

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

Fraska, Toni

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:123:192403>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-03**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



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

# **ZAVRŠNI RAD**

**TONI FRASKA**

**Split, 2019.**

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

**Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

**Završni rad**

**Split, 2019.**

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Toni Fraska

BROJ INDEKSA: 4519

KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstrukcije

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S235

Objekt se nalazi na području Zagreba.

Razmak okvira: 5.4 (m)

U Splitu, 04.07,2019.

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

## **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

### **Sažetak:**

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

### **Ključne riječi:**

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

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

### **Abstract:**

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

### **Keywords:**

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

---

## SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS	1
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE	1
1.1.1. OPĆENITO	1
1.1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI	2
1.1.3. SPOJEVI	2
1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE	3
1.3. MATERIJALI ZA IZRADU KONSTRUKCIJE	3
1.4. PRIMIJENJENI PROPISI	4
1.5. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA	4
1.6. ZAŠTITA OD POŽARA	4
1.7. MONTAŽA I TRANSPORT	4
2. ANALIZA OPTEREĆENJA	5
2.1. STALNO OPTEREĆENJE – KROVNA PLOHA	5
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	5
2.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA	5
2.2.2. DJELOVANJE VJETRA	6
2.2.2.1. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KROVA $\theta=0^\circ$	8
2.2.2.2. ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE	10
2.2.2.3. UKUPNO DJELOVANJE VJETRA NA GLAVNU NOSIVU KONSTRUKCIJU	12
2.2.2.4. DJELOVANJE VJETRA NA ZABAT HALE	13
3. KONTROLA PROGIBA – GSU	15
3.1. KROVIŠTE - VERTIKALNI PROGIB	15
3.2. STUPOVI - HORIZONTALNI PROGIB	16
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA – GSN	17
4.1. GLAVNA KONSTRUKCIJA	17
4.1.1. KOMBINACIJA 1.35(LG1+G) + 1.5S	17
4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LG1+G) + 1.5W2	18
4.1.3. KOMBINACIJA 1.0(LG1+G) + 1.5W1	20
4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LG1+G) + 1.35(S+W2)	21
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA	23
4.2.1. ZABATNI STUPOVI	23
4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI	25
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI	26
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE	27
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE	37
5. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKCIJE	39
5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA	39
5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA	39
5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA	45
5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA	49
5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA	51
5.1.5. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA	55

---

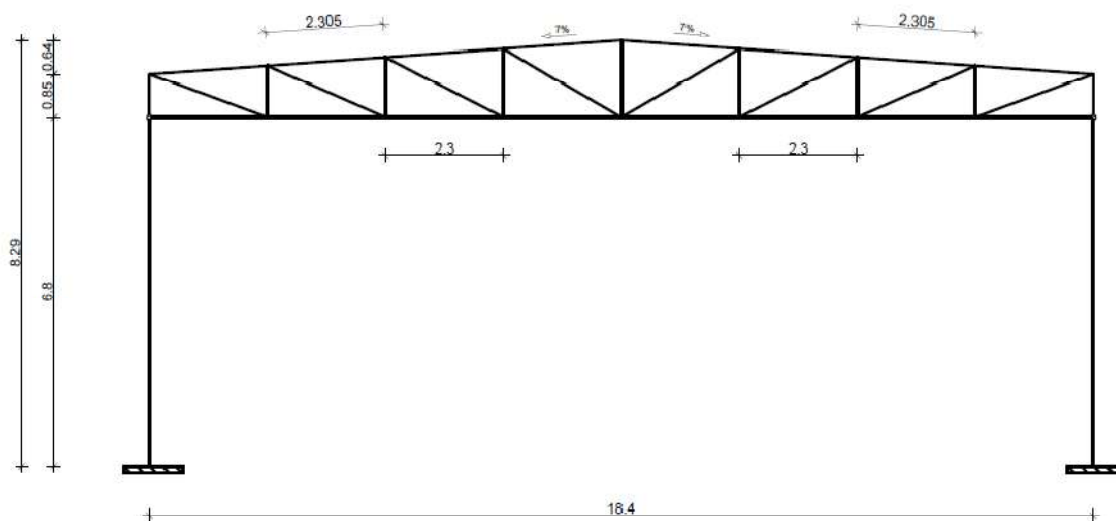
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA	59
5.2.1.DIMENZIONIRANJE ZABATNOG STUPA	59
5.2.2.DIMENZIONIRANJE HORIZONTALNOG SPREGA	63
5.2.3.DIMENZIONIRANJE VERTIKALNOG SPREGA	64
5.2.4.DIMENZIONIRANJE KROVNIH PODROŽNICA	65
5.2.5.DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA	72
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA	76
6.1. SPOJ STUP-TEMELJ	76
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE	80
6.3. SPOJ STUP-REŠETKA	82
7. PRORAČUN TEMELJA	85
8. LITERATURA	87
9. NACRTI	88
9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA	88
9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR	89
9.3. RADIONIČKI NACRT GLAVNE KONSTRUKCIJE	90
9.4. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE	91
9.5. DETALJI SPOJEVA	92
9.6. ISKAZ MATERIJALA	93

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

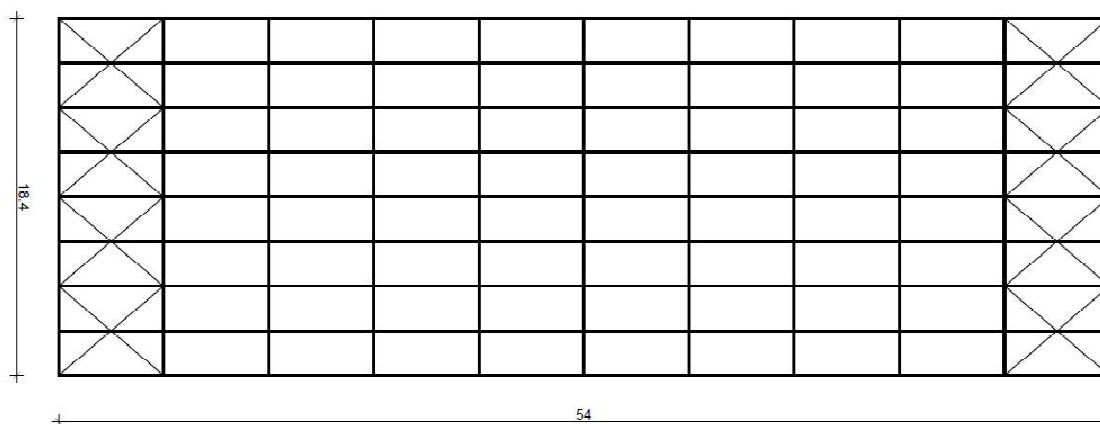
### 1.1.1. OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Zagreba. Tlocrtne dimenzije su 18,4 x 54,0 metra, a visina iznosi 8,29 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 4^\circ$ , što je ekvivalentno nagibu od 7%. Projektirana je za potrebu skladištenja.



Slika 1.1. Prikaz glavnog nosača

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



Slika 1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije



Na gornje pojaseve se oslanjaju sekundarni krovni nosači, tj. podrožnice na međusobnom osnom razmaku od 2,3 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,27 (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, odnosno prvom i posljednjem polju. Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

### **1.1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI**

#### **Stupovi**

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA260 duljine 6800 mm. Za zabatne stupove su odabrani profile HEA140. 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 140X140X8.8 spojeni u čvorovima. Profili vertikala su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 60X60X5, dok su profili dijagonala pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 80X60X5. 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 snijega, gravitacije i vjetra. Profili krovnih podrožnica su IPE200, dok su profili bočnih podrožnica IPE120. Duljina podrožnica je 5,4 m.

#### **Spregovi**

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja. Horizontalni i vertikalni spregovi su dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka RD14.

### **1.1.3. SPOJEVI**

#### **Vlačni nastavak rešetke**

Spojevi gornjeg i donjeg pojasa izvode se čeonim pločama dimenzija 360x360x25(mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M20; k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

### **Stup-temelj**

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 450x300x20 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M20; k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspanzirajući mort.

### **Stup-rešetka**

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 390x340x10(mm) i vijcima M12; k.v. 5.6 nosivim na odrez.

## **1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE**

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na metalnu konstrukciju. Ta opterećenja stalna ili promjenjiva te njihove kombinacije:

STALNA OPTEREĆENJA: vlastita težina, instalacije, pokrov  
PROMJENJIVA OPTEREĆENJA: -snijeg  
-vjetar(tlačno ili podtlačno djelovanje)

Za proračun uzimamo najnepovoljniju kombinaciju opterećenja. Za proračun statičkog odgovora konstrukcije i izračun unutarnjih sila (momenti savijanja, poprečne i uzdužne sile) korišten je računalni program "SCIA". Gornji i donji pojas su izračunati kao kontinuirane grede na koje su zglobno vezane dijagonale i vertikale. Ovakvim načinom računanja dolazi se do stvarnog stanja naprezanja u presjecima rešetke.

Izvršena je i analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji djeluje okomito na glavni nosač i izbočava ga. Cilj ovog proračuna je prostorna stabilizacija konstrukcije.

## **1.3. MATERIJALI ZA IZRADU KONSTRUKCIJE**

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S235 (Fe-360).

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom.

Računske vrijednosti koeficijenata čelika su:

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

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

$$\nu=0.3$$

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

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

## **1.5. PRIMIJENJENI PROPISI**

Proračun čelične konstrukcije proveden je prema sljedećim propisima:

-Analiza opterećenja:

HRN EN 1991 vlastita težina građevine

HRN EN 1992 djelovanje snijega na konstrukciju

HRN EN 1993 djelovanje vjetra na konstrukciju

-Dimenzioniranje:

HRN ENV 1993 dimenzioniranje čeličnih konstrukcija

HRN ENV 1992 dimenzioniranje armirano betonskih konstrukcija

## **1.6. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije.

Kao vrsta zaštite od korozije koristi se zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom.

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

## **1.7. ZAŠTITA OD POŽARA**

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

## **1.8. MONTAŽA I TRANSPORT**

Pozicije okvira će se izrezati u radionici te transportirati na gradilište. Pri tome je potrebno obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja.

Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s

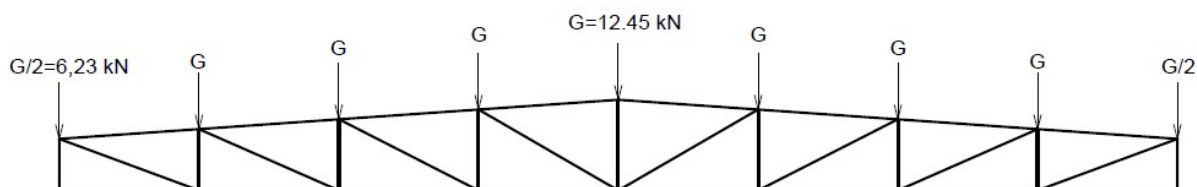
"Pravilnikom o zaštiti na radu".

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1 STALNO OPTEREĆENJE – KROVNA PLOHA

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

$$G = 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,4 \text{ m} \cdot 2,305 \text{ m} = 12,45 \text{ Kn}$$



Slika 2.1. Dodatno stalno opterećenje

## 2.2 PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

### 2.2.1 DJELOVANJE SNIJEGA

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

$s_k \Rightarrow$  karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m<sup>2</sup>

$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  za Zagreb, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

$\mu_i \Rightarrow$  koeficijent oblika za opterećenje snijegom , očitamo ga ovisno o  $\alpha$  (nagib krova)

$$\text{tg}\alpha = 7/100=0,15 \rightarrow \alpha =4,00^\circ ;$$

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

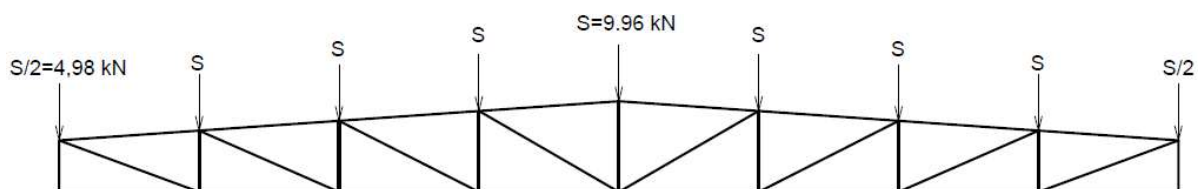
$c_e \Rightarrow$  koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

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

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:  $s_1 = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Sile u čvorovima glavnog nosača:

$$S = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,4 \text{ m} \cdot 2,305 \text{ m} = 9,96 \text{ kN}$$



Slika 2.2. Opterećenje snijegom

## 2.2.2 DJELOVANJE VJETRA

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

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

$q_p(z_e)$  => pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_e$  => referentna visina za vanjski(unutarnji) pritisak

$c_{pe}$  => vanjski koeficijent pritiska

$c_{pi}$  => unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

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

$v_b$  => osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0}$  => fundamentalna vrijednost brzine vjetra(očitano s karte  $v_{b,0} = 20(\text{m/s})$ )

$c_{dir}$  => faktor smjera vjetra(uzima se 1,0)

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

$$v_b = 20 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 20 \text{ (m/s)}$$

$v_m(z) \Rightarrow$  srednja brzina vjetra

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

$c_0(z) \Rightarrow$  faktor hrapavosti

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

$k_r(z) \Rightarrow$  faktor terena

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} = 0,22$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,22 \cdot \ln(8,29/0,3) = 0,73$$

$$v_m(z) = 0,73 \cdot 1,0 \cdot 25 = 14,60 \text{ (m/s)}$$

$I_v(z) \Rightarrow$  intenzitet turbulencije

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

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(8,29/0,3)} = 0,30$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 0,250 \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

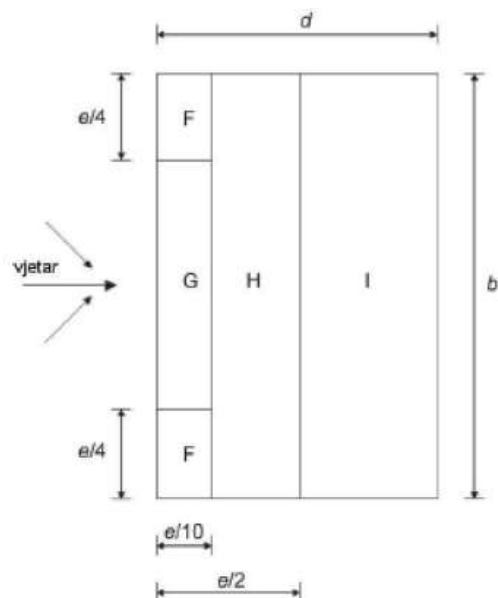
$c_e(z) \Rightarrow$  faktor izloženosti

$$c_e(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) = 1 + 7 \cdot 0,30 = 3,10$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,30) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 14,6^2 = 0,413 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

### 2.2.2.1 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KROVA $\theta=0^\circ$



Slika 2.3. Prikaz područja vjetra za kose krovove

Koeficijenti vanjskog pritiska očitavaju se za ravne krovove, odnosno krovove za koje vrijedi:  $|\alpha| \leq 5^\circ$

$$e = \min(b; 2h) = \min(54\text{m}; 16,58\text{m}) = 16,58 \text{ m}$$

Koeficijenti se očitani za dvostrešni ravni krov s kutom  $|\alpha| \leq 5^\circ$  i oštrim zabatom:

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

#### Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p = 0,413 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2
$w_{e1} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,74	-0,50	-0,29	-0,08
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2
$w_{e2} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,74	-0,50	-0,29	+0,08

### Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

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

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,74	-0,50	-0,29	-0,08
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,08	+0,08	+0,08	+0,08
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,82	-0,58	-0,37	-0,16
$W_k \text{ (kN/m}^{\prime}\text{)}$	-4,43	-3,13	-2,00	-0,86

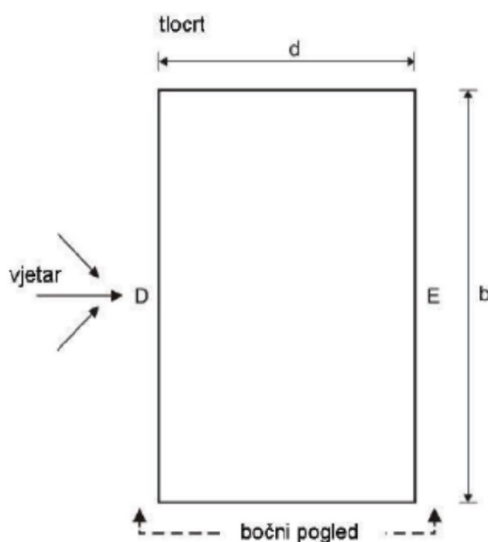
Vjetar W2      negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )

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

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,74	-0,50	-0,29	+0,08
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,62	-0,38	-0,17	+0,20
$W_k \text{ (kN/m}^{\prime}\text{)}$	-3,35	-2,05	-0,92	+1,08



### 2.2.2.2 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE



Slika 2.4. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Koeficijent vanjskog pritiska na halu dobije se linearnom interpolacijom koeficijenata zadanih u tablici za vrijednost:  $h/d=0,451$

PODRUČJE	D	E
$c_{pe,10}$	+0,73	-0,35

#### Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

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

#### Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p = 0,413 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije}$$

PODRUČJE	D	E
$c_{pe,10}$	+0,73	-0,35
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,30	-0,15

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

$$q_p = 0,413 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,413 \cdot 0,2 = +0,08 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,413 \cdot -0,3 = -0,12 \text{ kN/m}^2$$

**Rezultirajuće djelovanje vjetra**

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

$$W_k = w_k \cdot n, n = 5,4 \text{ m (razmak između okvira)}$$

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

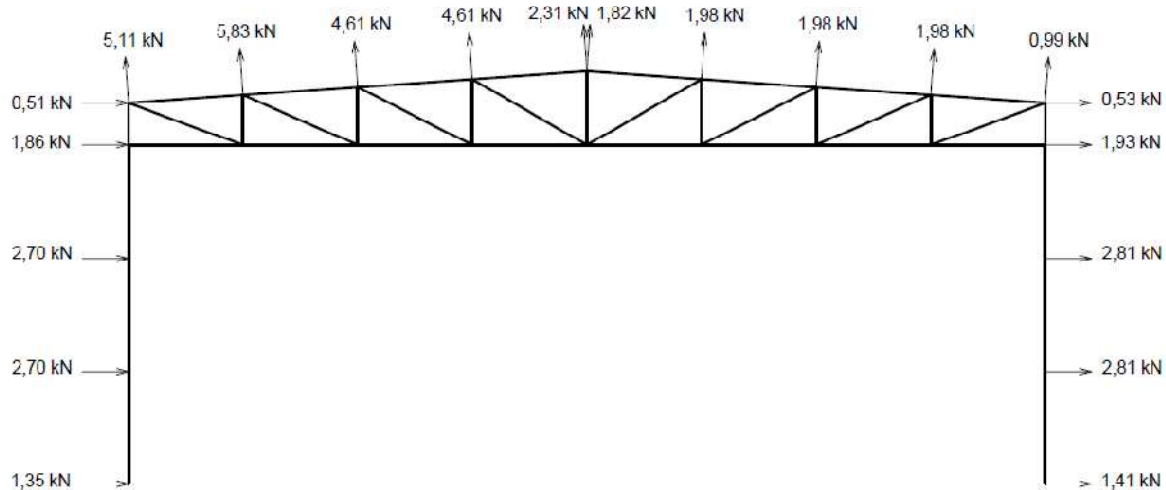
PODRUČJE	D	E
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,30	-0,15
$w_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,08	+0,08
$w_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,22	-0,23
<b><math>W_k</math> (kN/m')</b>	+1,19	-1,24

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

PODRUČJE	D	E
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,30	-0,15
$w_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,12	-0,12
$w_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,42	-0,05
<b><math>W_k</math> (kN/m')</b>	+2,27	-0,27

