | <b>t<sub>f</sub></b>               | 8 mm                   |
| Debljina hrpta              | <b>t<sub>w</sub></b>               | 8 mm                   |

**Mjerodavna kombinacija**

$$K1 = 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S = 1,35 \cdot (13,7 + 103,88) + 1,5 \cdot 120,88 = 340,05 \text{ kN (VLAK)}$$

**Otpornost poprečnog presjeka**

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,09 \times 23,5}{1,1} = 365,17 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$340,05 \text{ kN} \leq 365,17 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

**Mjerodavna kombinacija**

$$K1 = 1.5 \cdot W_1 - 1.0G = 1,5 \cdot 217,13 - 1,0 \cdot (13,7 + 103,88) = 208,12 \text{ kN (TLAK)}$$

**Klasifikacija poprečnog presjeka****Hrpat**

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h - 3t_f}{t_w} = 5,5 \leq 33\epsilon = 33 \quad \underline{\text{Hrpat u klasi 1.}}$$

**Pojasnica**

Uvjet za klasu 1

$$\frac{b-3t_w}{t_f} = 5,5 \leq 33\varepsilon = 33 \text{ Pojasnica u klasi 1.}$$

### Poprečni presjek je u klasi 1

#### Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,09 \times 23,5}{1,1} = 365,17 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$208,12 \text{ kN} \leq 365,17 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

#### Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema  $\chi$  postupku

$$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$$

Dužine izvijanja:

$$l_{iy} = 245,0 \text{ cm}$$

$$l_{iz} = 245,0 \text{ cm}$$

$$\text{Efektivna vitkost: } \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{245,0}{2,56} = 95,66; \quad \lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{224,0}{2,56} = 87,5$$

$$\text{Svedena vitkost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91; \quad \beta_a = 1,00$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{95,66}{93,91} \times \sqrt{1} = 1,02$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{87,5}{93,91} \times \sqrt{1} = 0,93$$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica:  $\chi_y = 0.6525$ ;  $\chi_z = 0.6525$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0.6525$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd} = 0.6525 \times 365,17 = 238,29 \text{ kN}$$

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 208,12 \text{ kN} < 238,29 \text{ kN}$$

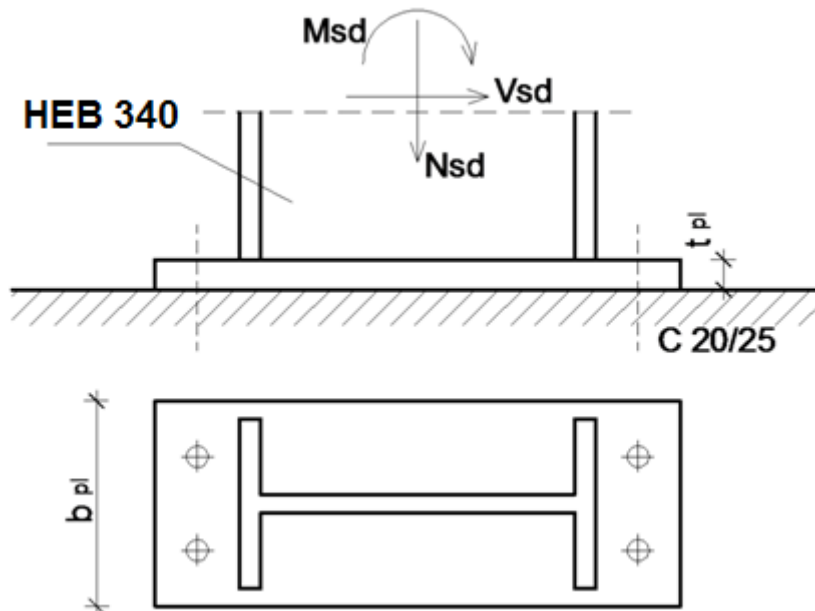
Iskoristivost je 87,3 %



## 6. PRORAČUN SPOJEVA

### 6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ

#### Ulazni podaci



Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:

$$N_{sd} = 8,83 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{sd} = 240,85 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 91,09 \text{ kN}$$

Napomena : za kombinaciju ( vjetar W1+vlastita težina+stalni teret) u stupu se javlja vlačna sila, ali se za tu kombinaciju javlja i manji moment u stupu tako da je ukupna sila u vlačnoj pojascnici manja od one koja se dobiva za navedene veličine djelovanja s kojima je proveden proračun !

