

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

Šupe, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:382023>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



Sveučilište u Splitu

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Šupe Katarina

Split, 2019.

Sveučilište u Splitu

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

## ZAVRŠNI RAD

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Šupe Katarina

**Sveučilište u Splitu**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA  
KANDIDAT: Šupe Katarina  
BROJ INDEKS: 4053  
KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstrukcije  
PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale.

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S235

Objekt se nalazi na području Osijeka

Razmak okvira: 5,1 (m)

U Splitu, 2019.

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

## **Proračun čelične konstrukcije hale**

### **Sažetak:**

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

### **Ključne riječi:**

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

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

### **Abstract:**

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

### **Keywords:**

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

## SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS.....	7
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE.....	7
1.1.1. Općenito.....	7
1.1.2. Konstruktivni elementi.....	8
1.1.3. Spojevi.....	9
1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE.....	9
1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	9
1.4. PRIMJENJENI PROPISI.....	9
1.5. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA.....	10
1.6. ZAŠTITA OD POŽARA.....	10
1.7. MONTAŽA I TRANSPORT.....	10
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	11
2.1. STALNO OPTEREĆENJE.....	11
2.2. POKRETNOST OPTEREĆENJE.....	12
2.2.1. Djelovanje snijega.....	12
2.2.2. Djelovanje vjetra.....	13
2.2.2.1. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove.....	15
2.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova $\Theta=0^\circ$ .....	17
2.2.2.3. Djelovanje vjetra na zabat hale.....	21
3. KONTROLA PROGIBA (GSU).....	23
3.1. REŠETKA.....	23
3.2. STUP.....	24
4. DIJAGRAM REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN).....	25
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	25
4.1.1. Kombinacija 1,35G+1,5S.....	25
4.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1.....	27
4.1.3. Kombinacija 1,35G+1,5W2.....	29
4.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	31
4.2.1. Sekundarni krovni nosač.....	31
4.2.1.1. Kombinacija 1,35G+1,5S.....	31
4.2.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1.....	33
4.2.1.3. Kombinacija 1,35G+1,W2.....	35
4.2.2. Sekundarni bočni nosač.....	37
4.2.2.1. Kombinacija 1,0G <sub>EI</sub> +1,5S.....	37
4.2.2.2. Kombinacija 1,35G <sub>EI</sub> +1,5W2.....	38
4.2.3. Zabatni stupovi.....	39
4.2.4. Krovni spreg.....	41
4.2.5. Bočni spreg.....	42
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....	43
5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	43
5.1.1. Stup.....	43
5.1.1.1. Opterećenja kombinacije 1,0G+1,5W1.....	43
5.1.1.2. Opterećenja kombinacije 1,35G+1,5S.....	49
5.1.2. Gornji pojas.....	55
5.1.3. Donji pojas.....	58
5.1.5. Ispune.....	60
5.1.5.1. Vješaljke.....	60
5.1.5.2. Dijagonale.....	63
5.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA.....	66

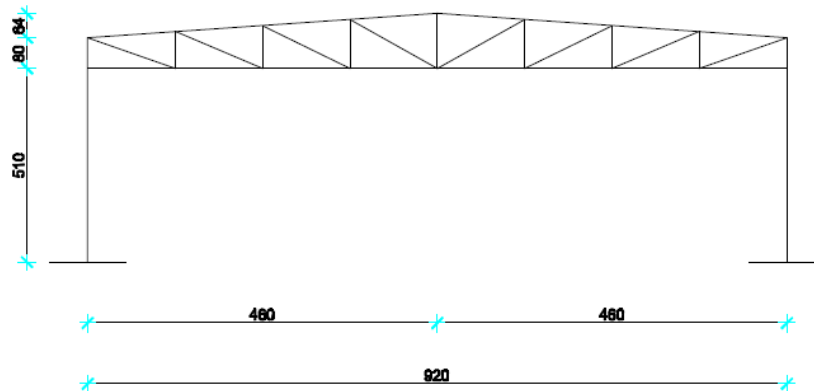
5.2.1. Sekundarni krovni nosač.....	66
5.2.2. Sekundarni bočni nosač.....	72
5.2.3. Zabatni stupovi.....	76
5.2.4. Krovni spreg.....	80
5.2.5. Bočni spreg.....	81
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA.....	82
6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ.....	82
6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA.....	85
6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA DONJEG SPOJA.....	87
7. PRORAČUN TEMELJA.....	89
8. LITERATURA.....	91
9. NACRTI.....	92
9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA.....	92
9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR.....	93
9.3. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA.....	94
9.4. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA.....	95
9.5. DETALJ „DE1“ SPOJ STUP-TEMELJ.....	96
9.6. DETALJ „DE2“ SPOJ STUP-REŠETKA.....	97
9.7. DETALJ „DE3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	98
10. ISKAZ MATERIJALA.....	99

## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

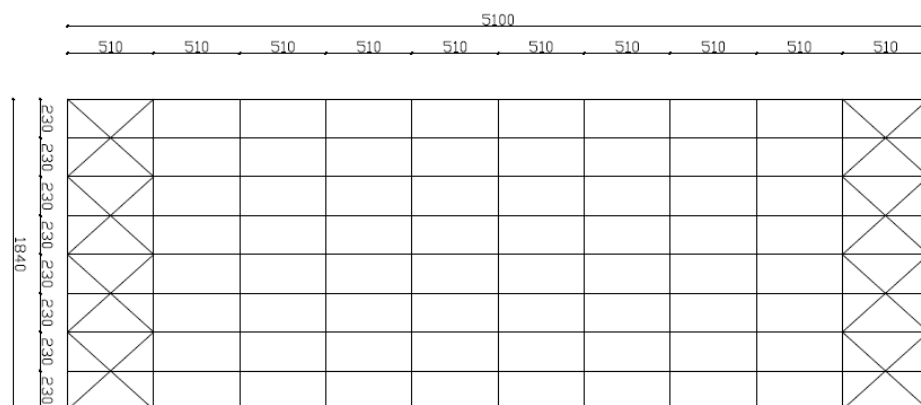
#### 1.1.1. Općenito

Predmetna građevina nalazi se u području grada Osijeka. Tlocrtna dimenzija je  $18,4 \times 51,0$  (m), a visina iznosi 6,54 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha=4,00^\circ$ , što je ekvivalentno nagibu od 7%. Projektirana je za potrebe skladišta.



Slika 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav, koji je zamišljen kao sustav 10 ravninskih okvira raspona 18,4 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 5,1 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije



Na grede okvira se oslanjaju sekundarni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,31 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom razmaku od 2,55 (m). Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem).

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

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

### **1.1.2. Konstruktivni elementi**

#### **Stupovi**

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA 180 duljine 5100 (mm). Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 180. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

#### **Glavna rešetka**

Glavne rešetke su dimenzionirane da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenja od snijega i vjetra. Profili gornjeg i donjeg pojasa su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 160×160×5 (mm) spojeni u čvorovima.

Profili vertikalna su pravokutnog šupljeg presjeka CFRHS 50×50×3 (mm), dok su profili dijagonala pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 70×70×5 (mm).

Sami elementi geometrije prikazani su na generalnom nacrtu.

#### **Podrožnice**

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Podrožnica je okomita na nagib krovne plohe.

Pri dimenzioniranju podrožnice koristi se djelovanje gravitacije, snijega i vjetra. Profili krovnih podrožnica su HEA 160, dok su profili bočnih podrožnica HEA 120.

Duljina podrožnica je 5,1 (m).

#### **Spregovi**

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja.

Horizontalni i vertikalni spregovi su dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka RD10.

#### **Temelji**

Proračunom su odabrani temelji dimenzija 2,0×2,0×1,0 (m).

### 1.1.3. Spojevi

#### Stup–temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 350×250×25 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16; k.v. 10.9 nosivim na tlak i odrez, te sidrenim u armirano-betonski temelj. Između podložne ploče i armirano-betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

#### Stup–rešetka

Spoj donjeg pojasa rešetke na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 300×280×10 (mm) i vijcima M12; k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

#### Vlačni nastavak gornjeg pojasa rešetke

Spoj se izvodi vijčano pomoću vezica. Pojasnice se spajaju parom ploča dimenzija 280×280×20 (mm) koje međusobno povezuju vijci M16; k.v. 10.9 nosivi na vlak i odrez.

## 1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

- stalno (vlastita težina građevine)
- snijeg
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 18,4 (m) širine krovne plohe.

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

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

## 1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

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

## 1.4. PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja:

HRN ENV 1991-2-1	vlastita težina građevine
HRN ENV 1991-2-3	djelovanje snijega na konstrukciju
HRN ENV 1991-2-4	djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje:

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

### **1.5. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama „Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije“. Kao vrsta zaštite od korozije odabran je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 $\mu$ m.

### **1.6. ZAŠTITA OD POŽARA**

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

### **1.7. MONTAŽA I TRANSPORT**

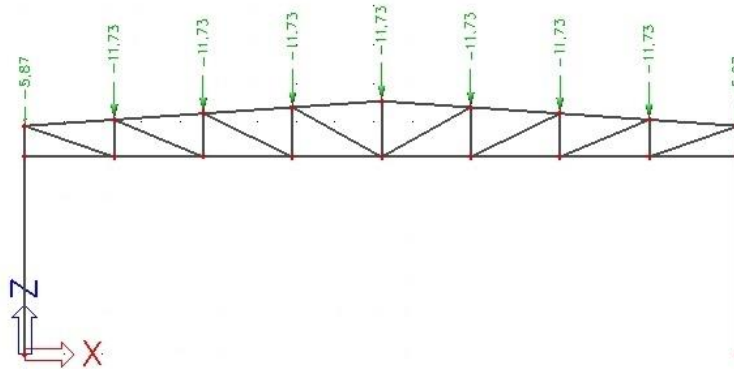
Pozicije okvira će se izrezati u radionici, te transportirati na gradilište. Pri tome potrebno je obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi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

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. STALNO OPTEREĆENJE

– sendvič paneli (aluminij) .....	0,4 kN/m <sup>2</sup>
– sekundarna konstrukcija i spregovi .....	0,4 kN/m <sup>2</sup>
– instalacije .....	0,2 kN/m <sup>2</sup>
	<hr/>
	Σ=1,00 kN/m <sup>2</sup>

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



Slika 2.1.1. Stalno opterećenje u čvorovima rešetke

## 2.2. POKRETNO OPTEREĆENJE

### 2.2.1. Djelovanje snijega

Opterećenje snijegom na krovove (gravitacijsko opterećenje):

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

$\mu_i$  –koeficijent oblika opterećenja snijegom, očitamo ga ovisno o  $\alpha$ ,  $\alpha$  je nagib krova

$$\text{tg}\alpha = \frac{7}{100} = 0,07 \rightarrow \alpha = 4,00^\circ$$

$$\mu_i = 0,8 \Leftrightarrow 0^\circ < \alpha < 15^\circ \quad \alpha_1 = \alpha_2$$

$C_e$  –koeficijent izloženosti (obično se usvaja vrijednost 1,0)

$C_t$  –toplinski koeficijent (obično se usvaja vrijednost 1,0)

$s_k$  –karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu

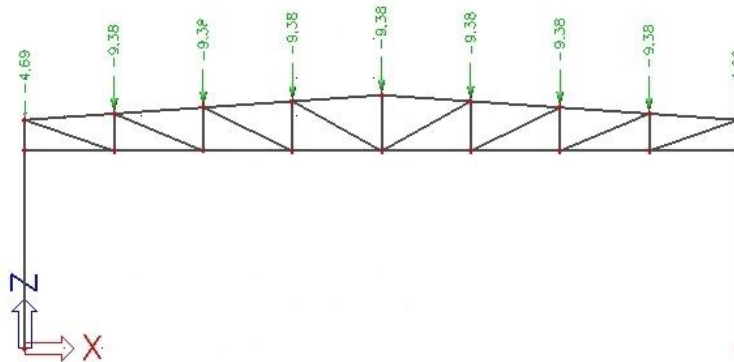
$s_k = 1,0 \text{ [kN/m}^2\text{]} \Leftrightarrow$  za Osijek, od 0-100m nadmorske visine

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Raspodijela sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,1 \text{ m} = 4,08 \text{ kN/m}$$



Slika 2.2.1.1. Opterećenje snijegom u čvorovima rešetke

## 2.2.2. Djelovanje vjetra

Opterećenje vjetrom (okomito na površine):

– pritisak vjetra na vanjske površine:  $w_e = q_p |z_e| \cdot c_{pe} [kN/m^2]$

– pritisak vjetra na unutarnje površine:  $w_i = q_p |z_i| \cdot c_{pi} [kN/m^2]$

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

$z_{e(i)}$  – referentna brzina za vanjski (unutarnji) vjetar

$c_{pe}$  – koeficijent pritiska za vanjski vjetar

$c_{pi}$  – koeficijent pritiska za unutarnji vjetar

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$\text{Osnovni pritisak vjetra } q_p = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 [kN/m^2]$$

$\rho$  – gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa  $1,25 \text{ kg/m}^3$ )

$v_b$  – osnovna brzina vjetra

$$\text{Osnovna brzina vjetra } v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} [m/s]$$

$v_{b,0}$  – fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra (očitava se iz karte  $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ )

$c_{dir}$  – faktor smjera vjetra (obično se uzima 1,0)

$c_{season}$  – faktor doba godine (obično se uzima 1,0)

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 = 20 [m/s]$$

Srednja brzina vjetra  $v_m(z)$ :

$$v_m |z| = c_r |z| \cdot c_o |z| \cdot v_b [m/s]$$

$c_r |z|$  – faktor hrapavosti terena

$c_o |z|$  – faktor orografije ili opisivanje brežuljaka ili gora (obično se uzima 1,0)

Faktor hrapavosti:

$$c_r |z| = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)$$

$z_0$  – duljina hrapavosti

$k_r$  – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti

Faktor terena:

$$k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

$z_{0,II}$  – duljina hrapavosti za kategoriju terena II (prema tablici iznosi 0,05 m)

$$k_r = 0,19 \left( \frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r |z| = 0,19 \cdot \ln \left( \frac{6,54}{0,05} \right) = 0,93$$

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

$$v_m|z| = 0,93 \cdot 1,0 \cdot 20 = 18,6 \text{ [m/s]}$$

Intezitet turbulencije  $I_v(z)$ :

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o|z| \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$k_I$  –faktor turbulencije (obično se uzima vrijednost 1,0, ukoliko nije drugačije definirano Nacionalnim dodatkom)

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{6,54}{0,05}\right)} = 0,205$$