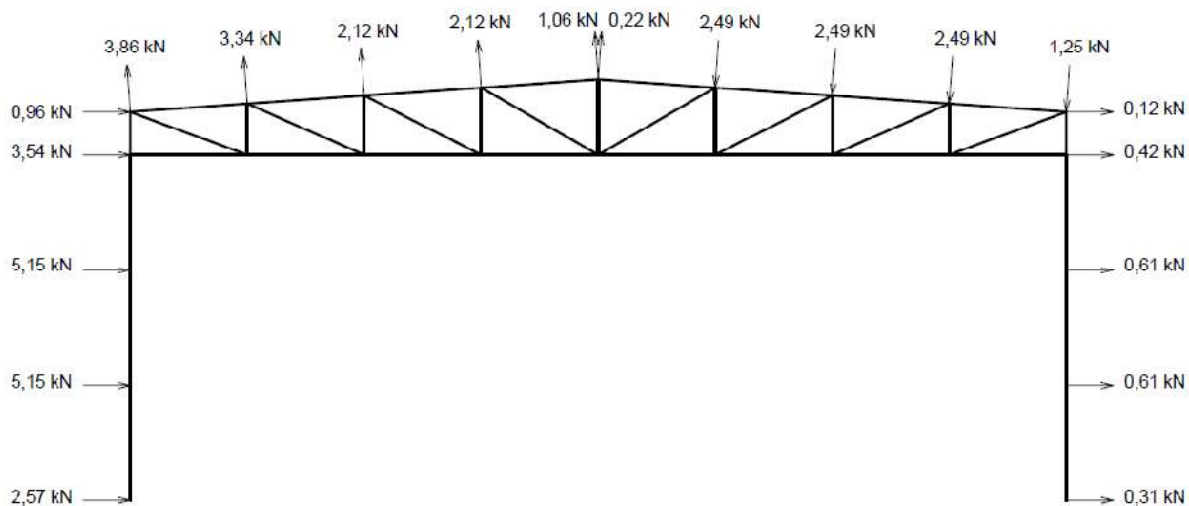
### 2.2.2.3 UKUPNO DJELOVANJE VJETRA NA GLAVNU NOSIVU KONSTRUKCIJU

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



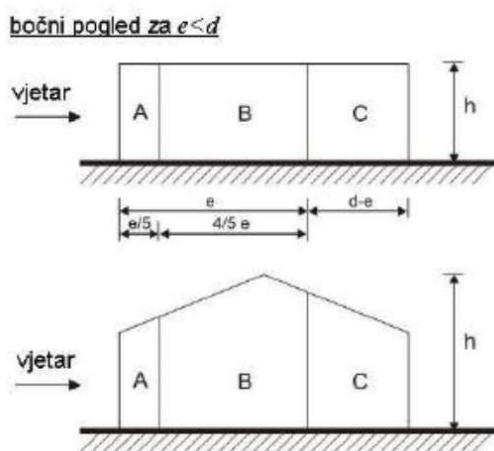
Slika 2.5. Prikaz djelovanja vjetra W1

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



Slika 2.6. Prikaz djelovanja vjetra W2

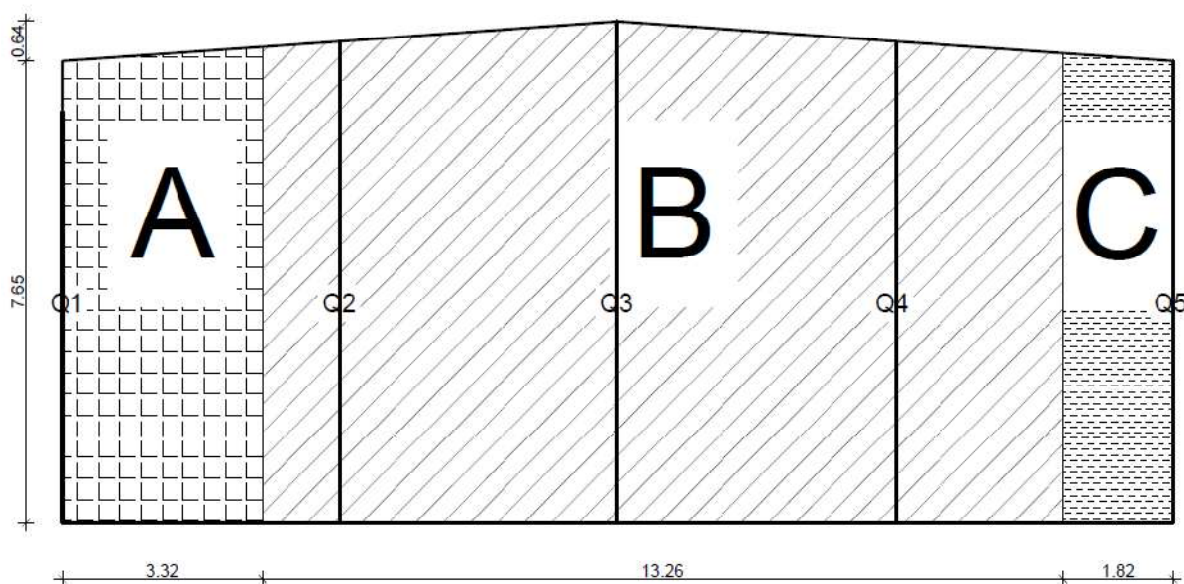
### 2.2.2.4 DJELOVANJE VJETRA NA ZABAT HALE



Slika 2.7. Područja pritiska vjetra na zabat

Koeficijent vanjskog pritiska na halu dobije se linearnom interpolacijom koeficijenata zadanih u tablici za vrijednost:  $h/d=0,451$

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



Slika 2.8. Prikaz područja pritiska vjetra na zabat

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

PODRUČJE	A	B	C
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,50	-0,33	-0,21
$w_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	+0,08	+0,08	+0,08
$w_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,58	-0,41	-0,29

$$Q1 = 2,3 \cdot A = 1,33 \text{ kN/m}^2$$

$$Q2 = (3,32-2,3) \cdot A + (2,3-1,02) \cdot B + 2,3 \cdot B = 2,06 \text{ kN/m}^2$$

$$Q3 = 4,6 \cdot B = 1,89 \text{ kN/m}^2$$

$$Q4 = 4,6 \cdot B = 1,89 \text{ kN/m}^2$$

$$Q5 = (2,3-1,82) \cdot B + 1,82 \cdot C = 0,73 \text{ kN/m}^2$$

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

PODRUČJE	A	B	C
$w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,50	-0,33	-0,21
$w_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,12	-0,12	-0,12
$w_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0,38	-0,21	-0,09

$$Q1 = 2,3 \cdot A = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

$$Q2 = (3,32-2,3) \cdot A + (2,3-1,02) \cdot B + 2,3 \cdot B = 1,14 \text{ kN/m}^2$$

$$Q3 = 4,6 \cdot B = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

$$Q4 = 4,6 \cdot B = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

$$Q5 = (2,3-1,82) \cdot B + 1,82 \cdot C = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

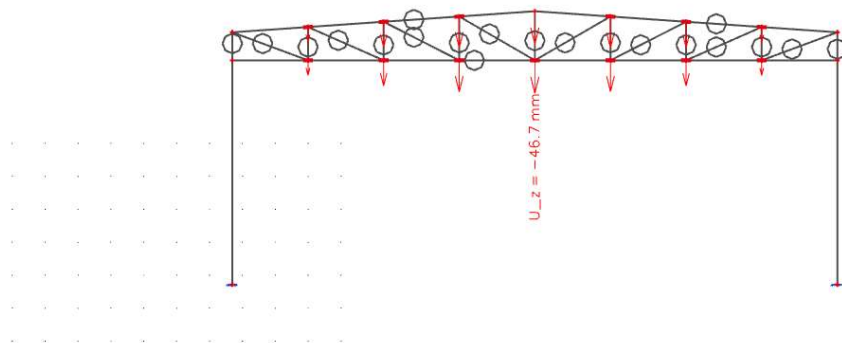
Napomena: Sile Q1-Q5 su dobivene kao jednoliko raspoređeno opterećenje po zabatnim zidovima. Reakcije u leževima prenose se na krovni spreg, pri čemu je mjerodavno opterećenje vjetrom "W1".

### 3. KONTROLA PROGIBA - GSU

#### 3.1 KROVIŠTE - VERTIKALNI PROGIB

Najveći progib izazvan je djelovanjem kombinacije 1.0LC1+1.0G+1.0S+1.0W2

Displacement of nodes  
Values: U<sub>z</sub>  
Linear calculation  
Combination: GSU: LC1+G+S+W2  
Extreme: Global  
Selection: All



Slika 3.1. Vertikalni progib glavnog nosača

$$\text{Dopušteni progib: } \frac{L}{300} = \frac{18400}{300} = 61.33 \text{ mm}$$

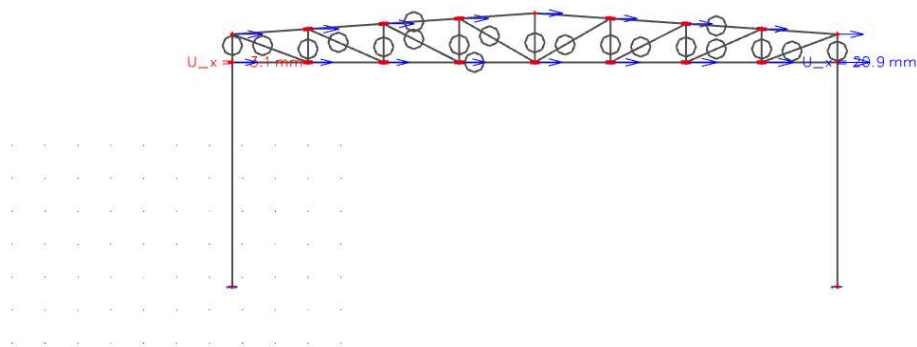
$$\frac{46.7}{61.33} = 0.76 = 76\%$$

Najveći progib zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti od 76%.

## 3.2 STUPOVI - HORIZONTALNI PROGIB

### Displacement of nodes

Values: U<sub>x</sub>  
Linear calculation  
Combination: GSU: LC1+G+S+W2  
Extreme: Global  
Selection: All



Slika 3.2. Horizontalni progib glavnog nosača

Dopušteni progib:  $\frac{H}{300} = \frac{6800}{300} = 22.67 \text{ mm}$

$$\frac{20.9}{22.67} = 0.92 = 92\%$$

Najveći pomak zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti od 92%.

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

- Gornji pojas: CFRHS 140x140x8.8
- Donji pojas: CFRHS 140x140x8.8
- Dijagonale: CFRHS 80x60x5
- Vertikale: CFRHS 60x60x5
- Stup: HEA 260

## 4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA - GSN

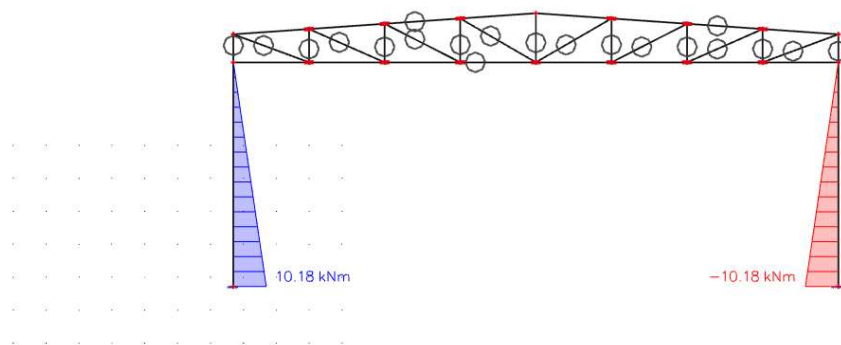
### 4.1 GLAVNA KONSTRUKCIJA

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

#### 4.1.1 KOMBINACIJA $1.35(LG1+G) + 1.5S$

##### 1D internal forces

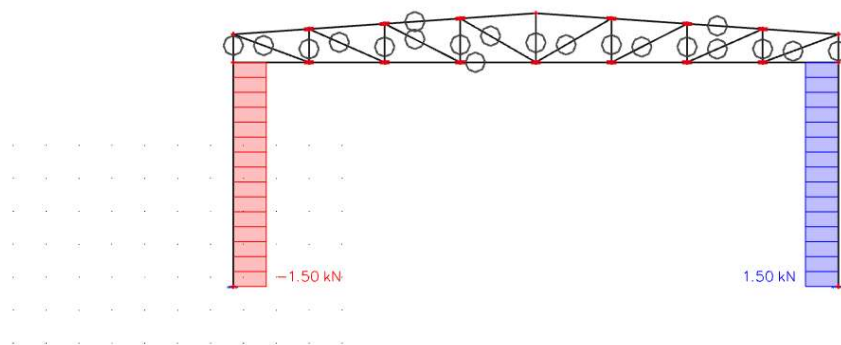
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.1. Momentni dijagram za kombinaciju 1

##### 1D internal forces

Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

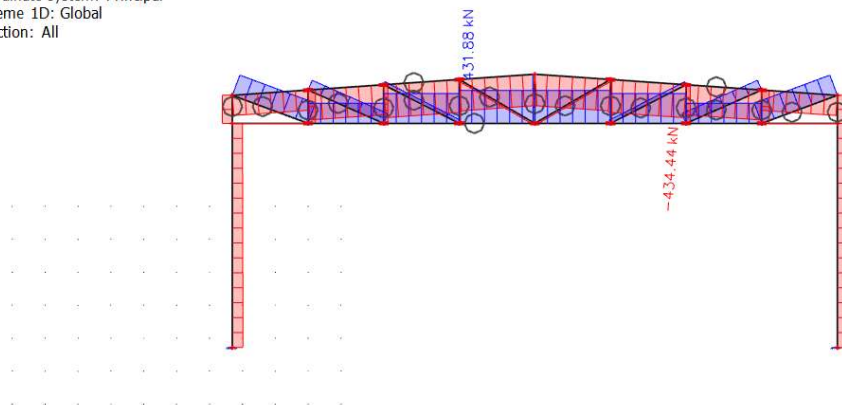


Slika 4.2. Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1



**1D internal forces**

Values: **N**  
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

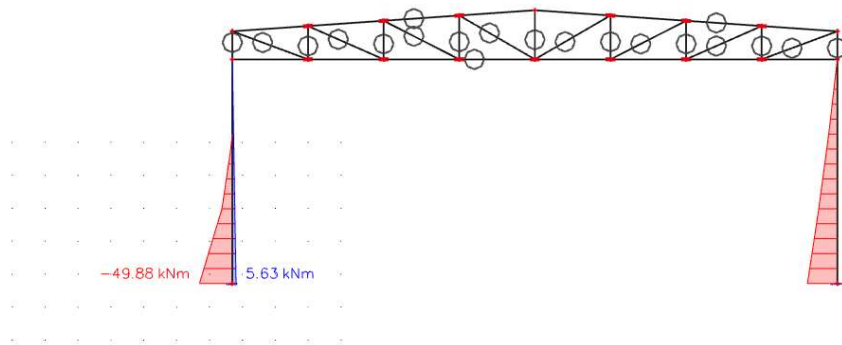


Slika 4.3. Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

### 4.1.2 KOMBINACIJA 1.35(LG1+G) + 1.5W2

**1D internal forces**

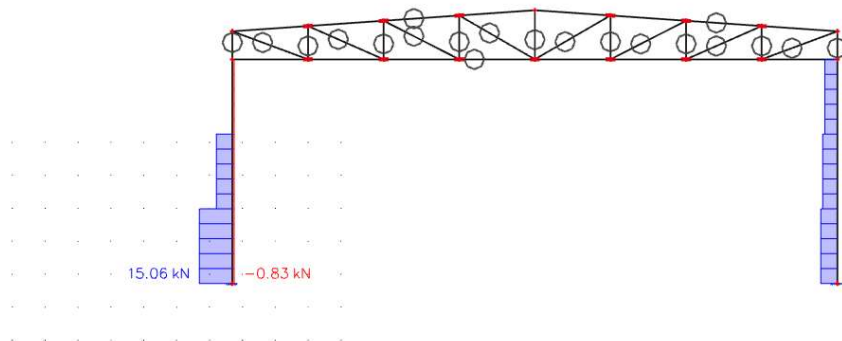
Values: **M<sub>y</sub>**  
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.4. Momentni dijagram za kombinaciju 2

**1D internal forces**

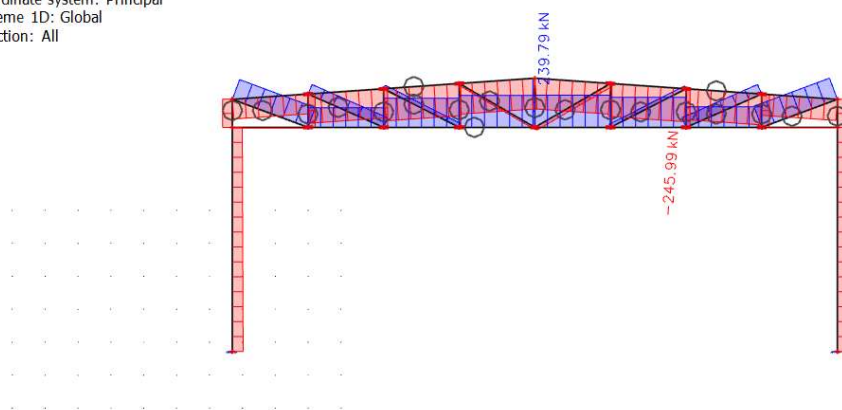
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.5. Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2

**1D internal forces**

Values:  $N$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

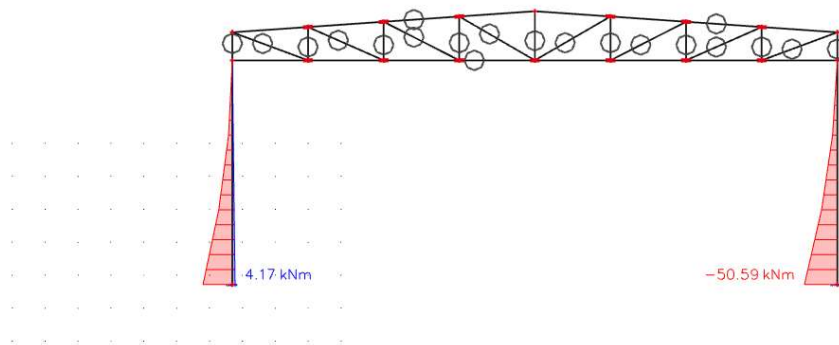


Slika 4.6. Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

### 4.1.3 KOMBINACIJA 1.0(LG1+G) + 1.5W1

**1D internal forces**

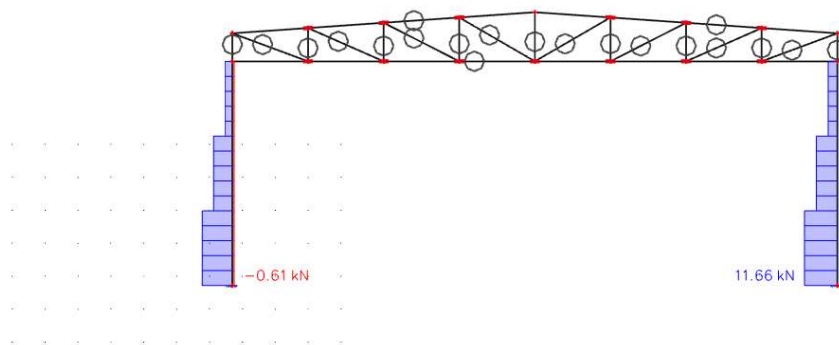
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.7. Momentni dijagram za kombinaciju 3

**1D internal forces**

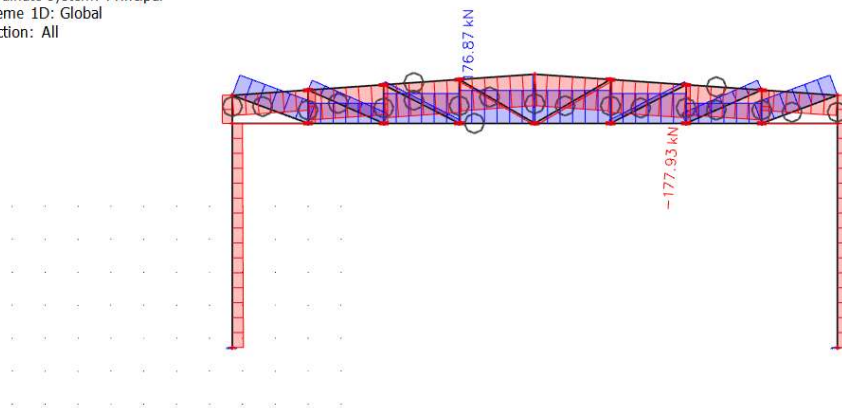
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.8. Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3

**1D internal forces**

Values: **N**  
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

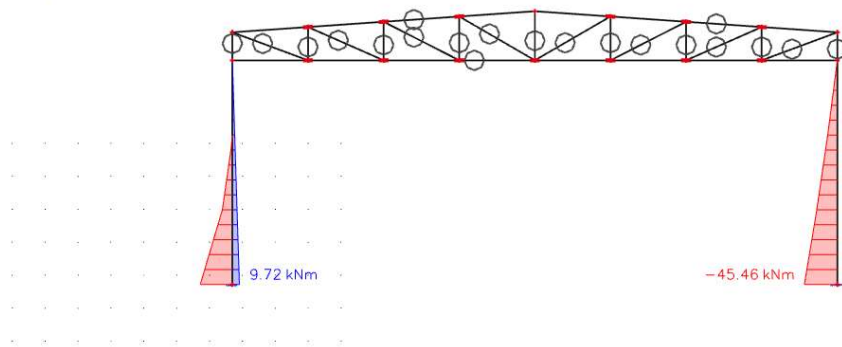


Slika 4.9. Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

#### 4.1.4 KOMBINACIJA $1.35(LG1+G) + 1.35(S+W2)$

**1D internal forces**

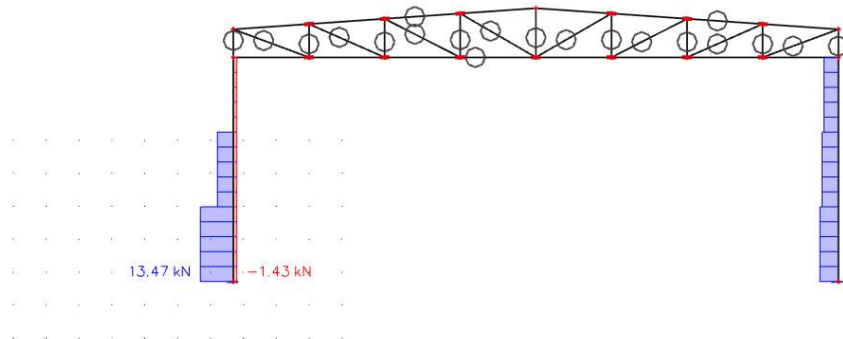
Values: **M<sub>y</sub>**  
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LC1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.10. Momentni dijagram za kombinaciju 4

