

# Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

---

**Antolović, Marija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*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:123:940631>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

**ZAVRŠNI RAD**

**Marija Antolović**

**Split, 2018.**

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

**Marija Antolović**

Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

**Završni rad**

**Split, 2018.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI STRUČN STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Marija Antolović

BROJ INDEKSA: 1653

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S275

Objekt se nalazi na području Kutine.

Razmak okvira: 5,2 (m)

U Splitu, 18.10.2017.

Voditelj Završenog rada: prof.dr.sc. Ivica

## **Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale**

### ***Sažetak:***

Tema završnog rada je proračun čelične konstrukcije proizvodne hale koja je smještena u Kutini. Potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju- stupove i grede, sekundarnu nosivu konstrukciju- krovne i bočne sekundarne nosače te spregove, spojeve i temelje. Svi proračuni izvode se prema normama Eurocode-a.

### ***Ključne riječi:***

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, greda, stup, dimenzioniranje, spojevi.

### ***Design of a steel multifunctionality hall***

#### **Abstract:**

Subject of this work is design of a steel manufacturing hall placed in Osijek. It is necessary to dimension the main supporting structure – columns and beams, secondary supporting structure – roof and lateral secondary girders, and bracings, joints and foundations. All calculations were done according to Eurocode norms.

### ***Keywords:***

Steel, hall, supporting structure, bracings, beam, column, design, joints.

**SADRŽAJ**

<b>1.</b>	<b>TEHNIČKI OPIS .....</b>	<b>6</b>
1.1.	OPIS KONSTRUKCIJE .....	6
1.1.1.	Općenito .....	6
1.1.2.	Konstruktivni elementi .....	7
1.1.3.	Spojevi .....	8
1.2.	O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE .....	8
1.3.	MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE .....	9
1.4.	PRIMIJEJENI PROPISI .....	9
1.5.	ANTI-KOROZIJSKA ZAŠTITA .....	10
1.6.	ZAŠTITA OD POŽARA .....	10
<b>2.</b>	<b>ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>	<b>11</b>
2.1.	GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR) .....	11
2.1.1.	Dodatno stalno opterećenje .....	11
2.1.2.	Promjenjivo opterećenje .....	12
2.2.	SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA .....	24
2.2.1.	Stalno opterećenje .....	25
2.2.2.	Pokretno opterećenje .....	26
<b>3.</b>	<b>KONTROLA PROGIBA (GSU) .....</b>	<b>29</b>
3.1.	GREDA .....	29
3.2.	STUP .....	29
<b>4.</b>	<b>DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN) .....</b>	<b>30</b>
4.1.	GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA .....	30
4.1.1.	Kombinacija $1,35 \cdot V.T. + 1,35 \cdot G + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W2)$ .....	30
4.1.2.	Kombinacija $1,35 \cdot V.T. + 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S$ .....	31
4.1.3.	Kombinacija $1,0 \cdot V.T. + 1,0 \cdot G + 1,5 \cdot W1$ .....	33
4.2.	SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA .....	34
4.2.1.	Sekundarni krovni nosači-podrožnice .....	34
4.2.2.	Sekundarni bočni nosači .....	38
<b>5.</b>	<b>DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....</b>	<b>42</b>
5.1.	GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA .....	42
5.1.1.	Greda .....	42
5.1.2.	Stup .....	49
5.2.	SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA .....	56
5.2.1.	Krovni spregovi .....	56
5.2.2.	Bočni spregovi .....	58
5.2.3.	Sekundarni krovni nosači (podrožnice) .....	60
5.2.4.	Sekundarni bočni nosači .....	70

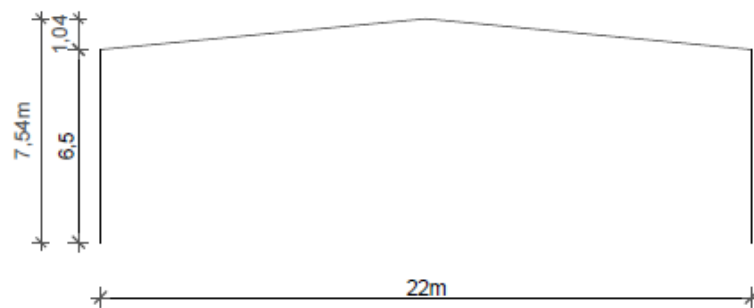
6.	DIMENZIONIRANJE SPOJEVA.....	81
6.1.	DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ "D1" .....	81
6.2.	DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-GREDA "D2" .....	87
6.3.	DIMENZIONIRANJE SPOJA GREDE U SLJEMENU "D3" .....	92
6.4.	DIMENZIONIRANJE SPOJA NASTAVKA GREDE "D4" .....	96
6.5.	DIMENZIONIRANJE SPOJA KROVNE PODROŽNICE NA GREDU "D5" .....	100
7.	PRORAČUN TEMELJA.....	102
	LITERATURA.....	104
8.	NACRTI.....	105

## 1. Tehnički opis

### 1.1. Opis konstrukcije:

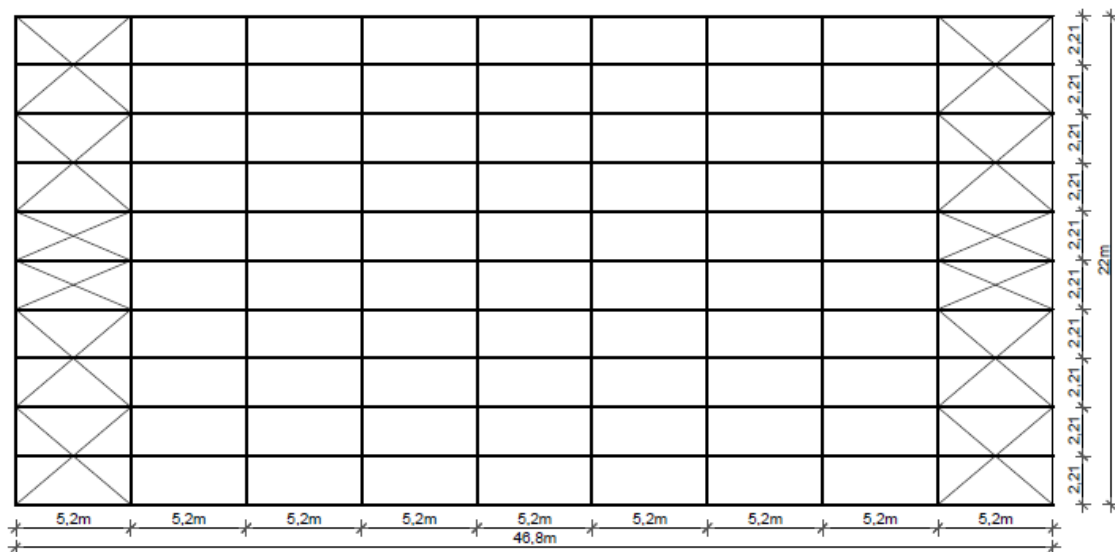
#### 1.1.1. Općenito

Predmetna građevina nalazi se na području grada Kutine. Tlocrtne dimenzije su 22x46,8(m), a visina iznosi 7,54 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 5,4^\circ$ , što je ekvivalentno nagibu od 5%. Projektirana je za višenamjensku uporabu.



Slika 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

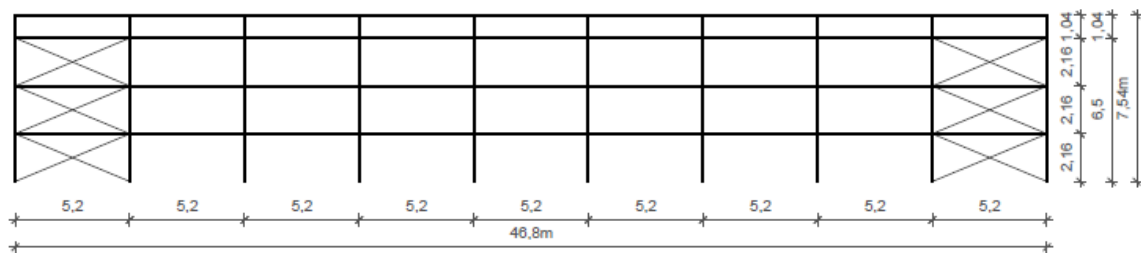
Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10 ravninskih okvira raspona 22 (m) stabilnih u svojoj ravni, na međusobnom osnom razmaku od 5,2 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije



Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,21 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,16 (m).



Slika 1.1.1.3. Bočni prikaz konstrukcije

Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem). Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli. Stupovi i grede su nosači međusobno spojeni upetim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je također upetom vezom.

### 1.1.2. Konstruktivni elementi

#### **Grede**

Proračunom su odabrane dvije grede valjanih I profila HEA400 (mm) dužine po 11,05m. Svaka greda je napravljena od dva dijela. Vanjski dio grede je dužine 5m, a unutarnji 6,05m.

#### **Stupovi**

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA500 ukupne dužine 6,5m.

#### **Podrožnice**

Proračunom su odabrane podrožnice valjanih I profila IPE 270.

#### **Sekundarni bočni nosači**

Proračunom su odabrani sekundarni bočni nosači valjanih I profila IPE 180.

**Spregovi**

Kao dijagonale krovnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 16 (mm). Kao dijagonale bočnog sprega su odabrani, kao i kod krovnog sprega, okrugli puni profili promjera 16 (mm)

**Temelji**

Proračunom su odabrani temelji dimenzija 2,5 x 3,0 x 1,5 (m).

**1.1.3. Spojevi**

**Stup – temelj** - Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 800/550/40 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M36 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

**Stup – greda** - Spoj grede na stup ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 850/550/40 (mm) i vijcima M36 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

**Greda –greda** - Spoj grede i grede ostvaren je pločama dimenzija 850/500/40(mm)

**Nastavak grede** - Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 850/400/40 (mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M36 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

**Spoj krovne podrožnice i grede** - Spoj se izvodi međusobnim povezivanjem vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez. Spajaju se direktno pojasnice krovne podrožnice i grede.

## 1.2. O proračunu konstrukcije

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

- stalno (vlastita težina građevine)
- snijeg
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 26 (m) širine krovne plohe. Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 17 “ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti. Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 9 polja. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

## 1.3. Materijal za izradu konstrukcije

Svi elementi konstrukcije izrađeni su od građevinskog čelika S275.

Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

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

## 1.4. Primijenjeni propisi

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

HR EN 1991-2-1	vlastita težina građevine
HR EN 1991-2-3	djelovanje snijega na konstrukciju
HR EN 1991-2-4	djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje

HR EN 1993	dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
HR EN 1992	dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija

### **1.5. Antikorozijska zaštita**

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama "Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcije od korozije". Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita pocinčavanjem. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 µm.

### **1.6. Zaštita od požara**

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

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

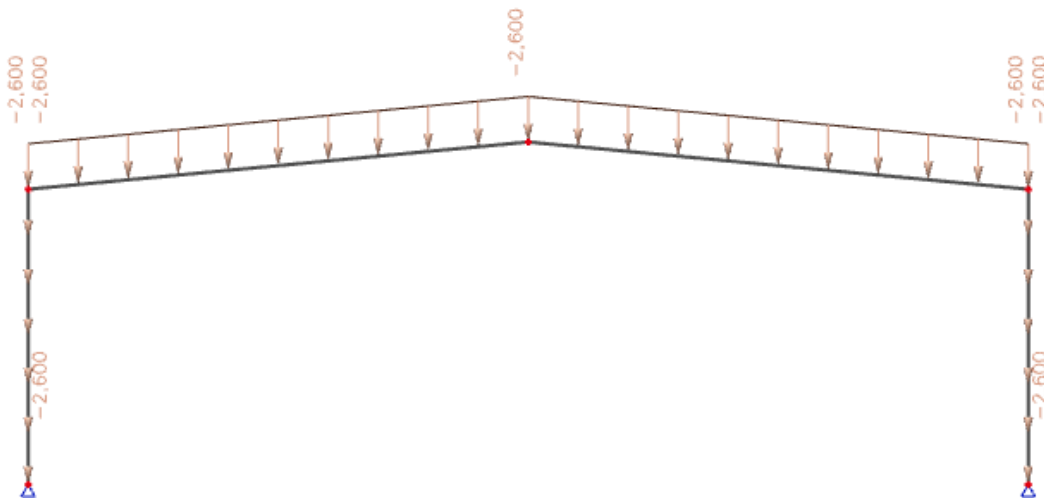
### 2.1. Glavna nosiva konstrukcija ( okvir )

#### 2.1.1. Dodatno stalno opterećenje

- sendvič paneli (aluminij) .....	0,20	kN/m <sup>2</sup>
- sekundarna konstrukcija i spregovi .....	0,20	kN/m <sup>2</sup>
- instalacije .....	0,10	kN/m <sup>2</sup>
<b>Σ =</b>	<b>0,50</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

$$G_{kp} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2 \text{ m} = 2,60 \text{ kN/m'}$$

Dodatno stalno opterećenje raspodijeljeno je po krovnoj plohi i bočnim stranama konstrukcije.



Slika 2.1.1.1.. Prikaz dodatnog stalnog opterećenja

## 2.1.2. Promjenjivo opterećenje

### 2.1.2.1. Djelovanje snijega

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

$\mu_i$  = koeficijent oblika opterećenja snijegom, ovisi o nagibu krovišta, za nagib od  $5,4^\circ$  iznosi 0,8

$C_e$  - koeficijent izloženosti = 1,0

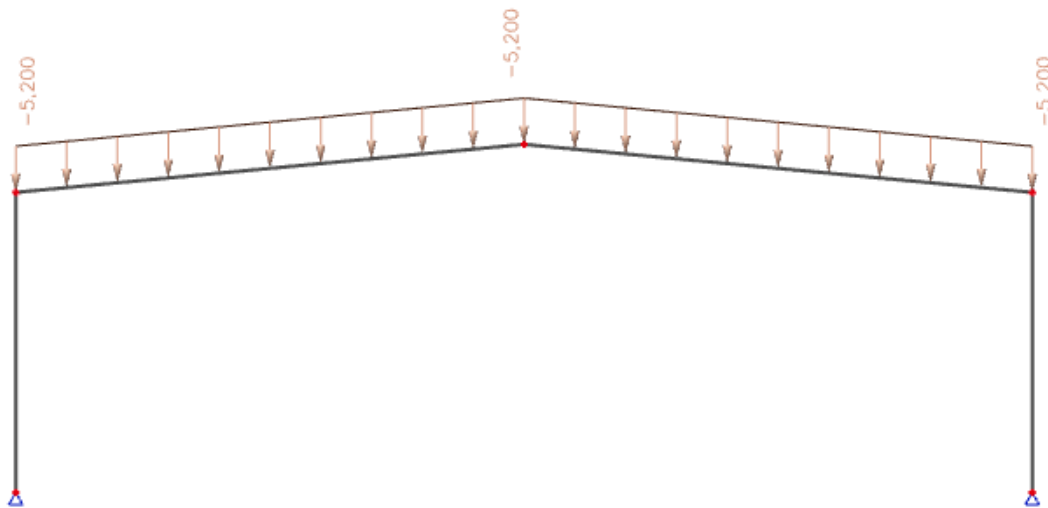
$C_t$  – toplinski koeficijent = 1,0

$s_k$ - karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu, iznosi 1,25

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 = 1,00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S = s \cdot n = 1,0 \cdot 5,2 = 5,20 \text{ [kN/m']}$$



Slika 2.1.2.1.1. Prikaz opterećenja snijegom

**2.1.2.2. Djelovanje vjetra**

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

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

$q_p$  - pritisak brzine vjetra pri udaru

$z$  – referentna visina za pritisak, u našem slučaju iznosi 10m

$c_{pi} / c_{pe}$  – koeficijenti pritiska za vanjski i unutarnji vjetar

$$c_{pi} = +0,2 \quad c_{pi} = -0,3 \quad c_{pe} \text{ – određuje se prema zonama krovišta}$$

$$q_p = c_e(z) \cdot q_b$$

$c_e(z)$  – koeficijent izloženosti, za područje Kutinu iznosi 1,68

$$q_b \text{ – osnovni pritisak vjetra } q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

$\rho$  – gustoća zraka, iznosi 1,25kg/m<sup>3</sup>

$v_b^2$  – osnovna brzina vjetra,  $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b/o}$

$c_{dir}$  – faktor smijera vjetra, iznosi 1

$c_{season}$  – faktor doba godine, iznosi 1

$v_{b/o}$  – očitavamo iz karte vjetra, za Kutinu

iznosi 20m/s

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 20 = 20 \text{ m/s}$$

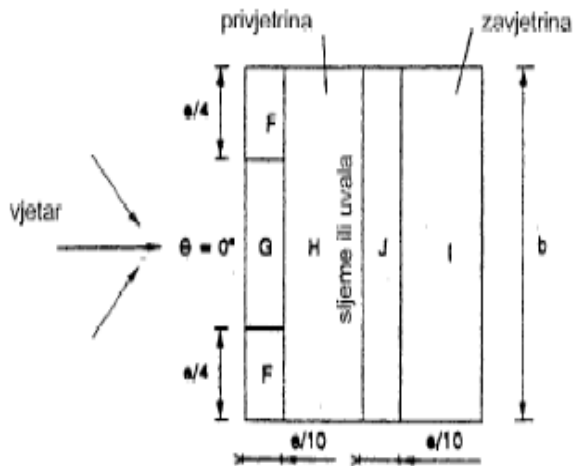
$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 400 = 250,00N = 0,25kN/m^2$$

$$q_p = 1,68 \cdot 0,25 = 0,42$$

$$w_{i1} = 0,42 \cdot 0,2 = 0,084 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

$$w_{i2} = 0,42 \cdot (-0,3) = -0,126 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

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



Za dvostrešne krovove koeficijenti vanjskog pritiska određuju se tako da se krovna površina podijeli na zone, dok se referentna visina  $z_e$  uzima kao ukupna visina građevine.

$$e = \min \{ b, 2z \} \quad \frac{e}{10} = \frac{15,1}{10} = 1,5m$$

$$e = \min \{ 46,8; 15,1 \} \quad \frac{e}{4} = \frac{15,1}{4} = 3,8m$$

$$e = 15,1 m$$

$$\frac{h}{d} = \frac{z}{L} = \frac{15,1}{22} = 0,686$$

PODRUČJE	$C_{pe,10+}$	$C_{pe,10-}$	$w_{e+}(\text{kN/m}^2)$	$w_{e-}(\text{kN/m}^2)$
F	0,01	-1,67	0,0042	-0,7014
G	0,01	-1,18	0,0042	-0,4956
H	0,01	-0,59	0,0042	-0,2478
J	-0,58	-0,62	-0,2436	-0,2604
I	-0,58	-0,59	-0,2436	-0,2478
D	0,71	-	+0,2982	+0,2982
E	-0,31	-	-0,1302	-0,1302

Tablica 2.1.2.2.1.1. Vanjski koeficijenti pritiska  $c_{pe,10}$  za nagib  $5,4^\circ$



**Rezultirajuće djelovanje vjetra**

$$w_k = w_e + w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_k \text{ (kN/m')} = w_k \cdot n = w_k \cdot 5,2 \text{ m}$$

**Vjetar W<sub>1</sub>**

PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
<b>w<sub>e-</sub></b>	-0,7014	-0,4956	-0,2478	-0,2604	-0,2478	+0,2982	-0,1302
<b>w<sub>i+</sub></b>	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840
<b>w<sub>k</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	-0,7854	-0,5796	-0,3318	-0,3444	-0,3318	+0,2142	-0,2142
<b>W<sub>k</sub>(kN/m')</b>	<b>-4,0841</b>	<b>-3,0139</b>	<b>-1,7254</b>	<b>-1,7909</b>	<b>-1,7254</b>	<b>+0,4284</b>	<b>-0,4284</b>
<b>W<sub>k</sub>(kN)</b>	-9,0250	-6,6904	-3,8300	-3,9755	-3,8300	+2,4726	-2,4726

Tablica 2.1.2.2.1.2. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan vanjski i pozitivan unutarnji pritisak

**Vjetar W<sub>2</sub>**

PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
<b>w<sub>e-</sub></b>	-0,7014	-0,4956	-0,2478	-0,2604	-0,2478	+0,2982	-0,1302
<b>w<sub>i-</sub></b>	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260
<b>w<sub>k</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	-0,5754	-0,3696	-0,1218	+0,1344	+0,1218	+0,4242	-0,0042
<b>W<sub>k</sub>(kN/m')</b>	-2,9902	-1,9219	-0,6333	+0,6988	+0,6333	+2,2058	-0,0218
<b>W<sub>k</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	-6,6419	-4,2664	-1,4059	+1,5514	+1,4060	+4,8966	-0,0485

Tablica 2.1.2.2.1.3. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan vanjski i negativan unutrašnji pritisak

**Vjetar W<sub>3</sub>**

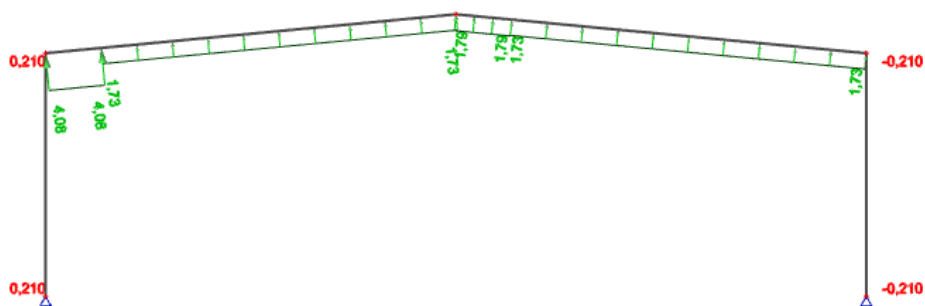
PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
$w_{e+}$	+0,0100	+0,0100	+0,0100	-0,5800	-0,5800	+0,7100	-0,3100
$w_{i+}$	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840
$w_k(\text{kN/m}^2)$	+0,0740	+0,0740	+0,0740	-0,6640	-0,6640	+0,6260	-0,3940
$W_k(\text{kN/m}')$	+0,3848	+0,3848	+0,3848	-3,4528	-3,4528	+1,2520	-0,7880
$W_k(\text{kN})$	+0,8542	+0,8542	+0,8542	-7,6647	-7,6647	+7,2261	-4,5480

Tablica 2.1.2.2.1.4. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan vanjski i pozitivan unutrašnji pritisak

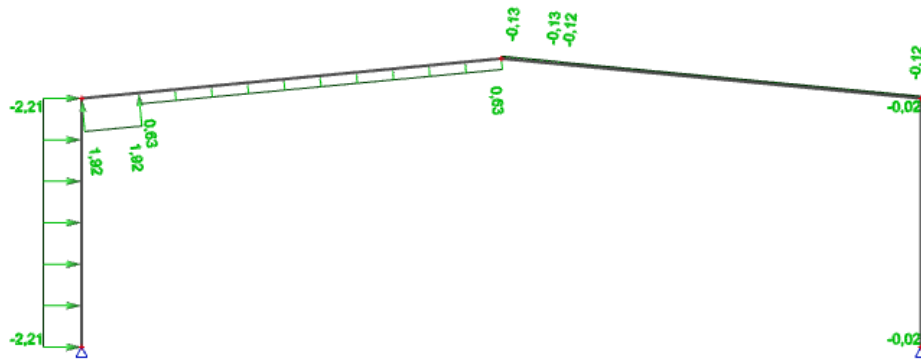
**Vjetar W<sub>4</sub>**

PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
$w_{e+}$	+0,0100	+0,0100	+0,0100	-0,5800	-0,5800	+0,7100	-0,3100
$w_{i-}$	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260
$w_k(\text{kN/m}^2)$	+0,1360	+0,1360	+0,1360	-0,4540	-0,4540	+0,8360	-0,1840
$W_k(\text{kN/m}')$	<b>+0,7072</b>	<b>+0,7072</b>	<b>+0,7072</b>	<b>-2,3608</b>	<b>-2,3608</b>	<b>+1,6720</b>	<b>-0,3680</b>
$W_k(\text{kN})$	+1,5699	+1,5699	+1,5699	-5,2406	-5,2406	+9,6504	-2,1239

