

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

---

Miljak, Frane

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:123:151470>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-02**



*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



Frane Miljak

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I  
GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

ZAVRŠNI RAD

Split, 2018.

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI  
STUDIJGRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Frane Miljak

BROJ INDEKSA: 4291

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka:

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 275

Objekt se nalazi na području Zagreba.

Razmak okvira: 4.3 (m)

U Splitu, 12.9.2018.

Voditelj Završnog rada: prof.dr.sc Ivica Boko

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

## **Sažetak:**

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije. Objekt se nalazi na području Zagreba. Proračun se provodi na temelju krajnjeg graničnog stanja (KGS) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno: vlastita težina i promjenjivo: snijeg i vjetar. Rezultati unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia Engineer 2017“.

## **Ključne riječi:**

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

# Design of a steel manufacturing hall

## **Abstract:**

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: it is main supporting structure, secondary structure and bracings. Object is located in Split. Estimate is based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit states (SLS). Loads are permanent: self weight and variable: snow and wind. Results are from „Scia Engineer 2016“.

## **Keywords:**

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

## SADRŽAJ

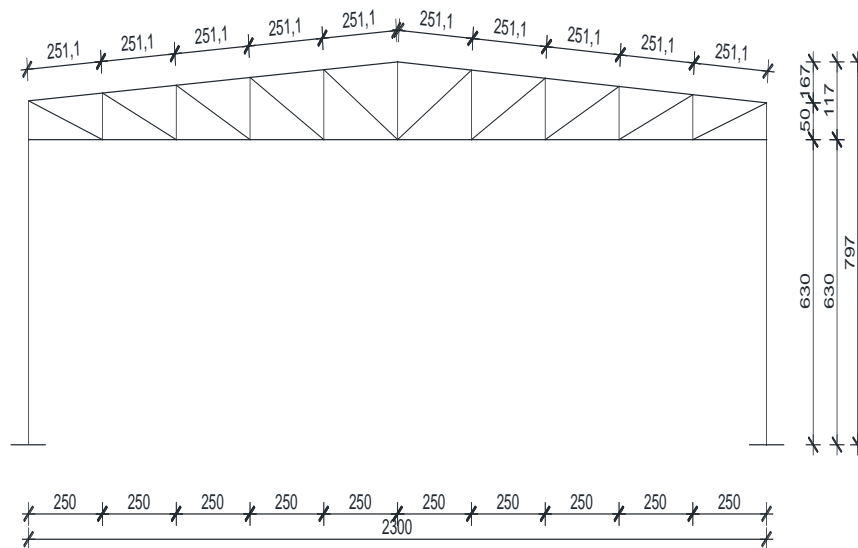
1. TEHNIČKI OPIS .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
1.2.2. STUPOVI .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
2.3. DJELOVANJE VJETRA.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
3. KONTROLA PROGIBA.....	21
3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB.....	22
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA .....	23
4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W2.....	25
4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1.....	26
4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W2) .....	28
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA .....	30
4.2.2. KROVNI .....	32
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI.....	34
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE.....	35
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE.....	45
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....	47
5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA .....	54
5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA.....	57
5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA .....	59
5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA .....	64
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA .....	68
5.2.2. ZABATNI STUPOVI .....	73
5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA .....	78

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA.....	83
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA .....	85
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	91
6.3. SPOJ STUP-REŠETKA.....	93
7. PRORAČUN TEMELJA .....	97
8. LITERATURA .....	99
9. POPIS TABLICA I SLIKA.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
9.2. POPIS TABLICA.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
10. NACRTI .....	100
10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200 .....	101
10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50 .....	102
10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10 .....	103
10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50 .....	104
10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50.....	105
10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10.....	106
10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU .....	107

# 1. TEHNIČKI OPIS

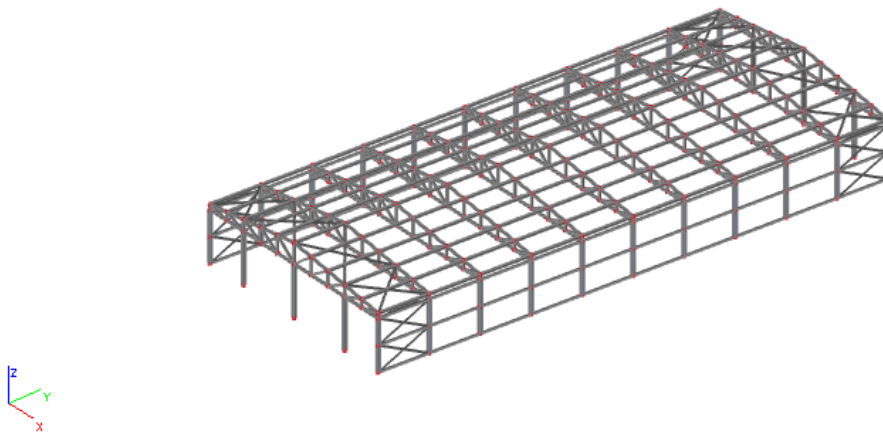
## 1.1. KONSTRUKTIVNI SUSTAV KROVA

Projektom je zadan konstruktivni sustav - rešetkasti nosač raspona  $l = 25,0$  m. Kut nagiba krova prema horizontali iznosi  $5,14^\circ$  što je ekvivalentno nagibu od 9%. Glavni nosači su paralelni u tlocrtu i nalaze se na međusobnom razmaku 4,3 m. Stabilizacija gornjeg pojasa predviđena je prostornim spregovima, visina hale do sljemena iznosi  $H = 7,97$  m, a visina stupova  $h = 6,3$  m.





Glavni nosivi sustav je zamišljen kao 11 ravninskih okvira raspona 25m ,na međusobnom osnom razmaku od 4,3m.



## 1.2. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA

### Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi HEA 280, ukupne duljine 6300mm, isto tako zabatni stupovi su I profila, istoga tipa HEA280. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije usljed djelovanja opterećenja, tj. Pomaci stupa su manji od dopuštenih pomaka.

### Glavni nosači

Glavni nosači predstavljaju nosivi dio konstrukcije i prenose vertikalna opterećenja na nosive zidove i dalje na temeljno tlo. Glavni nosači su dimenzionirani da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenja od snijega i vjetra. Oni su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 120X120X8 spojeni u čvorovima. Sami elementi geometrije prikazani su na generalnom nacrtu.

## Podrožnice

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Elementi podrožnice koji imaju i funkciju vertikala vjetrovnog sprega, I poprečnog presjeka profil IPE200 i nalaze se na razmaku od 2,51m. Podrožnica je okomita na nagib krovne plohe. Pri dimenzioniranju podrožnice koristi se djelovanje snijega, gravitacije i vjetra. Bočne podrožnice su I poprečnog presjeka profila IPE200.

## Spreg

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja. Horizontalne spregove tvore glavni nosači kao pojasevi, glavne podrožnice kao vertikale i dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka Ø20, RD20.

## 1.3. SPOJEVI

### Vlačni nastavak rešetke

Spoj donjeg pojasa se izvodi čeonim pločama dimenzija 260x260x20(mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M22; k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez. Spoj gornjeg pojasa se izvodi čeonim pločama dimenzija 260x260x20(mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M22 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.

### Stup – rešetka

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 430x320x6(mm) i vijcima M16; k.v. 10.9. nosivim na odrez.

### Stup – temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 500x320x8 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M22; k.v. 10.9. nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano-betonski temelj. Između podložne ploče i armirano-betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

### 1.3. STATIČKA ANALIZA SUSTAVA

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

STALNA OPTEREĆENJA: vlastita težina, instalacije, pokrov

PROMJENJIVA OPTEREĆENJA: -snijeg  
-vijetar (tlačno ili podtlačno djelovanje)

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

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

### 1.5. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika Fe-430 (S275).

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

Računske vrijednosti koeficijenata čelika su:

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

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

$$\nu=0.3$$

$$f_y=275\text{ N/mm}^2\text{ za } t\leq 40\text{mm}$$

$$f_y=275\text{ N/mm}^2\text{ za } 40\text{mm}\leq t\leq 80\text{mm}$$

## PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije proveden je prema sljedećim propisima:

-Analiza opterećenja:

- HRN EN 1991    vlastita težina građevine
- HRN EN 1992    djelovanje snijega na konstrukciju
- HRN EN 1993    djelovanje vjetra na konstrukciju

-Dimenzioniranje:

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

## 1.6. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije.

Kao vrsta zaštite od korozije koristi se zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 µm.

## 1.7. ZAŠTITA OD POŽARA

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

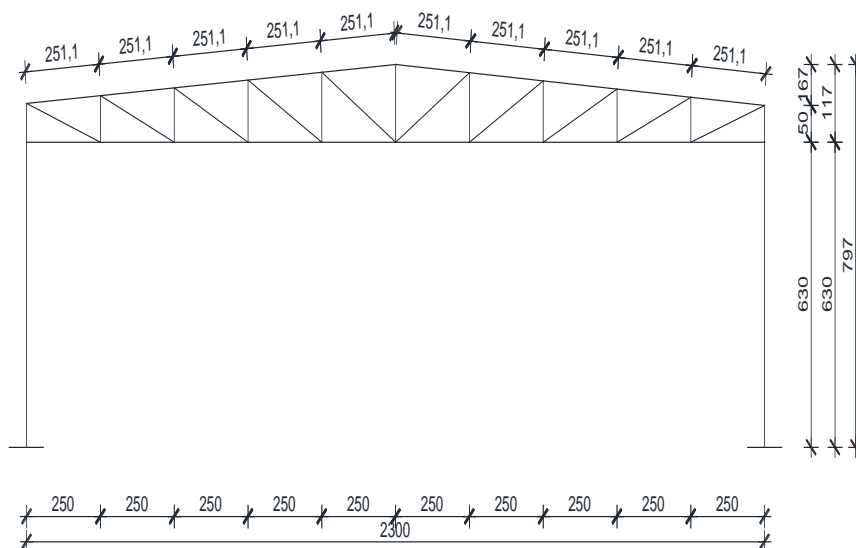
## 1.8. MONTAŽA I TRANSPORT

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

## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. GEOMETRIJA NOSAČA I OPĆI PODACI

#### 2.1.1. GEOMETRIJA



slika 2.1. Geometrija rešetke

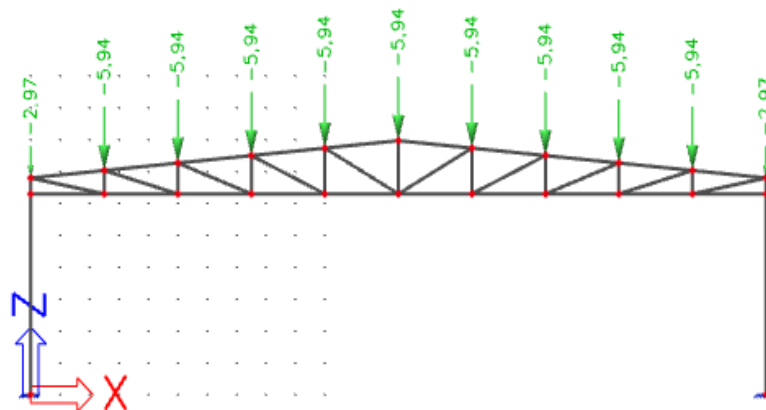
### 2.2. STALNO OPTEREĆENJE - KROVNA PLOHA

- sendvič paneli:.....0.25 kN/m<sup>2</sup>
- sekundarna konstrukcija, spregovi i instalacije:.....0.30 kN/m<sup>2</sup>

$$\Sigma = 0.55 \text{ kN/m}^2$$

$$G = a \cdot l \cdot g \quad a = \frac{2.5}{\cos(5.14)} = 2.51$$
$$G = 2.51 \cdot 4.3 \cdot 0.55 = 5.94 \text{ kN}$$
$$\frac{G}{2} = 2.97 \text{ kN}$$

### 2.2.1. SKICA OPTEREĆENJA



Slika 2.2. Stalno opterećenje G

### 2.3. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - DJELOVANJE SNIJEGA

Opterećenje snijegom na krovu (po tlocrtnoj površini krova) određuje se po formuli:

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

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

$s_k = 1,30 \text{ kN/m}^2$  <=> za Zagreb, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

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

$\alpha$  je nagib krova

$c_e$  => koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

$c_t$  => toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

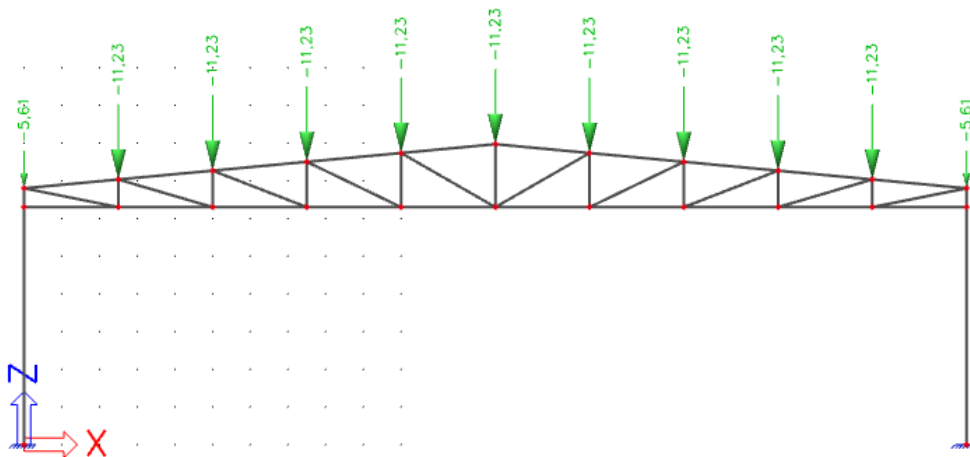
Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s_1 = 1,3 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 1,04 \text{ [ kN/m}^2 \text{ ]}$$

$$S = 1,04 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,30 \text{ m} \cdot 2,51 = 11,23 \text{ kN/m}$$

$$S/2 = 5,61$$

### 2.3.1. SKICA OPTEREĆENJA



Slika 2.3. Promjenjivo opterećenje



## 2.4. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - DJELOVANJE VJETRA

- Pritisak vjetra na vanjske površine:

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

$q_p |z_e|$  - pritisak brzine vjetra pri udaru  
 $z_e$  - referentna visina za vanjski pritisak  
 $c_{pe}$  - koeficijent pritiska za vanjski vjetar

- Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad [\text{kN/m}^2] \rightarrow \text{osnovni pritisak vjetra}$$

$\rho$  - gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa: **1.25 kg/m<sup>3</sup>**)  
 $v_b$  - osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0}$  - fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra  
 $c_{dir}$  - faktor smjera vjetra (obično se uzima **1.0**)  
 $c_{season}$  - faktor doba godine (obično se uzima **1.0**)

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \rightarrow$  očitano iz karte za područje oko Zagreba

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 25 = 25 \quad [\text{m/s}]$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (1/0,05)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(7,97/0,05) = 0,965$$

$$v_m(z) = 0,965 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24,01 \quad (\text{m/s})$$

intezitet turbulencije

$$I_v = 0.197$$

- Pritisak brzine vanjskog vjetra pri udaru:

$$q_p |z_e| = (1 + 7 \cdot 0.197) \cdot 0.5 \cdot 1.25 \cdot 24.01^2 = 0.863 \text{ kN/m}^2$$

### Određivanje faktora izloženosti:

Visina objekta  $h=7,97\text{m}$

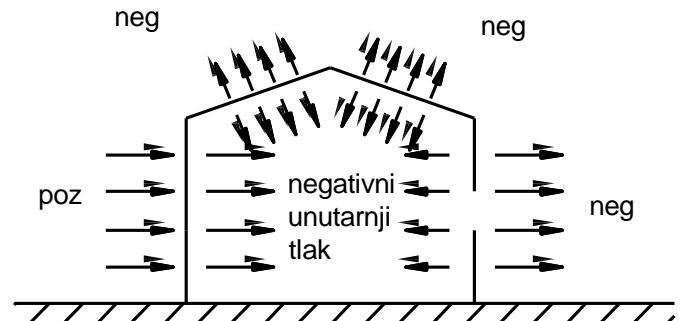
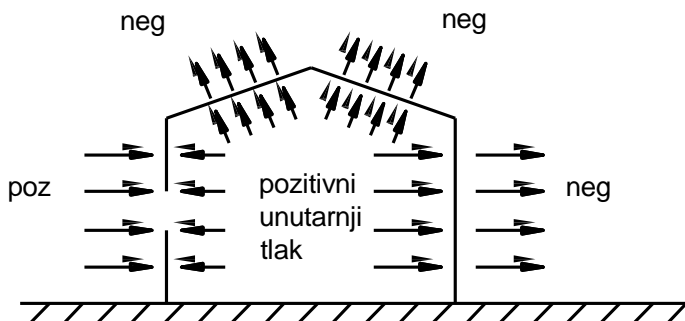
Kategorija zemljišta II

$C_{e(z)}=2.2$

Pritisak brzine vjetrova pri udaru:

$$q_p = q_b \cdot C_{e(z)} = 0.39 \cdot 2.2 = 0.859\text{kN/m}^2$$

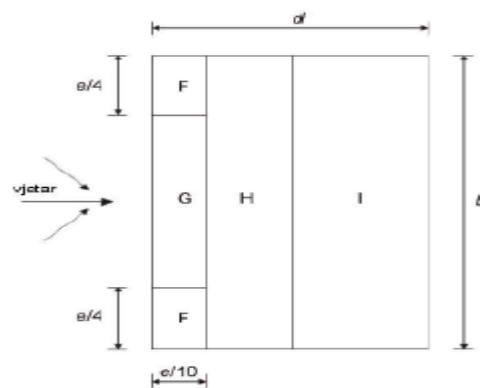
**Uzeta vrijednost:  $0,863\text{kN/m}^2$**



### Određivanje koeficijenta vanjskog pritiska vjetra:

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. Koeficijenti tlaka za svako područje ovise o veličini površine opterećene zone građevine. Dopušta se linearna interpolacija između kutova nagiba krovova (osim kad je kut između  $-5^\circ$  i  $+5^\circ$ , tada se koriste podaci za ravne krovove).

$\alpha = 5,14^\circ > 5^\circ$  (kosi krov)



Slika 2.4. Prikaz područja vjetra za kose krovove

$$e = \min (b; 2 \cdot h) = \min (43; 15.94) \rightarrow e = 15.94 \text{ m}$$

• Pritisak vjetra na unutarnje površine površine:

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

$q_p |z_i|$  - pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_i$  - referentna visina za unutarnji pritisak

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

• Pritisak brzine unutarnjeg vjetra pri udaru:

$$q_p |z_i| = 0.863 \text{ kN/m}^2$$

• Koeficijenti unutarnjeg pritiska  $c_{pi}$ :

Tamo gdje za neki određeni slučaj nije moguća procjena vrijednosti koeficijenta  $\mu$  ili se smatra neopravdanom, za  $c_{pi}$  odabiremo nepovoljniju vrijednost između + 0.2 i - 0.3.