**1D internal forces**

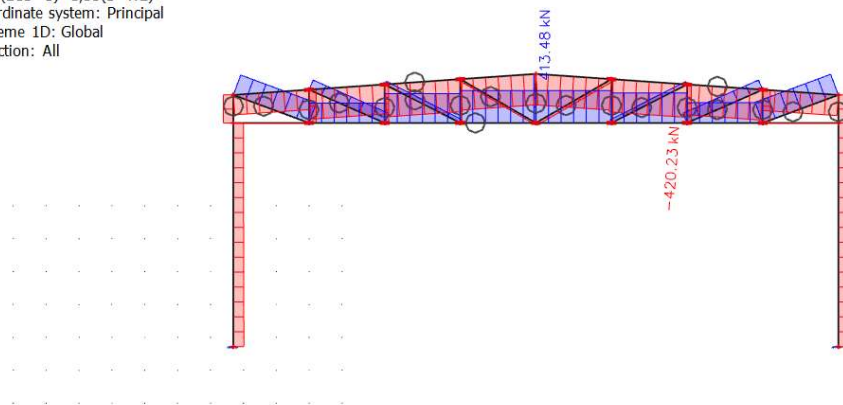
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LC1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.11. Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 4

**1D internal forces**

Values:  $N$   
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LC1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

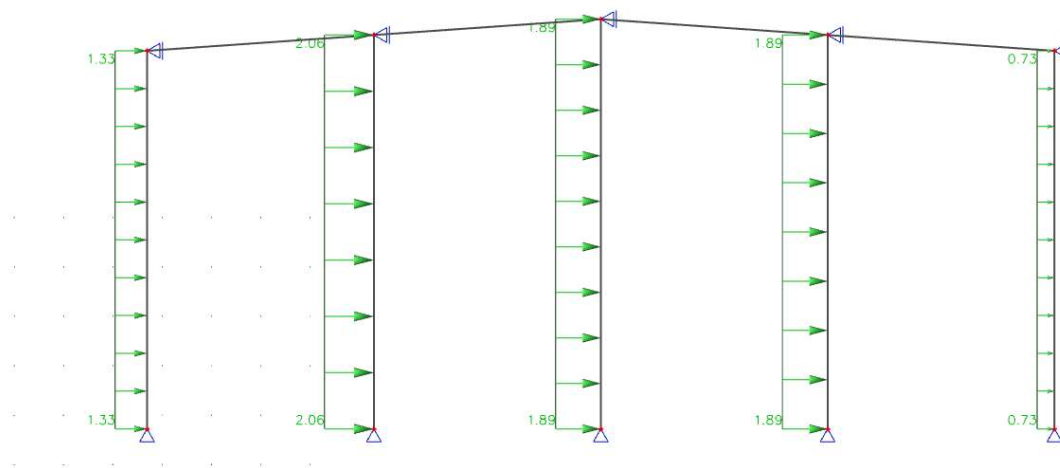


Slika 4.12. Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4

## 4.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

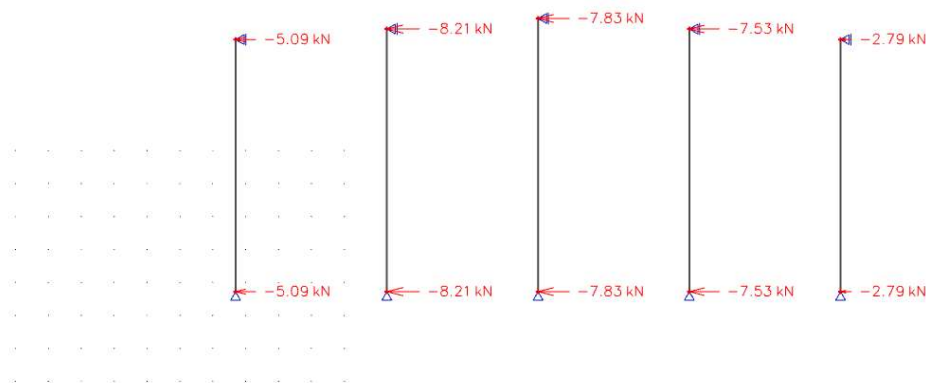
### 4.2.1 ZABATNI STUPOVI

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



Slika 4.13. Model zabatnih stupova

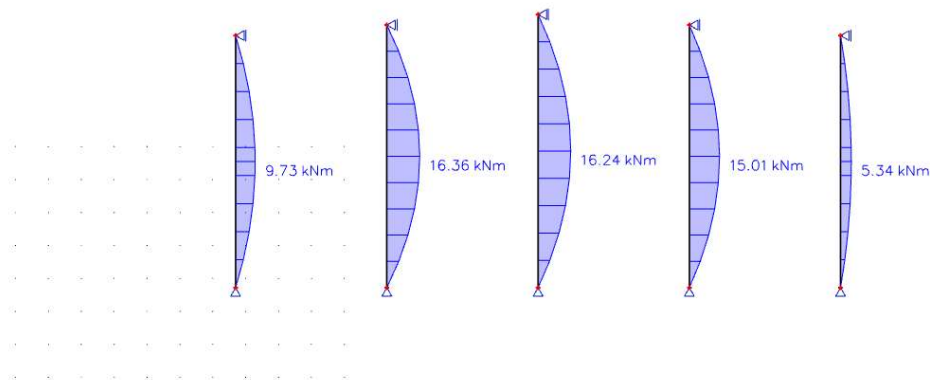
**Reactions**  
Values:  $R_x$   
Linear calculation  
Load case: LC4  
System: Global  
Extreme: Member  
Selection: All



Slika 4.14. Reakcije za djelovanje vjetra W1

**1D internal forces**

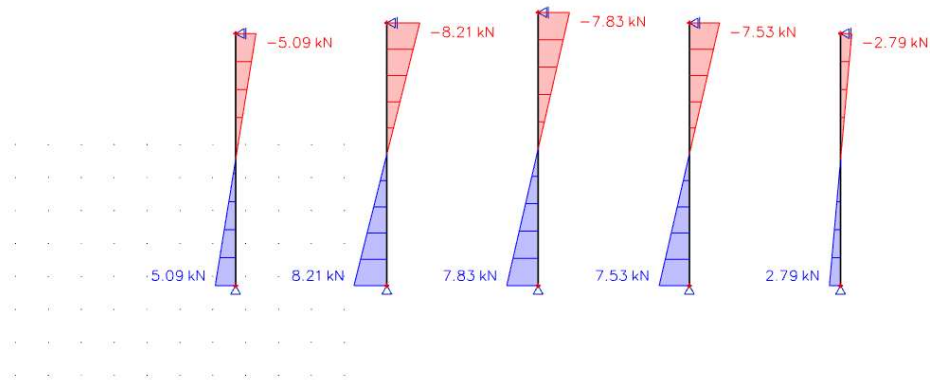
Values:  $M_y$   
 Linear calculation  
 Load case: LC4  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All



Slika 4.15. Momentni dijagram za djelovanje vjetra W1

**1D internal forces**

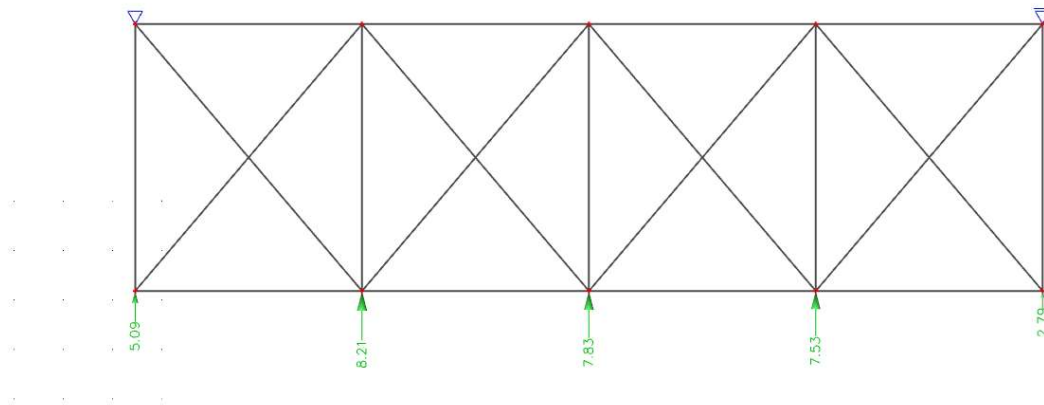
Values:  $V_z$   
 Linear calculation  
 Load case: LC4  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All



Slika 4.16. Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra W1

## 4.2.2 KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI

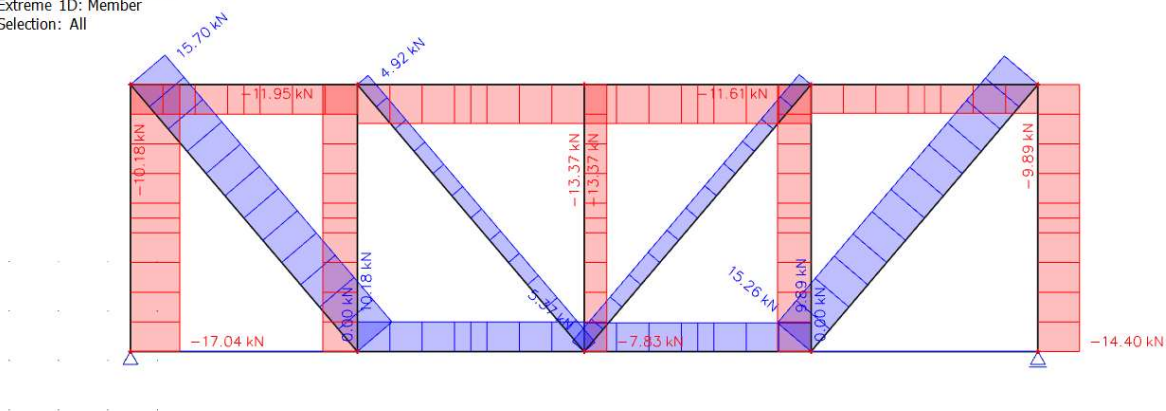
Sile koje djeluju na krovne spregove su prenešene reakcije sa zabatnih stupova.



Slika 4.17. Model krovnog sprega

### 1D internal forces

Values: **N**  
 Linear calculation  
 Load case: LC4  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All

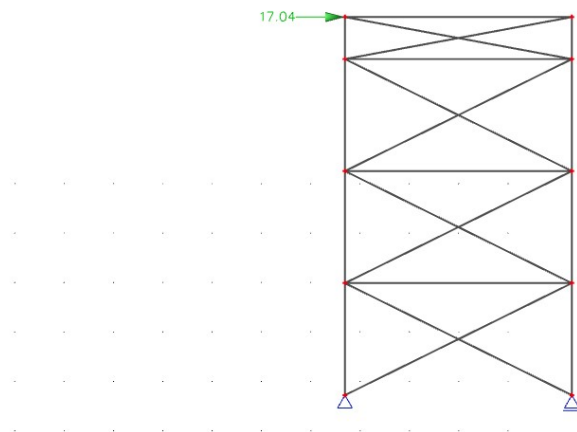


Slika 4.18. Dijagram uzdužnih sila horizontalnog sprega



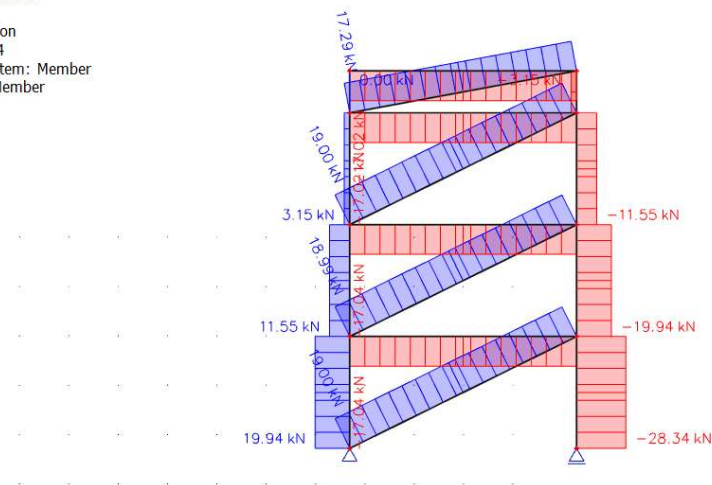
### 4.2.3 BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI

Sile koje djeluju na krovne spregove su prenešene reakcije od djelovanja na krovne spregove.



Slika 4.17. Model bočnog sprega

**1D internal forces**  
 Values: N  
 Linear calculation  
 Load case: LC4  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All



Slika 4.18. Dijagram uzdužnih sila vertikalnog sprega

#### 4.2.4 KROVNE PODROŽNICE

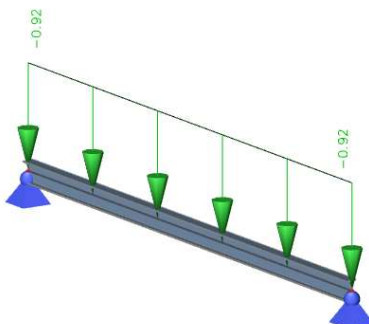
Krovne podrožnice su duljine 5,4 m. Nalaze se na osnom razmaku od 2,3 m i pod kutom su od  $\alpha=4^\circ$ . Djelovanja na krovnu podrožnicu su sljedeća:

Dodatno stalno opterećenje:  $G = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,305 \text{ m} = 0,92 \text{ kN/m}$

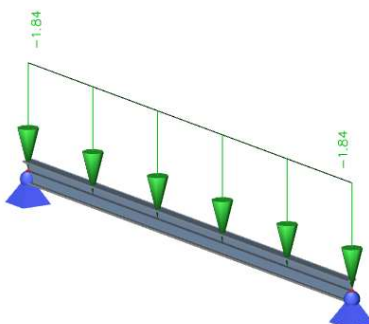
Snijeg:  $S = 0,80 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,305 \text{ m} = 1,84 \text{ kN/m}$

Vjetar W1:  $W1 = 0,82 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,305 \text{ m} = 1,89 \text{ kN/m}$

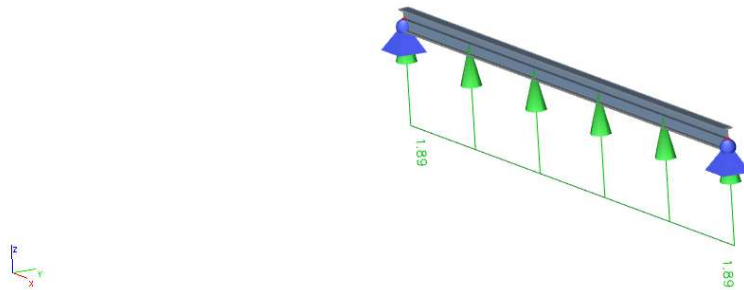
Vjetar W2:  $W2 = 0,20 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,305 \text{ m} = 0,46 \text{ kN/m}$



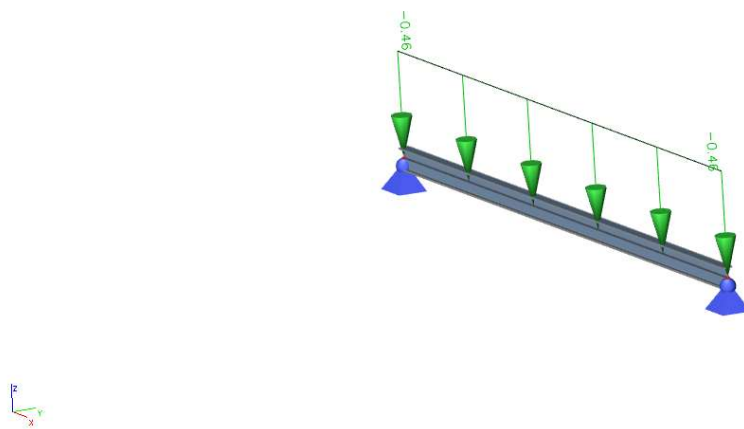
Slika 4.19. Model krovne podrožnice za djelovanje G



Slika 4.20. Model krovne podrožnice za djelovanje S



Slika 4.21. Model krovne podrožnice za djelovanje W1

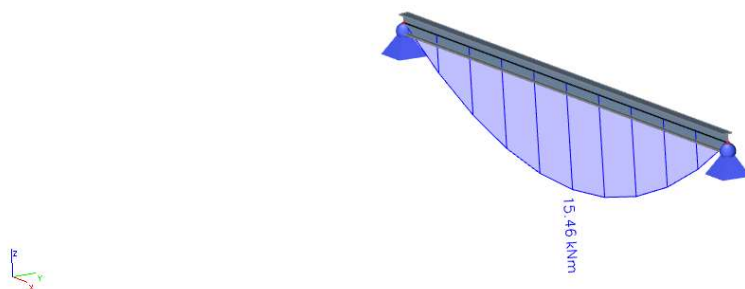


Slika 4.22. Model krovne podrožnice za djelovanje W2

1. KOMBINACIJA 1.35(LG1+G) + 1.5S

**1D internal forces**

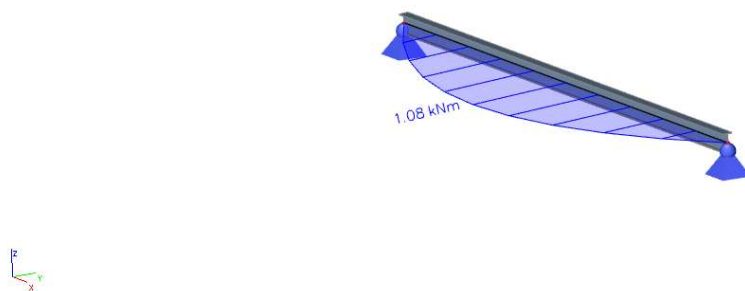
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.23. Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 1

**1D internal forces**

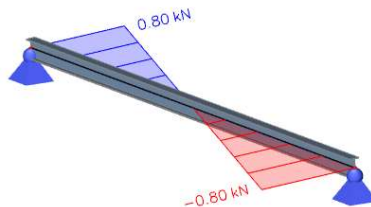
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.24. Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 1

**1D internal forces**

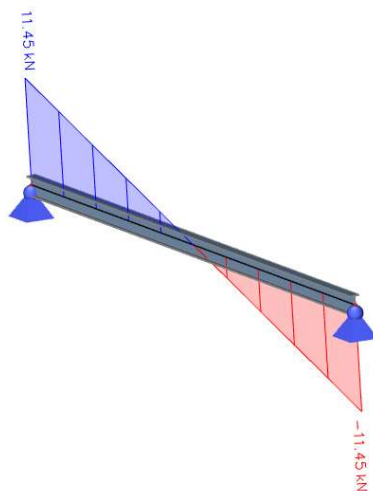
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.25. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 1

**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5S  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

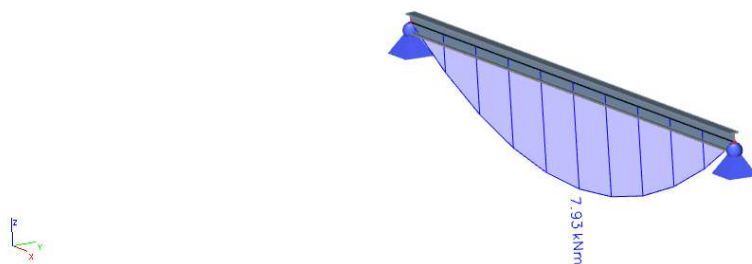


Slika 4.26. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 1

## 2. KOMBINACIJA 1.35(LG1+G) + 1.5W2

### 1D internal forces

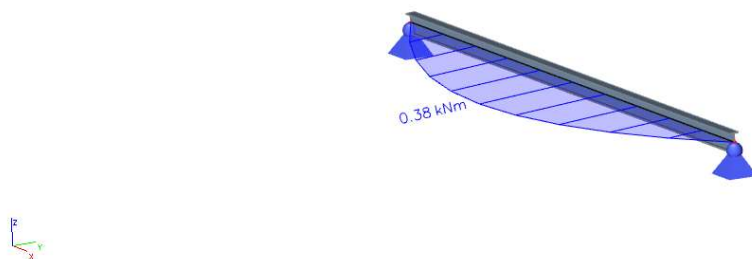
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.27. Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 2

### 1D internal forces

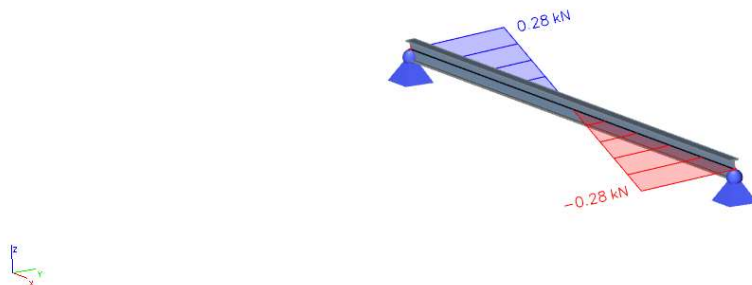
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.28. Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 2

**1D internal forces**

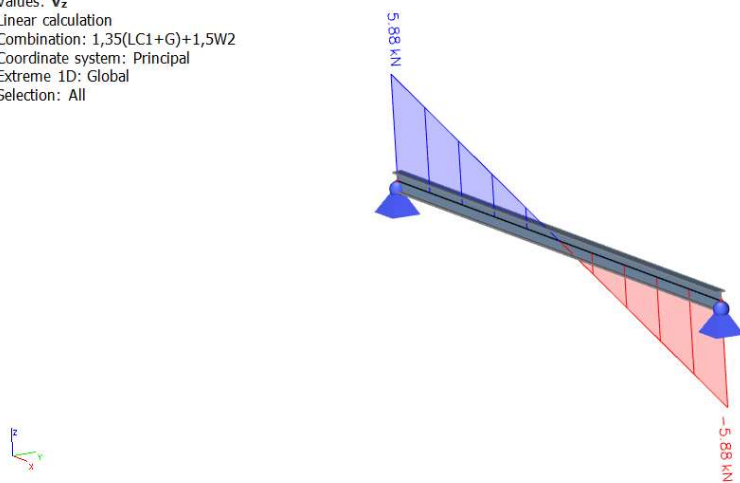
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.29. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 2

**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,35(LC1+G)+1,5W2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