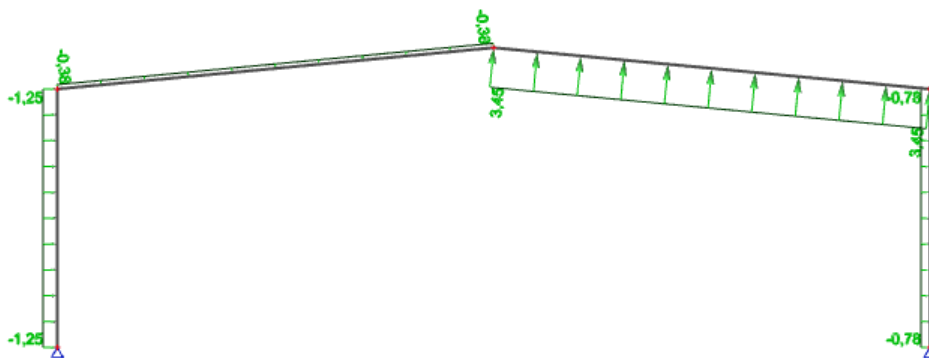
Tablica 2.1.2.2.1.5. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan vanjski i negativan unutrašnji pritisak



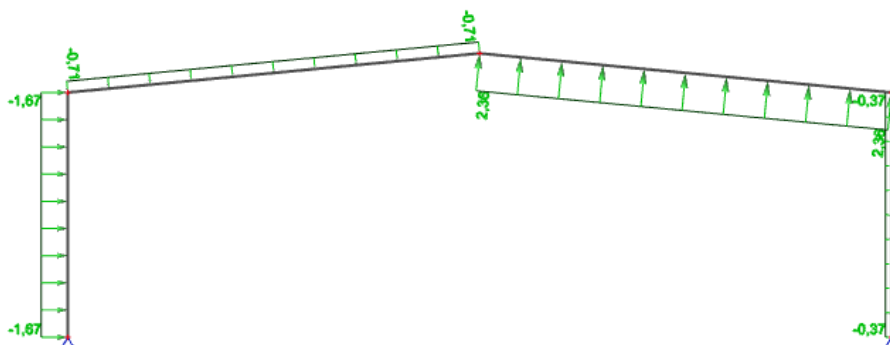
Slika 2.1.2.2.1. Prikaz opterećenja vjetrom  $w_1$



Slika 2.1.2.2.2. Prikaz opterećenja vjetrom w2



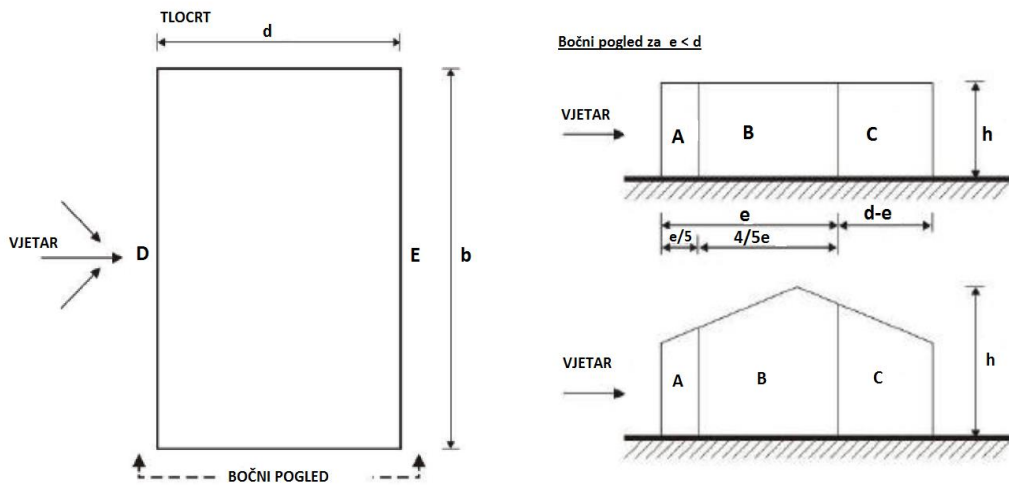
Slika 2.1.2.2.3. Prikaz opterećenja vjetrom w3



Slika 2.1.2.2.4. Prikaz opterećenja vjetrom w4

Mjerodavni vjetar koji odiže konstrukciju je vjetar **W1**, a mjerodavni vjetar koji pritišće konstrukciju vjetar **W4**.

**2.1.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove**



Slika 2.1.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,71	-0,31
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,504	-0,336	-0,210	0,298	-0,130

Tablica 2.1.2.2.2.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima vjetra

**Rezultirajuće djelovanje vjetra**

$$w_k = w_e + w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_k \text{ (kN/m')} = w_k \cdot n = w_k \cdot 5,2 \text{ m}$$

**Vjetar W1**

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,504	-0,336	-0,210	0,298	-0,130
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,588	-0,420	-0,294	0,214	-0,214
$W_k \text{ (kN/m')}$	-3,058	-2,184	-1,529	1,113	-1,113

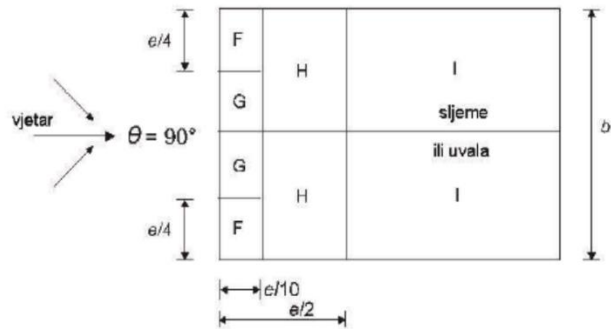
Tablica 2.1.2.2.2.2. Proračun sila prema područjima vjetra za pozitivan unutarnji pritisak

**Vjetar W2**

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,504	-0,336	-0,210	0,298	-0,130
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,126	-0,126	-0,126	-0,126	-0,126
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,378	-0,210	-0,084	0,424	-0,004
$W_k \text{ (kN/m')}$	-1,966	-1,093	-0,437	2,205	-0,021

Tablica 2.1.2.2.2.3. Proračun sila prema područjima vjetra za negativan unutarnji pritisak

**2.1.2.2.3. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova  $\Theta=90^\circ$**



Slika 2.1.2.2.3.1. Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove  $\Theta=90^\circ$

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$$q_p = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,80	-1,30	-0,70	-0,60
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,76	-0,55	-0,29	-0,24

Tablica 2.1.2.2.3.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

**Rezultirajuće djelovanje vjetra**

$$w_k = w_e \cdot s \cdot w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_k \text{ (kN/m')} = w_k \cdot n = w_k \cdot 5,2 \text{ m}$$

**Vjetar W1**

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,76	-0,55	-0,29	-0,24
$w_{i+} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	0,084	0,084	0,084	0,084
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,844	-0,630	-0,378	-0,319
$W_k \text{ (kN/m')}$	-4,389	-3,276	-1,966	-1,659

Tablica 2.1.2.2.3.2. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

**Vjetar W2**

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,76	-0,55	-0,29	-0,24
$w_{i-} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,126	-0,126	-0,126	-0,126
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,634	-0,420	-0,168	-0,109
$W_k \text{ (kN/m')}$	-3,297	-2,184	-0,874	-0,567

Tablica 2.1.2.2.3.3. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

Djelovanje vjetra na sekundarne krovne nosače:

## TRENJE PO KROVU:

- pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p(z) = C_e(z) \cdot q_b = 0,42$$

- sila opterećenja trenjem po površini:

$$Q = q_p(z) \cdot C_{pe} = 0,42 \cdot 0,1 = 0,042 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- sila trenja u čvoru:

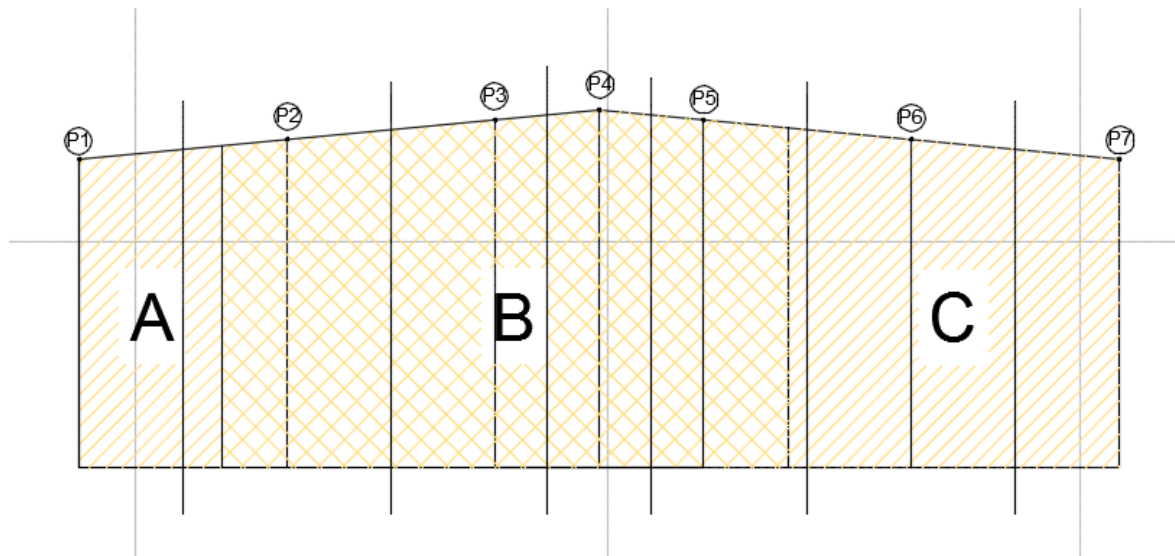
$$S = Q \cdot A_{eff} = 0,042 \cdot 26 \cdot 2,21 = 2,413 \text{ (kN)}$$

- Sile trenja po čvorovima :

$$S_1 = S_7 = \frac{S}{2} = 1,207 \text{ kN}$$

$$S_2 = S_3 = S_4 = S_5 = S_6 = 2,413 \text{ kN}$$



Sile vjetra na zabat

Slika 2.1.2.2.3.3. Prikaz područja djelovanja vjetra na zabat

- Površine zabata:  $A = 19,93 \text{ m}^2$

$$B = 86,70 \text{ m}^2$$

$$C = 47,82 \text{ m}^2$$

- Sile opterećenja po površini :

$$A : W_A = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) = 0,42 \cdot (1,2 + 0,2) = 0,588 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$B : W_B = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) = 0,42 \cdot (0,8 + 0,2) = 0,420 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$C : W_C = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) = 0,42 \cdot (0,5 + 0,2) = 0,294 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- Sile u čvorovima:

$$Z_1 = 14,494 \cdot 0,588 = 8,52 \text{ kN}$$

$$Z_2 = 5,396 \cdot 0,588 + 25,033 \cdot 0,42 = 13,69 \text{ kN}$$

$$Z_3 = 24,024 \cdot 0,42 = 10,09 \text{ kN}$$

$$Z_4 = 16,359 \cdot 0,42 = 6,87 \text{ kN}$$

$$Z_5 = 21,166 \cdot 0,42 + 2,849 \cdot 0,29 = 9,72 \text{ kN}$$

$$Z_6 = 30,43 \cdot 0,29 = 8,82 \text{ kN}$$

$$Z_7 = 14,529 \cdot 0,29 = 4,21 \text{ kN}$$

- Ukupne sile u čvorovima :

$$P_1 = S_1 + Z_1 = 1,21 + 8,52 = 10,28 \text{ kN}$$

$$P_2 = S_2 + Z_2 = 2,41 + 13,69 = 16,10 \text{ kN}$$

$$P_3 = S_3 + Z_3 = 2,41 + 10,09 = 12,50 \text{ kN}$$

$$P_4 = S_4 + Z_4 = 2,41 + 6,87 = 9,28 \text{ kN}$$

$$P_5 = S_5 + Z_5 = 2,41 + 9,72 = 12,13 \text{ kN}$$

$$P_6 = S_6 + Z_6 = 2,41 + 8,82 = 11,23 \text{ kN}$$

$$P_7 = S_7 + Z_7 = 1,21 + 4,21 = 5,42 \text{ kN}$$

## 2.2. Sekundarna nosiva konstrukcija

### 2.2.1. Stalno opterećenje

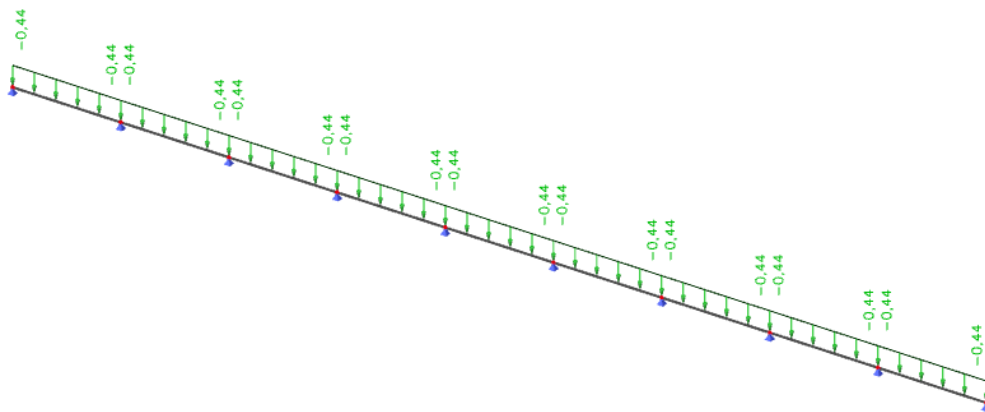
#### 2.2.1.1. Opterećenje krovnih podrožnica sendvič panelima

- sendvič paneli (aluminij) .....	0,20	kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma =$	0,20 kN/m <sup>2</sup>

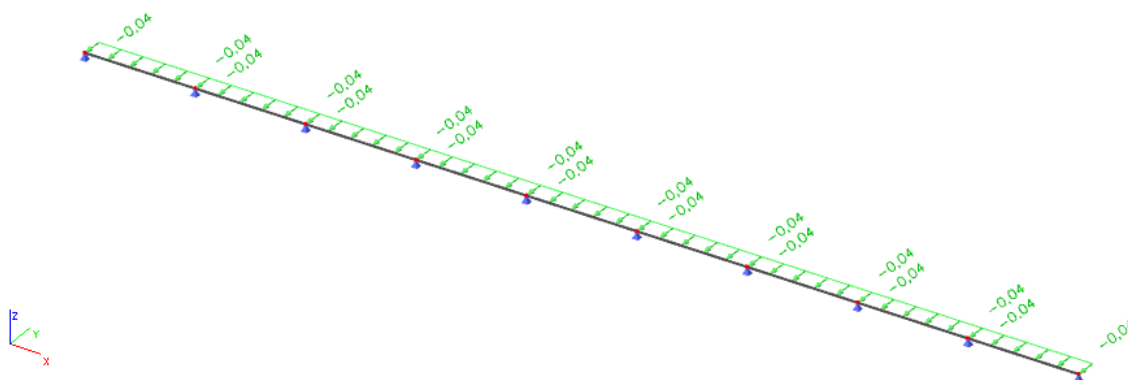
$$G_z = g \cdot l \cdot \cos\alpha = 0,20 \cdot 2,21 \cdot \cos 5,4^\circ = 0,44 \text{ kN/m'}$$

$$G_y = g \cdot l \cdot \sin\alpha = 0,20 \cdot 2,21 \cdot \sin 5,4^\circ = 0,042 \text{ kN/m'}$$

$l \rightarrow$  razmak sekundarnih krovnih nosača,  $l = 2,21$  m



Slika 2.2.1.1.1. Opterećenje sendvič panelima u z smjeru (kN/m')



Slika 2.2.1.1.2. Opterećenje sendvič panelima u y smjeru (kN/m')

## 2.2.2. Pokretno opterećenje

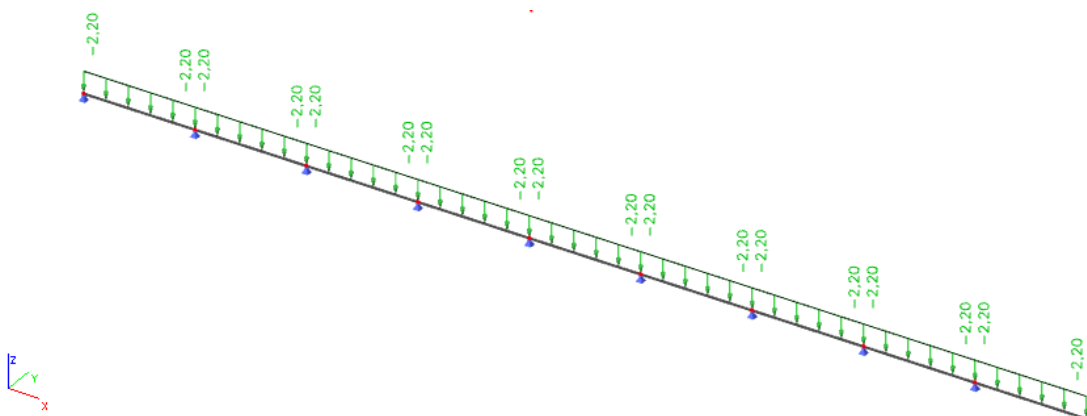
### 2.2.2.1. Djelovanje snijega na krovne podrožnice

$s=1,0 \text{ kN/m}^2$  -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

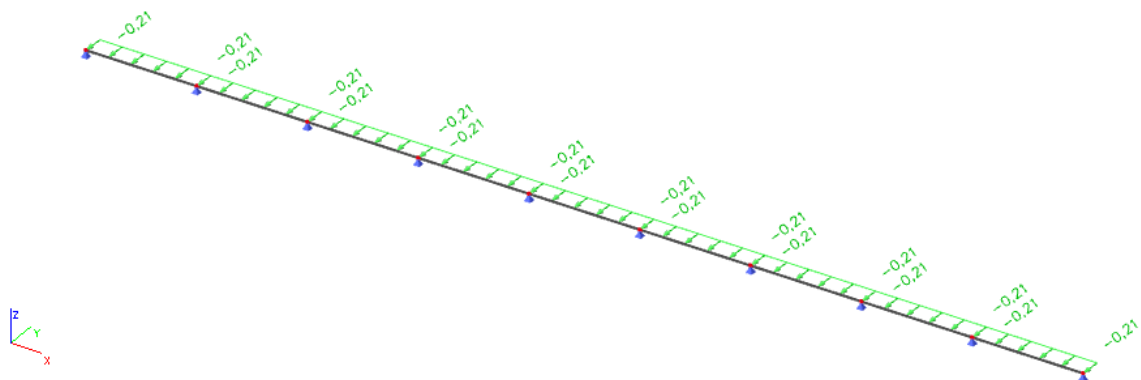
$$S_z = s \cdot l \cdot \cos\alpha = 1,0 \cdot 2,21 \cdot \cos 5,4^\circ = 2,20 \text{ kN/m'}$$

$$S_y = s \cdot l \cdot \sin\alpha = 1,0 \cdot 2,21 \cdot \sin 5,4^\circ = 0,21 \text{ kN/m'}$$

$l \rightarrow$  razmak sekundarnih krovnih nosača,  $l = 2,21\text{m}$



Slika 2.2.2.1.1. Opterećenje snijegom u z smjeru (kN/m')



Slika 2.2.2.1.2. Opterećenje snijegom u y smjeru (kN/m')

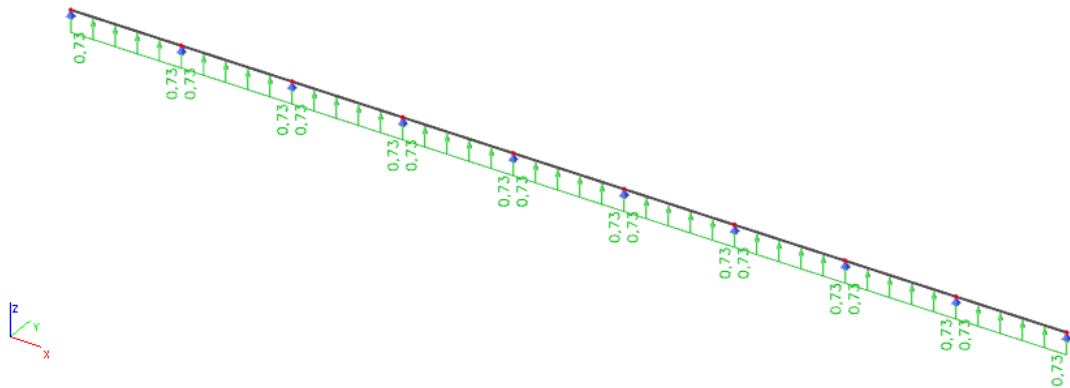
### 2.2.2.2. Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za krovne sekundarne nosače

- Podtlačno djelovanje vjetra

$w_k = -0,33 \text{ kN/m}^2$ , za područje H koje je mjerodavno

$$W_z = w_k \cdot l = -0,33 \cdot 2,21 = -0,73 \text{ kN/m'}$$

$l \rightarrow$  razmak sekundarnih nosača,  $l = 2,21 \text{ m}$



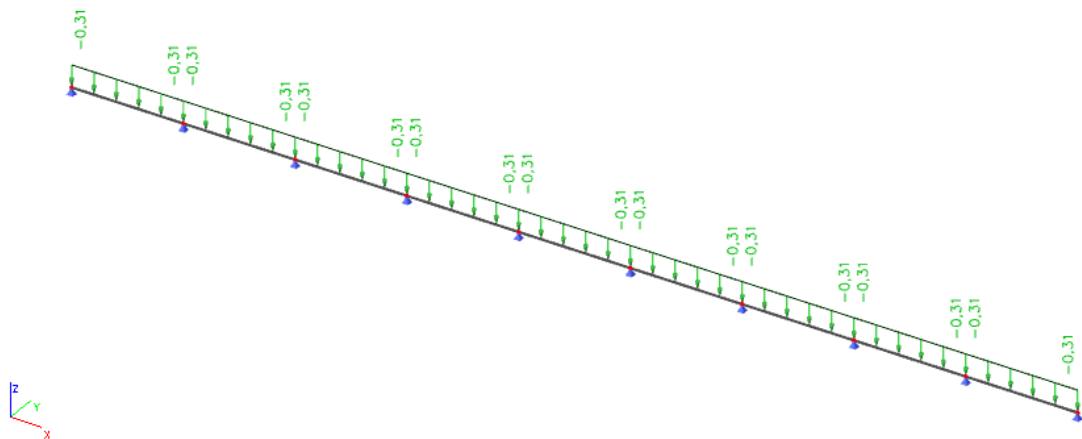
Slika 2.2.2.2.1. Opterećenje vjetrom u z smjeru (kN/m')

- Tlačno djelovanje vjetra

$w_k = 0,14 \text{ kN/m}^2$ , za područje H koje je mjerodavno

$$W_z = w_k \cdot l = 0,14 \cdot 2,21 = 0,31 \text{ kN/m'}$$

$l \rightarrow$  razmak sekundarnih nosača,  $l = 2,21 \text{ m}$



Slika 2.2.2.2.1. Opterećenje vjetrom u z smjeru (kN/m')

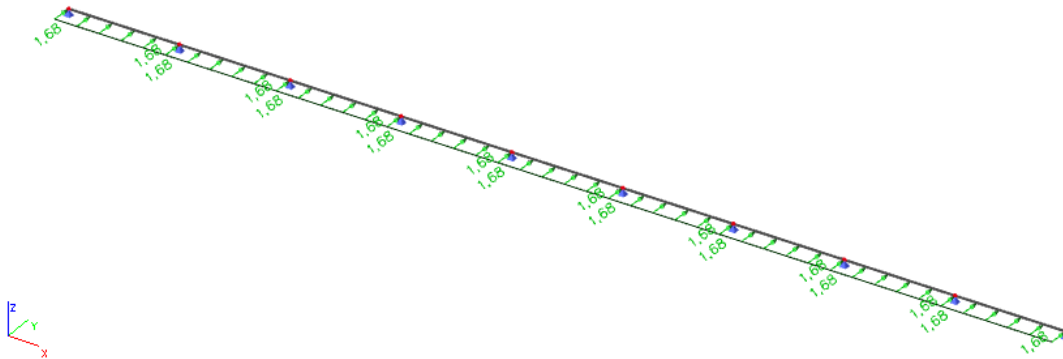
### 2.2.2.3. Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za bočne sekundarne nosače