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba  $\alpha=5.14^\circ$ , za područje dvostrešnog kosog krova  $\theta=0$  (određeno interpolacijom iz tablice između  $5^\circ$  i  $15^\circ$ )

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	-1.7	-1.2	-0.6	-0.6	+0.2

Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	0.0	0.0	0.0	-0.6	-0.6

Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

Vrijednosti koeficijenta unutarnjeg pritiska  $C_{pi}=+0.2$   $C_{pi}=-0.3$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.9	-1.4	-0.8	-0.8	0.0

Tablica 3 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi}=+0.2$ )

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.3	-0.3	-0.3	+0.3	+0.3

Tablica 4 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pe}=-0.3$ )

$$w_k = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p = 0,863 \text{ kN/m}^2$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 4.3 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

#### Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.9	-1.4	-0.8	-0.8	0
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-1,64	-1,21	-0,69	-0,69	0
$W_k [\text{kN/m}']$	-7,05	-5,2	-2,97	-2,97	0

Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

#### Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.3	-0.3	-0.3	+0.3	+0.3
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$W_k [\text{kN/m}']$	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12

Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

## Rezultirajuće djelovanje vjetra:

Sile u čvorovima krova

### Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak

$$\begin{aligned}W_1 &= 5,2 \cdot 2,51 / 2 = 6,53 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G} \\W_2 &= 0,345 \cdot 5,2 + 2,165 \cdot 2,97 = -6,93 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G i H} \\W_3 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_4 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_5 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6L} &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6D} &= 0 \rightarrow \text{zona J} \\W_7 &= 0,345 \cdot 0 + 2,165 \cdot 2,97 = -6,43 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_8 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_9 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{10} &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{11} &= 2,97 \cdot 2,51 / 2 = -3,73 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I}\end{aligned}$$

### Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

$$\begin{aligned}W_1 &= 1,12 \cdot 2,5 / 2 = 1,41 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G} \\W_2 &= 1,12 \cdot 0,345 + 1,12 \cdot 2,165 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G i H} \\W_3 &= 1,12 \cdot 2,51 = -2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_4 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_5 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6L} &= 1,12 \cdot 2,51 / 2 = 1,405 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6D} &= 1,12 \cdot 2,51 / 2 = 1,405 \text{ kN} \rightarrow \text{zona J} \\W_7 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_8 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_9 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{10} &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{11} &= 1,12 \cdot 2,51 / 2 = 1,405 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I}\end{aligned}$$

Određivanje koeficijenta vanjskog pritiska na vertikalne zidove

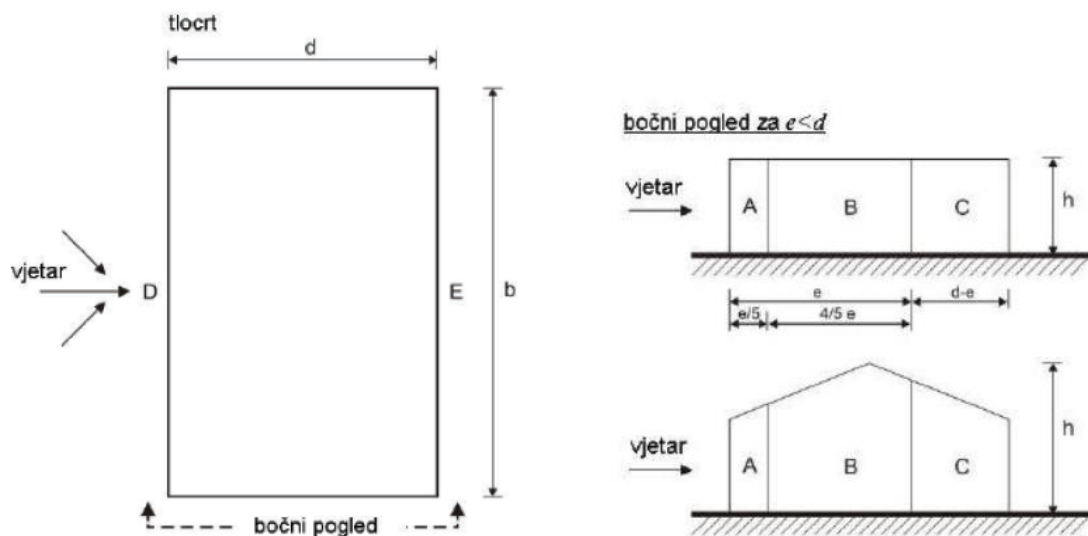
$$e = \min(b, 2h) \rightarrow \min(43, 15.94)$$

$$e = 15.94 \text{ m}$$

$$h = 7.97 \text{ m}$$

$$d = 25 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{7.97}{25} = 0.318$$



Slika 2.6. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove  $h/d=0,318$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1.2	-0.8	-0.5	+0.8	-0.5

**Tablica 7 Vrijednosti vanjskih koeficijenata pritiska prema područjima konstrukcije**

### Određivanje koeficijenta unutarnjeg pritiska

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

Unutrašnji koeficijenti pritiska  $\rightarrow C_{pi} = -0.3, +0.2$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.4	-1.0	-0.5	+0.6	-0.7

**Tablica 8 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi} = +0.2$ )**

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.9	-0.5	-0.2	+1.1	-0.2

**Tablica 9 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ( $C_{pi} = -0.3$ )**

$$w_k = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p = 0.863 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{preuzeto iz analize opterećenja glavnog nosača}$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 4.3 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$



Vjetar W1, pozitivni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.4	-1.0	-0.5	+0.6	-0.7
$w_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,21	-0,863	-0.432	+0.52	-0.6
$W_k$ [kN/m']	-3,85	-11.01	-3,9	+2,24	-2,58

**Tablica 10 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak**

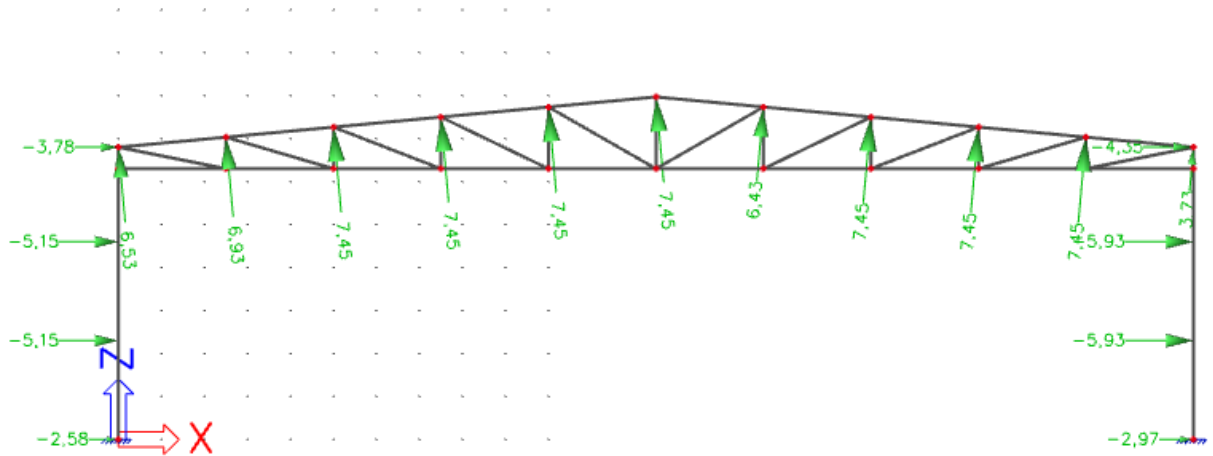
Vjetar W2, negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.9	-0.5	-0.2	+1.1	-0.2
$w_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,78	-0.43	-0.17	+0,95	-0.17
$W_k$ [kN/m']	-2,48	-5,5	-1,54	+4,08	-0,73

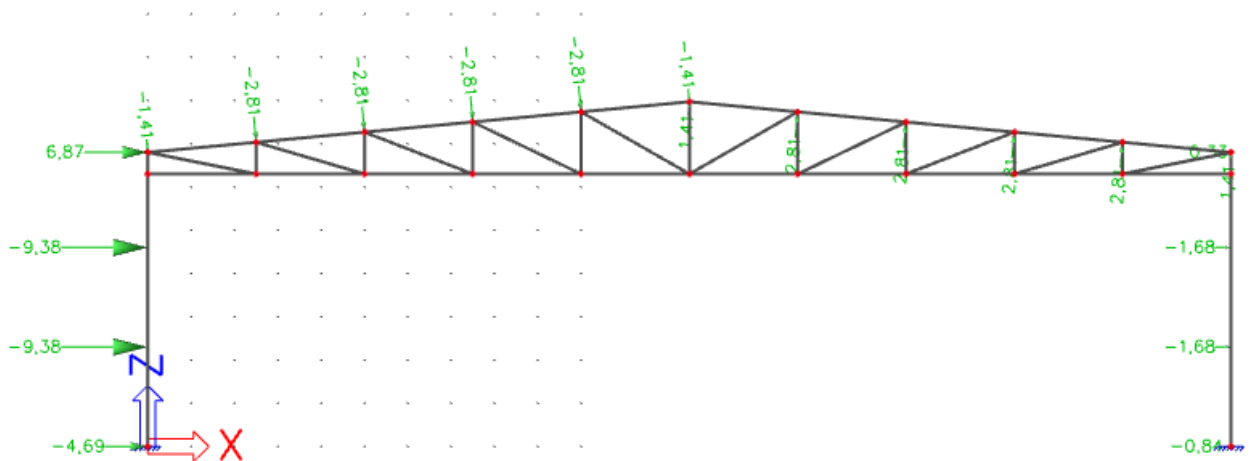
**Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak**

-Izračunate vrijednosti  $W_k$  ne prikazuju vrijednosti sila u čvorovima duž područja D i E, te vrijednosti prikazane su u skici ispod.

### 2.4.1. SKICE OPTEREĆENJA

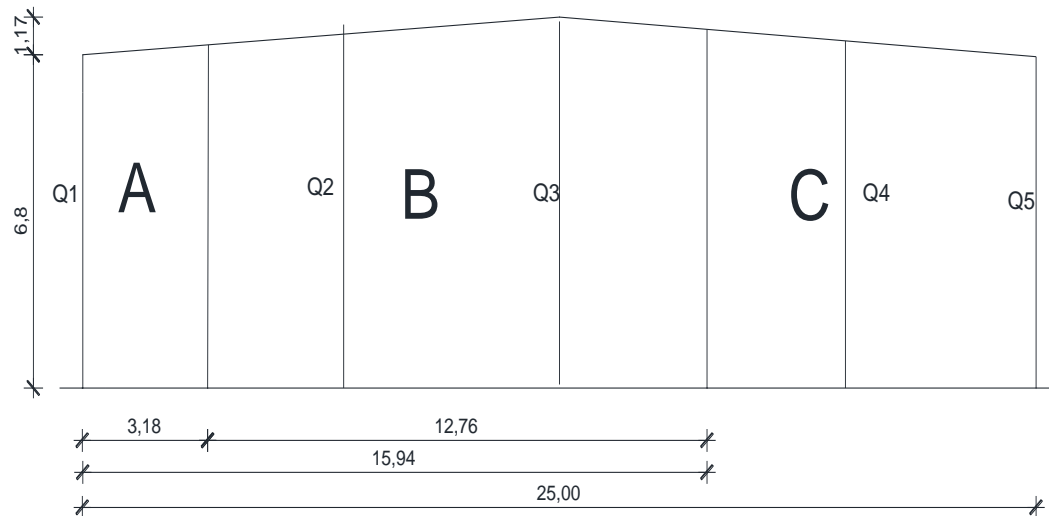


Slika 2.4. prtiskajuće djelovanje vjetra  $W_1$



Slika 2.5. odizujuće djelovanje vjetra  $W_1$

## 2.4.2. SILE VJETRA NA ZABAT



### Vrijednosti pritiska vjetra na zabat W1:

$$Q1 = A \cdot 2,5 = 1,21 \cdot 2,5 = 3,03 \text{ kN/m}$$

$$Q2 = A \cdot 0,68 + B \cdot (7,5 - 0,68) = 1,21 \cdot 0,68 + 0,86 \cdot (7,5 - 0,68) = 6,7 \text{ kN/m}$$

$$Q3 = B \cdot 3,75 + B \cdot 3,44 + C \cdot 0,31 = 0,86 \cdot 3,75 + 0,86 \cdot 3,44 + 0,43 \cdot 0,31 = 6,32 \text{ kN/m}$$

$$Q4 = C \cdot (2,5 + 3,75) = 0,43 \cdot 6,25 = 2,69 \text{ kN/m}$$

$$Q5 = C \cdot 2,5 = 0,43 \cdot 2,5 = 1,08 \text{ kN/m}$$

### Vrijednosti pritiska vjetra na zabat W2:

$$Q1 = A \cdot 2,5 = 0,78 \cdot 2,5 = 1,95 \text{ kN/m}$$

$$Q2 = A \cdot 0,68 + B \cdot (7,5 - 0,68) = 0,78 \cdot 0,68 + 0,43 \cdot (7,5 - 0,68) = 3,46 \text{ kN/m}$$

$$Q3 = B \cdot 3,75 + B \cdot 3,44 + C \cdot 0,31 = 0,78 \cdot 3,75 + 0,43 \cdot 3,44 + 0,17 \cdot 0,31 = 3,14 \text{ kN/m}$$

$$Q4 = C \cdot (2,5 + 3,75) = 0,17 \cdot 6,25 = 1,06 \text{ kN/m}$$

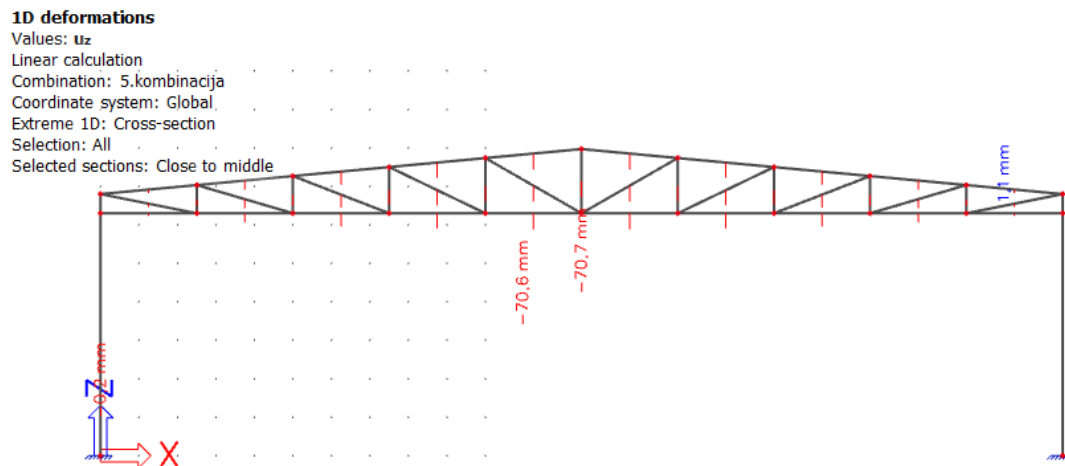
$$Q5 = C \cdot 2,5 = 0,17 \cdot 2,5 = 0,43 \text{ kN/m}$$

Napomena: Sile Q1-Q5 su dobivene kao jednoliko raspoređeno opterećenje po zabatnim zidovima, reakcije u ležajevima se prenose na krovni spreg, pri čemu je uzeta najveće opterećenje od opterećenja „w1“.

### 3. KONTROLA PROGIBA GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

#### 3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

Najveći progib izazvan je djelovanjem kombinacije  $1.0LC_1+1.0G+1.0S+1.0W_2$



Slika 1 Vertikalni progib glavnog nosača

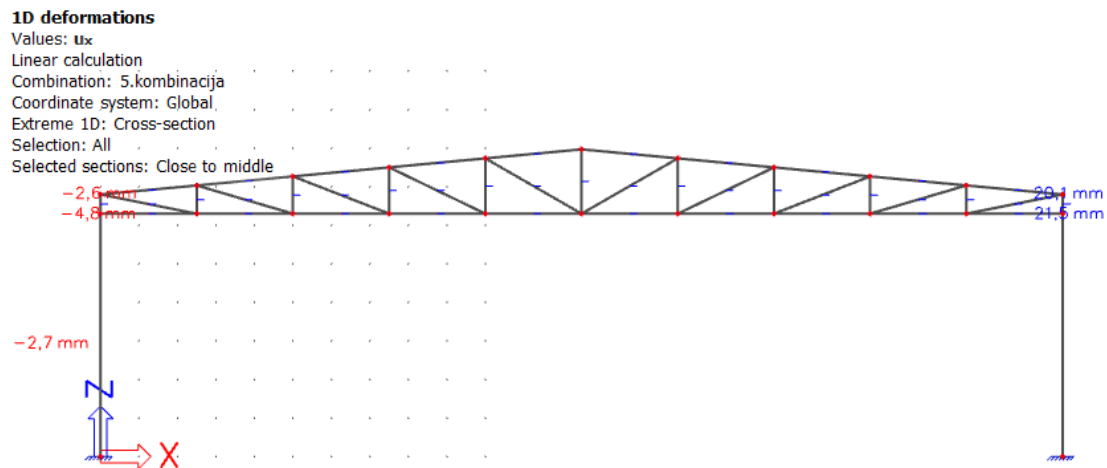
$$\text{Dopušteni progib: } \frac{L}{300} = \frac{25\,000}{300} = 83.33\text{mm}$$

$$\frac{70.7}{83.33} = 0.85 \rightarrow 85\%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti do 85%.

### 3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB

Najveći progib stupa izazvan je djelovanjem kombinacije 1.0LC<sub>1</sub>+1.0G+1.0S+1.0W<sub>2</sub>



Slika 2 Horizontalni progib glavnog nosača

$$\text{Dopušteni progib: } \frac{H}{300} = \frac{7970}{300} = 26.06 \text{ mm}$$

$$\frac{21.5}{26.06} = 0.83 \rightarrow 83\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti sa 88%.

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

- gornji pojas CFRHS 120x120x8.0
- donji pojas CFRHS 120x120x8.0
- vertikale CFRHS 120x80x5.0
- dijagonale CFRHS 180x80x5.0
- stup HEA 280

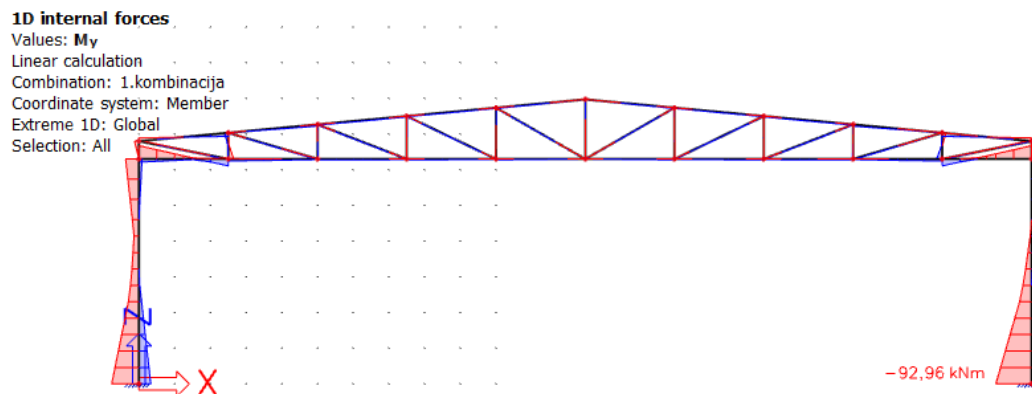
## 4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

### 4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila dobiveni su za istoimene profile koji su korišteni pri računanju progiba.

Profili su usvojeni sa iskoristivosti od 85%.

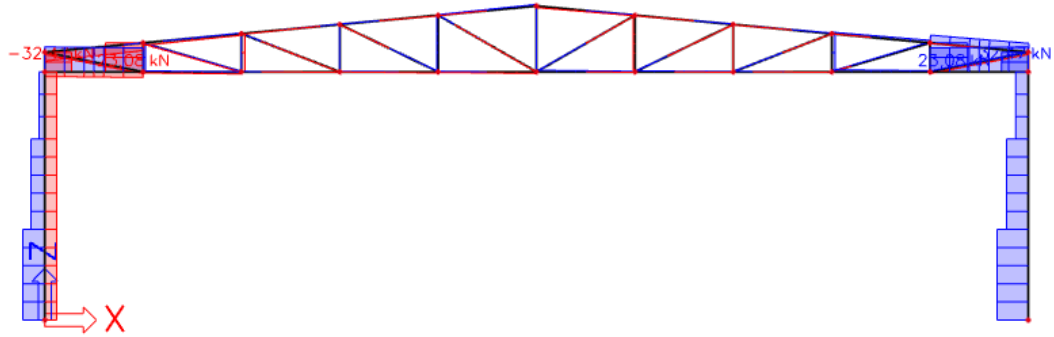
#### 4.1.1. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5S



Slika 3 Dijagram momenata za kombinaciju 1

**1D internal forces**

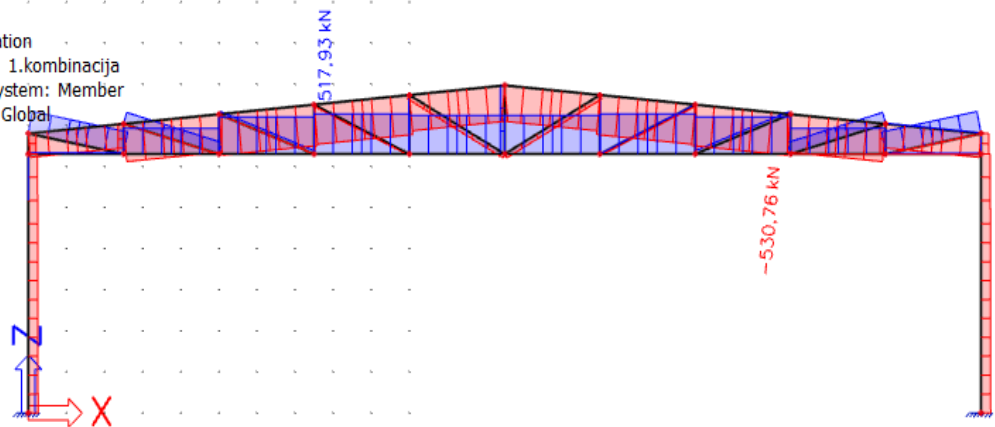
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: 1.kombinacija  
Coordinate system: Member  
Extreme 1D: Cross-section  
Selection: All



