# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

**Tepić, Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:113406

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-25**

*Repository / Repozitorij:*

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

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

# ZAVRŠNI RAD

**Ante Tepić**

**Split, 2016.**

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

# Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

**Završni rad**

**Split,2016.**

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

Split, Matice hrvatske 15

| | |
|---|---|
| STUDIJ: | **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA** |
| KANDIDAT: | Tepić Ante |
| BROJ INDEKSA: | 4132 |
| 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 235
Objekt se nalazi na području Osijeka.
Razmak okvira: 6 (m)

U Splitu, 6.4.2016.

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.

***Ključne riječi:***

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

# Design of a steel manufacturing hall

***Abstract:***

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: its main supporting structure, secondary structure and bracings.

***Keywords:***

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

# SADRŽAJ

**1 TEHNIČKI OPIS 1**

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE 1
*1.1.1 Općenito 1*
*1.1.2 Konstruktivni elementi 2*
*1.1.3 Spojevi 2*
1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE 3
1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE 3
1.4 PRIMIJENJENI PROPISI 3
1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA 3
1.6 ZAŠTITA OD POŽARA 3

**2 ANALIZA OPTEREĆENJA 4**

2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR) 4
*2.1.1 Stalno opterećenje 4*
*2.1.2 Pokretno opterećenje 5*
2.2 SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 13
*2.2.1 Stalno opterećenje 13*
*2.2.2 Pokretno opterećenje 14*
*2.2.3 Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za krovne i bočne spregove 22*

**3 KONTROLA PROGIBA (GSU) 23**

3.1 KROVIŠTE 23
3.2 STUP 25

**4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN) 26**

4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 26
*4.1.1 Kombinacija 1,35G+1,5S 26*
*4.1.2 Kombinacija 1,35G+1,35($W_2$+S) 27*
*4.1.3 Kombinacija 1,0G+1,5W2 28*
4.2 SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 29
*4.2.1 Krovne podrožnice 29*
*4.2.2 Bočne podrožnice 35*

**5 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE 39**

5.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 39
*5.1.1 Dimenzioniranje stupa 39*
*5.1.2 Dimenzioniranje grede 47*
5.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 55
*5.2.1 Dimenzioniranje krovnih spregova 55*
*5.2.2 Dimenzioniranje bočnih spregova 56*
*5.2.3 Dimenzioniranje krovnih nosača (podrožnica) 57*
*5.2.4 Dimenzioniranje bočnih nosača 66*

**6 DIMENZIONIRANJE SPOJEVA 75**

6.1 SPOJ STUP-TEMELJ 75
6.2 SPOJ STUP-GREDA 77
6.3 SPOJ GREDA-GREDA 80
6.4 SPOJ NASTAVKA GREDE 82
6.5 SPOJ GREDA-KROVNA PODROŽNICA 85

**7 NACRTI 86**

7.1 GENERALNI PLAN POZICIJA 86
7.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR 87
7.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA 88
7.4 RADIONIČKI NACRT KROVNE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE 89

7.5 RADIONIČKI NACRT BOČNE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE 90
7.6 RADIONIČKI NACRT SPREGOVA 91
7.7 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ 92
7.8 DETALJ SPOJA STUP-GREDA 93
7.9 DETALJ SPOJA GREDA-GREDA 94
7.10 DETALJ NASTAVKA GREDE 95
7.11 DETALJ SPOJA GREDA-KROVNA PODROŽNICA 96
7.12 PRIKAZ PLOČICA I UKRUTA 97

**8 PRORAČUN TEMELJA 98**

**9 PREDMJER MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU 99**

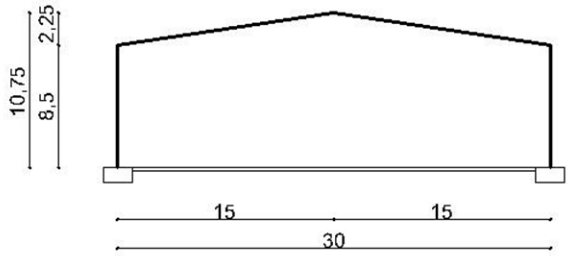
**10 LITERATURA 100**

# 1 TEHNIČKI OPIS

## 1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

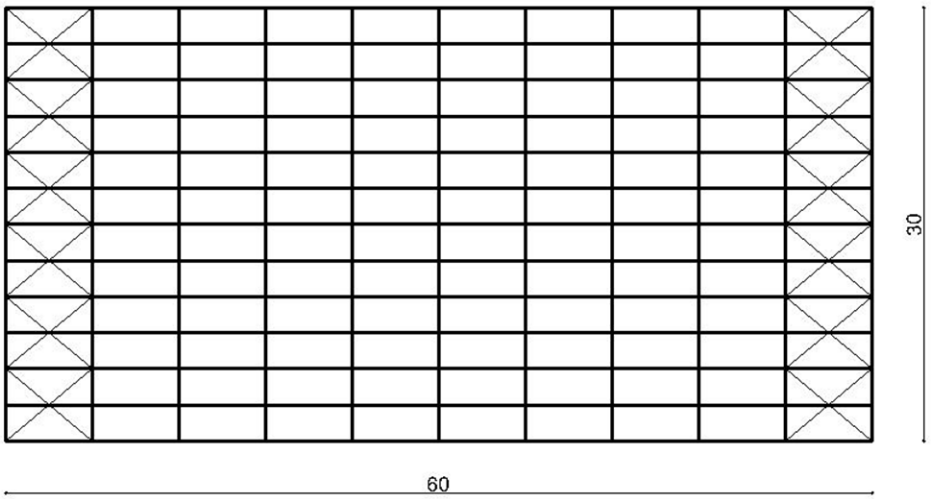
### 1.1.1 OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Osijeka. Tlocrtne dimenzije su 30,0 x 60,0 (m), a visina iznosi 10,75 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom α = 8,53°, što je ekvivalentno nagibu od 15%. Projektirana je za potrebe skladištenja.




*Slika 1 Prikaz glavnog nosača*

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 11 ravninskih okvira raspona 30,0 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 6 (m).




*Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije*

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,53 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,13 (m).
Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem).
Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.
Stupovi i grede su nosači međusobno spojeni upetim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je zglobnom vezom.

### 1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

#### 1.1.2.1 GREDE

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA 1000.

#### 1.1.2.2 STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA 800 ukupne dužine 8500 (mm).

#### 1.1.2.3 KROVNA SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

Proračunom su odabrane podrožnice valjanih I profila IPE 240.

#### 1.1.2.4 BOČNA SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

Proračunom su odabrane podrožnice valjanih I profila IPE 200.

#### 1.1.2.5 SPREGOVI

Kao dijagonale krovnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 13 (mm). Kao dijagonale bočnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 27 (mm).

#### 1.1.2.6 TEMELJI

Proračunom su odabrani temelji dimenzija 1,8 x 1,8 x 0,6 (m).

### 1.1.3 SPOJEVI

#### 1.1.3.1 SPOJ STUP – TEMELJ

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 790/300/15 (mm) navarenom na kraj stup i pričvršćenom vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

#### 1.1.3.2 SPOJ STUP – GREDA

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 1362/300/40 (mm),ukrutom i vijcima M36 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

#### 1.1.3.3 SPOJ GREDA -GREDA

Spoj grede i grede na krovištu ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 1001/300/15 (mm) i vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

#### 1.1.3.4 SPOJ NASTAVKA GREDE

Spoj nastavka grede ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 1130/300/15 (mm) i vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

#### 1.1.3.5 SPOJ GREDA – KROVNA PODROŽNICA

Spoj grede krovne podrožnice ostvaren je vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

## 1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

- stalno (vlastita težina građevine),
- snijeg,
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 30,0 (m) širine krovne plohe.
Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 2016.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.
Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 5 polja. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

## 1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S235.
Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom. Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

## 1.4 PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

| | |
|---|---|
| Analiza opterećenja | |
| HRN ENV 1991-2-1 | vlastita težina građevine |
| HRN ENV 1991-2-3 | djelovanje snijega na konstrukciju |
| HRN ENV 1991-2-4 | djelovanje vjetra na konstrukciju |
| Dimenzioniranje | |
| HRN ENV 1993 | dimenzioniranje čeličnih konstrukcija |
| HRN ENV 1992 | dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija |

## 1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA

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

## 1.6 ZAŠTITA OD POŽARA

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

# 2 ANALIZA OPTEREĆENJA

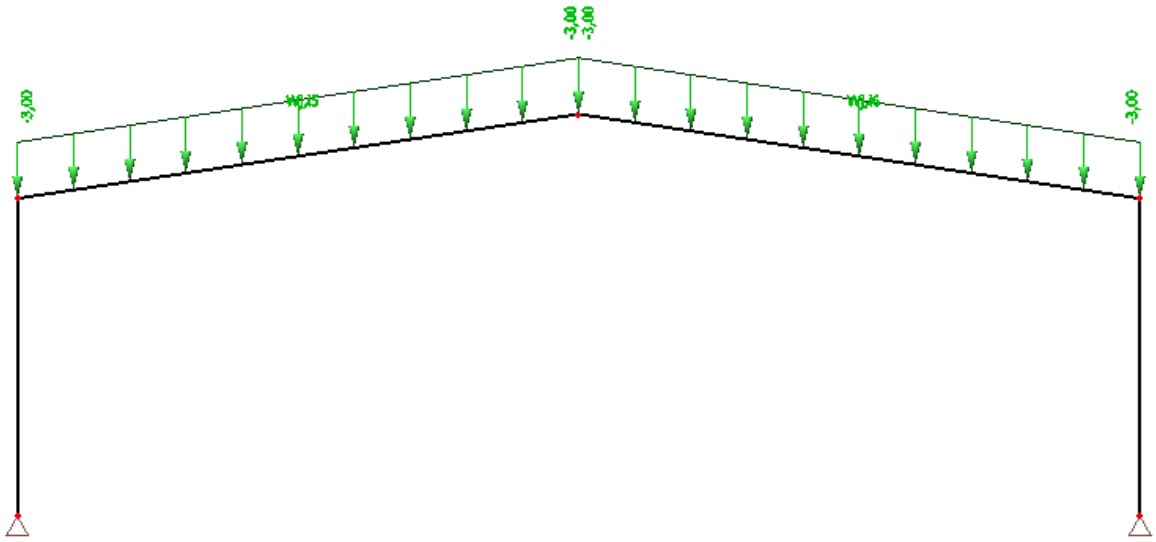
## 2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

### 2.1.1 STALNO OPTEREĆENJE

#### 2.1.1.1 KROVNA PLOHA

| | | |
|---|---|---|
| - sendvič paneli (aluminij) ..... | 0,20 | kN/m$^2$ |
| - sekundarna konstrukcija i spregovi ..... | 0,20 | kN/m$^2$ |
| - instalacije ..... | 0,10 | kN/m$^2$ |
| Σ = | 0,50 | kN/m$^2$ |

$G_{kp}$ = 0,50 kN/m$^2$ · 6,0m = 3,0 kN/m'




*Slika 3 Stalno opterećenje pročelja*

### 2.1.2 POKRETNO OPTEREĆENJE

#### 2.1.2.1 DJELOVANJE SNIJEGA

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

$s_k$ => karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u $kN/m^2$

$s_k = 0{,}8\ kN/m^2$ <=> za Osijek, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

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

α je nagib krova

$tg\alpha = 15/100=0{,}15$ ➔ $\alpha = 8{,}53°$ ;

$\mu_i = 0{,}8$ <=> za nagib krova $0° < \alpha < 15°$ $\alpha_1 = \alpha_2$

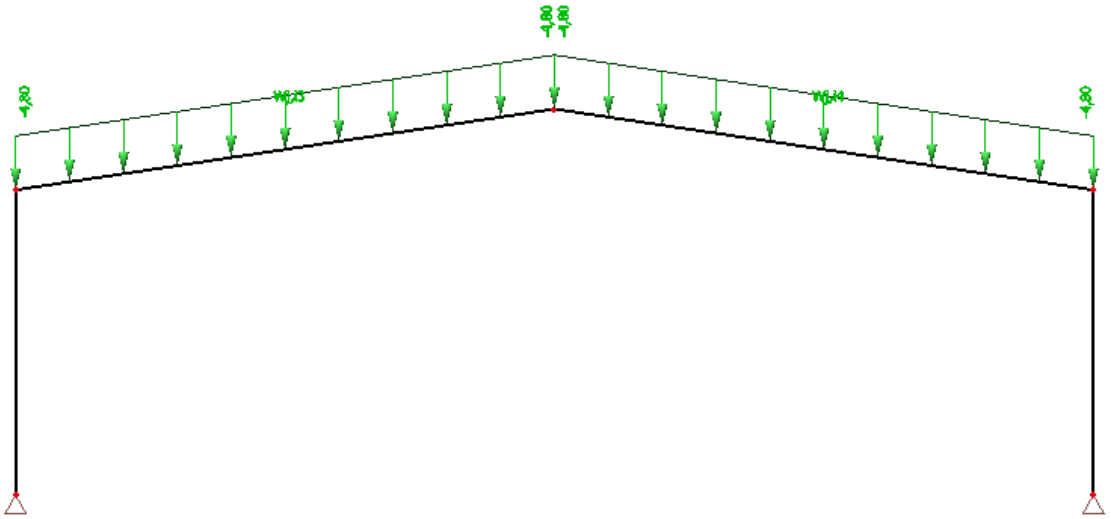
$c_e$ => koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

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

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine: **$s_1$ = 1,0 * 0,8 * 1,0 * 1,0= 0,8 [ $kN/m^2$ ]**

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0{,}8\ kN/m^2 \cdot 6{,}0\ m = 4{,}8\ kN/m$$



*Slika 4 Opterećenje snijegom pročelja*

### 2.1.2.2 DJELOVANJE VJETRA

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

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

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

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

$c_{pe}$ => vanjski koeficijent pritiska

$c_{pi}$ => unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

ρ => gustoća zraka(usvaja se ρ = 1,25 kg/m$^3$)

$v_b$=>osnovna brzina vjetra

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

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

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

$c_{season}$ => faktor doba godine(uzima se 1,0)

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

$v_m(z)$=>srednja brzina vjetra

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$ *(m/s)*

$c_0(z)$ => faktor hrapavosti

$c_r(z)$ => faktor orografije(uzima se 1,0)

$k_r(z)$ => faktor terena

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

$c_r(z) = k_r \cdot ln(z/z_0) = 0{,}19 \cdot ln(10{,}75/0{,}3) = 0{,}68$

$v_m(z) = 0{,}68 \cdot 1{,}0 \cdot 20 = 13{,}6$ *(m/s)*

$I_v(z)$=> intenzitet turbulencije

$k_1$=> faktor turbulencije(uzima se 1,0)

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z0)} = \frac{1{,}0}{1{,}0 \cdot \ln(10{,}75/0{,}3)} = 0{,}279$$

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

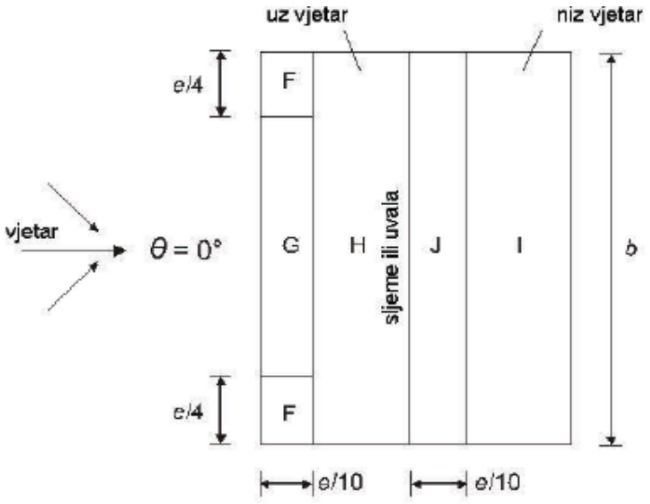
$c_e(z)$ => faktor izloženosti

$c_e(z) = (1+7 \cdot I_v(z)) = 1+7 \cdot 0{,}279 = 2{,}953$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1+7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^{\,2} = (1+7 \cdot 0{,}279) \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 13{,}6 = 0{,}341\ (kN/m^2)$$

### 2.1.2.2.1 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KROVA Θ=0




*Slika 5 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove Θ=0*

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba α = 8,53° za područja dvostrešnog krova Θ=0

*Tablica 1 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | -1,42 | -1,06 | -0,49 | -0,22 | -0,53 |

| TaPODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | 0,07 | 0,07 | 0,07 | -0,39 | -0,39 |

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p = 0,341$ kN/m$^2$

*Tablica 2 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | -1,42 | -1,06 | -0,49 | -0,22 | -0,53 |
| $w_{e1}$ (kN/m$^2$) | -0,48 | -0,36 | -0,17 | -0,08 | -0,18 |

*Tablica 3 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcij*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | 0,07 | 0,07 | 0,07 | -0,39 | -0,39 |
| $w_{e2}$ (kN/m$^2$) | 0,02 | 0,02 | 0,02 | -0,13 | -0,13 |

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e$ '+' $w_i$ [kN/m$^2$]

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

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], $L$ 6,0 m→ razmak okvira

*Tablica 4 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $w_e$ (kN/m$^2$) | -0,48 | -0,36 | -0,17 | -0,08 | -0,18 |
| $w_i$ (kN/m$^2$) | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| $w_k$ (kN/m$^2$) | -0,55 | -0,43 | -0,24 | -0,15 | -0,25 |
| $W_k$ (kN/m') | -3,3 | -2,58 | -1,44 | -0,9 | -1,5 |

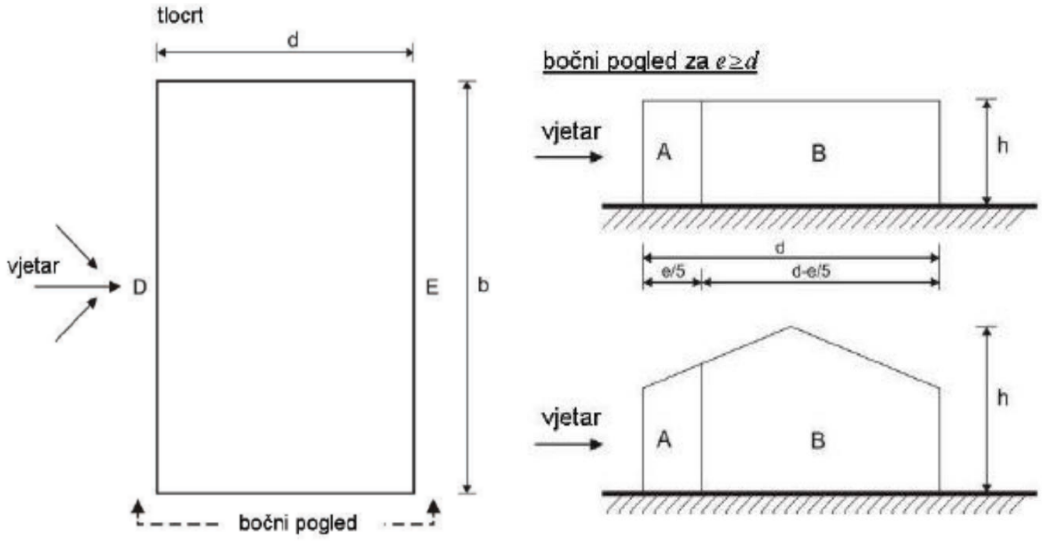
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ($c_{pi}$ = –0,3)

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], $L$ = 6 m→ razmak okvira

*Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $w_e$ (kN/m$^2$) | 0,02 | 0,02 | 0,02 | -0,13 | -0,13 |
| $w_i$ (kN/m$^2$) | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 |
| $w_k$ (kN/m$^2$) | -0,12 | -0,12 | -0,12 | -0,03 | -0,03 |
| $W_k$ (kN/m') | -0,78 | -0,78 | -0,78 | 0,18 | 0,18 |

### 2.1.2.3 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOV




*Slika 6 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidov*

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove h/d=0,358

*Tablica 6 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | –1,2 | –0,8 | –0,5 | +0,71 | –0,34 |

Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

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

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p$ = 0,341 kN/m$^2$ -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

*Tablica 7 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | –1,2 | –0,8 | –0,5 | +0,71 | –0,34 |
| $w_e$ (kN/m$^2$) | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

$q_p$ = 0,341 kN/m$^2$, $c_i(z_i)$ = 2,0

$w_i$ = 0,341 · 0,2 = +0,0682 kN/m$^2$

$w_i$ = 0,341 · -0,3 = -0,1023 kN/m$^2$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e - w_i$ [kN/m$^2$]

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

*Tablica 8 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| **$w_e$ (kN/m$^2$)** | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |
| **$w_i$ (kN/m$^2$)** | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| **$w_k$ (kN/m$^2$)** | -0,48 | -0,34 | -0,24 | 0,17 | -0,19 |
| **$W_k$ (kN/m')** | 4,08 | 2,89 | 2,04 | 1,45 | 1,62 |

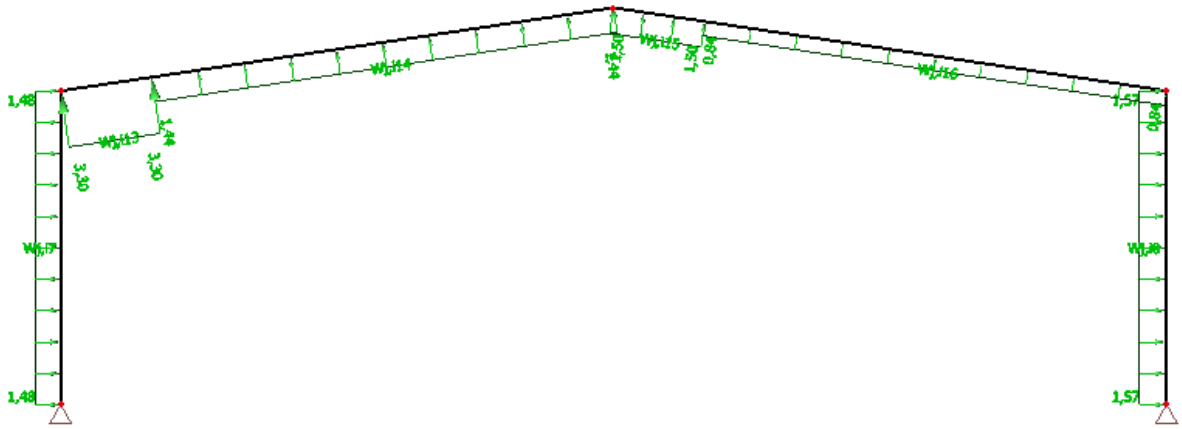
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak ($c_{pi}$ = –0,3)

*Tablica 9 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| **$w_e$ (kN/m$^2$)** | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |
| **$w_i$ (kN/m$^2$)** | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 |
| **$w_k$ (kN/m$^2$)** | -0,31 | -0,17 | -0,07 | 0,34 | -0,02 |
| **$W_k$ (kN/m')** | 2,64 | 1,45 | 0,6 | 2,89 | 0,17 |