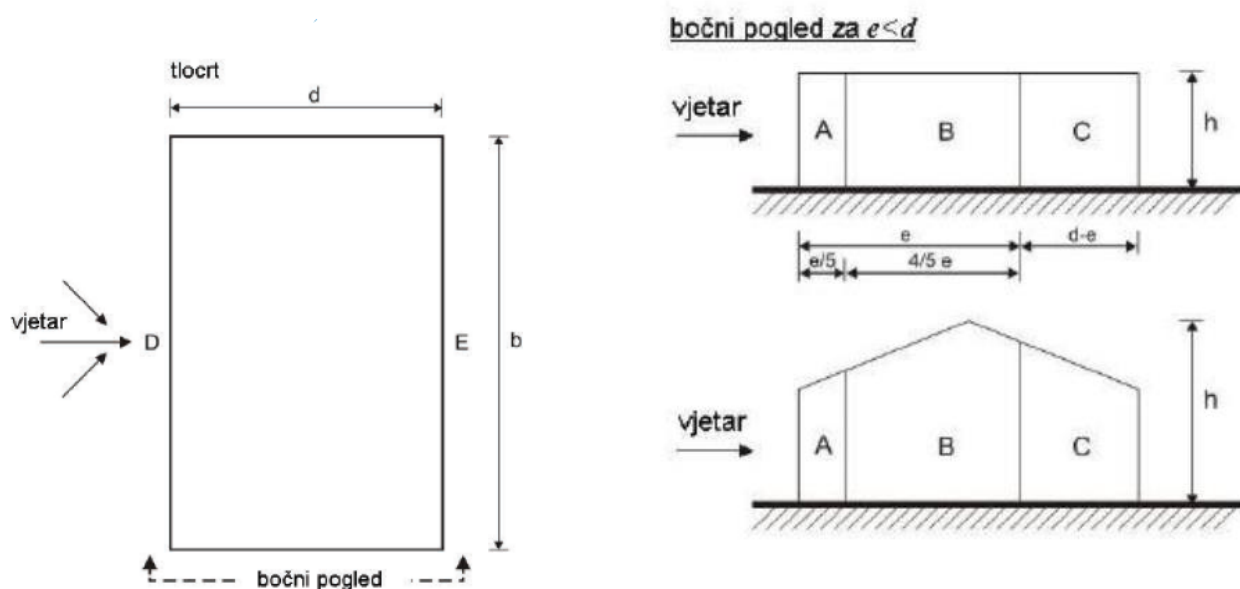
Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p|z| = c_e|z| \cdot q_b = [1 + 7 \cdot I_v|z|] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2|z| \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$c_e|z|$  –faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena  $z$  i kategoriji terena (očitano s karte)

$$q_p|z| = [1 + 7 \cdot 0,205] \cdot \frac{1}{2} 1,25 \cdot 18,6^2 = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

### 2.2.2.1. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove



Slika 2.2.2.1.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

#### Koeficijenti vanjskog pritiska za vertikalne zidove $h/d < 5$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	-0,71	-0,31

Tablica 2.2.2.1.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

#### Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

– unutrašnji koeficijenti pritiska  $c_{pi} = +0,2$  i  $-0,3$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

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

$$q_p |z_e| = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	-0,71	-0,31
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,63	-0,42	-0,26	-0,37	-0,16

Tablica 2.2.2.1.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije



**Pritisak vjetra na unutrašnje površine**

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

$$q_p |z_i| = 0,519 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_i = 0,527 \cdot 0,2 = 0,11 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_i = 0,527 \cdot (-0,3) = -0,16 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

**Rezultirajuće djelovanje vjetra**

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

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow$  razmak okvira

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,63	-0,42	-0,26	-0,37	-0,16
$w_i(\text{kN/m}^2)$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,74	-0,53	-0,37	-0,48	-0,27
$W_k(\text{kN/m})$	-3,77	-2,70	-1,89	-2,45	-1,38

Tablica 2.2.2.1.3. Proračun sila prema područjima vjetra za pozitivni unutarnji pritisak

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

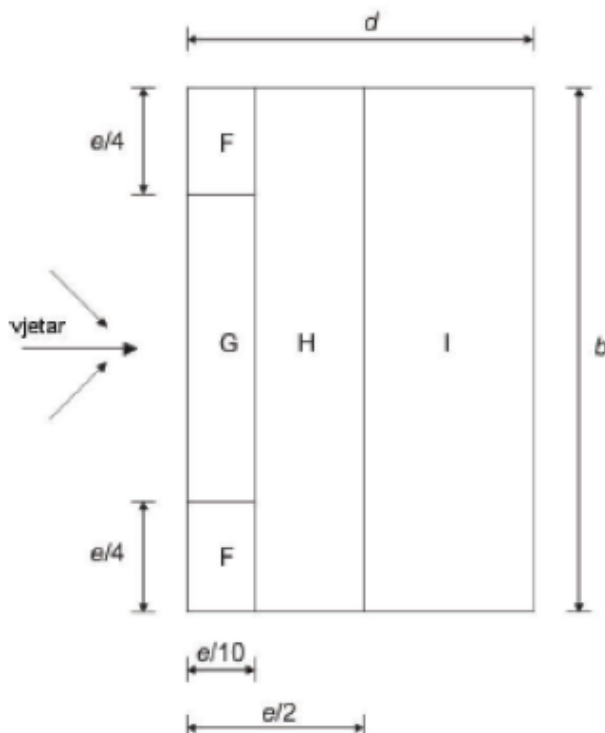
$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow$  razmak okvira

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,63	-0,42	-0,26	-0,37	-0,16
$w_i(\text{kN/m}^2)$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,47	-0,26	-0,10	-0,21	0,00
$W_k(\text{kN/m}^2)$	-2,40	-1,33	-0,51	-1,07	0,00

Tablica 2.2.2.1.4. Proračun sila prema područjima vjetra za negativni unutarnji pritisak

### 2.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova $\Theta=0$



Slika 2.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za ravni krov

#### Koeficijenti vanjskog pritiska za područja dvostrešnog ravnog krova

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

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

Tablica 2.2.2.2.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

#### Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p |z_e| = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,95	-0,63	-0,37	+0,11

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,95	-0,63	-0,37	-0,11

Tablica 2.2.2.2.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

### Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow$  razmak okvira

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	+0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	0,11	0,11	0,11	0,11
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-1,06	-0,74	-0,48	0,00
$W_k(\text{kN/m})$	-5,41	-3,77	-2,45	0,00

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	-0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	0,11	0,11	0,11	0,11
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-1,06	-0,74	-0,48	-0,22
$W_k(\text{kN/m})$	-5,41	-3,77	-2,45	-1,12

Tablica 2.2.2.2.3. Proračun sila prema područjima vjetra za pozitivni unutarnji pritisak

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

$$W_k = w_k \cdot L \text{ [kN/m]}$$

$L = 5,1 \text{ m} \rightarrow$  razmak okvira

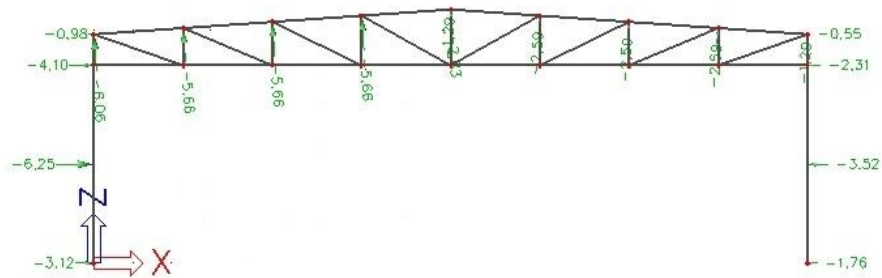
PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	+0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,79	-0,47	-0,21	-0,27
$W_k(\text{kN/m})$	-4,03	-2,40	-1,07	-1,38

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e(\text{kN/m}^2)$	-0,95	-0,63	-0,37	-0,11
$w_i(\text{kN/m}^2)$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16
$w_k(\text{kN/m}^2)$	-0,79	-0,47	-0,21	+0,05
$W_k(\text{kN/m})$	-4,03	-2,40	-1,07	+0,26

Tablica 2.2.2.2.4. Proračun sila prema područjima vjetra za negativni unutarnji pritisak

W1 (kN)

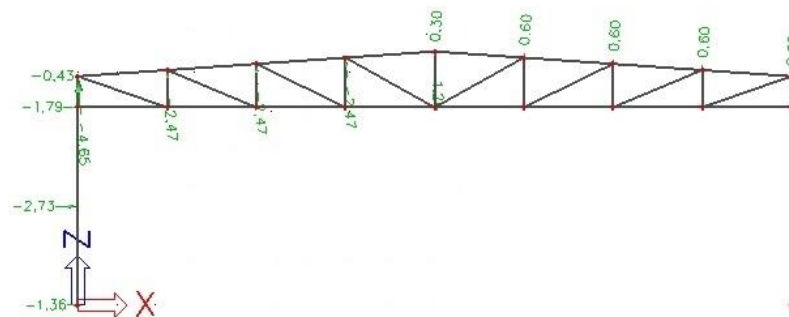
$W_1 = -5,41 \cdot 2,31 = -12,5 \text{ kN}$	F zona
$W_2 = -2,45 \cdot 2,31 = -5,66 \text{ kN}$	H zona
$W_3 = -1,12 \cdot 2,31 = -2,59 \text{ kN}$	I zona
$W_4 = -2,45 \cdot 2,55 = -6,25 \text{ kN}$	D zona
$W_5 = -1,38 \cdot 2,55 = -3,52 \text{ kN}$	E zona



Slika 2.2.2.2.2. Opterećenje vjetrom W1 u čvorovima rešetke

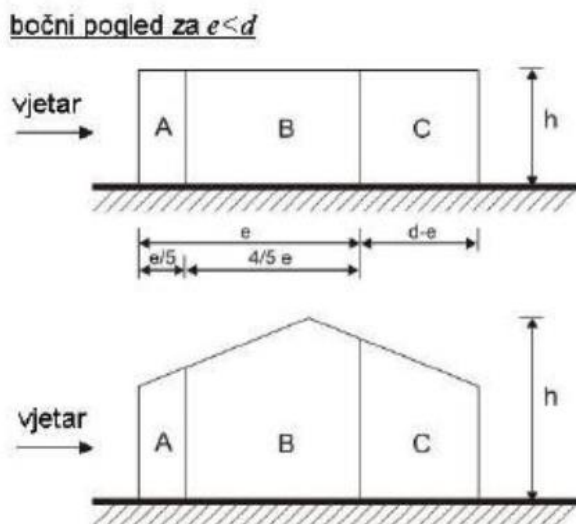
W<sub>2</sub> (kN)

$W_1 = -4,03 \cdot 2,31 = -9,31$ kN	F zona
$W_2 = -1,07 \cdot 2,31 = -2,47$ kN	H zona
$W_3 = +0,26 \cdot 2,31 = +0,60$ kN	I zona
$W_4 = -1,07 \cdot 2,55 = -2,73$ kN	D zona
$W_5 = 0 \cdot 2,55 = 0$ kN	E zona



Slika 2.2.2.2.3. Opterećenje vjetrom W<sub>1</sub> u čvorovima rešetke

### 2.2.2.3. Djelovanje vjetra na zabat hale



#### 2.2.2.3. Područje pritiska vjetra na zabat

Koeficijenti vanjskog pritiska za vertikalne zidove  $h/d < 5$

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

Tablica 2.2.2.3.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

#### Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

– unutrašnji koeficijenti pritiska  $c_{pi} = +0,2$  i  $-0,3$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

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

$$q_p |z_e| = 0,527 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PODRUČJE	A	B	C
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,63	-0,42	-0,26

Tablica 2.2.2.3.2. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

$$Q_1 = A \cdot 2,3 = -0,63 \cdot 2,3 = -1,45 \text{ kN/m'}$$

$$Q_2 = A \cdot 0,316 + B \cdot 4,284 = -0,63 \cdot 2,3 = -2,0 \text{ kN/m'}$$

$$Q_3 = B \cdot 4,6 = -0,63 \cdot 2,3 = -1,93 \text{ kN/m'}$$

$$Q_4 = B \cdot 1,58 + C \cdot 3,02 = -0,63 \cdot 2,3 = -1,45 \text{ kN/m'}$$

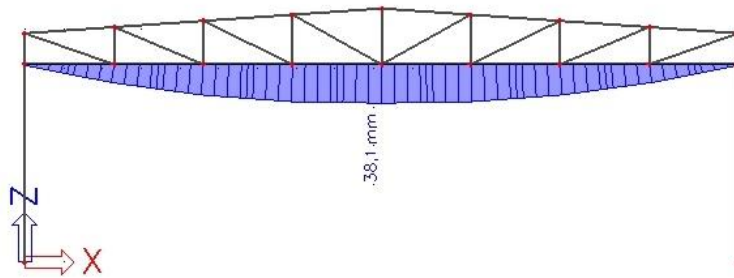
$$Q_5 = C \cdot 2,3 = -0,26 \cdot 2,3 = -0,60 \text{ kN/m'}$$

Napomena: Sile  $Q_1 - Q_6$  dobivene su kao jednoliko raspodijeljeno opterećenje po zabatnim zidovima.  
Reakcije u ležajevim prenose se na krovni spreg.

### 3. KONTROLA PROGIBA (GSU)

#### 3.1. REŠETKA

Najveći progib rešetke dobivamo za kombinaciju 1,0G+1,0S



##### 3.1.1. Vertikalni progib rešetke

Dopušteni progib:

$$\frac{L}{250} = \frac{1840}{250} = 73,6 \text{ mm}$$

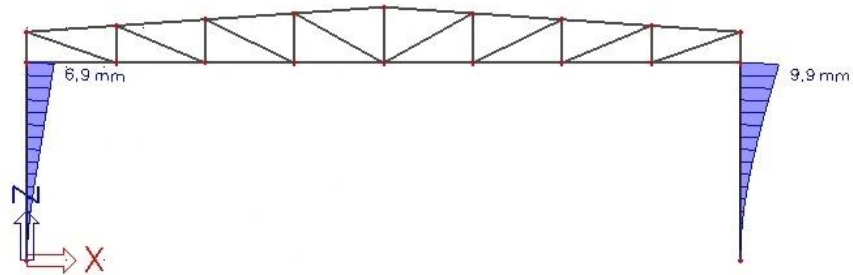
$$\frac{38,1}{73,6} \cdot 100 = 52\%$$

Najveći progib rešetke zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti od 52%.