#### Materijal:

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 10.9

#### Poprečni presjek:

Profil: HEB 340

$h = 340 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 12 \text{ mm}$

$t_f = 21,5 \text{ mm}$

**Raspodjela sila po presjeku nosača:****Pojasnice:***Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja*

$$N_p^{*M} = \frac{M_{sd}}{h'} = \frac{240,85}{(0.34-0.022)} = 759,39kN$$

*Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile*

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{sd} = -\frac{30 \cdot 2,15}{170,9} \cdot 8,83 = -3,33kN$$

*Ukupna sila u vlačnoj pojasnici*

$$N_p = N_p^{*M} - N_p^N = 756,06kN = F_{w,sd}$$

**Kontrola varova:***Dužina vara pojasnice*

$$l_1 = 2 \cdot 300 = 600mm$$

*Dužina vara hrpta:*

$$l_2 = 2 \cdot 297 = 594mm$$

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

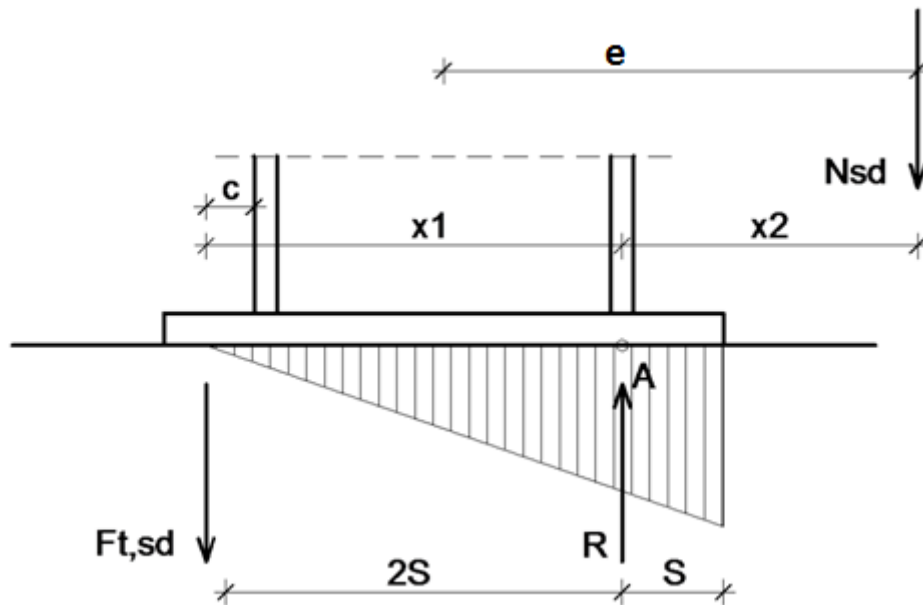
$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 12,0 = 8,40mm$$

*Za pretpostavljeni var  $a=8.0mm$* *Uzdužna sila*

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{207,8}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 997,44kN > F_{w,sd} = 756,06kN$$

*Poprečna sila*

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{207,8}{1.25} \cdot \frac{594}{100} = 98,75kN > V_{sd} = 91,09kN$$

**Proračun vijaka:****Pretpostavljeni vijak**

M 30 ; k.v. 10.9

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 30 + 8\sqrt{2} = 71,31\text{mm}$$

Usvojeni  $c = 80\text{ mm}$ 

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{240,85}{8,83} = 27,28\text{m}$$

Ekscentricitet  $x_1 = 80 + 340 - 10,5 = 409,5\text{mm} = 0,4095\text{m}$ Ekscentricitet  $x_2 = 27280 - \frac{340}{2} + 10,5 = 27,12\text{m}$ 