Slika 4 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1

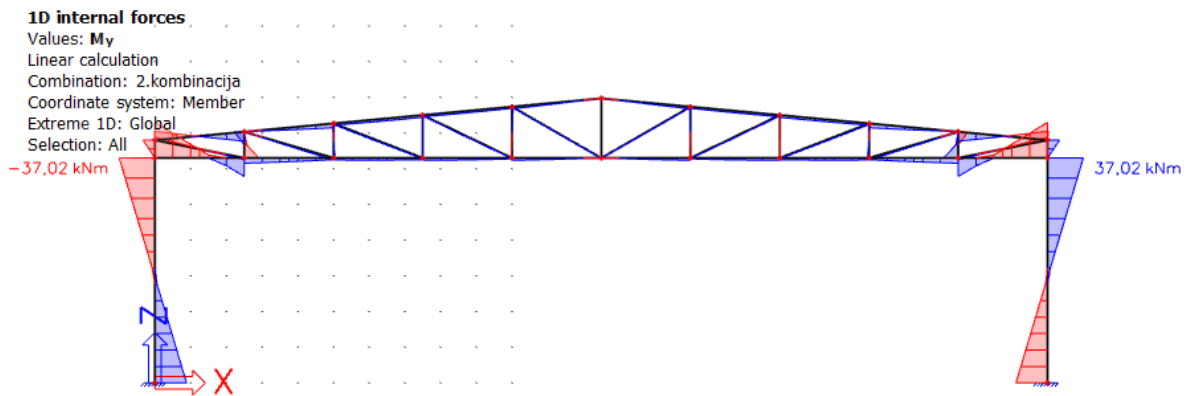
**1D internal forces**

Values:  $N$   
Linear calculation  
Combination: 1.kombinacija  
Coordinate system: Member  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

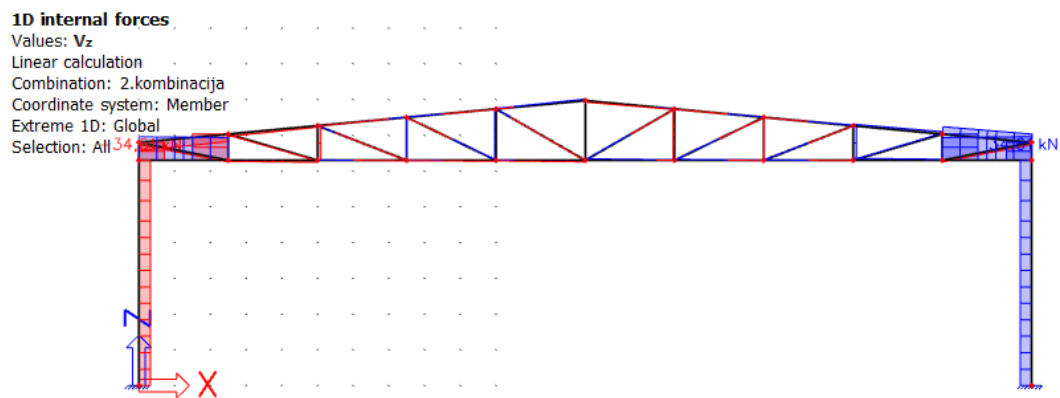


Slika 5 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

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



Slika 6 Dijagram momenata za kombinaciju 2

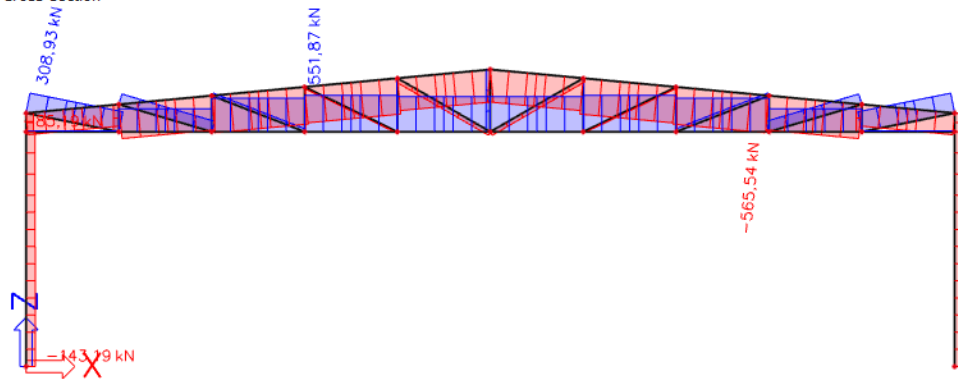


Slika 7 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2



**1D internal forces**

Values: **N**  
Linear calculation  
Combination: 2.kombinacija  
Coordinate system: Member  
Extreme 1D: Cross-section  
Selection: All

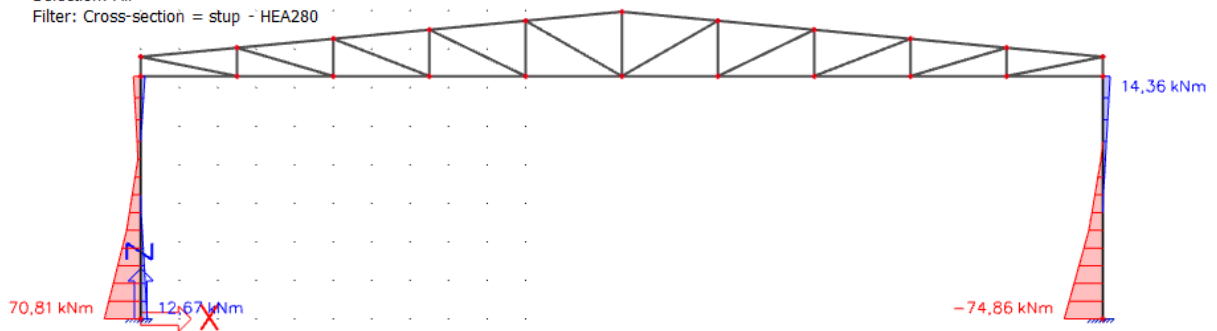


Slika 8 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

### 4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1

**1D internal forces**

Values: **M<sub>y</sub>**  
Linear calculation  
Combination: 3.kombinacija  
Coordinate system: Member  
Extreme 1D: Member  
Selection: All  
Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 9 Dijagram momenata za kombinaciju 3

**1D internal forces**

Values:  $V_z$

Linear calculation

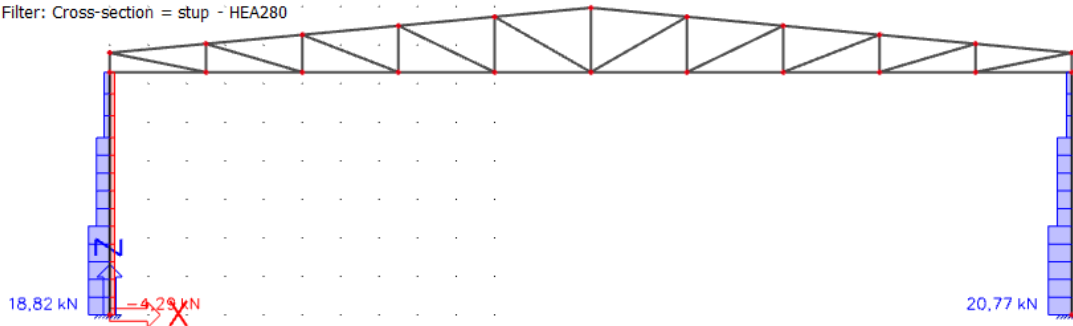
Combination: 3.kombinacija

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 10 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3

**1D internal forces**

Values:  $N$

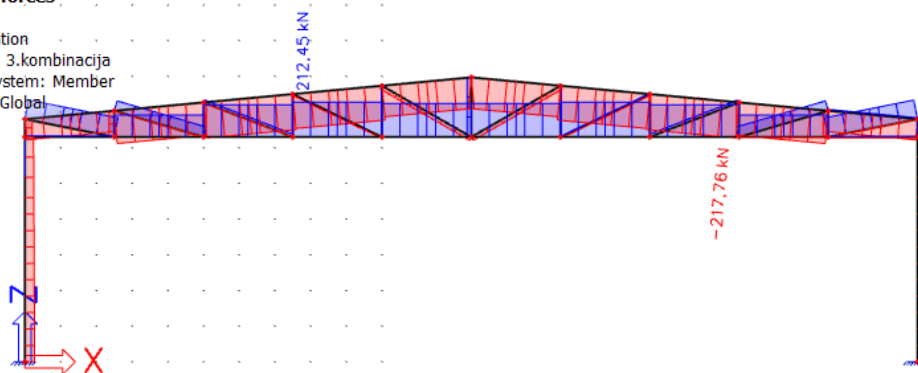
Linear calculation

Combination: 3.kombinacija

Coordinate system: Member

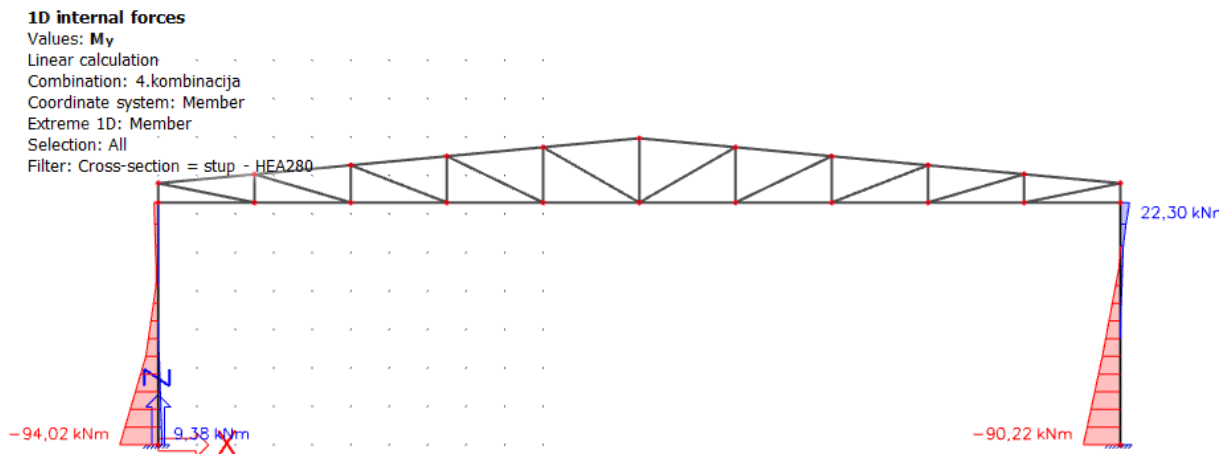
Extreme 1D: Global

Selection: All

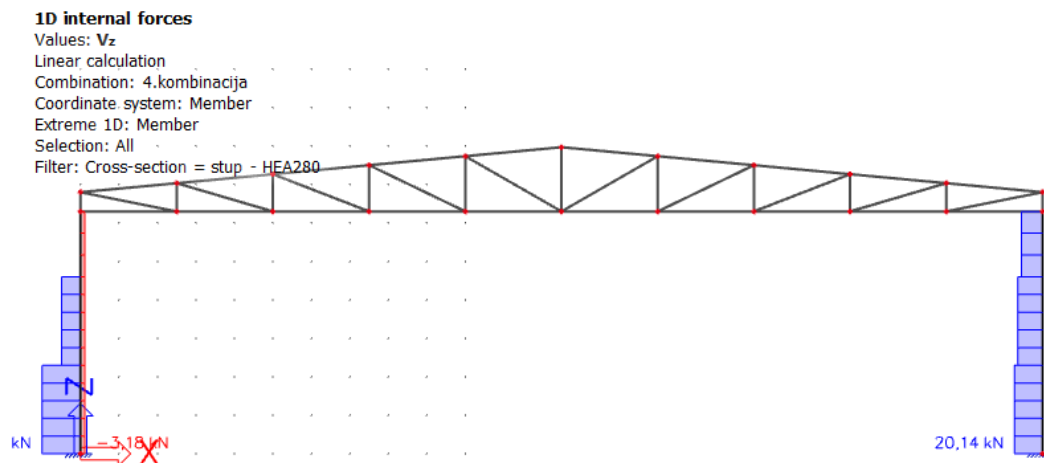


Slika 11 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

#### 4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W2)



Slika 12 Dijagram momenata za 4 kombinaciju



Slika 13 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 4

**1D internal forces**

Values: **N**

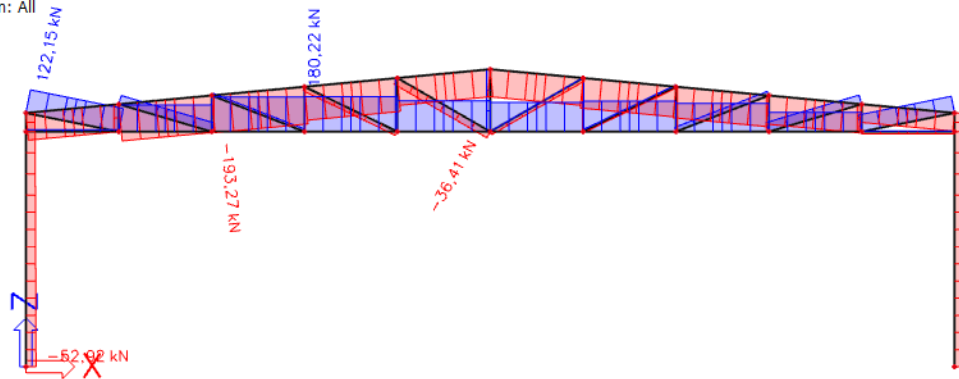
Linear calculation

Combination: 4.kombinacija

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

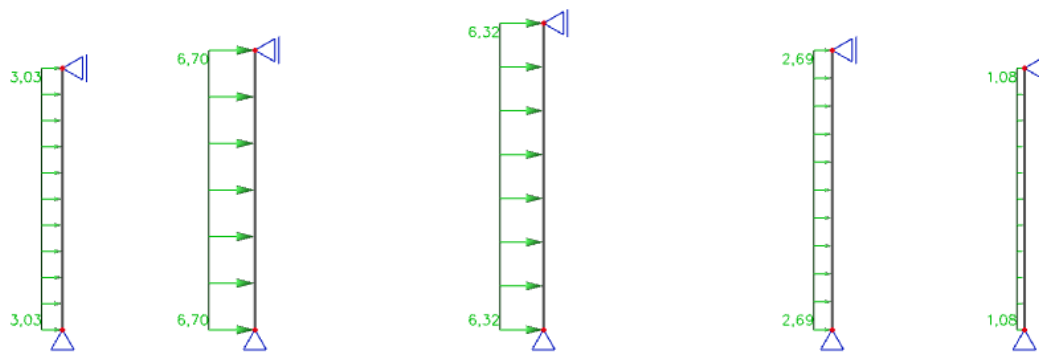
Selection: All



Slika 14 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4

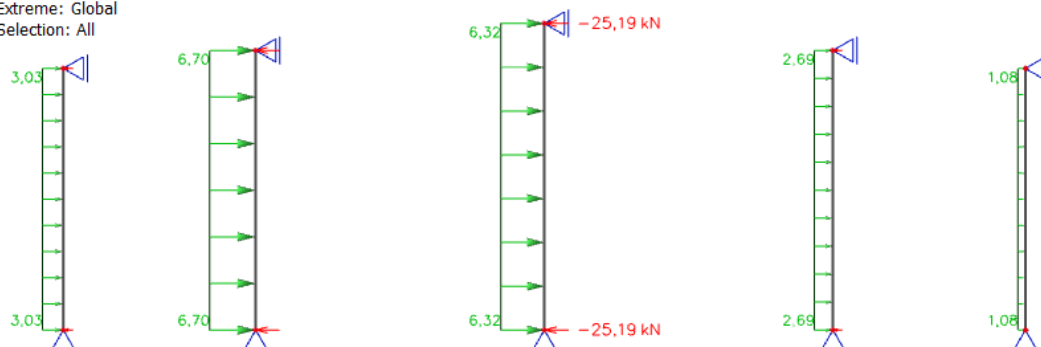
## 4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 4.2.1. ZABATNI STUPOVI (Za djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1)



Slika 15 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1 na zabatne stupove

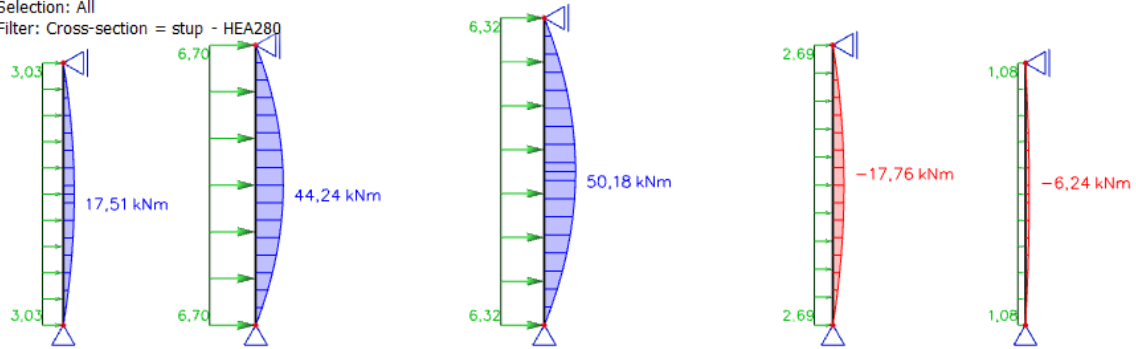
**Reactions**  
Values:  $R_z$ ,  $R_x$   
Linear calculation  
Load case: w1  
System: Global  
Extreme: Global  
Selection: All



Slika 16 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1

**1D internal forces**

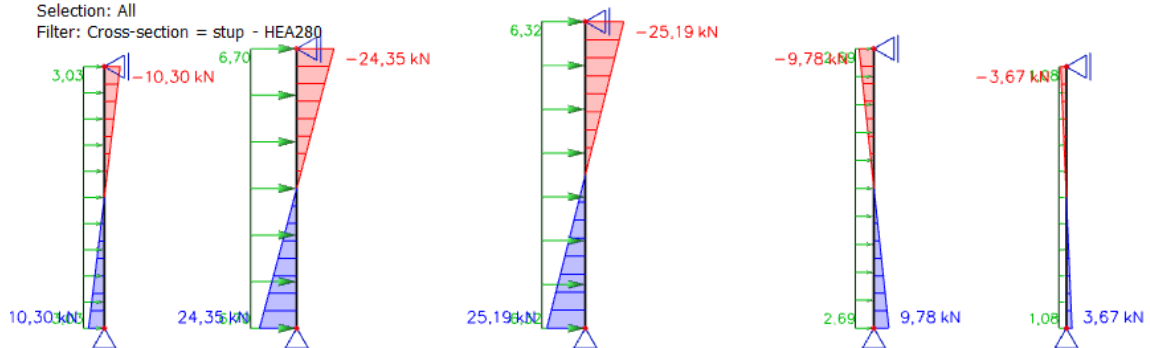
Values:  $M_y$   
 Linear calculation  
 Load case: w1  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All  
 Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 17 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja W2

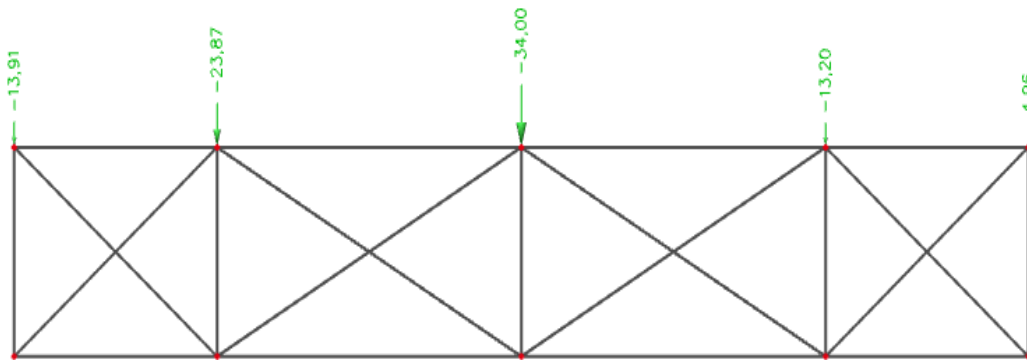
**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
 Linear calculation  
 Load case: w1  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: All  
 Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 18 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja W2

#### 4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI



Slika 19 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova) reakcije horizontalnog sprega