### 3.2. STUP

Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju 1,0G+1,0W2



#### 3.2.1. Horizontalni progib stupa

Dopušteni progib:

$$\frac{H}{250} = \frac{5100}{250} = 20,4 \text{ mm}$$

$$\frac{9,9}{20,4} \cdot 100 = 49\%$$

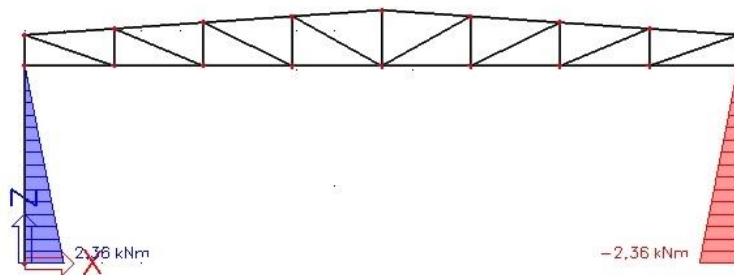
Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti od 49%.

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

##### 4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

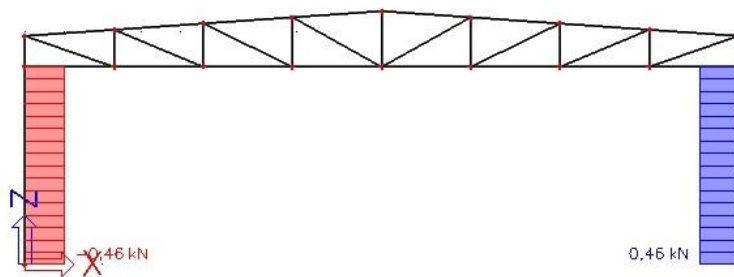
##### 4.1.1. Kombinacija 1,35G+1,5S

Momenti savijanja (kNm)



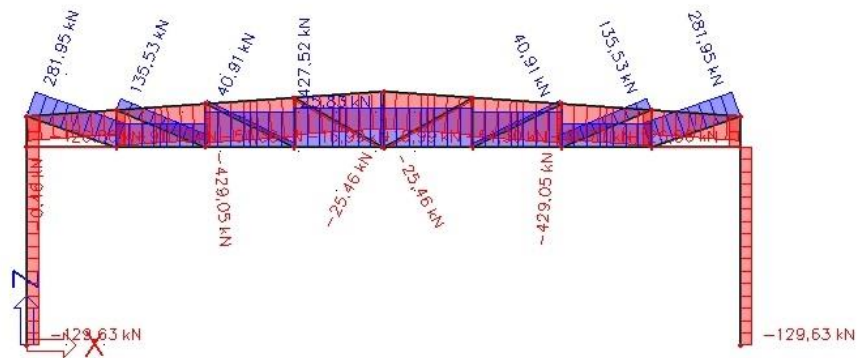
4.1.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1

Poprečne sile (kN)



4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1

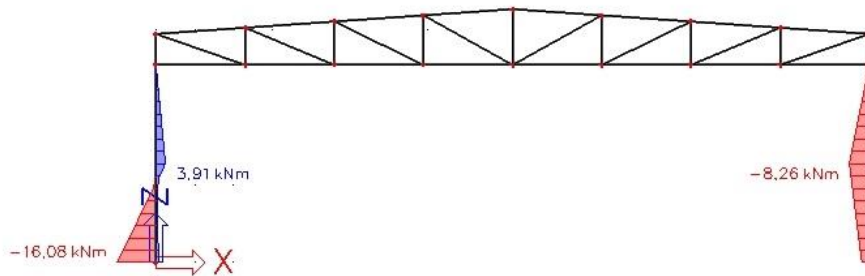
**Uzdužne sile (kN)**



*4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1*

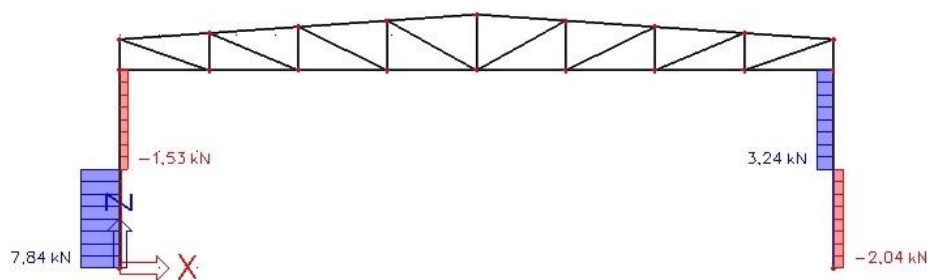
#### 4.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1

##### Momenti savijanja (kNm)



##### 4.1.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 2

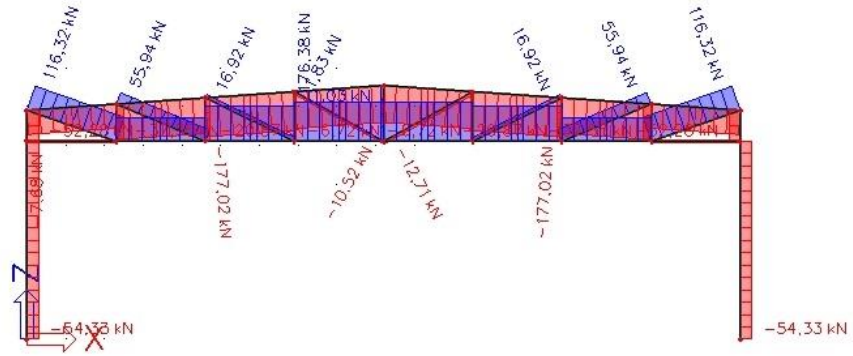
##### Poprečne sile (kN)



##### 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2

**Uzdužne sile (kN)**

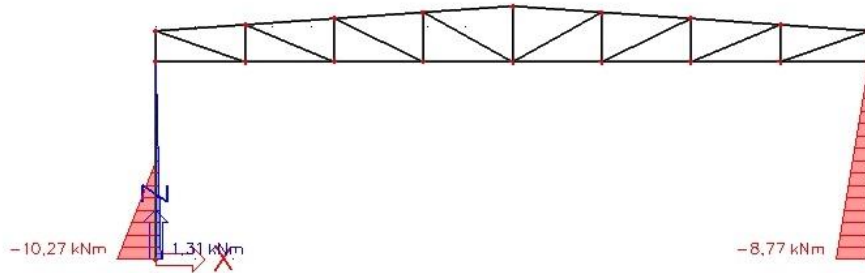
4



*4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 2*

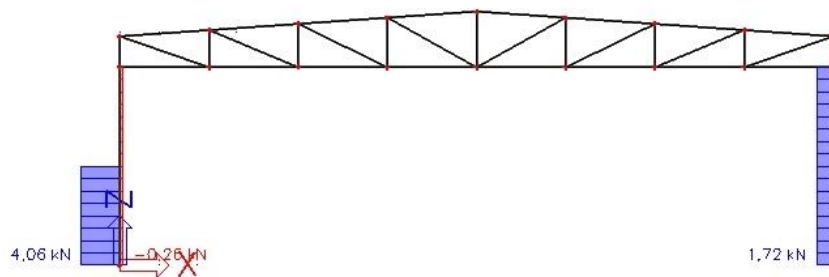
### 4.1.3. Kombinacija 1,35G+1,5W2

#### Moment savijanja (kNm)



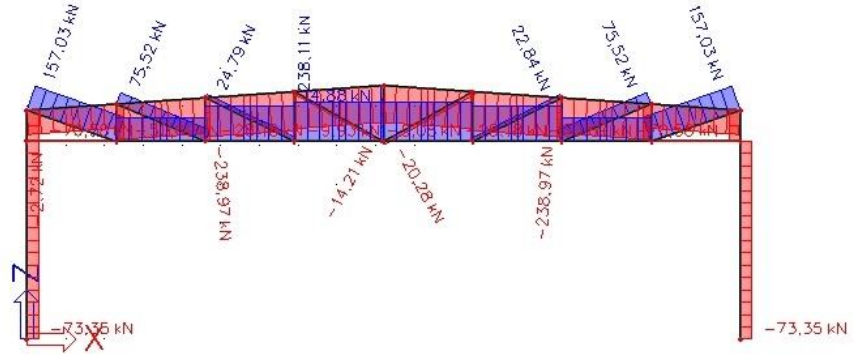
#### 4.1.3.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 3

#### Poprečne sile (kN)



#### 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 3

**Uzdužne sile (kN)**



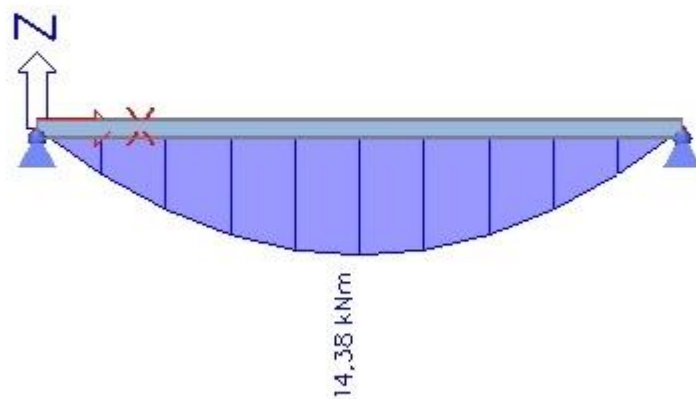
*4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 3*

## 4.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

### 4.2.1. Sekundarni krovni nosači

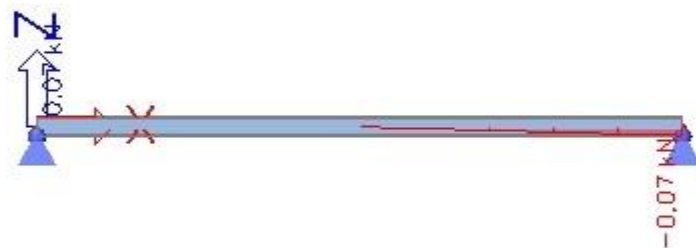
#### 4.2.1.1. Kombinacija 1,0G+1,5S

Momenti savijanja  $M_y$  (kNm)



#### 4.2.1.1.1. Momentni dijagram opterećenja u y smjeru kombinacije 1

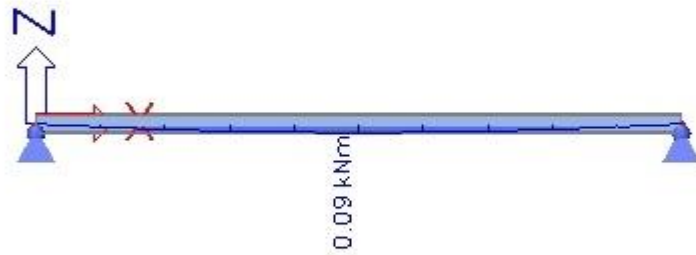
Poprečne sile  $V_y$  (kN)



#### 4.2.1.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja u y smjeru kombinacije 1

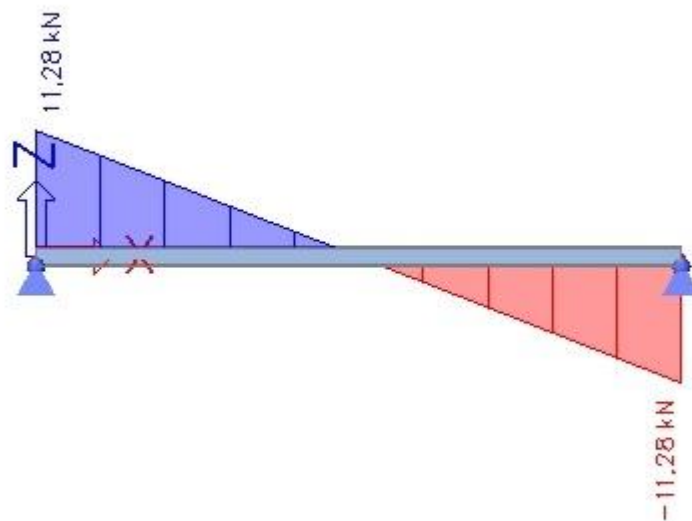


**Momenti savijanja  $M_z$  (kNm)**



*4.2.1.1.3. Momentni dijagram opterećenja u z smjeru kombinacije 1*

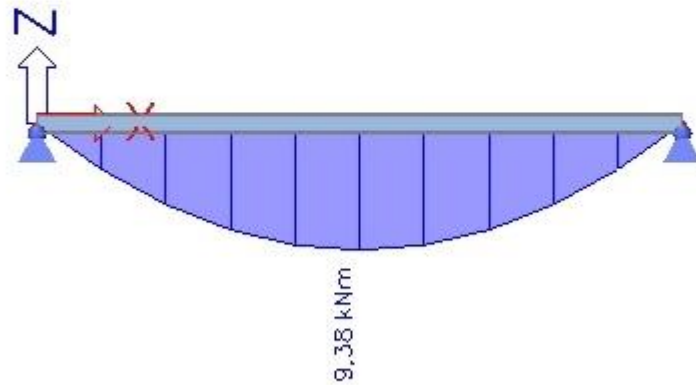
**Poprečne sile  $V_z$  (kN)**



*4.2.1.1.4. Dijagram poprečnih sila opterećenja u z smjeru kombinacije 1*

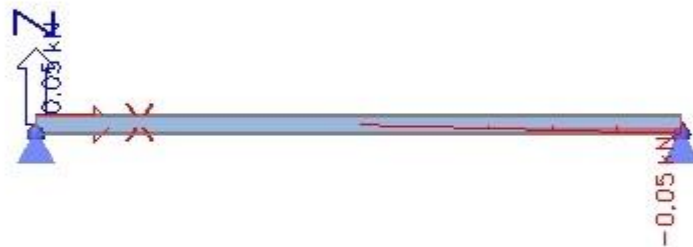
#### 4.2.1.2. Kombinacija 1,0G+1,5W1

##### Momenti savijanja $M_y$ (kNm)



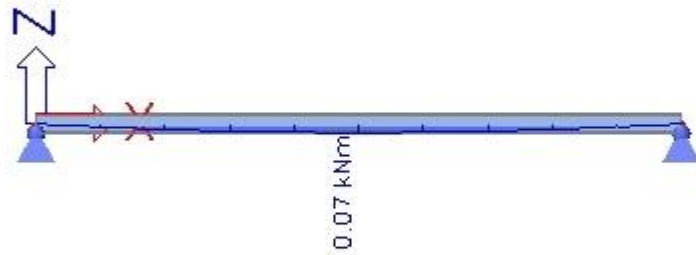
##### 4.2.1.2.1. Momentni dijagram opterećenja u y smjeru kombinacije 2