***W1***

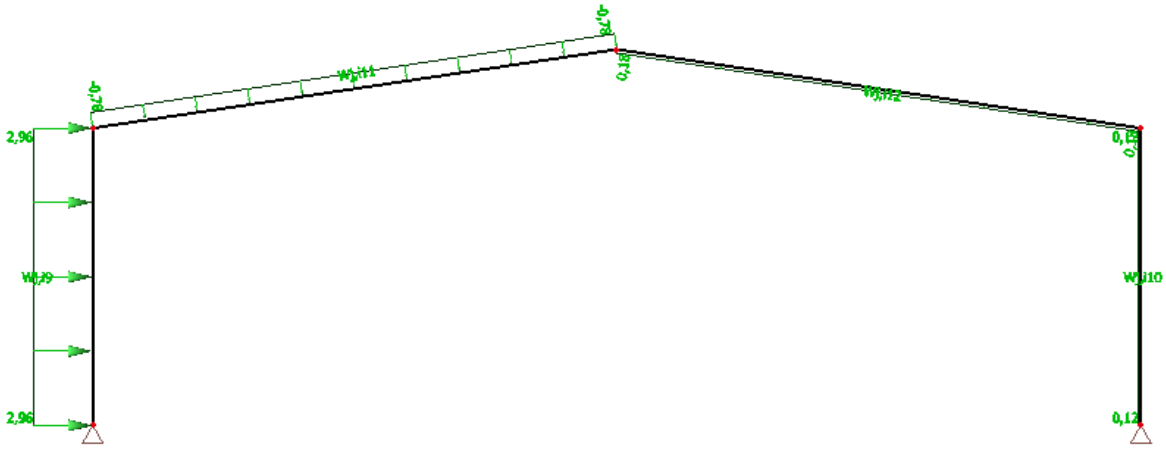
*$W_1$= 3,30 (kn/m')  F zona  $W_6$= 1,45 (kn/m')  D zona*
*$W_2$= 2,58 (kn/m')  G zona  $W_7$=1,62 (kn/m')  E zona*
*$W_3$= 1,44 (kn/m')  H zona*
*$W_4$= 0,90 (kn/m')  I zona*
*$W_5$= 1,50 (kn/m')  J zona*




*Slika 7 Opterećenje vjetrom W1 u čvorovima rešetke*

***W2***

*$W_1$= 0,78 (kn/m')  F zona  $W_6$= 2,89 (kn/m')  D zona*
*$W_2$= 0,78 (kn/m')  G zona  $W_7$=0,17 (kn/m')  E zona*
*$W_3$= 0,78 (kn/m')  H zona*
*$W_4$= 0,18 (kn/m')  I zona*
*$W_5$= 0,18 (kn/m')  J zona*




*Slika 8 Opterećenje vjetrom W2 u čvorovima rešetke*

## 2.2 SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

### 2.2.1 STALNO OPTEREĆENJE

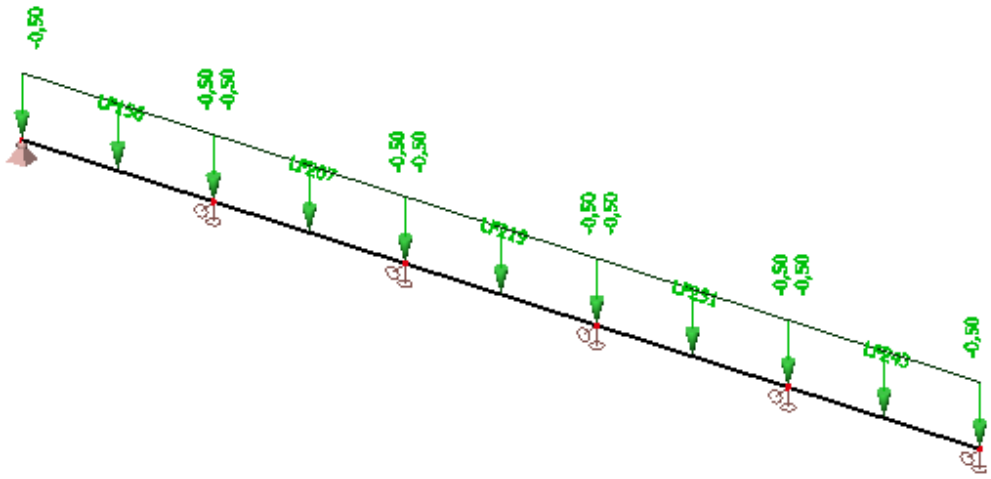
#### 2.2.1.1 OPTEREĆENJE SENDVIČ PANELIMA KROVNIH PODROŽNICA

- sendvič paneli (aluminij) ..... 0,20 kN/m$^2$

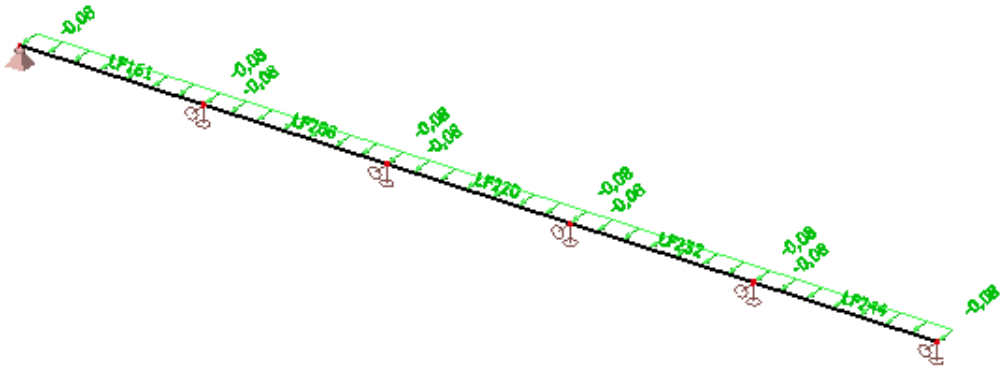
$$G_z = g \cdot l \cdot cos\alpha = 0{,}20 \cdot 2{,}53 \cdot cos\ 8{,}53° = 0{,}5 kN/m'$$

$$G_y = g \cdot l \cdot sin\alpha = 0{,}20 \cdot 2{,}53 \cdot sin\ 8{,}53° = 0{,}075\ kN/m'$$

***l***→razmak sekundarnih krovnih nosača, $l$ = 2,53 m



*Slika 9 Opterećenje sendvič panelima u z smjeru*



*Slika 10 Opterećenje sendvič panelima u y smjeru*

## 2.2.2 POKRETNO OPTEREĆENJE

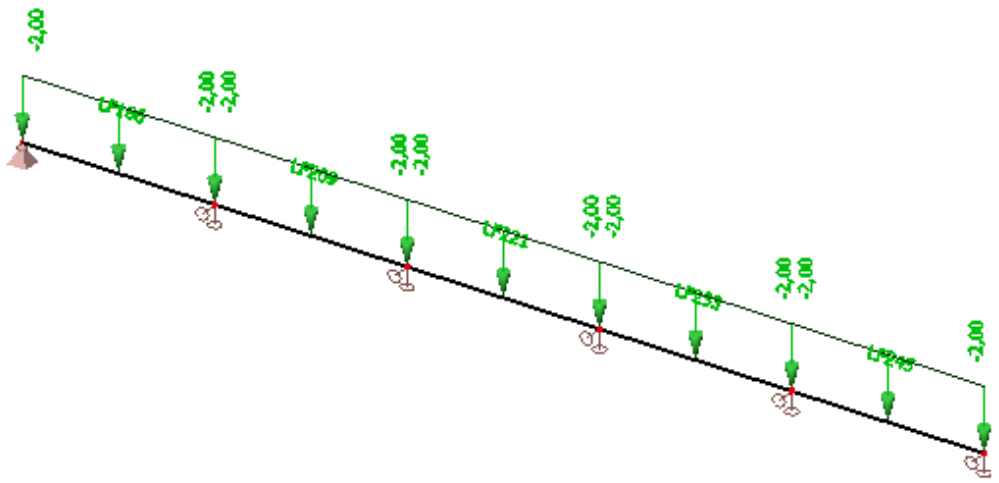
### 2.2.2.1 DJELOVANJE SNIJEGA NA KROVNE PODROŽNICE

s=0,8 kN/m$^2$ -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

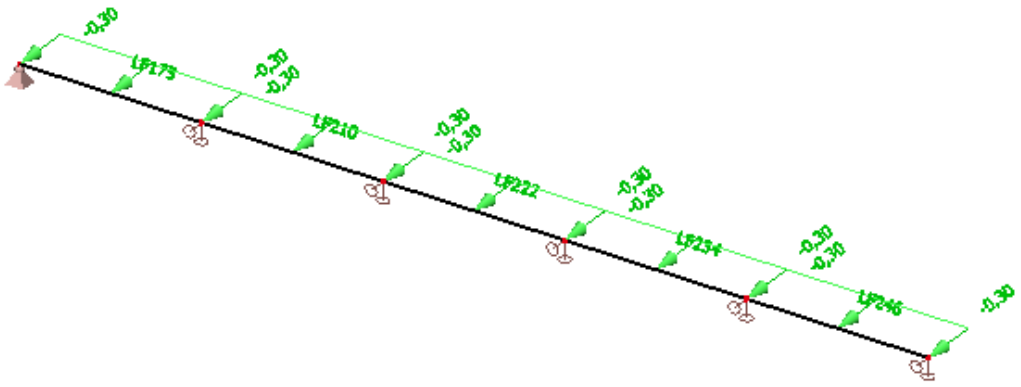
$S_z = s \cdot l \cdot cos\alpha = 0{,}8 \cdot 2{,}53 \cdot cos\ 8{,}53° = 2{,}0$ kN/m'

$S_y = s \cdot l \cdot sin\alpha = 0{,}8 \cdot 2{,}53 \cdot sin\ 8{,}53° = 0{,}3$ kN/m'

***l***→razmak sekundarnih krovnih nosača, $l$ = 2,53 m

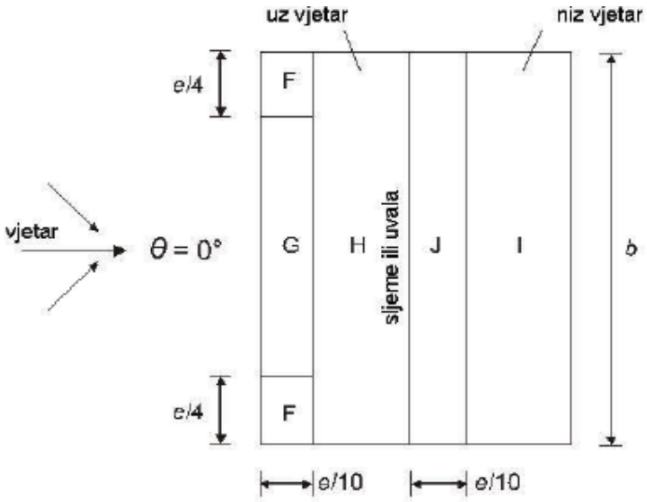



*Slika 11 Opterećenje snijegom u z smjeru*




*Slika 12 Opterećenje snijegom u y smjer*

### 2.2.2.2 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KROVA Θ=0




*Slika 13 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove Θ=0*

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba α = 8,53° za područja dvostrešnog krova Θ=0

*Tablica 10 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | -1,42 | -1,06 | -0,49 | -0,22 | -0,53 |

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p = 0,341$ kN/m$^2$

*Tablica 11 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | -1,42 | -1,06 | -0,49 | -0,22 | -0,53 |
| $w_{e1}$ (kN/m$^2$) | -0,48 | -0,36 | -0,17 | -0,08 | -0,18 |

*Tablica 12 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcij*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | 0,07 | 0,07 | 0,07 | -0,39 | -0,39 |
| $w_{e2}$ (kN/m$^2$) | 0,02 | 0,02 | 0,02 | -0,13 | -0,13 |

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e$ '+' $w_i$ [kN/m$^2$]

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

*Tablica 13 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak*

| PODRUČJE | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|
| **$w_e$ (kN/m$^2$)** | -0,48 | -0,36 | -0,17 | -0,08 | -0,18 |
| **$w_i$ (kN/m$^2$)** | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| **$w_k$ (kN/m$^2$)** | -0,55 | -0,43 | -0,24 | -0,15 | -0,25 |

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

*Tablica 14 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| **$w_e$ (kN/m$^2$)** | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |
| **$w_i$ (kN/m$^2$)** | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 |
| **$w_k$ (kN/m$^2$)** | -0,31 | -0,17 | -0,07 | 0,34 | -0,02 |

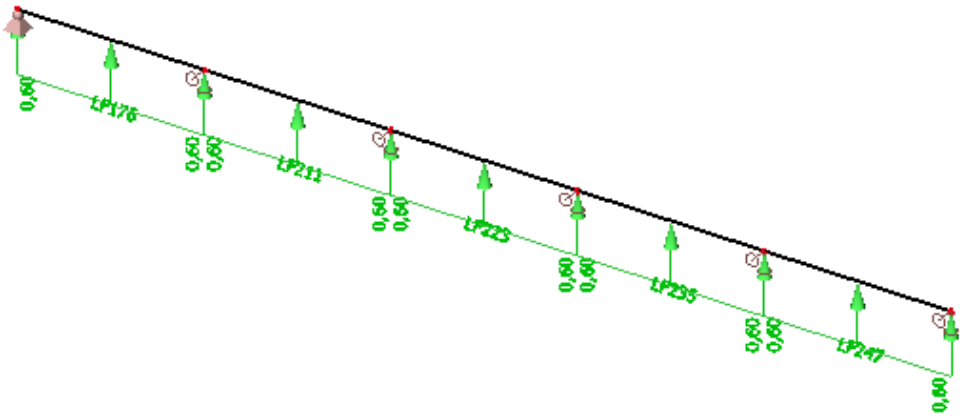
#### 2.2.2.2.1 ODREĐIVANJE MJERODAVNIH VJETROVNIH SILA ZA KROVNE SEKUNDARNE NOSAČE

- <u>Podtlačno djelovanje vjetra</u>

  $w_k$ = -0,24 kN/m$^2$, za područje H koje je mjerodavno

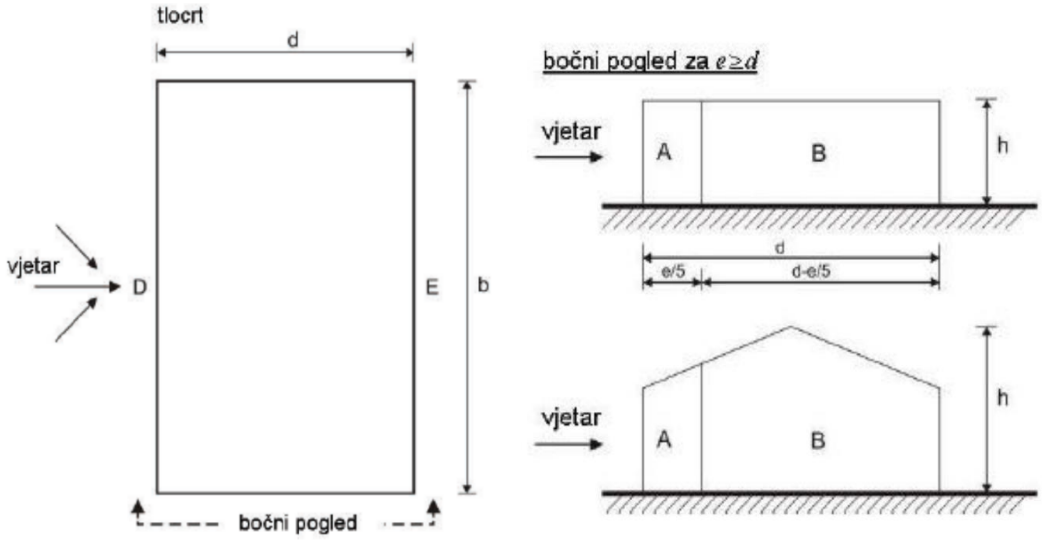
  $W_z = w_k \cdot l$ = -0,24 · 2,53 = -0,6 kN/m'

  ***l***→razmak sekundarnih nosača, $l$ = 2,53 m




*Slika 14 Opterećenje vjetrom u y smjeru*

### 2.2.2.3 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE




*Slika 15 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidov*

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove h/d=0,358

*Tablica 15 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | –1,2 | –0,8 | –0,5 | +0,71 | –0,34 |

Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska

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

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

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

$q_p$ = 0,341 kN/m$^2$ -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

*Tablica 16 Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_{pe,10}$ | –1,2 | –0,8 | –0,5 | +0,71 | –0,34 |
| $w_e$ (kN/m$^2$) | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

$q_p$ = 0,341 kN/m$^2$, $c_i(z_i)$ = 2,0

$w_i$ = 0,341 · 0,2 = +0,0682 kN/m$^2$

$w_i$ = 0,341 · -0,3 = -0,1023 kN/m$^2$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e - w_i$ [kN/m$^2$]

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

*Tablica 17 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| **$w_e$ (kN/m$^2$)** | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |
| **$w_i$ (kN/m$^2$)** | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| **$w_k$ (kN/m$^2$)** | -0,48 | -0,34 | -0,24 | 0,17 | -0,19 |

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

*Tablica 18 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

| PODRUČJE | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| **$w_e$ (kN/m$^2$)** | -0,41 | -0,27 | -0,17 | 0,24 | -0,12 |
| **$w_i$ (kN/m$^2$)** | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 | -0,1 |
| **$w_k$ (kN/m$^2$)** | -0,31 | -0,17 | -0,07 | 0,34 | -0,02 |

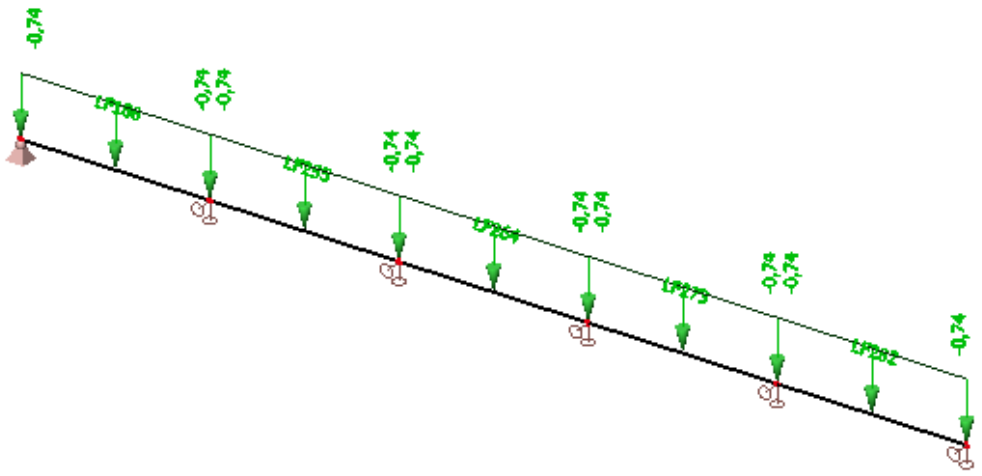
#### 2.2.2.3.1 ODREĐIVANJE MJERODAVNIH VJETROVNIH SILA ZA BOČNE SEKUNDARNE NOSAČE

- <u>Tlačno djelovanje vjetra</u>

  $w_k$ = 0,34 kN/m$^2$, za područje D koje je mjerodavno

  $W_z = w_k \cdot l$ = +0,34 · 2,125= +0,74 kN/m'

  $l$→razmak bočnih sekundarnih nosača, $l$= 2,125 m




*Slika 16 Opterećenje vjetrom u z smjeru*

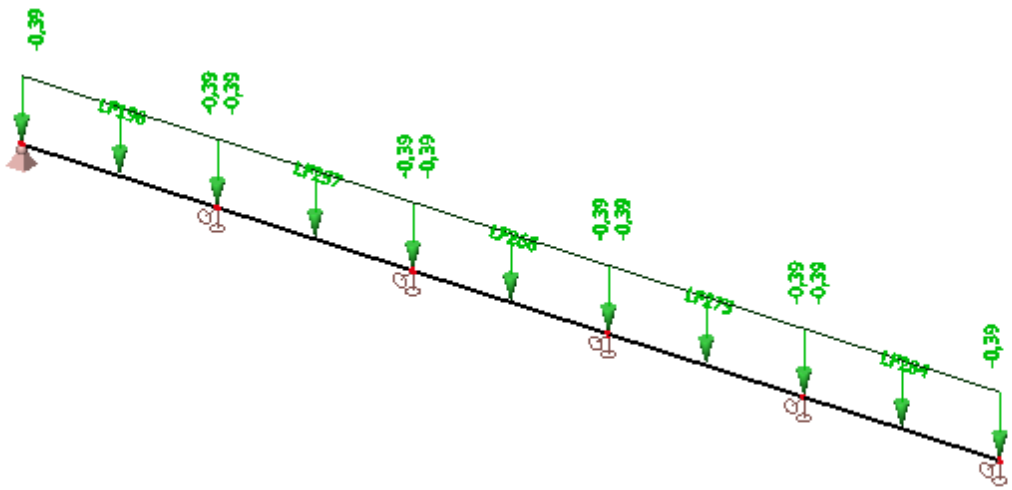
### 2.2.2.3.2 ODREĐIVANJE MJERODAVNIH VJETROVNIH SILA ZA BOČNE SEKUNDARNE NOSAČE

- <u>Podtlačno djelovanje vjetra</u>

  $w_k$ = 0,19 kN/m$^2$, za područje E koje je mjerodavno

  $W_z = w_k \cdot l$ = -0,19 · 2,125 = -0,39 kN/m'

$l$→razmak bočnih sekundarnih nosača, $l$ = 2,125 m



*Slika 17 Opterećenje vjetrom u z smjeru*

## 2.2.3 ODREĐIVANJE MJERODAVNIH VJETROVNIH SILA ZA KROVNE I BOČNE SPREGOVE

### 2.2.3.1 KROVNI SPREGOVI

$$P = \gamma_Q \cdot (W_Z + W_{fr})$$

$W_Z = w_k \cdot A_Z$ → $w_k = 0{,}341$ -područje B

$W_{fr} = q_p \cdot c_{fr} \cdot A_{fr}$ → $c_{fr} = 0{,}1$

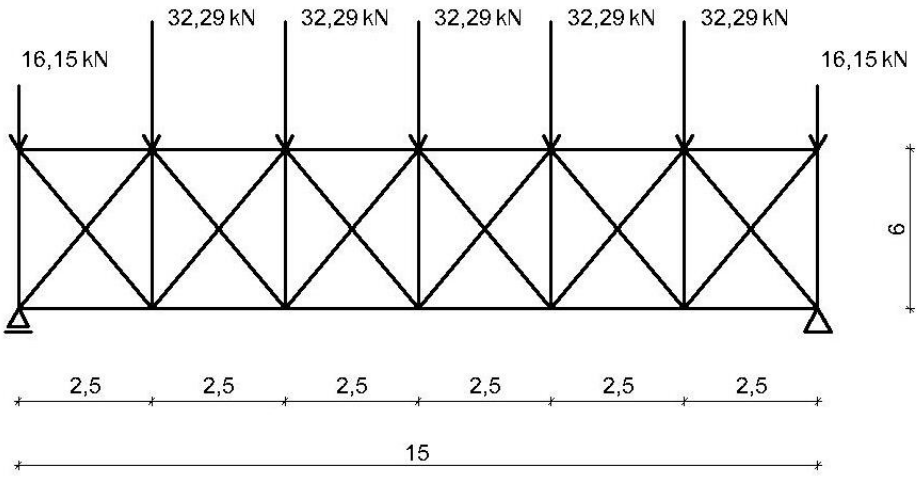
$A_Z = h \cdot l = 9{,}25 \cdot 5{,}0 = 48{,}13\,\text{m}^2$ → djelujuća površina zabata na spreg