#### Reactions

Values:  $R_z$

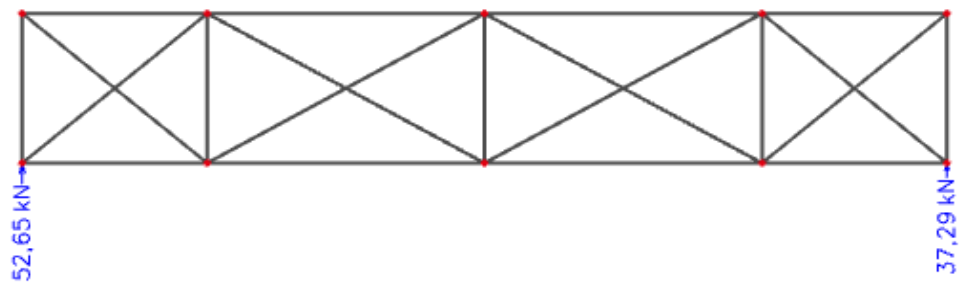
Linear calculation

Load case: zabat-opterećenje

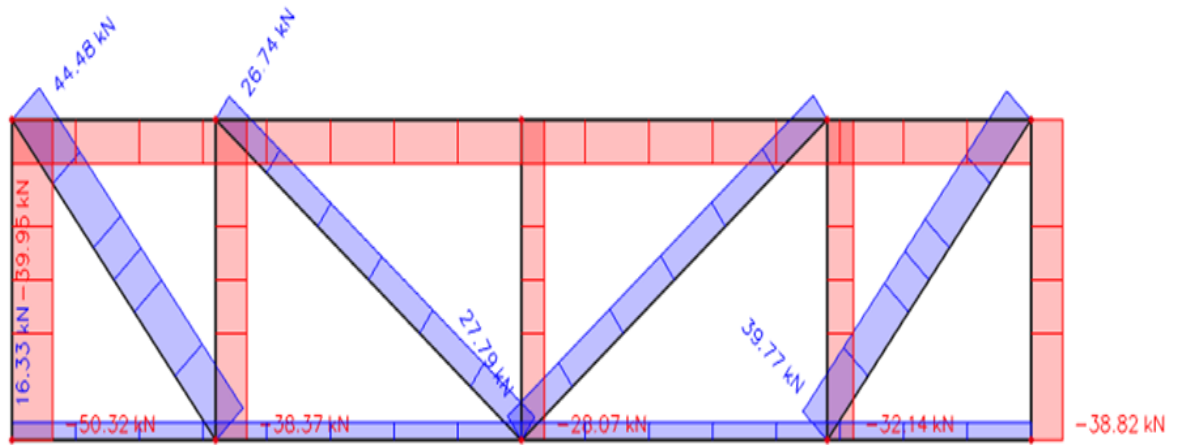
System: Global

Extreme: Member

Selection: All



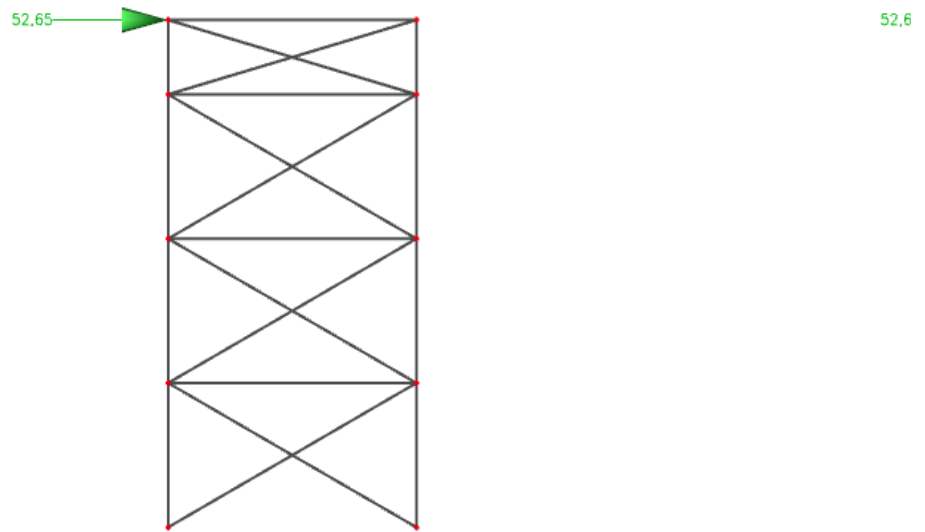
Slika 20 Reakcije horizontalnog sprega



Slika 21 Dijagram uzdužnih sila

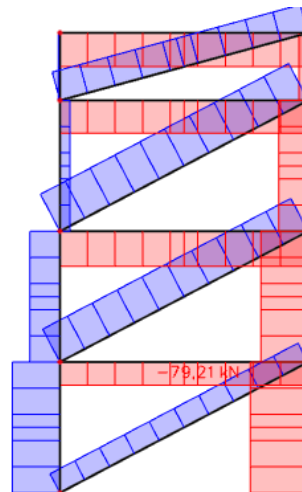


### 4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI



Slika 22 Djelovanje na bočni spreg

**1D internal forces**  
Values: **N**  
Linear calculation  
Load case: zabat-opterećenje  
Coordinate system: Member  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 23 Dijagram uzdužnih sila na bočni spreg

#### 4.2.4. KROVNE PODROŽNICE

Djelovanja na krovnu podrožnicu:

$$\alpha = 5.14^\circ \quad l = 2.51 \text{ m}$$

STALNO OPTEREĆENJE (G)

$$g = 0.25 \text{ kN/m}'$$

$$G_y = g \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 0.62 \text{ kN/m}'$$

$$G_z = g \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.06 \text{ kN/m}'$$

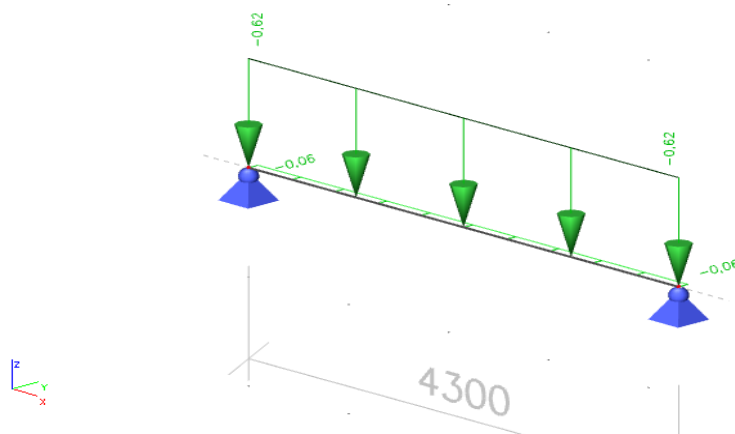
OPREREĆENJE SNIJEGOM (S)

$$S = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

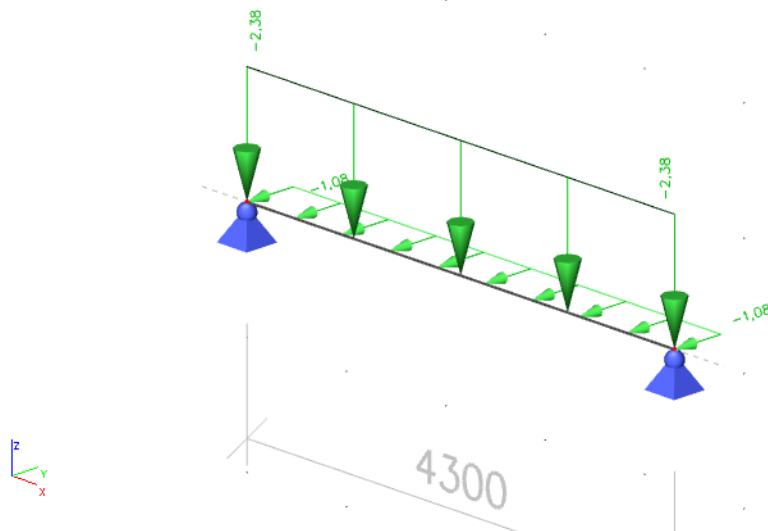
$$S_y = S \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 1.49 \text{ kN/m}'$$

$$S_z = S \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.13 \text{ kN/m}'$$

G-djelovanje

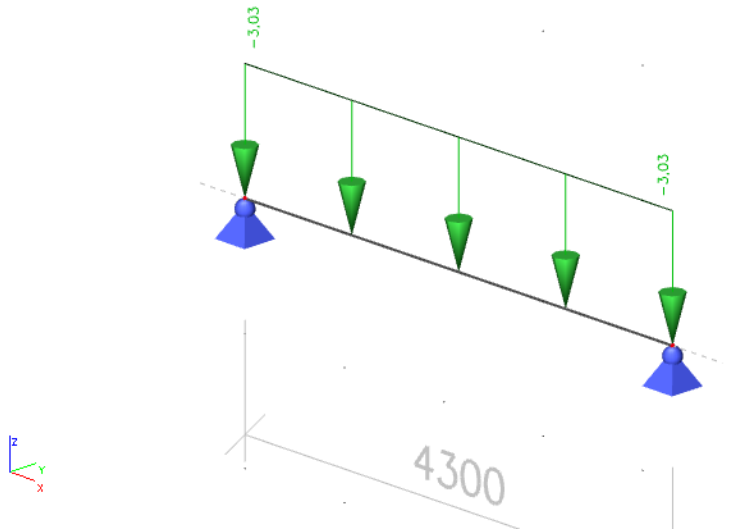


S-djelovanje

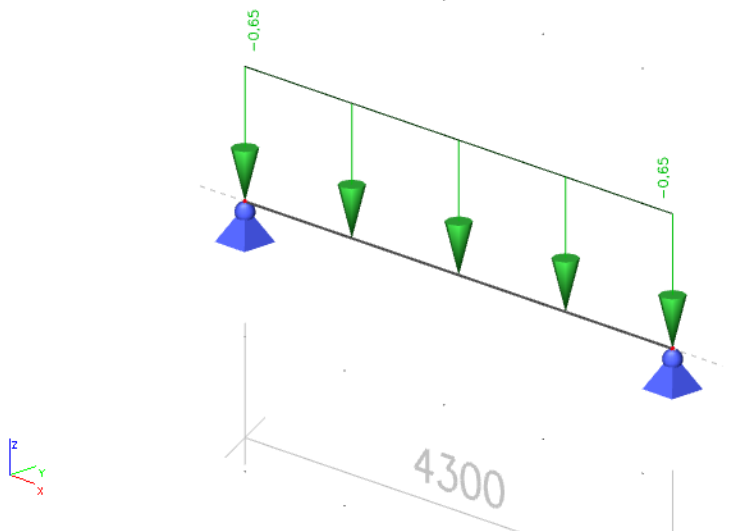


Slika 24 Djelovanja na krovnu podrožnicu

Opterećenje vjetrom  $W_1$



Opterećenje vjetrom  $W_2$

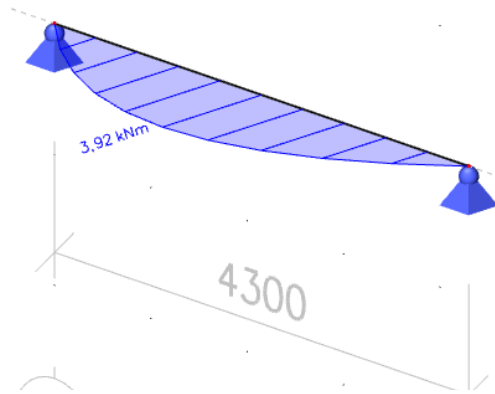


Slika 25 Djelovanje vjetra na krovne podrožnice

### 1. KOMBINACIJA 1.35(LC<sub>1</sub>+G)+1.5S

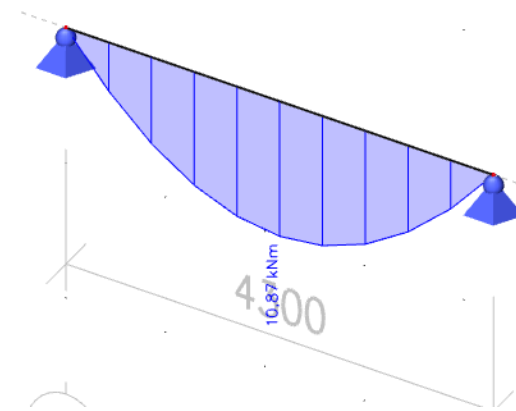
**1D internal forces**

Values: **M<sub>z</sub>**  
Linear calculation  
Combination: k1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



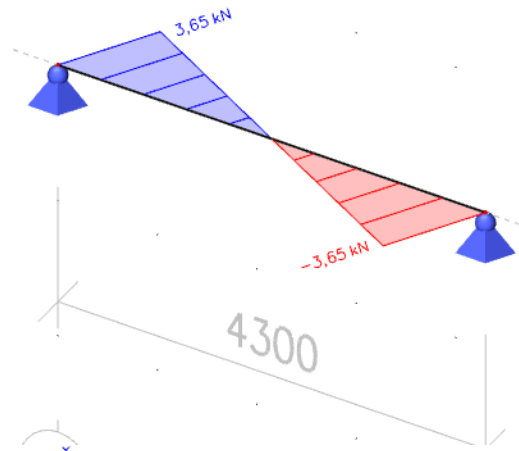
**1D internal forces**

Values: **M<sub>y</sub>**  
Linear calculation  
Combination: k1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

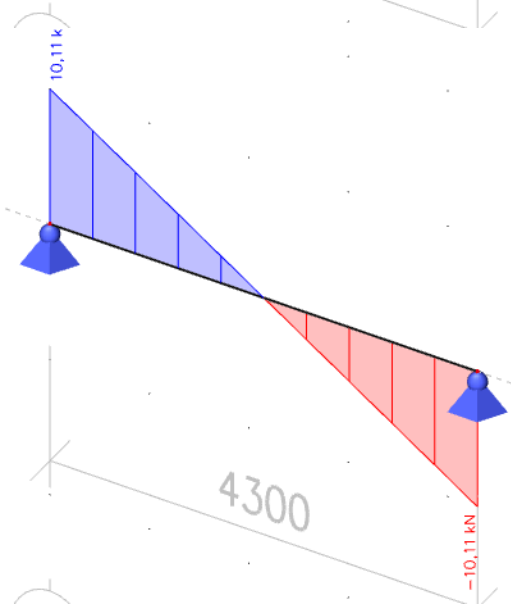


Slika 26 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 1

**1D internal forces**  
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: k1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



**1D internal forces**  
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: k1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

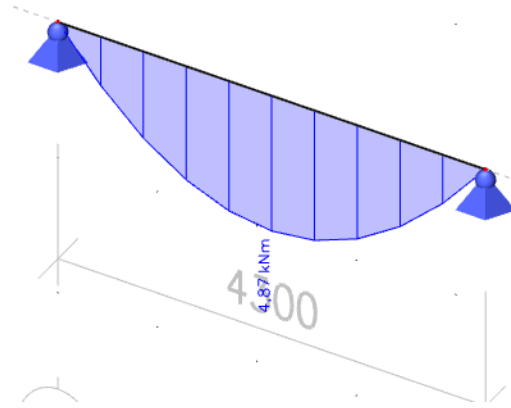


Slika 27 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 1

## 2. KOMBINACIJA $1.35(LC_1+G)+1.5W_2$

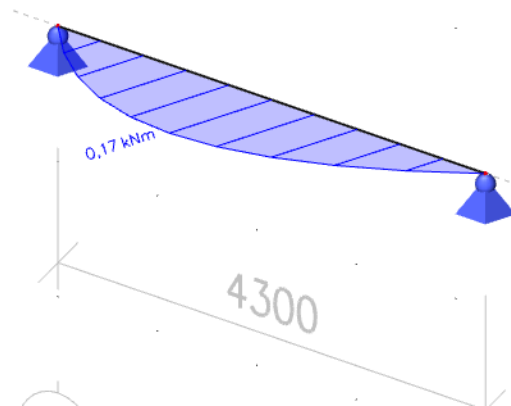
**1D internal forces**

Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: k2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



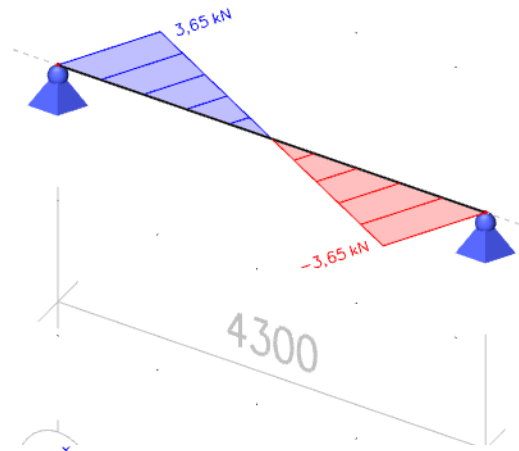
**1D internal forces**

Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: k2  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

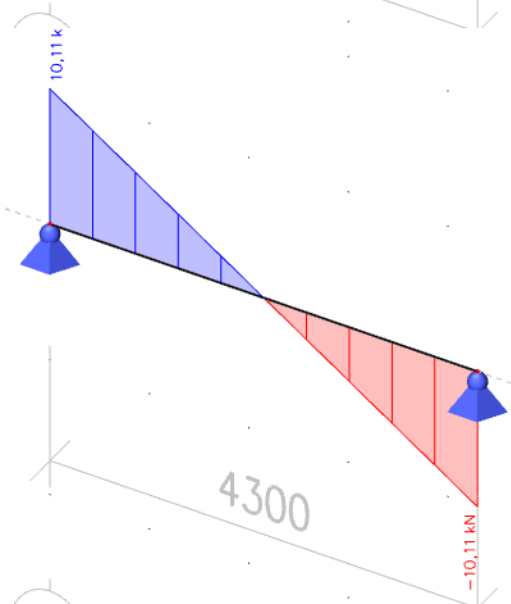


Slika 28 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 2

**1D internal forces**  
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: k1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



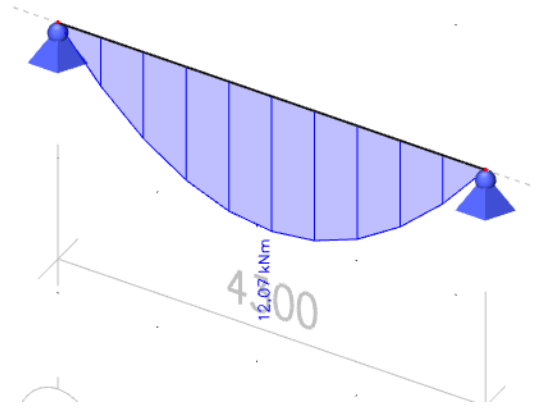
**1D internal forces**  
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: k1  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



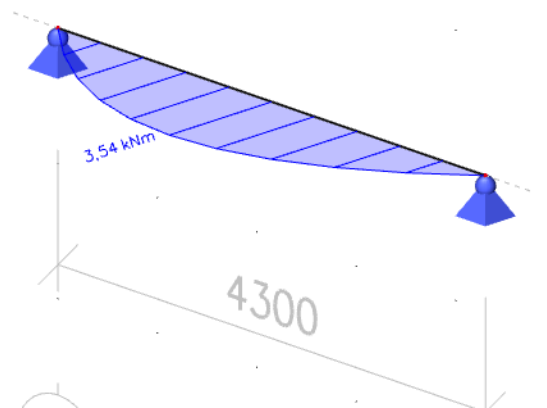
Slika 29 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 2

### 3. KOMBINACIJA $1.35(LC_1+G)+1.35(S+W_2)$

**1D internal forces**  
Values:  $M_y$   
Linear calculation  
Combination: k3  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



**1D internal forces**  
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Combination: k3  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

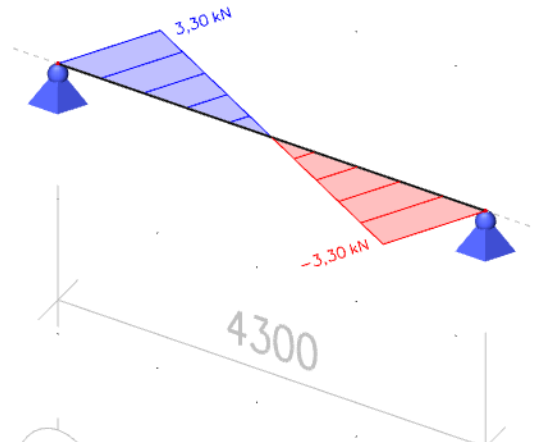


Slika 30 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 3



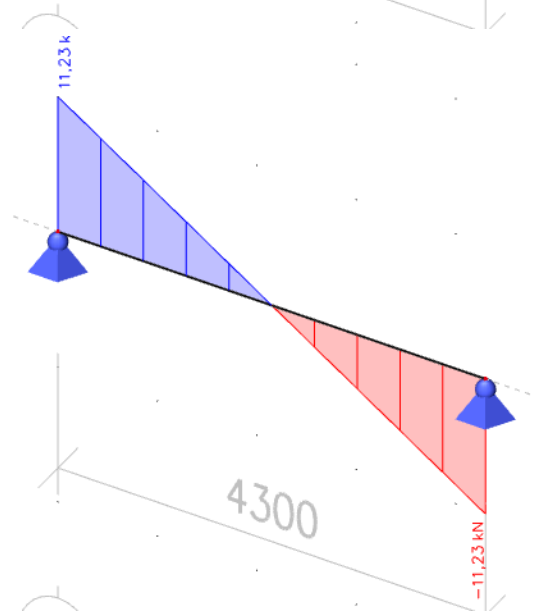
**1D internal forces**

Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: k3  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



**1D internal forces**

Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: k3  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