##### Poprečne sile $V_y$ (kN)



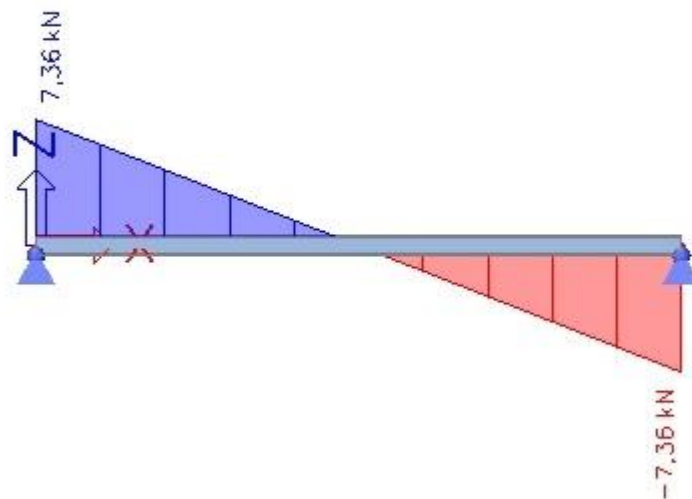
##### 4.2.1.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja u y smjeru kombinacije 2

**Momenti savijanja  $M_z$  (kNm)**



*4.2.1.2.3. Momentni dijagram opterećenja u z smjeru kombinacije 2*

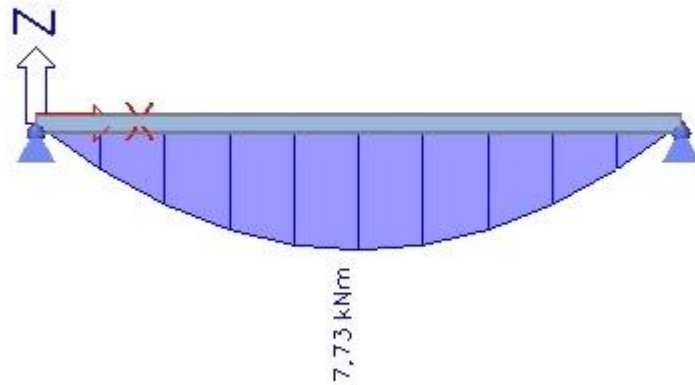
**Poprečne sile  $V_z$  (kN)**



*4.2.1.2.4. Dijagram poprečnih sila opterećenja u z smjeru kombinacije 2*

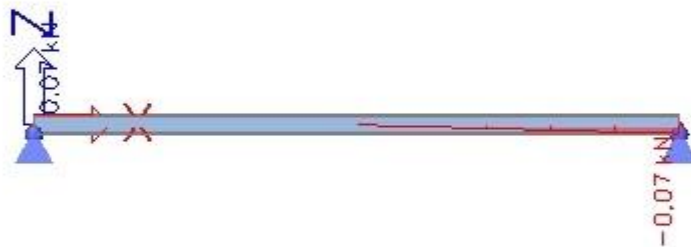
### 4.2.1.3. Kombinacija 1,0G+1,5W2

#### Momenti savijanja $M_y$ (kNm)



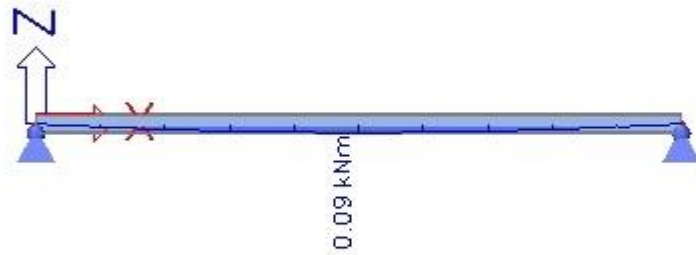
#### 4.2.1.3.1. Momentni dijagram opterećenja u y smjeru kombinacije 3

#### Poprečne sile $V_y$ (kN)



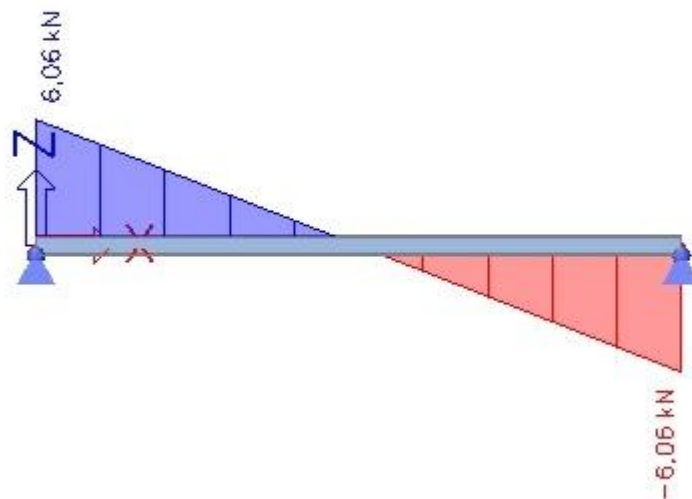
#### 4.2.1.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja u y smjeru kombinacije 3

**Momenti savijanja  $M_z$  (kNm)**



*4.2.1.3.3. Momentni dijagram opterećenja u z smjeru kombinacije 3*

**Poprečne sile  $V_z$  (kN)**

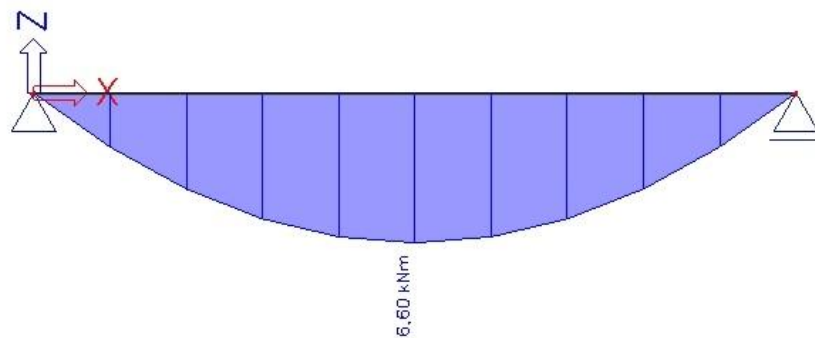


*4.2.1.3.4. Dijagram poprečnih sila opterećenja u z smjeru kombinacije 3*

## 4.2.2. Sekundarni bočni nosači

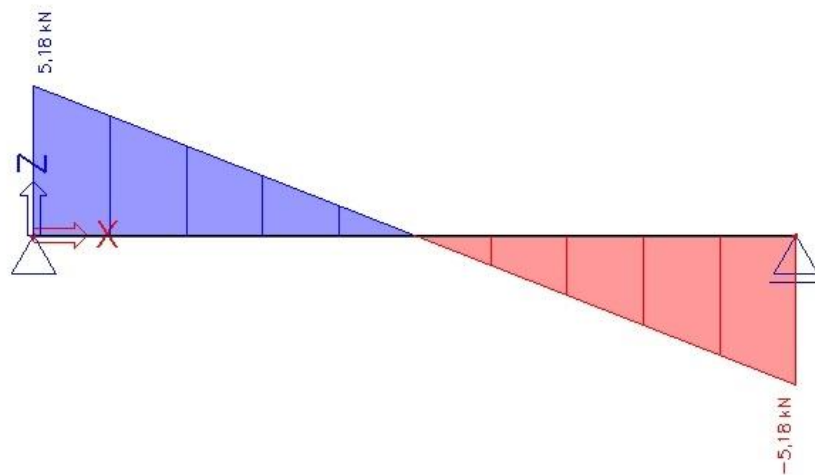
### 4.2.2.1. Kombinacija 1,0G<sub>el</sub>+1,5W1

#### Momenti savijanja (kNm)



4.2.2.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1

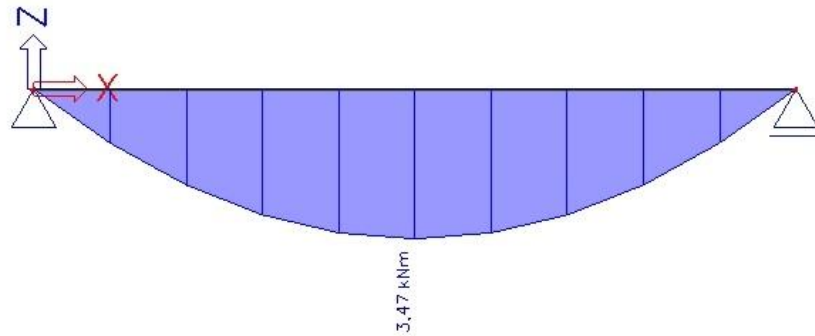
#### Poprečne sile (kN)



4.2.2.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1

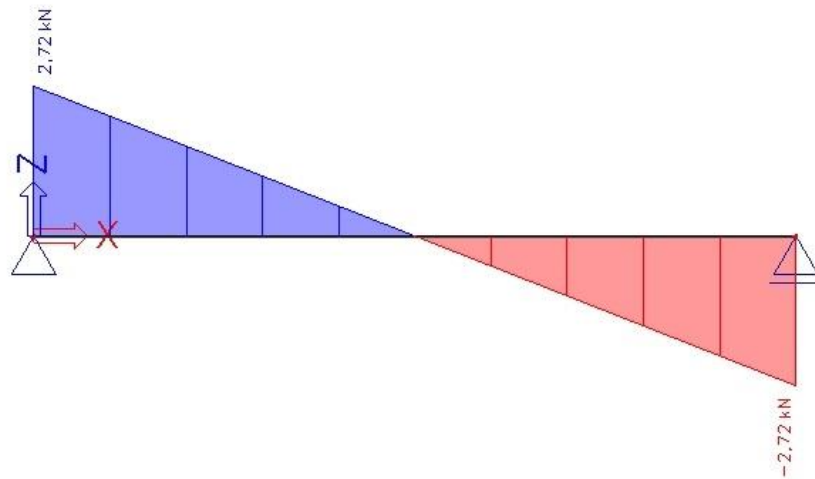
#### 4.2.2.2. Kombinacija 1,35G<sub>el</sub>+1,5W<sub>2</sub>

##### Momenti savijanja (kNm)



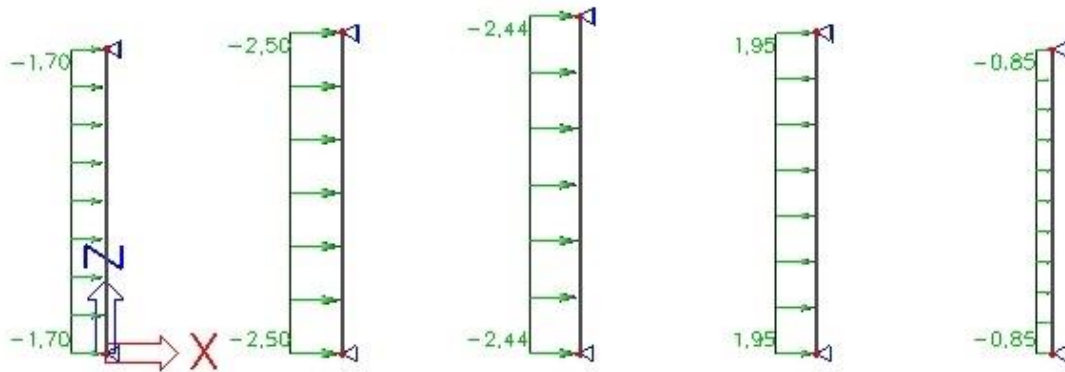
4.2.2.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 2