$A_{fr} = d \cdot l \cdot 0{,}5 = 60 \cdot 5{,}0 \cdot 0{,}5 = 150\,\text{m}^2$

$W_Z = 0{,}34 \cdot 48{,}13 = 16{,}41\,\text{kN}$

$W_{fr} = 0{,}34 \cdot 0{,}1 \cdot 150 = 5{,}12\,\text{kN}$

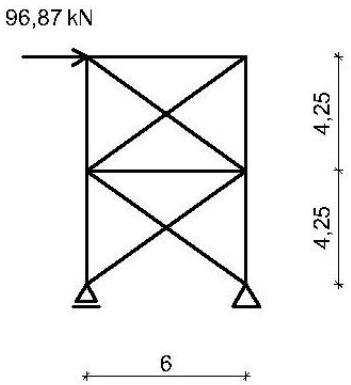
$P = 1{,}5 \cdot (16{,}41 + 5{,}12) = 32{,}29\,\text{kN}$ → $\frac{P}{2} = \frac{32{,}29}{2} = 16{,}15\text{kN}$




*Slika 18 Opterećenje krovnih spregova*

### 2.2.3.2 BOČNI SPREGOVI

$R_k = 3{,}0 \cdot P = 2{,}0 \cdot 32{,}29 = 96{,}87$ kN → reakcija rešetke krovnog sprega



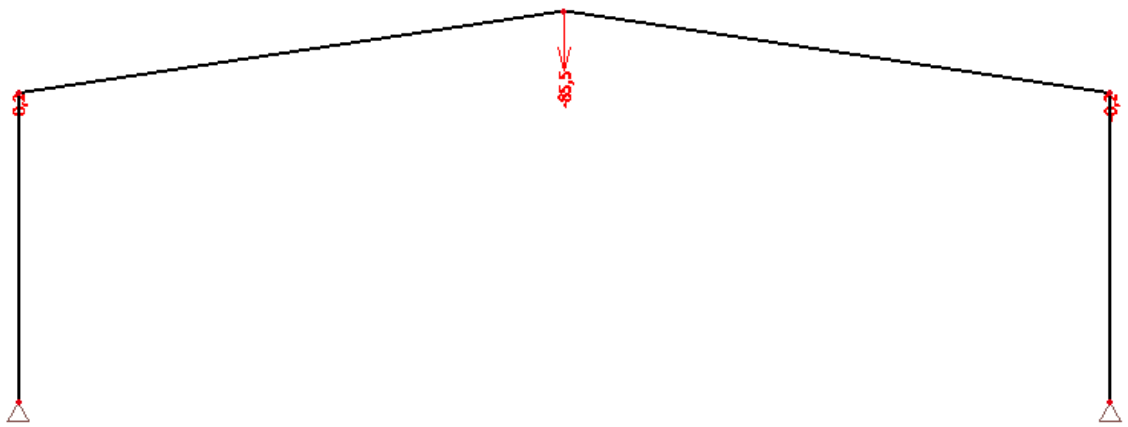

*Slika 19 Opterećenje bočnih spregova*

# 3 KONTROLA PROGIBA (GSU)

Odabrani profili za koje dobivamo vrijednosti progiba u iznosu od minimalno 80% dopuštenih progiba su: a)stup- HEA 800
b)grede- HEA 1000

## 3.1 KROVIŠTE

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




*Slika 20 Vertikalni progib rešetke*

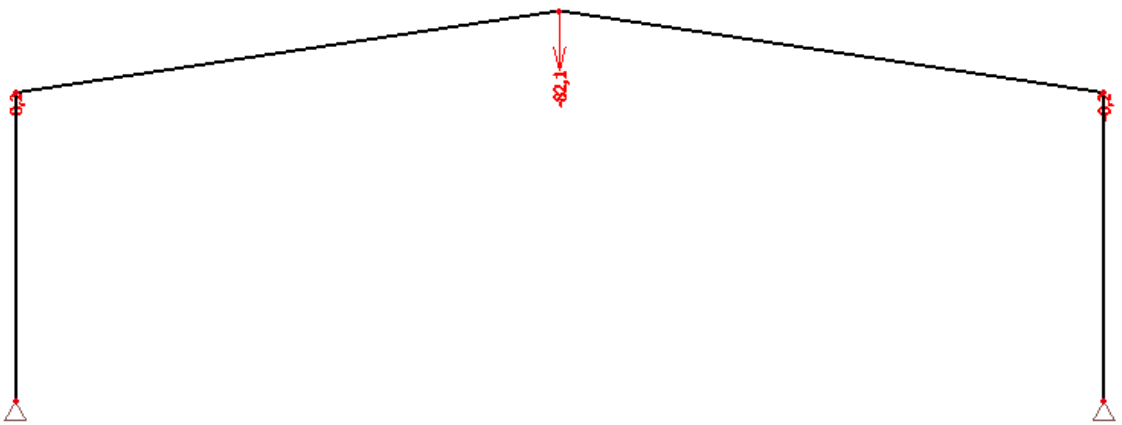
*Pomak(mm)*

Dopušteni progib: L/300= 30000*mm*/300=100 *mm*

85,5/100=85,5 %

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 85,5 %.

Kritični progib krovišta dobivamo i za kombinaciju **1,0G+0,9(W2+S)**




*Slika 21 Vertikalni progib rešetke*

*Pomak(mm)*

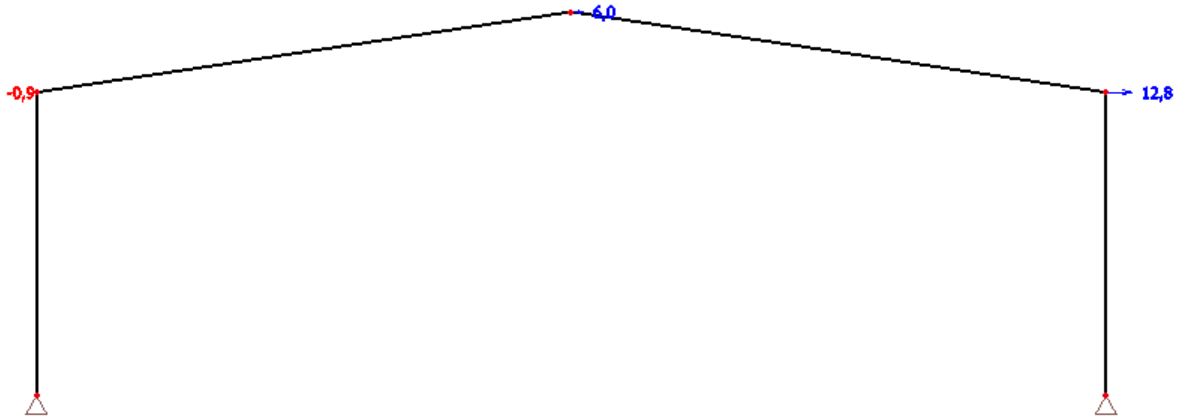
Dopušteni progib: L/300= 30000*mm*/300=100 *mm*

82,1/100=82,1 %

Kritični progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 82,1 %.

## 3.2 STUP

Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju **1,0G+1,0W$_{2bočno}$**




*Slika 22 Horizontalni progib stupa*

*Pomak(mm)*

Dopušteni progib: H/300= 8500*mm*/300= 28,33*mm*

12,8/28,33=45,18 %

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 45,18 %.

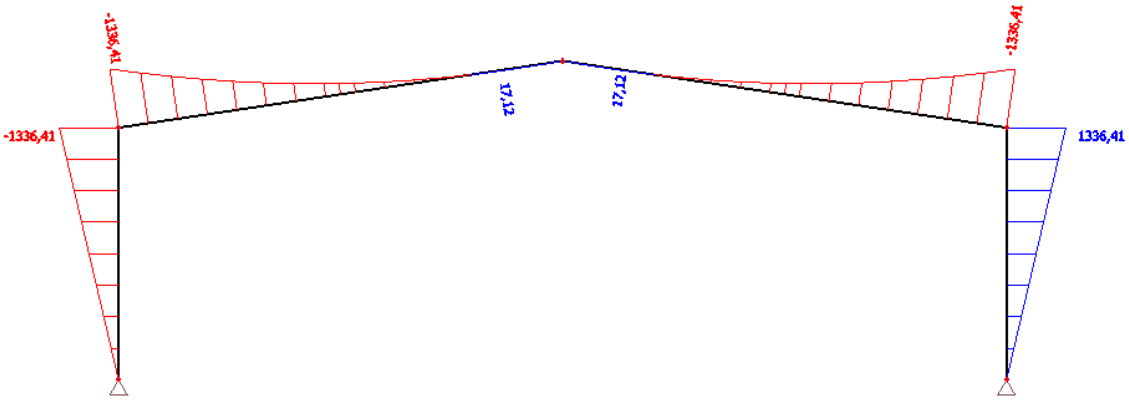
# 4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

## 4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

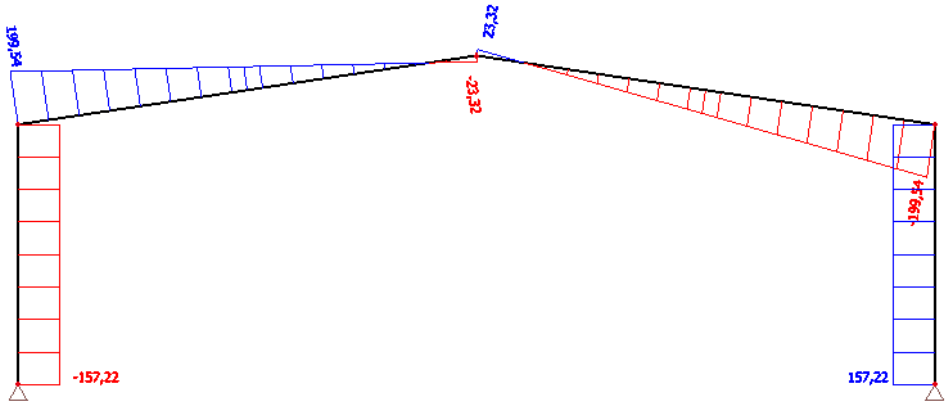
Dijagrami reznih sila su za profile za koje dobivamo vrijednosti progiba u iznosu od oko 80% dopuštenih progiba su:

a)stup - HEA 800
b)grede - HEA 1000

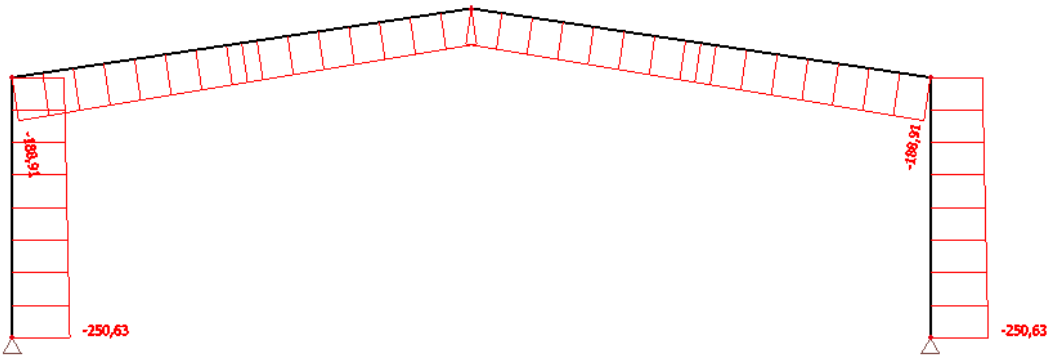
### 4.1.1 KOMBINACIJA 1,35G+1,5S




*Slika 23 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 1*

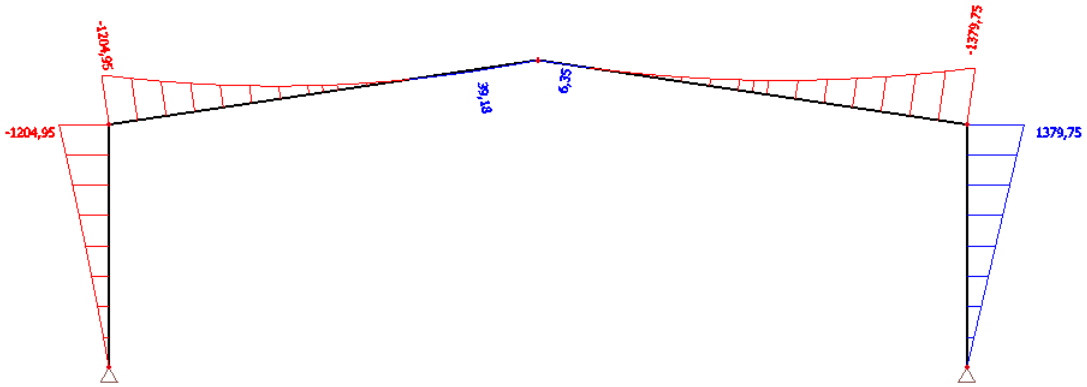



*Slika 24 Dijagram poprečnih sila kombinacije 1*

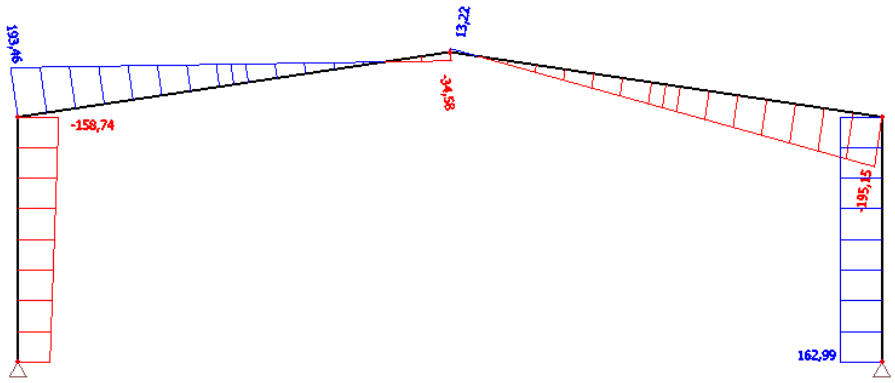



*Slika 25 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 1*

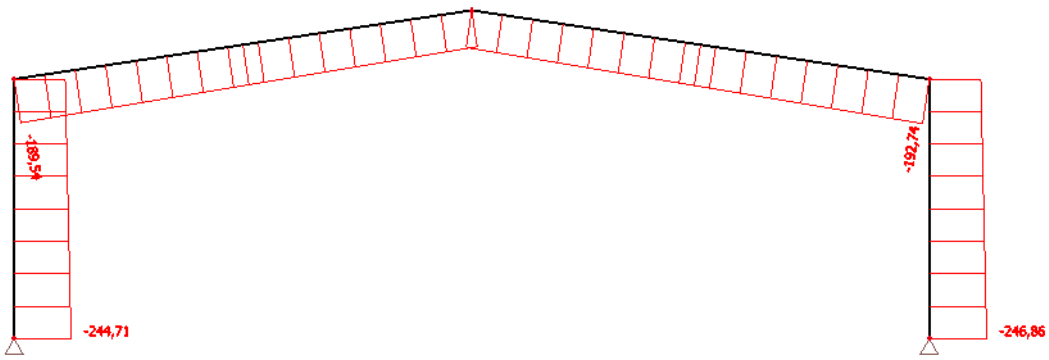
### 4.1.2 KOMBINACIJA 1,35G+1,35(W2+S)




*Slika 26 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 2*

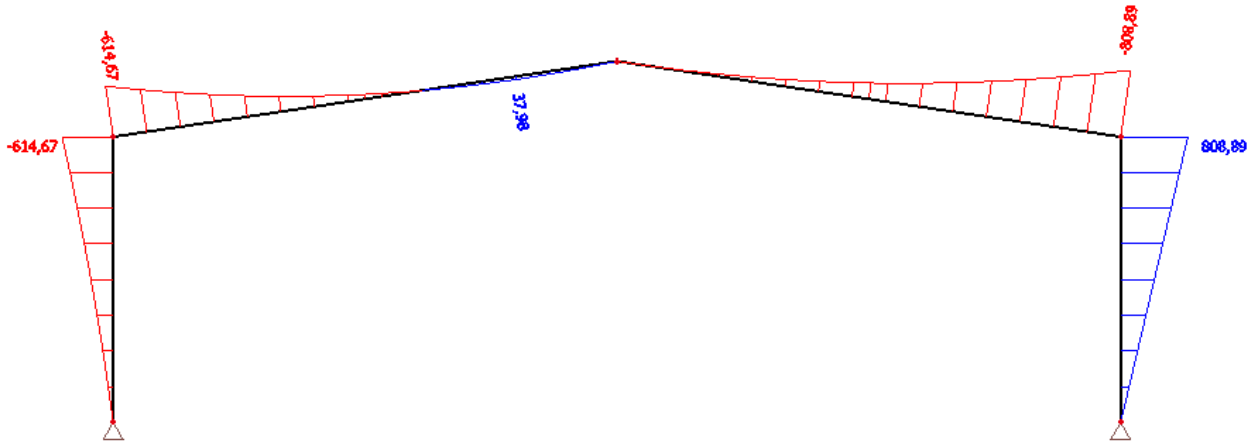



*Slika 27 Dijagram poprečnih sila kombinacije 2*

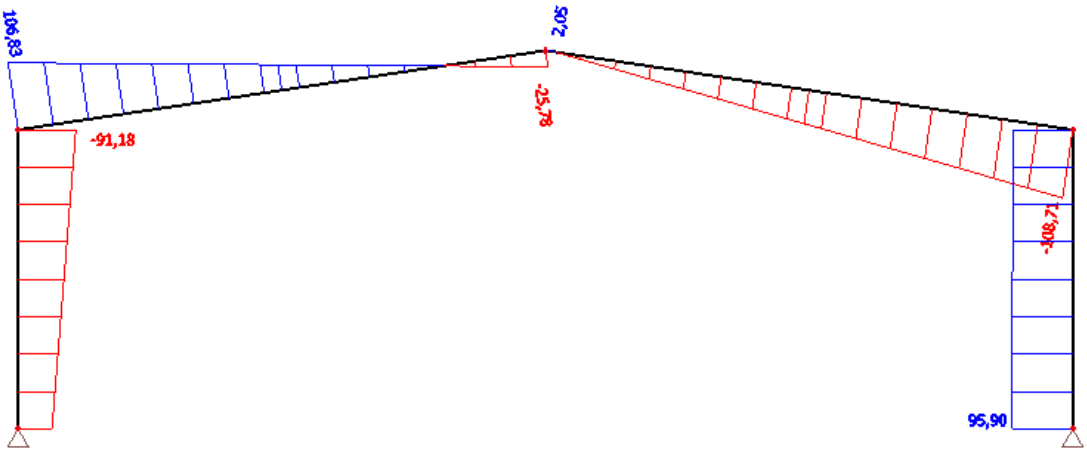



*Slika 28 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 2*

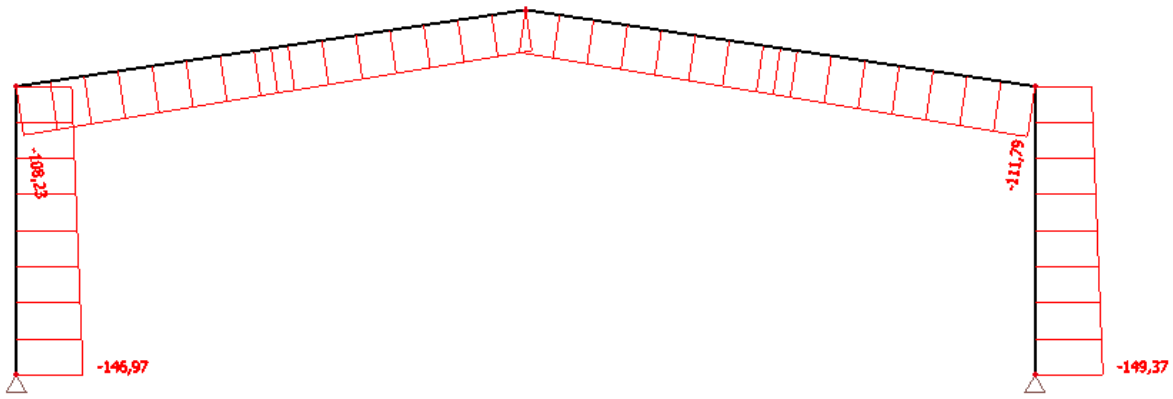
### 4.1.3 KOMBINACIJA 1,0G+1,5W2




*Slika 29 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 3*




*Slika 30 Dijagram poprečnih sila kombinacije 3*

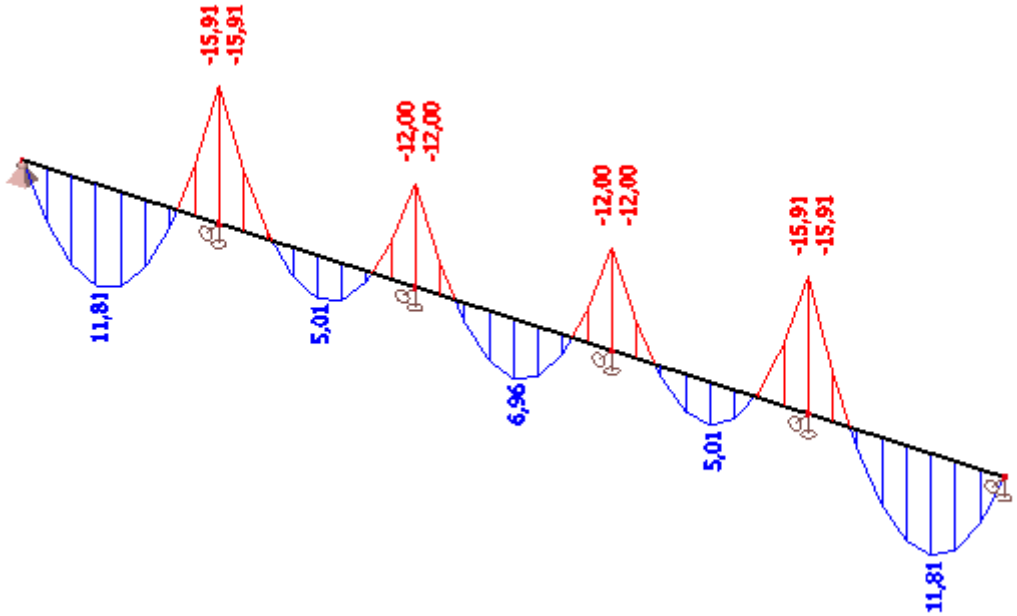



*Slika 31 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 3*

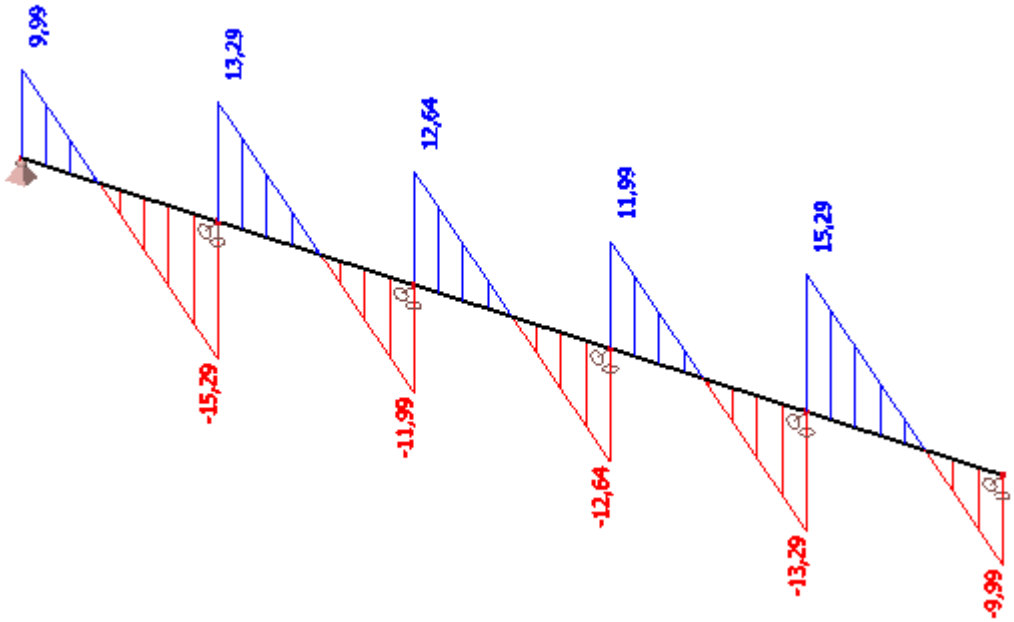
## 4.2 SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