- Tlačno djelovanje vjetra

$w_k = 0,84 \text{ kN/m}^2$ , za područje D koje je mjerodavno

$$W_z = w_k \cdot l = +0,84 \cdot 2,16 = +1,68 \text{ kN/m'}$$

$l \rightarrow$  razmak bočnih sekundarnih nosača,  $l = 2,16 \text{ m}$



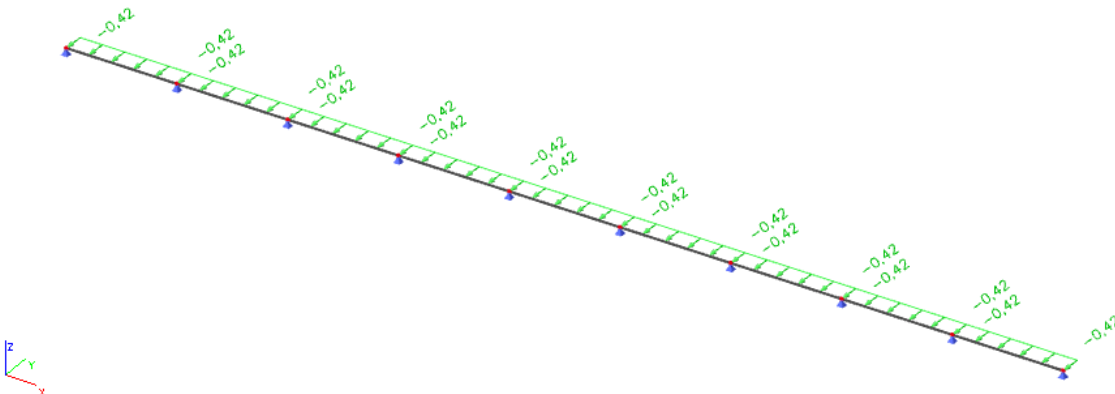
Slika 2.2.2.3.1. Opterećenje vjetrom u z smjeru (kN/m')

- Podtlačno djelovanje vjetra

$w_k = -0,21 \text{ kN/m}^2$ , za područje E koje je mjerodavno

$$W_z = w_k \cdot l = -0,21 \cdot 2,16 = -0,42 \text{ kN/m'}$$

$l \rightarrow$  razmak bočnih sekundarnih nosača,  $l = 2,16 \text{ m}$



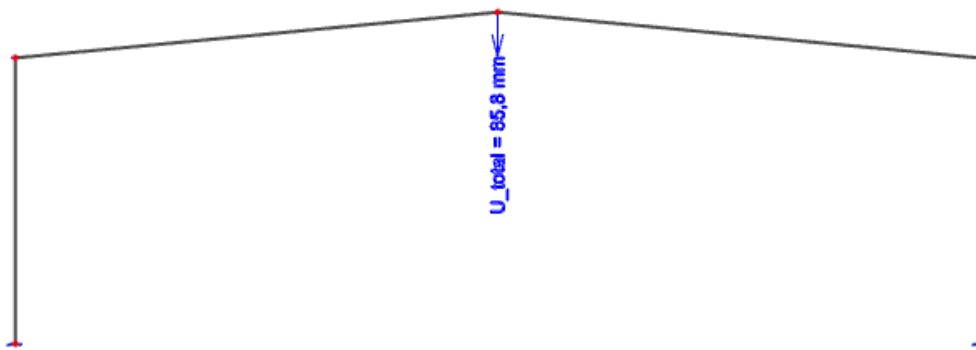
Slika 2.2.2.3.2. Opterećenje vjetrom u z smjeru (kN/m')

### 3. Kontrola progiba (GSU)

#### 3.1. Greda

-odabrani profil HEA 400

- Najveći progib grede dobivamo za kombinaciju **1,0G+1,0S**



Slika 3.1.1. Vertikalni progib grede (mm)

Dopušteni progib:  $L/250 = 22000\text{mm}/250 = 88\text{ mm}$

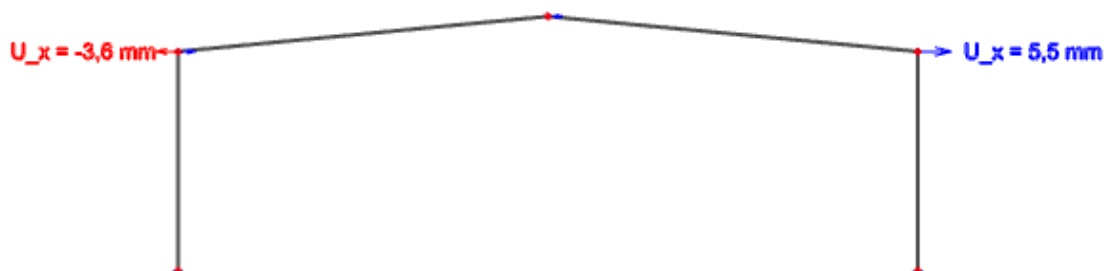
$$(85,80/88) * 100 = 97,50\%$$

Najveći progib krovnih greda zadovoljava u odnosu na dopušteni sa **iskoristivosti 98 %**.

#### 3.2. Stup

-odabrani profil HEA 500

- Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju **1,0G+1,0W**



Slika 3.2.1. Horizontalni progib stupa (mm)

Dopušteni progib:  $H/300 = 6500\text{mm}/300 = 21,67\text{ mm}$

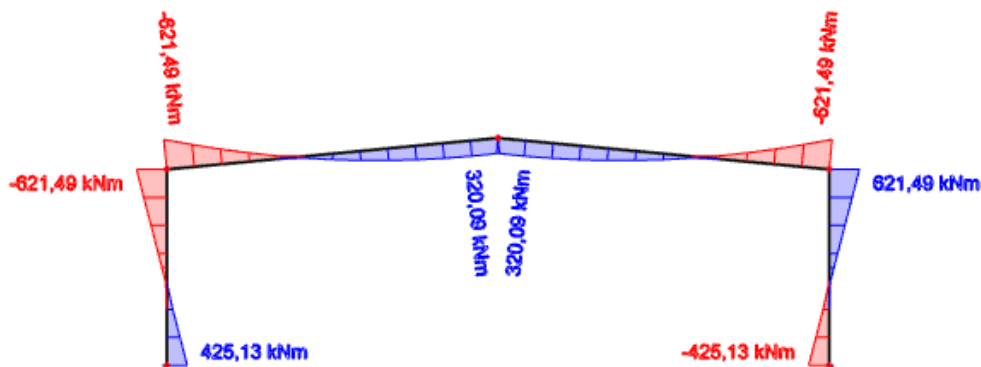
$$(5,5/21,67) * 100 = 25,38\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa **iskoristivosti 25%**.

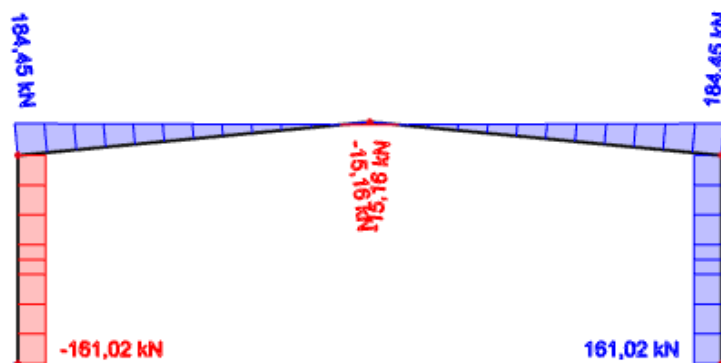
## 4. Dijagrami reznih sila za kombinacije djelovanja (GSN)

### 4.1. Glavna nosiva konstrukcija

#### 4.1.1. Kombinacija $K1=1,35 * G + 1,50 * S$

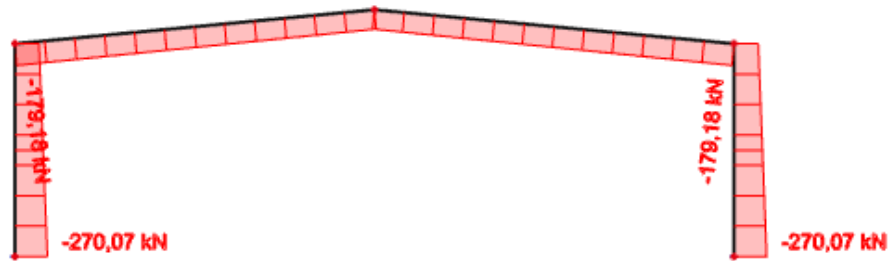


Slika 4.1.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1(kNm)



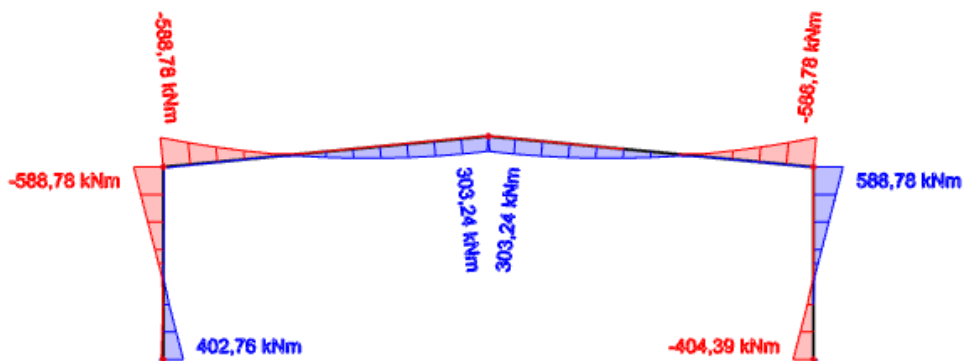
Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)



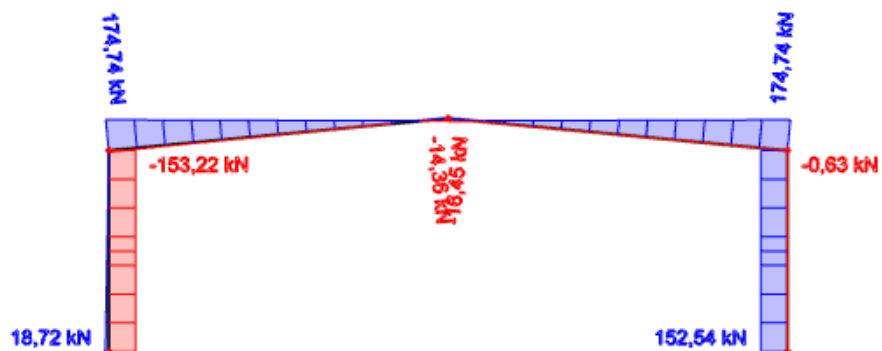


Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

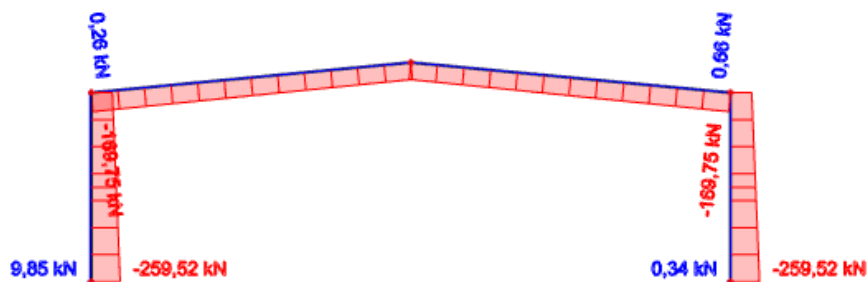
4.1.2. Kombinacija K2= 1,35\*G+0,9\*1,50\*(S+W2)



Slika 4.1.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1(kNm)

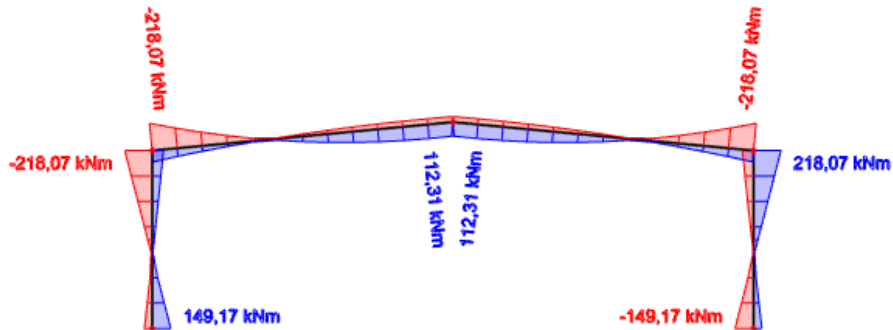


Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

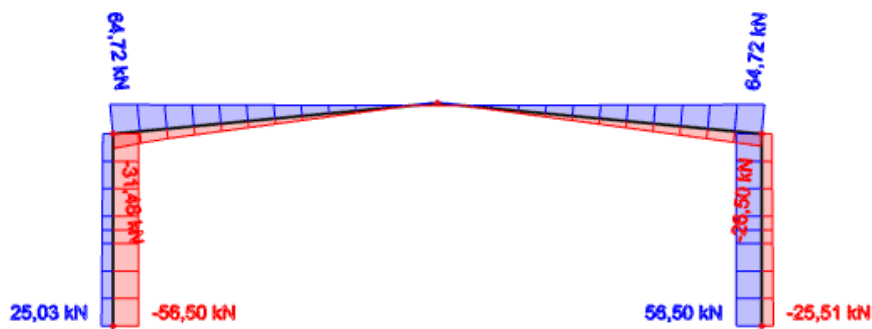


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

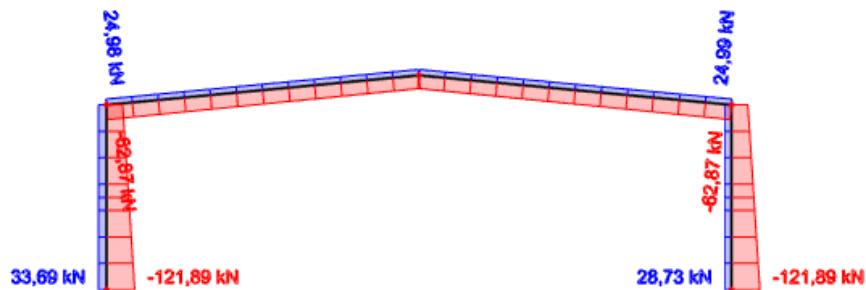
4.1.3. Kombinacija  $K3= 1,0 \cdot G + 1,50 \cdot W1$



Slika 4.1.3.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1(kNm)



Slika 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

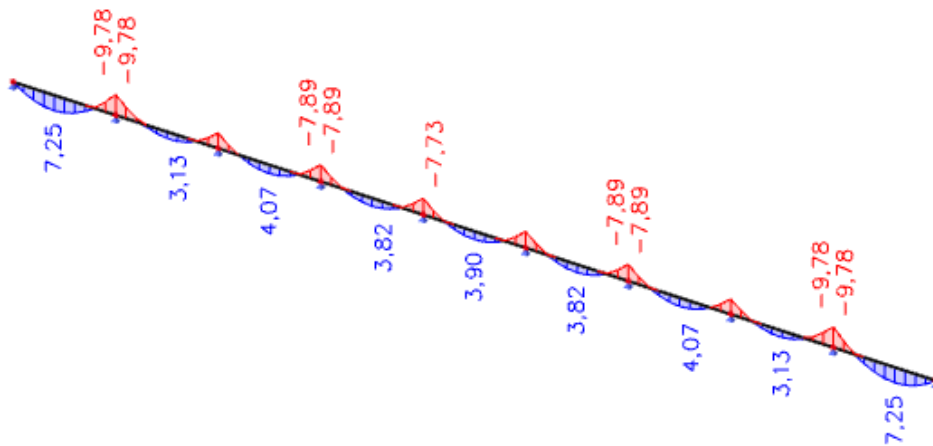


Slika 4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

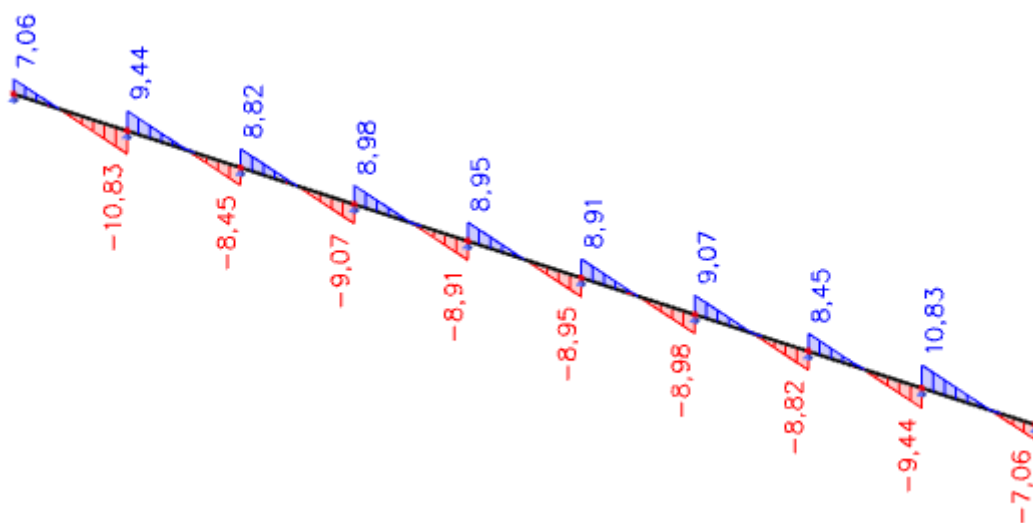
## 4.2. Sekundarna nosiva konstrukcija

### 4.2.1. Sekundarni krovni nosači (podrožnice)

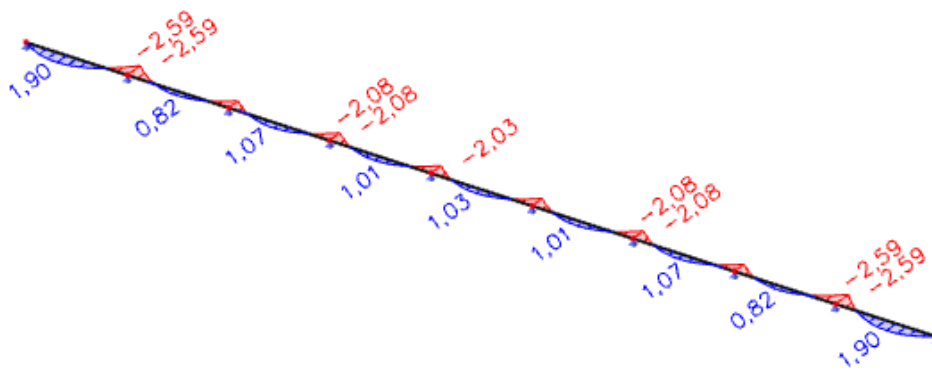
#### 4.2.1.1. Kombinacija $1,35 \cdot V.T. + 1,35 \cdot G + 0,9 \cdot (1,5 \cdot S + 1,5 \cdot W2)$



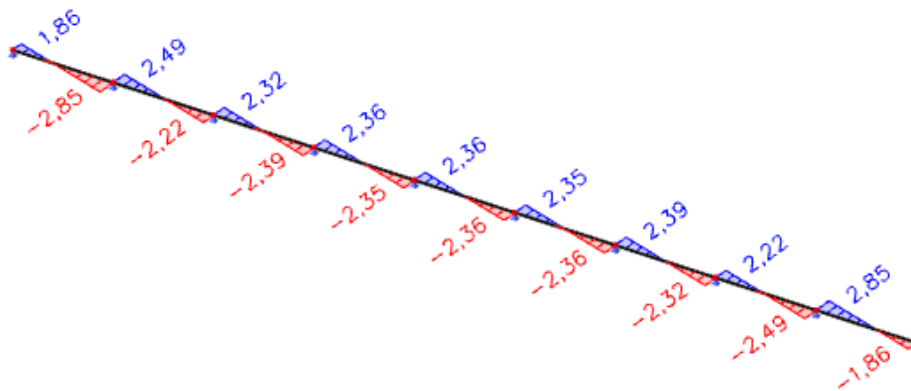
Slika 4.2.1.1.1. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1(kNm)



Slika 4.2.1.1.2. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1(kN)

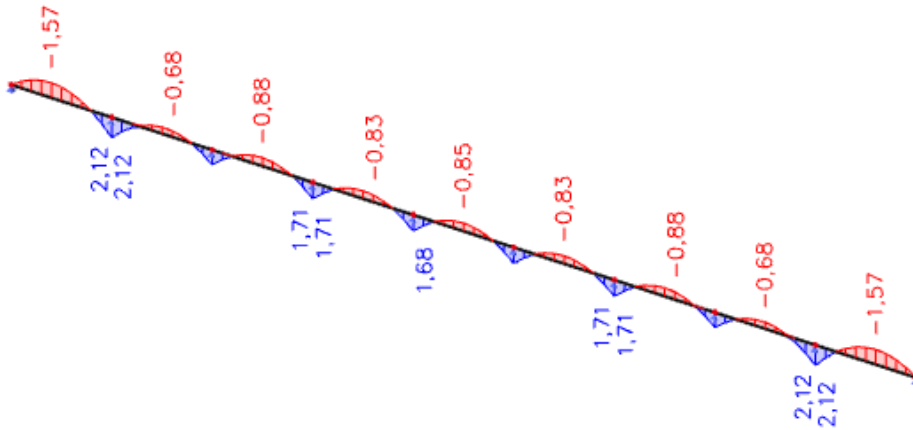


Slika 4.2.1.1.3. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1(kNm)

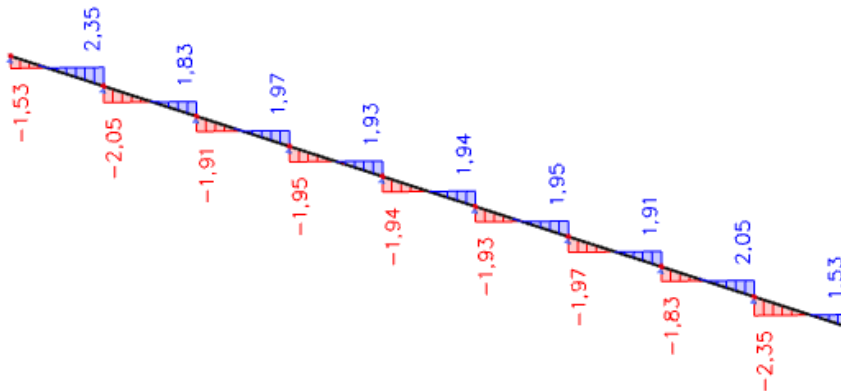


Slika 4.2.1.1.4. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1(kN)

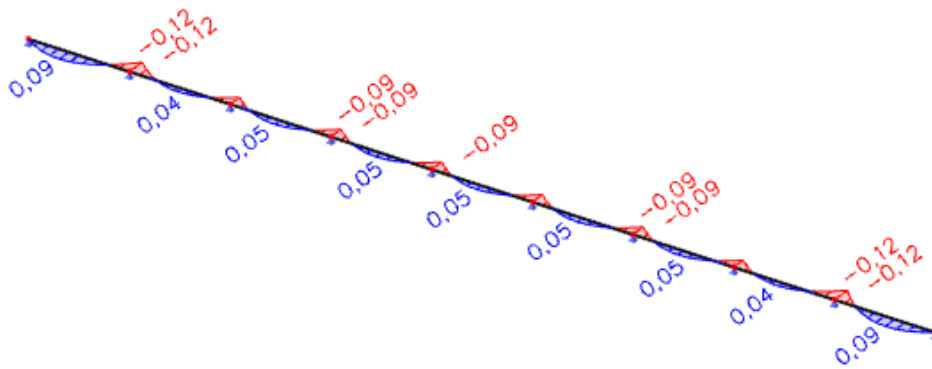
**4.2.1.2. Kombinacija 1,0·V.T. + 1,0·G + 1,5·W1**