##### Poprečne sile (kN)

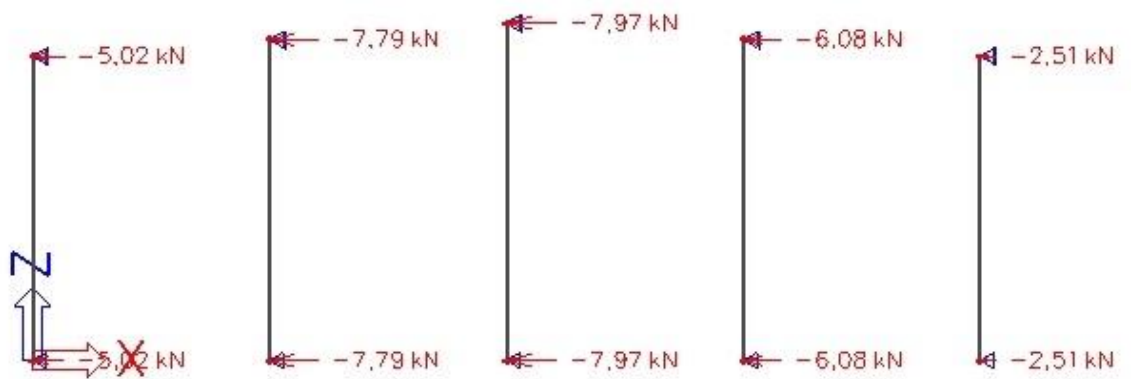


4.2.2.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 2

### 4.2.3. Zabatni stupovi

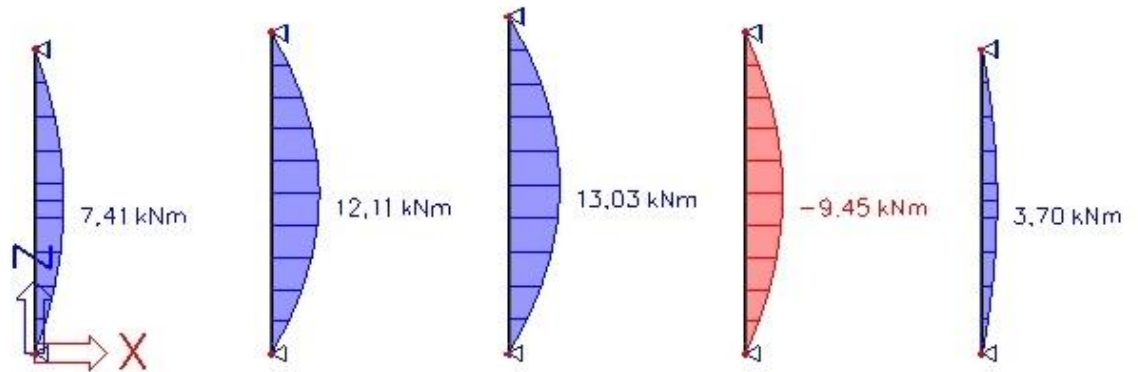


#### 4.2.3.1. Raspored zabatnih stupova i opterećenje

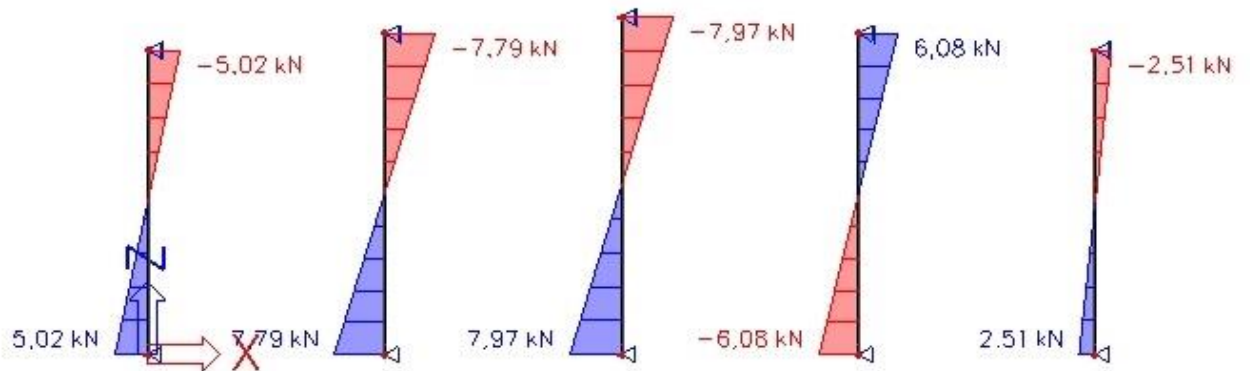


#### 4.2.3.2. Reakcije zabatnih stupova





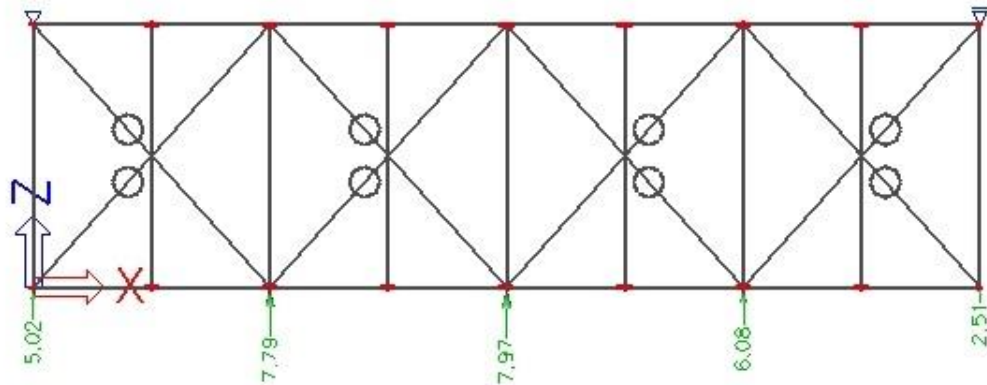
4.2.3.3. Momentni dijagram zabatnih stupova



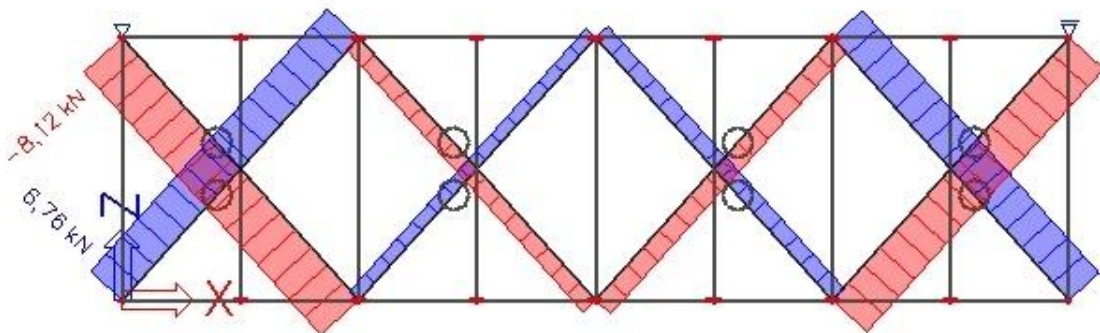
4.2.3.3. Dijagram uzdužnih sila zabatnih stupova

#### 4.2.4. Krovni spreg

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



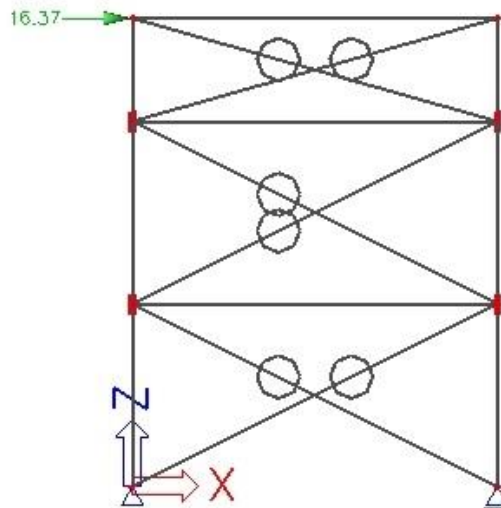
##### 4.2.4.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje



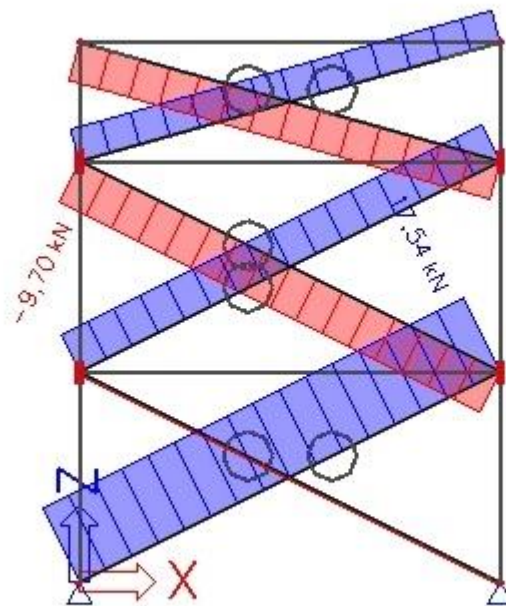
##### 4.2.4.2. Dijagram uzdužnih sila krovnih spregova

#### 4.2.5. Bočni spreg

Sile koje djeluju na bočne spregove su prenešene reakcije od djelovanja nakrovne spregove.



##### 4.2.5.1. Raspored bočnih spregova i opterećenje



##### 4.2.5.2. Dijagram uzdužnih sila u bočnim spregova

## 5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

### 5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

#### 5.1.1. Stup

##### 5.1.1.1. Opterećenja kombinacije 1,0G+1,5W1

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=171$  mm

Širina pojsnice:  $b=180$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=6$  mm

Radijus zakrivljenosti:  $r=15$  mm

Povšina:  $A=45,3$  cm<sup>2</sup>

$A_y=32,772$  cm<sup>2</sup>

$A_z=10,992$  cm<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

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

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$  kN/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$  kN/cm<sup>2</sup>

$G=8770$  kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{Ed}=16,08$  kNm

– poprečna sila  $V_{Ed}=7,84$  kN

– uzdužna sila  $N_{Ed}=54,33$  kN (tlak)

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

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

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{54,33}{2 \cdot 0,6 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,93$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{121} \cdot \left( \frac{121}{2} + 1,93 \right) = 0,66$$

$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,66 - 1} = 52,31$$

*Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.*

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 10 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

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

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

$$\frac{c}{t_f} = 7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 1064,55 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 1064,55 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 54,33 \text{ kN}$$

***Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.***

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

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 16,08 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

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

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

*Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.*

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 15,1 \cdot 0,6 = 10,87 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12,9 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 7,84 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V-N

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

$$V_{z,Rd} = 7,84 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

*Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.*

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

Niska razina uzdužne sile:

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

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

$$(1) N_{Ed} = 54,33 \leq 0,25 \cdot 1064,55 = 266,14 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 54,33 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 106,46 \text{ kN}$$

*Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.*

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

## Otpornost elementa izloženog savijanju i uzdužnoj sili

### Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 \leq 1,2; t_f = 8 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

– za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,34$

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 1020 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{1020^2} = 500,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{500,03}} = 1,46$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,78 + \sqrt{1,78^2 - 1,46^2}} = 0,36 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{1020^2} = 2948,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{2948,36}} = 0,60$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,60 - 0,2) + 0,60^2] = 0,78$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,78 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,36$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,36 \cdot 45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 380,81 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 380,81 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 54,33 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa zadovoljava.**

### Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 255 \text{ cm}$$

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

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,77$$

$$C_1 = 0$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 255)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 255)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0 \cdot 8,55)^2} \right] - 0 \cdot 8,55$$

$$= 53636,76 \text{ kNcm} = 536,37 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{53636,76}} = 0,38 \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 16,08 \text{ kNm}$$



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

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

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

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

Interakcijski faktori za presjek klase 1 i 2:

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

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 0,60 \geq 0,4$$

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{3,91}{16,08} = 0,243$$

$$\psi = \frac{M_{h2}}{M_{h1}} = \frac{0}{16,08} = 0$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,2 + 0,8 \cdot 0,243 = 0,4$$

$$C_{mz} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_h = 0,2 + 0,8 \cdot 0,243 = 0,4$$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left[ 1 + (1,46 - 0,2) \cdot \frac{54,33}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,47$$

$$k_{yy} = 0,47 > 0,4 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{54,33}{0,36 \cdot 1604,55/1,0} \right] = 0,45$$

$$k_{yy} = 0,45$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,6}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{54,33}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,97$$

$$k_{zy} = 0,97 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{54,33}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,96$$

$$k_{zy} = 0,97$$

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

$$\frac{54,33}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} + 0,45 \cdot \frac{16,08}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,24 \leq 1,0$$

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

$$\frac{54,33}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} + 0,97 \cdot \frac{16,08}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,27 \leq 1,0$$

**Odobrani profil HEA 180 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti  $\eta = 27\%$ .**

### 5.1.1.2. Opterećenja kombinacije 1,35G+1,5S

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=171$  mm

Širina pojsnice:  $b=180$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=6$  mm

Radijus zakrivljenosti:  $r=15$  mm

Povšina:  $A=45,3$  cm<sup>2</sup>

$$A_y=18,775$$
 cm<sup>2</sup>

$$A_z=10,992$$
 cm<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

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

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y=23,5$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$\varepsilon=1,0$$

$$E=21000$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$G=8770$$
 kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{Ed}=2,36$  kNm

– poprečna sila  $V_{Ed}=0,46$  kN

– uzdužna sila  $N_{Ed}=129,63$  kN (tlak)

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

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

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{54,33}{2 \cdot 0,6 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,93$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{121} \cdot \left( \frac{121}{2} + 1,93 \right) = 0,66$$
$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,66 - 1} = 52,31$$

*Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.*

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 10 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

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

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

$$\frac{c}{t_f} = 7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 1064,55 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 1064,55 \text{ kN} \geq N_{sd} = 129,63 \text{ kN}$$

***Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.***

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

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{119,58 \cdot 23,5}{1,0} = 16,23 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2,36 \text{ kNm}$$

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

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

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

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

*Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.*

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 5,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12,9 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 0,46 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V-N

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

$$V_{z,Rd} = 0,46 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

*Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.*

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

Visoka razina uzdužne sile:

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

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

$$(1) N_{Ed} = 129,63 \leq 0,25 \cdot 1064,55 = 266,14 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 129,63 \geq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 69,09 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{129,63}{1064,55} = 0,12$$

$$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,11 \cdot (1 - n)$$

$$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = \frac{2,36}{16,23} = 0,15 \leq 1,11 \cdot (1 - n) = 1,11 \cdot (1 - 0,12) = 0,97$$

***Profil HEA 120 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.***

## Otpornost elementa izloženog savijanju i uzdužnoj sili

### Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{114}{120} = 0,95 \leq 1,2; t_f = 8 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

– za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,34$

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 1020 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{1020^2} = 500,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{500,03}} = 1,46$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,46 - 0,2) + 1,46^2] = 1,78$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,78 + \sqrt{1,78^2 - 1,46^2}} = 0,36 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 255 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{255^2} = 2948,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,3 \cdot 23,5}{2948,36}} = 0,60$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,60 - 0,2) + 0,60^2] = 0,78$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}} = 0,17 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,36$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,36 \cdot 45,3 \cdot 23,5}{1,0} = 380,81 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 380,81 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 129,63 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

### Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 255 \text{ cm}$$

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

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,77$$

$$C_1 = 0$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 255)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 255)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0 \cdot 8,55)^2} \right] - 0 \cdot 8,55$$

$$= 53636,76 \text{ kNcm} = 536,37 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{53636,76}} = 0,38 \geq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 2,36 \text{ kNm}$$

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

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

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

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

Interakcijski faktori za presjek klase 1 i 2:

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

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 0,60 \geq 0,4$$

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

$$\psi = \frac{M_{h2}}{M_{h1}} = \frac{0}{2,36} = 0$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[ 1 + (1,46 - 0,2) \cdot \frac{129,63}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,86$$

$$k_{yy} = 0,86 > 0,6 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{129,63}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,76$$

$$k_{yy} = 0,76$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,6}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{129,63}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,97$$

$$k_{zy} = 0,97 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{129,63}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} \right] = 0,96$$

$$k_{zy} = 0,97$$

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

$$\frac{129,63}{0,36 \cdot 1064,55/1,0} + 0,76 \cdot \frac{2,36}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,36 \leq 1,0$$

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

$$\frac{129,63}{0,78 \cdot 1064,55/1,0} + 0,97 \cdot \frac{2,36}{1,0 \cdot 76,38/1,0} = 0,19 \leq 1,0$$

**Odabrani profil HEA 180 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti  $\eta = 36\%$ .**

### 5.1.2. Gornji pojas rešetke

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 160×160×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=160$  mm

Širina pojasnice:  $b=160$  mm

Debljina pojasnice:  $t=5$  mm

Povšina:  $A=30,36$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=1202,4$  cm<sup>4</sup>

$I_z=1202,4$  cm<sup>4</sup>

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$  kN/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$  kN/cm<sup>2</sup>

$G=8077$  kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=429,05$  kN (tlak)

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

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

$$\frac{c}{t} = 29 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{30,36 \cdot 23,5}{1,0} = 713,46 \text{ kN}$$



$$N_{pl,Rd} = 713,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 429,05 \text{ kN}$$

**Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.**

### Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{160} = 1 \leq 1,2; t_f = 5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

– za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,34$

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

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 230,56 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{230,56^2} = 4688,13 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 23,5}{4688,13}} = 0,39$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(0,39 - 0,2) + 0,39^2] = 0,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,39^2 - 0,62^2}} = 0,90 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 461,12 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1202,4}{461,12^2} = 1172,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{30,36 \cdot 23,5}{1172,03}} = 0,78$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,78 - 0,2) + 0,78^2] = 0,95$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,95 + \sqrt{0,95^2 - 0,78^2}} = 0,67 \leq 1,0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,67$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,67 \cdot 30,36 \cdot 23,5}{1,0} = 481,29 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 481,29 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 429,05 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa zadovoljava.**

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:**

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{429,05}{481,29} \cdot 100 = 89\%$$

### 5.1.2. Donji pojas rešetke

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 160×160×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=160$  mm

Širina pojasnice:  $b=160$  mm

Debljina pojasnice:  $t=5$  mm

Povšina:  $A=30,36$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=1202,4$  cm<sup>4</sup>

$I_z=1202,4$  cm<sup>4</sup>

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$  kN/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$  kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=427,52$  kN (vlak)

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice.