### 4.2.1 KROVNE PODROŽNICE

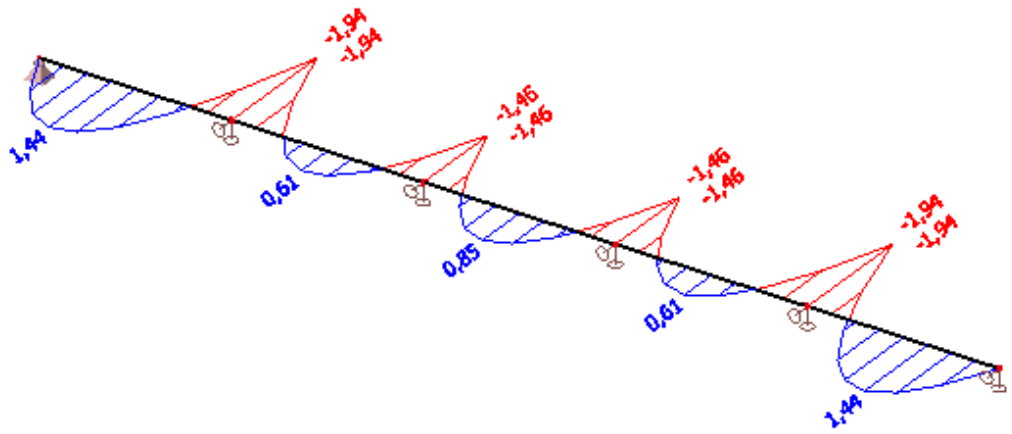
#### 4.2.1.1 KOMBINACIJA 1,35GP+1,35(S+W2)



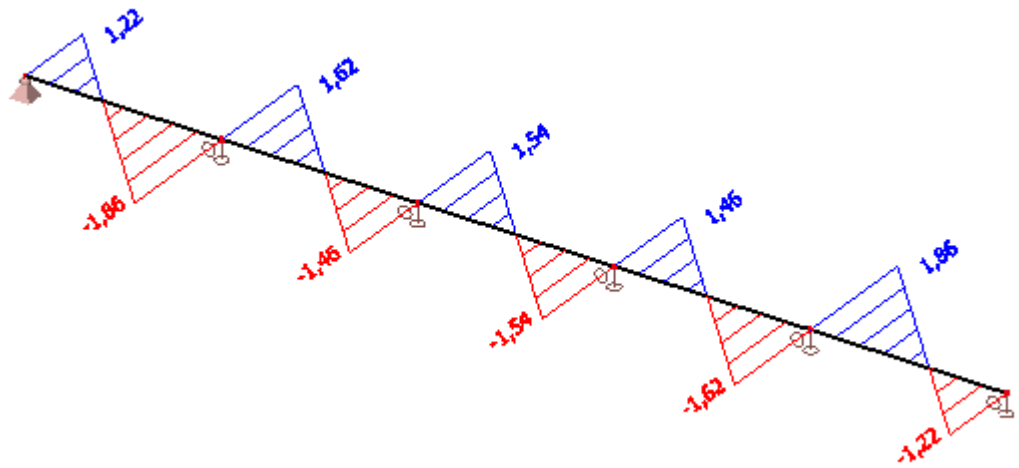

*Slika 32 Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1*




*Slika 33 Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1*

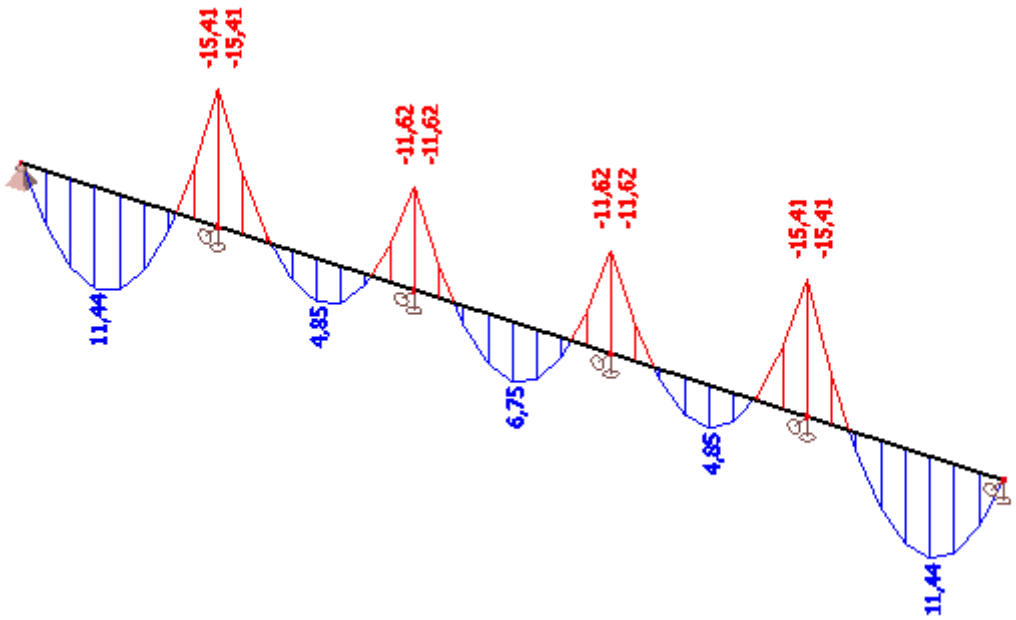



*Slika 34 Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1*

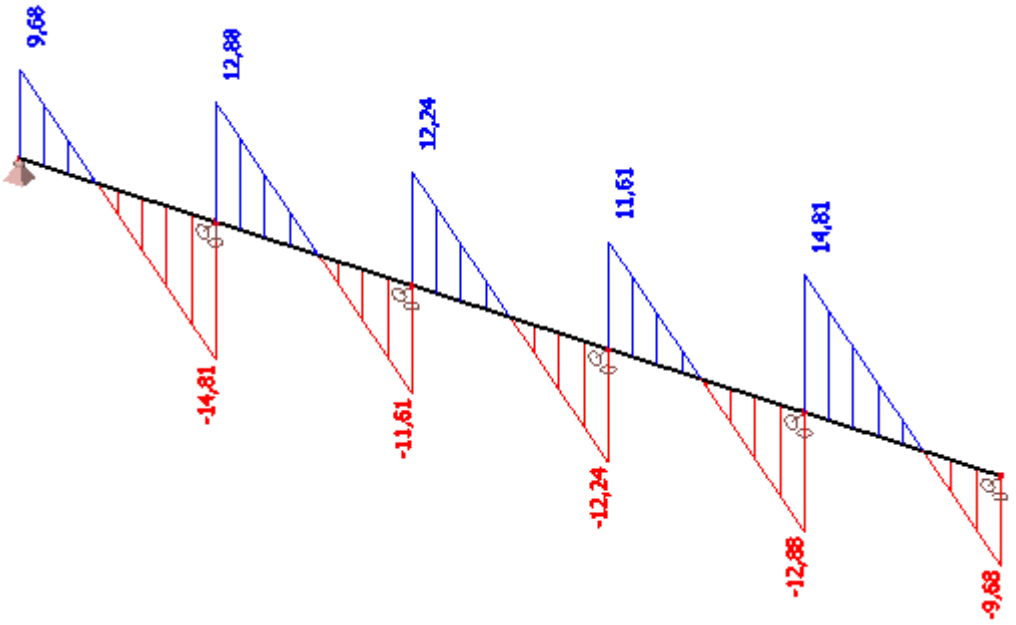



*Slika 35 Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1*

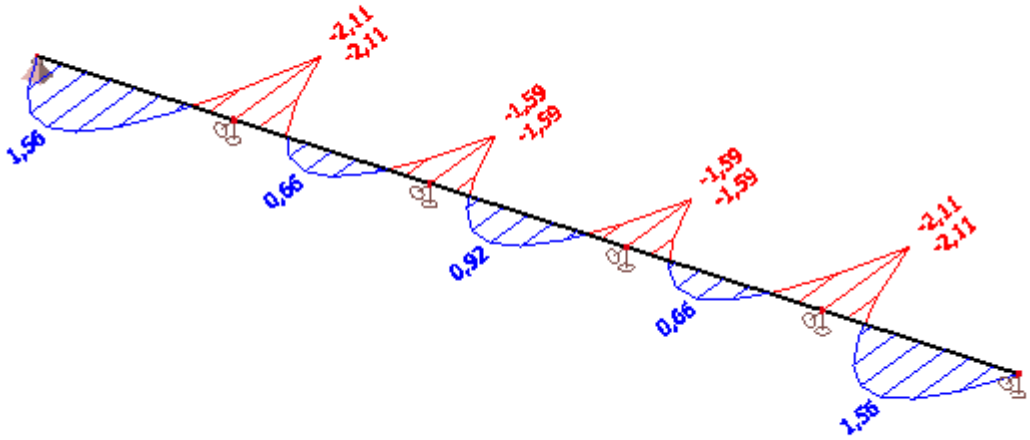
### 4.2.1.2 KOMBINACIJA 1,35GP+1,5S



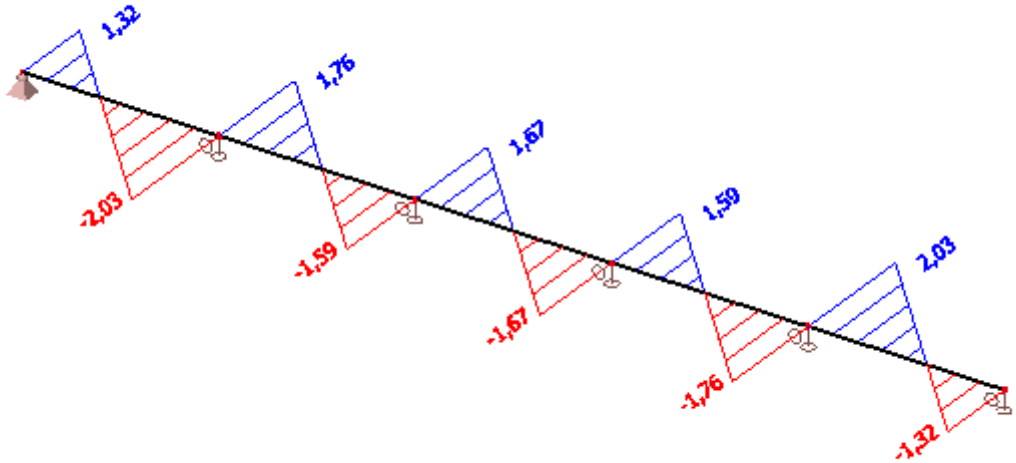

*Slika 36 Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2*




*Slika 37 Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2*

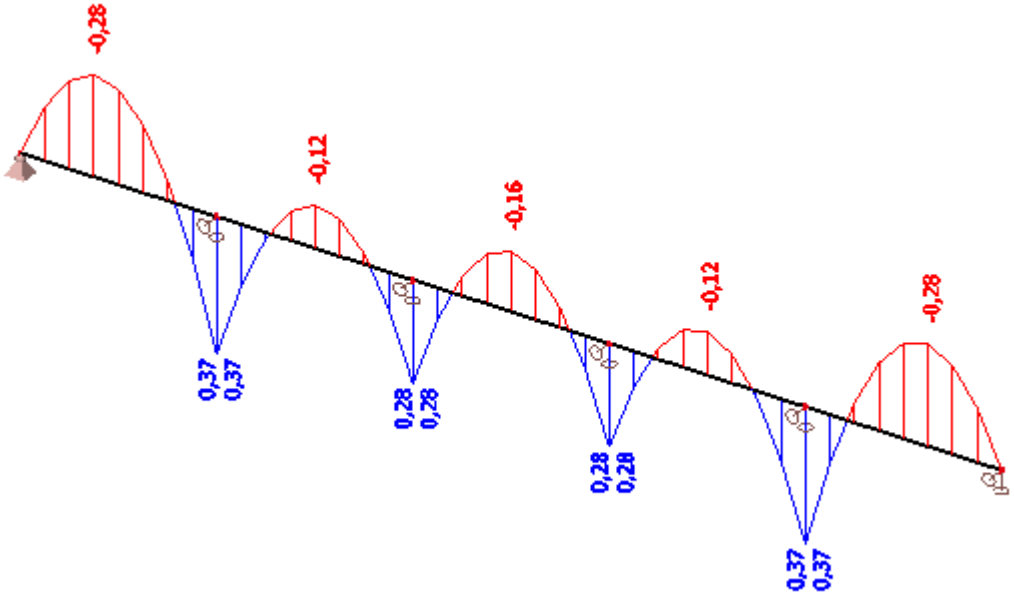



*Slika 38 Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2*

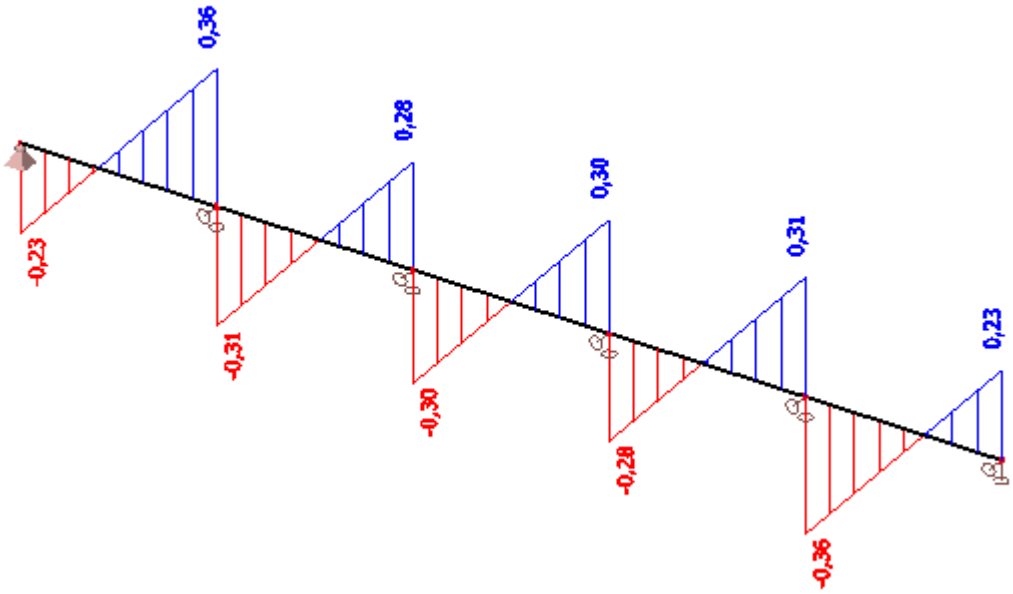



*Slika 39 Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2*

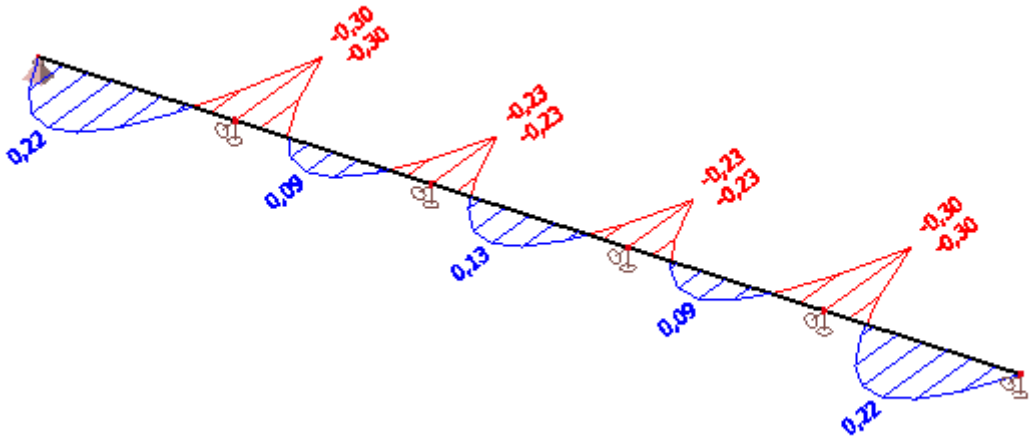
### 4.2.1.3 KOMBINACIJA 1,0GP+1,5W1



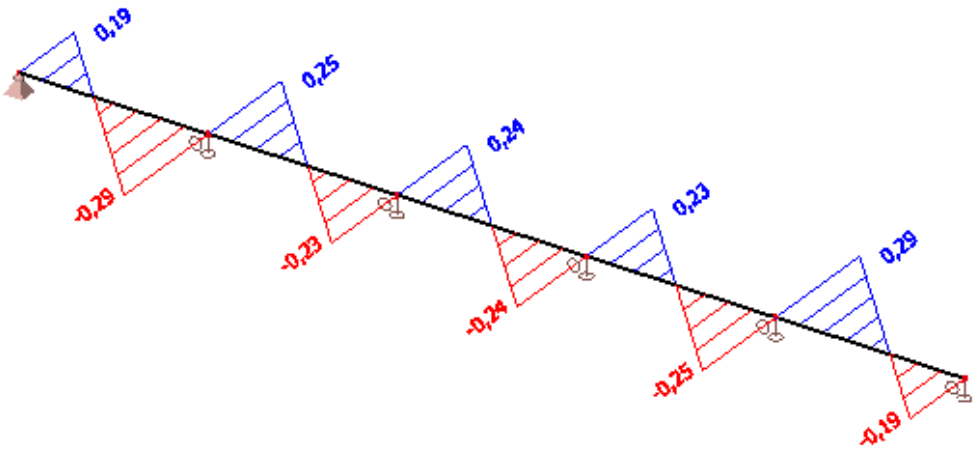

*Slika 40 Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 3*




*Slika 41 Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 3*



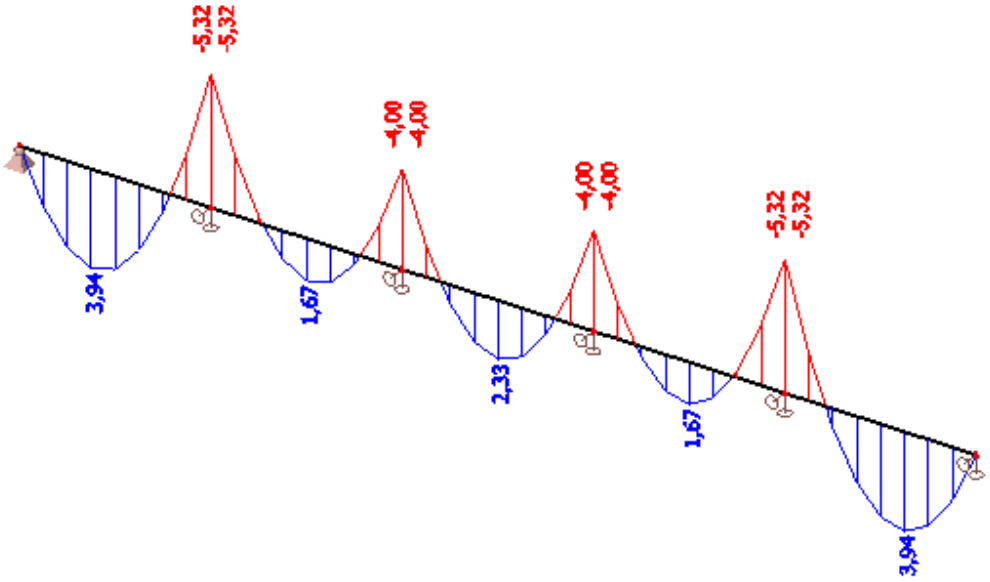

*Slika 42 Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 3*



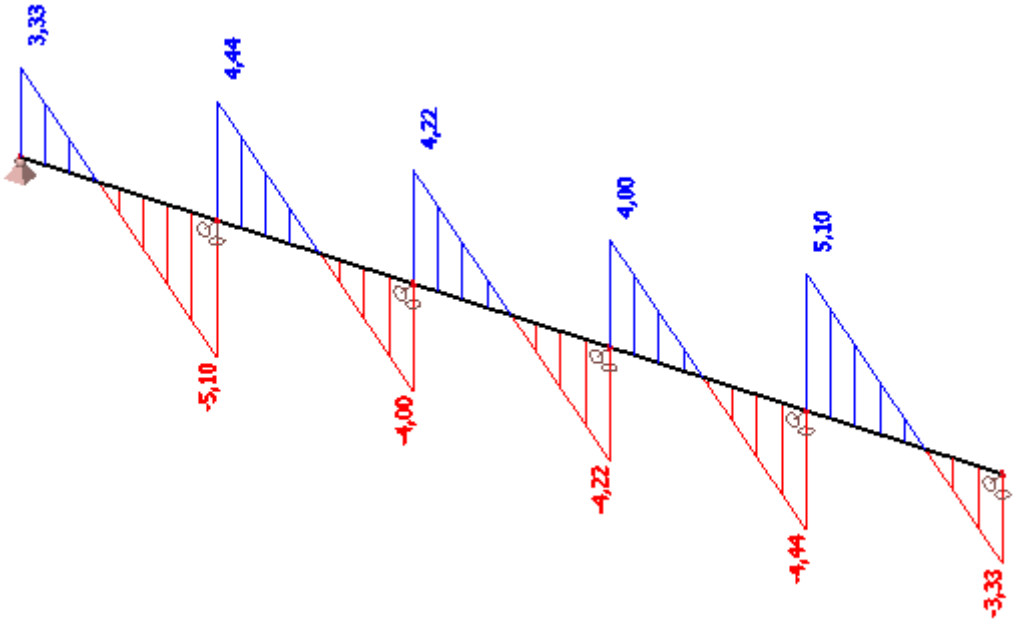

*Slika 43 Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 3*

### 4.2.2 BOČNE PODROŽNICE

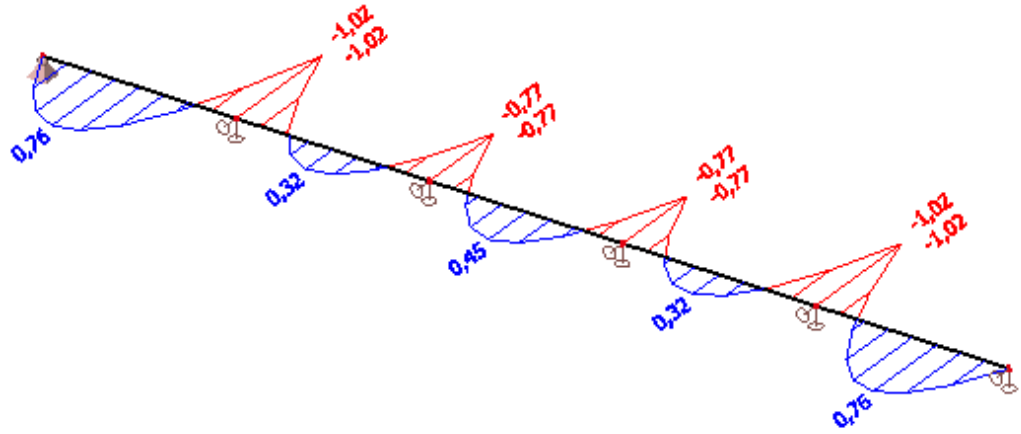
#### 4.2.2.1 KOMBINACIJA 1,35GP+1,5W$_{BP,1}$