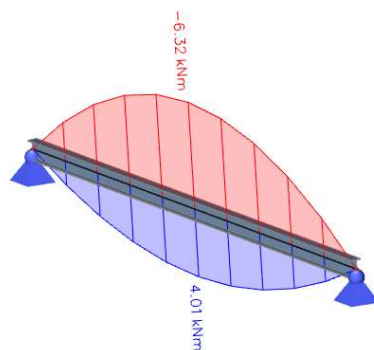


Slika 4.30. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 2

### 3. KOMBINACIJA 1.0(LG1+G) + 1.5W1

#### 1D internal forces

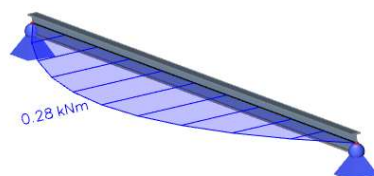
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.31. Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 3

#### 1D internal forces

Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

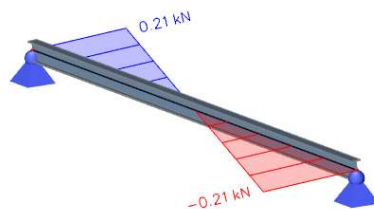


Slika 4.32. Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 3



**1D internal forces**

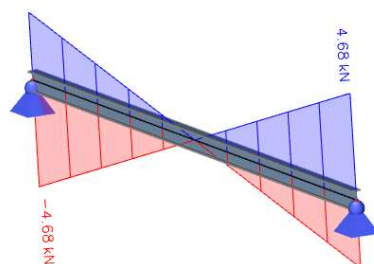
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.33. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 3

**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1,0(LC1+G)+1,5W1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

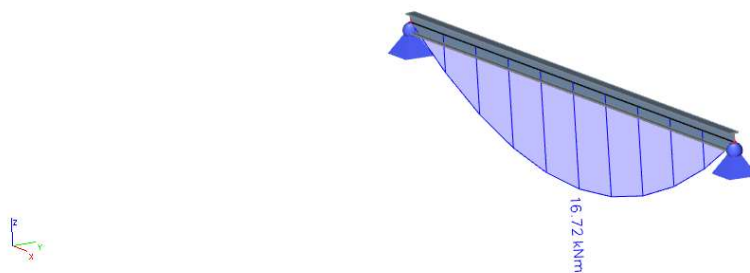


Slika 4.34. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 3

#### 4. KOMBINACIJA $1.35(LG1+G) + 1.35(S+W2)$

##### 1D internal forces

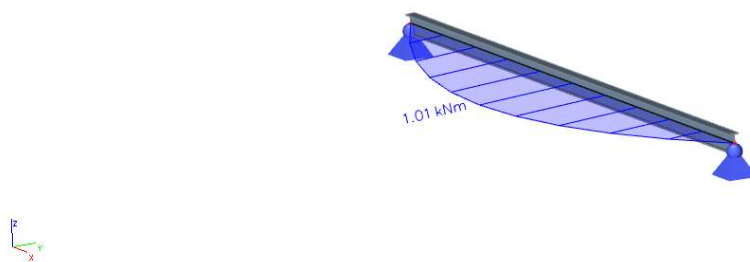
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LG1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.35. Momentni dijagram  $M_y$  za kombinaciju 4

##### 1D internal forces

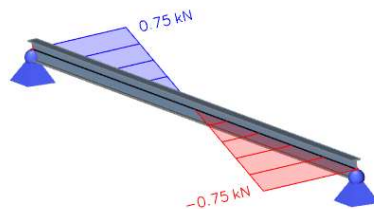
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LG1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.36. Momentni dijagram  $M_z$  za kombinaciju 4

**1D internal forces**

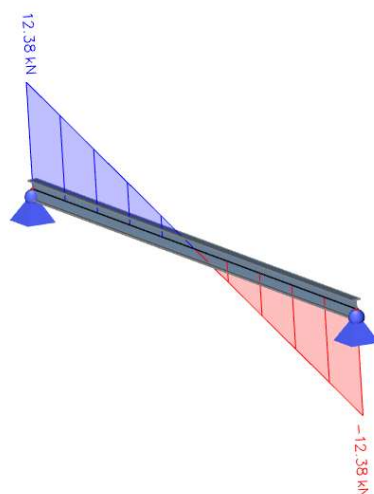
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LC1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.37. Dijagram poprečnih sila  $V_y$  za kombinaciju 4

**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination:  
 $1,35(LC1+G)+1,35(S+W2)$   
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



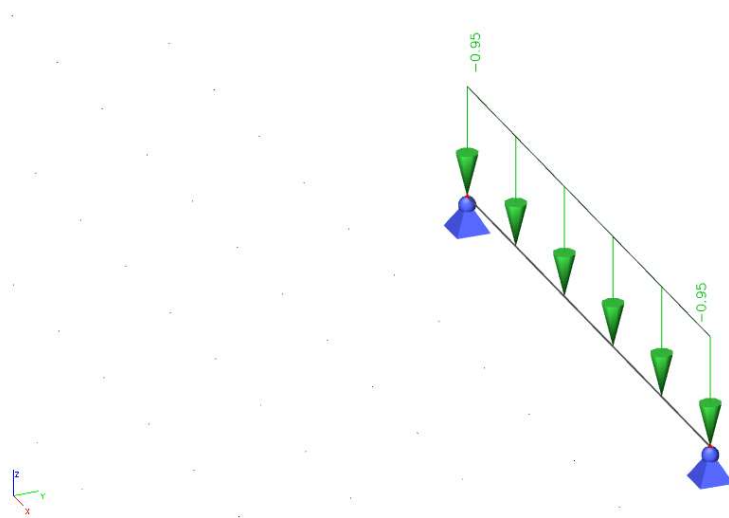
Slika 4.38. Dijagram poprečnih sila  $V_z$  za kombinaciju 4

#### 4.2.5 BOČNE PODROŽNICE

Opterećenje bočne podrožnice vjetrom je uzeto za područje D i pritisak na vertikalne zidove koji iznosi  $w_k=0,42 \text{ kN/m}^2$ .

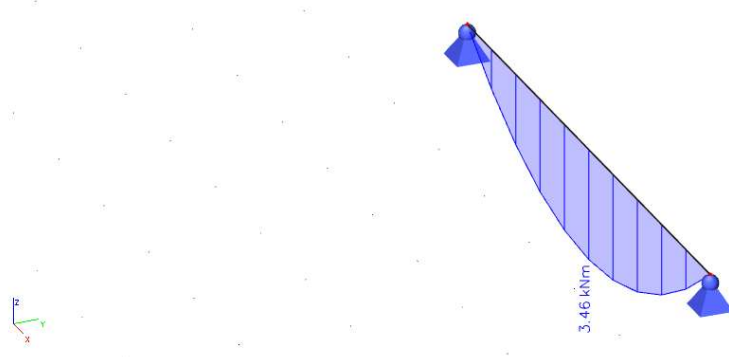
$$W_k = w_k \cdot n = 0,42 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,266\text{m} = 0,95 \text{ kN/m}$$

n - razmak između bočnih podrožnica

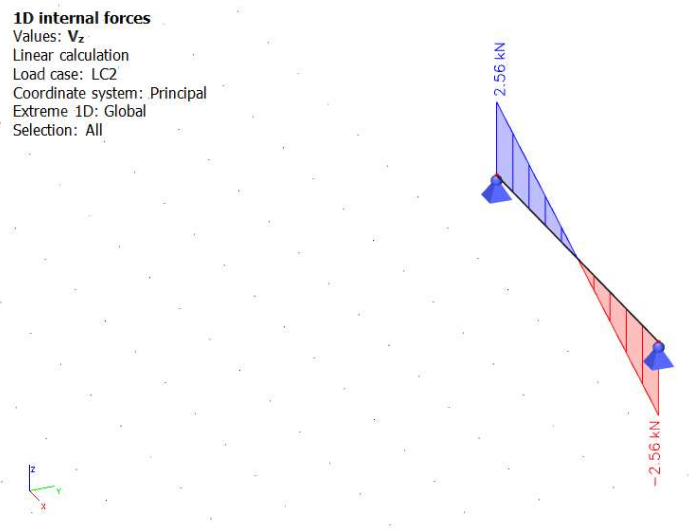


Slika 4.19. Model bočne podrožnice

**1D internal forces**  
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Load case: LC2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 4.20. Momentni dijagram bočne podrožnice

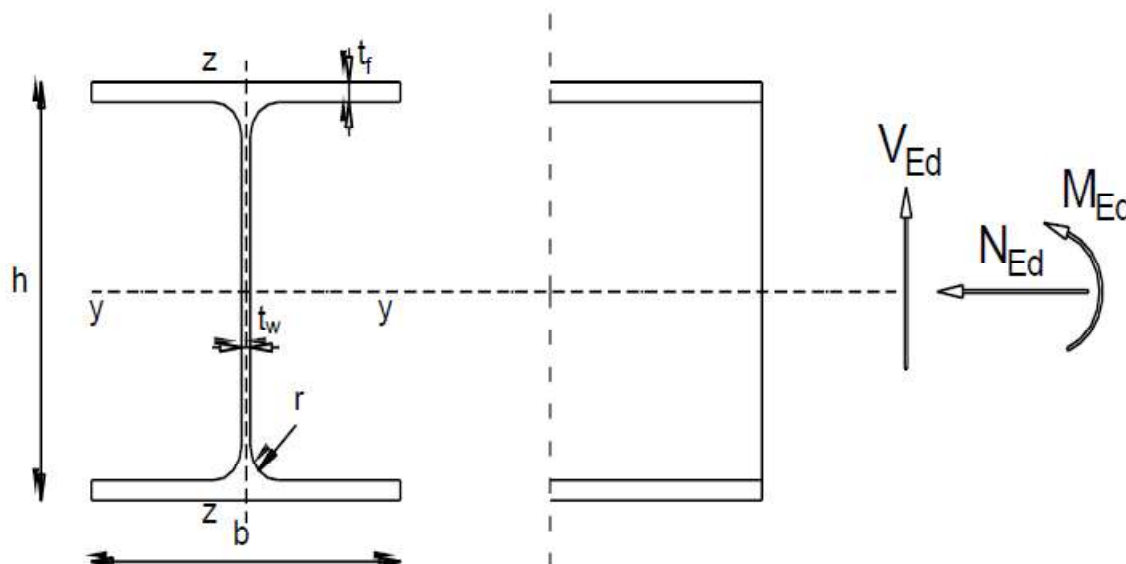


*Slika 4.21. Dijagram poprečnih sila bočne podrožnice*

## 5. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKCIJE

### 5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

#### 5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 5.1. Poprečni presjek stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA 260	Moment tromosti:	$I_y = 10\,500\text{ cm}^4$ $I_z = 3\,670\text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 920.83\text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 429.17\text{ cm}^3$
Visina presjeka:	$h = 250\text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 516\,350\text{ cm}^6$
Širina presjeka:	$b = 260\text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 52.4\text{ cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f = 13\text{ mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w = 8\text{ mm}$		
Radius:	$r = 24\text{ mm}$		
Površina:	$A = 86.8\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235\text{ N/mm}^2$ $\epsilon = 1.0$ $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$
$M_{y,Ed} =$	49.88 kNm		
$V_{z,Ed} =$	15.06 kN		
$N_{Ed} =$	-80.85 kN		

Tablica 5.1. Karakteristike poprečnog presjeka stupa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 250 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 176 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{176}{8} = 22$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{80.85}{2 \cdot 0.8 \cdot 23.5 / 1.0} = 2.15 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{17.6} \cdot \left( \frac{17.6}{2} + 2.15 \right) = 0.622$$

$$\frac{d}{t_w} = 22 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0.622 - 1} = 55.88$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{260 - 8 - 2 \cdot 24}{2} = 102$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{102}{13} = 7.85 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

-> POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86.8 \cdot 23.5}{1.0} = 2039.80 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 80.85 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 2039.80 \text{ kN}$$

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog momentu savijanja**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920.83 \cdot 23.5}{1.0} = 21639.51 \text{ kNcm} = 216.40 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 49.88 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 216.40 \text{ kNm}$$

### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60$$

->Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

$$A_{v,z} = 86.8 - 2 \cdot 26 \cdot 1.3 + (0.8 + 2 \cdot 2.4) \cdot 1.3 = 26.48$$

$$A_{v,z} = 26.48 \text{ cm}^2 > 1.2 \cdot 22.4 \cdot 0.8 = 21.50 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{26.48 \cdot (23.5 / \sqrt{3})}{1.0} = 359.27 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 15.06 \text{ kN} < V_{pl,z,Rd} = 359.27 \text{ kN}$$

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

Presjek u x=0 m:

$$M_{Ed} = 49.88 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 15.06 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 80.85 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Rd} = 0.5 \cdot 359.27 = 179.64 \text{ kN} > V_{Ed} = 15.06 \text{ kN}$$

->Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

$$0.25 \cdot N_{Rd} = 0.25 \cdot 2039.80 = 509.95 \text{ kN} > N_{Ed} = 80.85 \text{ kN}$$

$$\frac{d \cdot t \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{17.6 \cdot 0.8 \cdot 23.5}{2 \cdot 1} = 165.44 \text{ kN} > N_{Ed} = 80.85 \text{ kN}$$

->Nema redukcije otpornosti na savijanje (niska razina uzdužne sile)



## OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

### Otpornost elementa na izvijanje

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

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

$$\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

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

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

Os y-y (valjani profil -> krivulja izvijanja: b;  $\alpha=0.34$ )

$$L_{cr} = 2 \cdot 680 \text{ cm} = 1360 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1360^2} = 1176.60 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{86.80 \cdot 23.5}{1176.60}} = 1.317$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + 0.34(1.317 - 0.2) + 1.317^2 \right] = 1.557$$

$$\chi_y = \frac{1}{1.557 + \sqrt{1.557^2 - 1.317^2}} = 0.419 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.419 \cdot 86.8 \cdot 23.5}{1} = 854.68 \text{ kN}$$

Os z-z (valjani profil -> krivulja izvijanja: c;  $\alpha=0.49$ )

$$L_{cr} = \frac{1}{3} \cdot 680 \text{ cm} = 226.67 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{226.67^2} = 42356.52 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{86.80 \cdot 23.5}{42356.52}} = 0.219$$

$$\Phi_z = 0.5 \left[ 1 + 0.49(0.219 - 0.2) + 0.219^2 \right] = 0.529$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.529 + \sqrt{0.529^2 - 0.219^2}} = 0.99 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.99 \cdot 86.8 \cdot 23.5}{1} = 2019.40 \text{ kN}$$

Mjerodavna je manja vrijednost:

$$N_{b,Rd} = 854.68 \text{ kN} > N_{Ed} = 80.85 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa na bočno izvijanje**

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ cm}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$k = 1.0$$

$$k_w = 1.0$$

$$\psi = 0 \longrightarrow C_1 = 1.77; C_2 = 0$$

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

$$L_{cr} = 2 \cdot 680 = 1360 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0.96 < 2 \longrightarrow \text{krivulja izvijanja : a}$$

$$\alpha_{LT} = 0.21$$

$$M_{cr} = 1.77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1 \cdot 1360)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1 \cdot 1360)^2 \cdot 8077 \cdot 52.4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670} + (0 \cdot 13)^2} - 0 \cdot 13 \right]$$

$$M_{cr} = 24896.75 \text{ kNcm} = 248.98 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{920.83 \cdot 23.5}{24896.75}} = 0.93 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + 0.21 \cdot (0.93 - 0.2) + 0.93^2 \right] = 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1 + \sqrt{1^2 - 0.93^2}} = 0.73 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.73 \cdot 920.83 \cdot 23.5}{1} = 157.99 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 157.99 \text{ kNm} > M_{Ed} = 49.88 \text{ kNm}$$

### Otpornost elementa na interakciju M-N

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

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

$$\text{Za } \psi = 0 \longrightarrow C_{mi} = 0.6 + 0.4 \cdot \psi \geq 0.4$$

$$C_{my} = 0.6; C_{mz} = 0.6; C_{mLT} = 0.6$$

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

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

$$k_{yy} = 0.6 \left( 1 + (1.317 - 0.2) \cdot \frac{80.85}{0.419 \cdot 2039.80/1} \right) = 0.66 \leq 0.6 \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{80.85}{0.419 \cdot 2039.80/1} \right) = 0.64$$

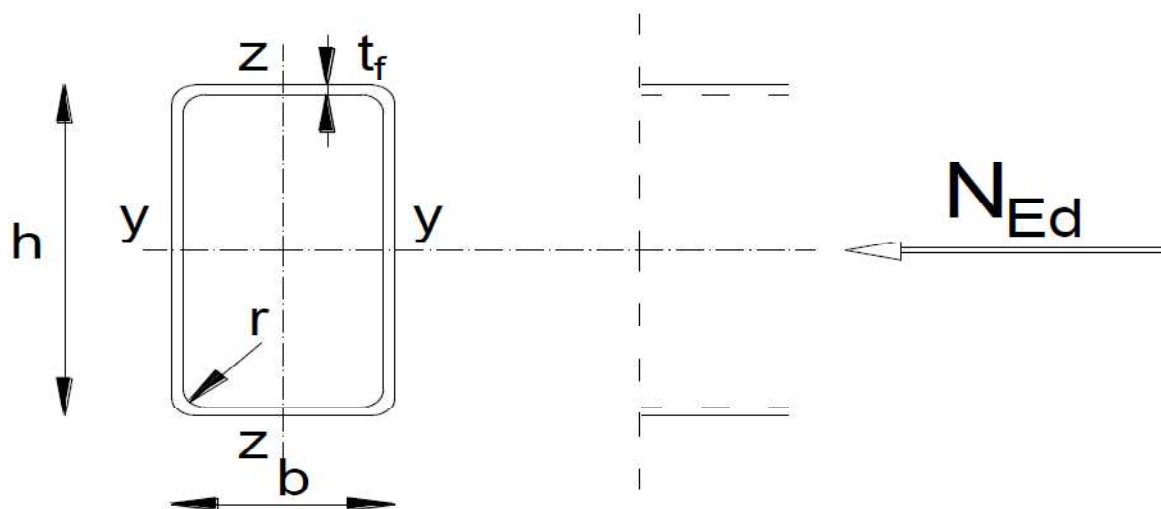
$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0.1 \cdot 0.219}{(0.6 - 0.25)} \cdot \frac{80.85}{0.99 \cdot 2039.80/1} \right] = 0.99 \geq \left[ 1 - \frac{0.1}{(0.6 - 0.25)} \cdot \frac{80.85}{0.99 \cdot 2039.80/1} \right] = 0.98$$

$$\frac{80.85}{0.419 \cdot 2039.8/1.0} + 0.64 \cdot \frac{49.88}{0.73 \cdot 216.40/1} = 0.30 \leq 1.0$$

$$\frac{80.85}{0.419 \cdot 2039.8/1.0} + 0.98 \cdot \frac{49.88}{0.73 \cdot 216.40/1} = 0.43 \leq 1.0$$

**Profil HEA260, kvalitete čelika S235 zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=43\%$ . Iako je mala iskoristivost prema GSN, prema GSU iskoristivost je  $\eta=92\%$ , stoga prihvaćamo ovaj profil.**

### 5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 5.2. Poprečni presjek gornjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS140X140X8.8	Moment tromosti:	$I_y = 1205 \text{ cm}^4$ $I_z = 1205 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{el,y} = 172.15 \text{ cm}^3$ $W_{el,z} = 172.15 \text{ cm}^3$
Visina presjeka:	$h = 140 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 2055.4 \text{ cm}^6$
Širina presjeka:	$b = 140 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 39440 \text{ cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t = 8.8 \text{ mm}$		
Debljina hrpta:	$t = 8.8 \text{ mm}$		
Radijus:	$r = 22 \text{ mm}$		
Površina:	$A = 43.52 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
$N_{Ed} =$	-434.44 kN		$\epsilon = 1.0$ $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$

Tablica 5.2. Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 8.8 = 113.6 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{113.6}{8.8} = 12.9$$

$$\frac{d}{t} = 12.9 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

$$c = h - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 6 = 113.6 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{113.6}{8.8} = 12.9$$

$$\frac{c}{t} = 12.9 < 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 1 = 14$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 3

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 3.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43.52 \cdot 23.5}{1.0} = 1022.72 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 434.44 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 1022.72 \text{ kN}$$

## OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG UZDUŽNOJ SILI

### Otpornost elementa na izvijanje

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

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

$$\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

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

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

Krivulja izvijanja:  $\alpha \rightarrow \alpha=0.21$

### Izvijanje oko osi y-y

$$L_{cr} = 230.5 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1205}{230.5^2} = 4700.71 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{43.52 \cdot 23.5}{4700.71}} = 0.47$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + 0.21(0.47 - 0.2) + 0.47^2 \right] = 0.64$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.64 + \sqrt{0.64^2 - 0.47^2}} = 0.93 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.93 \cdot 43.52 \cdot 23.5}{1} = 951.13 \text{ kN}$$

### Izvijanje oko osi z-z

$$L_{cr} = 461 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1205}{461^2} = 1175.18 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{43.52 \cdot 23.5}{1175.18}} = 0.93$$

$$\Phi_z = 0.5 \left[ 1 + 0.21(0.94 - 0.2) + 0.94^2 \right] = 1.01$$

$$\chi_z = \frac{1}{1.01 + \sqrt{1.01^2 - 0.93^2}} = 0.67 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.67 \cdot 48.57 \cdot 23.5}{1} = 685.22 \text{ kN}$$