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{8,83 \cdot 27,12}{0,4095} = 584,78\text{kN}$$

**Otpornost vijka na vlak**

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{584,78}{1,25} = 467,82\text{kN} > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{34,07}{2} = 17,04\text{kN}$$

**Otpornost vijaka na posmik**

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{280,5}{1,25} = 224,4\text{kN} > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{91,09}{4} = 22,77\text{kN}$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1.0 \Rightarrow \frac{34,07}{1.4 \cdot 467,82} + \frac{22,77}{224,4} = 0.15 < 1.0$$

**Proračun dimenzija ploče:**

Proračun širine i dužine ploče

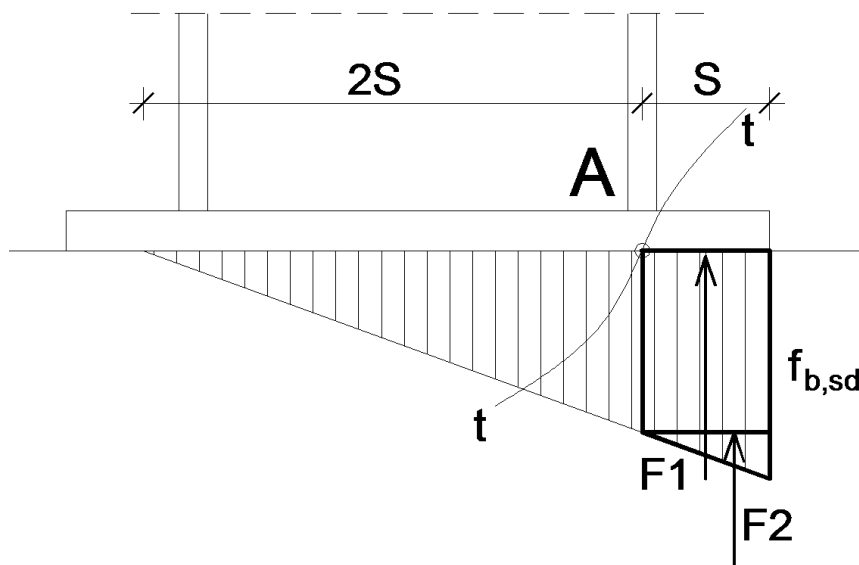
$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 340 + 2 \cdot (80 + 75) = 650 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} + 20 = 342,63 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 100 + 2 \cdot 60 = 220 \text{ mm}$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 650x350mm**

**Proračun debljine ploče**



**Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala**

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = 22,77 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{22,77 \cdot 1,25 \cdot 10}{204,5} = 1,39 \text{ mm}$$

**Savijanje ploče od odgovora betonske podloge**

$$S = (650 - 340 + 10.5) / 2 = 160,25 \text{ mm} = 16 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 584,78 + 8,83 = 593,61 \text{ kN}$$

*Naprezanje na betonu*

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{593,61}{\frac{3 \cdot 16 \cdot 35}{2}} = 0,71 \text{ kN / cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,0}{1,5} = 1,33 \text{ kN / cm}^2$$

*Savijanje ploče*

$$\begin{aligned} M_{sd} &= F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{3 \cdot S}{2} = \frac{2}{3} f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{2}{3} \cdot S = \\ &= \frac{2}{3} \cdot 7067 \cdot 0,16 \cdot 0,40 \cdot \frac{0,16}{2} + \frac{1}{3} \cdot 7067 \cdot 0,16 \cdot 0,40 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,16 = 32,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

*Savijanje ploče od vlačnih vijaka*

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot (c + t_f / 2) = 584,78 \cdot (0,08 + 0,01075) = 53,07 \text{ kNm} \Rightarrow \text{mjerodavnije}$$