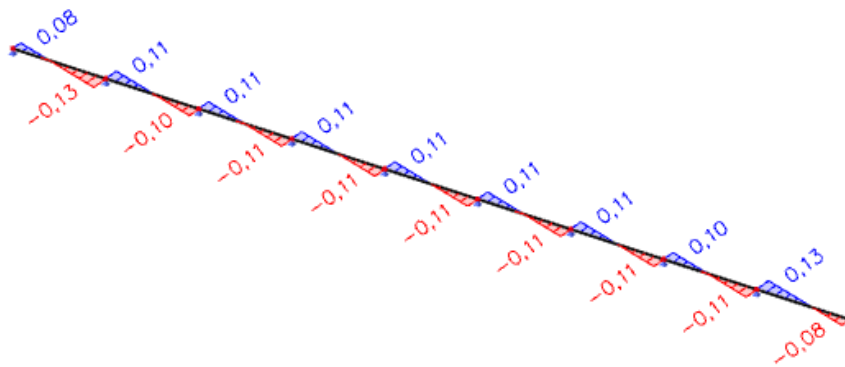
Slika 4.2.1.2.1. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2(kNm)



Slika 4.2.1.2.2. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2(kN)



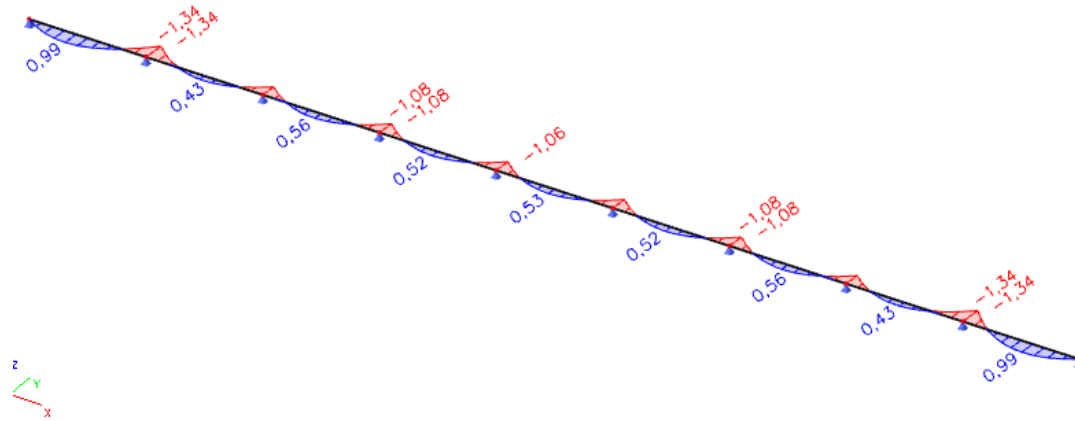
Slika 4.2.1.2.3. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2(kNm)



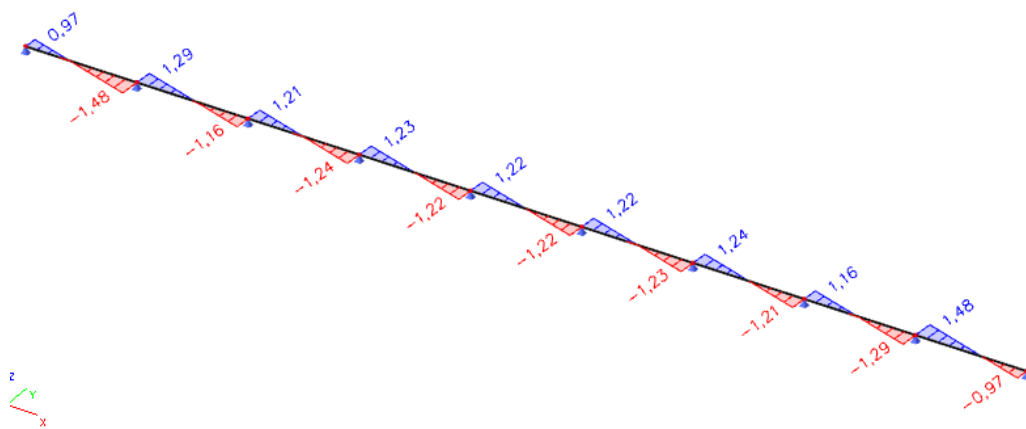
Slika 4.2.1.2.4. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2(kN)

## 4.2.2. Bočni nosači

### 4.2.2.1. Kombinacija 1,35G<sub>elementa</sub>+1,5W<sub>bp,1</sub>

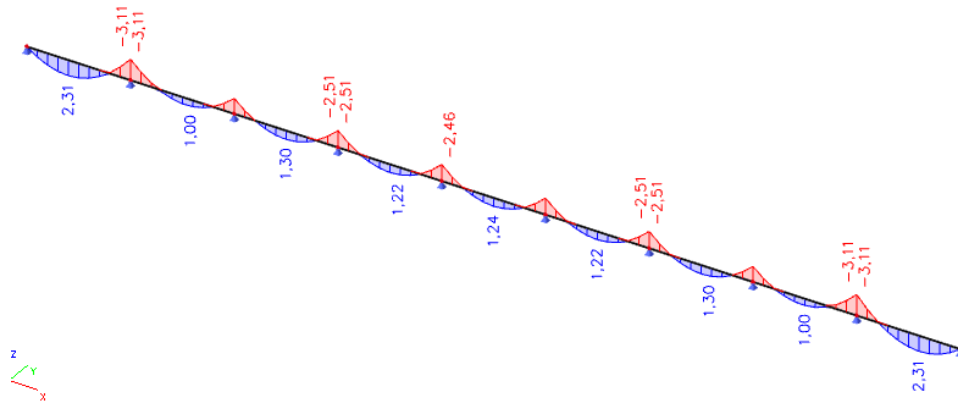


Slika 4.2.2.1.1. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1(kNm)

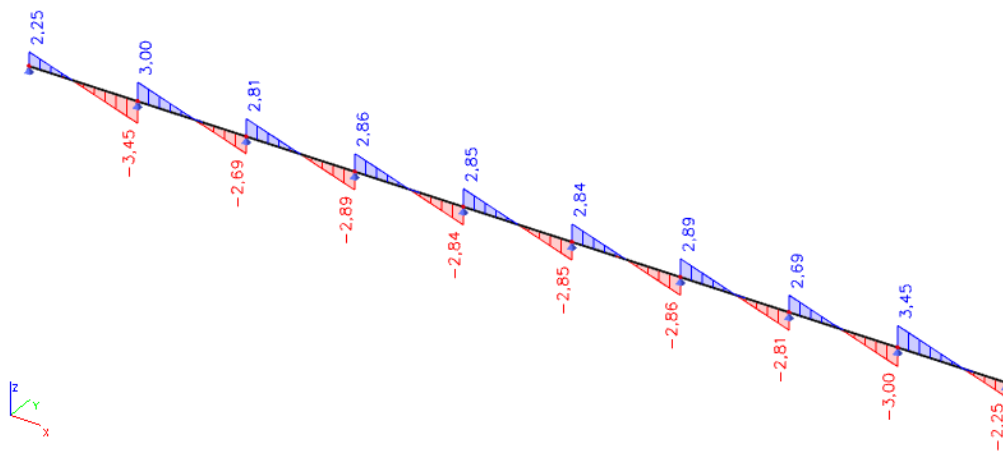


Slika 4.2.2.1.2. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1(kN)



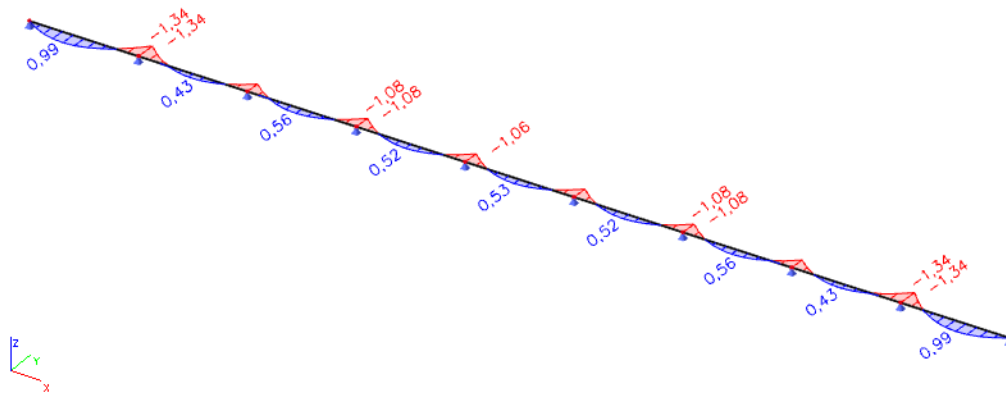


Slika 4.2.2.1.3. Momenti dijagram u y smjeru kombinacije 1(kNm)

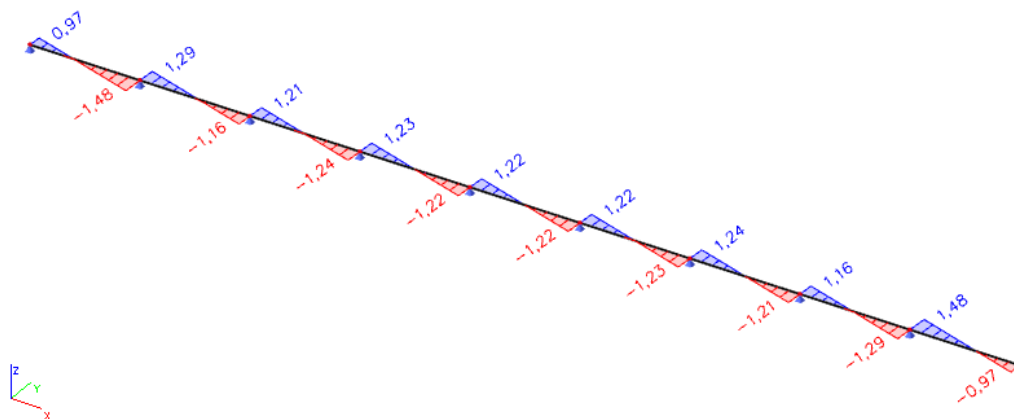


Slika 4.2.2.1.4. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1

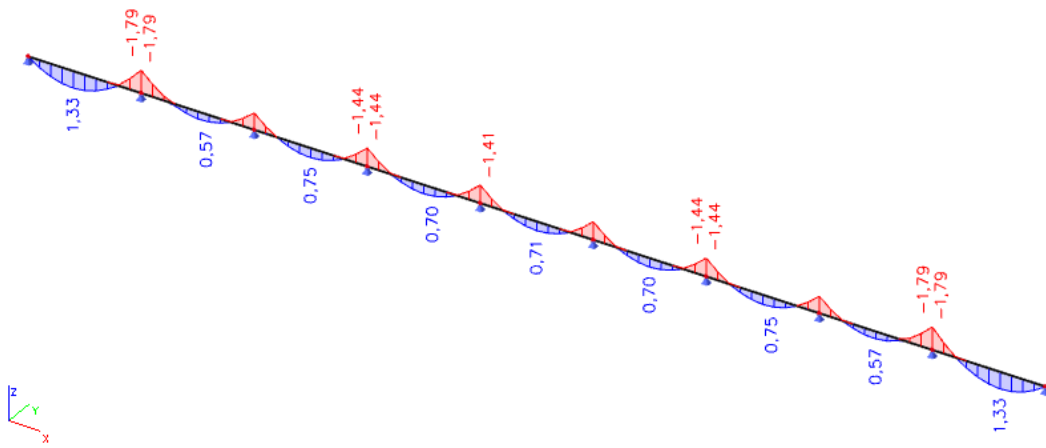
**4.2.2.2. Kombinacija 1,35G<sub>elementa</sub>+1,5W<sub>bp,2</sub>**



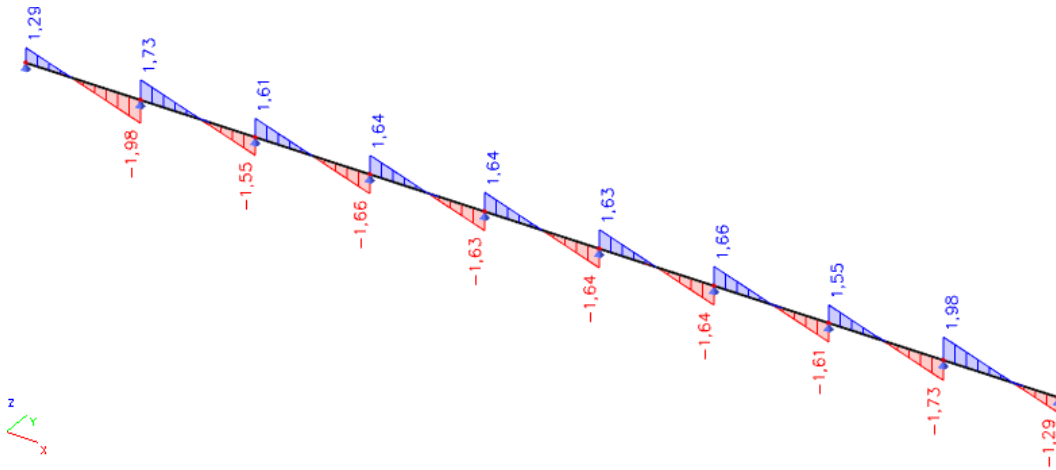
Slika 4.2.2.2.1. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2(kNm)



Slika 4.2.2.2.2. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2 (kN)



Slika 4.2.2.2.3. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2 (kNm)

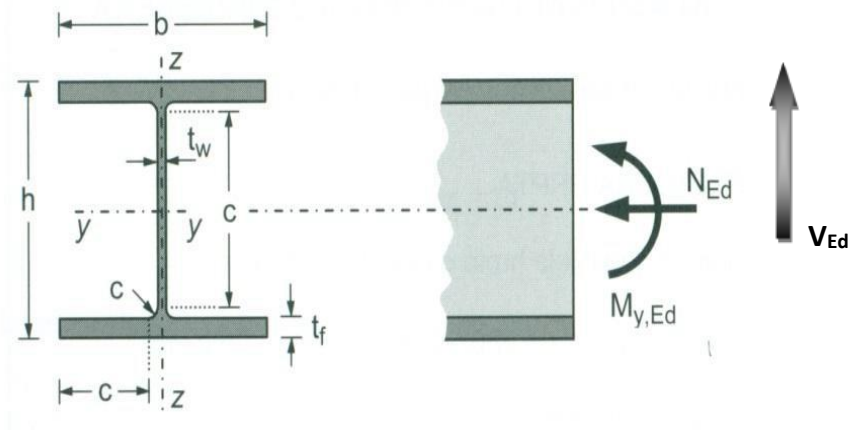


Slika 4.2.2.2.4. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2(kN)

## 5. Dimenzioniranje glavne nosive konstrukcije

### 5.1. Glavna nosiva konstrukcija

#### 5.1.1. GREDE



Slika 5.1.1. Poprečni presjek grede

Tip presjeka:	<b>valjani HEA 400</b>
Visina presjeka:	$h = 390 \text{ mm}$
Širina pojasnice:	$b = 300 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t(t_f) = 19 \text{ mm}$
Debljina hrbata:	$s(t_w) = 11 \text{ mm}$
Radius zakrivljenosti:	$r = 27 \text{ mm}$
Površina:	$A = 159 \text{ cm}^2$
Moment tromosti:	$I_y = 45\,100 \text{ cm}^4$ $I_z = 8\,560 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2562,5 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 870,83 \text{ cm}^3$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2\,942\,100 \text{ cm}^6$
Torzijska konstanta:	$I_t = 189 \text{ cm}^4$

#### ULAZNI PODACI:

$M_{y,Ed} = 621,49 \text{ kNm}$ ,  $V_{Ed} = 184,45 \text{ kN}$ ,  $N_{Ed} = 179,18 \text{ kN (tlak)}$

Materijal: S275 :  $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $\epsilon = 0,92$   $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

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

$$d = h - 2t_f - 2r = 390 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 27 = 298 \text{ mm}$$

$$t = 19 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{298}{11} = 27,09$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{179,18}{2 \cdot 11 \cdot 27,5 / 1,0} = 2,96$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{29,8} \left( \frac{29,8}{2} + 1,71 \right) = 0,56 > 0,5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 27,09 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,56 - 1} = 63,06$$

Hrbat je klase 1.

**Pojasnica**

$$c = (b - t_w - 2r) / 2 = (300 - 19 - 2 \cdot 27) / 2 = 113,5$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{113,5}{19} = 5,97$$

Uvjet za klasu 1:

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

$$\frac{c}{t} = 5,97 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 92 = 9,78$$

Pojasnica je klase 1.

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

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

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{159 \cdot 27,5}{1,0} = 4372,5 \text{ kN} > N_{Ed} = 179,18 \text{ kN}$$

**- Otpornost poprečnog presjeka izloženog momentu savijanja**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2562,5 \cdot 27,5}{1,0} = 70468,75 \text{ kNcm} = 704,49 \text{ kNm} > M_{Ed} = 621,49 \text{ kNm}$$

**-Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{390 - 2 \cdot 19}{11} = 32$$

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\epsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.}$$

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

$$A_{v,z} = 159 - 2 \cdot 30 \cdot 1,9 + (1,1 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,9 \geq 1,2 \cdot 39,0 \cdot 1,1$$

$$A_{v,z} = 56,35 \geq 51,48$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{1} = \frac{56,35 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}}}{1} = 894,68 \text{ kN} \geq 184,45 \text{ kN} = V_{Ed}$$

**Interakcija M – V – N**

$$0,5 V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 870,83 = 435,42 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 184,45 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 435,42 \text{ kN} \rightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile}$$

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

$$179,18 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 4372,5 \text{ kN} = 1093,13 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 39,0 \cdot 1,1 \cdot 27,5}{1,0} = 589,88 \text{ kN} \rightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na izvijanje od uzdužne sile}$$

**Otpornost elementa na izvijanje****-oko osi y-y**

$$L_{cr,y} = 11,05 \text{ m}$$

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45100}{1105^2} = 7655,46 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{159 \cdot 27,5}{7655,5}} = 0,76$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

-za valjani presjek debljine pojasnice  $< 40$  i savijanje oko y osi  $\rightarrow$  krivulja izvijanja  $\alpha$

-za krivulju izvijanja  $\alpha$ , faktor imperfekcije  $\alpha=0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,76 - 0,2) + 0,76^2] = 0,85$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,85 + \sqrt{0,85^2 - 0,76^2}} = 0,81$$

**- oko osi z-z**

$$L_{cr,z} = 4,42 \text{ m}$$

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 8560}{442^2} = 9081,31 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{159 \cdot 27,5}{9081,31}} = 0,69$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

-za valjani profil  $\rightarrow$  krivulja izvijanja  $b$

-za krivulju izvijanja  $b$ , faktor imperfekcije  $\alpha=0,34$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,69 - 0,2) + 0,69^2] = 0,82$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,82 + \sqrt{0,82^2 - 0,69^2}} = 0,79$$

Mjerodavan je manji  $\chi \rightarrow \chi=0,79$

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

$$N_{b,Rd,z} = \frac{0,79 \cdot 159 \cdot 27,5}{1,0} = 3454,2 \text{ kN} > N_{Ed} = 179,18 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

### -Otpornost elementa na savijanje (M)

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$L = 442 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{39}{2} = 19,5 \text{ cm}$$

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

$$k = 0,5 \quad C_1 = 2,150$$

$$k_w = 0,5 \quad C_2 = 0$$



$$M_{cr} = 2,15 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 8560}{(0,5 \cdot 442)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{0,5}{0,5}\right)^2 \cdot \frac{2942100}{8560} + \frac{(0,5 \cdot 442)^2 \cdot 8077 \cdot 189}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 8560}} + (0 \cdot 19,5)^2 - \right.$$

$$\left. - 0 \cdot 19,5 \right] = 1533865,25 \text{ kNcm} = 15\,339 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 2562,5 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2562,5 \cdot 27,5}{1533865,25}} = 0,21 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije = 1

$$M_{b,Rd} = M_{c,Rd} = 15339 \text{ kNm}$$

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

$$621,49 \text{ kNm} < 15339 \text{ kNm}$$

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

#### **ULAZNI PODACI:**

$$M_{y,Ed} = 621,49 \text{ kNm}, \quad N_{Ed} = 179,18 \text{ kN (tlak)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za  $\bar{\lambda}_z = 0,69 \geq 0,4$ :

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

$$\alpha_h = M_h / M_s = 621,49 / 442 = 1,41$$

$$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / 621,49 = 0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 1,41 = 1,02$$

$$C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 1,41 = 1,02$$

$$k_{yy} = 1,02 \cdot \left[ 1 + (0,76 - 0,2) \cdot \frac{179,18}{0,81 \cdot 4373 / 1,0} \right] = 1,0487$$

$$k_{yy} = 1,048 < 1,02 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{179,18}{0,81 \cdot 4373 / 1,0} \right] = 1,061$$

$$k_{yy} = 1,048$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,69}{(1,02 - 0,25)} \cdot \frac{179,18}{0,79 \cdot 4373 / 1,0} \right] = 0,995$$

$$k_{zy} = 0,995 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(1,02 - 0,25)} \cdot \frac{179,18}{0,79 \cdot 4373 / 1,0} \right] = 0,993$$

$$k_{zy} = 0,995$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{179,18}{0,81 \cdot 4373 / 1,0} + 1,048 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 704,49 / 1,0} = 0,975 \leq 1,0$$

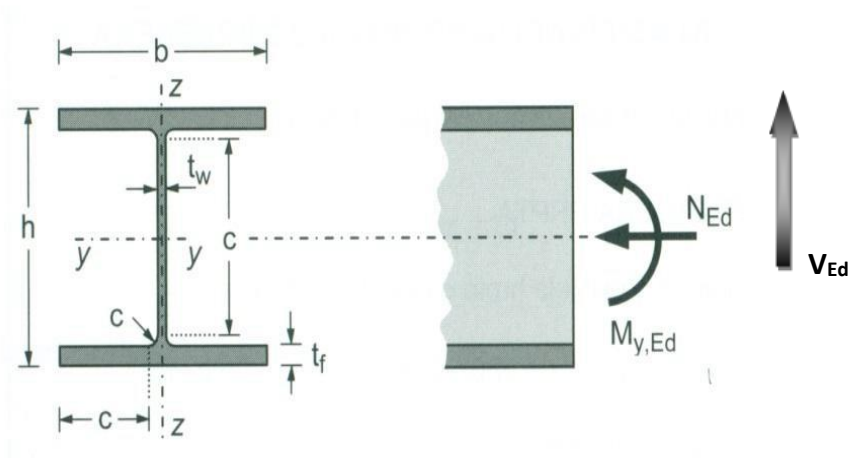
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{179,18}{0,79 \cdot 4373 / 1,0} + 0,995 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 704,49 / 1,0} = 0,929 \leq 1,0$$

**Profil HEA400 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:**

$$\eta = 93\%$$

## 5.1. 2. STUPOVI



Slika 5.1.2.1 Poprečni presjek stupa

Tip presjeka:	<b>valjani HEA 500</b>
Visina presjeka:	$h = 490 \text{ mm}$
Širina pojasnice:	$b = 300 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t(t_f) = 23 \text{ mm}$
Debljina hrbata:	$s(t_w) = 12 \text{ mm}$
Radijus zakrivljenosti:	$r = 27 \text{ mm}$
Površina:	$A = 198 \text{ cm}^2$
Moment tromosti:	$I_y = 67\,000 \text{ cm}^4$ $I_z = 1\,040 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_{pl,y} = 3950,0 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 105,83 \text{ cm}^3$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 5\,643\,100 \text{ cm}^6$
Torzijska konstanta:	$I_t = 309 \text{ cm}^4$

ULAZNI PODACI:

**$M_{y,Ed} = 621,49 \text{ kNm}$ ,  $V_{Ed} = 161,02 \text{ kN}$ ,  $N_{Ed} = 270,07 \text{ kN}$  (tlak)**

Materijal: S275  $\rightarrow f_y = 275 \text{ N/mm}^2$      $\epsilon = 0,92$      $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

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

$$d = h - 2t_f - 2r = 490 - 2 \cdot 23 - 2 \cdot 27 = 390 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32,5$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{270,07}{2 \cdot 12 \cdot 27,5 / 1,0} = 4,09$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{39,0} \left( \frac{39,0}{2} + 4,09 \right) = 0,605 > 0,5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 32,5 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,605 - 1} = 53,07$$

Hrbat je klase 1.