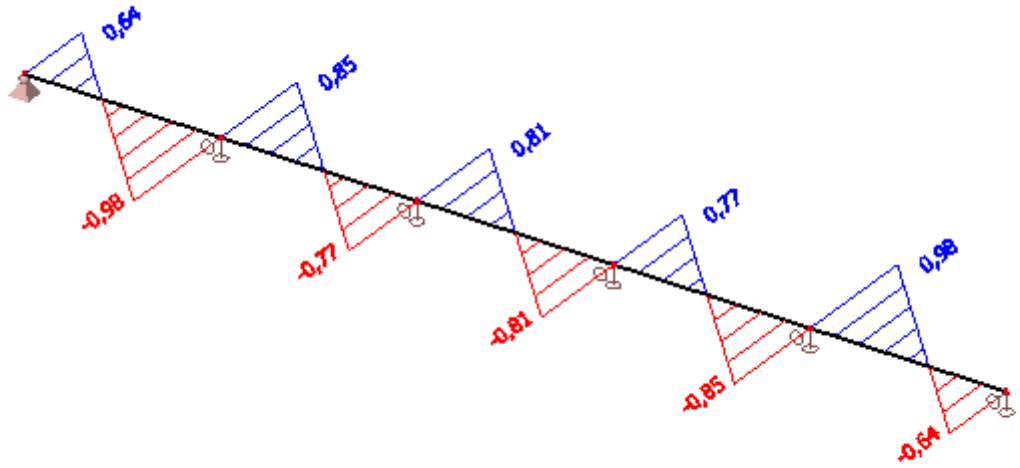

*Slika 44 Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1*




*Slika 45 Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1*

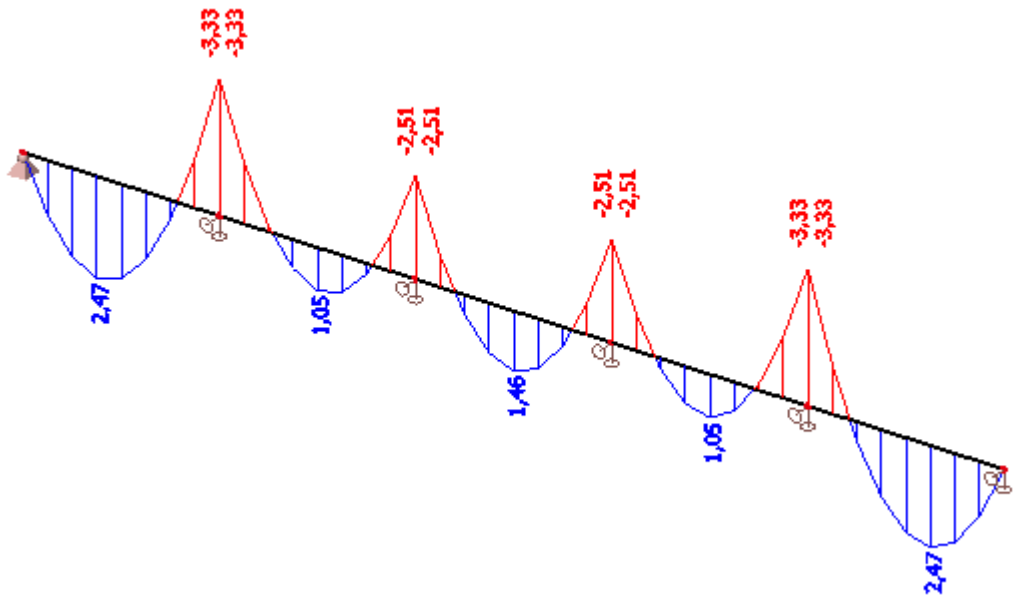



*Slika 46 Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1*

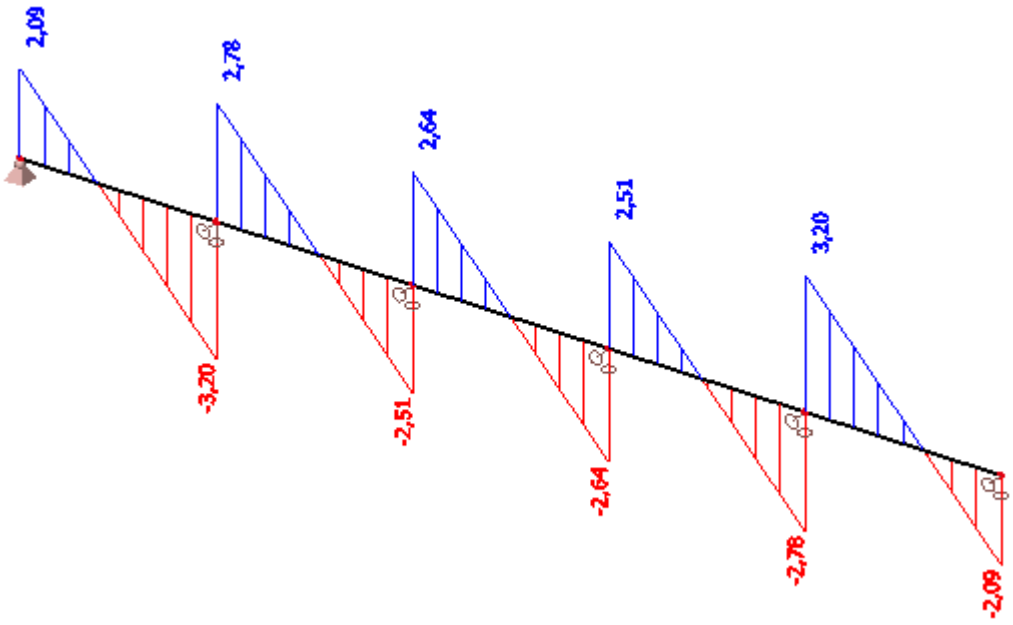



*Slika 47 Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1*

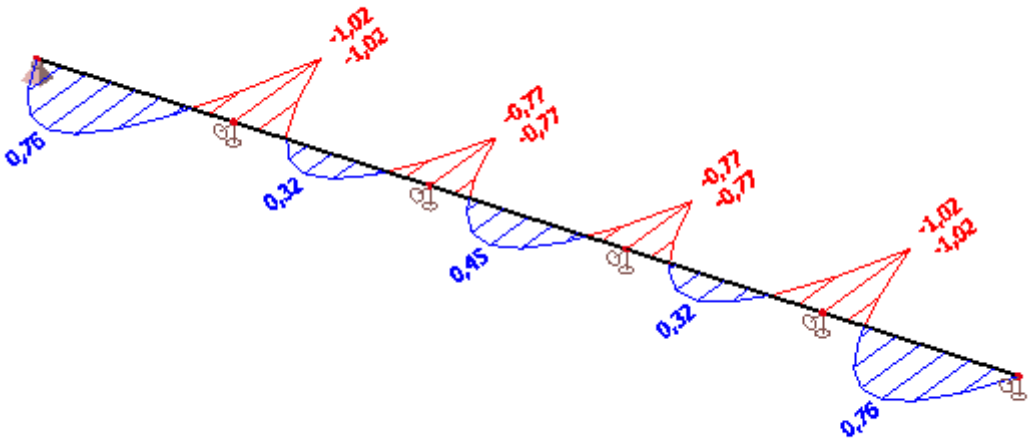
### 4.2.2.2 KOMBINACIJA 1,35GP+1,5W$_{BP,2}$



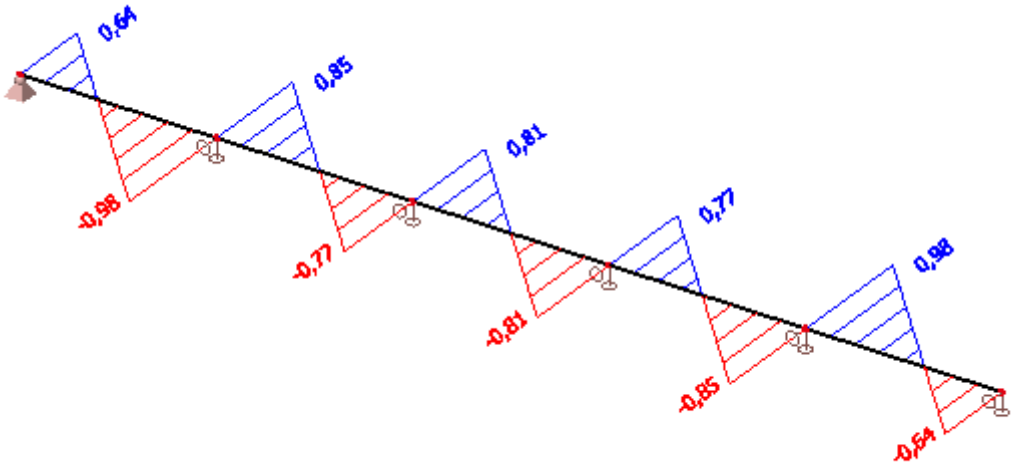

*Slika 48 Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2*




*Slika 49 Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2*




*Slika 50 Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2*



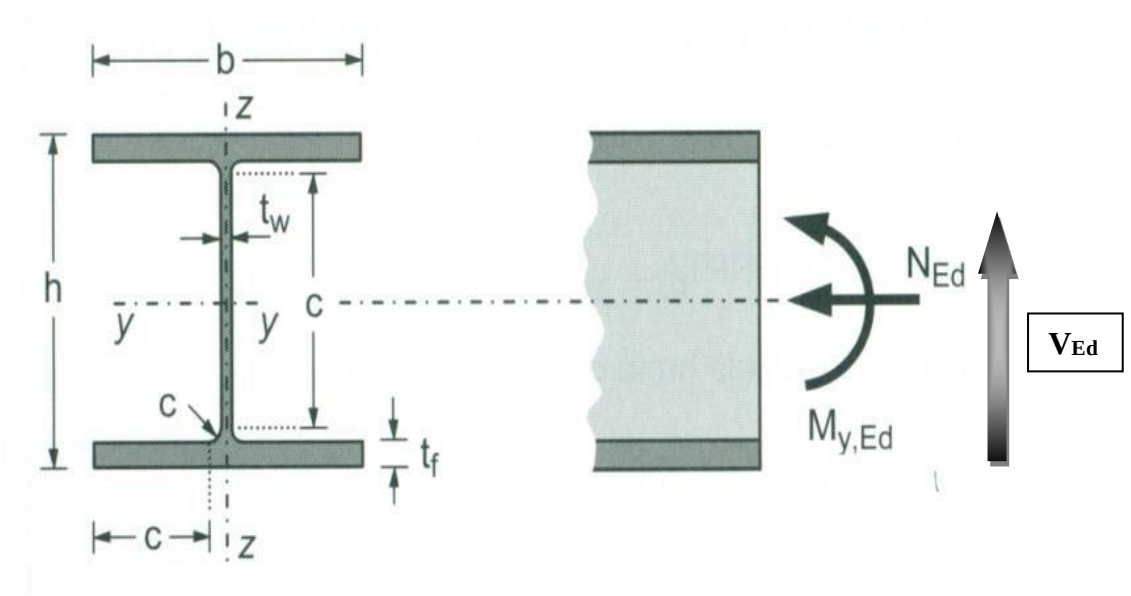

*Slika 51 Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2*

# 5 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

## 5.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

### 5.1.1 DIMENZIONIRANJE STUPA

•POPREČNI PRESJEK




*Slika 52 Poprečni presjek stupa*

Profil: HEA 800
Tip presjeka: valjani
Visina presjeka: h = 790 mm
Širina pojasnice: b = 300 mm
Debljina pojasnice: $t_f$ = 28 mm
Debljina hrpta: $t_w$ = 15 mm
Radijus: r = 30 mm
Površina: A=286,0cm$^2$

Momenti tromosti: $I_y$=3030000 cm$^4$
$I_z$=12600 cm$^4$
Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 8708,3 cm$^3$
$W_{pl,z}$ = 1312,5 cm$^3$
Konstanta krivljenja: $I_w$ = 18 290 286 cm$^6$
Torzijska konstanta: $I_t$ = 597 cm$^4$

ULAZNI PODATCI:
Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila → $M_{y,Ed}$ = 1379,75 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 162,79 kN
→ $N_{Ed}$ = 246,86(tlak)

Materijal: S235 → $f_y$ = 235 N/mm$^2$
→ ε = 1,0
→ E = 210 000 N/mm$^2$
→ ν = 0,3

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·$t_f$ - 2·r = 790- 2·28 - 2·30 = 674 mm

$t_w$ = 15 mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{674}{15} = 44{,}93$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{246{,}86}{2 \cdot 15 \cdot 23{,}5 / 1{,}0} = 3{,}5$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{67{,}4}\left(\frac{67{,}4}{2} + 3{,}5\right) = 0{,}552 > 0{,}5$$

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

$$\frac{d}{t_W} = 44{,}93 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1{,}0}{13 \cdot 0{,}552 - 1} = 64{,}13$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{300 - 15 - 2 \cdot 28}{2} = 112{,}5 \text{ mm}$$

$t_f$ = 28 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112{,}5}{28} = 4{,}02$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 4{,}02 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1{,}0 = 9{,}0$$

Pojasnica je klase 1.

**Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.**

b) Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ($N_{Ed}$ = 246,86 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{286 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 6721 kN$$

$$N_{c,Rd} = 6721{,}00 kN > N_{Ed} = 246{,}86 kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava i za kombinaciju vlastite težine i snijega gdje je stup izložen samo uzdužnoj tlačnoj sili $N_{Ed}$ = 250,63 kN < $N_{c,Rd}$ = 6721 kN.

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju ($M_{y,Ed}$ = 1379,75 kNm)

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8708{,}3 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 204646 kNcm = 2046{,}46 kNm$$

$$M_{c,Rd} = 2046{,}46 kNm > M_{y,Ed} = 1379{,}75 kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka ($V_{z,Ed}$ = 162,99 kN)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{790 - 2 \cdot 28}{15} = 48{,}93$$

$$48{,}93 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1{,}0}{1{,}2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$A_{v,z} = 286 - 2 \cdot 30 \cdot 2{,}8 + (1{,}5 + 2 \cdot 3{,}0) \cdot 2{,}8 = 139\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 73{,}4 \cdot 1{,}5 = 132{,}12\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{139 \cdot (23{,}5 / \sqrt{3})}{1{,}0} = 1885{,}91 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 1885{,}91 kN > V_{z,Ed} = 162{,}99 kN$$

Interakcija M-V-N

Presjek u x = 8,5 m (vrh stupa): → $M_{y,Ed}$ = 1379,75 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 161,66 kN
→ $N_{Ed}$ = 221,59 (tlak)

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

$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 1885{,}91 = 942{,}96$ kN
$V_{z,Ed} = 161{,}66$ kN $< 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 1885{,}91$ kN – niska razina poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

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

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

$N_{Ed} = 221{,}59$ kN $\leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 6721 = 1680{,}25$ kN

$N_{Ed} = 221{,}59$ kN $\leq \dfrac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \dfrac{0{,}5 \cdot 73{,}4 \cdot 1{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 1293{,}68$ kN

niska razina uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

**Profil HEA 800 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

c) Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{790}{300} = 2{,}63 > 1{,}2$$ $t_f$ = 28 mm < 40 mm

-za os y-y: krivulja izvijanja *a* → α = 0,21
-za os z-z: krivulja izvijanja *b* → α = 0,34

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 850 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 303000}{850^2} = 86833{,}7 kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{286 \cdot 235}{86833{,}7}} = 0{,}278$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}278 - 0{,}2) + 0{,}278^2] = 0{,}547$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{0{,}547 + \sqrt{0{,}547^2 - 0{,}278^2}} = 0{,}983$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z}$ = 425 cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12600}{425^2} = 14443{,}46 kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{289 \cdot 23{,}5}{14443{,}46}} = 0{,}682$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha\cdot(\ \bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \ \bar{\lambda}_z^{\ 2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34\cdot(0{,}682-0{,}2) + 0{,}682^2] = 0{,}815$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\ 2} - \bar{\lambda}_z^{\ 2}}} = \frac{1}{0{,}815 + \sqrt{0{,}815^2 - 0{,}682^2}} = 0{,}794$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}794$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}94 \cdot 286 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 5334{,}41kN > N_{Ed} = 246{,}86kN$$

Otpornost elementa na tlak zadovoljava i za kombinaciju vlastite težine i snijega gdje je stup izložen samo uzdužnoj tlačnoj sili $N_{Ed}$ = 250,63 kN < $N_{b,Rd}$ =6377,16 kN.

<u>-Otpornost elementa na savijanje (M)</u>

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = H = 850,0 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{79}{2} = 39{,}5cm$$

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

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

$$M_{cr} = 1{,}77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12600}{(1{,}0 \cdot 850)^2} \cdot \left[ \sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{18290286}{12600} + \frac{(1{,}0 \cdot 850)^2 \cdot 8077 \cdot 597}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12600} + (0 \cdot 39{,}5)^2} - 0 \cdot 39{,}5 \right] = 337407{,}11 \text{ kNcm} = 3374{,}07 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y}$ = 8708,33cm$^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{8708{,}33 \cdot 23{,}5}{337407{,}11}} = 0{,}78 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{790}{300} = 2{,}63 > 2$$

Mjerodavna krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha_{LT} = 0{,}34$.

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34 \cdot (0{,}78 - 0{,}2) + 0{,}78^2] = 0{,}902$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0{,}902 + \sqrt{0{,}902^2 - 0{,}78^2}} = 0{,}737 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}737 \cdot 286 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 150914{,}37\text{kNcm} = 1509{,}14\ \text{kNm}$$

$M_{b,Rd} = 1509{,}14$ kNm > $M_{y,Ed} = 1379{,}75$ kNm

<u>-Interakcija M-N</u>

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za $\bar{\lambda}_z = 0{,}682 > 0{,}4$:

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

$\alpha_h = M_h / M_s = 0$
$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0$

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

$$k_{yy} = 0{,}95 \cdot \left[1+(0{,}278 - 0{,}2) \cdot \frac{221{,}59}{0{,}983 \cdot 6721/1{,}0}\right] = 0{,}952$$

$$k_{yy} = 0{,}952 < 0{,}95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{221{,}59}{0{,}983 \cdot 6721/1{,}0}\right] = 0{,}976$$

$k_{yy} = 0{,}952$

$$k_{zy} = 1 - 0{,}8 \cdot 0{,}682 \cdot \frac{221{,}59}{0{,}949 \cdot 6721/1{,}0} = 0{,}996$$

$$k_{zy} = 0{,}996 > \left[1 - 0{,}8 \cdot \frac{221{,}59}{0{,}949 \cdot 6721/1{,}0}\right] = 0{,}995$$

$k_{zy} = 0{,}996$

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

$$\frac{221{,}59}{0{,}983 \cdot 6721/1{,}0} + 0{,}952 \cdot \frac{1379{,}75}{0{,}949 \cdot 2046{,}46/1{,}0} = 0{,}9044 \leq 1{,}0$$

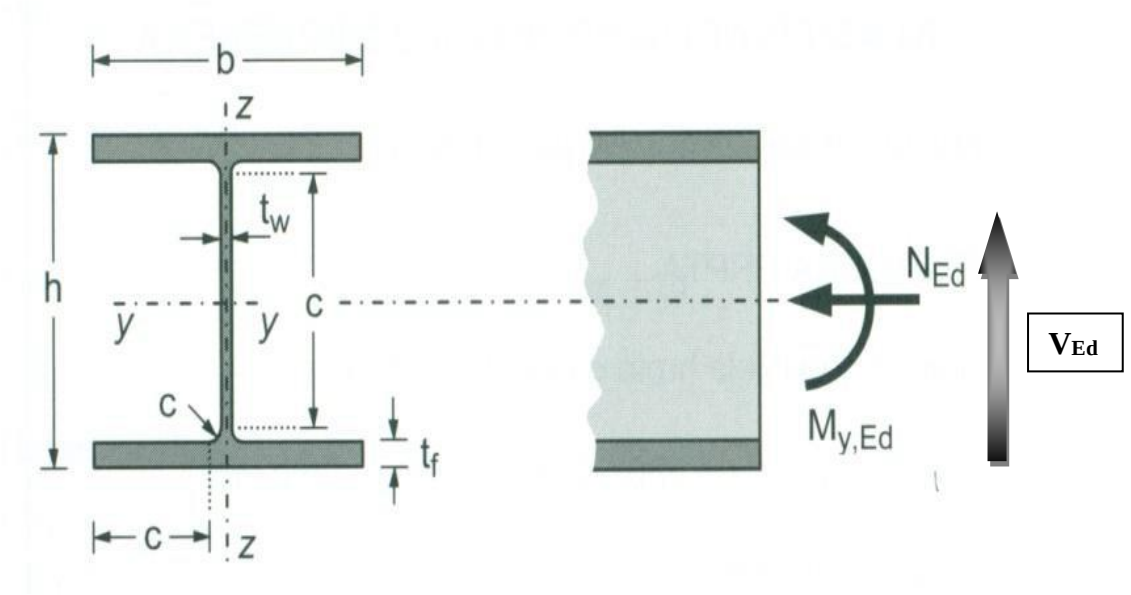
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{221{,}59}{0{,}949 \cdot 6721/1{,}0} + 0{,}996 \cdot \frac{1379{,}75}{0{,}732 \cdot 2046{,}46/1{,}0} = 0{,}9521 \leq 1{,}0$$

**Profil HEA 800 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti: η = 95,21%.**

### 5.1.2 DIMENZIONIRANJE GREDE

•POPREČNI PRESJEK




*Slika 53 Poprečni presjek grede*

Profil: HEA 1000
Tip presjeka: valjani
Visina presjeka: h = 990 mm
Širina pojasnice: b = 300 mm
Debljina pojasnice: $t_f$ = 31 mm
Debljina hrpta: $t_w$ = 17 mm
Radijus: r = 30 mm
Površina: A=317 $cm^2$

Momenti tromosti: $I_y$=554000 $cm^4$
$I_z$=14000 $cm^4$
Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 12833 $cm^3$
$W_{pl,z}$ = 1470,8 $cm^3$
Konstanta krivljenja: $I_w$ = 32 074 000 $cm^6$
Torzijska konstanta: $I_t$ = 822 $cm^4$

ULAZNI PODATCI:
Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila → $M_{y,Ed}$ = 1379,75 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 195,15 kN
→ $N_{Ed}$ = 192,74 (tlak)

Materijal: S235 → $f_y$ = 235 N/$mm^2$
→ ε = 1,0
→ E = 210 000 N/$mm^2$
→ ν = 0,3

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·$t_f$ - 2·r = 990- 2·31 - 2·30 = 868 mm

$t_w$ = 17 mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{868}{17} = 51{,}06$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{192{,}74}{2 \cdot 17 \cdot 23{,}5/1{,}0} = 2{,}41$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{67{,}4}\left(\frac{86{,}8}{2} + 2{,}41\right) = 0{,}528 > 0{,}5$$

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

$$\frac{d}{t_W} = 51{,}06 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1{,}0}{13 \cdot 0{,}528 - 1} = 67{,}56$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{300 - 17 - 2 \cdot 30}{2} = 111{,}5 \text{ mm}$$

$t_f$ = 31 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{111{,}5}{31} = 3{,}6$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 3{,} < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1{,}0 = 9{,}0$$

Pojasnica je klase 1.

**Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.**

b) Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ($N_{Ed}$ = 192,74 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{317 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 7449{,}5kN$$

$$N_{c,Rd} = 7449{,}5kN > N_{Ed} = 192{,}7kN$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju ($M_{y,Ed}$ = 1379,75 kNm)

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12833 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 301576kNcm = 3015{,}76kNm$$

$$M_{c,Rd} = 3015{,}76kNm > M_{y,Ed} = 1379{,}75kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka ($V_{z,Ed}$ = 195,15 kN)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{990 - 2 \cdot 31}{17} = 54{,}59$$

$$54{,}59 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1{,}0}{1{,}2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$A_{v,z} = 317 - 2 \cdot 30 \cdot 3{,}1 + (1{,}7 + 2 \cdot 3{,}0) \cdot 3{,}1 = 154{,}87\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 92{,}8 \cdot 1{,}7 = 189{,}31\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{189{,}31 \cdot (23{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 2568{,}53\ kN$$

$$V_{pl,z,Rd} = 2568{,}53kN > V_{z,Ed} = 195{,}15kN$$

Interakcija M-V-N

Presjek u x = 8,5 m (vrh stupa): → $M_{y,Ed}$ = 1379,75 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 195,15 kN
→ $N_{Ed}$ = 192,74 (tlak)

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

$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 2568{,}53 = 1284{,}27$ kN
$V_{z,Ed} = 195{,}15$ kN $< 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 1284{,}27$ kN – niska razina poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

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

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

$N_{Ed} = 192{,}74$ kN $\leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 7449{,}5 = 1862{,}38$ kN

$N_{Ed} = 192{,}74$ kN $\leq \dfrac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \dfrac{0{,}5 \cdot 92{,}8 \cdot 1{,}7 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 1853{,}68$ kN

niska razina uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

**Profil HEA 1000 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

c) Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

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

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{990}{300} = 3{,}3 > 1{,}2$$ $t_f$ = 28 mm < 40 mm

-za os y-y: krivulja izvijanja *a* → α = 0,21
-za os z-z: krivulja izvijanja *b* → α = 0,34

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 1516,78 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 554000}{1516{,}78^2} = 49858{,}9kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{317 \cdot 235}{49858{,}9}} = 0{,}387$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}387 - 0{,}2) + 0{,}387^2] = 0{,}594$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda^2}_y}} = \frac{1}{0{,}594 + \sqrt{0{,}594^2 - 0{,}387^2}} = 0{,}956$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z}$ = 252,8 cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 14000}{252{,}8^2} = 45359{,}0kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{317 \cdot 23{,}5}{45359{,}0}} = 0{,}405$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha\cdot(\ \bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34\cdot(0{,}405-0{,}2) + 0{,}405^2] = 0{,}617$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \bar{\lambda}_z^{\,2}}} = \frac{1}{0{,}617 + \sqrt{0{,}617^2 - 0{,}405^2}} = 0{,}924$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}924$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}924 \cdot 317 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 6883{,}2kN > N_{Ed} = 192{,}74kN$$

<u>-Otpornost elementa na savijanje (M)</u>

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = H = 1400,0 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{99}{2} = 49{,}5cm$$

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

$k = 1{,}0$ $\quad C_1 = 1{,}77$
$k_w = 1{,}0$ $\quad C_2 = 0$

$$M_{cr} = 1{,}77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 14000}{(1{,}0 \cdot 1400)^2} \cdot \left[ \sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{32074000}{12600} + \frac{(1{,}0 \cdot 14000)^2 \cdot 8077 \cdot 822}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 14000} + (0 \cdot 49{,}5)^2} - \right.$$

$$\left. -0 \cdot 49{,}5 \right] = 215548{,}93 \text{ kNcm} = 2155{,}49 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 12833cm^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{12833 \cdot 23{,}5}{2155{,}49}} = 1{,}18 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{990}{300} = 3{,}3 > 2$$

Mjerodavna krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha_{LT} = 0{,}34$.

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34 \cdot (1{,}18 - 0{,}2) + 1{,}18^2] = 1{,}367$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1{,}367 + \sqrt{1{,}367^2 - 1{,}18^2}} = 0{,}488 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}488 \cdot 317 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 147026{,}24\text{kNcm} = 1470{,}26\ \text{kNm}$$

$M_{b,Rd} = 1470{,}26$ kNm > $M_{y,Ed} = 1379{,}75$ kNm

<u>-Interakcija M-N</u>

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za $\bar{\lambda}_z = 0{,}405 > 0{,}4$:

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

$\alpha_h = M_h / M_s = 0$
$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0$

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

$$k_{yy} = 0{,}95 \cdot \left[1+(0{,}387 - 0{,}2) \cdot \frac{192{,}74}{0{,}956 \cdot 7449{,}5/1{,}0}\right] = 0{,}955$$

$$k_{yy} = 0{,}955 < 0{,}95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{192{,}74}{0{,}956 \cdot 7449{,}5/1{,}0}\right] = 0{,}971$$

$k_{yy} = 0{,}955$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0{,}1 \cdot 0{,}405}{(0{,}95 - 0{,}25)} \cdot \frac{192{,}74}{0{,}924 \cdot 7449{,}5/1{,}0}\right] = 0{,}998$$

$$k_{zy} = 0{,}998 > \left[1 - 0{,}8 \cdot \frac{192{,}74}{0{,}924 \cdot 7449{,}5/1{,}0}\right] = 0{,}996$$

$k_{zy} = 0{,}998$

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

$$\frac{192{,}74}{0{,}924 \cdot 7449{,}5/1{,}0} + 0{,}955 \cdot \frac{1379{,}75}{0{,}488 \cdot 3015{,}76/1{,}0} = 0{,}9231 \leq 1{,}0$$

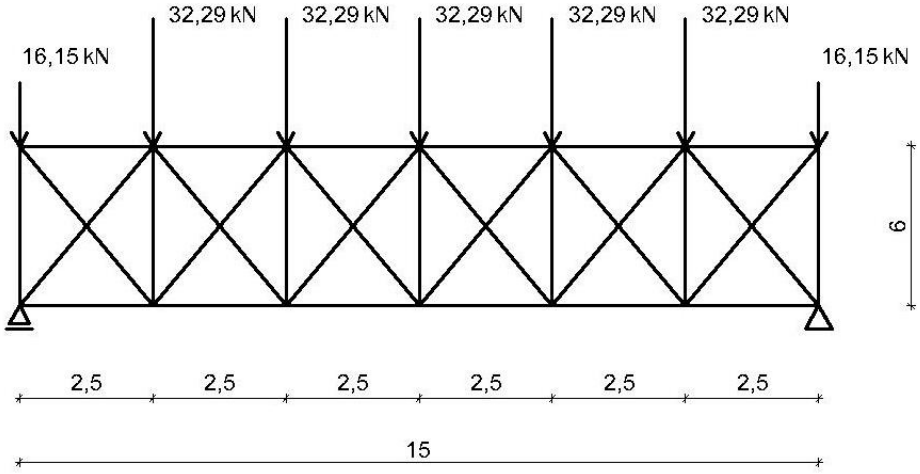
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{192{,}74}{0{,}924 \cdot 7449{,}5/1{,}0} + 0{,}998 \cdot \frac{1379{,}75}{0{,}488 \cdot 3015{,}76/1{,}0} = 0{,}9649 \leq 1{,}0$$

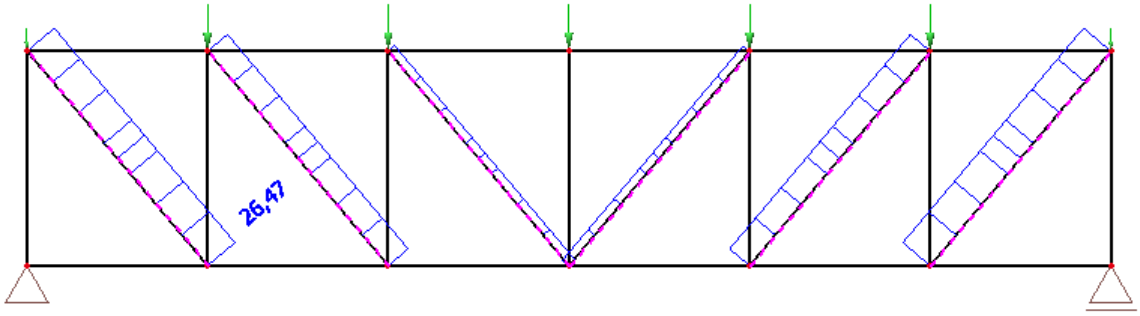
**Profil HEA 1000 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti: η = 96,49 %.**

## 5.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

### 5.2.1 DIMENZIONIRANJE KROVNIH SPREGOVA




*Slika 54 Raspored krovnih spregova i opterećenje*




*Slika 55 Maksimalne uzdužna vlačna sila u krovnim spregovima*

Maksimalna vlačna sila:
$N_{Ed}$ = 26,47 kN

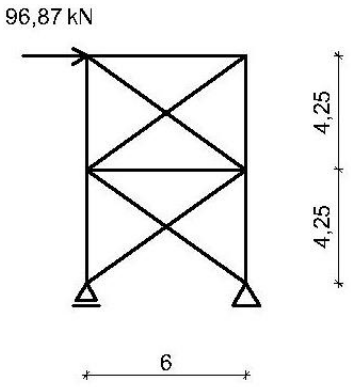
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1{,}3^2 \cdot \pi}{4} = 1{,}33 cm^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}33 \cdot 25{,}5}{1{,}0} = 31{,}19 kN > N_{Ed} = 26{,}47 kN$$

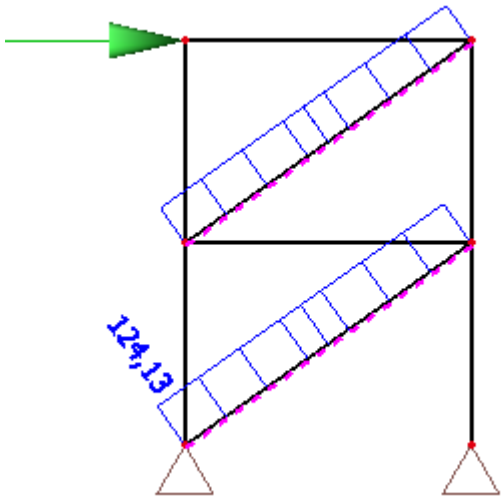
Za krovne spregove odabran je profil Ø13
Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø13, kvalitete čelika S255, zadovoljava provjeru, sa iskoristivosti: $\eta = \frac{31{,}19}{26{,}47} \cdot 100 = 84{,}86\%$ .

**Napomena:** Za krovne i bočne spregove bilo bih poželjno imati iste profile Ø međutim zbog velike razlike vlačnih sila koje se javljaju u krovnom i bočnom spregu,odabrati ćemo različite profile Ø za svaki spreg tako da zadovolji iskoristivost.

### 5.2.2 DIMENZIONIRANJE BOČNIH SPREGOVA




*Slika 56 Raspored bočnih spregova i opterećenje*




*Slika 57 Maksimalne uzdužna vlačna sila u bočnim spregovima*

Maksimalna vlačna sila:
$N_{Ed}$ = 124,13 kN

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}, = \frac{2,7^2 \cdot \pi}{4} = 5,73cm^2$$

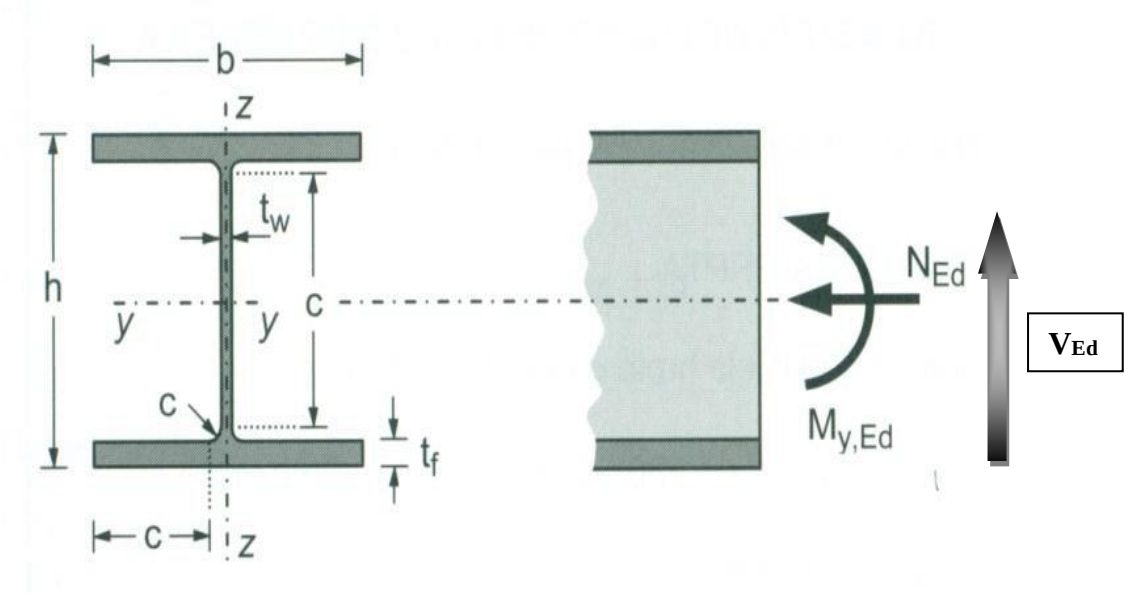
$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,73 \cdot 25,5}{1,0} = 134,55kN > N_{Ed} = 124,13kN$$

Za krovne spregove odabran je profil Ø27
Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø27, kvalitete čelika S255, zadovoljava provjeru, sa iskoristivosti: $\eta = \frac{134,55}{124,13} \cdot 100 = 92,26\%$.

**Napomena:** Za krovne i bočne spregove bilo bih poželjno imati iste profile Ø međutim zbog velike razlike vlačnih sila koje se javljaju u krovnom i bočnom spregu,odabrati ćemo različite profile Ø za svaki spreg tako da zadovolji iskoristivost.

### 5.2.3 DIMENZIONIRANJE KROVNIH NOSAČA (PODROŽNICA)

POPREČNI PRESJEK




*Slika 58 Poprečni presjek krovnog nosača*

Profil: IPE 240
Tip presjeka: valjani
Visina presjeka: h = 240 mm
Širina pojasnice: b = 120 mm
Debljina pojasnice: $t_f$ = 10 mm
Debljina hrpta: $t_w$ = 6 mm
Radijus: r = 15 mm
Površina: A=39,1 $cm^2$

Momenti tromosti: $I_y$=3892 $cm^4$
$I_z$=284 $cm^4$
Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 367 $cm^3$
$W_{pl,z}$ = 73,9 $cm^3$
Konstanta krivljenja: $I_w$ = 37 400 $cm^6$
Torzijska konstanta: $I_t$ = 12,9 $cm^4$

ULAZNI PODATCI:
Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila → $M_{y,Ed}$ =15,91 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 15,29 kN
→ $N_{Ed}$ = 73,125 (tlak)
→ $M_{z,Ed}$ =1,94 kNm
→ $V_{y,Ed}$ = 1,86 kN

Materijal: S235 → $f_y$ = 235 N/$mm^2$
→ ε = 1,0
→ E = 210 000 N/$mm^2$
→ ν = 0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·$t_f$ - 2·r = 240- 2·10 - 2·15 = 190 mm

$t_w$ = 6 mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{190}{6} = 31{,}67$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{73{,}125}{2 \cdot 6 \cdot 23{,}5/1{,}0} = 2{,}59$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{19}(19 + 2{,}59) = 0{,}636 > 0{,}5$$

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

$$\frac{d}{t_W} = 31{,}67 < 72 \cdot 1 = 72$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{120 - 6 - 2 \cdot 15}{2} = 42 \text{ mm}$$

$t_f$ = 10 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{42}{10} = 4{,}20$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 4{,}20 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Pojasnica je klase 1.

**Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.**

d) Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ($N_{Ed}$ = 104,55 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{39{,}1 \cdot 235{,}5}{1{,}0} = 918{,}85kN$$

$$N_{c,Rd} = 918{,}85kN > N_{Ed} = 73{,}125kN$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{367 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 8625{,}00kNcm = 86{,}25kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 86{,}25kNm > M_{y,Ed} = 15{,}91kNm$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{73{,}9 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 1737{,}0kNcm = 17{,}37kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 17{,}37kNm > M_{z,Ed} = 15{,}91kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{240 - 2 \cdot 10}{6} = 67{,}67$$

$$36{,}67 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1{,}2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z-z:

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

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

$A_{v,z} = 39{,}1 - 2 \cdot 12 \cdot 1 + (0{,}6 + 2 \cdot 1{,}5) \cdot 1 = 18{,}7\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 22 \cdot 0{,}6 = 15{,}84\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{18{,}7 \cdot (23{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 253{,}72 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 253{,}72kN > V_{z,Ed} = 15{,}29kN$$

U smjeru osi y-y:

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

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

$A_{v,y} = 39{,}1 - (22 - 2\cdot 1)\cdot 0{,}6 = 25{,}9 \text{ cm}^2$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{25{,}9 \cdot (23{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 351{,}4 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 351{,}4kN > V_{y,Ed} = 15{,}29kN$$

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

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

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

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

Poprečna sila u smjeru osi z:

$0{,}5\cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5\cdot 253{,}71 = 126{,}86$ kN
$V_{z,Ed} = 15{,}29$ kN $< 0{,}5\cdot V_{pl,z,Rd} = 126{,}86$ kN → niska razina poprečne sile u smjeru osi z
$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 86{,}25$ kNm

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Poprečna sila u smjeru osi y:

$0{,}5\cdot V_{pl,y,Rd} = 0{,}5\cdot 351{,}4 = 291{,}04$ kN
$V_{y,Ed} = 1{,}86$ kN $< 0{,}5\cdot V_{pl,y,Rd} = 175{,}7$ kN → niska razina poprečne sile u smjeru osi y
$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 17{,}37$ kNm

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

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

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

$N_{Ed} = 73{,}125 \text{ kN} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 918{,}85 = 229{,}71 \text{ kN}$

$N_{Ed} = 73{,}125 \text{ kN} \leq \dfrac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \dfrac{0{,}5 \cdot 22 \cdot 0{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 155{,}1 \text{ kN}$

niska razina uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$\left(\frac{15{,}91}{86{,}25}\right)^2 + \left(\frac{1{,}94}{17{,}37}\right)^1 = 0{,}15 \leq 1{,}0$$

**Profil IPE 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

e) Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

$\overline{\lambda} = \sqrt{\dfrac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$ za presjeke klase 1, 2, 3

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2{,}0 > 1{,}2$ $t_f = 10$ mm < 40 mm

-za os y-y: krivulja izvijanja *a* → α = 0,21
-za os z-z: krivulja izvijanja *b* → α = 0,34

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y} = 600$ cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3892}{600^2} = 2238{,}46 kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{39{,}1 \cdot 23{,}5}{2238{,}46}} = 0{,}641$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}641 - 0{,}2) + 0{,}641^2] = 0{,}752$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{0{,}752 + \sqrt{0{,}752^2 - 0{,}641^2}} = 0{,}874$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z} = 600$ cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284}{600^2} = 163{,}34 kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{39{,}1 \cdot 23{,}5}{163{,}34}} = 2{,}372$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z^{\,2}] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34 \cdot (2{,}372 - 0{,}2) + 2{,}372^2] = 3{,}862$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \bar{\lambda}_z^{\,2}}} = \frac{1}{3{,}862 + \sqrt{3{,}862^2 - 2{,}372^2}} = 0{,}154$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}154$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}154 \cdot 39{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 141{,}41kN > N_{Ed} = 73{,}125kN$$

<u>-Otpornost elementa na savijanje (M)</u>

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = $0{,}3 \cdot n = 0{,}3 \cdot 600 = 180cm$ → razmak nul-točaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{24}{2} = 12cm$$