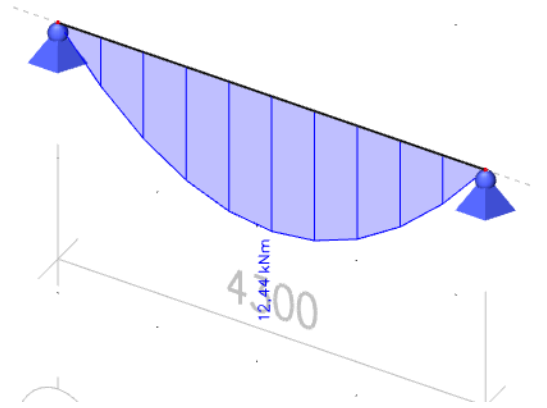


Slika 31 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 3

#### 4. KOMBINACIJA 1.0(LC<sub>1</sub>+G) + 1.5W<sub>1</sub>

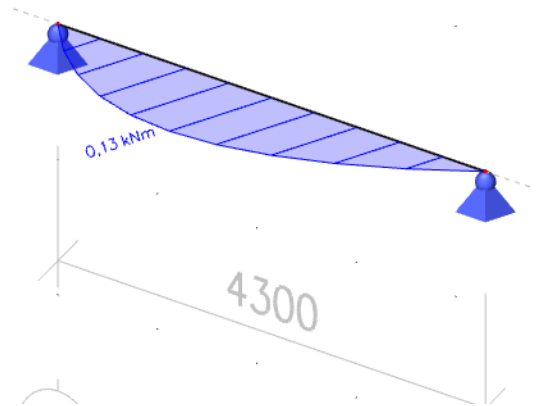
**1D internal forces**

Values: **M<sub>y</sub>**  
Linear calculation  
Combination: k4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



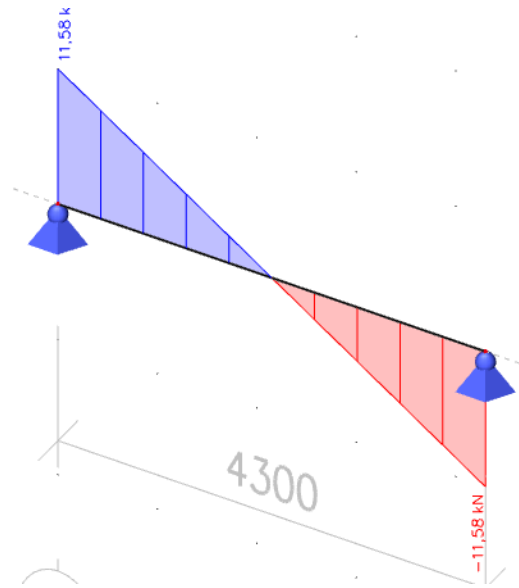
**1D internal forces**

Values: **M<sub>z</sub>**  
Linear calculation  
Combination: k4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

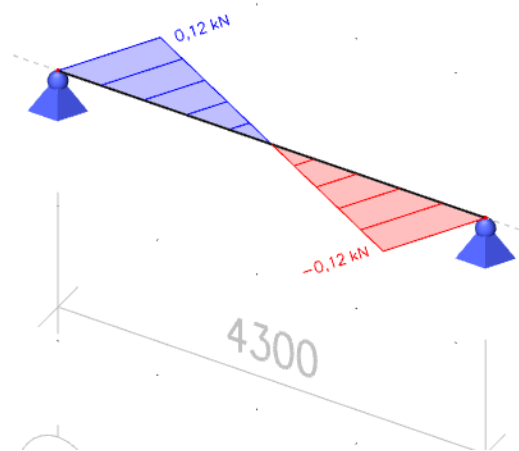


Slika 32 Dijagram momenata  $M_y$  i  $M_z$  za kombinaciju 4

**1D internal forces**  
Values:  $V_z$   
Linear calculation  
Combination: k4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All

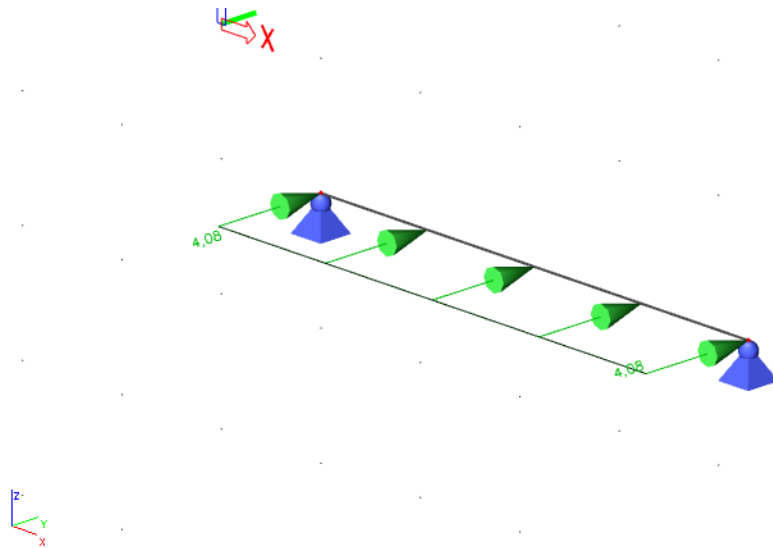


**1D internal forces**  
Values:  $V_y$   
Linear calculation  
Combination: k4  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



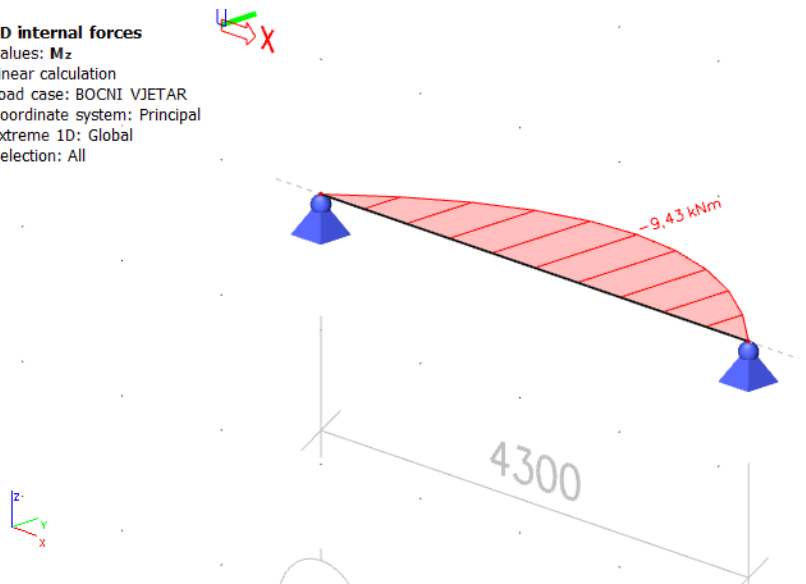
Slika 33 Dijagram poprečnih sila  $V_y$  i  $V_z$  za kombinaciju 4

#### 4.2.5. BOČNE PODROŽNICE

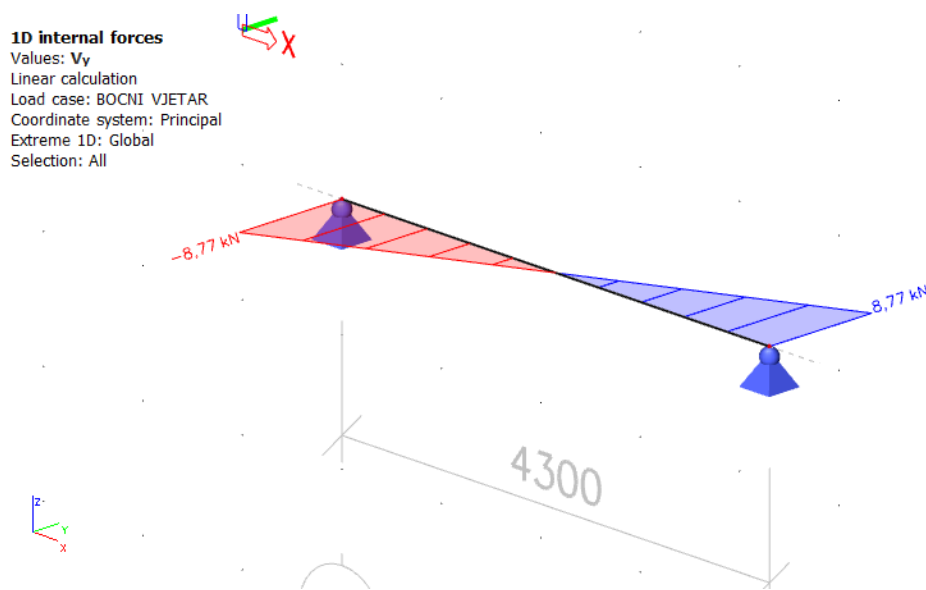


Slika 34 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu

**1D internal forces**  
Values:  $M_z$   
Linear calculation  
Load case: BOCNI VJETAR  
Coordinate system: Principal  
Extreme 1D: Global  
Selection: All



Slika 35 Dijagram momenata za djelovanje vjetra

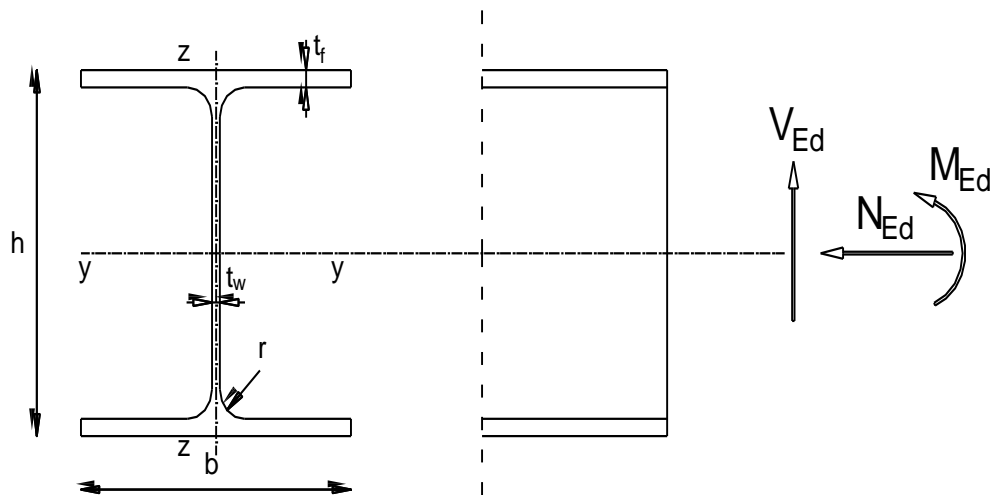


Slika 36 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

## 5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

### 5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

#### 5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 37 Poprečni presjek stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA280	Moment tromosti	$I_y=13\,700\text{cm}^4$ $I_z=4\,760\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=1112,5\text{cm}^3$ ; $W_{PL,z}=516,00\text{cm}^3$ ;
Visina presjeka:	$h=270\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=785\,370\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=280\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=62,1\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=13\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=8\text{mm}$		
Radijus:	$r=24\text{mm}$		
Površina:	$A=97,3\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355 →	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=\$	92,96 kNm		
$V_{z,Ed}=\$	26,88 kN		
$N_{Ed}=\$	-134,76 kN		

Tablica 12 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 280 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 206 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{206}{8} = 22.89$$

$$22.89 \leq 72\varepsilon \rightarrow 24.89 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{280}{2} - \frac{8}{2} - 24 = 112.0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13} = 8.61$$

$$8.61 \leq 9\varepsilon \rightarrow 8,0 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

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

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97,3 \cdot 27.5}{1.00} = 2675,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2675,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 134,76 \text{ kN}$$

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1112,5 \cdot 27.5}{1.00} = 30593,7 \text{ kNcm} = 305,93 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 305,93 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 92,96 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 13}{8} = 30.5$$

$$30.5 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 97,3 - 2 \cdot 28 \cdot 1,3 + |0,8 + 2 \cdot 2,4| \cdot 1,3 = 28,66 \text{cm}^2 \geq 1,20 \cdot 27,8 \cdot 0,8 = 28,66 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{28,66 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 455,04 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 455,04 \text{kN} > V_{z,Ed} = 26,88 \text{kN}$$

### INTERAKCIJA M-V-N

Presjek u  $x=3,15\text{m}$  ( $L=6,3$ )

$$M_{Ed} = 46,5 \text{kNm}$$

$$V_{Ed} = 26,88 \text{kN}$$

$$N_{Ed} = -134,76 \text{kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 455,04 = 227,5 \text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 26,8 \text{kN} < 0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 227,5 \text{kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 134,76 \leq 0,25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0,25 \cdot 2675,75 = 668,94 \text{kN}$$

$$2) N_{Ed} = 134,76 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 27,8 \cdot 0,8 \cdot 27,5}{1,00} = 305,8 \text{kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE



## OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

### Uzdužna tlačna otpornost

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASE 1,2,3}$$

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

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

### OS $y - y$

$$L_{cr} = 2 \cdot 630\text{cm} = 1260\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 13\,700}{1260^2} = 1788.5\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{97,3 \cdot 27,5}{1788,5}} = 1.22$$

ZA VALJANI PROFIL  $\rightarrow$

ZA OS  $y - y$  KRIVULJA IZVIJANJA  $b \rightarrow \alpha = 0.76$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.76 \cdot (1.22 - 0.2) + 1.22^2] = 1.63$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1.63 + \sqrt{1.63^2 - 1.22^2}} = 0.37$$

OS z – z

$$L_{cr} = \frac{1}{3} \cdot 630 \text{ cm} = 210 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 4760}{210^2} = 22371,1 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{97,3 \cdot 27,5}{22371,1}} = 0,35$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c →  $\alpha = 0,76$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,76 \cdot (0,35 - 0,2) + 0,35] = 0,73$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1,33 + \sqrt{1,33 - 1,03^2}} = 0,73$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0,37 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,37 \cdot 97,3 \cdot 27,5}{1,0} = 990,03 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 990,03 \text{ kN} > N_{Ed} = 134,76 \text{ kN}$$

**Otpornost elementa na savijanje**

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

→ ELASTIČNI KRITIČNI MOMENT BOČNOG TORZIJSKOG IZVIJANJA

$$L = 210 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{27,0}{2} = 13,5 \text{ cm}$$

$$k = 1,0 \quad k_2 = 1,0$$

$$C_1 = 1,77 \quad C_2 = 0$$

$$M_{cr} = 1.77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760}{|1.0 \cdot 210^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{785370 \cdot 400}{4760} + \frac{|1.0 \cdot 210|^2 \cdot 8077 \cdot 621}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760} + |0 \cdot 13.5|^2 - 0 \cdot 13.5} \right]$$
$$M_{cr} = 205\,349.04 \text{ kNcm} = 205.35 \text{ kNm}$$

### **Bezdimenzijska vitkost**

ZA KLASU 1 I 2  $W_y = W_{pl,y}$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1112.5 \cdot 27.5}{205\,349.04}} = 0.38$$

### **Faktor redukcije**

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} = 0.96 < 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.76$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.38 - 0.2) + 0.38^2] = 0.76$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.76 + \sqrt{0.76^2 - 0.38^2}} = 0.7 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.7 \frac{1112.5 \cdot 27.5}{1.00} = 213915.63 \text{ kNcm} = 213.92 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 213.92 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 92.96 \text{ kNm}$$

### INTERAKCIJA M-N

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

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

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

$$\text{za } \bar{\lambda}_z = 0,98 \geq 0,4$$

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

$$\alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$\psi = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[ 1 + (1,22 - 0,2) \cdot \frac{134,76}{0,37 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right] = 1,00 \leq 1,00 \cdot \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{134,76}{0,37 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right]$$

$$= 1,00$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,03}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{134,76}{0,46 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right] = 0,97 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{134,76}{0,46 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right]$$

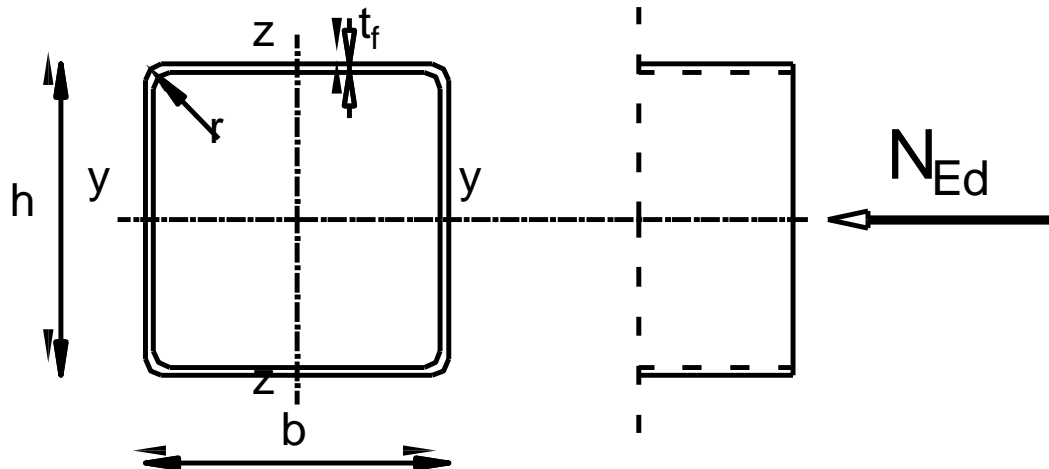
$$= 0,97$$

$$\frac{134,76}{0,37 \cdot 1788,5 / 1,0} + 1,00 \cdot \frac{92,96}{0,7 \cdot 213,92} = 0,82 \leq 1,0$$

$$\frac{134,76}{0,37 \cdot 1788,5 / 1,0} + 0,99 \cdot \frac{92,96}{0,7 \cdot 213,92} = 0,81 \leq 1,0$$

**Odabrani profil HEA280, kvalitete čelika S 275 zadovoljava GSN I GSU sa iskoristivosti od  $\eta=82\%$ .**

### 5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 38 Poprečni presjek gornjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=676.8\text{cm}^4$ $I_z=676.8\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=264.35\text{cm}^3; W_y=226.08\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=264.35\text{cm}^3; W_z=226.08\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=16\,589\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=120\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=1162.9\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=8\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=33.64\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed} =$	-565.54 kN(tlak)		

Tablica 13 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 8 = 104 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{104}{8} = 13$$

$$13 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

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

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33.64 \cdot 27.5}{1.0} = 925.1 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 925.1 \text{ kN} > N_{Ed} = 565.54 \text{ kN}$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

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

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  
 $z - z$ , PRORAČUN JE DOVOLJNO NAPRAVITI ZA JEDNU OS

OS y – y

$$L_{cr} = 251\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 676.8}{251^2} = 2226.5\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{33.64 \cdot 27.5}{2226.5}} = 0.64$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA a →  $\alpha = 0.76$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.87$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.87 + \sqrt{0.87^2 - 0.76^2}} = 0.77$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.77 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.77 \cdot 36.64 \cdot 27.5}{1.0} = 775.85\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 775.85\text{kN} > N_{Ed} = 565.54\text{kN}$$

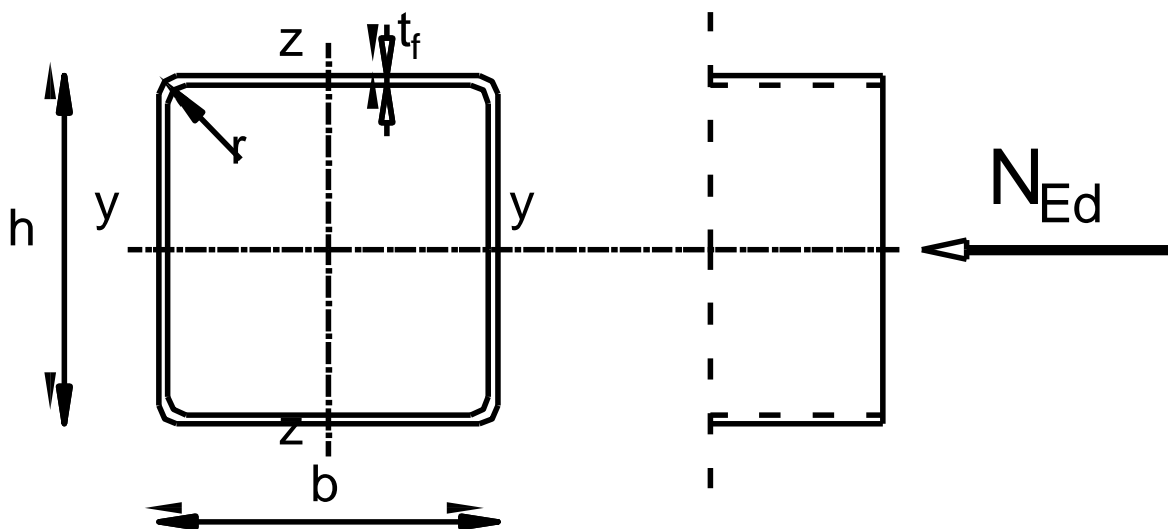
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{565,54}{775,85} = 0.73 \rightarrow \eta = 73\%$$

**Odabrani profil CFRHS 120x120x8.0, kvalitete čelika S 355, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 73%.**

**Otpornost poprečnog presjeka izložnog sili:**

Gornji pojas je izloženij tlačnoj sili u svim kombinaciji ,za koje je 2, kombinacija najnepovoljniji slučaj  $N_{Ed}=565.54\text{kN}$ .