**Pojasnica**

$$c = (b - t_w - 2r) / 2 = (300 - 12 - 2 \cdot 27) / 2 = 117$$

$$t_f = 23 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{117}{23} = 5,09$$

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

$$\frac{c}{t} = 5,09 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,28$$

Pojasnica je klase 1.

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

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

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{198 \cdot 27,5}{1,0} = 5445 \text{ kN} > N_{Ed} = 270,07 \text{ kN}$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3950 \cdot 27,5}{1,0} = 108625 \text{ kNcm} = 1086,25 \text{ kNm} > M_{Ed} = 621,49 \text{ kNm}$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{490 - 2 \cdot 23}{12} = 37$$

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\epsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.}$$

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

$$A_{v,z} = 198 - 2 \cdot 30 \cdot 2,3 + (1,2 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,2 \geq 1,2 \cdot 49,0 \cdot 1,2$$

$$A_{v,z} = 67,92 \geq 67,42$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3}} = \frac{67,92 \cdot 27,5}{\sqrt{3}} = 1078,37 \text{ kN} \geq 161,02 \text{ kN} = V_{Ed}$$

**Interakcija M – V – N**

$$0,5 V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 1078,37 = 539,19 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 161,02 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 539,19 \text{ kN} \rightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.}$$

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

$$270,07 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 5445 \text{ kN} = 1361,25 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 49,0 \cdot 1,2 \cdot 27,5}{1,0} = 808,5 \text{ kN} \rightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na izvijanje od}$$

uzdužne sile.

**Otpornost elementa na izvijanje****-oko osi y-y**

$$L_{cr,y} = 2H = 2 \cdot 6,5 = 13\text{m}$$

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 67000}{1300^2} = 8216,88\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{198 \cdot 27,5}{8216,88}} = 0,81$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

-za valjani presjek debljine pojasnice <40 i savijanje oko y osi → krivulja izvijanja  $\alpha$

-za krivulju izvijanja  $\alpha$ , faktor imperfekcije  $\alpha=0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,81 - 0,2) + 0,81^2] = 0,89$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,89 + \sqrt{0,89^2 - 0,81^2}} = 0,79$$

**- oko osi z-z**

$$L_{cr,z} = H/2 = \frac{6,5}{2} = 3,25\text{ m}$$

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040}{325^2} = 2040,73\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{198 \cdot 27,5}{2040,73}} = 1,63$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije  $\alpha$ :

-za valjani profil  $\rightarrow$  krivulja izvijanja  $b$

-za krivulju izvijanja  $b$ , faktor imperfekcije  $\alpha=0,34$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,63 - 0,2) + 1,63^2] = 2,07$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,07 + \sqrt{2,07^2 - 1,63^2}} = 0,30$$

Mjerodavan je manji  $\chi$ .  $\rightarrow \chi = 0,30$

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

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0,30 \cdot 198 \cdot 27,5}{1,0} = 1633,5 \text{ kN} > N_{Ed} = 270,07 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

### -Otpornost elementa na savijanje (M)

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$L = 350 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{49}{2} = 24,5 \text{ cm}$$

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

$$k = 0,5 \quad C_1 = 2,150$$

$$k_w = 0,5 \quad C_2 = 0$$

$$M_{cr} = 2,15 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040}{(0,5 \cdot 350)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{0,5}{0,5}\right)^2 \cdot \frac{5643100}{1040} + \frac{(0,5 \cdot 350)^2 \cdot 8077 \cdot 309}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040}} + (0 \cdot 24,5)^2 - \right.$$

$$\left. - 0 \cdot 24,5 \right] = 1150543,73 \text{ kNcm} = 11505,44 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 3950 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{3950 \cdot 27,5}{1150543,73}} = 0,31 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije = 1

$$M_{b,Rd} = M_{c,Rd} = 11505,44 \text{ kNm}$$

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

$$621,49 \text{ kNm} < 11505,44 \text{ kNm}$$

### -Interakcija M-N

#### ULAZNI PODACI:

$$M_{y,Ed} = 621,49 \text{ kNm}, \quad N_{Ed} = 270,07 \text{ kN (tlak)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 1,6 \geq 0,4:$$



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

$$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / 621,49 = 0$$

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

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 > 0,4$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[ 1 + (0,81 - 0,2) \cdot \frac{270,07}{0,79 \cdot 5445 / 1,0} \right] = 0,623$$

$$k_{yy} = 0,623 < 0,6 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{270,07}{0,79 \cdot 5445 / 1,0} \right] = 0,630$$

$$k_{yy} = 0,623$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,6}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{270,07}{0,30 \cdot 5445 / 1,0} \right] = 0,924$$

$$k_{zy} = 0,924 > \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{270,07}{0,30 \cdot 5445 / 1,0} \right] = 0,919$$

$$k_{zy} = 0,924$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{270,07}{0,79 \cdot 5445 / 1,0} + 0,623 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 1086,25 / 1,0} = 0,42 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

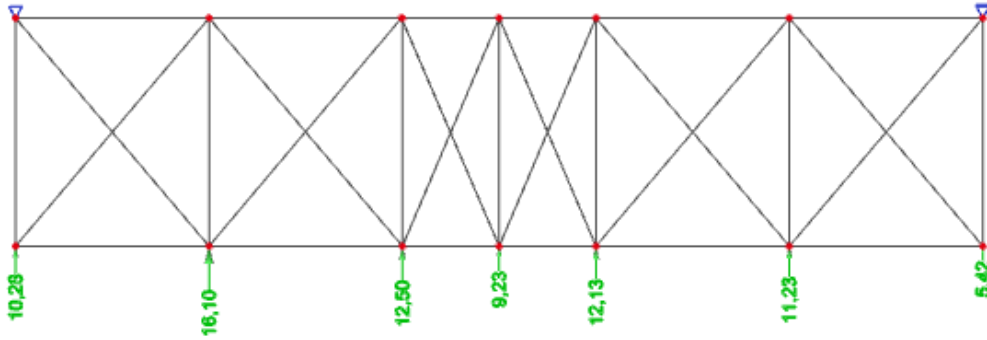
$$\frac{270,07}{0,30 \cdot 5445 / 1,0} + 0,924 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 1086,25 / 1,0} = 0,69 \leq 1,0$$

**Profil HEA500 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:**

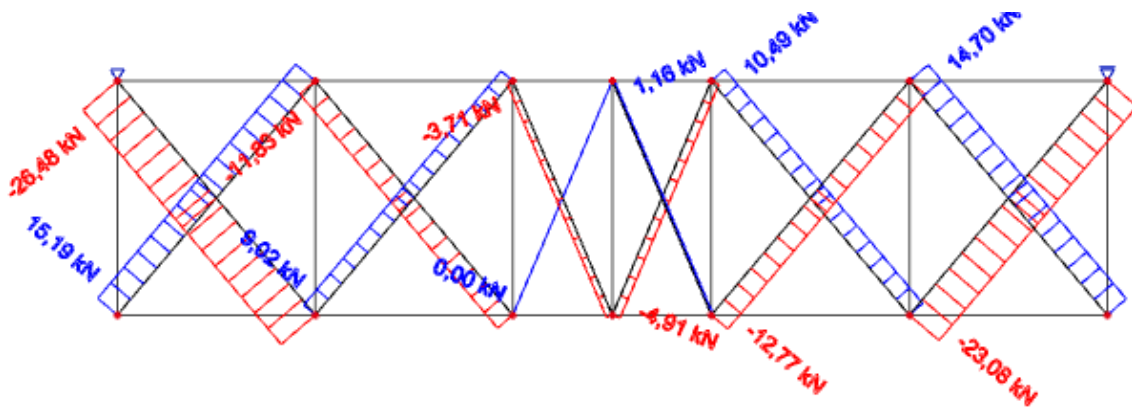
$$\eta = 69\%$$

## 5.2. Sekundarna konstrukcija

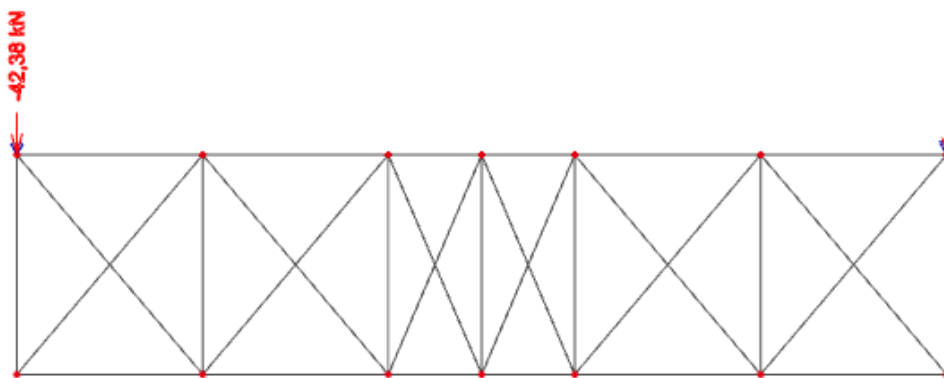
### 5.2.1. KROVNI SPREGOVI



Slika 5.2.1.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.1.2. Maksimalne uzdužne sile u krovnim spregovima



Slika 5.2.1.3. Reakcije nad osloncima

Maksimalna vlačna sila:

$$N_{Ed} = 15,19 \text{ kN}$$

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} \geq \frac{1,0 \cdot 15,19}{27,5} = 0,55 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 0,55}{\pi}} = 0,84 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 16 \text{ mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

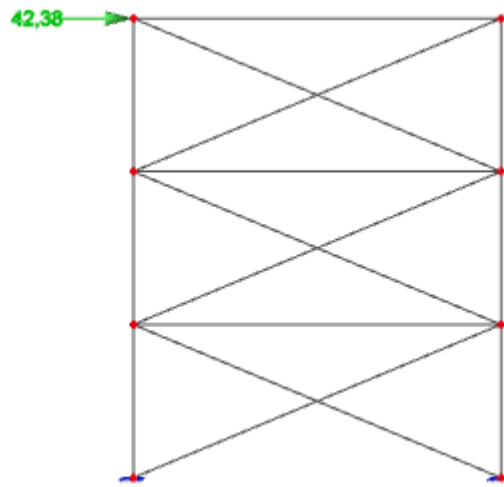
$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,01 \cdot 27,5}{1,0} = 55,29 \text{ kN} > N_{Ed} = 15,19 \text{ kN}$$

Za krovne spregove odabran je profil  $\emptyset 16$ .

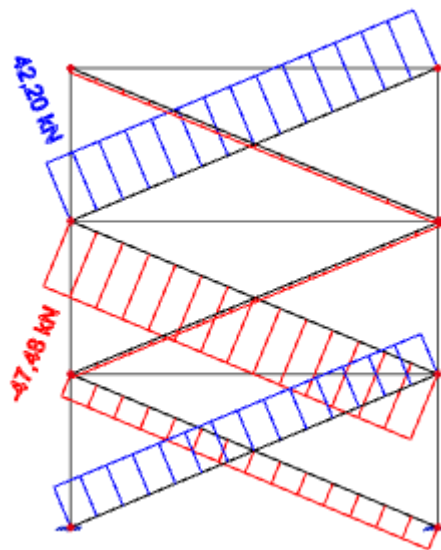
**Odabrani kružni puni poprečni presjek  $\emptyset 16$ , kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru,**

$$\text{sa iskoristivosti: } \eta = \frac{15,19}{55,29} \cdot 100 = 28\% .$$

### 5.2.2. BOČNI SPREGOVI



Slika 5.2.2.1. Raspored bočnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.2.2. Maksimalne uzdužne sile u bočnim spregovima

Maksimalna vlačna sila:

$$N_{Ed} = 42,20 \text{ kN}$$

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} \geq \frac{1,0 \cdot 42,20}{27,5} = 1,53 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1,53}{\pi}} = 1,40 \text{ cm}$$

$$d_{odabrano} = 16 \text{ mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

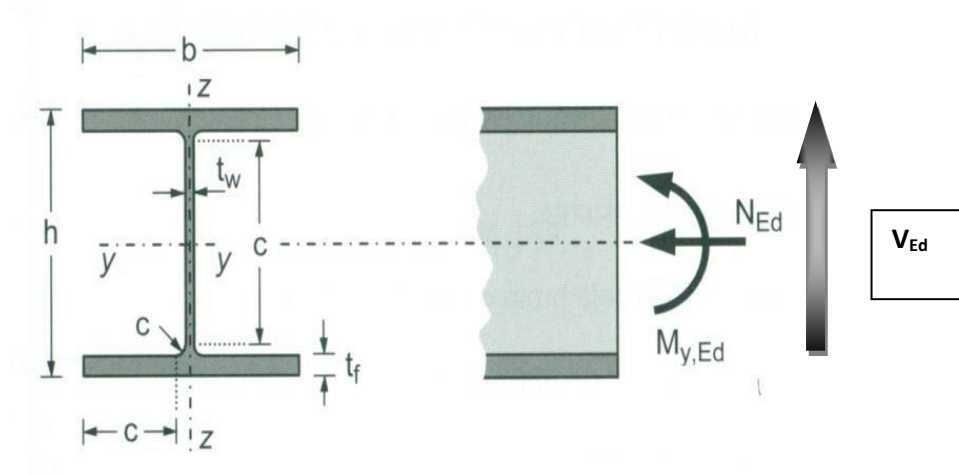
$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,01 \cdot 27,5}{1,0} = 55,28 \text{ kN} > N_{Ed} = 42,20 \text{ kN}$$

Odabrani kružni puni poprečni presjek  $\emptyset 16$ , kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru,

$$\text{sa iskoristivosti: } \eta = \frac{42,20}{55,28} \cdot 100 = 76\% .$$

### 5.2.3. Sekundarni krovni nosači -PODROŽNICE

#### •POPREČNI PRESJEK



Slika 5.2.3.1 Poprečni presjek krovnih nosača

Profil:	<b>IPE 270</b>
Tip presjeka:	valjani
Visina presjeka:	$h = 270 \text{ mm}$
Širina pojasnice:	$b = 135 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 10 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 7 \text{ mm}$
Radius:	$r = 15 \text{ mm}$
Površina:	$A = 45,9 \text{ cm}^2$ $A_y = 27,7 \text{ cm}^2$ $A_z = 18,3 \text{ cm}^2$
Momenti tromosti:	$I_y = 5790 \text{ cm}^4$ $I_z = 420 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_{pl,y} = 484 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 97 \text{ cm}^3$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 70600 \text{ cm}^6$
Torzijska konstanta:	$I_t = 15,9 \text{ cm}^4$

#### ULAZNI PODATCI:

$$M_{y,Ed} = 9,78 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 10,83 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 2,59 \text{ kNm} \quad V_{y,Ed} = 2,85 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -40,70 \text{ kN (tlak)}$$

$$\text{Materijal: S275: } f_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad \varepsilon = 0,92 \quad E = 210\,000 \text{ N/mm}^2 \quad \nu = 0,3$$

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 270 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 220 \text{ mm}$$

$$t_w = 7 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{220}{7} = 31,43$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{40,70}{2 \cdot 0,7 \cdot 27,5 / 1,0} = 1,06 \text{ (cm)}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{22} \left( \frac{22}{2} + 1,06 \right) = 0,55 > 0,5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 31,43 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,55 - 1} = 59,24$$

Hrbat je klase 1.

**Pojasnica:**

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{135 - 7 - 2 \cdot 15}{2} = 49 \text{ mm}$$

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{49}{10} = 4,9$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 4,9 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,28$$

Pojasnica je klase 1.

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

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,9 \cdot 27,5}{1,0} = 1262,25kN$$

$$N_{c,Rd} = 1262,25kN > N_{Ed} = 40,70kN$$

**-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju****Savijanje oko osi y-y:**

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484 \cdot 27,5}{1,0} = 13310kNcm = 133,10kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 133,10kNm > M_{y,Ed} = 9,78kNm$$

**Savijanje oko osi z-z:**

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97 \cdot 27,5}{1,0} = 2667,5kNcm = 26,7kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 26,7kNm > M_{z,Ed} = 2,59kNm$$

**-Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 10}{6} = \frac{250}{6} = 41,67$$



$$41,67 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.}$$

U smjeru osi z-z:

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

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{18,3 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 290,55 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 290,55 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 10,83 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y:

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

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{27,7 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 439,79 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 439,79 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 2,85 \text{ kN}$$

-Interakcija  $M_y$  i  $M_z$  (dvoosno savijanje):

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

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

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

Savijanje u smjeru osi y-y:

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 290,55 = 145,28 \text{ kN}$$

$V_{z,Ed} = 10,83 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 145,28 \text{ kN} \rightarrow$  Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile (niska razina poprečne sile)

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

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

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

$$N_{Ed} = 40,70 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 1262,25 = 315,56 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile (niska razina uzdužne sile).

$$N_{Ed} = 40,70 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 25 \cdot 0,7 \cdot 27,5}{1,0} = 240,63 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 133,10 \text{ kNm}$$

Savijanje u smjeru osi z-z:

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 439,79 = 246,90 \text{ kN}$$

$V_{y,Ed} = 2,85 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 246,90 \text{ kN} \rightarrow$  Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 26,7 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{9,78}{133,10}\right)^2 + \left(\frac{2,59}{26,7}\right)^1 = 0,10 \leq 1,0$$

**Profil IPE 270 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

**Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili**-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \text{ za presjeke klase 1, 2, 3}$$

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{135} = 2,00 > 1,2 \quad t_f = 10 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

-za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,21$

-za os z-z: krivulja izvijanja  $b \rightarrow \alpha = 0,34$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 520 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5790}{520^2} = 4438,04 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45,9 \cdot 27,5}{4438,04}} = 0,53$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 520 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420}{520^2} = 321,93 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45,9 \cdot 27,5}{321,93}} = 1,98$$

-Očitane vrijednosti:

$$\chi_y = 0,9006$$

$$\chi_z = 0,2021$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi \rightarrow \chi_{\min} = 0,2021$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,2021 \cdot 45,9 \cdot 27,5}{1,0} = 255,10 \text{ kN} > N_{Ed} = 40,70 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa na savijanje**

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$L = 520 \text{ cm}$$

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

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

$$k = 1,0 \quad C_1 = 2,578$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420}{(1,0 \cdot 520)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{70600}{420} + \frac{(1,0 \cdot 520)^2 \cdot 8077 \cdot 15,9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420} + (1,554 \cdot 13,5)^2} - (1,554 \cdot 13,5) \right] = 13810,77 \text{ kNcm} = 138,11 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 484 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{484 \cdot 27,5}{13810,77}} = 0,98 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} < 1,0$$

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja  $\frac{h}{b} = \frac{270}{135} = 2 \leq 2$

Mjerodavna krivulja izvijanja  $\alpha \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,98 - 0,2) + 0,98^2] = 1,06$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,06 + \sqrt{1,06^2 - 0,98^2}} = 0,68 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,68 \cdot 484 \cdot 27,5}{1,0} = 9050,8 \text{ kNcm} = 90,51 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 90,51 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9,78 \text{ kNm}$$

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

Za  $\bar{\lambda}_z = 1,98 \geq 0,4$ :

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

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

$$\alpha_s = M_s / M_h = 14,05 / (-18,97) = -0,74$$

$$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / (-18,97) = 0$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$$

$$k_{yy} = 0,69 \cdot \left[ 1 + (0,53 - 0,2) \cdot \frac{40,70}{0,9006 \cdot 1262,25 / 1,0} \right] = 0,70$$

$$k_{yy} = 0,70 \leq 0,69 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{40,70}{0,9006 \cdot 1262,25 / 1,0} \right] = 0,71$$

$$k_{yy} = 0,70$$

$$k_{zz} = 0,69 \cdot \left[ 1 + (2 \cdot 1,98 - 0,6) \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0} \right] = 0,81$$

$$k_{zz} = 0,81 \leq 0,69 \cdot \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0} \right] = 0,82$$

$$k_{zz} = 0,81$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,81 = 0,49$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,98}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0} \right] = 0,94$$

$$k_{zy} = 0,94 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0} \right] = 0,92$$

$$k_{zy} = 0,92$$

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

$$\frac{40,70}{0,9006 \cdot 1262,25 / 1,0} + 0,70 \cdot \frac{9,78}{0,68 \cdot 133,10 / 1,0} + 0,49 \cdot \frac{2,59}{26,7 / 1,0} = 0,16 \leq 1$$

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

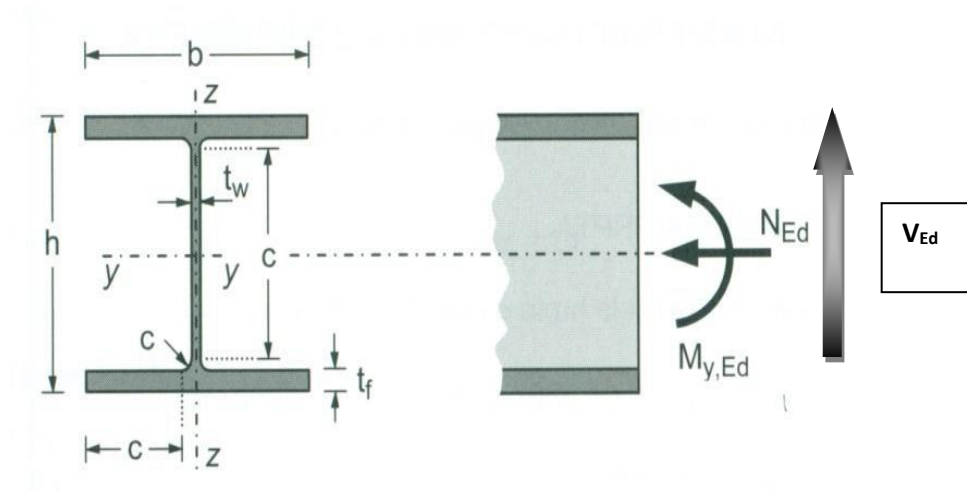
$$\frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0} + 0,92 \cdot \frac{9,78}{0,68 \cdot 133,10 / 1,0} + 0,81 \cdot \frac{2,59}{26,7 / 1,0} = 0,45 \leq 1$$

**Profil IPE 270 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:**

**$\eta = 45\%$ .**

### 5.2.4. Sekundarni bočni nosači

#### • POPREČNI PRESJEK



Slika 5.2.4.1 Poprečni presjek bočnog nosača

Profil:	<b>IPE 180</b>
Tip presjeka:	valjani
Visina presjeka:	$h = 180 \text{ mm}$
Širina pojasnice:	$b = 91 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 8 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 5 \text{ mm}$
Radijus:	$r = 9 \text{ mm}$
Površina:	$A = 23,9 \text{ cm}^2$ $A_y = 14,86 \text{ cm}^2$ $A_z = 9,66 \text{ cm}^2$
Momenti tromosti:	$I_y = 1317 \text{ cm}^4$ $I_z = 101 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_{pl,y} = 166 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} = 34,6 \text{ cm}^3$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 7430 \text{ cm}^6$
Torzijaska konstanta:	$I_t = 4,79 \text{ cm}^4$

#### ULAZNI PODATCI:

$$M_{y,Ed} = 3,11 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 3,45 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 1,34 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 1,48 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -16,59 \text{ kN (tlak)}$$

$$\text{Materijal: S275 : } f_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad \varepsilon = 0,92 \quad E = 210\,000 \text{ N/mm}^2 \quad \nu = 0,3$$



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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 180 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 9 = 146 \text{ mm}$$

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5} = 29,2$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{16,59}{2 \cdot 0,5 \cdot 27,5 / 1,0} = 0,60 \text{ (cm)}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{29,2} \left( \frac{29,2}{2} + 0,60 \right) = 0,52 > 0,5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 29,2 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,52 - 1} = 63,25$$

Hrbat je klase 1.