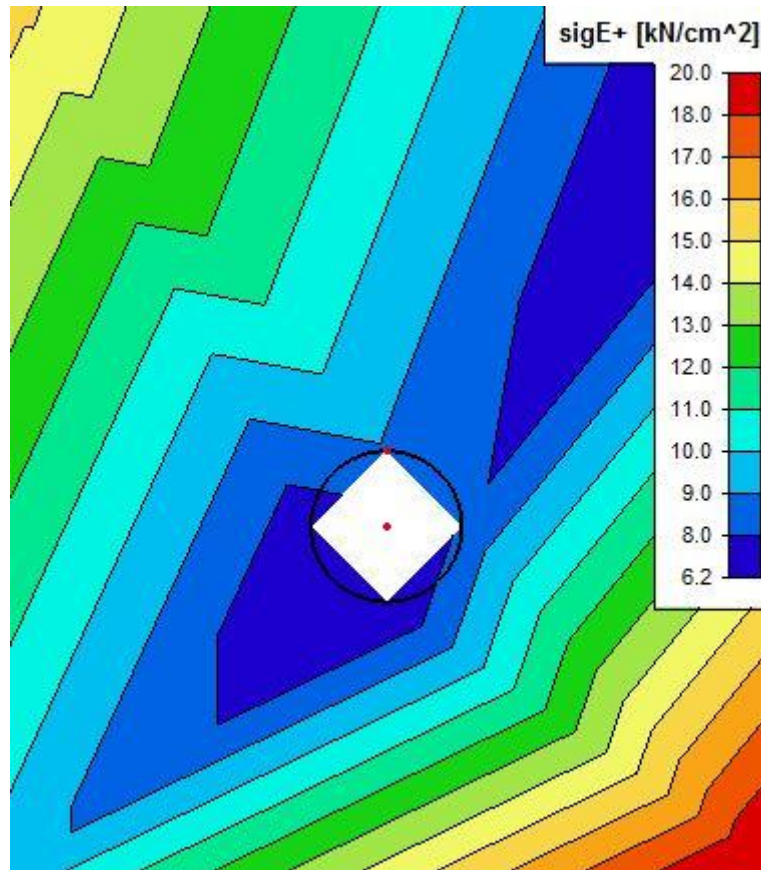
$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 5307 \cdot 6}{40 \cdot 23,5}} = 6,11 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 6,6 \text{ cm}$$

**Usvojena dimenzija ploče je 650x350x62 mm**

**Dimenzija debljine je prevelika pa moramo staviti ukrutu!**

Usvojena debljina ploče je proračunata u programskom paketu „Scia Engineer 2014“ sa potrebnim ukrutama. Za ploču debljine 40mm naprezanja koja se javljaju su u granicama dopuštenih.



**Usvojene dimenzije ploče su: 710 x 340 x 40 mm**

$$\sigma_{max} = 20,0 \frac{kN}{cm^2} < \frac{f_y}{\gamma} = \frac{23,5}{1,1} = 21,36 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\frac{20,0}{21,36} = 0,9363 \quad 93,63\%$$

## 6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA

### Ulazni podaci

Veličine djelovanja dobivene su za kombinaciju (vjetar W1+vlastita težina+stalni teret) :

$$V_{z,sd} = 1,5 \cdot V_{W1} - 1,0 \cdot V_{vl.tež.} - 1,0 \cdot V_G = 1,5 \cdot 5,16 - 1,0 \cdot 0,16 - 1,0 \cdot 1,26 = 6,32 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 1,5 \cdot N_{W1} - 1,0 \cdot N_{vl.tež.} - 1,0 \cdot N_G = 1,5 \cdot 85,71 - 1,0 \cdot 8,21 - 1,0 \cdot 37,16 = 83,20 \text{ kN (VLAK)}$$

### Materijal

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 4.6

### Poprečni presjek

Profil: HEB340

h = 340 mm

b = 300 mm

t<sub>w</sub> = 12,0 mm

t<sub>f</sub> = 21,5 mm

### Kontrola varova

$$F_{w,sd} = (6,32^2 + 83,20)^{0,5} = 83,44 \text{ kN}$$

Profil HEB 340

-Duljina vara

$$l = 2 \cdot 300 + 2 \cdot (340 - 32) \approx 1216 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0,7 \times t_{\min} = 0,7 \times 12,0 = 8,40 \text{ mm}$$