### 5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA



Slika 39 Poprečni presjek donjega pojasa

Karakteristike presjeka		Tablica 14 Karakteristike poprečnog presjeka donjega pojasa	
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=676,8\text{cm}^4$ $I_z=676,8\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=137,8\text{cm}^3; W_y=226,08\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=137,8\text{cm}^3; W_z=226,08\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$		
Širina presjeka:	$b=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=16\,589\text{cm}^6$
Debljina pojasnice:	$t_f=8\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=1\,162,9\text{cm}^4$
Radijus:	$r=12\text{mm}$	Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0,92$ $E=210\,000\text{N/mm}^2$ $\nu=0,3$
Površina:	$A=33,64\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)			
$N_{Ed} =$	-551.87 kN		



### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 8 = 104 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{104}{8} = 13$$

$$13 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

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

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33.64 \cdot 27.5}{1.0} = 925.1 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 925.1 \text{ kN} > N_{Ed} = 551.87 \text{ kN}$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASE 1,2,3}$$

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

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA SU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  $z - z$ , PRORAČUN JE DOVOLJNO NAPRAVITI ZA JEDNU OS

OS y – y

$$L_{cr} = 250\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 676.8}{250^2} = 2244.4\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{33.83 \cdot 27.5}{2244.4}} = 0.64$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA a →  $\alpha = 0.76$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.87$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.87 + \sqrt{0.87^2 - 0.64^2}} = 0.68$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.68 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

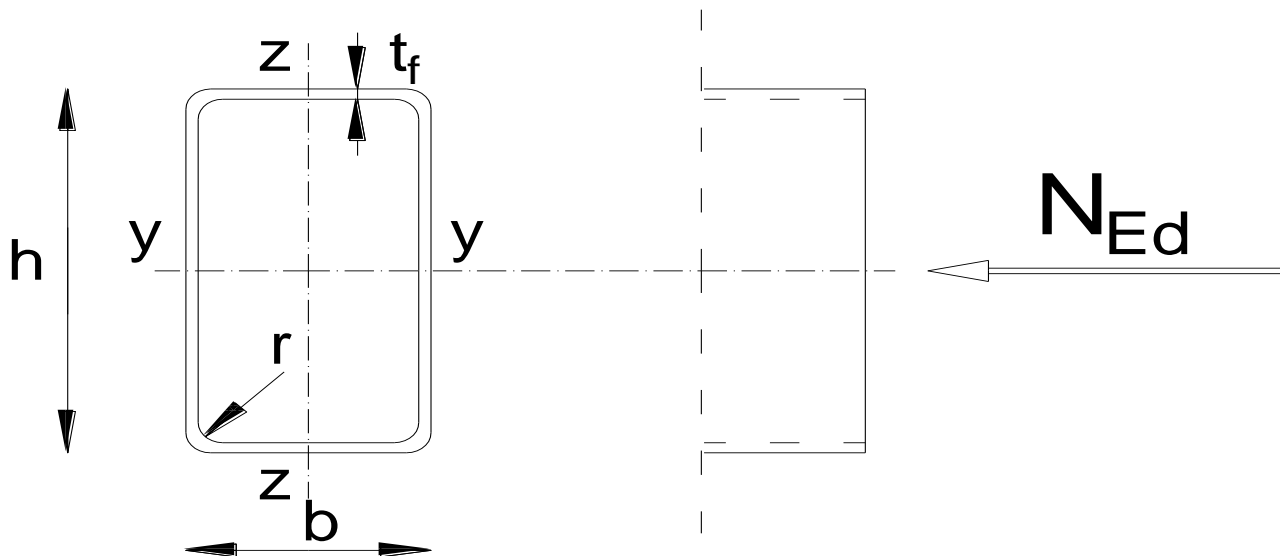
$$N_{b,Rd} = \frac{0.68 \cdot 33.64 \cdot 27.5}{1.0} = 629.1\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 629,1\text{kN} > N_{Ed} = 551,87\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{551,87}{629,1} = 0.88 \rightarrow \eta = 88\%$$

**Odabrani profil CFRHS 120x120x8.0, kvalitete čelika S 275, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 88%.**

5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 40 Poprečni presjek vertikala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=353.14\text{cm}^4$ $I_z=187.78\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=72,45\text{cm}^3; W_y=102.89\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=54,74\text{cm}^3; W_z=74.78\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=3840\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=80\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=402.27\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radijus:	$r=5\text{mm}$		
Površina:	$A=18.36\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.76$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=-$	-85.19 kN		

Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 5 = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{5} = 22$$

$$22 \leq 72\varepsilon \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

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

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 85.19 \text{ kN}$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASE 1,2,3}$$

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

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

$$L_{cr} = 73,4\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 353.14}{73,4^2} = 13\,585,44\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{13\,585,44}} = 0.19$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c →  $\alpha = 0.49$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.19 - 0.2) + 0.19^2] = 0.51$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.51 + \sqrt{0.51^2 - 0.19^2}} = 1.01$$

OS z – z

$$L_{cr} = 73,4\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 187.78}{73,4^2} = 7223.98\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{7223.98}} = 0.26$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA C →  $\alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.26 - 0.2) + 0.26^2] = 1,1$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.1 + \sqrt{1.1^2 - 0.26^2}} = 0.46$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.46 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.46 \cdot 18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 232.25 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 232.25 \text{ kN} > N_{Ed} = 85.19 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{85.19}{232.25} = 0.37 \rightarrow \eta = 37\%$$

**Poprečni presjek CFRHS 120x80x5, kvalitete čelika S275, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) i zbog uvjeta  $b_{\text{donjeg pojasa}} = h_{\text{vertikale}}$ .**

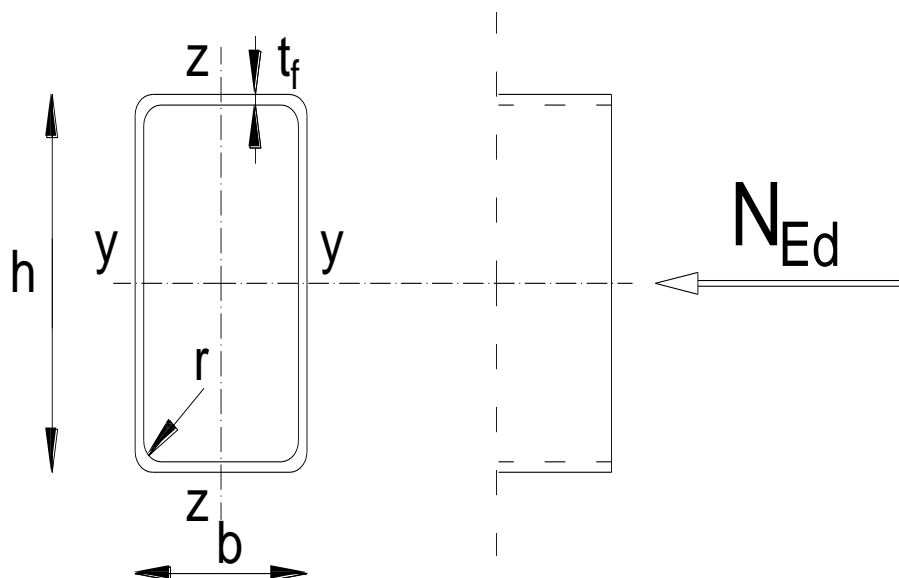
#### Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

Vertikalni element (centralni stup rešetke) je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 2 u iznosu od  $N_{Ed} = 63.87 \text{ kN}$ .

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 63.87 \text{ kN}$$

### 5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 41 Poprečni presjek dijagonala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=353.14\text{cm}^4$ $I_z=187.78\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=72.45\text{cm}^3$ ; $W_y=102.89\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=54.74\text{cm}^3$ ; $W_z=74.78\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=3840\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=80\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=402.27\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radijus:	$r=5\text{mm}$		
Površina:	$A=18.36\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=\text{---}$	$-60.37\text{kN}$		

Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 5 = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{5} = 22$$

$$22 \leq 72\varepsilon \rightarrow 22 \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

### **POPREČNI PREJSEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 60.37 \text{ kN}$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASE 1,2,3}$$

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

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

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

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI  $y - y$  I  
 $z - z$ , PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO



OS y – y

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

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 353.14}{255^2} = 1125.6\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{1125.6}} = 0.67$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c →  $\alpha = 0.49$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.67 - 0.2) + 0.67^2] = 0.84$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.84 + \sqrt{0.84^2 - 0.67^2}} = 0.74$$

OS z – z

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

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 187.78}{255^2} = 598.53\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18,36 \cdot 27.5}{598.53}} = 0.92$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA b →  $\alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.92 - 0.2) + 0.92^2] = 1.1$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1,1 + \sqrt{1,1^2 - 0.92^2}} = 0.59$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.59 \rightarrow$  MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.59 \cdot 18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 297.9 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 297.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 60.37 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{60.37}{297.9} = 0.20 \rightarrow \eta = 20\%$$

**Poprečni presjek CFRHS 120x80x5.0, kvalitete čelika S275, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) i zbog uvjeta  $b_{\text{donjeg pojasa}} = h_{\text{vertikale}}$ .**

#### Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

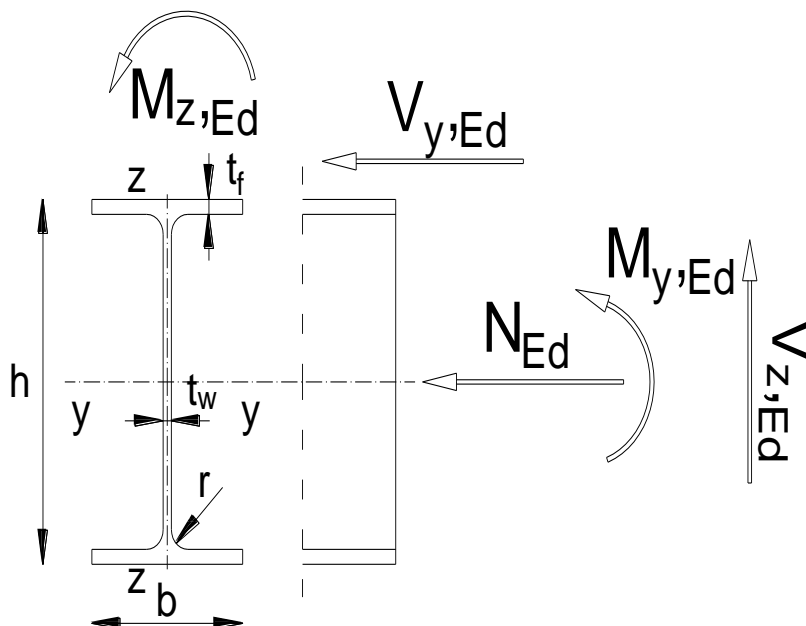
Gornji pojas je izložen vlačnoj sili u kombinaciji 2 u iznosu od  $N_{Ed} = 308.93 \text{ kN}$ .

$$N_{c,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 308.93 \text{ kN}$$

## 5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 5.2.1. KROVNE PODROŽNICE



Slika 42 Poprečni presjek krovne podrožnice

#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE 200	Moment tromosti	$I_y=1943\text{cm}^4$ $I_z=142\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=221\text{cm}^3$ ; $W_y=282\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=44,6\text{cm}^3$ ; $W_z=42,8\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=200\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=13\,000\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=6,98\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=9\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=6\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=28,5\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275 →	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0,92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0,3$
$M_{y,Ed}=\phantom{0}$	12,44Nm		
$M_{z,Ed}=\phantom{0}$	0,13kNm		
$V_{y,Ed}=\phantom{0}$	0,12kN		
$V_{z,Ed}=\phantom{0}$	11,58kN		

Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 200 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26.33$$

$$26.33 \leq 72\varepsilon \rightarrow 26.33 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{100}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 35.0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35.0}{9} = 3.9$$

$$3.9 \leq 9\varepsilon \rightarrow 3.9 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 6077.5 \text{ kNcm} = 60.77 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 60.77 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.44 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \cdot 27.5}{1.00} = 1226.5 \text{ kNcm} = 12.26 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 12.26 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0.13 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30.33$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$30.33 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 28,5 - 2 \cdot 10 \cdot 0,9 + |0,6 + 2 \cdot 1,2| \cdot 0,9 = 13,2 \text{cm}^2 \geq 1,20 \cdot 20 \cdot 0,6 = 14,4 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{13,2 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 209,6 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 209,6 \text{kN} > V_{z,Ed} = 11,58 \text{kN}$$

U smjeru y-y

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ = 28,5 - 20 \cdot 0,6 = 16,5 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{16,5 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 261,97 \text{kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 261,97 \text{kN} > V_{y,Ed} = 0,12 \text{kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 430\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{200}{2} = 10.0\text{cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{|1.0 \cdot 430^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{26800}{142} + \frac{|1.0 \cdot 430|^2 \cdot 8077 \cdot 6,98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}} + |0.454 \cdot 10.0|^2 - 0.454 \cdot 10.0 \right]$$

$$M_{cr} = 1991.91 \text{ kNcm} = 19.91 \text{ kNm}$$

### Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 \cdot 27.5}{1991.91}} = 1.74 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

### Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.74 - 0.2) + 1.74^2] = 2.18$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{2.18 + \sqrt{2.18^2 - 1.74^2}} = 0.29 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.29 \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 1762.7 \text{ kNcm} = 17.62 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 17.62 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.44 \text{ kNm}$$

**Profil IPE 220, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od  $\eta=71\%$ .**

### 5.2.2. ZABATNI STUPOVI



Slika 43 Poprečni presjek zabatnog stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA280	Moment tromosti	$I_y=13700\text{cm}^4$ $I_z=4760\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=112,5.97\text{cm}^3$ ; $W_y=389\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=516.00\text{cm}^3$ ; $W_z=134\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=270\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=785\ 370\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=280\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=621\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=13\text{mm}$	Ulazni podaci (rezne sile)	Materijal S275→ $f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\ 000\text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
Debljina hrpta:	$t_w=8\text{mm}$		
Radijus:	$r=24\text{mm}$	$M_{y,Ed}=\ 50.18\text{ kNm}$	
Površina:	$A=97.3\text{ cm}^2$	$V_{z,Ed}=\ 25.19\text{ kN}$	

Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa



### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 280 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 206 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{206}{8} = 22.89$$

$$22.89 \leq 72\varepsilon \rightarrow 24.89 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{280}{2} - \frac{8}{2} - 24 = 112.0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13} = 8.61$$

$$8.61 \leq 9\varepsilon \rightarrow 8,0 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA NE ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

$$8,61 \leq 10\varepsilon \rightarrow 8,61 \leq 10 \cdot 0.92 = 9,2 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 2}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2.**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97,3 \cdot 27.5}{1.00} = 2675,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2675,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 134,76 \text{ kN}$$

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

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1112,5 \cdot 27.5}{1.00} = 30593,7 \text{ kNcm} = 305,93 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 305.93 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 92,96 \text{ kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 13}{8} = 30.5$$

$$30.5 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 97,3 - 2 \cdot 28 \cdot 1,3 + |0,8 + 2 \cdot 2,4| \cdot 1,3 = 28,66 \text{cm}^2 \geq 1,20 \cdot 27,8 \cdot 0,8 = 28,66 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{28,66 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 455,04 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 455,04 \text{kN} > V_{z,Ed} = 25,19 \text{kN}$$

### INTERAKCIJA M-N

Presjek u  $L/4=1.99$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 455.04 = 227.52 \text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 25.19 < 227.52 \text{kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVJIANJE OD UZDUŽNE SILE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{25.19}{227.52} = 0.12 < 1$$

### OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$$L = 797 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{270}{2} = 13.5 \text{ cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760}{|1.0 \cdot 797^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108000}{4760} + \frac{|1.0 \cdot 797|^2 \cdot 8077 \cdot 621}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760} + |0.454 \cdot 13.5|^2} - 0.454 \cdot 13.5 \right]$$

$$M_{cr} = 89\,667.23 \text{ kNcm} = 89.67 \text{ kNm}$$

### Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1112.5 \cdot 27.5}{89\,667.23}} = 0.58 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

FAKTOR REDUKCIJE

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} = 0.96 < 1.2 \rightarrow \text{VALJANI PROFIL } d \rightarrow \alpha = 0.76$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.58 - 0.2) + 0.58^2] = 0.81$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.81 + \sqrt{0.81^2 - 0.58^2}} = 0.73 \leq 1.0$$

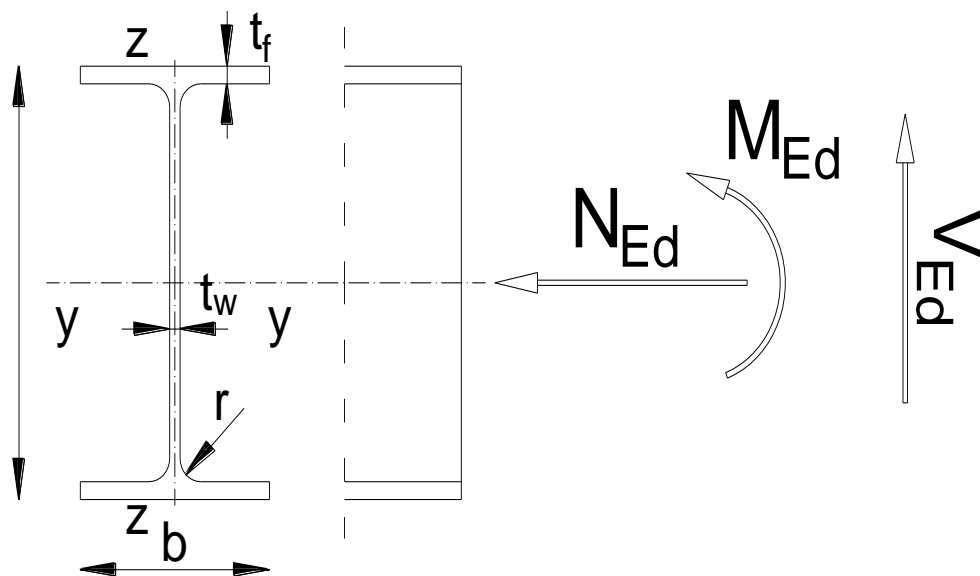
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.73 \frac{1112.5 \cdot 27.5}{1.00} = 220333.43 \text{ kNcm} = 220.3 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 220.3 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 50.18 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{50.18}{220.3} = 0.23 < 1.0$$

**Profil HEA200, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti od 23%.**

### 5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 44 Poprečni presjek bočne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE200	Moment tromosti	$I_y=1943\text{cm}^4$ $I_z=142,0\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=221,0\text{ cm}^3$ ; $W_y=252\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=44.6\text{cm}^3$ ; $W_z=37.3\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=200\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=13\ 000\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=6.98\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=9\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=6\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=28.5\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal 275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=\$	9,43 kNm		
$V_{z,Ed}=\$	8.77 kN		
	-		

Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

### **KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA**

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 200 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 158\text{mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26.33$$

$$26.33 \leq 72\varepsilon \rightarrow 26.33 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{100}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 35.0\text{mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35.0}{9} = 3.9$$

$$3.9 \leq 9\varepsilon \rightarrow 3.9 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

**POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1**

### **OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA**

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

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 6077.5 \text{ kNcm} = 60.77\text{kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 60.77\text{kNm} > M_{y,Ed} = 12.44\text{kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \cdot 27.5}{1.00} = 1226.5 \text{ kNcm} = 12.26\text{kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 12.26\text{kNm} > M_{z,Ed} = 0.13\text{kNm}$$

### Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30.33$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$30.33 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 28,5 - 2 \cdot 10 \cdot 0,9 + |0,6 + 2 \cdot 1,2| \cdot 0,9 = 13,2 \text{cm}^2 \geq 1,20 \cdot 20 \cdot 0,6 = 14,4 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{13,2 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 209,6 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 209,6 \text{kN} > V_{z,Ed} = 11,58 \text{kN}$$

U smjeru y-y

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ = 28,5 - 20 \cdot 0,6 = 16,5 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{16,5 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 261,97 \text{kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 261,97 \text{kN} > V_{y,Ed} = 0,12 \text{kN}$$

### Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 430\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{200}{2} = 10.0\text{cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{|1.0 \cdot 430^2|} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{26800}{142} + \frac{|1.0 \cdot 430|^2 \cdot 8077 \cdot 6,98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}} + |0.454 \cdot 10.0|^2 - 0.454 \cdot 10.0 \right]$$

$$M_{cr} = 1991.91 \text{ kNcm} = 19.91 \text{ kNm}$$

### Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 \cdot 27.5}{1991.91}} = 1.74 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$



### Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.74 - 0.2) + 1.74^2] = 2.18$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{2.18 + \sqrt{2.18^2 - 1.74^2}} = 0.29 \leq 1.0$$

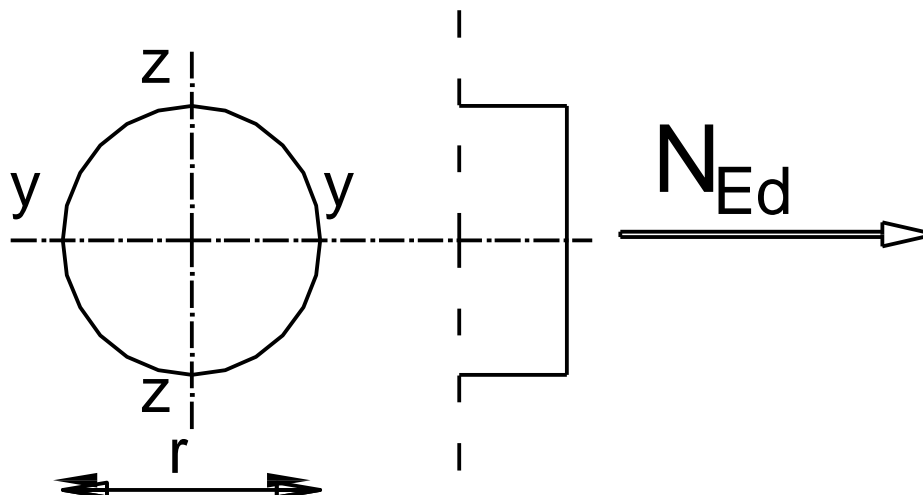
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.29 \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 1762.7 \text{ kNcm} = 17.62 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 17.62 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9.43 \text{ kNm}$$

**Profil IPE 220, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od  $\eta=54\%$ .**

## 5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA

### 5.2.4.1. HORIZONTALNI SPREG



Slika 45 Poprečni presjek sprega

Karakteristike presjeka: RD 20 $A=3.14\text{cm}^2$	Materijal S275 $\rightarrow f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$
Ulazni podaci: $N_{Ed}=28.41\text{ kN}$	$E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$

Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka sprega

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3.14 \cdot 27.5}{1.0} = 86.35\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 86.35\text{kN} > N_{Ed} = 28.41\text{kN}$$

$$\eta = \frac{28.41}{86.35} = 0.33 < 1.0$$

Profil RD 20, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od  $\eta=33\%$ .