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

k = 1,0 $C_1$ = 1,127
$k_w$ = 1,0 $C_2$ = 0,454

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284}{(1{,}0 \cdot 180)^2} \cdot \left[ \sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{37400}{284} + \frac{(1{,}0 \cdot 180)^2 \cdot 8077 \cdot 12{,}9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284} + (1{,}127 \cdot 12)^2} - \right.$$

$$\left. -1{,}127 \cdot 12 \right] = 19110{,}56 \text{ kNcm} = 191{,}11 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 367$ cm$^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{367 \cdot 23{,}5}{19110{,}56}} = 0{,}67 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 \leq 2$$

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

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}67 - 0{,}2) + 0{,}67^2] = 0{,}78$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0{,}78 + \sqrt{0{,}78^2 - 0{,}67^2}} = 0{,}86 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}86 \cdot 39{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 7422{,}19 \text{ kNcm} = 74{,}22 \text{ kNm}$$

$M_{b,Rd} = 74{,}22$ kNm > $M_{y,Ed} = 15{,}91$ kNm

<u>-Interakcija $M_y$ i $M_z$ (dvoosno savijanje)</u>

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

Za $\bar{\lambda}_z = 2{,}372 \geq 0{,}4$:

$$k_{zy} = 0{,}6 + \bar{\lambda}_z \leq \left[1 - \frac{0{,}1}{(C_{mLT} - 0{,}25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}\right]$$

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

$\alpha_s = M_h / M_s = -9{,}72 / 13{,}08 = -0{,}74$
$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / 13{,}08 = 0$

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

$$k_{yy} = 0{,}69 \cdot \left[1 + (0{,}641 - 0{,}2) \cdot \frac{73{,}125}{0{,}874 \cdot 918{,}85/1{,}0}\right] = 0{,}724$$

$$k_{yy} = 0{,}724 < 0{,}69 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{73{,}125}{0{,}874 \cdot 918{,}85/1{,}0}\right] = 0{,}746$$

$k_{yy} = 0{,}724$

$k_{zy} = 0{,}6 + \overline{\lambda}_z = 2{,}972$

$$k_{zy} = 2{,}972 \leq \left[1 - \frac{0{,}1}{(0{,}69 - 0{,}25)} \cdot \frac{73{,}125}{0{,}154 \cdot 918{,}85/1{,}0}\right] = 0{,}725$$

$k_{zy} = 0{,}725$

$$k_{zz} := 0{,}69 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2{,}372 - 0{,}6) \cdot \frac{73{,}125}{0{,}154 \cdot 918{,}85/1{,}0}\right] = 2{,}187$$

$$k_{zz} := 2{,}187 \leq 0{,}69 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{73{,}125}{0{,}154 \cdot 918{,}85/1{,}0}\right] = 1{,}199$$

$k_{zz} := 1{,}199$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 1{,}199 = 0{,}72$

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

$$\frac{73{,}125}{0{,}874 \cdot 9178{,}85/1{,}0} + 0{,}724 \cdot \frac{15{,}91}{0{,}86 \cdot 86{,}25/1{,}0} + 0{,}72 \cdot \frac{1{,}94}{17{,}37/1{,}0} \cdot = 0{,}3266 \leq 1$$

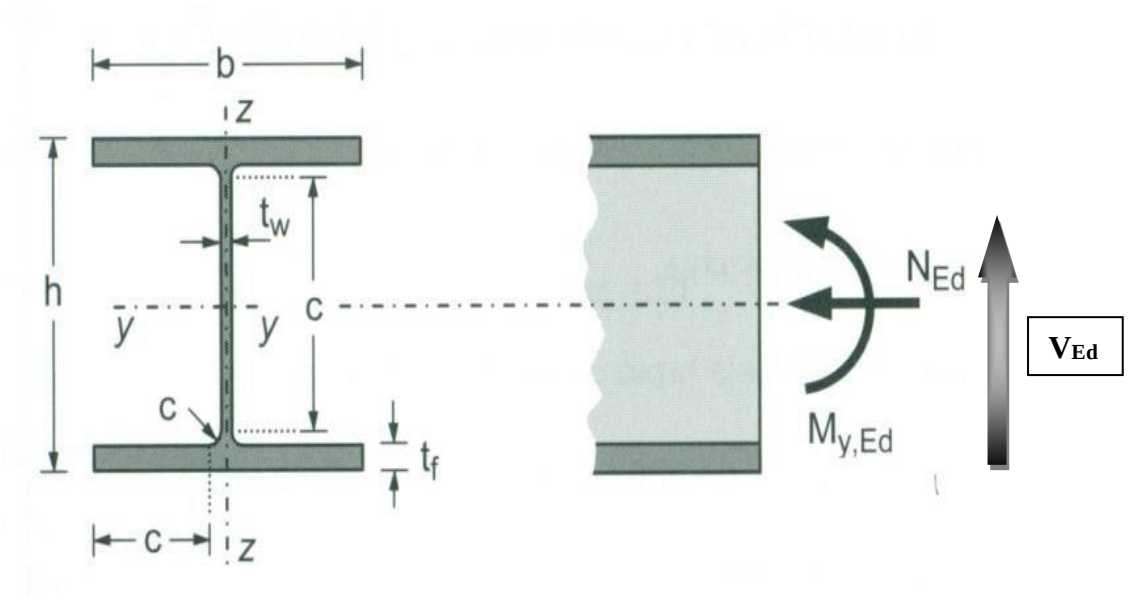
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{73{,}125}{0{,}154 \cdot 9178{,}85/1{,}0} + 0{,}725 \cdot \frac{15{,}91}{0{,}86 \cdot 86{,}25/1{,}0} + 1{,}199 \cdot \frac{1{,}94}{17{,}37/1{,}0} \cdot = 0{,}8065 \leq 1$$

**Profil IPE 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti: η = 80,65 %.**

### 5.2.4 DIMENZIONIRANJE BOČNIH NOSAČA

POPREČNI PRESJEK




*Slika 59 Poprečni presjek bočnog nosača*

Profil: IPE 200
Tip presjeka: valjani
Visina presjeka: h = 200 mm
Širina pojasnice: b = 100 mm
Debljina pojasnice: $t_f$ = 9 mm
Debljina hrpta: $t_w$ = 6 mm
Radijus: r = 12 mm
Površina: A=28,5 $cm^2$

Momenti tromosti: $I_y$=19413 $cm^4$
$I_z$=142 $cm^4$
Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 221 $cm^3$
$W_{pl,z}$ = 44,6 $cm^3$
Konstanta krivljenja: $I_w$ = 13 000 $cm^6$
Torzijska konstanta: $I_t$ = 6,98 $cm^4$

ULAZNI PODATCI:
Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila → $M_{y,Ed}$ =5,32 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 5,1 kN
→ $N_{Ed}$ = 48,38 (tlak)
→ $M_{z,Ed}$ =1,02 kNm
→ $V_{y,Ed}$ = 0,98 kN

Materijal: S235 → $f_y$ = 235 N/$mm^2$
→ ε = 1,0
→ E = 210 000 N/$mm^2$
→ ν = 0,3

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·$t_f$ - 2·r = 200- 2·9 - 2·25 = 158 mm

$t_w$ = 6 mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{158}{6} = 26{,}33$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{48{,}38}{2 \cdot 6 \cdot 23{,}5 / 1{,}0} = 1{,}72$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{1{,}58}(1{,}58 + 1{,}72) = 0{,}609 > 0{,}5$$

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

$$\frac{d}{t_W} = 26{,}33 < 72 \cdot 1 = 72$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{100 - 6 - 2 \cdot 12}{2} = 35 \text{ mm}$$

$t_f$ = 9 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35}{9} = 3{,}89$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 3{,}89 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Pojasnica je klase 1.
**Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.**

b) Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili ($N_{Ed}$ = 104,55 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28{,}5 \cdot 235{,}5}{1{,}0} = 669{,}75kN$$

$$N_{c,Rd} = 669{,}75kN > N_{Ed} = 48{,}38kN$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 5194{,}00kNcm = 51{,}94kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 51{,}94kNm > M_{y,Ed} = 5{,}32kNm$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 1048{,}00kNcm = 10{,}48kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 10{,}48kNm > M_{z,Ed} = 1{,}02kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30{,}33$$

$$30{,}33 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1{,}2} = 60$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z-z:

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

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

$A_{v,z} = 28{,}5 - 2 \cdot 10 \cdot 1 + (0{,}6 + 2 \cdot 1{,}2) \cdot 1 = 13{,}2\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 1{,}82 \cdot 0{,}6 = 15{,}84\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13{,}2 \cdot (23{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 179{,}09 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179{,}09\,kN > V_{z,Ed} = 1{,}08\,kN$$

U smjeru osi y-y:

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

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

$A_{v,y} = 28{,}5 - (20 - 2 \cdot 1) \cdot 0{,}6 = 17{,}58 \text{ cm}^2$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17{,}58 \cdot (23{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 238{,}52 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 238{,}52\,kN > V_{y,Ed} = 1{,}08\,kN$$

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

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

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

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

Poprečna sila u smjeru osi z:

$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 179{,}09 = 89{,}55$ kN
$V_{z,Ed} = 1{,}08$ kN $< 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 89{,}55$ kN → niska razina poprečne sile u smjeru osi z
$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 51{,}94$ kNm

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Poprečna sila u smjeru osi y:

$0{,}5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0{,}5 \cdot 238{,}52$ 119,26 kN
$V_{y,Ed} = 5{,}1$ kN $< 0{,}5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 119{,}26$ kN → niska razina poprečne sile u smjeru osi y
$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 10{,}48$ kNm

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

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

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

$N_{Ed} = 48{,}38 \text{ kN} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 669{,}75 = 167{,}44 \text{ kN}$

$N_{Ed} = 48{,}38 \text{ kN} \leq \dfrac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \dfrac{0{,}5 \cdot 20 \cdot 0{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 128{,}31 \text{ kN}$

niska razina uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$\left(\frac{5{,}32}{51{,}94}\right)^2 + \left(\frac{1{,}02}{10{,}48}\right)^1 = 0{,}11 \leq 1{,}0$$

**Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.**

c) Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

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

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

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

$\overline{\lambda} = \sqrt{\dfrac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$ za presjeke klase 1, 2, 3

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

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2{,}0 > 1{,}2$ $t_f = 9$ mm < 40 mm

-za os y-y: krivulja izvijanja *a* → α = 0,21
-za os z-z: krivulja izvijanja *b* → α = 0,34

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y} = 600$ cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1943}{600^2} = 1117{,}50 kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{28{,}5 \cdot 23{,}5}{2238{,}46}} = 0{,}774$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}774 - 0{,}2) + 0{,}774^2] = 0{,}86$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{0{,}86 + \sqrt{0{,}86^2 - 0{,}774^2}} = 0{,}810$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z} = 600$ cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{600^2} = 81{,}67 kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{28{,}5 \cdot 23{,}5}{81{,}67}} = 2{,}864$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z^{\,2}] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34 \cdot (2{,}864 - 0{,}2) + 2{,}864^2] = 5{,}053$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \bar{\lambda}_z^{\,2}}} = \frac{1}{5{,}053 + \sqrt{5{,}053^2 - 2864^2}} = 0{,}109$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}109$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}109 \cdot 28{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 72{,}67kN > N_{Ed} = 48{,}38kN$$

<u>-Otpornost elementa na savijanje (M)</u>

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = $0{,}3 \cdot n = 0{,}3 \cdot 600 = 180cm$ → razmak nul-točaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{20}{2} = 10cm$$

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

k = 1,0 $C_1$ = 1,127
$k_w$ = 1,0 $C_2$ = 0,454

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{(1{,}0 \cdot 180)^2} \cdot \left[ \sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{13000}{142} + \frac{(1{,}0 \cdot 180)^2 \cdot 8077 \cdot 6{,}98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142} + (1{,}127 \cdot 10)^2} - \right.$$

$$\left. -1{,}127 \cdot 10 \right] = 8858{,}41 \text{ kNcm} = 88{,}58 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 221$ cm$^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 \cdot 23{,}5}{8858{,}41}} = 0{,}77 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2$$

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

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}77 - 0{,}2) + 0{,}77^2] = 0{,}85$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0{,}85 + \sqrt{0{,}85^2 - 0{,}77^2}} = 0{,}81 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}81 \cdot 28{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 4231{,}22 \text{ kNcm} = 42{,}31 \text{ kNm}$$

$M_{b,Rd} = 42{,}31$ kNm > $M_{y,Ed} = 5{,}82$ kNm

<u>-Interakcija $M_y$ i $M_z$ (dvoosno savijanje)</u>

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

Za $\bar{\lambda}_z = 2{,}372 \geq 0{,}4$:

$$k_{zy} = 0{,}6 + \bar{\lambda}_z \leq \left[1 - \frac{0{,}1}{(C_{mLT} - 0{,}25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}\right]$$

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

$\alpha_s = M_h / M_s = -9{,}72 / 13{,}08 = -0{,}74$
$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / 13{,}08 = 0$

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

$$k_{yy} = 0{,}69 \cdot \left[1 + (0{,}774 - 0{,}2) \cdot \frac{48{,}38}{0{,}810 \cdot 669{,}75/1{,}0}\right] = 0{,}730$$

$$k_{yy} = 0{,}730 < 0{,}69 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{48{,}38}{0{,}810 \cdot 669{,}75/1{,}0}\right] = 0{,}744$$

$k_{yy} = 0{,}730$

$k_{zy} = 0{,}6 + \overline{\lambda}_z = 2{,}864$

$$k_{zy} = 2{,}864 \leq \left[1 - \frac{0{,}1}{(0{,}69 - 0{,}25)} \cdot \frac{48{,}38}{0{,}109 \cdot 669{,}75/1{,}0}\right] = 0{,}571$$

$k_{zy} = 0{,}571$

$$k_{zz} := 0{,}69 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2{,}864 - 0{,}6) \cdot \frac{48{,}38}{0{,}109 \cdot 669{,}75/1{,}0}\right] = 3{,}065$$

$$k_{zz} := 3{,}065 \leq 0{,}69 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{48{,}38}{0{,}109 \cdot 669{,}75/1{,}0}\right] = 1{,}342$$

$k_{zz} := 1{,}342$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 1{,}342 = 0{,}81$

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

$$\frac{48{,}38}{0{,}810 \cdot 669{,}75/1{,}0} + 0{,}730 \cdot \frac{5{,}32}{0{,}86 \cdot 51{,}94/1{,}0} + 0{,}81 \cdot \frac{1{,}02}{10{,}48/1{,}0} \cdot = 0{,}2593 \leq 1$$

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

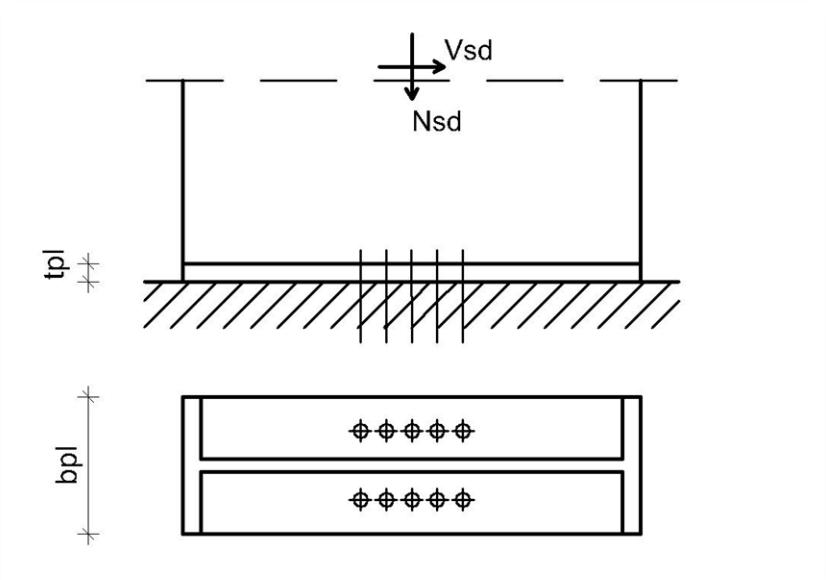
$$\frac{48{,}38}{0{,}109 \cdot 669{,}75/1{,}0} + 0{,}571 \cdot \frac{5{,}32}{0{,}86 \cdot 51{,}94/1{,}0} + 1{,}341 \cdot \frac{1{,}02}{10{,}48/1{,}0} \cdot = 0{,}2593 \leq 1$$

**Profil IPE 200 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti: η = 86,82 %.**

# 6 DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

## 6.1 SPOJ STUP-TEMELJ

**Ulazni podaci**




*Slika 60 Detalj spoja stup-temelj*

Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:
$N_{Ed}$ = 246,86 kN (tlak)
$M_{Ed}$ = 0 kNm
$V_{Ed}$ = 162,99 kN

Materijal:
Osnovni materijal: S235
Vijci: k.v. 5.6

Poprečni presjek:
Profil: HEA 800
h= 790 mm
b= 300 mm
$t_w$= 15 mm
$t_f$= 28 mm

a) Kontrola varova:

Dužina vara hrpta:

$$l_1 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (790 - 2 \cdot 28) = 1468\, mm$$

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

$$a_{max} = 0{,}7 \cdot t_w = 0{,}7 \cdot 15 = 10{,}5\, mm$$

Za odabrano var a=3,0mm

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} == \frac{77{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{1468}{100} = 914{,}86\, kN > V_{Ed} = 157{,}22\, kN$$

b) Proračun vijaka:

Odabrani vijak: M 12 ; k.v. 5.6

Otpornost vijaka na posmik
Poprečna sila se raspoređuje na 10 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} == \frac{25,3}{1,25} = 20,24\ kN > F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{10} = \frac{162,99}{10} = 16,3\ kN$$

c) Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h = 790\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = b = 300\ mm$$

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

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 790x300 mm**

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{10} = 163\ kN = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{16,3 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 2,452\ mm$$

Naprezanje na betonu:

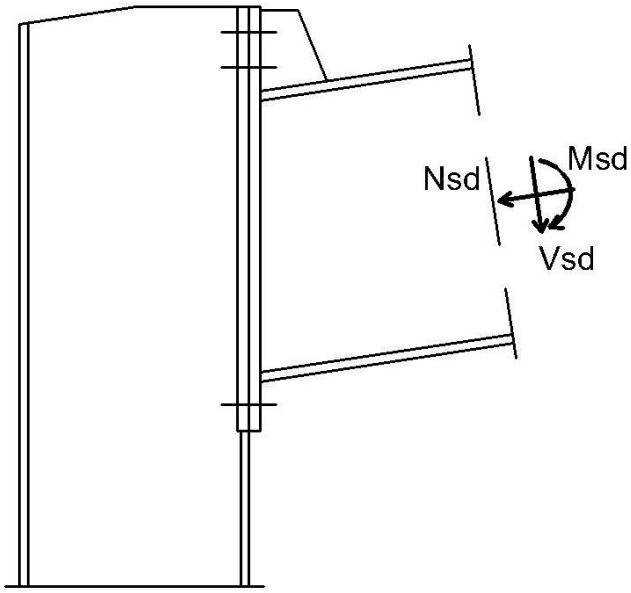
$$f_{B,Sd} = \frac{N_{Sd}}{a_{pl} \cdot b_{pl}} = \frac{246,86}{79 \cdot 30} = 0,10\ \ kN/cm^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,66\ \ kN/cm^2$$

Debljina ploče ne smije biti manja od 15 mm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 2,956mm. Iz tog razloga mi odabiremo za debljinu ploče d=15 mm.

**Usvojene dimenzije ploče su 790x300x15 mm.**

## 6.2 SPOJ STUP-GREDA

**Ulazni podaci**




*Slika 61 Detalj spoja stup-greda*

Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:
$N_{Ed}$ = 192,74 kN (tlak)
$M_{Ed}$ = 1379,8 kNm
$V_{Ed}$ = 195,15 kN

Materijal:
Osnovni materijal: S235
Vijci: k.v. 8.8

Poprečni presjek:
Profil: HEA 1000
h= 990 mm
b= 300 mm
$t_w$= 17 mm
$t_f$= 31 mm

**Izračun reznih sila u spoju:**

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Sd}}{h'} = \frac{1379,8}{0,99 - 0,031} = 1438,74\ kN$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} N_{Sd} = \frac{30 \cdot 3,1}{317} \cdot 192,74 = 56,55\ kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_P = N_p^{*M} + N_p^N = 1438,74 - 56,55 = 1382,19\ kN = F_{w,Sd}$$

a) Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 4 \cdot b - 2 \cdot (t_w + 2 \cdot r) = 2 \cdot 300 - 2 \cdot (17 + 2 \cdot 30) = 1046\ mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot \left(h - 2 \cdot t_f\right) = 2 \cdot (990 - 2 \cdot 31) = 1856\ mm$$

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

$$a_{max} = 0{,}7 \cdot t_w = 0{,}7 \cdot 17 = 11{,}9\ mm$$

Za odabrano var a=10,0mm
Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} == \frac{259{,}8}{1{,}25} \cdot \frac{1046}{100} = 2174{,}01\ kN > F_{w,Sd} = 1382{,}19\ kN$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} == \frac{259{,}8}{1{,}25} \cdot \frac{1856}{100} = 3857{,}5\ kN > V_{Ed} = 195{,}15\ kN$$

b) Proračun vijaka:

Odabrani vijak: M 36 ; k.v. 8.8

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{588{,}2}{1{,}25} = 470{,}56\ kN > \frac{F_{t,Sd}}{4} = \frac{1438{,}74}{4} = 345{,}55\ kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{V,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{392{,}2}{1{,}25} = 313{,}768\ kN > F_{V,Sd} = \frac{V_{Sd}}{6} = \frac{195{,}15}{6} = 32{,}53\ kN$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{V,Sd}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1{,}4 \cdot F_{t,rd}} \leq 1{,}0 \Longrightarrow \frac{32{,}53}{313{,}76} + \frac{345{,}55}{1{,}4 \cdot 470{,}56} = 0{,}628 \leq 1{,}0$$

c) Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 990 + 2 \cdot (90 + 90) = 1350\ mm$$
$$b_{pl}^{min} = b = 300\ mm$$
$$b_{pl}^{min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 120 + 2 \cdot 70 = 260\ mm$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 1350x370 mm**

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{195{,}15}{6} = 32{,}53\ kN = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{32{,}53 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{249{,}2} = 1{,}631\ mm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Sd} = \frac{F_{t,Sd}}{2} \cdot \left(c + t_f/2\right) = \frac{1382{,}19}{2} \cdot (90 + 31/2) = 72910{,}69\ kNmm$$
$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1{,}1} \Rightarrow W_{min} \geq \frac{M_{Sd} \cdot 1{,}1}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot {t_{min}^{pl}}^2}{6} \Rightarrow t_{min}^{pl} = \sqrt{\frac{M_{Sd} \cdot 1{,}1 \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}}$$
$$= \sqrt{\frac{72910{,}69 \cdot 1{,}1 \cdot 6}{0{,}235 \cdot 370}}$$
$$t_{min}^{pl} = 74{,}39\ mm$$

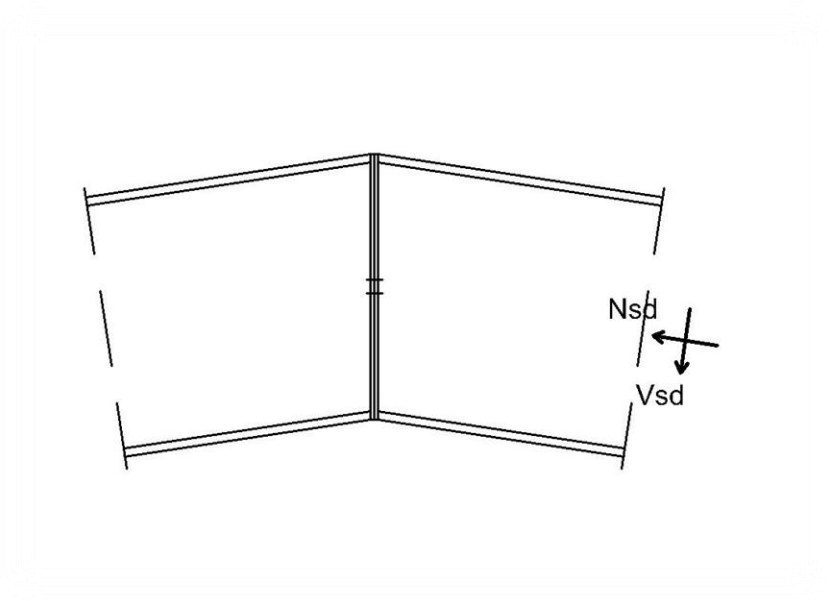
Debljina ploče ne smije biti veća od 40 mm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 74,39 mm. Iz tog razloga mi odabiremo za debljinu ploče d=40 mm uz postavljanje vijaka s obje strane pojasnice kao što je prikazano u nacrtima. To možemo dopustiti iz razloga što na krajevima pojasnica uz vijke imamo i dodatnu ukrutu koja je zavarena sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuje i stabiliziraja spoj.
Pločica je modelirana u programu Scia engineer, te dobivena naprezanja u pločici ne prelaze dopuštene vrijednosti.