**Pojasnica:**

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{91 - 5 - 2 \cdot 9}{2} = 34 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\frac{c}{t_f} = 4,25 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,28$$

Pojasnica je klase 1.

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

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,9 \cdot 27,5}{1,0} = 657,25kN$$

$$N_{c,Rd} = 657,25kN > N_{Ed} = 16,59kN$$

**-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju****Savijanje oko osi y-y:**

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166 \cdot 27,5}{1,0} = 4565kNcm = 45,65kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 45,65kNm > M_{y,Ed} = 3,11kNm$$

**Savijanje oko osi z-z:**

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34,6 \cdot 27,5}{1,0} = 951,5kNcm = 9,51kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 9,51kNm > M_{z,Ed} = 1,34kNm$$

**-Posmična otpornost poprečnog presjeka**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{180 - 2 \cdot 8}{5} = \frac{164}{5} = 32,8$$

$$32,8 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.}$$

U smjeru osi z-z:

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

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{9,66 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 153,37 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 153,37 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 3,45 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y:

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

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{14,86 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 235,93 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 235,93 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 1,48 \text{ kN}$$

-Interakcija  $M_y$  i  $M_z$  (dvoosno savijanje):

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

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

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

Savijanje u smjeru osi y-y:

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 153,37 = 76,69 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 3,45 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 76,69 \text{ kN} \longrightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile (niska razina poprečne sile).}$$

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

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

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

$$N_{Ed} = 16,59 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 657,25 = 164,31 \text{ kN}$$

→ Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile (niska razina uzdužne sile).

$$N_{Ed} = 16,59 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 16,4 \cdot 0,5 \cdot 27,5}{1,0} = 112,75 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 45,65 \text{ kNm}$$

Savijanje u smjeru osi z-z:

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 235,93 = 117,97 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1,48 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 117,97 \text{ kN} \longrightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile (niska razina poprečne sile).}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 9,51 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{3,11}{45,65}\right)^2 + \left(\frac{1,34}{9,51}\right)^1 = 0,15 \leq 1,0$$

-Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

### Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \text{ za presjeke klase 1, 2, 3}$$

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1,98 > 1,2 \quad t_f = 8 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

-za os y-y: krivulja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,21$

-za os z-z: krivulja izvijanja  $b \rightarrow \alpha = 0,34$

Izvijanje oko osi y-y:

$$L_{cr,y} = 520 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1317}{520^2} = 1009,48 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{23,9 \cdot 27,5}{1009,48}} = 0,8$$

Izvijanje oko osi z-z:

$$L_{cr,z} = 520 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{520^2} = 77,42 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{23,9 \cdot 27,5}{77,42}} = 2,91$$

-Očitane vrijednosti:

$$\chi_y = 0,7699$$

$$\chi_z = 0,1046$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije  $\chi = \chi_{\min} = 0,1046$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,1046 \cdot 23,9 \cdot 27,5}{1,0} = 68,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 16,59 \text{ kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$L = 520 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0 \quad C_1 = 2,578$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{(1,0 \cdot 520)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(1,0 \cdot 520)^2 \cdot 8077 \cdot 4,79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101} + (1,554 \cdot 9)^2} - \right.$$

$$\left. -(1,554 \cdot 9) \right] = 5483,67 \text{ kNcm} = 54,84 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi:  $W_y = W_{pl,y} = 166 \text{ cm}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{166 \cdot 27,5}{5483,67}} = 0,91 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} < 1,0$$

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:  $\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1,98 < 2$

Mjerodavna krivulja izvijanja  $\alpha \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,91 - 0,2) + 0,91^2] = 0,99$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,99 + \sqrt{0,99^2 - 0,91^2}} = 0,72 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,72 \cdot 166 \cdot 27,5}{1,0} = 3286,8 \text{ kNcm} = 32,87 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 32,87 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 3,11 \text{ kNm}$$

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

Za  $\bar{\lambda}_z = 2,91 \geq 0,4$ :



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

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

$$\alpha_s = M_s / M_h = 4,93 / (-6,65) = -0,74$$

$$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / (-6,65) = 0$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$$

$$k_{yy} = 0,69 \cdot \left[ 1 + (0,8 - 0,2) \cdot \frac{16,59}{0,7699 \cdot 657,25 / 1,0} \right] = 0,70$$

$$k_{yy} = 0,70 \leq 0,69 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{16,59}{0,7699 \cdot 657,25 / 1,0} \right] = 0,71$$

$$k_{yy} = 0,70$$

$$k_{zz} = 0,69 \cdot \left[ 1 + (2 \cdot 2,91 - 0,6) \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0} \right] = 1,60$$

$$k_{zz} = 1,60 \leq 0,69 \cdot \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0} \right] = 0,92$$

$$k_{zz} = 0,92$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,92 = 0,552$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 2,91}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0} \right] = 0,84$$

$$k_{zy} = 0,84 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0} \right] = 0,95$$

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

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

$$\frac{16,59}{0,7699 \cdot 657,25 / 1,0} + 0,70 \cdot \frac{3,11}{0,72 \cdot 45,65 / 1,0} + 0,552 \cdot \frac{1,34}{9,51 / 1,0} = 0,21 \leq 1$$

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

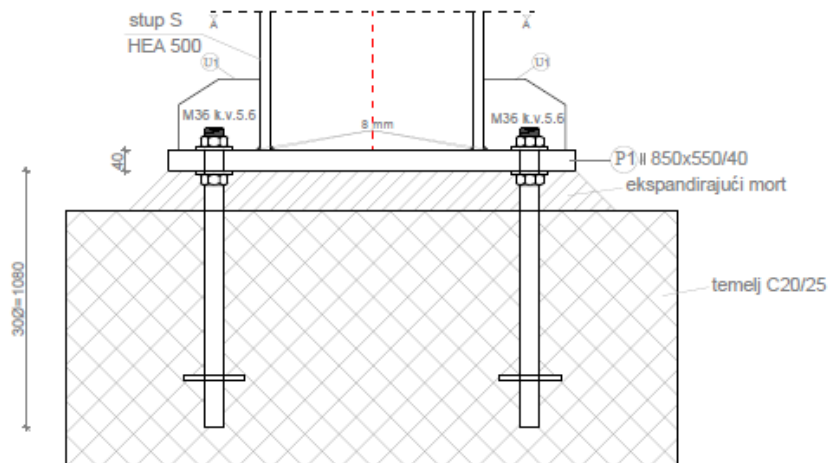
$$\frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0} + 0,95 \cdot \frac{3,11}{0,72 \cdot 45,65 / 1,0} + 0,92 \cdot \frac{1,34}{9,51 / 1,0} = 0,66 \leq 1$$

**Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:**

**$\eta = 66\%$ .**

## 6. Dimenzioniranje spojeva

### 6.1. Upeti spoj D1 stup – temelj



Slika 6.1.1. Detalj spoja stup-temelj "D1"

#### ULAZNI PODACI:

$N_{Ed} = 270,07 \text{ kN (tlak)}$     $M_{Ed} = 425,13 \text{ kNm}$     $V_{Ed} = 161,02 \text{ kN}$

#### Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6   M=36

#### Poprečni presjek:

Profil: HEA 500

$h = 490 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 12 \text{ mm}$

$t_f = 23 \text{ mm}$

**Raspodjela sila po presjeku nosača:****Pojasnice:**

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{425,13}{(0,49 - 0,023)} = 910,34 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{2,3 \cdot 30}{198} \cdot 270,07 = -94,12 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 910,34 - 94,12 = 816,22 \text{ kN (vlak)}$$

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

$$L_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

**Dužina vara hrpta:**

$$L_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (490 - 2 \cdot 23) = 888 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

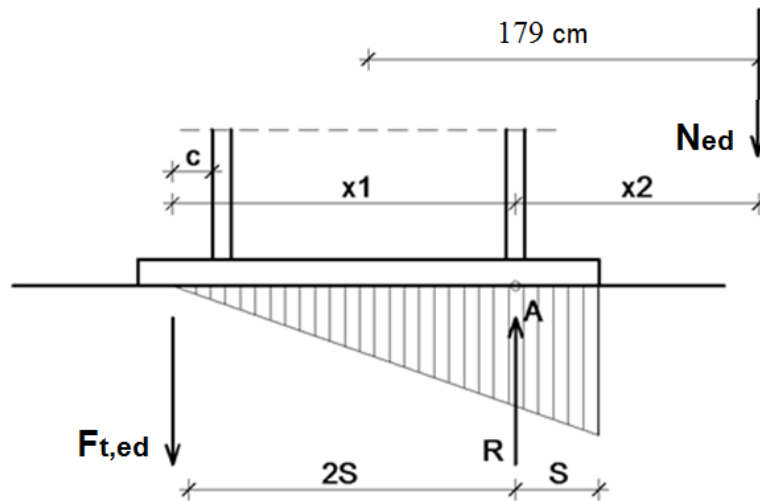
Za pretpostavljeni var **a=8,0mm**

**Kvaliteta vara:**

S275  $F_{w,Rk}=233,7 \text{ kN}$

$$\text{Otpornost vara pojasnice : } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{233,7 \cdot 600}{1,25 \cdot 100} = 1121,76 \text{ kN} > N_p = 816,22 \text{ kN}$$

$$\text{Otpornost vara hrpta: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_2}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{233,7 \cdot 888}{1,25 \cdot 100} = 1660,20 \text{ kN} > N_{Ed} = 270,07 \text{ kN}$$

**Proračun vijaka:**

Slika 6.1.2. Prikaz ekscentriciteta

**Pretpostavljeni vijak**

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 8\sqrt{2} = 83,31\text{mm}$$

Usvojeno  $c = 85 \text{ mm}$ .

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{425,13}{270,07} = 1,57\text{m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 85 + 490 - 23/2 = 563,5\text{mm}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 1570 - 490/2 + 23/2 = 1336,5\text{mm}$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{270,07 \cdot 1336,5}{563,5} = 640,55\text{kN}$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1,25} = 294,16kN > \frac{F_{t,sd}}{n} = \frac{640,55}{4} = 160,14kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na **8 vijaka**.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245,1}{1,25} = 196,08kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{8} = \frac{161,02}{8} = 20,13kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{160,14}{1,4 \cdot 294,16} + \frac{20,13}{196,08} = 0,49 < 1,0$$

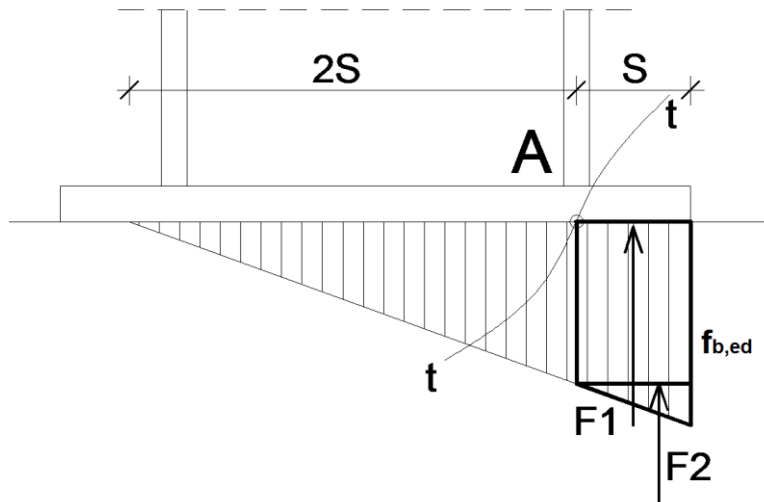
Proračun dimenzija ploče:Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

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

$$b_{pl}^{\min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2 = 3 \cdot 120 + 2 \cdot 70 = 500mm$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 850x550mm**

Proračun debljine ploče

Slika 6.1.3. Shema proračuna debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,sd} = \frac{V_{Ed}}{8} = 20,13 \text{ kN} = F_{b,sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{20,13 \cdot 1,25 \cdot 10}{297,7} = 0,85 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge:

$$S = (850 - 490 + 23) / 2 = 191,5 \text{ mm} = 19,15 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 640,55 + 270,07 = 910,62 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu:

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{910,62}{\frac{3 \cdot 19,15 \cdot 55}{2}} = 0,58 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče:

$$M_{sd} = F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{3 \cdot S}{2} = \frac{2}{3} f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{2}{3} \cdot S =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 5800 \cdot 0.192 \cdot 0.55 \cdot \frac{0.192}{2} + \frac{1}{3} \cdot 5800 \cdot 0.192 \cdot 0.55 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.192 = 52,26 \text{ kNm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot (c + t_f/2) = 61,81 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 6181 \cdot 6}{55 \cdot 27.5}} = 5,19 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 4,0 \text{ cm}$$

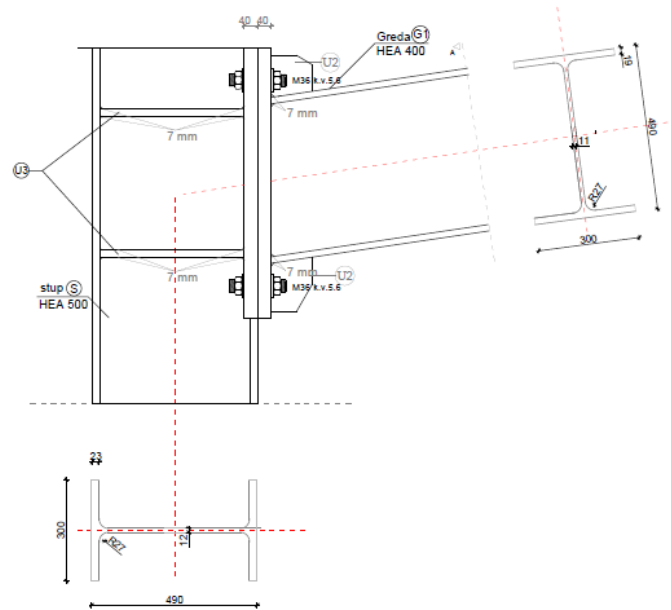
## Napomena:

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 5,19 cm. Iz tog razloga odabiremo za debljinu ploče d=4 cm i po sredini pojasnica uz vijke kao produženje hrpta postavljamo dodatne ukrute koje su zavarene sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuju i stabiliziraju spoj.

**Usvojene dimenzije ploče su 850x550x40 mm.**



## 6.2. Upeti spoj D2 stup – greda



Slika 6.2.1. Spoj stupa i grede "D2"

### ULAZNI PODACI:

$N_{Ed} = 179,18 \text{ kN (tlak)}$     $M_{Ed} = 621,49 \text{ kNm}$     $V_{Ed} = 184,45 \text{ kN}$

### Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6   M=36

### Poprečni presjek:

STUP:

Profil: HEA500

$h = 490 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 12 \text{ mm}$

$t_f = 23 \text{ mm}$

GREDA:

Profil: HEA 400

$h = 490 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 11 \text{ mm}$

$t_f = 19 \text{ mm}$

**Raspodjela sila po presjeku nosača:****Pojasnice:**

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{621,49}{(0,49 - 0,019)} = 1319,51 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{1,9 \cdot 30}{159} \cdot 179,18 = 64,23 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 1319,51 - 64,23 = 1255,28 \text{ kN (vlak)}$$

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

$$L_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

**Dužina vara hrpta:**

$$L_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (490 - 2 \cdot 19) = 904 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 1 = 7,7 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var **a=7,0mm**

**Kvaliteta vara:**

S275  $F_{w,Rk}=204,4 \text{ kN}$

$$\text{Otpornost vara pojasnice : } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{204,4 \cdot 600}{1,25 \cdot 100} = \underline{\underline{981,12 \text{ kN} < N_p = 1255,28 \text{ kN}}}$$

Potrebno je povećati duljinu vara pojasnice ukрутama:

$L_{ukrute}$ : 80mm (na svako kraju pojasnice) sada je

$$L_1^* = 2 \cdot (b + 2 \cdot 80) = 920mm$$

$$F_{w,Rd}^* = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1^*}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{204,4 \cdot 920}{1,25 \cdot 100} = 1504,38kN > N_p = 1255,28kN$$

\*Sada je  $b_{pojasnica} = 460mm$

$$\text{Otpornost vara hrpta: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_2}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{204,4 \cdot 904}{1,25 \cdot 100} = 1478,22kN > N_{Ed} = 179,18kN$$

### Proračun vijaka:

#### Pretpostavljeni vijak

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 \cdot d + a \sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7 \sqrt{2} = 81,90mm$$

Usvojeno  $c = 85 mm$ .

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{621,49}{179,18} = 3,47m$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 85 + 490 - 19/2 = 565,5mm$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 3470 - 490/2 + 19/2 = 3234,5mm$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{179,18 \cdot 3234,5}{565,5} = 1024,86kN$$

#### Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1,25} = 294,16kN > \frac{F_{t,sd}}{n} = \frac{1024,86}{8} = 128,11kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na **8 vijaka**.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245,1}{1,25} = 196,08kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{184,45}{8} = 23,06kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{128,11}{1,4 \cdot 367,7} + \frac{23,06}{245,1} = 0,34 < 1,0$$

Proračun dimenzija ploče:Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 490 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 529,80mm$$

b = 460mm zbog ukruta!

$$b_{pl}^{\min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2 = 3 \cdot 120 + 2 \cdot 70 = 500mm$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 850x550mm**

Proračun debljine pločePritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{8} = 23,05 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{23,05 \cdot 1,25 \cdot 10}{297,7} = 0,96 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot (c + t_f/2) = 96,85 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 9685 \cdot 6}{55 \cdot 27.5}} = 6,50 \text{ cm}$$

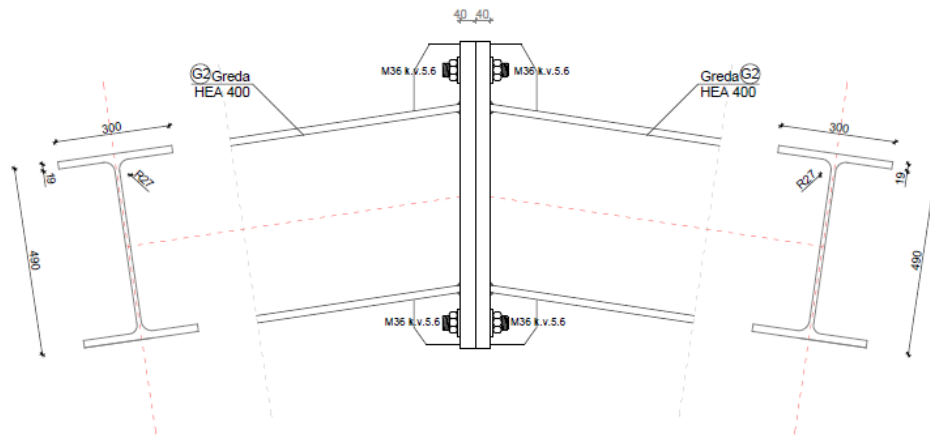
$$t_{pl} = 4,0 \text{ cm}$$

## Napomena:

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 6,50 cm. Iz tog razloga odabiremo za debljinu ploče d=4 cm i po sredini pojasnica uz vijke kao produženje hrpta postavljamo dodatne ukrute koje su zavarene sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuju i stabiliziraju spoj. Također potrebno je izrezati pojasnicu stupa na mjestu montaže ploče i postaviti deblju i širu pojasnicu radi izvedbe spoja.

**Usvojene dimenzije ploče su 850x550x40 mm.**

### 6.3. Upeti spoj D3 greda-greda



Slika 6.3.1. Spoj dvije grede u sljemenu "D3"

#### ULAZNI PODACI:

$N_{Ed} = 179,18 \text{ kN (tlak)}$     $M_{Ed} = 320,09 \text{ kNm}$     $V_{Ed} = 15,16 \text{ kN}$

#### Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6   M=36

#### Poprečni presjek:

Profil: HEA 400

$h = 490 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 11 \text{ mm}$

$t_f = 19 \text{ mm}$

**Raspodjela sila po presjeku nosača:****Pojasnice:**

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{320,09}{(0,49 - 0,019)} = 679,60 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{1,9 \cdot 30}{159} \cdot 179,18 = 65,23 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 679,60 - 65,23 = 614,37 \text{ kN (vlak)}$$

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

$$L_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

**Dužina vara hrpta:**

$$L_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 904 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 11 = 7,7 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var  $a=7,0 \text{ mm}$

**Kvaliteta vara:**

S275  $F_{w,Rk}=204,4 \text{ kN}$

$$\text{Otpornost vara pojasnice : } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1}{\gamma_{M2} \cdot 100} = 981,12 \text{ kN} > N_p = 614,37 \text{ kN}$$

$$\text{Otpornost vara hrpta: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_2}{\gamma_{M2} \cdot 100} = 1478,22 \text{ kN} > N_{Ed} = 179,18 \text{ kN}$$

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

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7\sqrt{2} = 81,90\text{mm}$$

Usvojeno **c = 85 mm.**

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{320,09}{179,18} = 1,77\text{m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 85 + 490 - 19/2 = 565,5\text{mm}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 1770 - 490/2 + 19/2 = 1534,5\text{mm}$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{179,18 \cdot 1534,5}{565,5} = 486,21\text{kN}$$

**Otpornost vijka na vlak:**

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1,25} = 294,16\text{kN} > \frac{F_{t,sd}}{n} = \frac{486,2}{4} = 121,55\text{kN}$$

**Otpornost vijaka na posmik**Poprečna sila se raspoređuje na **4 vijaka.**

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245,1}{1,25} = 196,08\text{kN} > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{15,16}{4} = 3,79\text{kN}$$

**Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak**

$$\frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{121,55}{1,4 \cdot 294,16} + \frac{3,79}{196,08} = 0,31 < 1,0$$



**Proračun dimenzija ploče:****Proračun širine i dužine ploče**

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339,80 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2 = 3 \cdot 120 + 2 \cdot 70 = 500 \text{ mm}$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 850x500mm**

**Proračun debljine ploče**

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v, Sd} = \frac{V_{Ed}}{4} = 3,79 \text{ kN} = F_{b, Sd} < F_{b, Rd} = \frac{F_{b, Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b, Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b, Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3,79 \cdot 1,25 \cdot 10}{297,7} = 0,12 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = F_{t, Sd} \cdot (c + t_f/2) = 45,95 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 4595 \cdot 6}{50 \cdot 27.5}} = 4,7 \text{ cm}$$

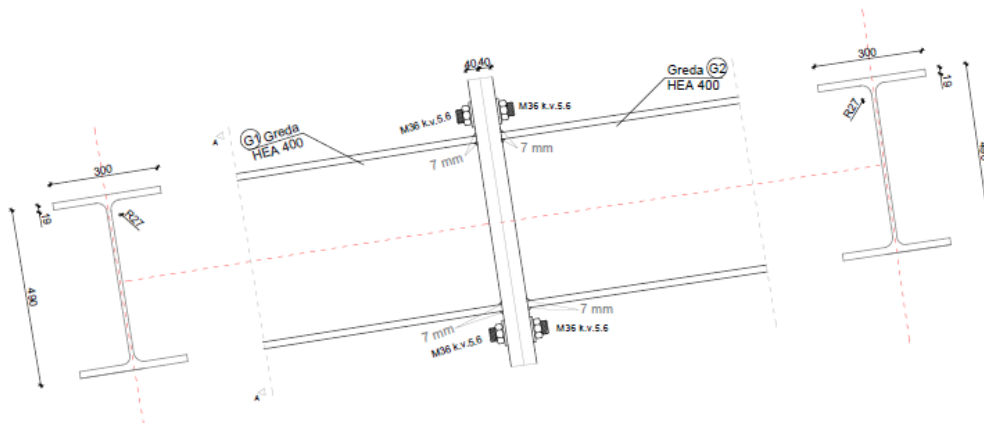
$$t_{pl} = 4,0 \text{ cm}$$

Napomena:

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 4,7 cm. Iz tog razloga odabiremo za debljinu ploče d=4 cm i po sredini pojasnice između vijaka kao produženje hrpta postavljamo dodatne ukrute koje su zavarene sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuju i stabiliziraju spoj.