### 5.2.4.2. DIMENZIONIRANJE BOČNOG SPREGA

Karakteristike presjeka: RD 20 $A=3.14\text{cm}^2$	Materijal S275 → $f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$
Ulazni podaci: $N_{Ed}=57.33\text{ kN}$	$E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$

Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,14 \cdot 27,5}{1,0} = 86,35\text{kN}$$

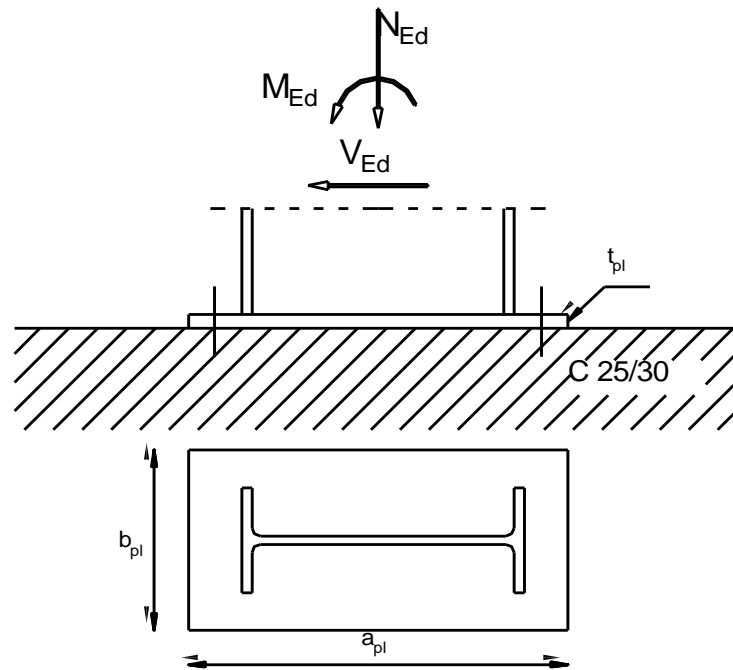
$$N_{c,Rd} = 86,35\text{kN} > N_{Ed} = 57,33\text{kN}$$

$$\eta = \frac{57,33}{86,35} = 0,64 < 1,0$$

**Profil RD 20, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od  $\eta=64\%$ .**

## 6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

### 6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 46 Spoj stup-temelj

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (STUP, HEA 280)	
$M_{Ed} =$	94.02kNm	Osnovni materijal S275	$h =$	270mm
$V_{Ed} =$	27.62kN	Vijci k.v. 10.9	$b =$	280mm
$N_{Ed} =$	-52.92kN		$t_w =$	8mm
			$t_f =$	13mm
			$A =$	97,3cm <sup>2</sup>

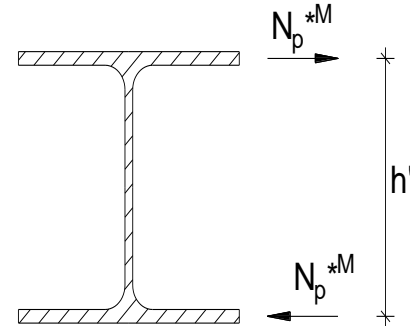
Tablica 22 Tablica karakteristika spoja stup-temelj

Veličine djelovanja su dobivene za istu kritičnu kombinaciju kao I kod graničnog stanja uporabljivosti.

### RASPODJELA SILA PO PRESJEKU NOSAČA:

#### Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:



$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{92.02}{(0.20 - 0.016)} = 500.1 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1.3}{97.3} \cdot (-52.92) = -14.14 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 500.1 - 14.14 = 485.96 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

### KONTROLA VAROVA:

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 280 = 560 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2t_f) = 2 \cdot (270 - 2 \cdot 13) = 488 \text{ mm}$$

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

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

Za pretpostavljeni var  $a = 6 \text{ mm}$

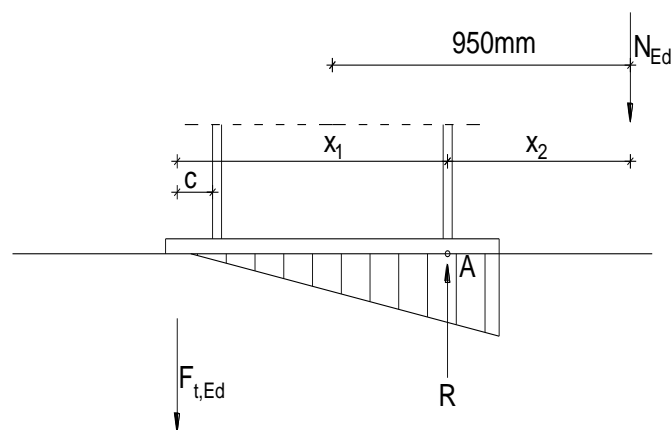
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{175.2}{1.25} \cdot \frac{560}{100} = 784.9 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 485.96 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{175.2}{1.25} \cdot \frac{488}{100} = 685.15 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 27.62 \text{ kN}$$

### PRORAČUN VIJAKA



Uz pretpostavku vijaka M-22 udaljenost  $c_{min}$  vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 6\sqrt{2} = 52.49 \text{ mm}$$

-Usvojeni  $c=55 \text{ mm}$

-Ekscentricitet uzdužne sile  $e = M_{Ed}/N_{Ed} = 92.02/52.92 = 1.74 \text{ m} = 1740 \text{ mm}$

-Ekscentricitet  $X_1 = c + h - t_f/2 = 55 + 270 + 13/2 = 331.5 \text{ mm} = 0.331 \text{ m}$

-Ekscentricitet  $X_2 = e - h + t_f/2 = 1740 - 270 + 13/2 = 1610 \text{ mm} = 1.610 \text{ m}$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{t,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 52.92 \cdot \frac{1.61}{0.331} = 257.4 \text{ kN}$$

### OTPORNOST VIJAKA NA VLAK

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272.7}{1.25} = 218.16\text{kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{257.4}{2} = 128.7\text{kN}$$

### OTPORNOST VIJAKA NA POSMIK

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{151.5}{1.25} = 121.2\text{kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{27.62}{4} = 6.9\text{kN}$$

### INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

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

$$\frac{6,9}{121,2} + \frac{128,7}{1.4 \cdot 218,16} = 0.48 \leq 1.0$$

### PRORAČUN PLOČE

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 270 + 2(55 + 60) = 500\text{mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20\text{mm} = 280 + 2 \cdot 6\sqrt{2} + 20 = 316.97\text{mm}$$

$$= p_2 + 2e_2 = 80 + 2 \cdot 50 = 180\text{mm}$$

ODRABRANE DIMENZIJE PLOČE SU **500x320**mm

### Proračun debljine ploče $t_{pl}^{\min}$

#### Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{sd}}{4} = \frac{27.62}{4} = 6.9 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$
$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{180.7}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl}^{\min} > \frac{6.9 \cdot 1.25 \cdot 10}{180.7} = 0.477 \text{ mm}$$

#### Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{500 - 320 + 13}{2} = 98 \text{ mm} = 0.098 \text{ m}$$
$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 128.7 + 52.92 = 181.62 \text{ kN}$$

#### Naprezanje na betonu

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{363.24}{\frac{3 \cdot 9.8 \cdot 32}{2}} = \frac{0.39 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.67 \text{ kN/cm}^2$$

### SAVIJANJE PLOČE

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$
$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 6200 \cdot 0.098 \cdot 0.32 \cdot \frac{0.098}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 6200 \cdot 0.098 \cdot 0.32}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.098 = 12.74 \text{ kNm}$$



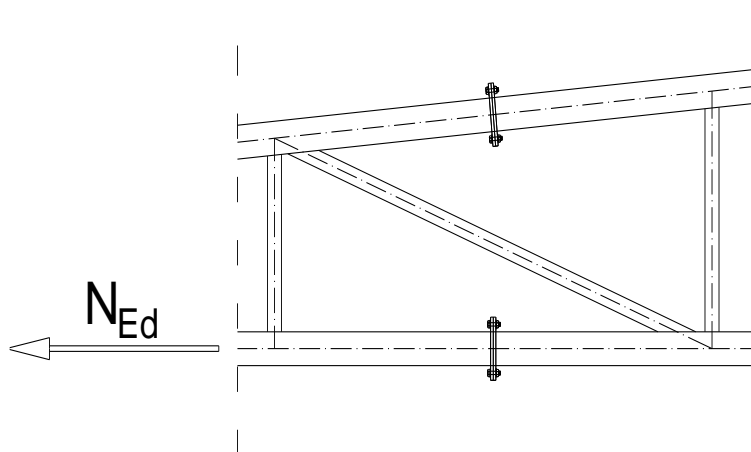
### **SAVIJANJE PLOČE OD VLAČNIH VIJAKA**

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left( c + \frac{t_f}{2} \right) = 128.7 \cdot \left( 55 + \frac{13}{2} \right) = 7\,915.05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}}$$
$$= \sqrt{\frac{1.1 \cdot 8\,751 \cdot 6}{34 \cdot 27.5}} = 2.56 \text{ cm} = 25.62 \text{ mm}$$

**ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 500x320x30 mm**

## 6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 47 Vlačni nastavak rešetke

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (CFRHS 120x80x5.0)	
$N_{Ed}$	308,93kN	Osnovni materijal S275	h=	120mm
		Vijci k.v. 10.9	b=	80mm
			$t_f$ =	5mm
			A=	18.36cm <sup>2</sup>

### 1.KONTROLA VAROVA

#### Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 0.7 \cdot 5 = 3.5\text{mm}$$

Odabrano  $a=4\text{mm}$

#### Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 120 = 480\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{480}{100} = 448.5\text{kN} > N_{Ed} = 308.93\text{kN}$$

## 2. PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: M22 k.v. 10.9

n=4 vijka

### Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{218.2}{1.25} = 174.56 \text{ kN}$$
$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{308.93}{4} = 77.23 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 174.56 \text{ kN}$$

## 3. PRORAČUN PLOČE

### Proračun dimenzije ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 4\sqrt{2} = 50 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 45 + 75 = 165 \text{ mm} \approx 170 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 120 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 151.31 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

**ODABRANE DIMENZIJE 260x260 mm**

Očitane vrijednosti e1 i e2 interpolirane su iz tablice.

$$e = 20 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 260 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 77.23 \cdot 0.02 = 3.09 \text{ kNm}$$

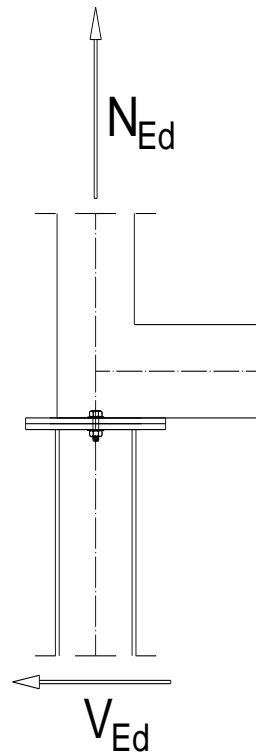
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2,min}}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 4}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 309 \cdot 4}{26.0 \cdot 27.5}} = \text{cm} = 15.4 \text{ mm}$$

ZADOVOLJAVA PLOČA DEBLJINE  $t_{pl} = 20 \text{ mm}$

**ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 260x260x20 mm**

### 6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



Veličine djelovanja:	Materijal:	Poprečni presjek:	
Poprečna sila u stupu $V_{Ed}=11.08 \text{ kN}$	Osnovni materijal S275	HEA 280( stup )	CFRHS 120x80x5.0
Vlačna sila u vertikali $N_{Ed}=143.19 \text{ kN}$	Vijci k.v. 10.9	$h=270 \text{ mm}$ $t_f=280 \text{ mm}$ $t_f=13 \text{ mm}$ $t_w=8 \text{ mm}$	$h=120 \text{ mm}$ $b=80 \text{ mm}$ $t_f=5.0 \text{ mm}$

## **1.KONTROLA VAROVA**

### **Dužina vara hrpta**

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 5 = 3.5\text{mm}$$

### **Dužina vara pojasa**

$$l_2 = 0 = 4 \cdot 120 = 480\text{mm}$$

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

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_f = 0.7 \cdot 5 = 3,5\text{mm}$$

ODABRANO  $a = 4.0\text{mm}$

### **Poprečna sila**

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{630}{100} = 588.67\text{kN} > V_{Ed} = 11.08\text{kN}$$

### **Uzdužna sila**

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{680}{100} = 635.4\text{kN} > N_{Ed} = 143.19\text{kN}$$

## **2.PRORAČUN VIJAKA**

Odabrani vijak M16, k.v. 10,9

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{78.5}{1.25} = 62.8 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{11.08}{2} = 5.54 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141.3}{1.25} = 113.04 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{143.19}{2} = 71.6 \text{ kN}$$

### **Interakcija uzdužne i posmične sile**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow \frac{5.54}{62.8} + \frac{71.6}{1.4 \cdot 113.04} = 0.54 \leq 1.0$$

### **3.PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE**

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 13 + 4\sqrt{2} = 31.65 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$a_{pl,min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 270 + 2 \cdot (40 + 40) = 430 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 311.31 \text{ mm} = 320 \text{ mm}$$

### **Pritisak po omotaču rupe**

$$F_{v,Ed} = \frac{T_{Ed}}{2} = \frac{11.08}{2} = 5.54 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} = \frac{5.54 \cdot 1.25 \cdot 10}{143.19} = 0.48 \text{ mm}$$

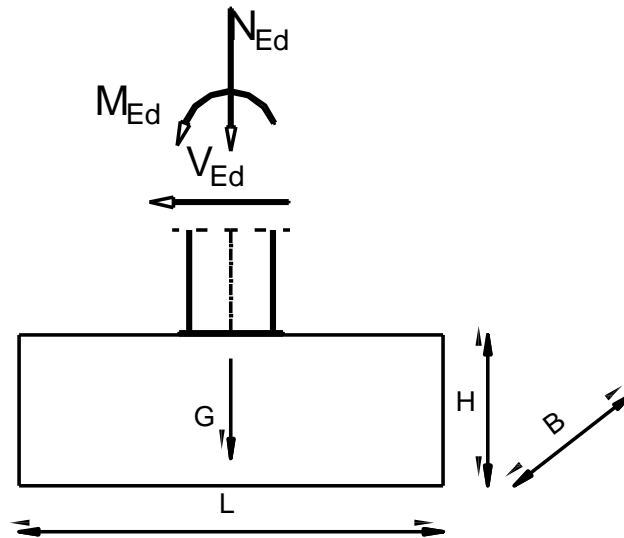
**Savijanje ploče od vlačnih vijaka**

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 71.6 \cdot 0.04 = 2.86 \text{ kNm}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 37.02 \cdot 5}{32 \cdot 27.5}} = 0.48 \text{ cm} = 5.0 \text{ mm}$$

**ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 430x320x6mm**

## 7. PRORAČUN TEMELJA



Tablica 23 Temelj i opterećenja temelja

Pretpostavljene dimenzije temelja:	Rezne sile:	Karakteristike (temelj, beton, čelik):
L=2.0m	$N_{Ed} = -134.76 \text{ kN}$	Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$
B=2.0m	$V_{Ed} = 26.88 \text{ kN}$	Beton C25/30: $f_{ck} = 25 \text{ kN/cm}^2$
H=1.5m	$M_{Ed} = 92.96 \text{ kNm}$	Čelik B500B: $f_{yk} = 50.0 \text{ kN/cm}^2$

Tablica 24 Karakteristike temelja i temeljnog tla

Površina temeljne stope:

$$A = L \cdot B = 2.0 \cdot 2.0 = 4.0 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope:

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2.0 \cdot 2.0 \cdot 1.5 \cdot 25 = 150 \text{ kN}$$

Moment otpora temeljne stope:

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2.0 \cdot 2.0^2}{6} = 1.33 \text{ m}^3$$



Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{134.76 + 150}{4} \pm \frac{92.96}{1.33}$$

$$\sigma_1 = 141.84 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = -2.02 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{92.96}{134.76 + 150} = 0.33 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left( \frac{2}{2} - 0.33 \right) = 2.01 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (134.76 + 150)}{2.01 \cdot 2.0} = \frac{141.7 \text{ kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2 - 0.31}{2} = 0.85 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2.01 - 0.85}{2.01} \cdot 141.7 = 81.78 \text{ kN/m}^2$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1.4 \cdot \left( 81.78 \cdot \frac{0.85}{2} \cdot 2 + \frac{141.7 - 81.78}{2} \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.85 \right) = 123.13 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu:

$$z \approx 0.8 \cdot H = 0.8 \cdot 1.5 = 120 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{13\,476}{120 \cdot \frac{50.0}{1.15}} = 2.58 \text{ cm}^2 < A_{S1,min} = \frac{0.1}{100} \cdot B \cdot H = 30.0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armature:

Odabrano: glavna armatura →  $\phi 12/15$

razdjelna armature →  $\phi 8/25$

## 8. LITERATURA

[1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Meta lne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

[2] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 2, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

[3] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

[4] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau.

[5] Prof.dr sc. Ivica Boko: Predavanja

[6] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

## 10. NACRTI

## **10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200**

## **10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50**

### **10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10**

## **10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50**

## **10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50**



## 10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10

## **10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU**

## TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTUKCIJU


POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED.TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 280	6300	22	37.8	5793.48
Donji pojas (DP1)	120x120x8	8000	22	28.4	6452.6
Donji pojas (DP2)	120x120x8	9000	11	28.4	2811.6
Gornji pojas (GP1)	120x120x8	8158	11	28.4	2546.6
Gornji pojas (GP2)	120x120x8	4520	11	28.4	1427.96
Gornji pojas (GP3)	120x120x8	12686	11	28.4	3975.55
Vertikala (V1)	120x80x5	734	22	14.8	238.37
Vertikala (V2)	120x80x5	968	22	14.8	315.59
Vertikala (V3)	120x80x5	1202	22	14.8	390.21
Vertikala (V4)	120x80x5	1436	22	14.8	467.56
Vertikala (V5)	120x80x5	1670	22	14.8	543.75
Vertikala (V6)	120x80x5	1970	11	14.8	320.74
Dijagonala (D1)	120x80x5	2549	22	14.8	829.38
Dijagonala (D2)	120x80x5	2605	22	14.8	846.5
Dijagonala (D3)	120x80x5	2681	22	14.8	872.6
Dijagonala (D4)	120x80x5	2669	22	14.8	869.35
Dijagonala (D5)	120x80x5	2760	22	14.8	898.65
Pločica (P1)	500x320x30	proračun preko zapremnine	22	50.44	1109.68
Pločica (P2)	430x320x8	proračun preko zapremnine	66	12.54	827.64
Pločica (P3)	260x260x20	proračun preko zapremnine	44	16.08	707.52
Krovne podrožnice	IPE 200	4300	132	25.4	14417.64
Bočne podrožnice	IPE 200	4300	88	25.4	9611.48
Zabatni stupovi (ZS 1)	HEA 280	7970	2	37.8	602.57
Zabatni stupovi (ZS 2)	HEA 280	6818	4	37.8	1030.61

**SUMA  $\Sigma$ :** 57 912.37

**+2% SPOJNA SREDSTVA** 1545.27

**UKUPNO (kg):** 59 457.64

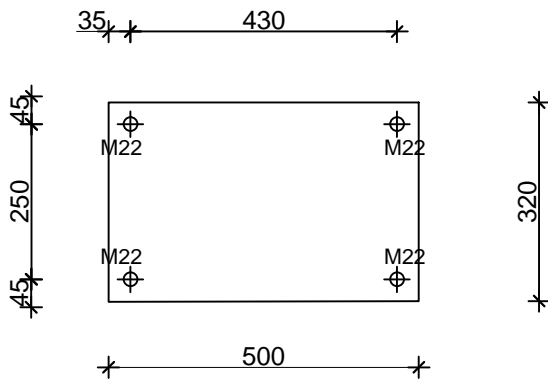
**UKUPNO (kg/m<sup>2</sup>):** 55.31

Građevina: Proizvodna hala	 <b>SVEU U SPLITU</b> Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Predmjer materijala	
Izradio: FRANE MILJAK	MJ: / Datum: rujan 2018.
PRILOG: 7	

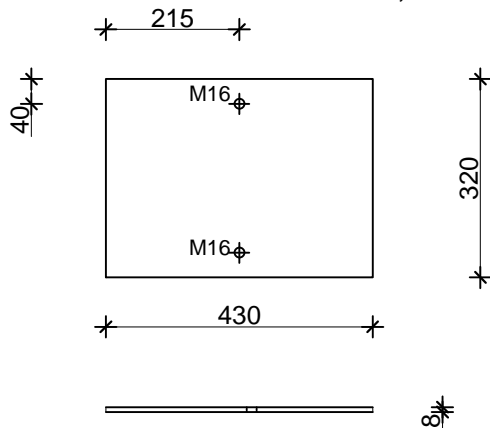
# PRIKAZ PLOČICA

M 1:10

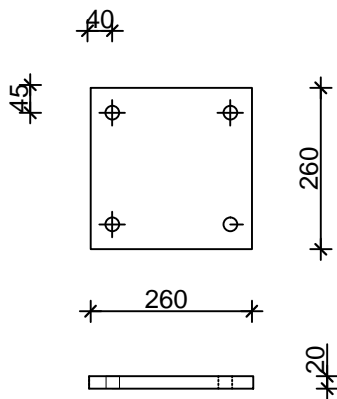
## PLOČICA P1 500x320x30, kom=22



## PLOČICA P2 430x320x8, kom=22



## PLOČICA P3 320x320x20, kom=66



Građevina: Proizvodna hala

Predmet: Osnove metalnih konstrukcija

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sadržaj: Prikaz pločica

Izradio: FRANE MILJAK

PRILOG: 6

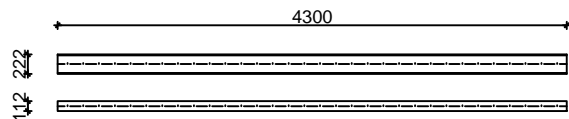


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
Fakultet građevinarstva, arhitekture i  
geodezije  
Split, Matice hrvatske 15

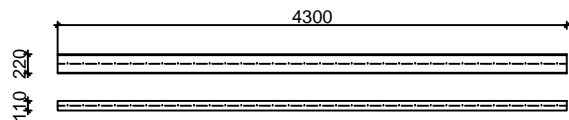
MJ: 1:10

Datum:  
rujan 2018.