Za usvojenu debljinu vara a = 5 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{129,9}{1,25} \times \frac{1216}{100} = 1263,67 \text{ kN} > F_{wsd} = 83,44 \text{ kN}$$

Profil 100x100x10

Duljina vara :

$$l = 100 + 2 \cdot 184 = 458 \text{ mm}$$

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu elementa:

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

Za pretpostavljeni var 4,0 mm:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{181,9}{1,25} \times \frac{468}{100} = 681,03 \text{ kN} > F_{w,sd} = 74,07 \text{ kN}$$

### Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M16 k.v. 4.6 , udaljenost  $c_{\min}$  iznosi :

Profil HEB 340

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 6\sqrt{2} = 40,49 \text{ mm}$$

Profil 100x100x10

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

Odabrano:  $c=41 \text{ mm}$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

*Otpornost vijka na vlak*

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{56,5}{1,25} = 45,2 \text{ kN} > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{83,20}{2} = 41,6 \text{ kN}$$

*Otpornost vijaka na posmik*

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,7}{1,25} = 30,16 \text{ kN} > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{2} = \frac{6,32}{2} = 3,16 \text{ kN}$$



**Proračun dimenzija ploče**

Proračun duljine i širine ploče:

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 340 + 2 \cdot (41 + 40) = 505 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 20 = 300 + 20 = 320 \text{ mm}$$

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

**Odabrane dimenzije duljine i širine ploče su 505x320mm**

Proračun debljine ploče

**Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala**

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{2} = 3,16 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3,16 \cdot 1,25 \cdot 10}{106,7} = 0,37 \text{ mm} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = 10 \text{ mm}$$

**Savijanje ploče od vlačnih vijaka**

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c = 83,2 \cdot 0,041 = 3,41 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 341 \cdot 6}{32,0 \cdot 23,5}} = 1,63 \text{ cm} = 17 \text{ mm} \Rightarrow \text{odabranot}_{pl} = 17 \text{ mm}$$

**Usvojene dimenzije ploče su 505x320x17 mm**

### 6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA ŠTAPA REŠETKE

#### Ulazni podaci

Veličina djelovanja na mjestu spoja

$$N_{sd} = 356,44 \text{ kN (Vlačna sila)}$$

Materijal

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 5.6

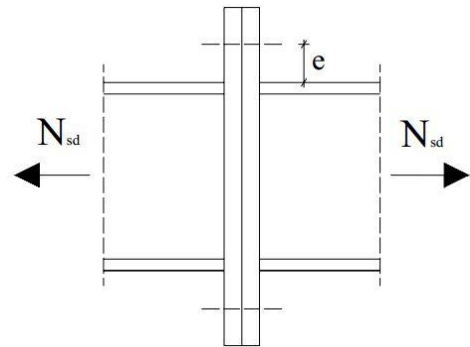
Poprečni presjek

Profil: 100x100x10

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

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



slika 6.3.1. vlačni nastavak rešetke

#### Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 10 = 7,0 \text{ mm} \rightarrow \text{odabrano } a = 7,0 \text{ mm}$$

Otpornost vara:

$$L_w = O = 4 \cdot 100 = 400 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{181,9}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 582,08 \text{ kN} > N_{sd} = 356,44 \text{ kN}$$

#### Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 20 k.v. 5.6.

$$n = 4 \text{ vijka}$$

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M_1}} = \frac{110,3}{1.25} = 88,24 \text{ kN}$$

$$F_{t,sd} = \frac{N_{sd}}{4} = \frac{356,44}{4} = 65,97kN \leq F_{t,Rd} = 89,11kN$$

### Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 7\sqrt{2} = 49,9mm \approx 50mm$$

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

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 2 \cdot c \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 2 \cdot e_2 = 100 + 2 \cdot 50 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 2 \cdot 40 = 250mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 250 x 250 mm

Proračun minimalne debljine ploče  $t_{pl}$

$$b_{pl} = 250 \text{ mm}$$

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c / 2\sqrt{2} = 65,47 \cdot 0,050 / 2\sqrt{2} = 1,16kNm$$