**Usvojene dimenzije ploče su 850x500x40 mm.**

## 6.4. Dimenzioniranje spoja nastavka grede "D4"



Slika 6.4.1. Spoj nastavka grede "D4"

### Ulazni podaci

#### Veličine djelovanja:

$M_{Ed} = 198,60 \text{ kNm}$  ,  $V_{Ed} = 32,40 \text{ kN}$  ,  $N_{Ed} = 179,18 \text{ kN (tlak)}$

#### Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6

#### Poprečni presjek:

Profil: HEA 400

$h = 490 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 11 \text{ mm}$

$t_f = 19 \text{ mm}$

**Raspodjela sila po presjeku nosača:****Pojasnice:**

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{198,60}{(0,49 - 0,019)} = 421,66kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{30 \cdot 1,9}{159} \cdot 179,18 = -64,23kN$$

30 Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 421,66 - 64,23kN = 357,43kN = F_{w,ed}$$

**Kontrola varova:**

Dužina vara pojasnice:

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

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (490 - 2 \cdot 19) = 904mm$$

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

$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 11 = 7,7mm$$

Za pretpostavljeni var: **a=7,0mm** →  $F_{w,rk} = 204,4$

Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{204,4}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 981,12kN > F_{w,ed} = 357,43kN$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{204,4}{1,25} \cdot \frac{904}{100} = 1478,22kN > V_{Ed} = 32,40kN$$

**Pretpostavljeni vijak:**

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7\sqrt{2} = 81,31mm$$

Usvojeni **c = 85 mm**.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{198,60}{179,18} = 1,11m$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 85 + 490 - \frac{19}{2} = 565,5mm = 0,566m$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 1110 - \frac{490}{2} + \frac{19}{2} = 875mm = 0,88m$$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{ed} \cdot x_2 = F_{t,ed} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,ed} = \frac{N_{ed} \cdot x_2}{x_1} = \frac{179,18 \cdot 0,88}{0,566} = 278,58kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1,25} = 294,16kN > \frac{F_{t,ed}}{2} = \frac{278,58}{2} = 139,29kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na **4 vijaka**.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245,1}{1,25} = 196,08kN > F_{v,ed} = \frac{V_{ed}}{4} = \frac{32,40}{4} = 8,10kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,ed}}{1,4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,ed}}{F_{v,rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{278,58}{1,4 \cdot 294,16} + \frac{8,10}{196,08} = 0,72 \leq 1,0$$

**Proračun dimenzija ploče:**

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 120 + 2 \cdot 70 = 260mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339,80mm$$

**Odabrane dimenzije dužine i širine ploče su 850x400 (mm)**

Proračun debljine ploče**Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala**

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{32,40}{4} = 8,10 \text{ kN} = F_{b,Ed} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{8,10 \cdot 1,25 \cdot 10}{297,7} = 0,4 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

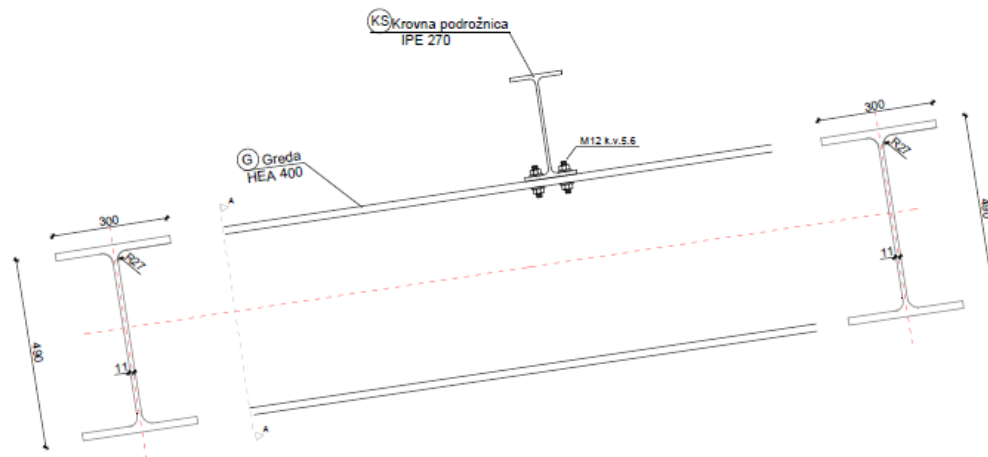
$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2}\right) = 278,58 \cdot (0,085 + 0,0095) = 26,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1986 \cdot 6}{40 \cdot 27,5}} = 3,45 \text{ cm}$$

$$t_{pl} = 3,45 \text{ cm}$$

**Usvojene dimenzije ploče su 850x400x40 mm**

## 6.5. Dimenzioniranje spoja krovne podrožnice na gredu "D5"



Slika 6.5.1. Spoj krovne podrožnice i grede "D5"

### Ulazni podaci

-Mjerodavna kombinacija je za podtlačno djelovanje vjetra jer najnepovoljnije djeluje na spoj.

$V_{z,Ed} = 3,04 \text{ kN (odizanje)}$

$V_{y,Ed} = 62,13 \text{ kN (uzdužna sila } N_{Ed})$

### Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6

### Poprečni presjek:

Krovna podrožnica:

Profil: IPE 270

$h = 270 \text{ mm}$

$b = 135 \text{ mm}$

$t_w = 7 \text{ mm}$

$t_f = 10 \text{ mm}$

Greda:

Profil: HEA 400

$h = 490 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 11 \text{ mm}$

$t_f = 19 \text{ mm}$

**Pretpostavljeni vijak**

M 12 ; k.v. 5.6

**Otpornost vijka na vlak:**

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,9}{1.25} = 30,32kN > F_{t,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{3,04}{4} = 0,76kN$$

**Otpornost vijaka na posmik:**

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1.25} = 20,24kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{62,13}{4} = 15,53kN$$

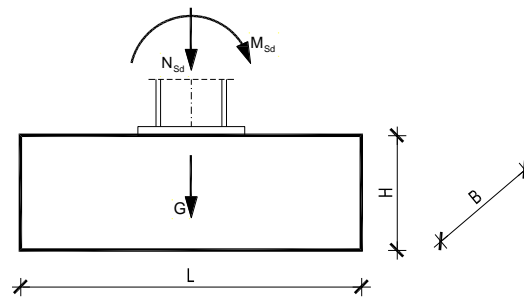
## 7. Proračun temelja

### ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$B = 3,0 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \text{ m}$$



### MATERIJAL

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

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

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

### REZNE SILE

$$N_{Ed} = -270,07 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 161,02 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 425,13 \text{ kNm}$$

Površina temeljne stope

$$A = L \cdot B = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2,5 \cdot 3,0 \cdot 1,5 \cdot 25 = 281,25 \text{ kN}$$

Moment otpora temeljne stope

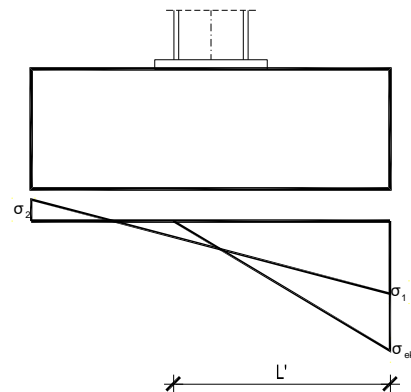
$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{3,0 \cdot 2,5^2}{6} = 3,13 \text{ m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{270,07 + 281,25}{7,5} \pm \frac{425,13}{3,13} = 73,51 \pm 135,82$$

$$\sigma_1 = 209,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_2 = -62,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

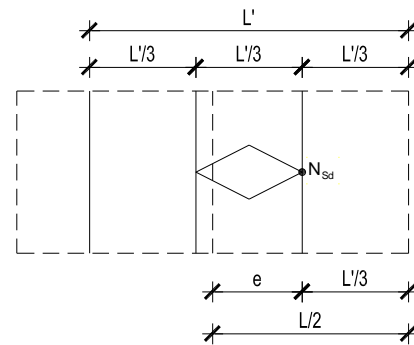




$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{425,13}{270,07 + 281,25} = 0,77 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2,5}{2} - 0,77 \right) = 1,44 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (270,07 + 281,25)}{1,44 \cdot 3,0} = 255,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,lim} = 300,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



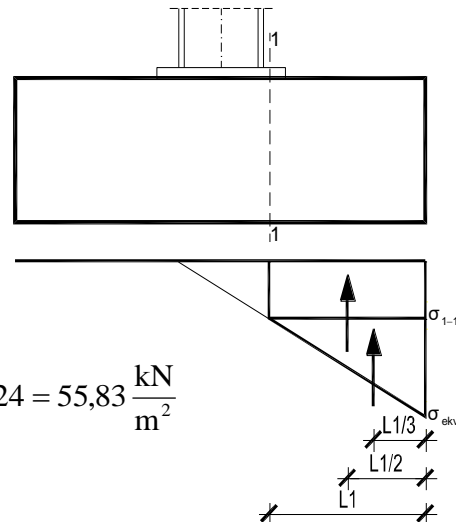
### PRORAČUN ARMATURE TEMELJA

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,5 - 0,25}{2} = 1,125 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1,44 - 1,125}{1,44} \cdot 255,24 = 55,83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1,4 \cdot \left( 55,83 \cdot \frac{1,125^2}{2} \cdot 3,0 + \frac{255,24 - 55,83}{2} \cdot 1,125 \cdot 3,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1,125 \right) = 501,72 \text{ kNm}$$



Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ m} = 120 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{50172}{120 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 9,62 \text{ cm}^2 < A_{S1,min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 45 \text{ cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

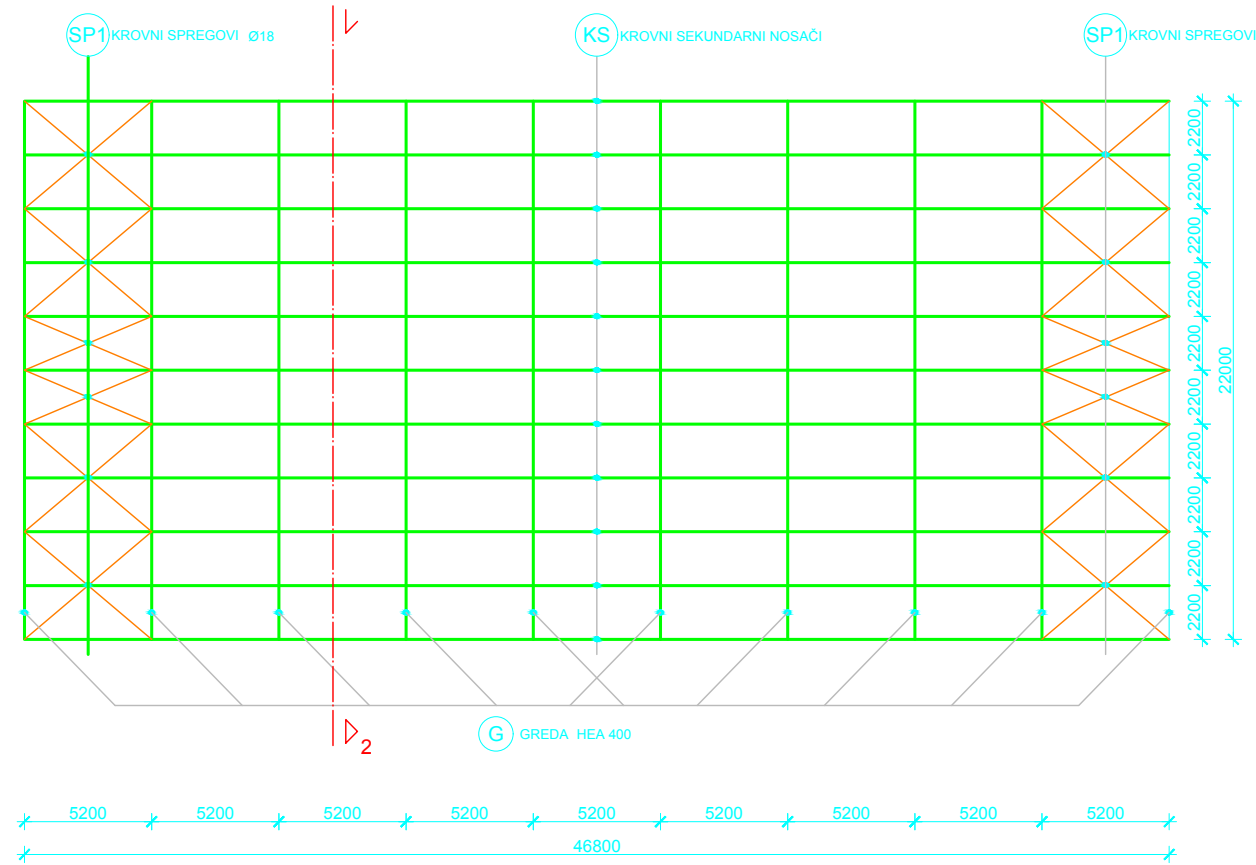
Odabrano: glavna armatura →  $\varnothing 22/10$  12 kom = 45,62 cm<sup>2</sup>  
 razdjelna armatura →  $\varnothing 8/25$

## **LITERATURA**

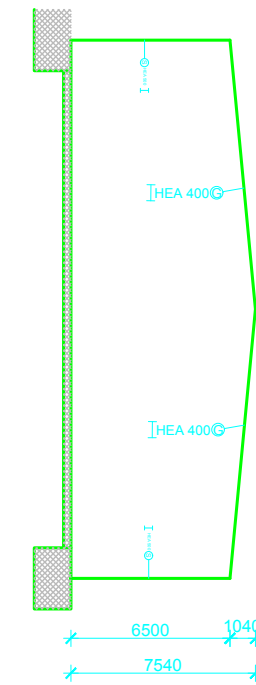
- [1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
  
- [2] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau.
  
- [3] Ivica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

## **8. Nacrti**

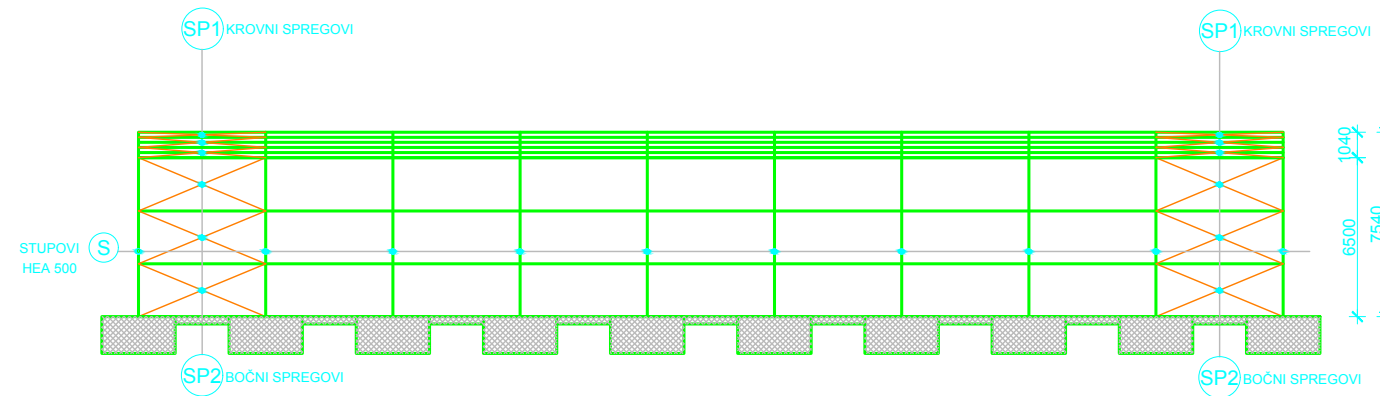
## TLOCRTNI PRIKAZ



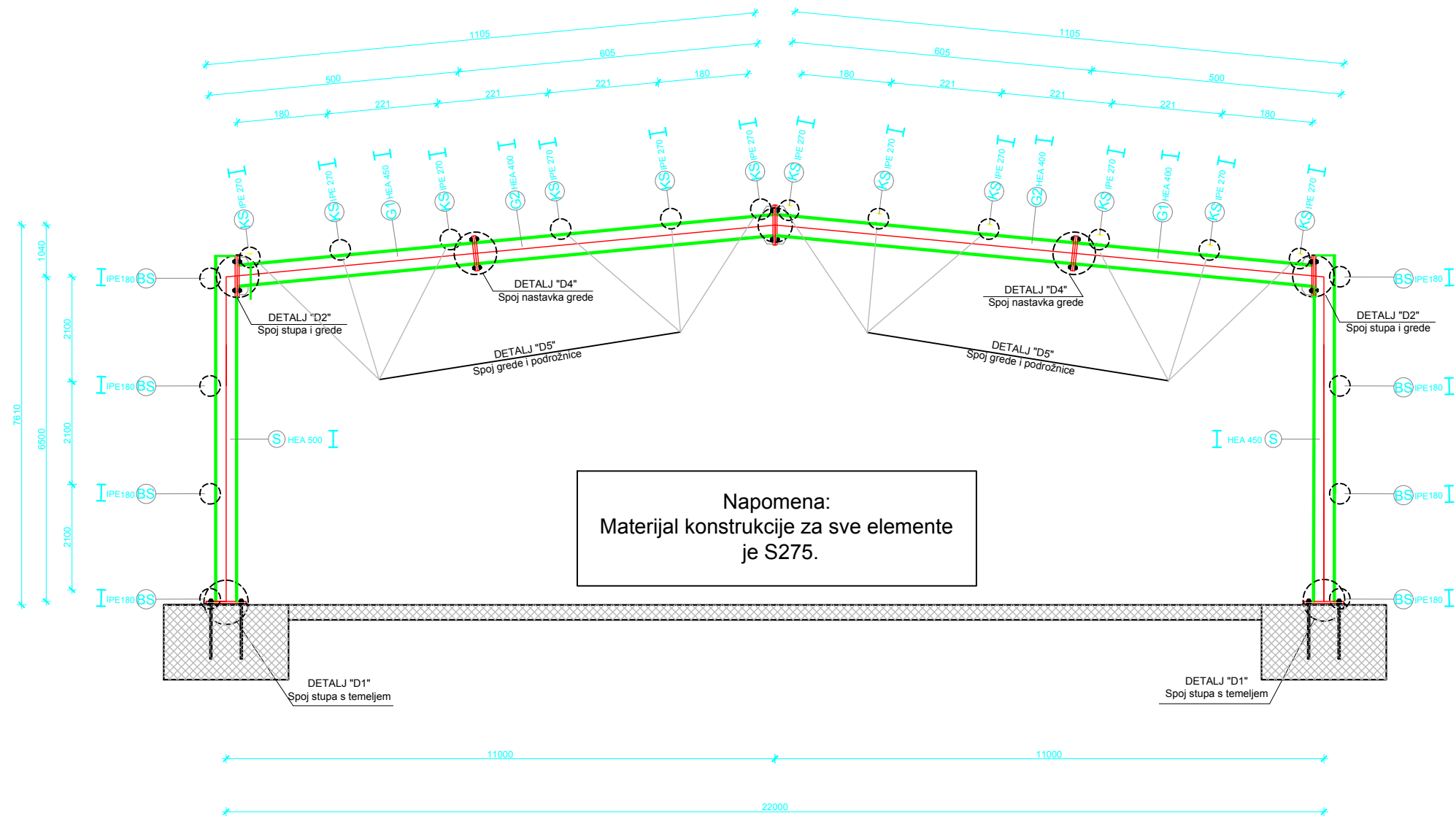
## GENERALNI PLAN POZICIJA M1:200



## BOČNI PRIKAZ



# POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA M 1:50

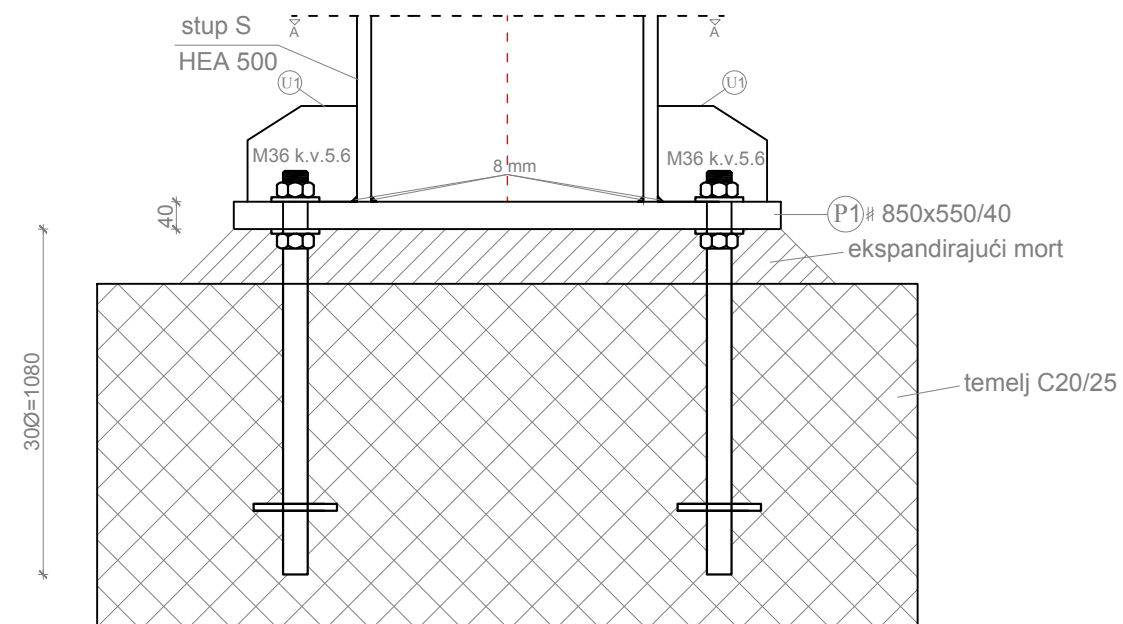


Napomena:  
Materijal konstrukcije za sve elemente  
je S275.