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

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

$$\frac{c}{t} = 29 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

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

$$N_{t,Rd} = N_{pL,Rd} = \frac{30,36 \cdot 23,5}{1,0} = 713,46 \text{ kN}$$

$$N_{pL,Rd} = 713,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 427,52 \text{ kN}$$

*Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.*

*Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:*

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{427,52}{713,46} \cdot 100 = 60\%$$

### 5.1.3. Ispune

#### 5.1.3.1. Vješaljke

##### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 50×50×3

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=50$  mm

Širina pojsnice:  $b=50$  mm

Debljina pojasnice:  $t=3$  mm

Povšina:  $A=5,41$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=19,47$  cm<sup>4</sup>

$I_z=19,47$  cm<sup>4</sup>

##### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$  kN/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$  kN/cm<sup>2</sup>

$G=8077$  kN/cm<sup>2</sup>

##### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=25,83$  kN (vlak)

$N_{Ed}=91,73$  kN (tlak)

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

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

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = b - 3 \cdot t = 50 - 3 \cdot 3 = 41 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{41}{3} = 13,67$$

$$\frac{c}{t} = 13,67 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

**Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

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

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5,41 \cdot 23,5}{1,0} = 127,14 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 127,14 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 25,83 \text{ kN}$$

**Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.**

**Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{5,41 \cdot 23,5}{1,0} = 127,14 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 127,14 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 91,73 \text{ kN}$$

**Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.**

**Otpornost elementa na izvijanje**

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 19,47}{96} = 437,87 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{5,41 \cdot 23,5}{437,87}} = 0,54$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

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

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,54 - 0,2) + 0,54^2] = 0,73$$

$$\chi = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,54^2}} = 0,82 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,82 \cdot 5,41 \cdot 23,5}{1,0} = 104,38 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 110,17 \geq N_{Ed} = 91,73 \text{ kN}$$

*Otpornost elementa zadovoljava.*

*Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:*

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{91,73}{104,38} \cdot 100 = 88\%$$

### 5.1.3.1. Dijagonale

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 70×70×5

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=70$  mm

Širina pojsnice:  $b=70$  mm

Debljina pojasnice:  $t=5$  mm

Povšina:  $A=12,36$  cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=84,63$  cm<sup>4</sup>

$I_z=84,63$  cm<sup>4</sup>

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$f_y=23,5$  kN/cm<sup>2</sup>

$\varepsilon=1,0$

$E=21000$  kN/cm<sup>2</sup>

$G=8077$  kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=281,95$  kN (vlak)

$N_{Ed}=25,46$  kN (vlak)

### Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = b - 3 \cdot t = 70 - 3 \cdot 5 = 55 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t} = \frac{55}{5} = 11$$

$$\frac{c}{t} = 11 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

*Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.*

### Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

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



$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{12,36 \cdot 23,5}{1,0} = 290,46 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 290,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 281,95 \text{ kN}$$

**Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.**

**Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:**

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{281,95}{290,46} \cdot 100 = 97\%$$

**Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{12,36 \cdot 23,5}{1,0} = 290,46 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 290,46 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 25,46 \text{ kN}$$

**Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.**

**Otpornost elementa na izvijanje**

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 84,63}{243,52} = 295,78 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{12,36 \cdot 23,5}{295,78}} = 0,99$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

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

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,99 - 0,2) + 0,99^2] = 1,18$$

$$\chi = \frac{1}{1,18 + \sqrt{1,18^2 - 0,99^2}} = 0,55 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,55 \cdot 12,36 \cdot 23,5}{1,0} = 158,36 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 158,36 \geq N_{Ed} = 25,46 \text{ kN}$$

***Otpornost elementa zadovoljava.***

## 5.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

### 5.2.1. Sekundarni krovni nosač

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 160

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=152$  mm

Širina pojsnice:  $b=160$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=9$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=6$  mm

Radijus zakrivljenosti:  $r=15$  mm

Povšina:  $A=38,8$  cm<sup>2</sup>

$$A_y=32,772$$
 cm<sup>2</sup>

$$A_z=9,839$$
 cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=1670$  cm<sup>4</sup>

$$I_z=616$$
 cm<sup>4</sup>

Moment otpora:  $W_{pl,y}=245$  cm<sup>3</sup>

$$W_{pl,z}=117,5$$
 cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w=31410$  cm<sup>6</sup>

Torzijska konstanta:  $I_t=12,2$  cm<sup>4</sup>

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y=23,5$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$\varepsilon=1,0$$

$$E=21000$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$G=8770$$
 kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{y,Ed}=14,38$  kNm

– poprečna sila  $V_{y,Ed}=0,07$  kN

– moment savijanja  $M_{z,Ed}=0,09$  kNm

– poprečna sila  $V_{z,Ed}=11,28$  kN

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 152 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 15 = 104 \text{ mm}$$

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{104}{6} = 17,33$$

$$\frac{d}{t_w} = 17,33 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72$$

*Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.*

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{160 - 6 - 2 \cdot 15}{2} = 62 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{62}{9} = 6,89$$

$$\frac{c}{t_f} = 6,89 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

Savijanje oko osi y-y:

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{245 \cdot 23,5}{1,0} = 57,58 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 57,58 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 14,38 \text{ kNm}$$

Savijanje oko osi z-z:

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

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{117,5 \cdot 23,5}{1,0} = 27,61 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = 27,61 \text{ kNm} \geq M_{z,Ed} = 0,09 \text{ kNm}$$

### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

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

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

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

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

U smjeru osi y-y:

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

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

$$A_{V,y} = 38,8 - (13,4 - 2 \cdot 0,6) \cdot 0,4 = 8,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{8,88 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{y,Ed} = 0,07 \text{ kN}$$

U smjeru osi z-z:

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 16 \cdot 0,9 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 0,9 = 13,24 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 13,4 \cdot 0,6 = 9,65 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13,24 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 179,64 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,64 \text{ kN} \geq V_{z,Ed} = 0,07 \text{ kN}$$

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

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

U smjeru osi y-y:

$$V_{y,Ed} = 0,07 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

U smjeru osi z-z:

$$V_{z,Ed} = 11,28 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 179,64 = 89,82 \text{ kN}$$

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

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

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

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = kN$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = kN$$

$$\left(\frac{14,38}{57,58}\right)^2 + \left(\frac{0,07}{27,61}\right)^1 = 0,06 \leq 1,0$$

**Profil HEA 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

### Otpornost elementa izloženog savijanju

#### Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 510 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{15,2}{2} = 7,6 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,127$$

$$C_1 = 0,454$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 510)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{31410}{12,2} + \frac{(1,0 \cdot 510)^2 \cdot 8077 \cdot 12,2}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0,454 \cdot 7,6)^2} \right] - 0,454 \cdot 7,6 = 8978,93 \text{ kNcm} = 89,79 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 245 \text{ cm}^3$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{245 \cdot 23,5}{8978,93}} = 0,80 \geq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 245 \cdot 23,5}{1,0} = 57,58 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 57,58 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 14,38 \text{ kNm}$$

#### Otpornost elementa na interakciju $M_y$ - $M_z$ (dvoosno savijanje)

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

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

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

Interakcijski faktori za presjek klase 1 i 2:

$$L_{cr,y} = 510 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1670}{510^2} = 1330,75 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{38,8 \cdot 23,5}{1330,75}} = 0,83$$

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

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

$$L_{cr,z} = 510 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 616}{510^2} = 490,86 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{38,8 \cdot 23,5}{490,86}} = 1,36$$

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 1,36 \geq 0,4$$

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

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

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{14,38} = 0$$

$$\psi = \frac{M_{h2}}{M_{h1}} = \frac{0}{14,38} = 0$$

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

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot [1 + (0,83 - 0,2) \cdot 0] = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95 > 0,95 \cdot [1 + 0,8 \cdot 0] = 0,95$$

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

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,36}{(0,95 - 0,25)} \cdot 0 \right] = 1,0$$

$$k_{zy} = 1,0 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot 0 \right] = 1,0$$

$$k_{zy} = 1,0$$

$$k_{zz} = 0,95 [1 + (2 \cdot 1,36 - 0,6) \cdot 0] = 0,95$$

$$k_{zz} = 0,95 > [1 + 1,4 \cdot 0] = 1,0$$

$$k_{zz} = 1,0$$

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

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

$$0 + 0,95 \cdot \frac{14,38}{1,0 \cdot 57,58/1,0} + 0,6 \cdot \frac{0,09}{1,0 \cdot 27,61/1,0} = 0,24 \leq 1,0$$

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

$$0 + 1,0 \cdot \frac{14,38}{1,0 \cdot 57,58/1,0} + 1,0 \cdot \frac{0,09}{1,0 \cdot 27,61/1,0} = 0,25 \leq 1,0$$

***Odabrani profil HEA 160 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti  $\eta = 25\%$ .***



### 5.2.2. Sekundarni bočni nosač

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 120

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=114$  mm

Širina pojsnice:  $b=120$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=8$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=5$  mm

Radijus zakrivljenosti:  $r=12$  mm

Povšina:  $A=25,3$  cm<sup>2</sup>

$$A_y=18,775$$
 cm<sup>2</sup>

$$A_z=6,1698$$
 cm<sup>2</sup>

Moment tromosti:  $I_y=606$  cm<sup>4</sup>

$$I_z=231$$
 cm<sup>4</sup>

Moment otpora:  $W_{pl,y}=119,58$  cm<sup>3</sup>

$$W_{pl,z}=58,70$$
 cm<sup>3</sup>

Konstanta krivljenja:  $I_w=6471,9$  cm<sup>6</sup>

Torzijska konstanta:  $I_t=5,99$  cm<sup>4</sup>

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y=23,5$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$\varepsilon=1,0$$

$$E=21000$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$G=8770$$
 kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{Ed}=15,39$  kNm

– poprečna sila  $V_{Ed}=12,07$  kN

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 114 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12 = 74 \text{ mm}$$

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{74}{5} = 14,8$$

$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72$$

*Hrbat zadovoljava uvjet za klasu 1.*

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{120 - 5 - 2 \cdot 12}{2} = 45,5 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{45,5}{8} = 5,69$$

$$\frac{c}{t_f} = 5,69 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

### Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{119,58 \cdot 23,5}{1,0} = 28,10 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 28,10 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 6,60 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{114 - 2 \cdot 8}{5} = 19,6$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 19,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

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

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

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

$$A_{V,z} = 25,3 - 2 \cdot 12 \cdot 0,8 + (0,5 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,8 = 8,42 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 5,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{8,49 \cdot (23,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 114,24 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 114,24 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 5,18 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V

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

$$V_{z,Rd} = 5,18 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 114,24 = 57,12 \text{ kN}$$

*Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.*

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

Niska razina uzdužne sile:

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

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

$$(1) N_{Ed} = 54,33 \leq 0,25 \cdot 1064,55 = 266,14 \text{ kN}$$

$$(2) N_{Ed} = 54,33 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 106,46 \text{ kN}$$

*Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.*

*Profil HEA 120 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.*

### Otpornost elementa izloženog savijanju

#### Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 510 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{11,4}{2} = 5,7 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,127$$

$$C_1 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 231}{(1,0 \cdot 510)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{6471,9}{5,99} + \frac{(1,0 \cdot 510)^2 \cdot 8077 \cdot 5,99}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 231} + (0,454 \cdot 5,7)^2} \right] - 0,454 \cdot 5,7 = 12927,81 \text{ kNcm} = 129,28 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 119,58 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{119,58 \cdot 23,5}{12927,81}} = 0,89 \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 15,39 \text{ kNm}$$

***Odabrani profil HEA 120 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti:***

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{15,39}{76,38} \cdot 100 = 20\%$$

### 5.2.3. Zabatni stupovi

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Tip presjeka: hladno oblikovani

Visina presjeka:  $h=171$  mm

Širina pojsnice:  $b=180$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=6$  mm

Radijus zakrivljenosti:  $r=15$  mm

Povšina:  $A=45,3$  cm<sup>2</sup>

$$A_y=32,772$$
 cm<sup>2</sup>

$$A_z=10,992$$
 cm<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

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

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y=23,5$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$\varepsilon=1,0$$

$$E=21000$$
 kN/cm<sup>2</sup>

$$G=8770$$
 kN/cm<sup>2</sup>

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{Ed}=13,03$  kNm

– poprečna sila  $V_{Ed}=7,97$  kN

#### **Klasifikacija poprečnog presjeka**

Provjera hrpta (hrbat izložen tlaku i savijanju).

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

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

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{54,33}{2 \cdot 0,6 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,93$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{121} \cdot \left( \frac{121}{2} + 1,93 \right) = 0,66$$

$$\frac{d}{t_w} = 14,8 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,66 - 1} = 52,31$$

*Hrpat zadovoljava uvjet za klasu 1.*

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 10 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

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

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

$$\frac{c}{t_f} = 7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

*Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.*

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

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

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 13,03 \text{ kNm}$$

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

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

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

$$\frac{h_w}{t_w} = 25,17 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

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

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

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

$$A_{V,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 15,1 \cdot 0,6 = 10,87 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12,9 \cdot (23,5/\sqrt{3})}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 7,97 \text{ kN}$$

### Interakcija M-V

Presjek u L/4

Djelovanje:

- moment savijanja  $M_{Ed}=13,03 \text{ kNm}$
- poprečna sila  $V_{Ed}=3,98 \text{ kN}$

$$V_{z,Rd} = 3,98 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{9,77}{76,38} = 0,13 < 1,0$$

*Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.*

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

### Otpornost elementa izloženog savijanju

#### Otpornost na moment savijanja (M)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja torzijskog izvijanja:

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

$$L = 654 \text{ cm}$$

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

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_2 = 1,127$$

$$C_1 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 654)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 654)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0,454 \cdot 8,55)^2} \right] - 0,454 \cdot 8,55 = 9404,18 \text{ kNcm} = 94,04 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

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

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 23,5}{9404,18}} = 0,90 \leq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenata savijanja:

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

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 23,5}{1,0} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 76,38 \text{ kNm} \geq M_{y,Ed} = 13,03 \text{ kNm}$$

*Odabrani profil HEA 180 zadovoljava provjeru otpornosti na razini elementa sa iskoristivosti:*

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{13,03}{76,38} \cdot 100 = 17\%$$



#### 5.2.4. Krovni spreg

##### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

$$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

##### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed} = 6,76 \text{ kN}$  (vlak)

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{6,76 \cdot 1,0}{23,5} = 0,29 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,29 \cdot 4}{\pi}} = 0,61 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 10 \text{ mm}$$

Napomena: za krovne spregove odabrani profil je Ø10 da bi imali iste profile za krovne i bočne spregove, iako bi kod krovnih spregova zadovoljio i manji profil.