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

$$\Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 116 \cdot 6}{25,0 \cdot 23,5}} = 1,29cm$$

**Odabrane dimenzije ploče su 250 x 250 x 13 mm**

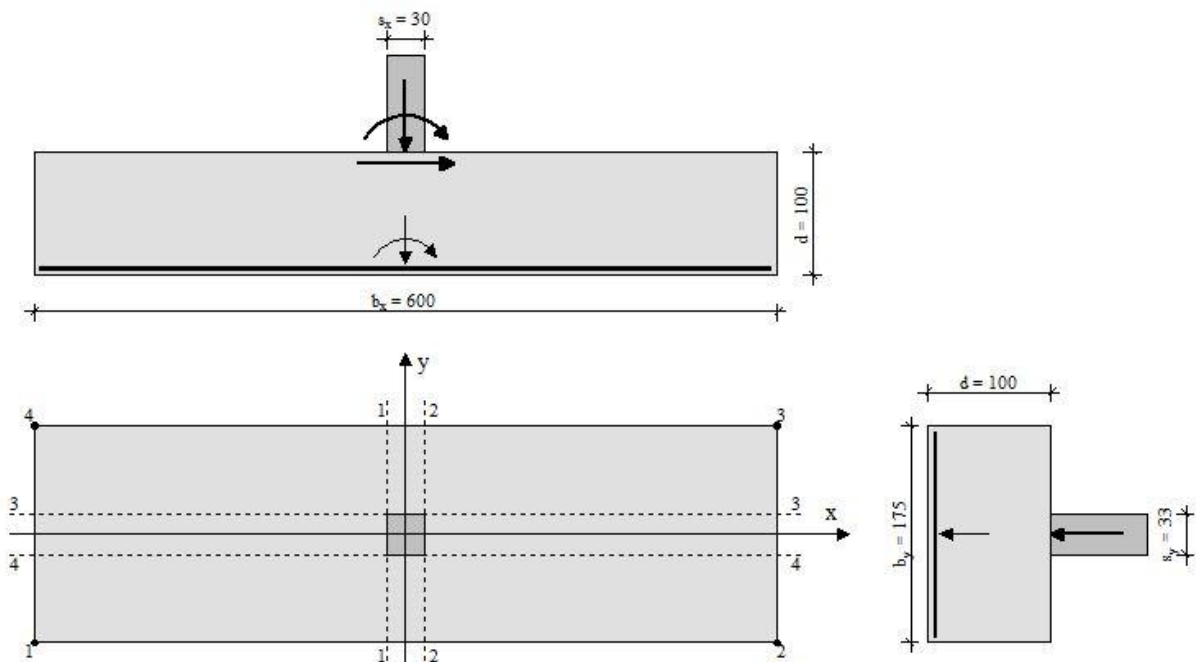
## 7. DIMENZIONIRANJE TEMELJA

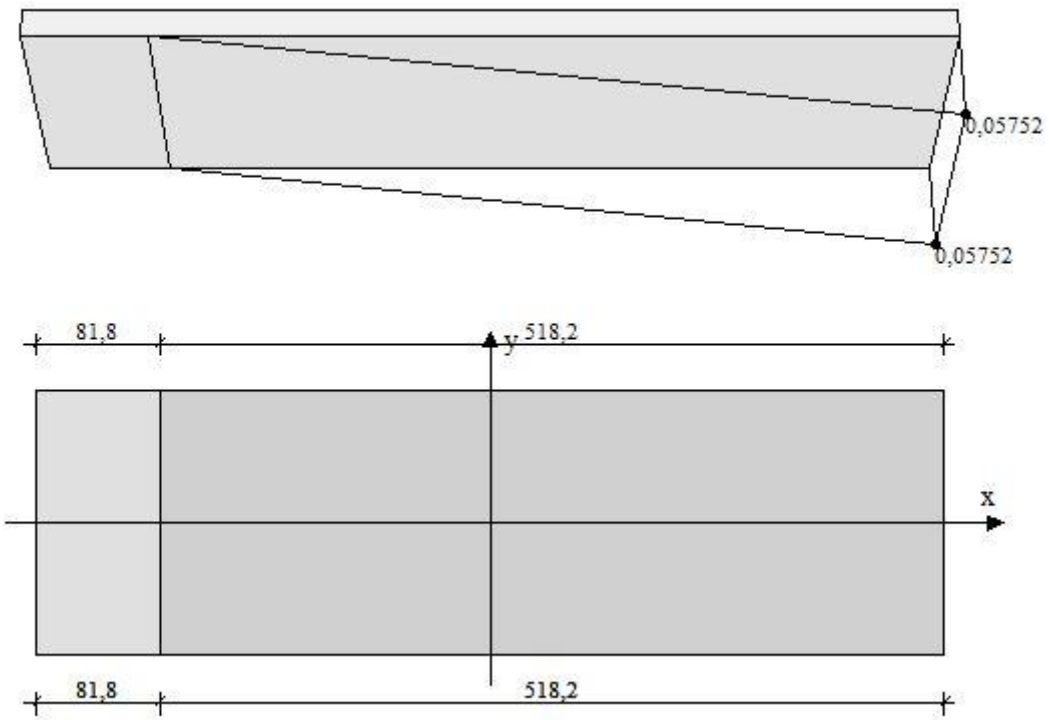
**BETON**

C 25/30

 $\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$ **ARMATURA**

B 500/550

 $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$  $\gamma_s = 1,15$  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,8 \text{ N/mm}^2$ **TLO** $f_{tla,dop} = 0,3 \text{ MN/m}^2$ **REZNE SILE** $N = -8,83 \text{ kN}$  $V_y = 91,09 \text{ kN}$  $M_z = 240,85 \text{ kN}$ **SILE** $A = b_x \cdot b_y = 10,5 \text{ m}^2$  $W_x = \frac{b_x \cdot b_y^2}{6} = 3,06 \text{ m}^2$  $W_y = \frac{b_y \cdot b_x^2}{6} = 10,5 \text{ m}^2$  $N_{sd} = N - \gamma_b \cdot b_x \cdot b_y \cdot d = -260,83 \text{ kN}$  $M_{sd,x} = M_x + N \cdot c_y = 0 \text{ kNm}$  $M_{sd,y} = M_y - N \cdot c_x + V_x \cdot d = 331,94 \text{ kNm}$  $e_x = \frac{M_{sd,y}}{N_{sd}} = -127,26 \text{ cm}$  $e_y = \frac{M_{sd,x}}{N_{sd}} = 0 \text{ cm}$ **NAPREZANJA U TLU** $\sigma_1 = 0,00 \text{ MN/m}^2$  $\sigma_2 = 0,05752 \text{ MN/m}^2$  $\sigma_3 = 0,05752 \text{ MN/m}^2$  $\sigma_4 = 0,00 \text{ MN/m}^2$ **ARMATURA** $M_{1-1} = 27,17 \text{ kNm}$  $M_{2-2} = 333,88 \text{ kNm}$  $M_{3-3} = 25,71 \text{ kNm}$  $M_{4-4} = 25,71 \text{ kNm}$  $A_{sx} = \frac{M_{2-2}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = 8,98 \text{ cm}^2$  $A_{sy} = \frac{M_{3-3}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = 0,69 \text{ cm}^2$ 



**8. UKUPNA TEŽINA HALE I TEŽINA PO m<sup>2</sup>**

Ukupna težina hale:

$$G_{ukupno} = G_{okvir} \cdot n_{okvira} + G_{sek} = 3379,12 \cdot 11 + 61328,76 = 100\,033,58 \text{ kg}$$

Težina po kvadratu konstrukcije

$$G_{m^2} = \frac{G_{ukupno}}{P_{objekta}} = 100\,033,58 / (19 \cdot 71) = 77,19 \text{ kg/m}^2$$

## 10. LITERATURA

- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [2] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 2, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [3] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [4] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [5] B. Peroš, I. Boko: Predavanja