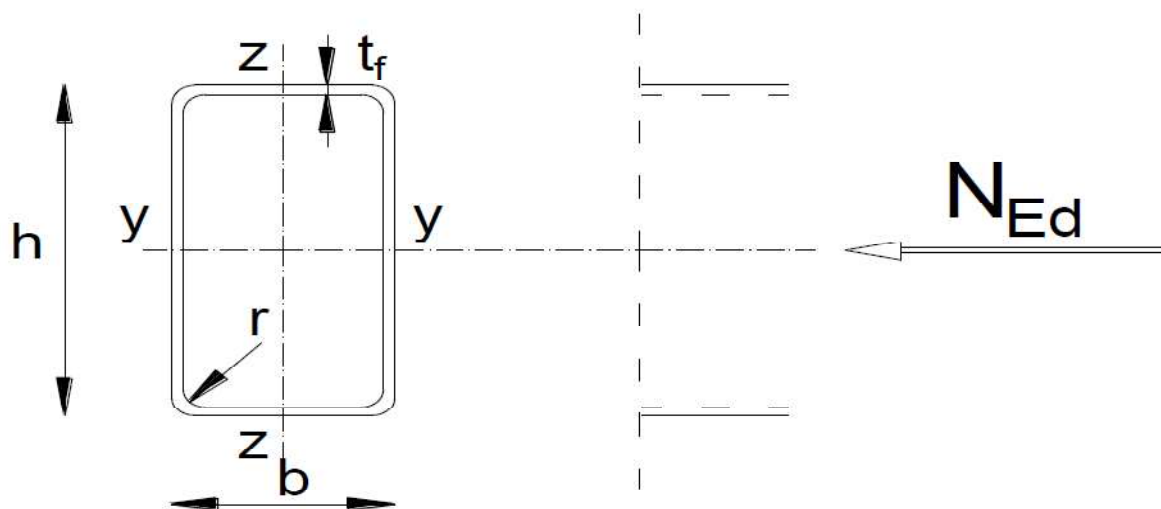
$$N_{b,Rd} = 685.22 \text{ kN} > N_{Ed} = 434.44 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{434.44}{685.22} \cdot 100 = 65\%$$

**Profil CFRHS140X140X8.8, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=65\%$ .  
Prema GSU iskoristivost je  $\eta=76\%$ , stoga prihvaćamo ovaj profil.**

**Napomena:** Gornji pojas je u svim kombinacijama izložen uzdužnoj tlačnoj sili.

### 5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA



Slika 5.3. Poprečni presjek donjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS140X140X8.8	Moment tromosti:	$I_y = 1205 \text{ cm}^4$ $I_z = 1205 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 209.23 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 209.23 \text{ cm}^3$
Visina presjeka:	$h = 140 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 2055.4 \text{ cm}^6$
Širina presjeka:	$b = 140 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 39440 \text{ cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t = 8.8 \text{ mm}$		
Debljina hrpta:	$t = 8.8 \text{ mm}$		
Radius:	$r = 22 \text{ mm}$		
Površina:	$A = 43.52 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
$N_{Ed} =$	+432.32 kN		$\epsilon = 1.0$ $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$

Tablica 5.3. Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 8.8 = 113.6 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{113.6}{8.8} = 12.9$$

$$\frac{d}{t} = 12.9 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

$$c = h - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 6 = 113.6 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{113.6}{8.8} = 12.9$$

$$\frac{c}{t} = 12.9 < 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 1 = 14$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 3

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 3.**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43.52 \cdot 23.5}{1.0} = 1022.72 \text{ kN}$$

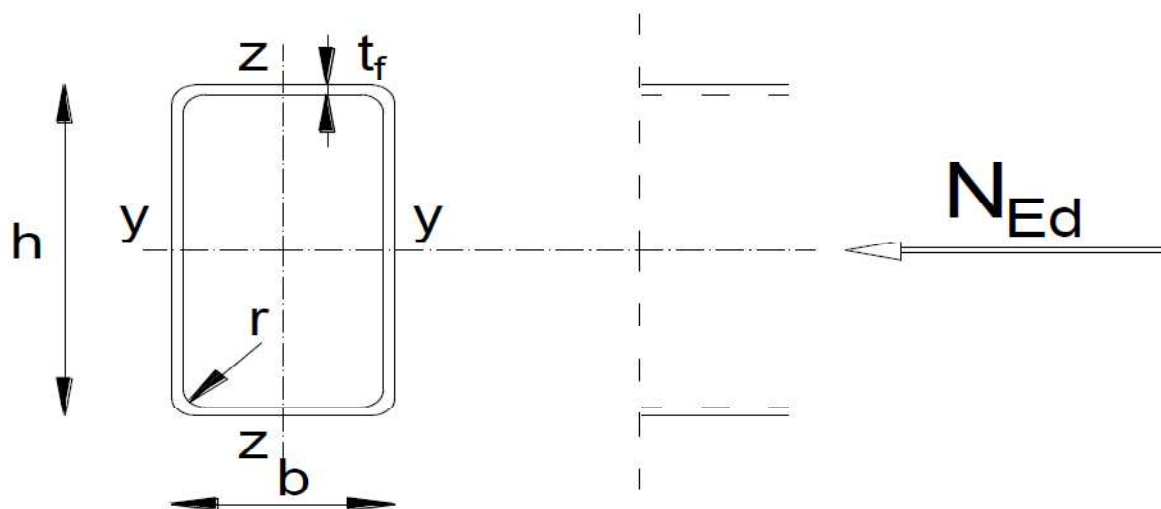
$$N_{Ed} = 432.32 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 1022.72 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{432.32}{1022.72} \cdot 100 = 43\%$$

**Profil CFRHS140X140X8.8, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=43\%$ .  
Prema GSU iskoristivost je  $\eta=76\%$ , stoga prihvaćamo ovaj profil.**

**Napomena:** Donji pojas je u svim kombinacijama izložen uzdužnoj vlačnoj sili.

### 5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 5.4. Poprečni presjek vertikala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS60X60X5	Moment tromosti:	$I_y = 50.49 \text{ cm}^4$ $I_z = 50.49 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 16.83 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 16.83 \text{ cm}^3$
Visina presjeka:	$h = 60 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 324.00 \text{ cm}^6$
Širina presjeka:	$b = 60 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 86.42 \text{ cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t = 5 \text{ mm}$		
Debljina hrpta:	$t = 5 \text{ mm}$		
Radijus:	$r = 10 \text{ mm}$		
Površina:	$A = 10.36 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
$N_{Ed}^-$	-133.47 kN		$\epsilon = 1.0$
$N_{Ed}^+$	+25.15 kN		$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$

Tablica 5.4. Karakteristike poprečnog presjeka vertikala

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 60 - 3 \cdot 5 = 45 \text{ mm}$$

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

$$\frac{d}{t} = 9 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

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

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

$$\frac{c}{t} = 9 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12.36 \cdot 23.5}{1.0} = 290.46 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 133.47 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 290.46 \text{ kN}$$

**OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG UZDUŽNOJ SILI****Otpornost elementa na izvijanje**

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

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

$$\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

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

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

Krivulja izvijanja:  $\alpha \rightarrow 0.21$

Jednake su mogućnosti izvijanja oko osi y-y i z-z, stoga je dovoljno napraviti proračun za jednu os.

$$L_{cr} = 101.1 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 50.49}{101.1^2} = 1023.82 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{12.36 \cdot 23.5}{1023.82}} = 0.49$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + 0.21(0.49 - 0.2) + 0.49^2 \right] = 0.65$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.65 + \sqrt{0.65^2 - 0.49^2}} = 0.93 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.93 \cdot 12.36 \cdot 23.5}{1} = 226.42 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 226.42 \text{ kN} > N_{Ed} = 133.47 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{133.47}{226.42} \cdot 100 = 60\%$$

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

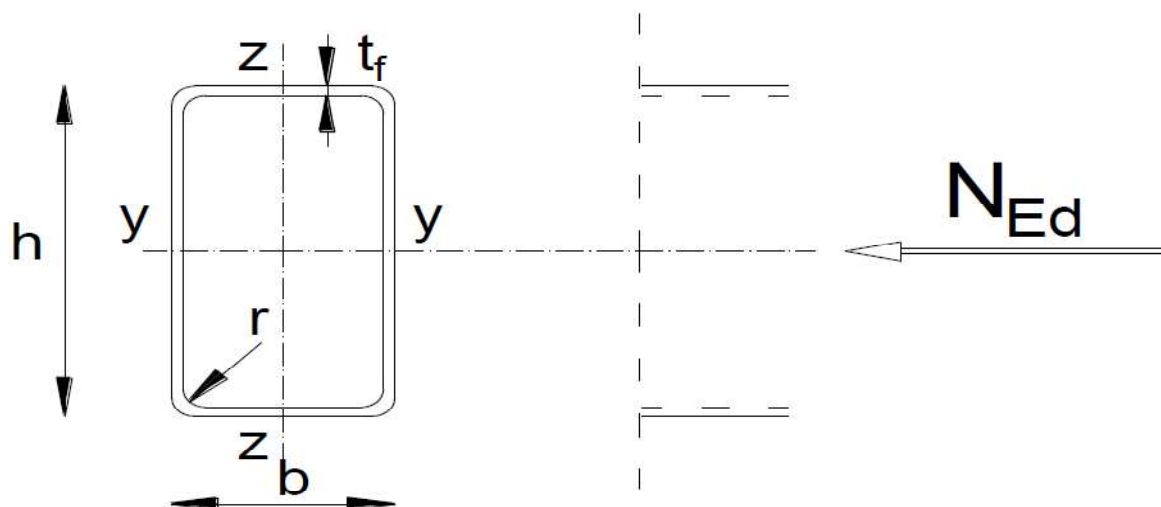
#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

$$N_{t,Rd} = N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10.36 \cdot 23.5}{1.0} = 243.46 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 25.15 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 243.46 \text{ kN}$$

**Profil CFRHS60X60X5, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=60\%$ .**

### 5.1.5. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 5.5. Poprečni presjek dijagonala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS80X60X5	Moment tromosti:	$I_y = 103.28 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani		$I_z = 65.66 \text{ cm}^4$
Visina presjeka:	$h = 80 \text{ mm}$	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 32.24 \text{ cm}^3$
Širina presjeka:	$b = 60 \text{ mm}$		$W_{pl,z} = 26.38 \text{ cm}^3$
Debljina pojasnice:	$t = 5 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 135.53 \text{ cm}^6$
Debljina hrpta:	$t = 5 \text{ mm}$		
Radijus:	$r = 10 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 6666.7 \text{ cm}^4$
Površina:	$A = 12.36 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
$N_{Ed}^-$	-24.04 kN		$\epsilon = 1.0$
$N_{Ed}^+$	+283.88 kN		$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
			$\nu = 0.3$

Tablica 5.5. Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 80 - 3 \cdot 5 = 65 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{65}{5} = 13$$

$$\frac{d}{t} = 13 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

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

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

$$\frac{c}{t} = 9 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12.36 \cdot 23.5}{1.0} = 290.46 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 24.04 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 290.46 \text{ kN}$$

## OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG UZDUŽNOJ SILI

### Otpornost elementa na izvijanje

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

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

$$\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

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

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

Krivulja izvijanja: a ->  $\alpha=0.21$

### Izvijanje oko osi y-y

$$L_{cr} = 245.5 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 103.28}{245.5^2} = 355.17 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{12.36 \cdot 23.5}{2094.27}} = 0.90$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + 0.21(0.90 - 0.2) + 0.90^2 \right] = 0.98$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.98 + \sqrt{0.98^2 - 0.90^2}} = 0.73 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.73 \cdot 12.36 \cdot 23.5}{1} = 212.04 \text{ kN}$$

### Izvijanje oko osi z-z

$$L_{cr} = 245.5 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 65.66}{245.5^2} = 225.80 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{12.36 \cdot 23.5}{225.8}} = 1.13$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[ 1 + 0.21(1.13 - 0.2) + 1.13^2 \right] = 1.23$$

$$\chi_y = \frac{1}{1.23 + \sqrt{1.23^2 - 1.13^2}} = 0.58 \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.58 \cdot 12.36 \cdot 23.5}{1} = 168.47 \text{ kN}$$



Kritičnije je izvijanje oko slabije osi z-z

$$N_{b,Rd} = 24.04 \text{ kN} > N_{Ed} = 168.47 \text{ kN}$$

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

**Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili**

$$N_{t,Rd} = N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12.36 \cdot 23.5}{1.0} = 290.46 \text{ kN}$$

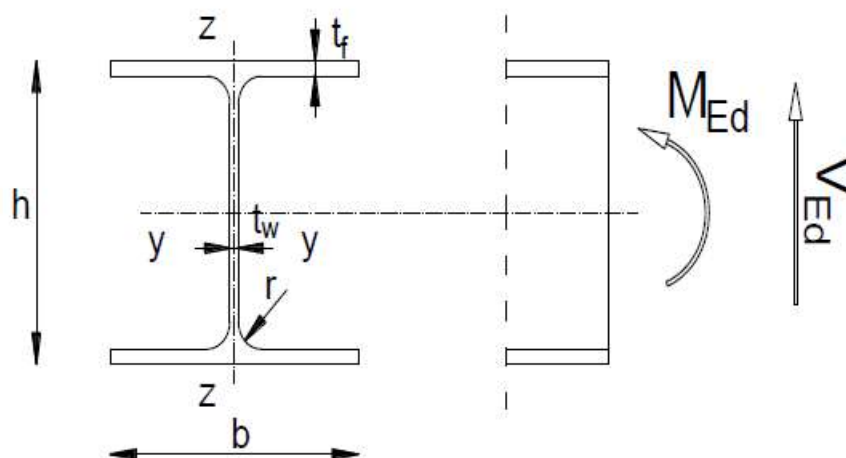
$$N_{Ed} = 283.88 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 290.46 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{283.88}{290.46} \cdot 100 = 98\%$$

**Profil CFRHS80X60X5, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=98\%$ .**

## 5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 5.2.1. DIMENZIONIRANJE ZABATNOG STUPA



Slika 5.6. Poprečni presjek zabatnog stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA 140	Moment tromosti:	$I_y = 1030 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani		$I_z = 389 \text{ cm}^4$
Visina presjeka:	$h = 133 \text{ mm}$	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 173.3 \text{ cm}^3$
Širina presjeka:	$b = 140 \text{ mm}$		$W_{pl,z} = 85 \text{ cm}^3$
Debljina pojasnice:	$t_f = 9 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 15064 \text{ cm}^6$
Debljina hrpta:	$t_w = 6 \text{ mm}$		
Radius:	$r = 12 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 8.13 \text{ cm}^4$
Površina:	$A = 31.4 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
$M_{y,Ed} =$	16.24 kNm		$\epsilon = 1.0$
$V_{z,Ed} =$	7.83 kN		$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
			$\nu = 0.3$

Tablica 5.6. Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 133 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 91 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{91}{6} = 15.2$$

$$\frac{d}{t_w} = 15.2 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{140 - 6 - 2 \cdot 12}{2} = 55$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{55}{9} = 6.11 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog momentnog savijanja**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173.3 \cdot 23.5}{1.0} = 4072.55 \text{ kNcm} = 40.73 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 16.24 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 40.73 \text{ kNm}$$

### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{133 - 2 \cdot 12}{5} = 21.8$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 21.8 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60$$

->Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

$$A_{v,z} = 31.4 - 2 \cdot 14 \cdot 0.9 + (0.6 + 2 \cdot 1.2) \cdot 0.9 = 8.9$$

$$A_{v,z} = 8.9 \text{ cm}^2 > 1.2 \cdot 10.9 \cdot 0.6 = 7.85 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8.9 \cdot (23.5 / \sqrt{3})}{1.0} = 120.75 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7.83 \text{ kN} < V_{pl,z,Rd} = 120.75 \text{ kN}$$

### **INTERAKCIJA M-V**

Presjek u  $x=8.29/4=2.07$  m:

$$M_{Ed} = 13.64 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 4.70 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Rd} = 0.5 \cdot 120.75 = 60.34 \text{ kN} > V_{Ed} = 4.70 \text{ kN}$$

->Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

### **OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA**

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

$$k = 1.0$$

$$k_w = 1.0$$

$$C_1 = 1.127; C_2 = 0.454$$

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

$$L_{cr} = 829 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0.95 < 2 \longrightarrow \text{krivulja izvijanja : a}$$

$$\alpha_{LT} = 0.21$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{13.3}{2} = 6.65 \text{ cm}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{cr} = 1.127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389}{(1.829)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{15064}{389} + \frac{(1.829)^2 \cdot 8077 \cdot 8.13}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389} + (0.454 \cdot 6.65)^2} - 0.454 \cdot 6.65 \right]$$

$$M_{cr} = 2859.83 \text{ kNm} = 28.60 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{173.3 \cdot 23.5}{2859.83}} = 1.19 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + 0.21 \cdot (1.19 - 0.2) + 1.19^2 \right] = 1.31$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.31 + \sqrt{1.31^2 - 1.19^2}} = 0.54 \leq 1.0$$

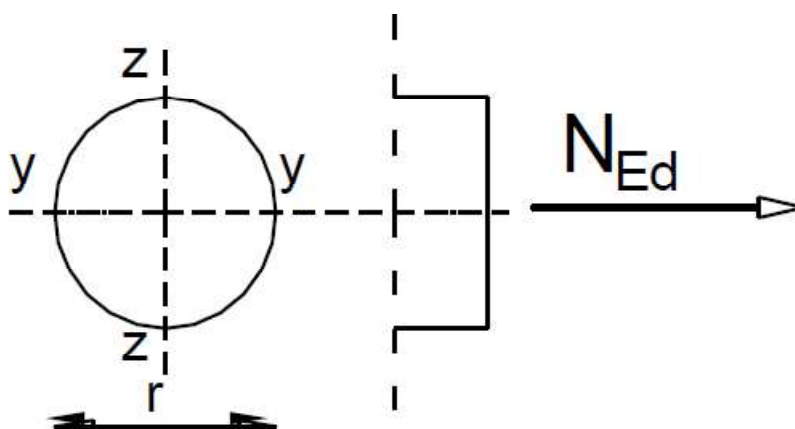
$$M_{b,Rd} = \frac{0.54 \cdot 173.3 \cdot 23.5}{1} = 21.99 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 21.99 \text{ kNm} > M_{Ed} = 16.24 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{16.24}{21.99} \cdot 100\% = 73.85\%$$

**Profil HEA140, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=73\%$ .**

### 5.2.2. DIMENZIONIRANJE HORIZONTALNOG SPREGA



Slika 5.7. Poprečni presjek horizontalnog sprega

Karakteristike presjeka			
Profil:	RD14	Površina:	A= 1.54 cm <sup>2</sup>
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	f <sub>y</sub> =235 N/mm <sup>2</sup>
N <sub>Ed</sub> =	15.70 kN		ε=1.0 E=210 000 N/mm <sup>2</sup> ν=0.3

Tablica 5.7. Karakteristike poprečnog presjeka horizontalnog sprega

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

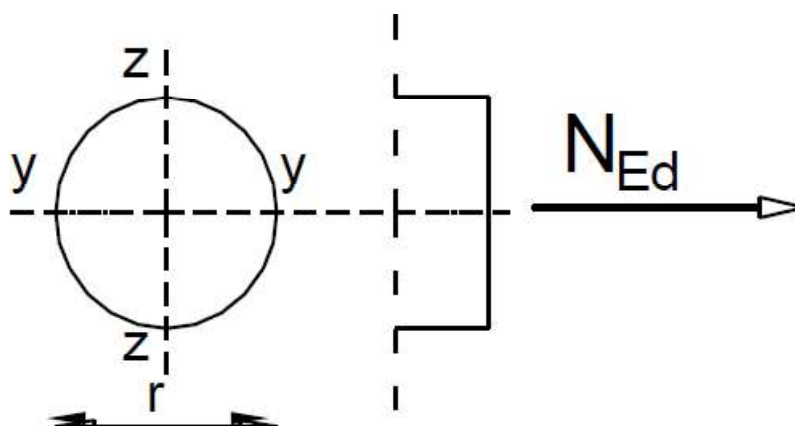
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.54 \cdot 23.5}{1.0} = 36.19 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 15.70 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 36.19 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{15.70}{36.19} \cdot 100 = 44\%$$

**Profil RD14, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti η=44%.**

### 5.2.3. DIMENZIONIRANJE VERTIKALNOG SPREGA



Slika 5.8. Poprečni presjek vertikalnog sprega

Karakteristike presjeka			
Profil:	RD14	Površina:	A= 1.54 cm <sup>2</sup>
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	f <sub>y</sub> =235 N/mm <sup>2</sup>
N <sub>Ed</sub> =	19.00 kN		ε=1.0 E=210 000 N/mm <sup>2</sup> ν=0.3

Tablica 5.8. Karakteristike poprečnog presjeka vertikalnog sprega

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

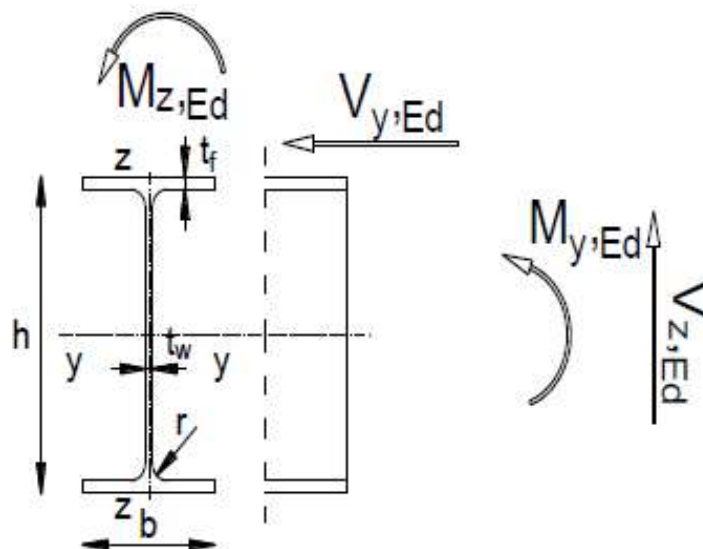
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.54 \cdot 23.5}{1.0} = 36.19 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 19.00 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 36.19 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{19.0}{36.19} \cdot 100 = 53\%$$