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1^2 \cdot \pi}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,79 \cdot 23,5}{1,0} = 18,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 6,76 \text{ kN}$$

***Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø10, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:***

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{6,76}{18,46} \cdot 100 = 37\%$$

### 5.2.5. Bočni spreg

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235  
 $f_y=23,5 \text{ kN/cm}^2$

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– uzdužna sila  $N_{Ed}=17,54 \text{ kN}$  (vlak)

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow A \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{17,54 \cdot 1,0}{23,5} = 0,75 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 4}{\pi}} = 0,97 \text{ cm}$$

$d_{odabrano} = 10 \text{ mm}$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1^2 \cdot \pi}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,79 \cdot 23,5}{1,0} = 18,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 17,54 \text{ kN}$$

***Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø10, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:***

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{17,54}{18,46} \cdot 100 = 95\%$$

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP–TEMELJ

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Visina presjeka:  $h=171$  mm

Širina pojsnice:  $b=180$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=6$  mm

Radius zakrivljenosti:  $r=15$  mm

#### OSNOVNI MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

Vijci k.v. 5.6

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{Ed}=16,08$  kNm

– poprečna sila  $V_{Ed}=7,84$  kN

– uzdužna sila  $N_{Ed}=54,33$  kN (tlak)

#### **Raspodjela sila po presjeku nosača**

Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{M_{Ed}}{(h - t_f)} = \frac{16,08}{(0,171 - 0,01)} = 99,88 \text{ kN}$$

$$N_p^N = -\frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{b \cdot t_f}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{18 \cdot 1}{45,3} \cdot 54,33 = -21,59 \text{ kN}$$

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 99,88 - 21,59 = 78,29 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

#### **Kontrola vara na pojasnicama i hrptu**

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 180 = 360 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 \approx 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (171 - 2 \cdot 10) = 302 \text{ mm}$$

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

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

Za pretpostavljeni var  $a=4,0$  mm

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{360}{100} = 299,23 \text{ kN} > F_{w,Sd} 76,80 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{302}{100} = 251,02 \text{ kN} > V_{Ed} = 7,84 \text{ kN}$$

### Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijak M16; k.v. 5.6

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

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

Usvojeni  $c=40$  mm

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{16,08}{54,33} = 0,296 \text{ m}$$

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

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 296 - \frac{171}{2} + \frac{10}{2} = 215,5 \text{ mm} = 0,216 \text{ m}$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,Sd} = \frac{x_2}{x_1} \cdot N_{Ed} = \frac{0,216}{0,206} \cdot 54,33 = 56,97 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{70,7}{1,25} = 56,56 \text{ kN} > \frac{F_{t,Sd}}{2} = \frac{56,97}{2} = 28,49 \text{ kN}$$

### Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{47,1}{1,25} = 37,68 \text{ kN} > F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{7,84}{4} = 1,96 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne sile i posmične sile na vijak

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

$$\frac{56,97}{1,4 \cdot 56,56} + \frac{1,97}{37,68} = 0,77 \leq 1,0$$

## Proračun dimenzija ploče

### Proračun širine i dužine ploče

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

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

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

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 350×250mm.**

### Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{7,84}{4} = 1,96 \text{ kN} = F_{b,sd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} = \frac{F_{b,sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{1,96 \cdot 1,25 \cdot 10}{106,7} = 0,23 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$S = \frac{400 - 171 + 10}{2} = 119,5 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$R = F_{t,sd} + N_{Ed} = 56,97 + 54,33 = 111,3 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{111,3}{\frac{3 \cdot 0,12 \cdot 0,3}{2}} = 2061,11 \text{ kN/m}^2 = 0,21 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$\begin{aligned} M_{sd} &= F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{2 \cdot S}{3} = \frac{2}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot S \\ &= \frac{2}{3} \cdot 2061,11 \cdot 0,12 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,12}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 2061,11 \cdot 0,12 \cdot 0,3}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,12 = 3,94 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$\begin{aligned} M_{sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} &= \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 394 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}} \\ &= 1,92 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$t_{pl} = 1,92 \text{ cm}$$

**Usvojene dimenzije ploče su 350×250×25mm.**

## 6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP–REŠETKA

### POPREČNI PRESJEK:

Profil: HEA 180

Visina presjeka:  $h=171$  mm

Širina pojsnice:  $b=180$  mm

Debljina pojasnice:  $t_f=10$  mm

Debljina hrpta:  $t_w=6$  mm

Radijus zakrivljenosti:  $r=15$  mm

### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235

Vijci k.v. 10.9

### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– poprečna sila  $V_{Ed}=1,53$  kN

– poprečna sila  $N_{Ed}=7,68$  kN (tlak)

### **Kontrola varova**

$$F_{w,Ed} = (V_{Ed}^2 + N_{Ed}^2)^{0,5} = (1,53^2 + 7,68^2)^{0,5} = 7,83 \text{ kN}$$

Dužina vara:

$$l = 2 \cdot b + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot b + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 320 \text{ mm}$$

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

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

Za pretpostavljeni var  $a=4,0$  mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{320}{100} = 265,98 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 7,83 \text{ kN}$$

### **Proračun vijaka**

Pretpostavljeni vijak M12; k.v. 5.6

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

Usvojeni  $c=30$  mm

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,24 \text{ kN} > F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{1,53}{2} = 0,77 \text{ kN}$$

## Proračun dimenzija ploče

### Proračun širine i dužine ploče

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

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

$$b_{pl}^{min} = b + 2 \cdot (c + e_1) = 180 + 2 \cdot (30 + 30) = 300 \text{ mm}$$

*Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 300×300mm.*

### Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{1,53}{2} = 0,77 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} = \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{0,77 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 0,12 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot c = 7,83 \cdot 0,030 = 0,23 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 23,49 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}}$$
$$= 0,47 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 1 \text{ cm}$$

*Usvojene dimenzije ploče su 300×280×10mm.*

### 6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA DONJEG POJASA

#### POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFRHS 160×160×5 (mm)  
Visina presjeka:  $h=160$  mm  
Širina pojsnice:  $b=160$  mm  
Debljina pojasnice:  $t=5$  mm

#### MATERIJAL:

Osnovni materijal S235  
Vijci k.v. 10.9

#### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:  
– uzdužna sila  $N_{Ed}=390,81$  kN (vlak)

#### **Kontrola varova**

Određivanje maksimalne debljine vara:  
 $a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 5 = 3,5$  mm

Za pretpostavljeni var  $a=3,0$  mm

Otpornost vara:

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

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{640}{100} = 398,85 \text{ kN} > N_{Ed} = 390,81 \text{ kN}$$

#### **Proračun vijaka**

Pretpostavka: M16 k.v. 10.9  
 $n=4$  vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1,25} = 113,04 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{390,81}{4} = 97,70 \text{ kN}$$

#### **Proračun dimenzija ploče**

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

$$c = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3\sqrt{2} = 36,14 \text{ mm}$$

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

$$b_{pl}^{min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 160 + 2 \cdot 3\sqrt{2} + 20 = 168,49 \text{ mm}$$



***Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 280×280mm.***

**Proračun minimalne debljine ploče**

$$e = 20 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 280 \text{ mm}$$

$$M_{Sd} = 2 \cdot F_{t,Sd} \cdot e = 2 \cdot 97,70 \cdot 0,02 = 3,91 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min^2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 319 \cdot 6}{28 \cdot 23,5}}$$
$$= 1,79 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 1,79 \text{ cm}$$

***Usvojene dimenzije ploče su 280×280×20mm.***

## 7. PRORAČUN TEMELJA

### ODABRANE DIMENZIJE TEMELJ:

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

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

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

### ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

– moment savijanja  $M_{Ed}=16,08 \text{ kNm}$

– poprečna sila  $V_{Ed}=7,84 \text{ kN}$

– uzdužna sila  $N_{Ed}=54,33 \text{ kN}$  (tlak)

### **Površina temeljne stope**

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

### **Težina temeljne stope**

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

### **Moment otpora temeljne stope**

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

### **Naprezanje u tlu ispod temeljne stope**

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Sd} + G}{A} \pm \frac{M_{Sd}}{W} = \frac{54,33 + 100}{4} \pm \frac{16,08}{1,33} = 38,58 \pm 12,09$$

$$\sigma_1 = 50,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = 26,49 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd} + G} = \frac{16,08}{54,33 + 100} = 0,1 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} + e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2}{2} + 0,1 \right) = 2,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (54,33 + 100)}{2,7 \cdot 2,0} = 57,16 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

### **Proračun armature temelja**

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,171}{2} = 0,91 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2,7 - 0,91}{2,7} \cdot 57,16 = 37,89 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{Sd}^{1-1} = \gamma \cdot \left( \sigma_{1-1} \cdot \frac{L_1^2}{2} \cdot B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} \cdot L_1 \cdot B \cdot \frac{2}{3} \cdot L_1 \right) = 1,4 \cdot \left( 37,89 \cdot \frac{0,91^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{57,16 - 37,89}{2} \cdot 0,91 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,91 \right) = 58,82 \text{ kNm}$$

***Krak unutarnjih sila u betonu***

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

***Potrebna površina armature***

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{58,82}{0,8 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 1,69 \text{ cm}^2 < A_{S1,min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = \frac{0,1}{100} \cdot 2,0 \cdot 1,0 = 20,0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armatura.

Odabrana armatura:

- glavna armatura: Ø12/10
- razdjelna armatura: Ø8/25

$$19 \text{ kom} = 21,48 \text{ cm}^2$$

## 8. LITERATURA

- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- [2] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, 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 Hcbau
- [5] prof. dr. sc. Ivica Boko: Predavanja
- [6] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

## **9. NACRTI**

### **9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA STUP-TEMELJ**

## **9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR**

### **9.3. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA**

#### **9.4. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA**



## **9.5. DETALJ „DE1“ SPOJA STUP–TEMELJ**

## **9.6. DETALJ „DE3“ SPOJA STUP–REŠETKA**

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

## **10. ISKAZ MATERIJALA**

OBRAZAC:

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

1.	<b>STUDIJ:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo
2.	<b>KANDIDAT/KINJA:</b>	Šupe Katarina
3.	<b>BROJ INDEKSA:</b>	4503
4.	<b>KATEDRA:</b>	Katedra za drvene i metalne konstrukcije
5.	<b>PREDMET:</b>	Osnove metalnih konstrukcija
6.	<b>DATUM OBRANE:</b>	18.09.2019.
7.	<b>MENTOR:</b>	prof. dr. sc. Ivica Boko
8.	<b>NASLOV ZAVRŠNOG RADA:</b>	Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale
9.	<b>SAŽETAK (minimalno 150 znakova):</b>	Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Osijeka. Proračun se provodi na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciju su stalno (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje) i pormijenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia engineer 19.0“.
10.	<b>KLJUČNE RIJEČI:</b>	Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, podrožnice, rešetka, stup, dimenzioniranje, spojevi.
11.	<b>NASLOV ZAVRŠNOG RADA (na engleskom jeziku):</b>	Design od a steel manufacturing hall
12.	<b>SAŽETAK (na engleskom jeziku):</b>	Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure, it's main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Osijek. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „Scia engineer 19.0“.

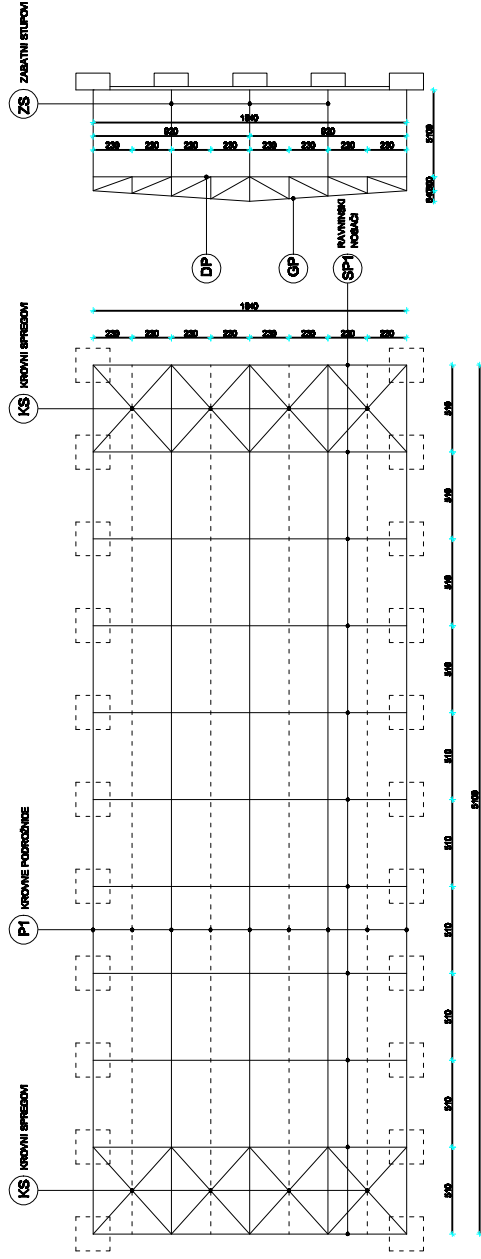
13.	<b>KLJUČNE RIJEČI (na engleskom jeziku):</b>	Steel, hall, load-bearing structure, bracings, purlins, grating, column, design, joints.
-----	----------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------

Napomena:

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

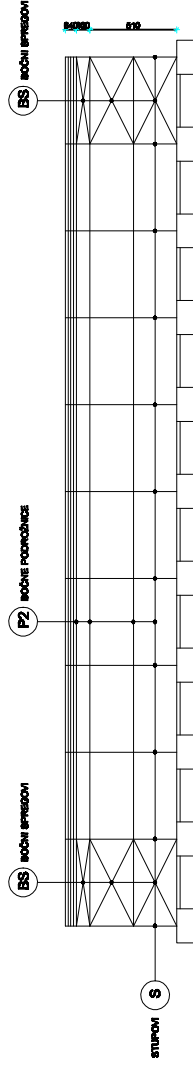
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA  
M 1:200

TLOCRTNI POGLED



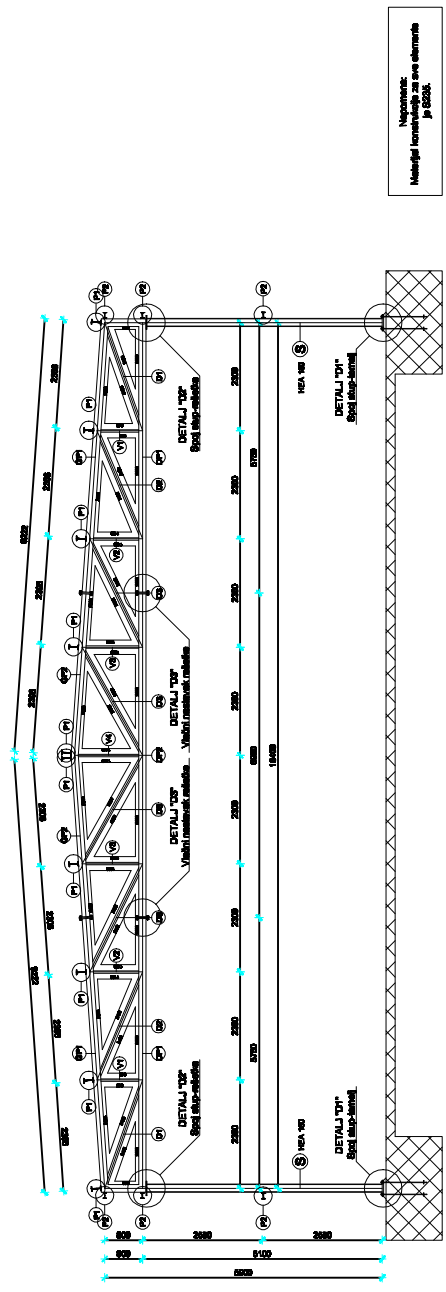
BOČNI POGLED

UZDUŽNI POGLED



		Osnovne tehničke informacije Naziv: PROJEKCIJSKIM I DIMENZIJSKIM PLANOM Autor: Saša Kolarik Datum: Osnovni plan pozicija Mjerilo: 1:200 List: 1
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50



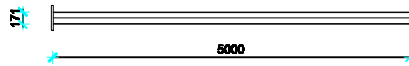
SVETLOŠĆE I OSJETLIVOST  
PRAKTIKE  
ARHITEKTURA I GEODEZIJE

Naziv projekta		Osnove metalne konstrukcija	
Ime autora		PROJEKTOVANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
Naziv objekta		Šupe Kaliterna	
Mjerstab		1:10	
Datum		lipanj 2019.	
Broj listova		2	

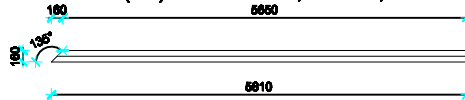


9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA  
M 1:50

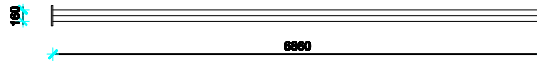
STUP (S) HEA 180, l=5000 mm, 22 kom



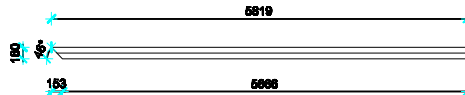
DONJI POJAS (DP1) CFRHS 160x160x5, l=5810 mm, 22 kom



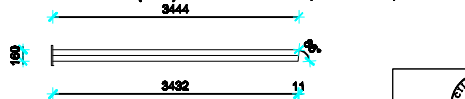
DONJI POJAS (DP2) CFRHS 160x160x5, l=6860 mm, 11 kom




GORNJI POJAS (GP1) CFRHS 160x160x5, l=5666 mm, 22 kom



GORNJI POJAS (GP2) CFRHS 160x160x5, l=3444 mm, 22 kom

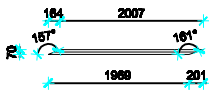


 <p>IZVUČAK U SPITU GRADILNIŠKO-ARHITEKTONSKI PRAKTIKAT 21000 SPITI, MATIJE KRVIŠIĆE 15</p>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDIJE Katarina Šupe	
	SAČINJ Radionički nacrt glavnog nosača	NAČELNIK BROJ PREGLED
DATA lipanj 2019.		

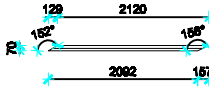
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA  
M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE CFRHS 50x50x3

(V1) l=2171 mm, 22 kom



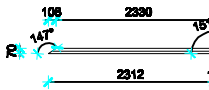
(V2) l=2249 mm, 22 kom



(V3) l=2348 mm, 22 kom

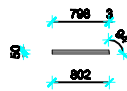


(V4) l=2438 mm, 22 kom

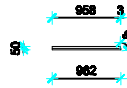


ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, DIJAGONALE CFRHS 70x70x5

(D1) l=802 mm, 22 kom



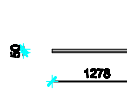
(D2) l=862 mm, 22 kom




(D3) l=1122 mm, 22 kom

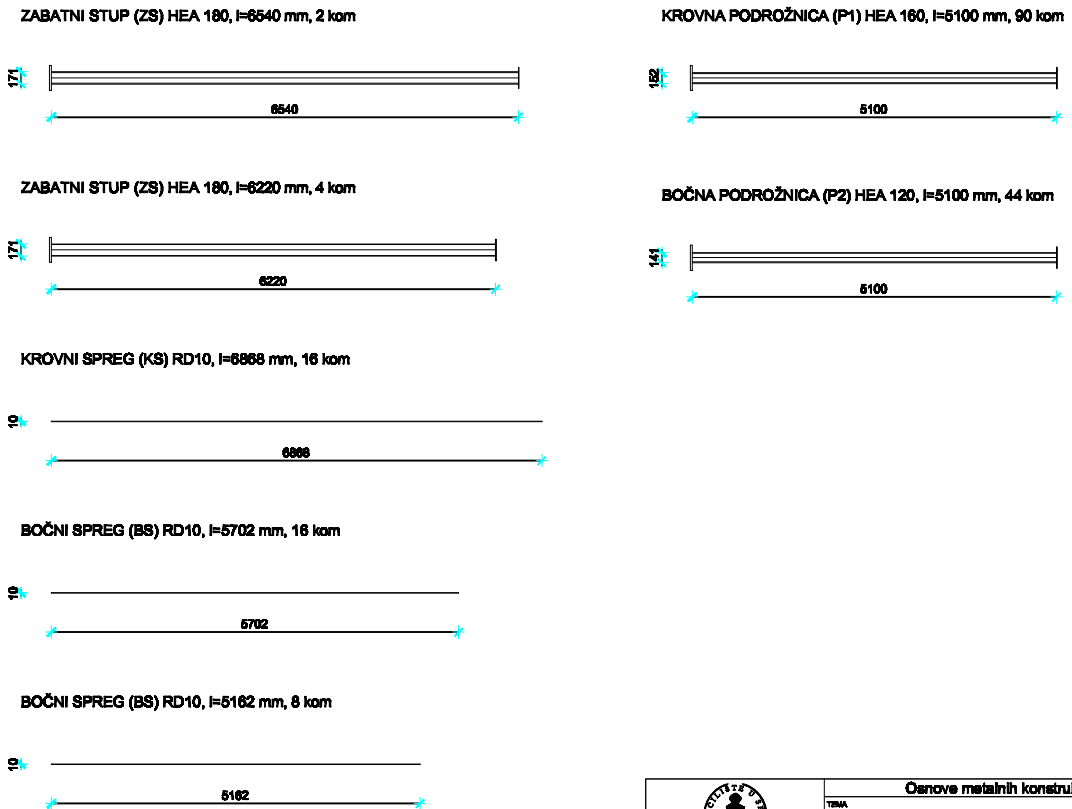


(D4) l=1278 mm, 22 kom



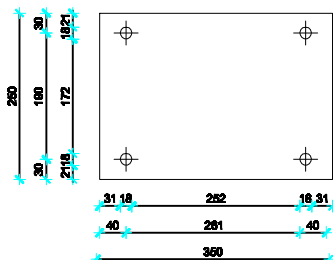
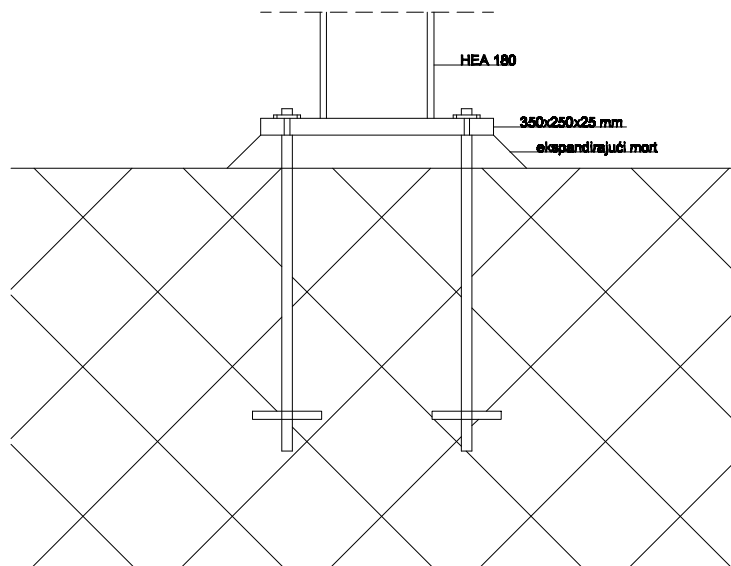
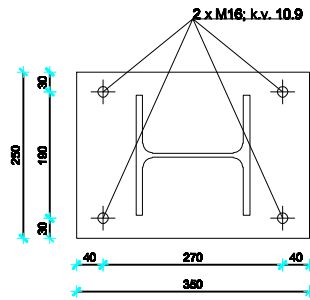
 <p>IZVUČENJE U SPOLU GRADILNIŠKO-ARHITEKTONSKI PRAKTIKAT 21000 SPOLU, MATIJE KRVIŠIĆE 15</p>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDIJE Katarina Šupe	
	SAKUPILJ Radionički nacrt glavnog nosača	NAČELNIK BROJ PREGLED
DATA lipanj 2019.		

9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA  
M 1:50

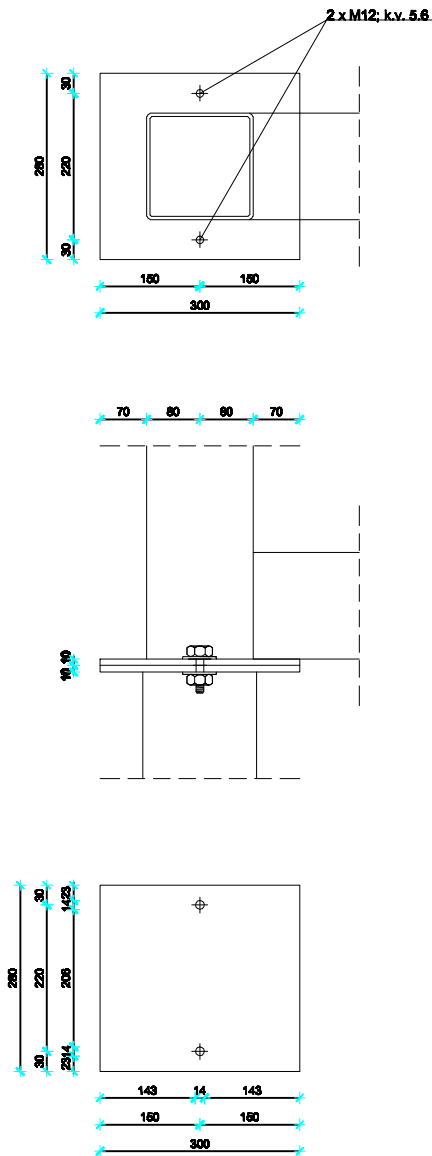


<p>IZVUČENJE U SPOLU GRADIVNIŠKO-ARHITEKTONSKI PRAKTIKAT 21000 SPLIT, MATIJE KRVIŠIĆE 15</p>	Osnove metalnih konstrukcija		
	TITRA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE		
	STUDIJE Katarina Šupe		
	BAZICNI Radionički nacrt sekundarnog nosača	NAČELNIK	
	DRUGI Iliparij 2019.	DRUGI PRILOG	

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



## 9.6 DETALJ "DE2" SPOJA STUP-REŠETKA M 1:10



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

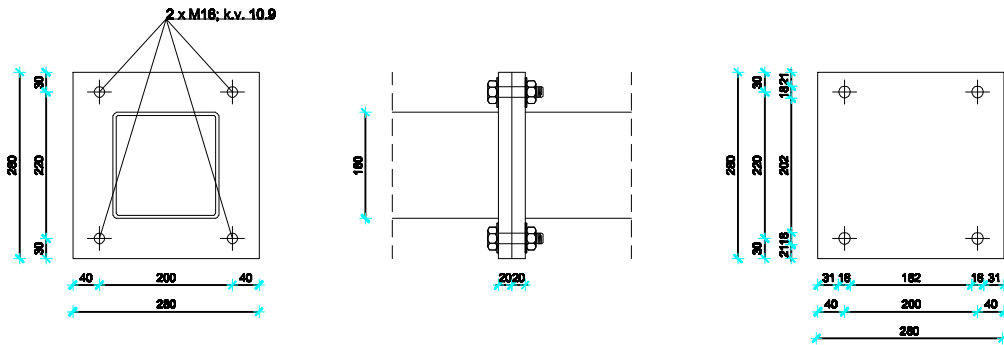
TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE


STUDENTI: Šupe Katarina

SAVRŠAL: Detalj "DE2" spoja stup-rešetke  
MJEŠLO: 1:10

DATUM: lipanj 2019.  
BRJUGI PRIOLOG: 7

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



 <b>SVEUČILIŠTE U SPLITU</b> <b>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,</b> <b>ARHITEKTURE I GEODEZIJE</b>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA:	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENTI:	Šupe Katarina
	SADRŽAJ:	Detalj "DE3" vlačni nastavak rešetke
	NUMERIK: 1:10	BR. PRILOGA: 8
DATAK:	lipanj 2019.	