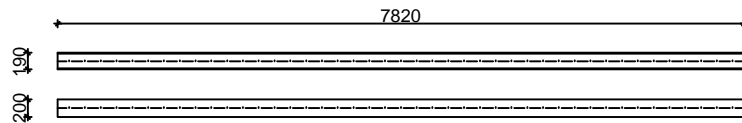
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 200  $I=4300\text{mm}$ , kom=132



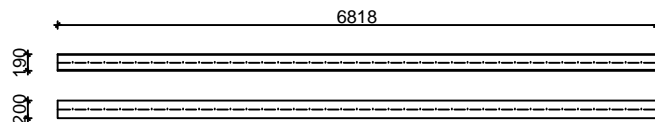
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 200  $I=4300\text{mm}$ , kom=88



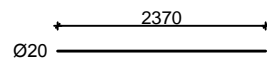
ZABATNI STUPOVI (ZB 1) HEA 280  $I=7970\text{mm}$ , kom=2



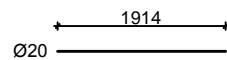
ZABATNI STUPOVI (ZB 2) HEA 280  $I=6818\text{mm}$ , kom=4



KROVNI SPREGOVI (KS1) •  $l=2370\text{mm}$ , kom=8



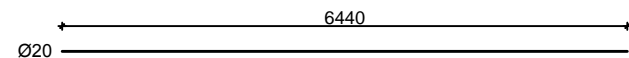
KROVNI SPREGOVI (KS2) •  $l=1914\text{mm}$ , kom=8



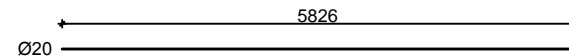
## RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE


M 1:50

BOČNI SPREGOVI (BS 1) •  $l=6440\text{mm}$ , kom=8



BOČNI SPREGOVI (BS 2) •  $l=5826\text{mm}$ , kom=4

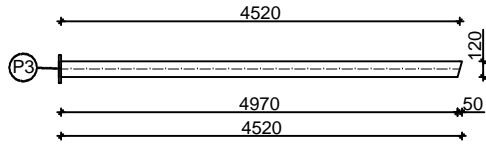


Građevina: Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Radionički nacrt sekundarne konstrukcije	
Izradio: FRANE MILJAK	MJ: 1:50 Datum: rujan 2018.
PRILOG: 5	

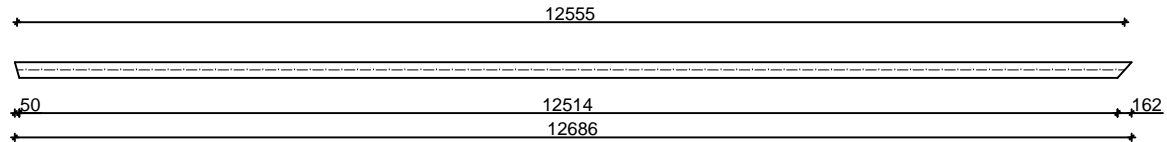
# RADIONIČKI NACRT GLAVNE KONSTRUKCIJE

M 1:50

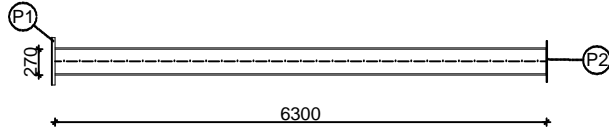
GORNJI POJAS (GP2) 120x120x8  $\square$  l=4520mm, kom=1x11



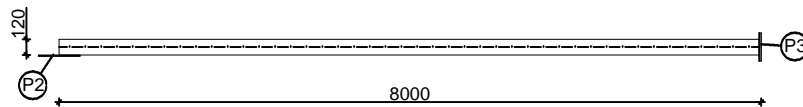
GORNJI POJAS (GP3) 120x120x8  $\square$  l=12686mm, kom=1x11



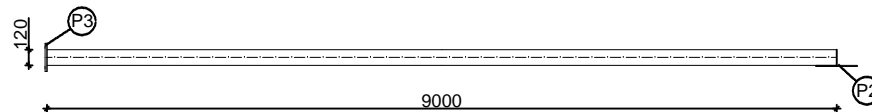
STUP (S) HEA 280 I l=6300mm, kom=2x11



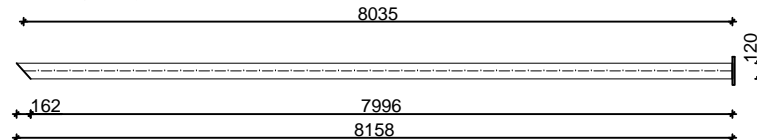
DONJI POJAS (DP1) 120x120x8  $\square$  l=8000mm, kom=2x11




DONJI POJAS (DP2) 120x120x8  $\square$  l=9000mm, kom=1x11



GORNJI POJAS (GP1) 120x120x8  $\square$  l=8158mm, kom=1x11



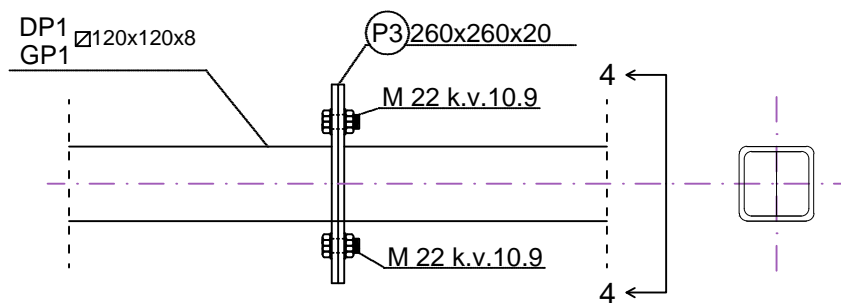
Građevina: Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija		
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale		
Sadržaj: Radionički nacrt sekundarne konstrukcije		
Izradio: FRANE MILJAK		
PRILOG: 4	MJ: 1:50	Datum: rujan 2018.

# DETALJ "C" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

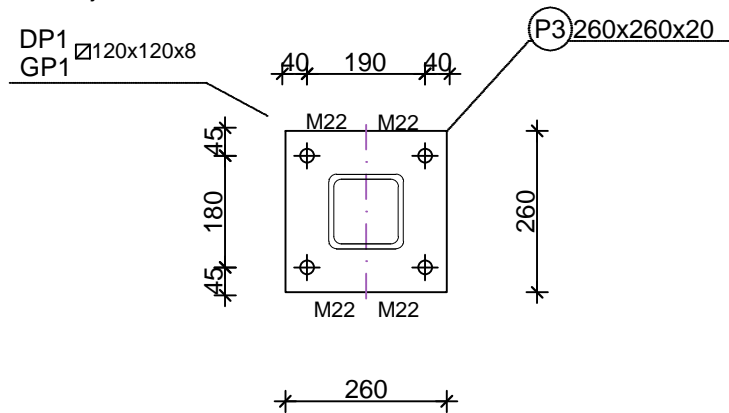
## DETALJ SPOJA

M 1:10

Pogled



Presjek 4-4



Građevina: Proizvodna hala

Predmet: Osnove metalnih konstrukcija

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sadržaj: Detalji spojeva

Izradio: FRANE MILJAK

PRILOG: 3



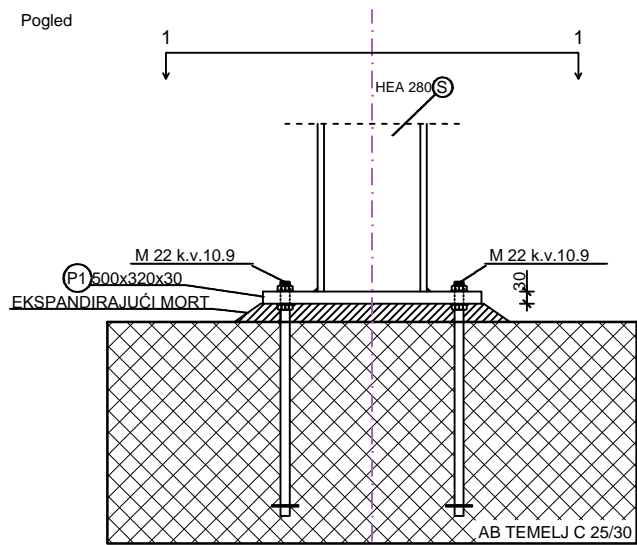
**UCA**

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije  
Split, Matice hrvatske 15

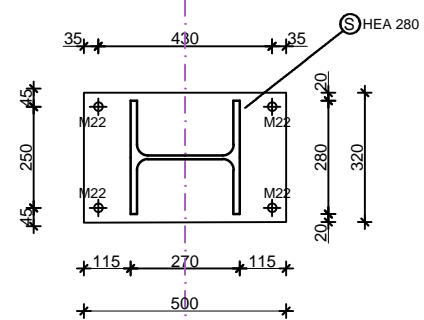
MJ: 1:10

Datum:  
rujan 2018.

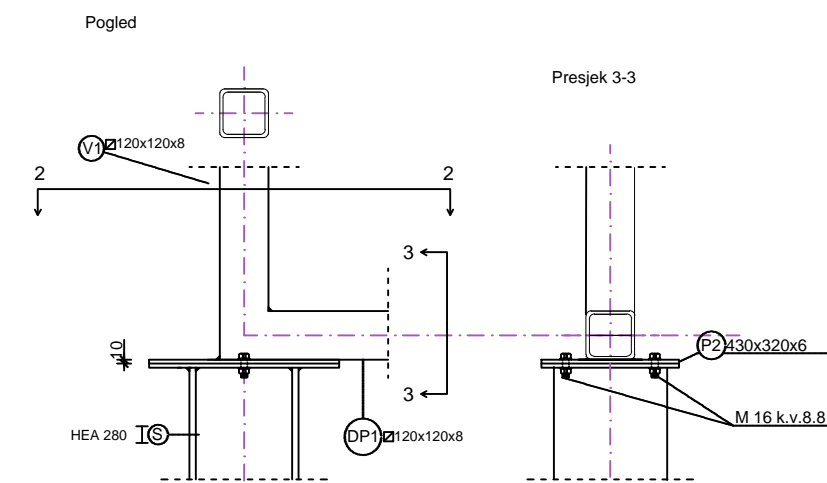
DETALJ "A" SPOJ STUP-TEMELJ



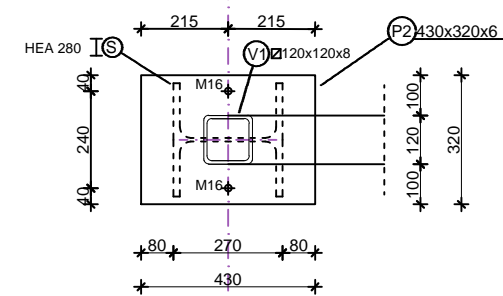
Presjek 1-1



DETALJ "B" ZGLOBNI SPOJ STUPA SA REŠETKOM




Presjek 2-2



DETALJI SPOJEVA

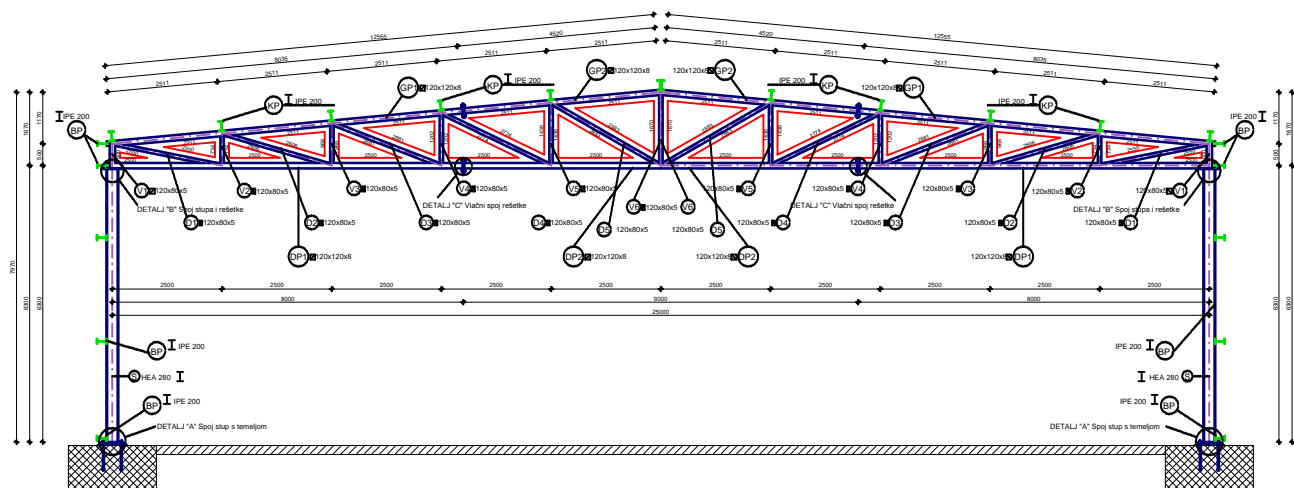
M 1:10

Građevina:	Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet:	Osnove metalnih konstrukcija	
Tema:	Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj:	Detalji spojeva	
Izradio:	FRANE MILJAK	
PRILOG:	3	M.J: 1:10 Datum: rujan 2018.



**PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR**

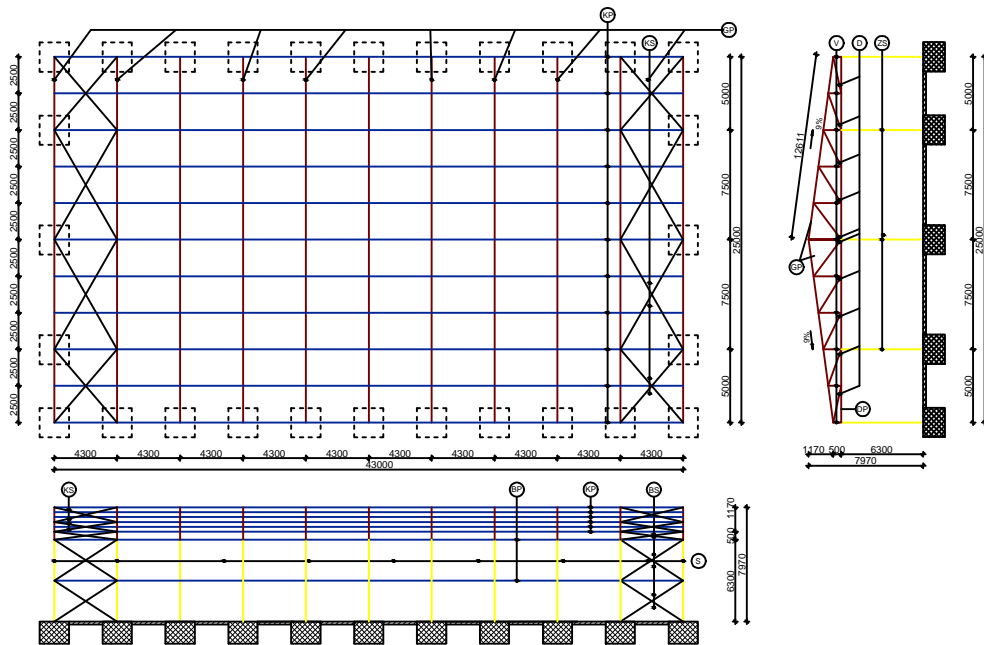
M 1:50




Građevina:	Proizvodna hala	
Predmet:	Osnovna metalna konstrukcija	
Tema:	Proračun i izrada konstrukcije proizvodne	SVEUČILIŠTE U SPLITU
Sadržaj:	Presjek kroz glavni okvir	Fakultet građevinarstva, elektrotehnike i prometne Sipl, Matije Gupca 15
Izradio:	FRANE MILJAK	
PRILOG:	2	M: 1:50 Dokumenti rijeni 2018.

# GENERALNI PLAN POZICIJA

M 1:200



GORNJI POJAS	CFRHS 120x120x8	KROVNI SPREGOVI	RD 20
DONJI POJAS	CFRHS 120x120x8	BOČNI SPREGOVI	RD 20
VERTIKALE	CFRHS 120x80x5	BOČNE PODROŽNICE	IFE 200
DIJAGONALE	CFRHS 120x80x5	ZABATNI STUPOVI	HEA 280
KROVNE PODROŽNICE	IFE 200	STUPOVI	HEA 280

Građevina:	Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodizije Split, Matije Hrvatske 15
Predmet:	Osnove metalnih konstrukcija	
Tema:	Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj:	Generativni plan pozicija	
Izradio:	FRANE MILJAK	
PRILOG:	1	MJ: 1:200
		Datum:
		rujan 2018.



OBRAZAC:

Obrazac osnovnih podataka završnog rada preddiplomskog sveučilišnog studija Građevinarstva i stručnog studija Građevinarstva za pohranu u Repozitoriju Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije (Dabar)

1.	<b>STUDIJ:</b>	Preddiplomski građevinarstva
2.	<b>KANDIDAT/KINJA:</b>	Frane MIljak
3.	<b>BROJ INDEKSA:</b>	4291
4.	<b>KATEDRA:</b>	Katedra za drvene i metalne konstrukcije
5.	<b>PREDMET:</b>	Osnove metalnih kostrukcija
6.	<b>DATUM OBRANE:</b>	12.9.2018
7.	<b>MENTOR:</b>	Prof.Ivica Boko
8.	<b>NASLOV ZAVRŠNOG RADA:</b>	Proračun metalne konstrukcije
9.	<b>SAŽETAK (minimalno 150 znakova):</b>	Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije. Objekt se nalazi na području Zagreba. Proračun se provodi na temelju krajnjeg graničnog stanja (KGS) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno: vlastita težina i promjenjivo: snijeg i vjetar. Rezultati unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia Engineer 2017“.
10.	<b>KLJUČNE RIJEČI:</b>	Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, podrožnice, rešetka, stup, dimenzioniranje, spojevi.
11.	<b>NASLOV ZAVRŠNOG RADA (na engleskom jeziku):</b>	Design of a steel manufacturing hall
12.	<b>SAŽETAK (na engleskom jeziku):</b>	Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: it is main supporting structure, secondary structure and bracings. Object is located in Split. Estimate is based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit states (SLS). Loads are permanent: self weight and variable: snow and wind. Results are from „Scia Engineer 2016“.



13.	<b>KLJUČNE RIJEČI (na engleskom jeziku):</b>	Steel, hall, load-bearing structure, bracings, purlins, grating, column, design, joints.
-----	--	--

Napomena:

Ovaj obrazac se ispunjava računalno, a zatim se u istom formatu (MS Word dokument) pohranjuje na CD-u/DVD-u uz završni rad.