**Profil RD14, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti η=53%.**

### 5.2.4. DIMENZIONIRANJE KROVNIH PODROŽNICA



Slika 5.9. Poprečni presjek krovne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE 200	Moment tromosti:	$I_y = 1943 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani		$I_z = 142 \text{ cm}^4$
Visina presjeka:	$h = 200 \text{ mm}$	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 221 \text{ cm}^3$
Širina presjeka:	$b = 100 \text{ mm}$		$W_{pl,z} = 44.6 \text{ cm}^3$
Debljina pojasnice:	$t_f = 9 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 13\,000 \text{ cm}^6$
Debljina hrpta:	$t_w = 6 \text{ mm}$		
Radius:	$r = 12 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 6.98 \text{ cm}^4$
Površina:	$A = 28.50 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
$M_{y,Ed} =$	16.72 kNm		$\epsilon = 1.0$
$V_{z,Ed} =$	12.38 kN		$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
$M_{z,Ed} =$	1.01 kNm		$\nu = 0.3$
$V_{y,Ed} =$	0.75 kNm		

Tablica 5.9. Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice



### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 200 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12\sqrt{2} = 148.06 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{148.06}{6} = 24.68$$

$$\frac{d}{t_w} = 24.68 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{90 - 6 - 2 \cdot 12\sqrt{2}}{2} = 25.02$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{25.02}{9} = 2.78 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog momentu savijanja**

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 23.5}{1.0} = 5193.5 \text{ kNcm} = 51.94 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 16.72 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 51.94 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \cdot 23.5}{1.0} = 1048.1 \text{ kNcm} = 10.48 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1.01 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 10.48 \text{ kNm}$$

**Posmična otpornost poprečnog presjeka**U smjeru osi z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30.3$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 30.3 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60$$

->Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

$$A_{v,z} = 28.5 - 2 \cdot 10 \cdot 0.9 + (0.6 + 2 \cdot 1.2) \cdot 0.9 = 13.2$$

$$A_{v,z} = 13.20 \text{ cm}^2 > 1.2 \cdot 18.2 \cdot 0.6 = 13.10 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{13.2 \cdot (23.5 / \sqrt{3})}{1.0} = 179.10 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11.45 \text{ kN} < V_{pl,z,Rd} = 179.10 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y

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

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

$$A_{v,y} = 28.5 - \sum 18.2 \cdot 0.6 = 17.58 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17.58 \cdot (23.5 / \sqrt{3})}{1.0} = 238.52 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1.08 \text{ kN} < V_{pl,y,Rd} = 238.52 \text{ kN}$$

### INTERAKCIJA M-V

Presjek u  $x=5.4/4=1.35$  m:

Savijanje u smjeru osi y-y

$$M_{y,Ed} = 10.70 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 7.43 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{z,Rd} = 0.5 \cdot 179.10 = 89.55 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 7.43 \text{ kN}$$

->Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

Savijanje u smjeru osi z-z

$$M_{z,Ed} = 0.85 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0.45 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{y,Rd} = 0.5 \cdot 238.52 = 119.26 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0.45 \text{ kN}$$

->Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

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

$\alpha = 2$  —> za I i H profile

$\beta = 1$

$$\left( \frac{16.72}{51.94} \right)^2 + \left( \frac{1.01}{10.48} \right)^1 = 0.20 \leq 1$$

Profil IPE200 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

## OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA

### Otpornost elementa na bočno izvijanje

Izvijanje oko osi y-y

$$k = 1.0$$

$$k_w = 1.0$$

$$C_1 = 1.127; C_2 = 0.454$$

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.97 < 2 \longrightarrow \text{krivulja izvijanja : a}$$

$$\alpha_{LT} = 0.21$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{18}{2} = 9.0 \text{ cm}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{cr} = 1.127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{(1 \cdot 540)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{13000}{142} + \frac{(1 \cdot 540)^2 \cdot 8077 \cdot 6.98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142} + (0.454 \cdot 10.0)^2} - 0.454 \cdot 10.0 \right]$$

$$M_{cr} = 2429.51 \text{ kNcm} = 24.30 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 \cdot 23.5}{2429.51}} = 1.46 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + 0.21 \cdot (1.46 - 0.2) + 1.46^2 \right] = 1.70$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.70 + \sqrt{1.70^2 - 1.46^2}} = 0.39 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.39 \cdot 221.0 \cdot 23.5}{1} = 20.02 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 20.25 \text{ kNm} > M_{Ed} = 16.72 \text{ kNm}$$

### INTERAKCIJA $M_y$ - $M_z$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

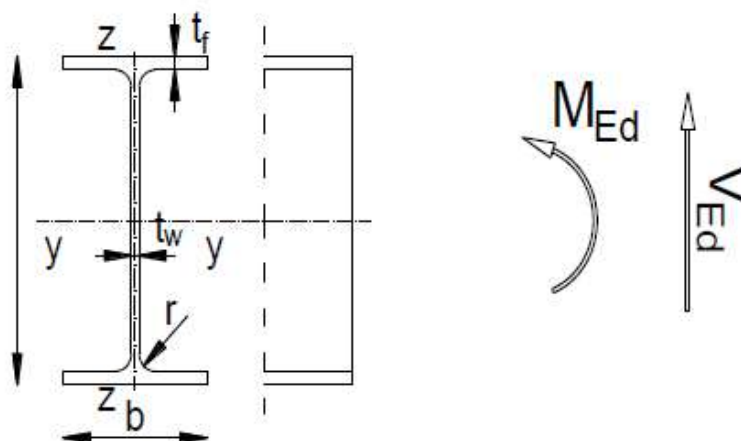
$$k_{zy} = 1$$

$$0 + 0,95 * \frac{16,72}{0,42 * 51,94} + 0,57 * \frac{1,01}{10,48} = 0,78 \leq 1,0$$

$$0 + 1 * \frac{16,72}{0,42 * 51,94} + 0,95 * \frac{1,01}{10,48} = 0,86 \leq 1,0$$

**Profil IPE200, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=86\%$ .**

### 5.2.5. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 5.10. Poprečni presjek bočne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE 120	Moment tromosti:	$I_y = 318 \text{ cm}^4$ $I_z = 27.7 \text{ cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{pl,y} = 60.7 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 13.6 \text{ cm}^3$
Visina presjeka:	$h = 120 \text{ mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w = 890 \text{ cm}^6$
Širina presjeka:	$b = 64 \text{ mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t = 1.74 \text{ cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f = 6 \text{ mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w = 4 \text{ mm}$		
Radijus:	$r = 7 \text{ mm}$		
Površina:	$A = 13.2 \text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (reznice sile)		Materijal S235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon = 1.0$ $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$
$M_{y,Ed} =$	3.46 kNm		
$V_{z,Ed} =$	2.56 kN		

Tablica 5.10. Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 120 - 2 \cdot 6 - 2 \cdot 7\sqrt{2} = 88.2 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{88.2}{4} = 22.05$$

$$\frac{d}{t_w} = 22.05 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72$$

-> HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1

Pojasnice:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{62 - 4 - 2 \cdot 7\sqrt{2}}{2} = 19.10$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{19.10}{6} = 3.18 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

->POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

#### **Otpornost poprečnog presjeka izloženog momentu savijanja**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{60.7 \cdot 23.5}{1.0} = 1426.45 \text{ kNcm} = 14.27 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 3.46 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 14.27 \text{ kNm}$$



### **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{120 - 2 \cdot 6}{4} = 27.0$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 27.0 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60$$

->Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

$$A_{v,z} = 13.2 - 2 \cdot 6.4 \cdot 0.6 + (0.4 + 2 \cdot 0.7) \cdot 0.6 = 6.60$$

$$A_{v,z} = 6.60 \text{ cm}^2 \geq 1.2 \cdot 10.8 \cdot 0.4 = 5.18 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{6.60 \cdot (23.5 / \sqrt{3})}{1.0} = 89.55 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 2.56 \text{ kN} < V_{pl,z,Rd} = 89.55 \text{ kN}$$

### **INTERAKCIJA M-V**

Presjek u  $x=5.4/4=1.35 \text{ m}$ :

$$M_{Ed} = 2.22 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 1.54 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Rd} = 0.5 \cdot 89.55 = 44.78 \text{ kN} > V_{Ed} = 1.54 \text{ kN}$$

->Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

### **OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA**

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

$$k = 1.0$$

$$k_w = 1.0$$

$$C_1 = 1.127; C_2 = 0.454$$

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{120}{64} = 1.87 < 2 \longrightarrow \text{krivulja izvijanja : a}$$

$$\alpha_{LT} = 0.21$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{12}{2} = 6.0 \text{ cm}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{cr} = 1.127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 27.7}{(1.540)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{890}{27.7} + \frac{(1.540)^2 \cdot 8077 \cdot 1.74}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 27.7} + (0.454 \cdot 6.0)^2} - 0.454 \cdot 6.0 \right]$$

$$M_{cr} = 548.59 \text{ kNcm} = 54.86 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{60.7 \cdot 23.5}{548.59}} = 1.61 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + 0.21 \cdot (1.61 - 0.2) + 1.61^2 \right] = 1.94$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.94 + \sqrt{1.94^2 - 1.61^2}} = 0.33 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.33 \cdot 60.70 \cdot 23.5}{1} = 4.71 \text{ kNm}$$

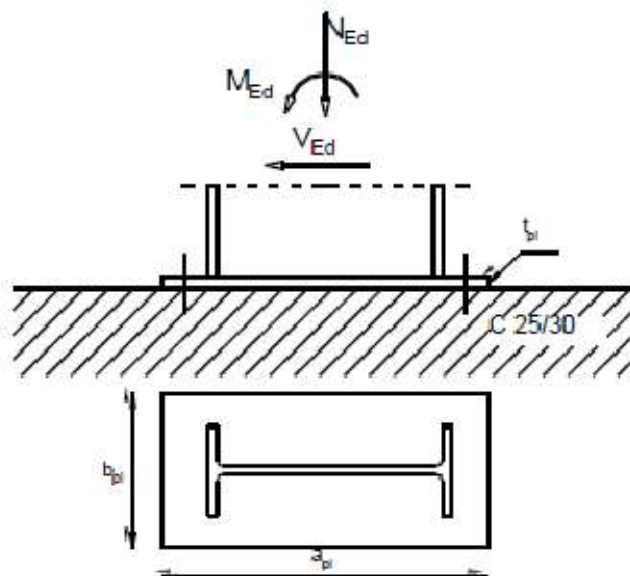
$$M_{b,Rd} = 4.71 \text{ kNm} > M_{Ed} = 3.46 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{3.46}{4.71} \cdot 100\% = 74\%$$

**Profil IPE120, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti  $\eta=74\%$ .**

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 6.1. Spoj stup-temelj

Poprečni presjek: HEA260

Osnovni materijal: S235

$h = 250 \text{ mm}$

Vijci k.v. 5.6.

$b = 260 \text{ mm}$

$t_f = 13 \text{ mm}$

Veličina djelovanja:

$M_{Ed} = 49.88 \text{ kNm}$

$t_w = 8 \text{ mm}$

$V_{Ed} = 15.06 \text{ kN}$

$A = 86.8 \text{ mm}^2$

$N_{Ed} = -80.85 \text{ kN}$

#### RASPODJELA SILA PO PRESJEKU NOSAČA

##### Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_P^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{49.88}{(0.25 - 0.013)} = 210.46 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_P^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{26 \cdot 1.3}{86.8} \cdot 80.85 = -31.48 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 210.46 - 31.48 = 178.98 \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} = 178.98 \text{ kN}$$

**KONTROLA VARA NA POJASNICAMA I HRPTU**

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 260 = 520 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (250 - 2 \cdot 13) = 448 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 8 = 5.6 \text{ mm}$$

- Za pretpostavljeni  $a=5 \text{ mm}$   $\rightarrow F_{w,Rk} = 129.9 \text{ kN}$ ;  $\beta_w = 0.8$

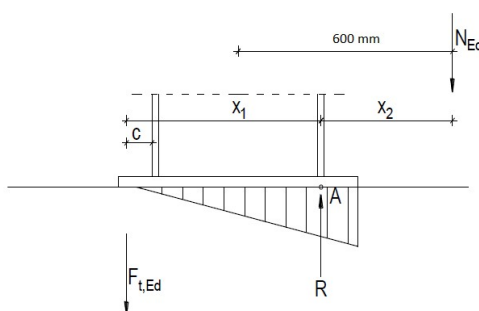
$$\text{Uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129.9}{1.25} \cdot \frac{520}{100} = 540.38 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 178.98 \text{ kN}$$

$$\text{Poprečna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129.9}{1.25} \cdot \frac{448}{100} = 465.56 \text{ kN} > V_{Ed} = 15.06 \text{ kN}$$

**PRORAČUN VIJAKA**

Uz pretpostavku vijaka M20, udaljenost vijaka od ruba pojasnice  $c_{\min}$  iznosi:

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 5\sqrt{2} = 47.05 \text{ mm}$$



- Usvojeno:  $c=50 \text{ mm}$

-Ekscentricitet uzdužne sile:  $e = M_{Ed} / N_{Ed} = 49.88 / 80.85 = 0.60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$

-Ekscentricitet  $x_1$ :  $x_1 = 50 + 250 - 6.5 = 293.5 \text{ mm} = 0.294 \text{ m}$

-Ekscentricitet  $x_2$ :  $x_2 = 600 - \frac{250}{2} + 6.5 = 481.5 \text{ mm} = 0.482 \text{ m}$

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Ed} \cdot x_1 \longrightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 49.88 \cdot \frac{0.482}{0.294} = 81.78 \text{ kN}$$

### OTPORNOST VIJAKA NA VLAK

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{110.3}{1.25} = 88.24 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{81.78}{2} = 40.89 \text{ kN}$$

### OTPORNOST VIJAKA NA POSMIK

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{73.5}{1.25} = 58.8 \text{ kN} \geq \frac{F_{v,Ed}}{4} = \frac{V_{Ed}}{4} = 3.77 \text{ kN}$$

### INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$
$$\frac{3.77}{58.8} + \frac{40.89}{1.4 \cdot 88.24} = 0.41 \leq 1.0$$

### PRORAČUN PLOČE

#### Proračun dimenzija ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2(c + e_1) = 250 + 2(50 + 50) = 450 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 260 + 2 \cdot 5\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 294.14 \text{ mm}$$

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

-> ODABRANE DIMENZIJE PLOČE: 450x300 mm

### PRORAČUN DEBLJINE PLOČE

#### Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 3.77 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{136.4}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = 3.77$$

$$t_{pl}^{\min} = 0.4 \text{ mm}$$

#### Savijanje ploče od odgovora betonske podloge:

$$s = (450 - 250 + 13) / 2 = 106.5 \text{ mm} = 10.65 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 81.78 + 80.85 = 162.63$$

Naprezanje u betonu:

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{3 \cdot s \cdot b_{pl}} = \frac{162.63}{3 \cdot 10.65 \cdot 30} = 0.34 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.67 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče:

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{1}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot 3400 \cdot 0.107 \cdot 0.3 \cdot \frac{0.107}{2} + \frac{1}{3} \cdot 3400 \cdot 0.107 \cdot 0.3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.107$$

$$M_{Ed} = 5.2 \text{ kNm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

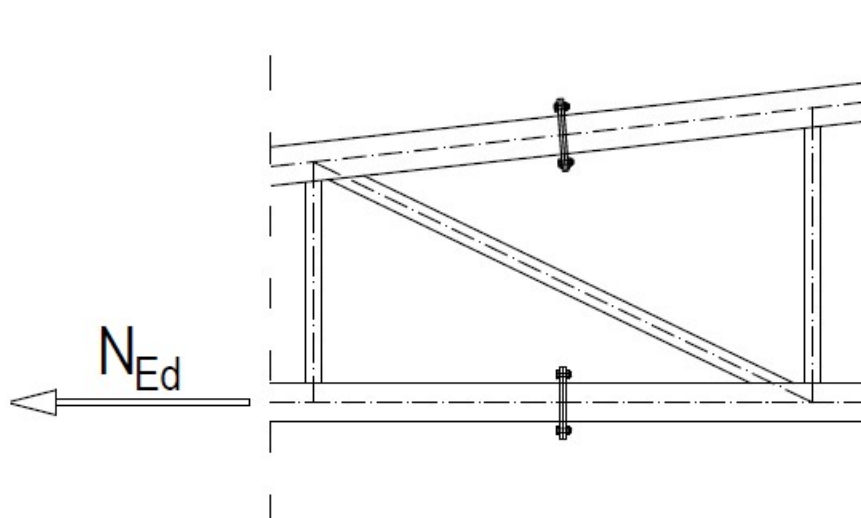
$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left( c + \frac{t_f}{2} \right) = 81.78 \cdot 0.0565 = 4.62 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl,min}^2}{6}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 462 \cdot 6}{30 \cdot 23.5}} = 1.997 \text{ cm}$$

-> **USVOJENE DIMENZIJE PLOČE: 450x300x20 mm (4 vijka M20, k.v 5.6)**

## 6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 6.2. Vlačni nastavak rešetke

Poprečni presjek:  
CFRHS 140x140x8.8

Osnovni materijal: S235  
Vijci k.v. 5.6.

$h = 140 \text{ mm}$   
 $b = 140 \text{ mm}$   
 $t = 8.8 \text{ mm}$   
 $A = 43.52 \text{ mm}^2$

Veličina djelovanja:  
 $N_{Ed} = 264.72 \text{ kN}$

### KONTROLA VARA

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 8.8 = 6.16 \text{ mm}$$

Odabrano:  $a = 6 \text{ mm}$

Otpornost vara:

$$L_w = O = 4 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{155.9}{1.25} \cdot \frac{560}{100} = 698.43 \text{ kN} > N_{Ed} = 264.72 \text{ kN}$$

### **PRORAČUN VIJAKA**

Pretpostavka: vijci M20 k.v. 5.6.

n = 4 vijka

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{110.3}{1.25} = 88.24 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{264.72}{4} = 66.18 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 88.24 \text{ kN}$$

### **PRORAČUN DIMENZIJA PLOČA**

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 6\sqrt{2} = 48.49 \text{ mm}$$

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

$$b_{pl,min} = b + a\sqrt{2} + 20 = 140 + 2 \cdot 6\sqrt{2} + 20 = 176.97$$

-> Odabrane dimenzije: 360x360 mm

### **PRORAČUN MINIMALNE DEBLJINE PLOČE $t_{pl}^{\min}$**

$$e = 57 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 360$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot 98.14 \cdot 0.057 = 11.19 \text{ kNm}$$

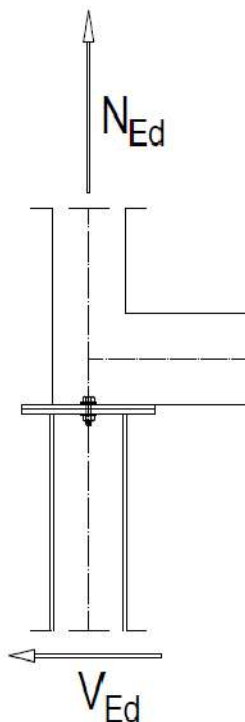
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \longrightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl,min}^2}{6}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 1119 \cdot 6}{36 \cdot 23.5}} = 2.49 \text{ cm}$$

-> **USVOJENE DIMENZIJE PLOČE: 360x360x25 mm (4 vijka M20, k.v. 5.6)**



### 6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



Slika 6.3. Spoj stup-rešetka

Poprečni presjek:

CFRHS 140x140x8.8

$h = 140 \text{ mm}$

$b = 140 \text{ mm}$

$t = 8.8 \text{ mm}$

$A = 43.52 \text{ mm}^2$

HEA260

$h = 250 \text{ mm}$

$b = 260 \text{ mm}$

$t_f = 13 \text{ mm}$

$t_w = 8 \text{ mm}$

$A = 86.8 \text{ mm}^2$

Osnovni materijal: S235

Vijci k.v. 5.6.

Veličina djelovanja:

$V_{Ed} = 5.86 \text{ kN}$

$N_{Ed} = +0 \text{ kN}, -134 \text{ kN}$

**KONTROLA VARA NA POJASNICAMA I HRPTU**

Dužina vara pojasnice:

$$l_2 \approx O = 4 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (250 - 2 \cdot 13) = 448 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 8 = 5.6 \text{ mm}$$

- Za pretpostavljeni  $a=5 \text{ mm}$  ->  $F_{w,Rk} = 129.9 \text{ kN}$ ;  $\beta_w = 0.8$

$$\text{Uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129.9}{1.25} \cdot \frac{560}{100} = 581.95 \text{ kN} > N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Poprečna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{129.9}{1.25} \cdot \frac{448}{100} = 465.56 \text{ kN} > V_{Ed} = 5.86 \text{ kN}$$

### **PRORAČUN VIJAKA**

Pretpostavka: vijci M12 k.v. 5.6.