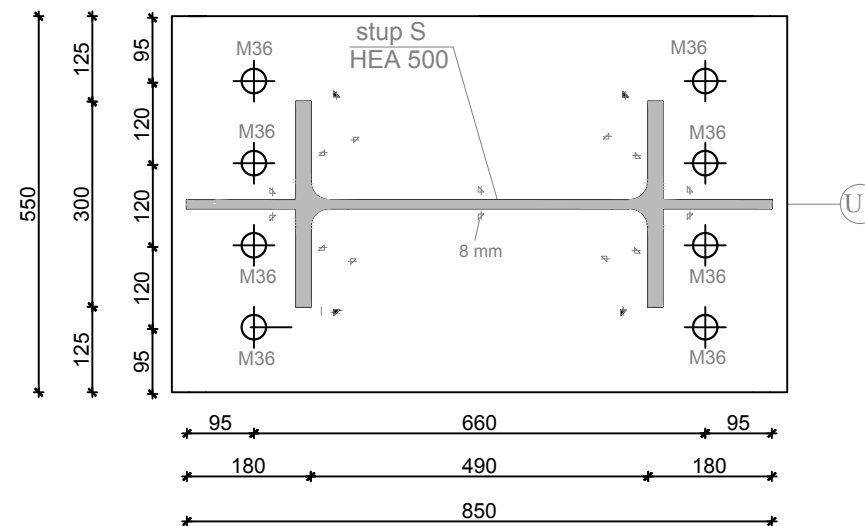



TEMA		Osnove metalnih konstrukcija	
STUDENT		Marija Antolović	
SADRŽAJ		MJERILO	1:50
DATUM		BROJ PRILOGA	2

## DETALJ SPOJA "D1" STUP-TEMELJ M 1:10

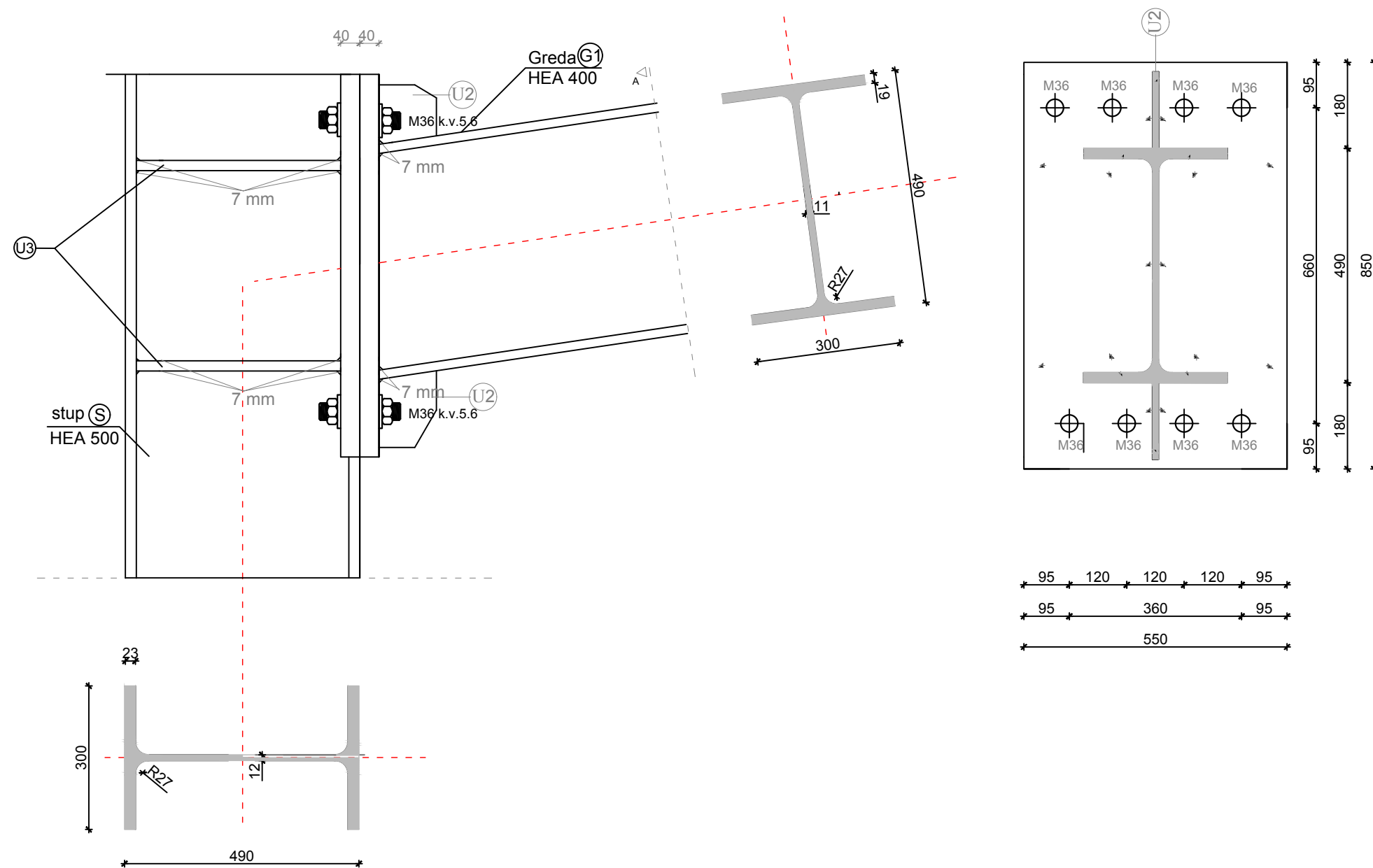


A-A



 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Marija Antolović, 1653
	SADRŽAJ	Detalj spoja stupa i temelja
DATUM	veljača 2018	MJERILO 1:10 BROJ PRILOGA 3

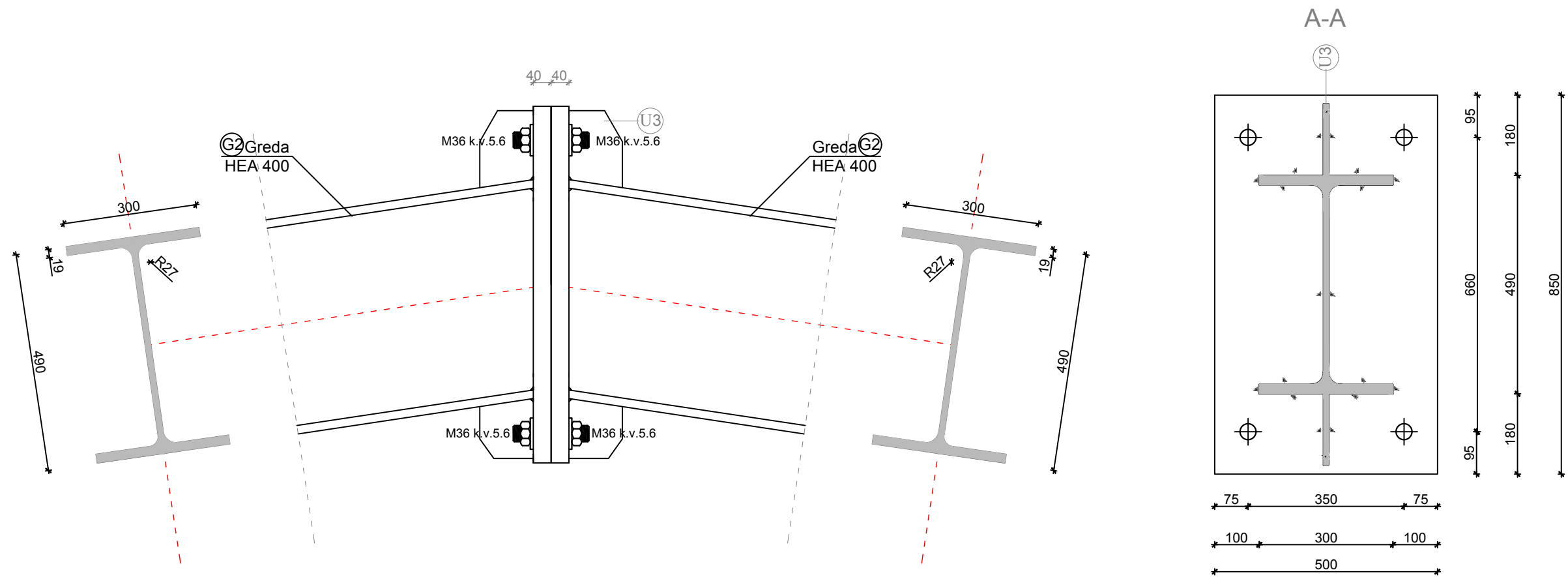
# DETALJ SPOJA "D2" STUP-GREDA M 1:10




SVEUČILIŠTE U SPLITU,  
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
 ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija	
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović
SADRŽAJ	Detalj spoja stupa i grede
DATUM	2016
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	4

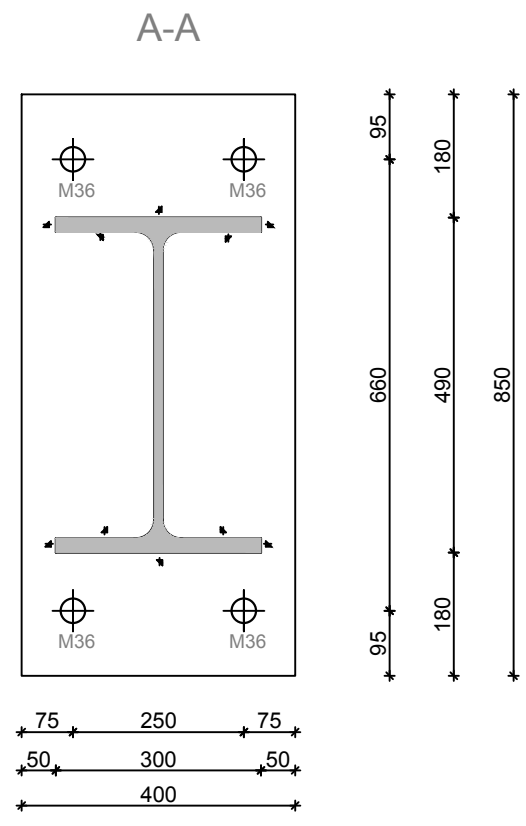
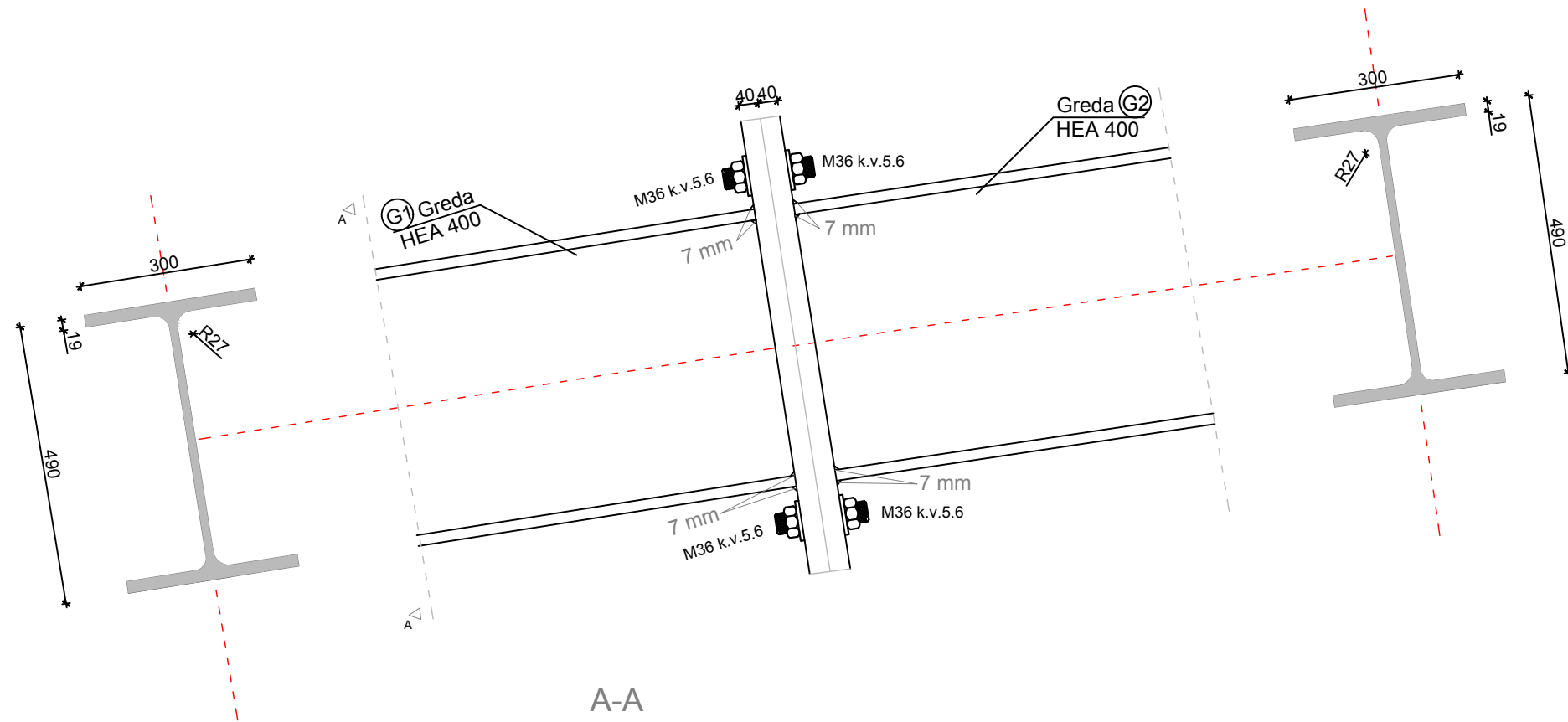
# DETALJ SPOJA "D3" GREDA-GREDA M 1:10



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Marija Antolović, 1653
	SADRŽAJ	Detalj spoja dviju greda u sljemenu
DATUM	veljača 2018	MJERILO 1:10 BROJ PRILOGA 5



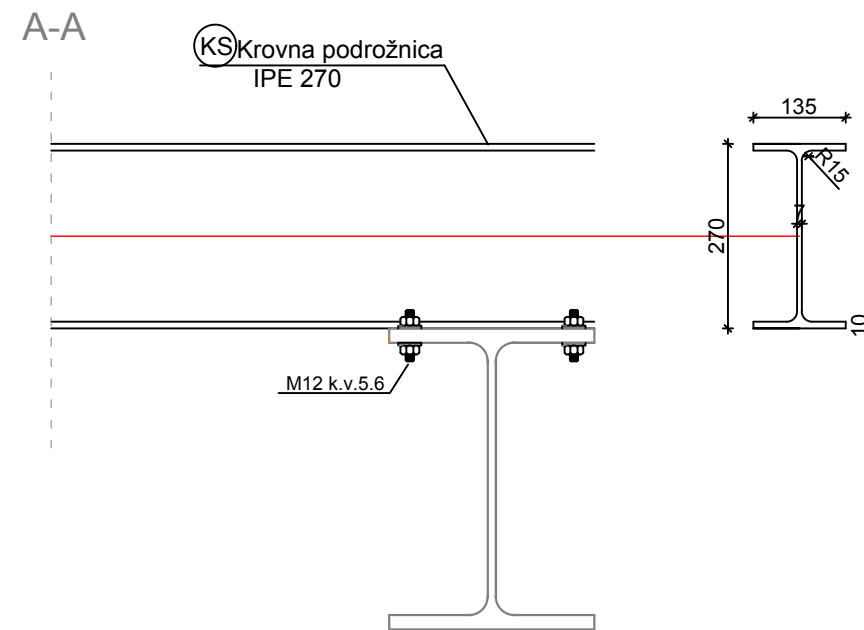
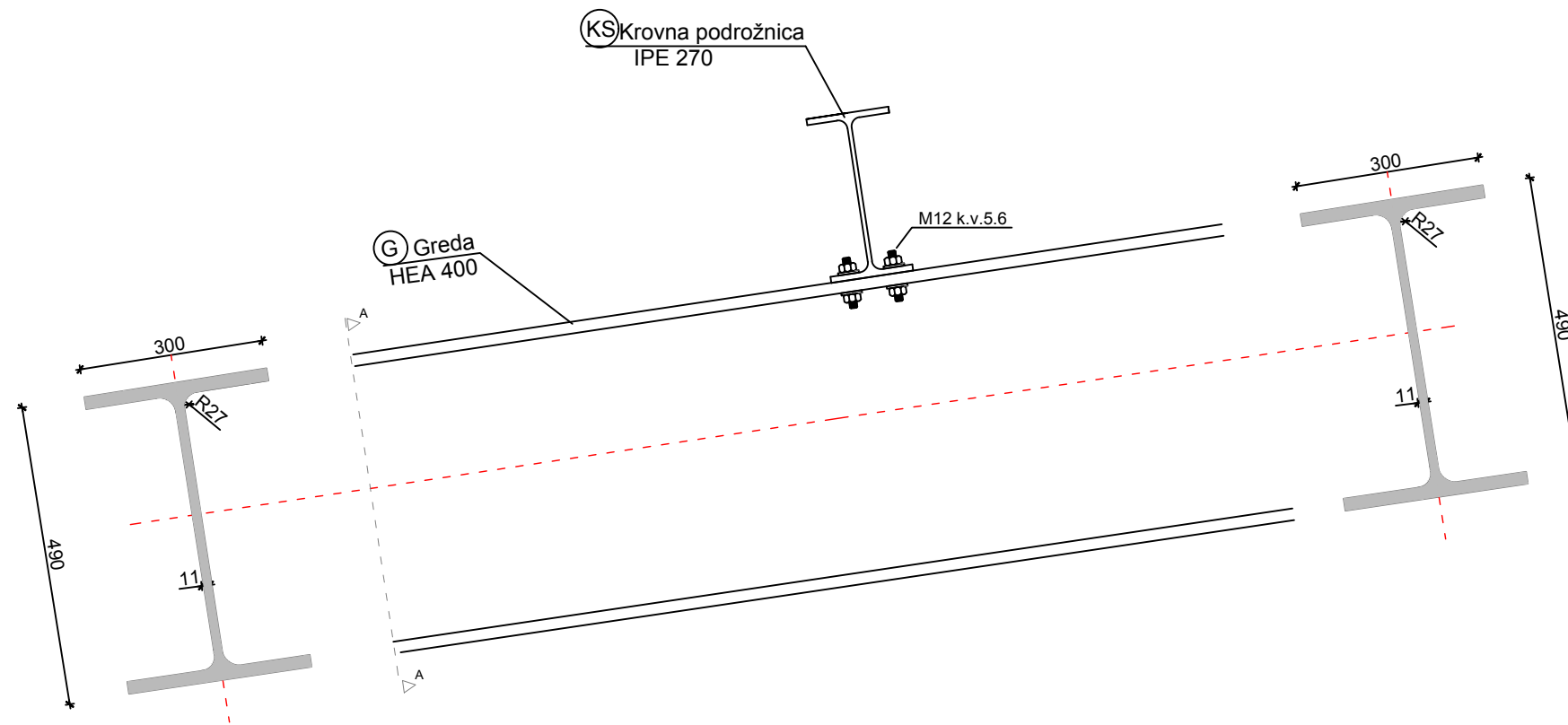
# DETALJ SPOJA "D4" GREDA-GREDA M 1:10



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

Osnove metalnih konstrukcija	
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović, 1653
SADRŽAJ	Detalj spoja nastavka grede
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	6

# DETALJ SPOJA "D5" PODROŽNICA-GREDA M 1:10

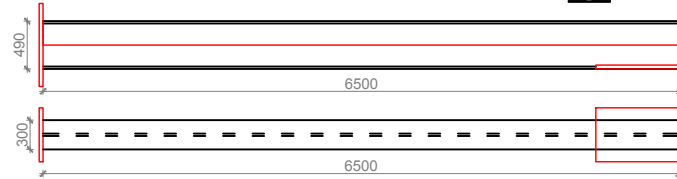


**UCA**  
 SVEUČILIŠTE U SPLITU,  
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
 ARHITEKTURE I GEODEZIJE

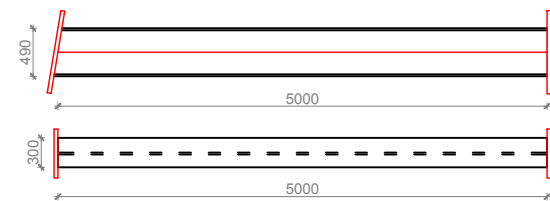
Osnove metalnih konstrukcija	
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović, 1653
SADRŽAJ	Detalj spoja krovne podrožnice i grede
DATUM	veljača 2018
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	7

# RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

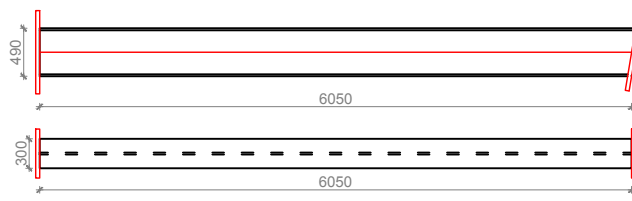
STUP (S) HEA 500, L=6500 mm, 2x10 kom



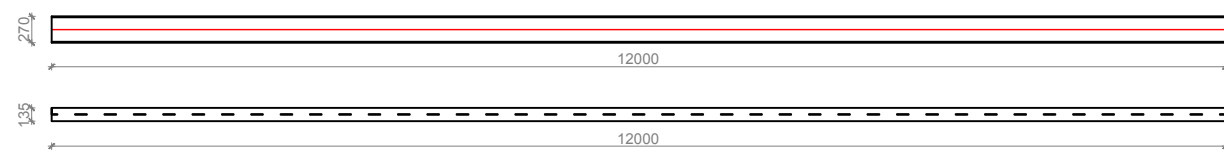
GREDA (G1) HEA 400, L=5000 mm, 2x10kom



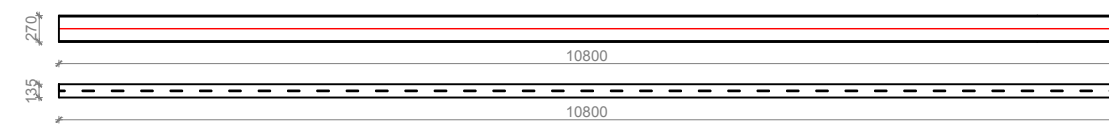
GREDA (G2) HEA 400, L=6050 mm, 2x10kom



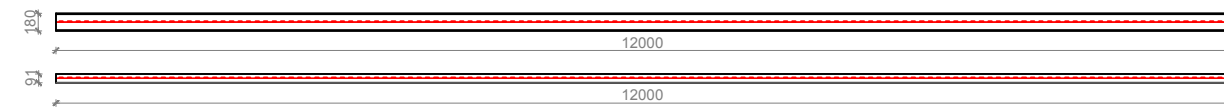
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČ (KS1) IPE 270, L=12000 mm, 11 X 3kom



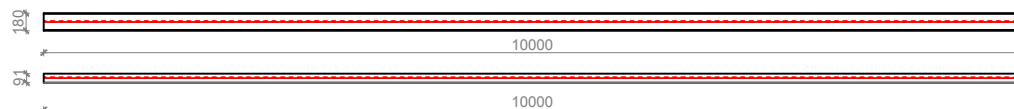
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČ (KS2) IPE 270, L=10800 mm, 11 X 1kom



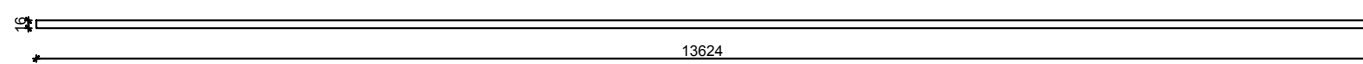
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČ (BS1) IPE 180, L=12000 mm, 8 X 3kom



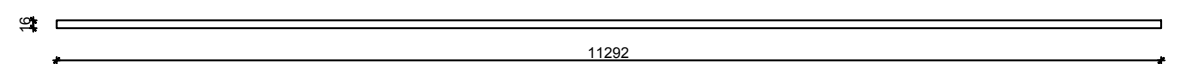
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČ (BS2) IPE 180, L=10800 mm, 8 X 1kom



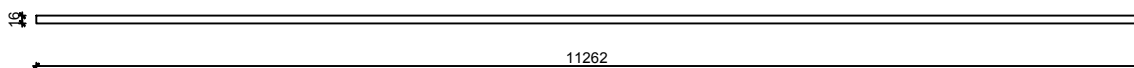
KROVNI SPREG Ø16, L= 13624mm, 4X2 kom



KROVNI SPREG Ø16, 11292mm, 2X2 kom



BOČNI SPREG Ø16, L=11262 mm, 6X2 kom



## PRIKAZ PLOČICA M 1:10

Pločica (P1);  
850x550/40



Pločica (P3);  
850x500/40



Pločica (P2);  
850x550/40




Pločica (P4);  
850x400/40



# TABLICA PREDMJERA MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 500	6500	20	155,43	20205,90
Greda (G1)	HEA 400	5000	20	124,82	12582,00
Greda (G2)	HEA 400	6050	20	124,82	15103,20
Krovni sekundarni nosač (KS1)	IPE 270	12000	33	36,03	14267,88
Krovni sekundarni nosač (KS2)	IPE 270	10800	11	36,03	4280,36
Bočni sekundarni nosač (BS1)	IPE 180	12000	24	18,8	5414,44
Bočni sekundarni nosač (BS2)	IPE 180	10800	8	18,8	1624,32
Pločica (P1)	850x550x40	Proračun preko zapremnine	20	Proračun preko zapremnine	2935,90
Pločica (P2)	850x550x40	Proračun preko zapremnine	40	Proračun preko zapremnine	5871,80
Pločica (P3)	850x500x40	Proračun preko zapremnine	20	Proračun preko zapremnine	2669,00
Pločica (P4)	850x400x40	Proračun preko zapremnine	40	Proračun preko zapremnine	4270,40
Krovni spreg(SP1)	Ø16	13624	8	1,57	171,27
Krovni spreg(SP1)	Ø16	11292	8	1,57	141,83
Bočni spreg(SP2)	Ø16	11262	12	1,57	212,18
Ukupno (kg)					89750,48
+2,0% spojna sredstva					1795,01
UKUPNO (kg)					91545,49

	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	STUDENT	Marija Antolović, 1653
	SADRŽAJ	Predmjer materijala
DATUM	veljača 2018	MJERILO BROJ PRILOGA 10