$n = 2$  vijka

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37.9}{2} = 30.32 \text{ kN} \geq \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{0}{2} = 0 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik: (Poprečna sila se raspoređuje na 2 vijka)

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25.3}{1.25} = 20.24 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = 2.93 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{2.93}{20.24} + \frac{0}{1.4 \cdot 30.32} = 0.15 \leq 1.0$$

### **PRORAČUN DIMENZIJA PLOČA**

$$a_{\text{pl,min}} = h + 2(c + e_1) = 250 + 2 \cdot (40 + 30) = 390$$

$$b_{\text{pl,min}} = b + a\sqrt{2} + 20 = 260 + 2 \cdot 5\sqrt{2} = 274.14$$

-> Odabrane dimenzije: 390x340 mm

---

**PRORAČUN MINIMALNE DEBLJINE PLOČE  $t_{pl}^{\min}$**

-> Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = 2.93 = F_{b,Ed} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl,min}}{10}$$

$$t_{pl,min} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t_{pl,min} > \frac{2.93 \cdot 1.25 \cdot 10}{83.1} = 0.44 \text{ mm}$$

-> **USVOJENE DIMENZIJE PLOČE: 390x340x10 mm (2 vijka M12, k.v. 5.6)**

## 7. PRORAČUN TEMELJA

### ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA:

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

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

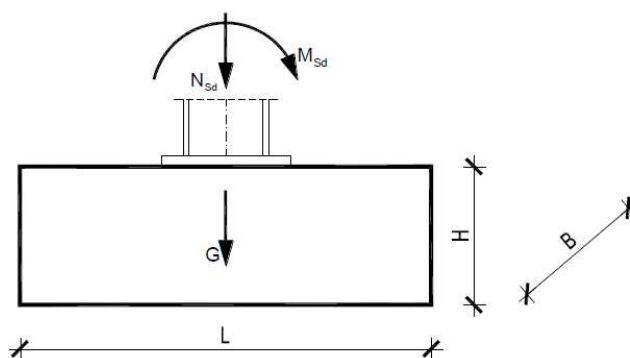
$$H = 1.5 \text{ (m)}$$

### MATERIJALI:

$$\text{Temeljno tlo: } \sigma_{\text{tlo,lim}} = 300 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Beton C 25/30: } f_{\text{ck}} = 2.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Čelik B500B: } f_{\text{yk}} = 50.0 \text{ kN/cm}^2$$



Slika 7.1. Rezne sile koje djeluju na temelj

### REZNE SILE:

$$M_{Ed} = 49.88 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 15.06 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -80.85 \text{ kN}$$

$$\text{Površina temeljne stope: } A = L \cdot B = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}^2$$

$$\text{Težina temeljne stope: } G = L \cdot B \cdot H = 2 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 25 = 150 \text{ kg}$$

Moment otpora temeljne stope:

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2 \cdot 2^2}{6} = 1.3333 \text{ m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{80.85 + 150}{4} \pm \frac{49.88}{1.3333} \rightarrow \sigma_1 = 95.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}; \sigma_2 = 20.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{49.88}{80.85 + 150} = 0.22 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \longrightarrow L' = 3 \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \left( \frac{2}{2} - 0.22 \right) = 2.34 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (80.85 + 150)}{2.34 \cdot 2} = 77.29 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{tlo, dop} = 300 \text{ kN/m}^2$$

PRORAČUN ARMATURE TEMELJA:

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2 - 0.26}{2} = 0.87 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2.34 - 0.87}{2.34} \cdot 77.29 = 48.55 \text{ kN/m}^2$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1.4 \cdot \left( 48.55 \cdot \frac{0.87^2}{2} \cdot 2 + \frac{77.29 - 48.55}{2} \cdot 0.87 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.87 \right) = 71.75 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila:

$$z \approx 0.8 \cdot H = 0.8 \cdot 1.5 = 1.2 \text{ m}$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{71.75}{1.2 \cdot \frac{50}{1.15}} = 1.38 \text{ cm}^2 < A_{s1, min} = \frac{0.1}{100} \cdot B \cdot H = 30 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano:

Glavna armatura -> ø12/15

Razdjelna armature -> ø8/25

## 8. LITERATURA

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

## **9. NACRTI**

### **9.1. GENERALNI PLAN POZICIJA**

## **9.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR**



### **9.3. RADIONIČKI NACRT GLAVNE KONSTRUKCIJE**

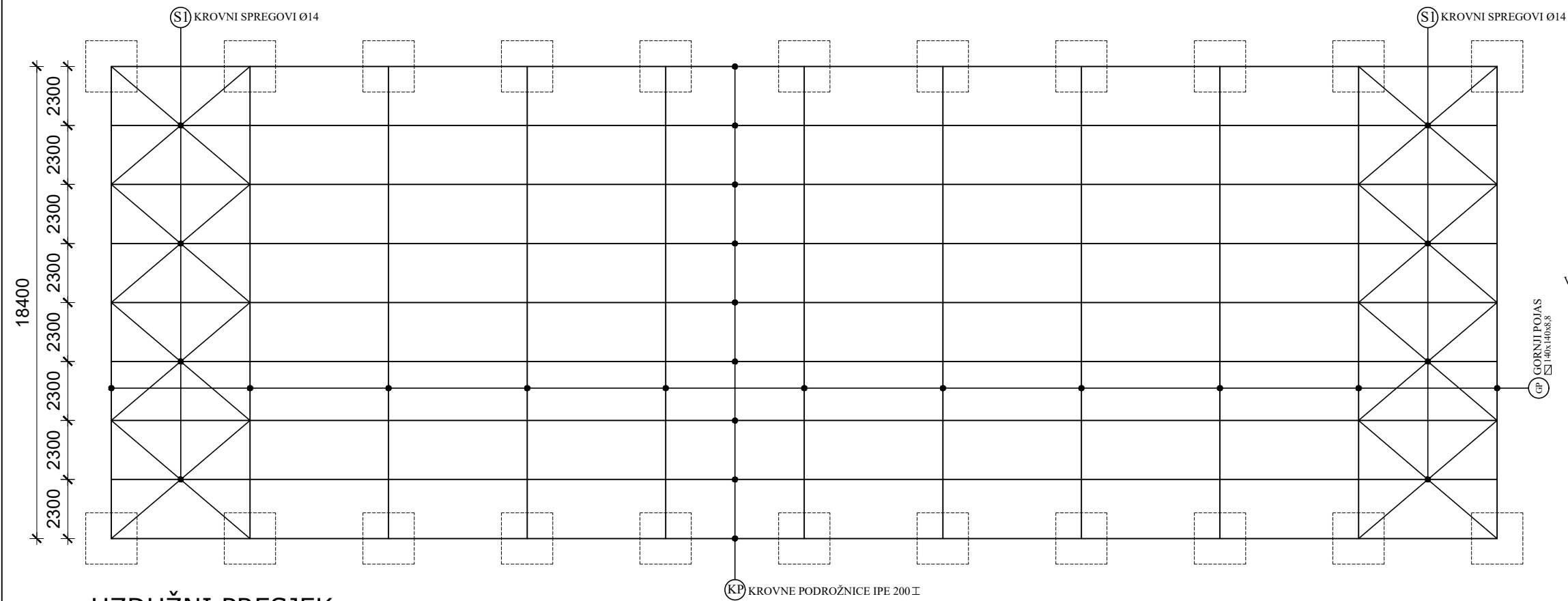
## **9.4. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE**

## **9.5. DETALJI SPOJEVA**

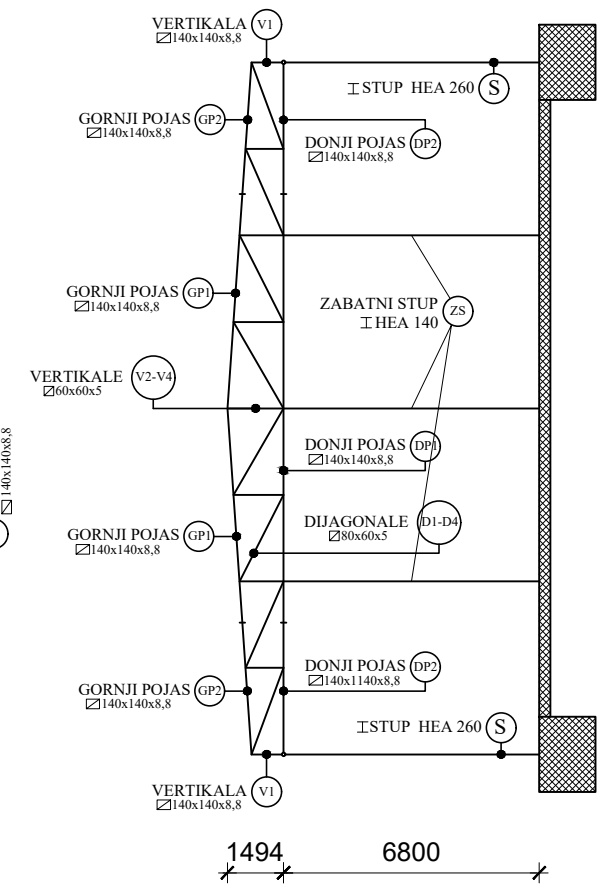
## **9.6. ISKAZ MATERIJALA**

# GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

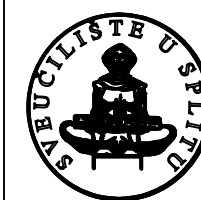
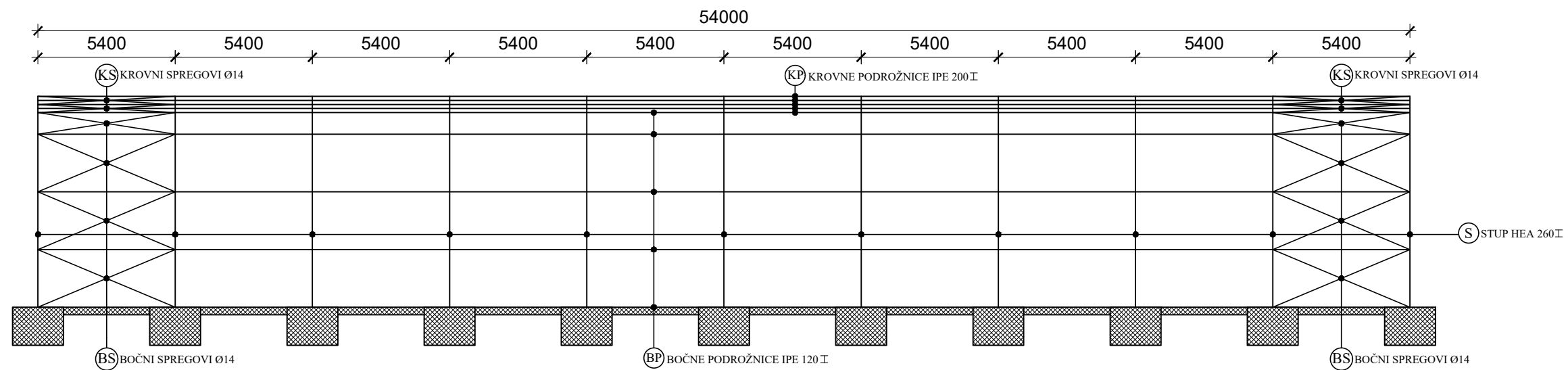
TLOCRT



POPREČNI PRESJEK



UZDUŽNI PRESJEK



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU

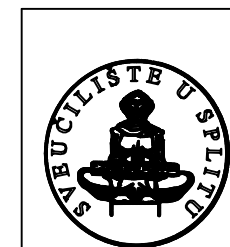
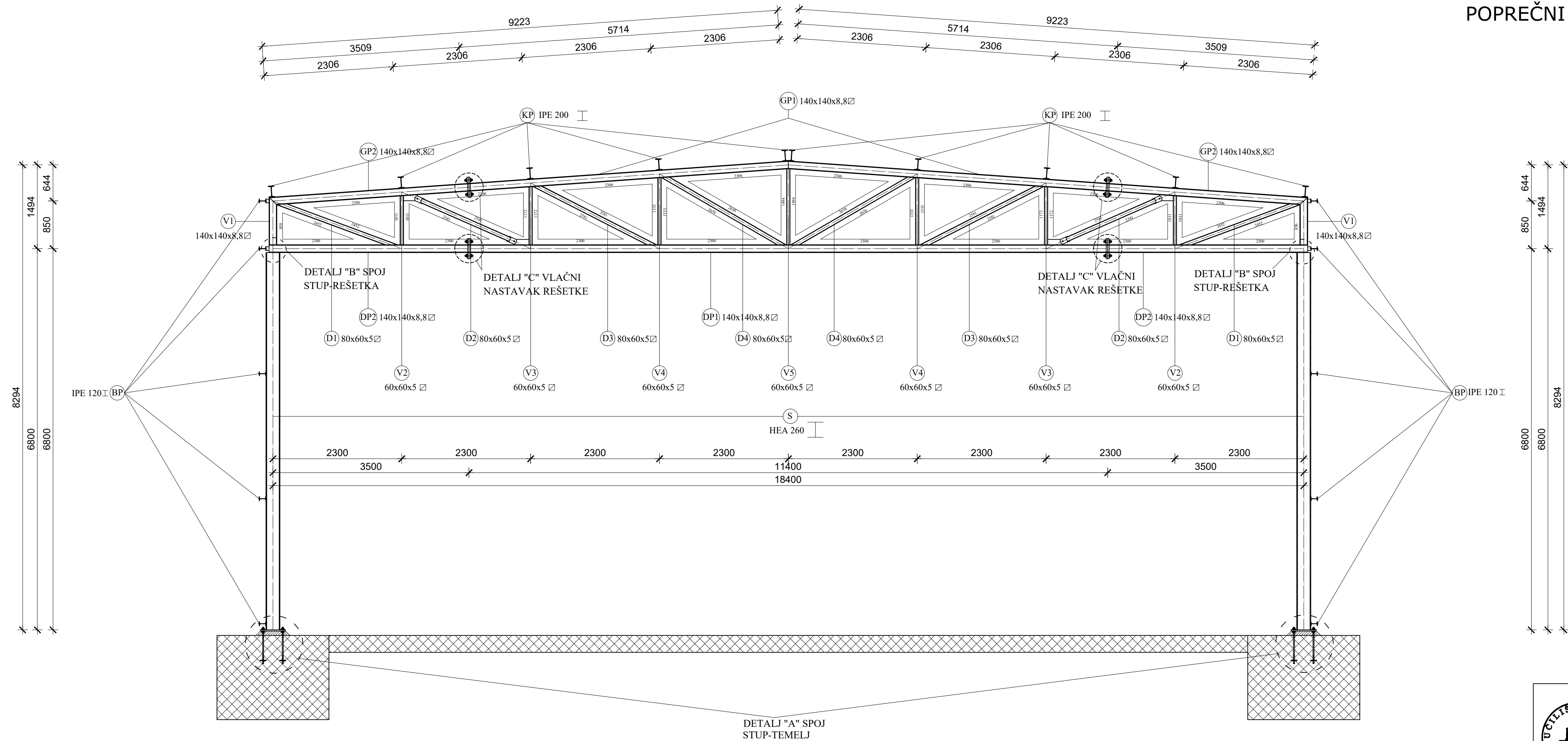
PREDMET	OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA
ZADATAK	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
SADRŽAJ LISTA	GENERALNI PLAN POZICIJA
STUDENT	TONI FRASKA

DATUM:  
04.07.2019.

M 1:200

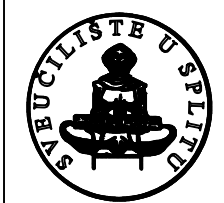
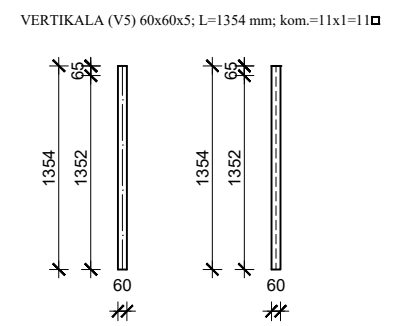
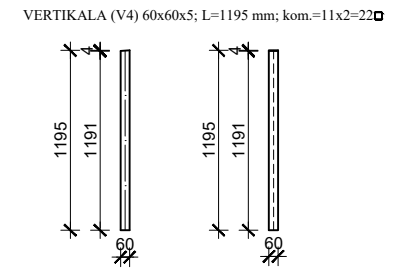
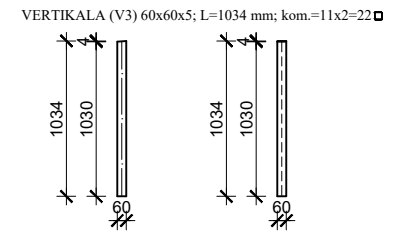
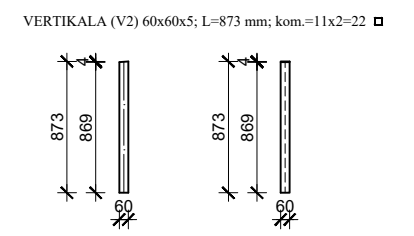
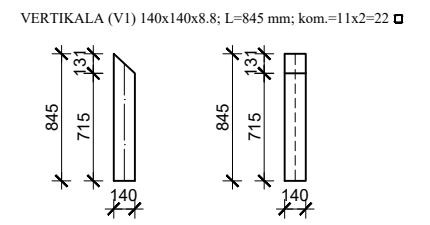
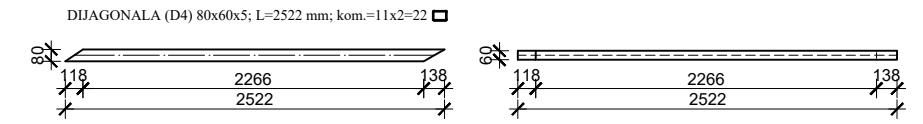
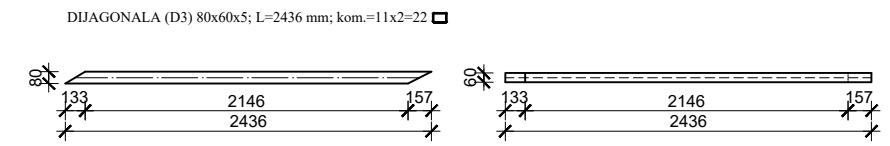
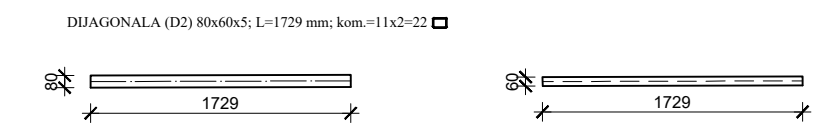
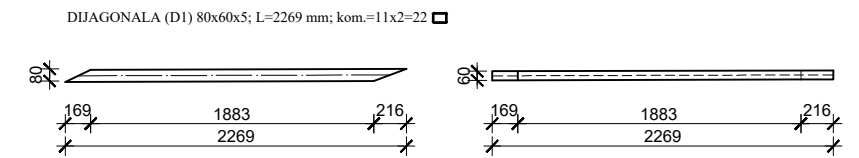
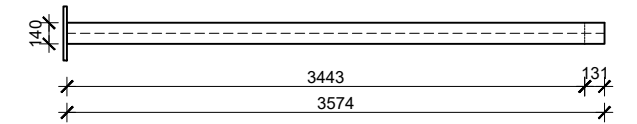
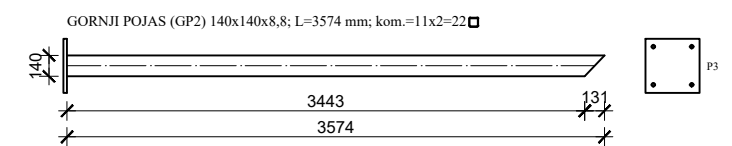
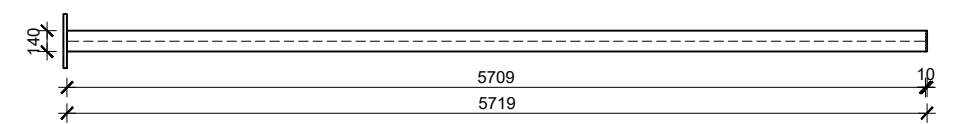
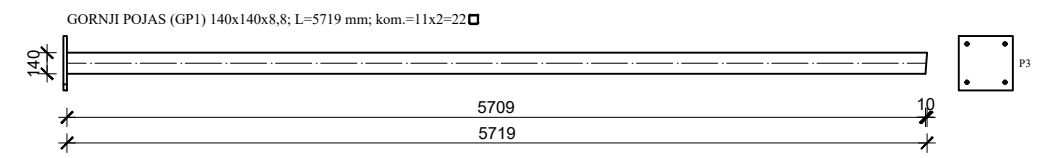
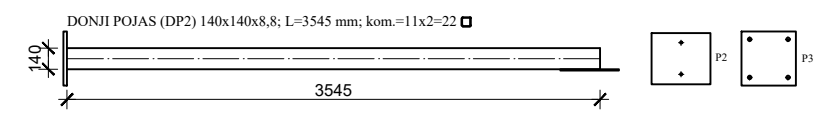
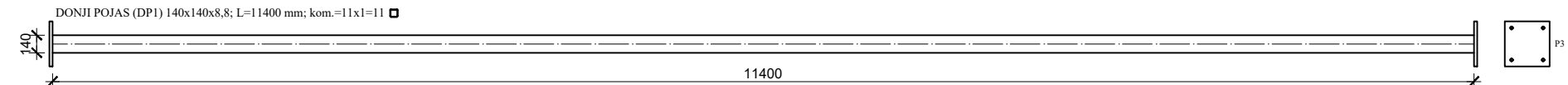
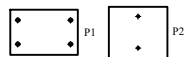
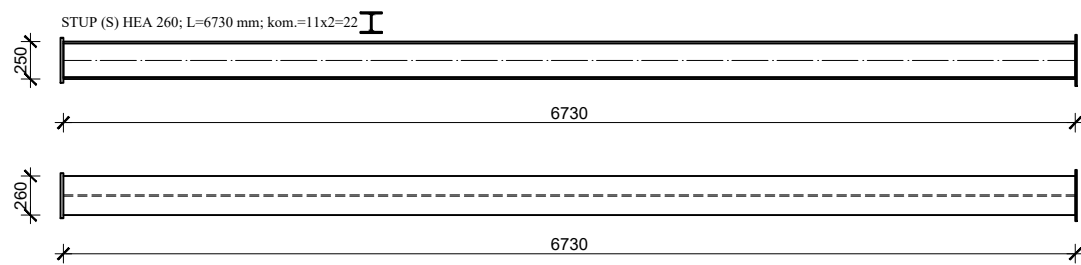
BROJ PRILOGA  
1

POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA  
M 1:50



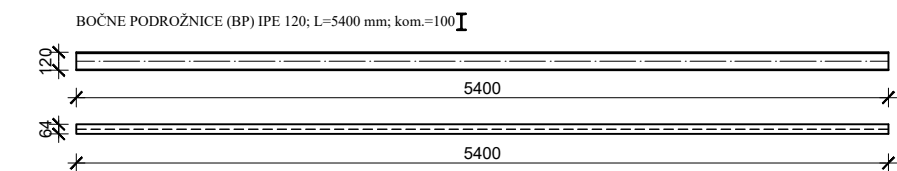
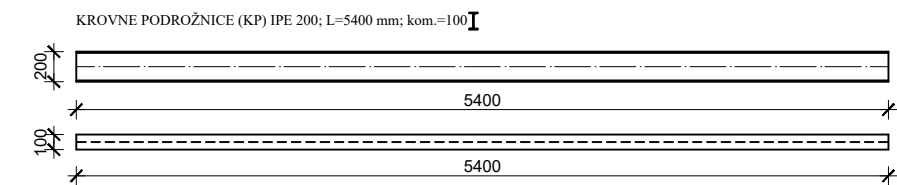
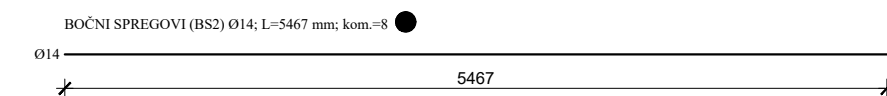
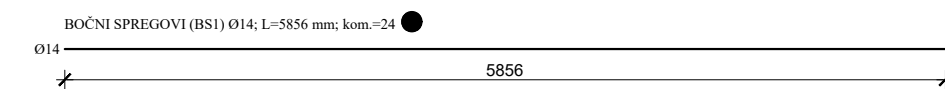
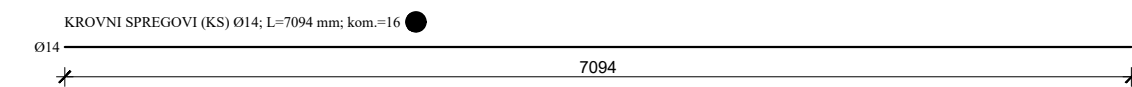
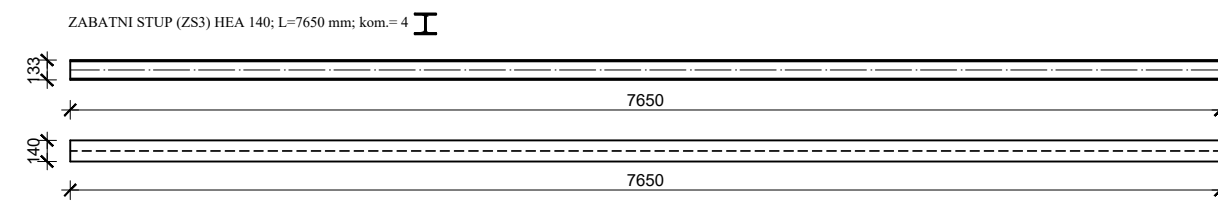
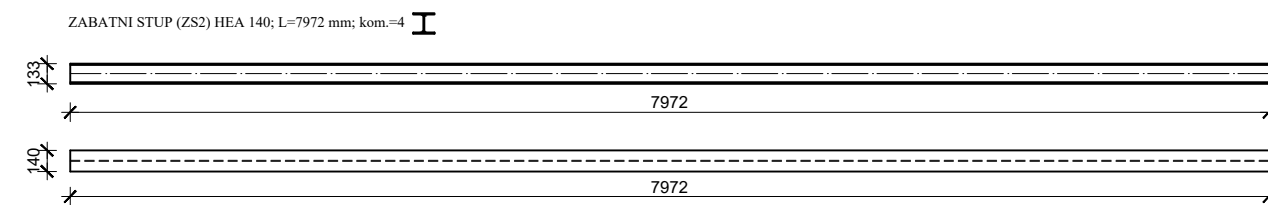
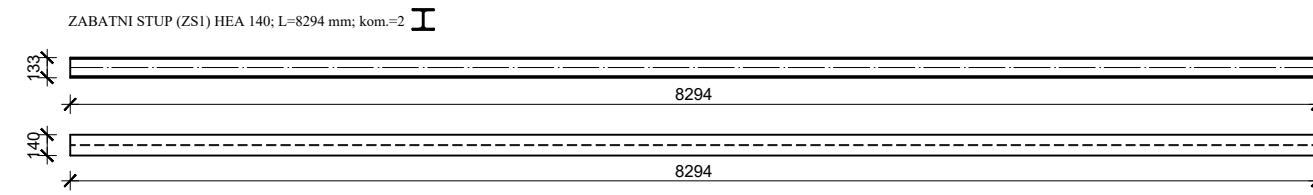
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA	DATUM: 04.07.2019.
ZADATAK	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	M 1:50
SADRŽAJ LISTA	POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA	BROJ PRILOGA 2
STUDENT	TONI FRASKA	

# RADIONIČKI NACRT GLAVNE KONSTRUKCIJE M 1:50



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA	DATUM: 04.07.2019.
ZADATAK	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
SADRŽAJ LISTA	RADIONIČKI NACRT GLAVNE KONSTRUKCIJE	M 1:50
STUDENT	TONI FRASKA	BROJ PRILOGA 3

# RADIONIČKI SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50

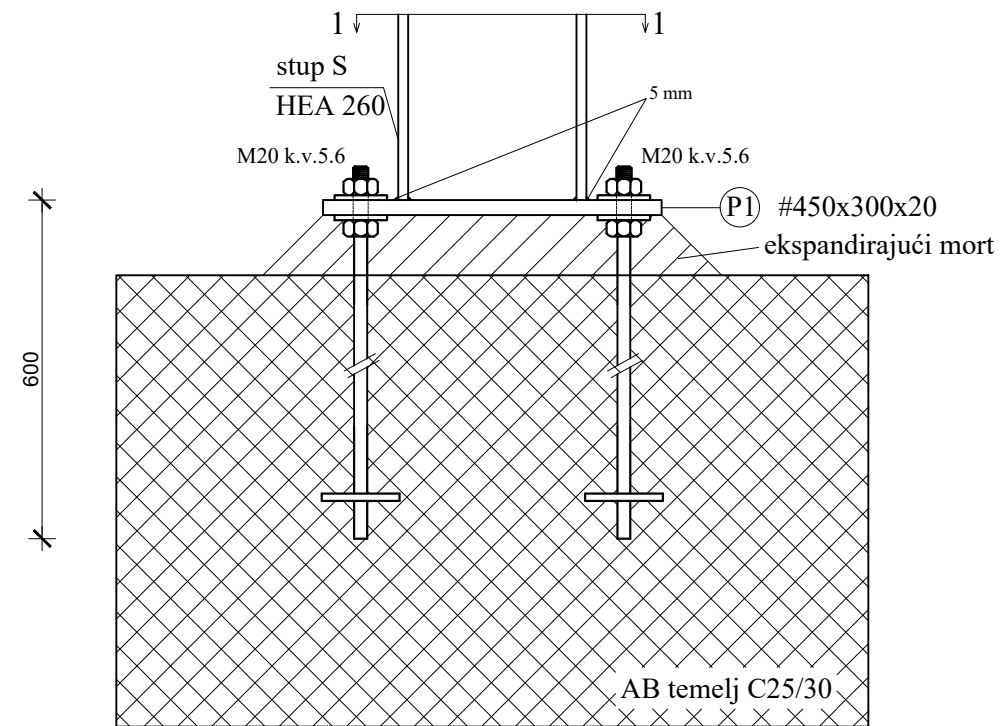


	FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
	PREDMET	OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA	DATUM: 04.07.2019.
	ZADATAK	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	SADRŽAJ LISTA	RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE	M 1:50
STUDENT	TONI FRASKA	BROJ PRILOGA 4	

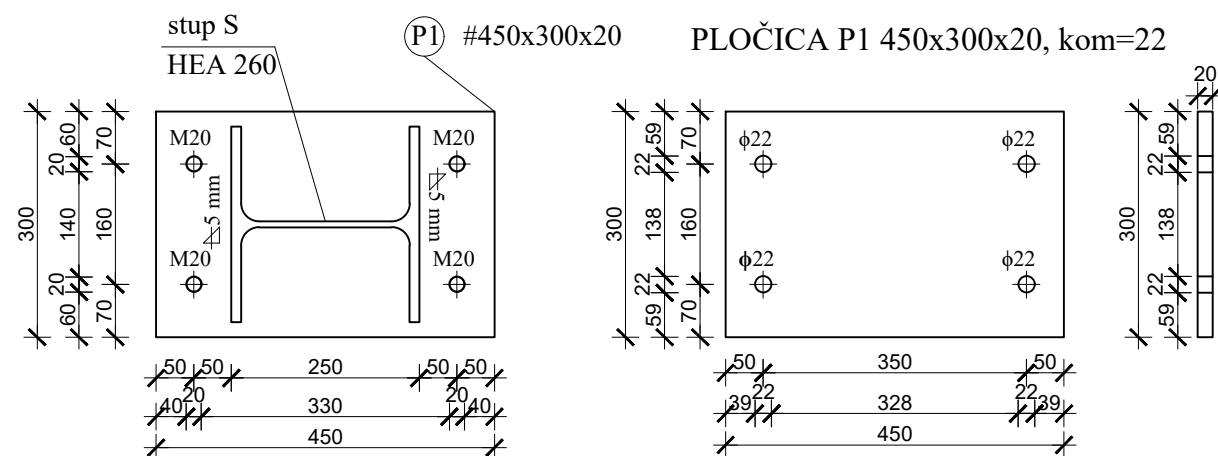


# DETALJI SPOJEVA M 1:10

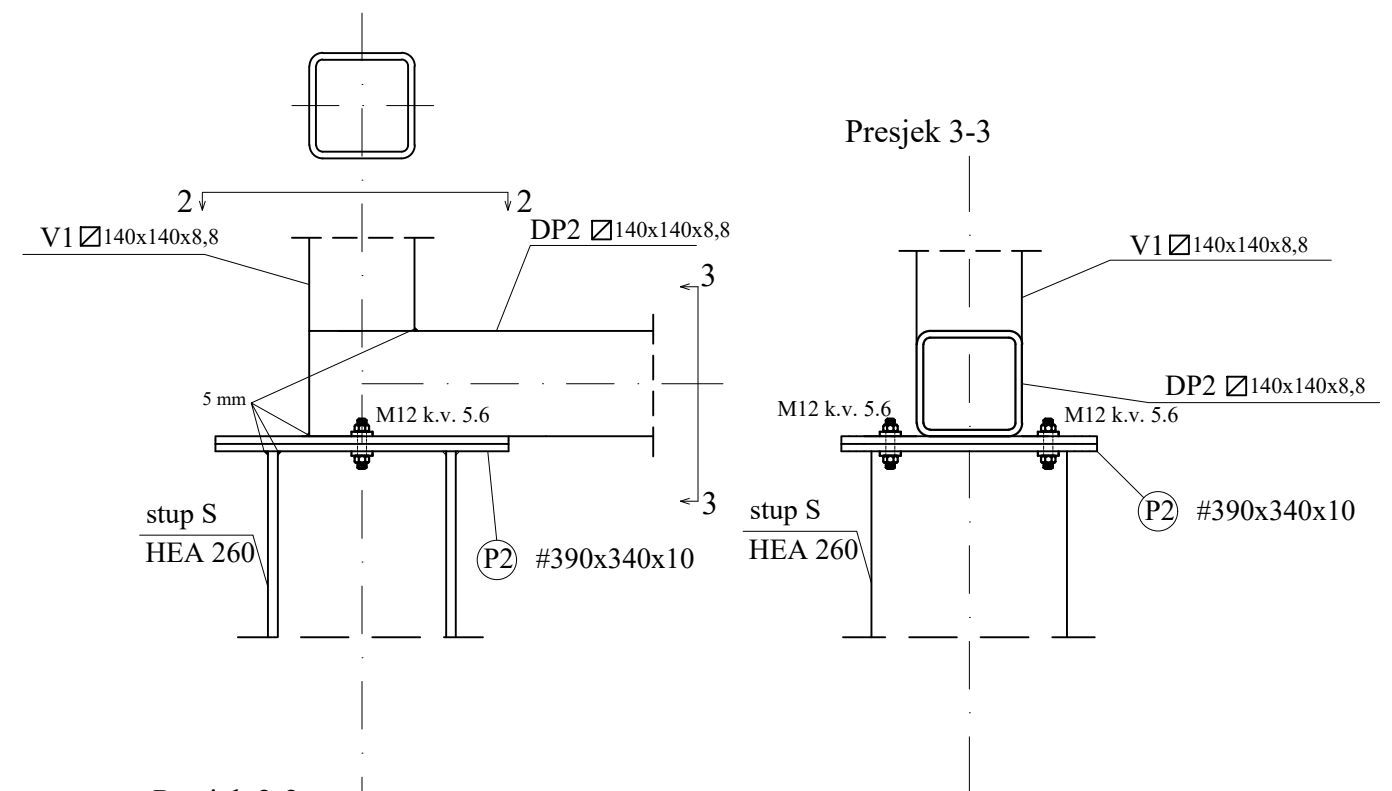
DETALJ "A" SPOJ STUP-TEMELJ M 1:10



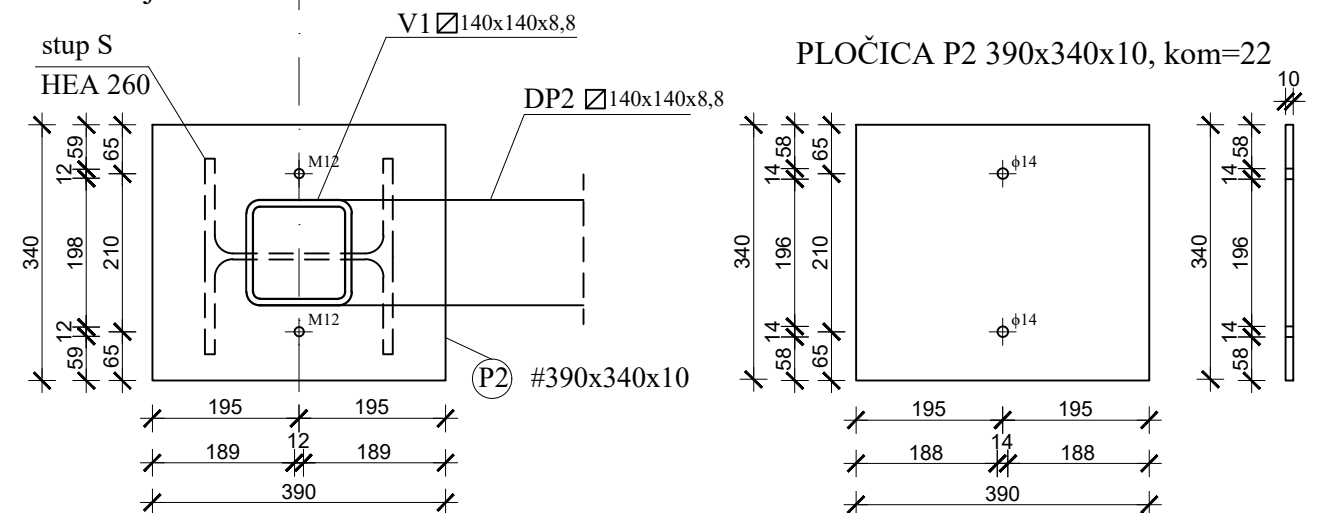
Presjek 1-1




DETALJ "B" SPOJ STUP-REŠETKA M 1:10



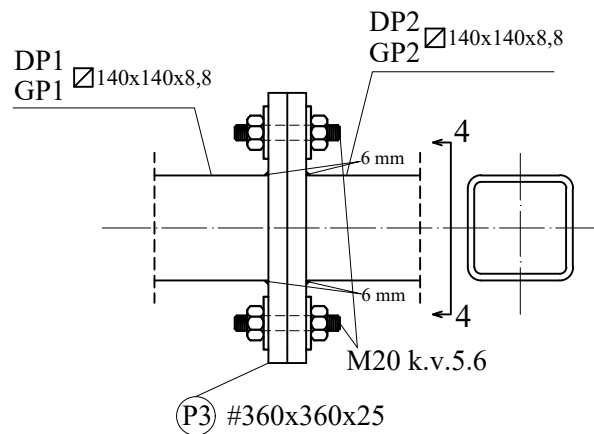
Presjek 2-2



	FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
	PREDMET	OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA	DATUM: 04.07.2019.
	ZADATAK	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	SADRŽAJ LISTA	DETALJI SPOJEVA "A", "B"	M 1:10
	STUDENT	TONI FRASKA	BROJ PRILOGA 5

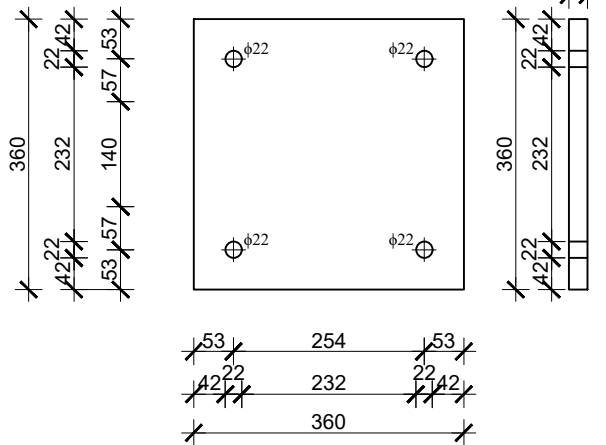
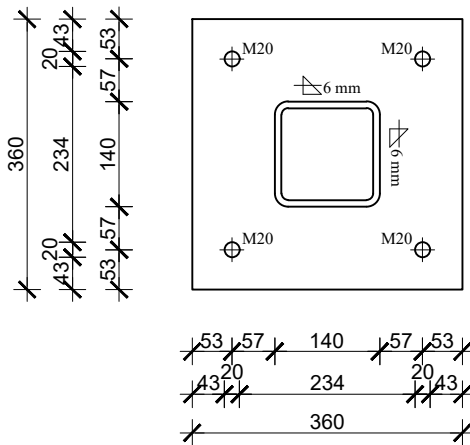
# DETALJ SPOJA M 1:10

## DETALJ "C" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10



Presjek 4-4

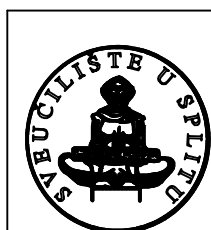
PLOČICA P3 360x360x25, kom=88



	FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
	PREDMET	OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA	
	ZADATAK	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	SADRŽAJ LISTA	DETALJ SPOJA "C"	
	STUDENT	TONI FRASKA	
	DATUM	04.07.2019.	M 1:10

# TABLICA ISKAZA MATERIJALA

TABLICA ISKAZA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup	HEA 260	6730	22	68.2	10097.7
Donji pojas (DP1)	140x140x8.8	11400	11	31.4	3937.6
Donji pojas (DP2)	140x140x8.8	3545	22	31.4	2448.9
Gornji pojas (GP1)	140x140x8.8	5719	22	31.4	3950.7
Gornji pojas (GP2)	140x140x8.8	3574	22	31.4	2468.9
Vertikala (V1)	140x140x8.8	845	22	31.4	583.7
Vertikala (V2)	60x60x5	873	22	8.13	156.2
Vertikala (V3)	60x60x5	1034	22	8.13	184.9
Vertikala (V4)	60x60x5	1195	22	8.13	213.7
Vertikala (V5)	60x60x5	1354	11	8.13	121.1
Dijagonala (D1)	80x60x5	2269	22	9.7	484.2
Dijagonala (D2)	80x60x5	1729	22	9.7	369.0
Dijagonala (D3)	80x60x5	2436	22	9.7	519.8
Dijagonala (D4)	80x60x5	2522	22	9.7	538.2
P1	450x300x20	-	22	7850(kg/m <sup>3</sup> )	466.3
P2	390x340x10	-	22	7850(kg/m <sup>3</sup> )	229.0
P3	360x360x25	-	88	7850(kg/m <sup>3</sup> )	2238.2
Zabatni stup(ZS1)	HEA 140	8294	2	24.7	409.7
Zabatni stup(ZS2)	HEA 140	7972	4	24.7	787.6
Zabatni stup(ZS3)	HEA 140	7650	4	24.7	755.8
K. področnica (KP)	IPE 200	5400	100	22.4	12096
B. področnica (BP)	IPE 120	5400	100	10.4	5616
Krovni spreg (KS)	RD14	7094	16	1.21	137.3
Bočni spreg (BS1)	RD14	5856	24	1.21	170.1
Bočni spreg (BS2)	RD14	5467	8	1.21	52.9
Ukupno (kg)					49033.5
+2,0% spojna sredstva					9806.7
UKUPNO (kg)					58840.2
UKUPNO (kg/m <sup>2</sup> )					59.2



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU

PREDMET OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA

DATUM:  
04.07.2019.

ZADATAK PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

SADRŽAJ LISTA ISKAZ MATERIJALA

BROJ PRILOGA:

STUDENT TONI FRASKA

7