**Usvojene dimenzije ploče su 1350x300x40 mm.**

Visina pločice je u konačnici nešto veća od usvojene, zbog toga što je ugrađena pod nagibom 15%. Stvarna dimenzija je definirana u radioničkom nacrtu.

## 6.3 SPOJ GREDA-GREDA

**Ulazni podaci**




*Slika 62 Detalj spoja greda-greda*

Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:
$N_{Ed}$ = 160,9 kN (tlak)
$M_{Ed}$ = 0 kNm
$V_{Ed}$ = 34,58 kN

Materijal:
Osnovni materijal: S235
Vijci: k.v. 5.6

Poprečni presjek:
Profil: HEA 1000
h= 990 mm
b= 300 mm
$t_w$= 17 mm
$t_f$= 31 mm

a) Kontrola varova:

Dužina vara hrpta:

$$l_1 = 2 \cdot \left(h - 2 \cdot t_f\right) = 2 \cdot (990 - 2 \cdot 31) = 1856\, mm$$

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

$$a_{max} = 0{,}7 \cdot t_w = 0{,}7 \cdot 17 = 11{,}9\, mm$$

Za odabrano var a=3,0mm

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} == \frac{77{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{1856}{100} = 1156{,}7\, kN > V_{Ed} = 34{,}58\, kN$$

b) Proračun vijaka:

Odabrani vijak: M 12 ; k.v. 5.6

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

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} == \frac{25,3}{1,25} = 20,24\ kN > F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = \frac{34,58}{4} = 8,65\ kN$$

c) Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h = 990\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = b = 300\ mm$$

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

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 990x300 mm**

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = 8,65\ kN = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{8,65 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 1,3\ mm$$

Naprezanje na betonu:

$$f_{B,Sd} = \frac{N_{Sd}}{a_{pl} \cdot b_{pl}} = \frac{160,9}{99 \cdot 30} = 0,05\ \ kN/cm^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,66\ \ kN/cm^2$$

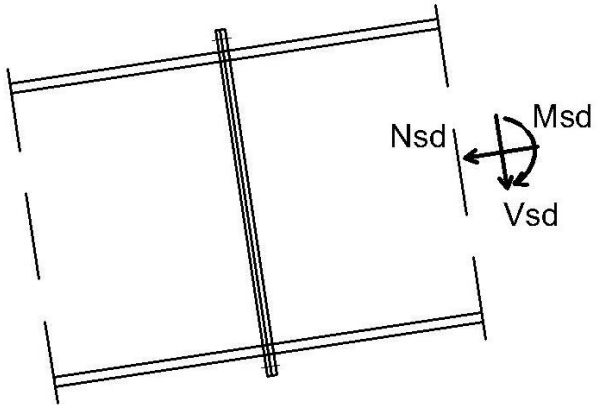
Debljina ploče ne smije biti manja od 15 mm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 1,3 mm. Iz tog razloga mi odabiremo za debljinu ploče d=15 mm.

**Usvojene dimenzije ploče su 990x300x15 mm.**

Visina pločice je u konačnici nešto veća od usvojene, zbog toga što je ugrađena pod nagibom 15%. Stvarna dimenzija je definirana u radioničkom nacrtu.

## 6.4 SPOJ NASTAVKA GREDE

**Ulazni podaci**




*Slika 63 Detalj spoja nastavka grede*

Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:
$N_{Ed}$ = 171,53 kN (tlak)
$M_{Ed}$ = 108,74 kNm
$V_{Ed}$ = 55,24 kN

Materijal:
Osnovni materijal: S235
Vijci: k.v. 5.6

Poprečni presjek:
Profil: HEA 1000
h= 990 mm
b= 300 mm
$t_w$= 17 mm
$t_f$= 31 mm

**Izračun reznih sila u spoju:**

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Sd}}{h'} = \frac{108{,}74}{0{,}99 - 0{,}031} = 113{,}39\ kN$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} N_{Sd} = \frac{30 \cdot 3{,}1}{317} 171{,}53 = 50{,}32\ kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_P = N_p^{*M} + N_p^N = 113{,}39 - 50{,}32 = 63{,}07\ kN = F_{w,Sd}$$

d) Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 4 \cdot b - 2 \cdot (t_w + 2 \cdot r) = 2 \cdot 300 - 2 \cdot (17 + 2 \cdot 30) = 1046\ mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot \left(h - 2 \cdot t_f\right) = 2 \cdot (990 - 2 \cdot 31) = 1856\ mm$$

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

$$a_{max} = 0{,}7 \cdot t_w = 0{,}7 \cdot 17 = 11{,}9\ mm$$

Za odabrano var a=10,0mm
Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} == \frac{259{,}8}{1{,}25} \cdot \frac{1046}{100} = 2174{,}01\ kN > F_{w,Sd} = 63{,}04\ kN$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} == \frac{259{,}8}{1{,}25} \cdot \frac{1856}{100} = 3857{,}5\ kN > V_{Ed} = 55{,}24kN$$

e) Proračun vijaka:

Odabrani vijak: M 12 ; k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} + p_2/2 = 2 \cdot 12 + 10\sqrt{2} = 38.14$$

Odabrano a=40mm

$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd}} = \frac{108{,}74}{171{,}53} = 0{,}63\ m$$

$$x_1 = c + h - t_f/2 = 40 + 990 - 31/2 = 1{,}01\ m$$

$$x_2 = e - h/2 + t_f/2 = 630 - 990/2 + 31/2 = 0{,}15\ m$$

$$N_{Sd} \cdot x_2 = F_{t,Sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,Sd} = \frac{x_2}{x_1} N_{Sd}$$

$$F_{t,Sd} = 26{,}11\ kN$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37{,}9}{1{,}25} = 30{,}32\ kN > \frac{F_{t,Sd}}{2} = \frac{26{,}11}{2} = 13{,}06\ kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{V,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25{,}3}{1{,}25} = 20{,}44\ kN > F_{V,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = \frac{55{,}24}{4} = 13{,}81\ kN$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{V,Sd}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1{,}4 \cdot F_{t,rd}} \leq 1{,}0 \Longrightarrow \frac{13{,}81}{20{,}44} + \frac{13{,}06}{1{,}4 \cdot 30{,}32} = 0{,}819 \leq 1{,}0$$

f) Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 990 + 2 \cdot (40 + 30) = 1130\ mm$$
$$b_{pl}^{min} = b = 300\ mm$$
$$b_{pl}^{min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 40 + 2 \cdot 25 = 90\ mm$$

**Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 1130x300 mm**

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{55{,}24}{4} = 13{,}81\ kN = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{13{,}81 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{83{,}1} = 2{,}077\ mm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

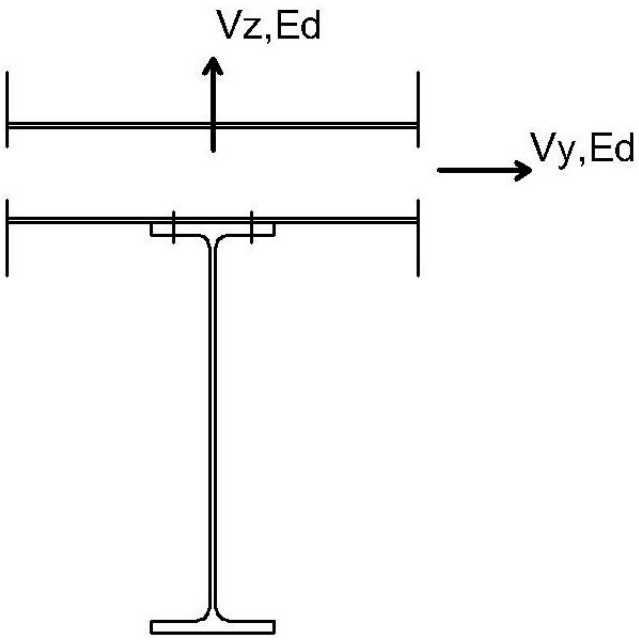
$$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot \left(c + t_f/2\right) = 26{,}11 \cdot (40 + 31/2) = 1449{,}26\ kNmm$$
$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1{,}1} \Rightarrow W_{min} \geq \frac{M_{Sd} \cdot 1{,}1}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot {t_{min}^{pl}}^2}{6} \Rightarrow t_{min}^{pl} = \sqrt{\frac{M_{Sd} \cdot 1{,}1 \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}}$$
$$= \sqrt{\frac{1449{,}26 \cdot 1{,}1 \cdot 6}{0{,}235 \cdot 300}}$$
$$t_{min}^{pl} = 11{,}65\ mm$$

Debljina ploče ne smije biti manja od 15 mm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 11,65 mm. Iz tog razloga mi odabiremo za debljinu ploče d=15 mm uz postavljanje vijaka s obje strane pojasnice kao što je prikazano u nacrtima.

**Usvojene dimenzije ploče su 1130x300x40 mm.**

## 6.5 SPOJ GREDA-KROVNA PODROŽNICA

**Ulazni podaci**




Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:
Vz,Ed = 0,67 kN (odizanje)
Vy,Ed = 58,21 kN (uzdužna sila NEd)
Materijal:
Osnovni materijal: S235
Vijci: k.v. 5.6

*Slika 64 Detalj spoja greda-krovna podrožnica*

Poprečni presjek:
Profil: HEA 1000
h= 990 mm
b= 300 mm
$t_w$= 17 mm
$t_f$= 31 mm

Poprečni presjek:
Profil: IPE 240
h= 240 mm
b= 120 mm
$t_w$= 10 mm
$t_f$= 6 mm

Odabrani vijak: M 12 ; k.v. 5.6

Otpornost vijaka na vlak

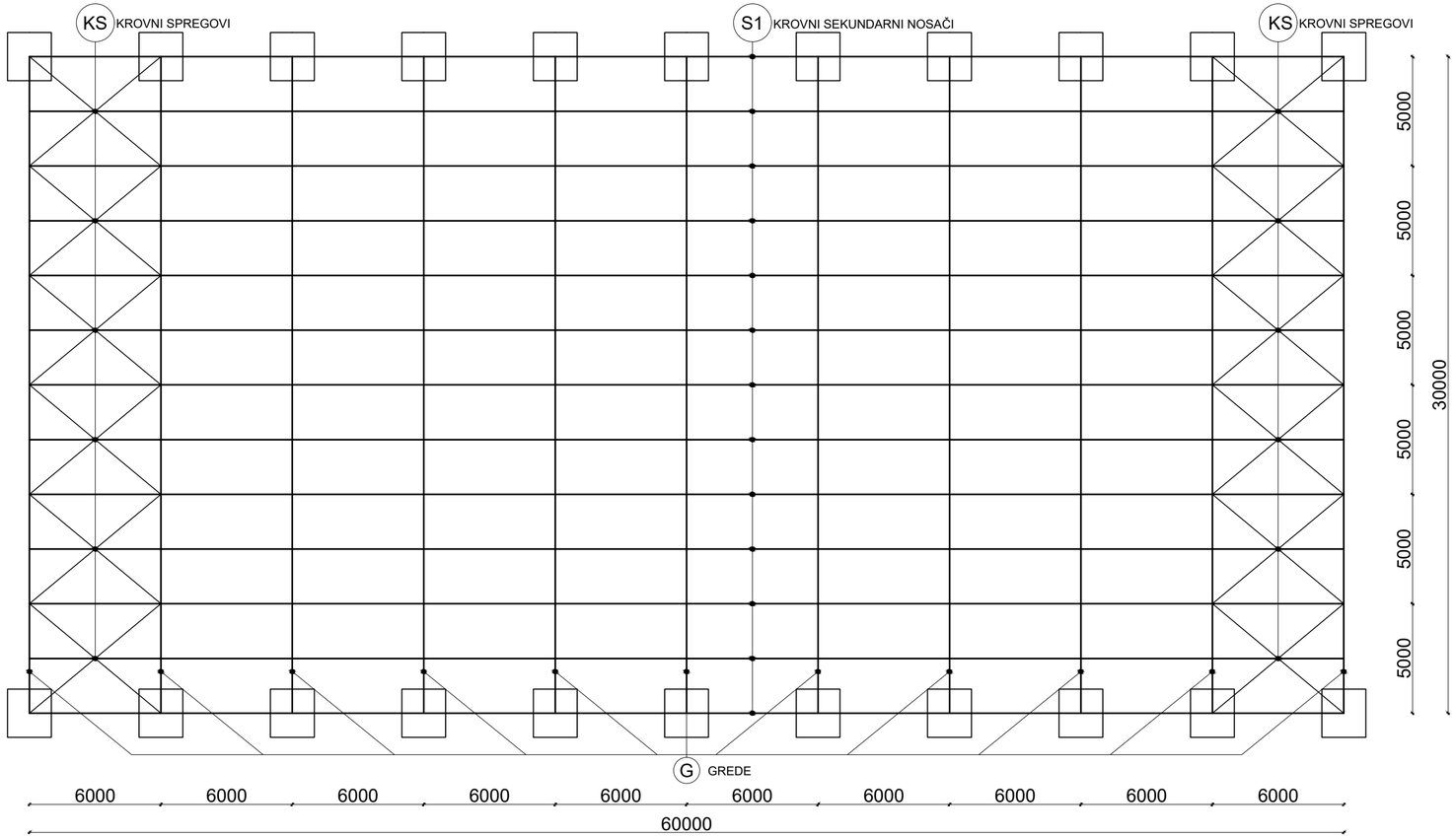
$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,9}{1,25} = 30,32\ kN > \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{0,67}{4} = 0,17\ kN$$

Otpornost vijaka na posmik

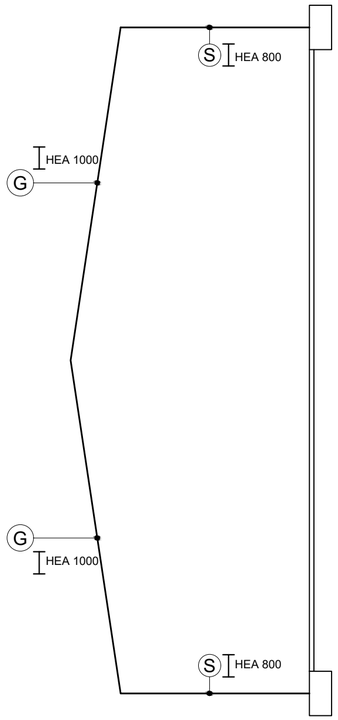
Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{V,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,44\ kN > F_{V,Sd} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{58,21}{4} = 14,55\ kN$$

# TLOCRTNI POGLED

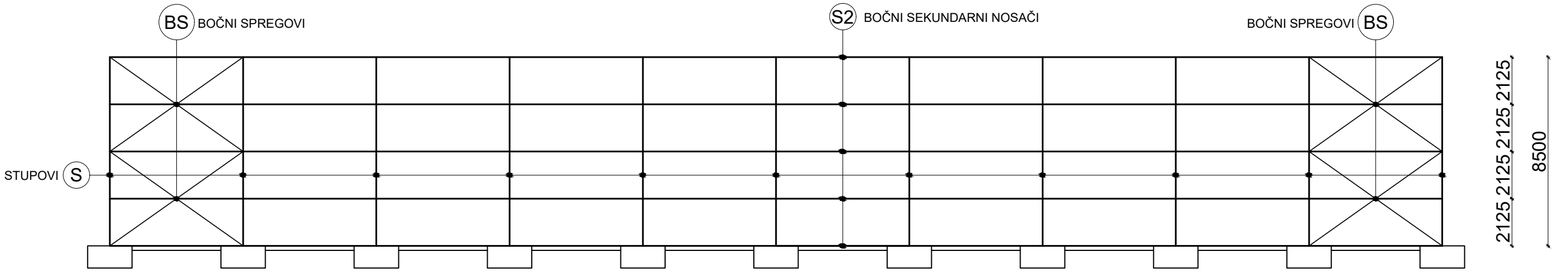



# BOČNI POGLED



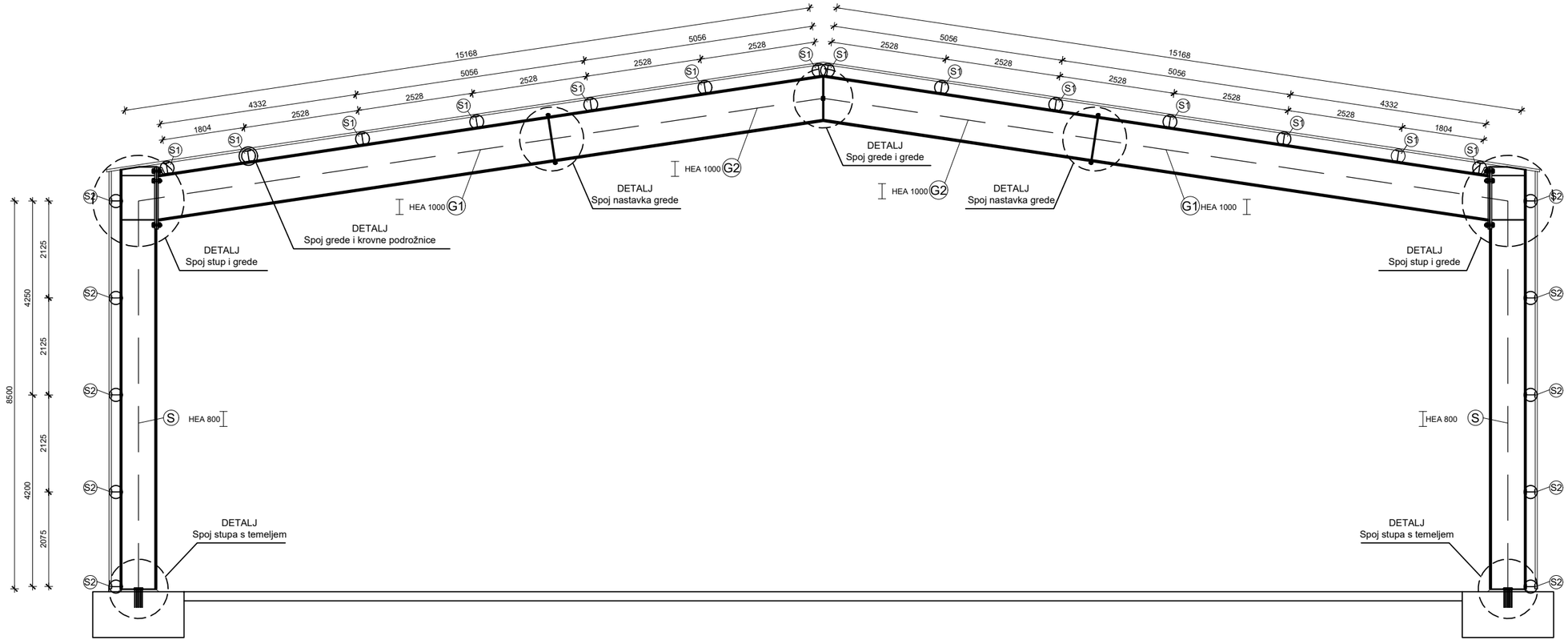

## 7.1 GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

# UZDUŽNI POGLED




| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| STUDENT | Tepić Ante, 4132 | |
| SADRŽAJ | Generalni plan pozicija | MJERILO 1:200 |
| DATUM | srpanj 2016. | BROJ PRILOGA 1 |

# 7.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR
M 1:50

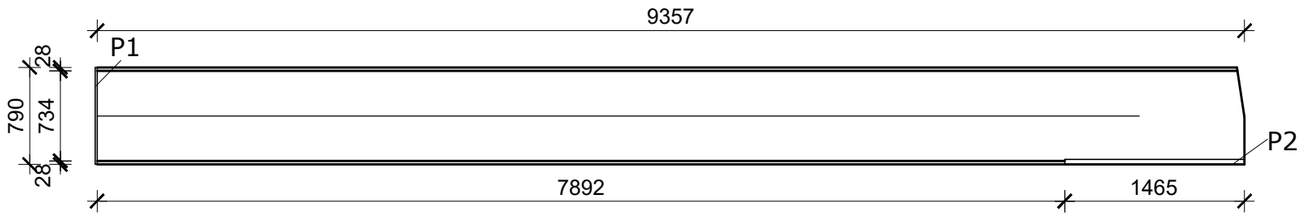


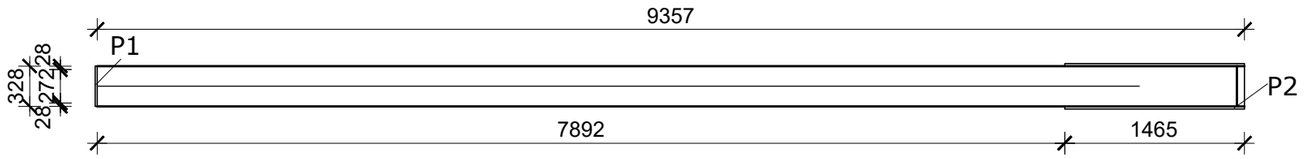

Napomena:
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235.

| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | TEMA | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT | Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ | Presjek kroz glavni okvir | MJERILO 1:50 |
| | DATUM | srpanj 2016. | BROJ PRILOGA 2 |

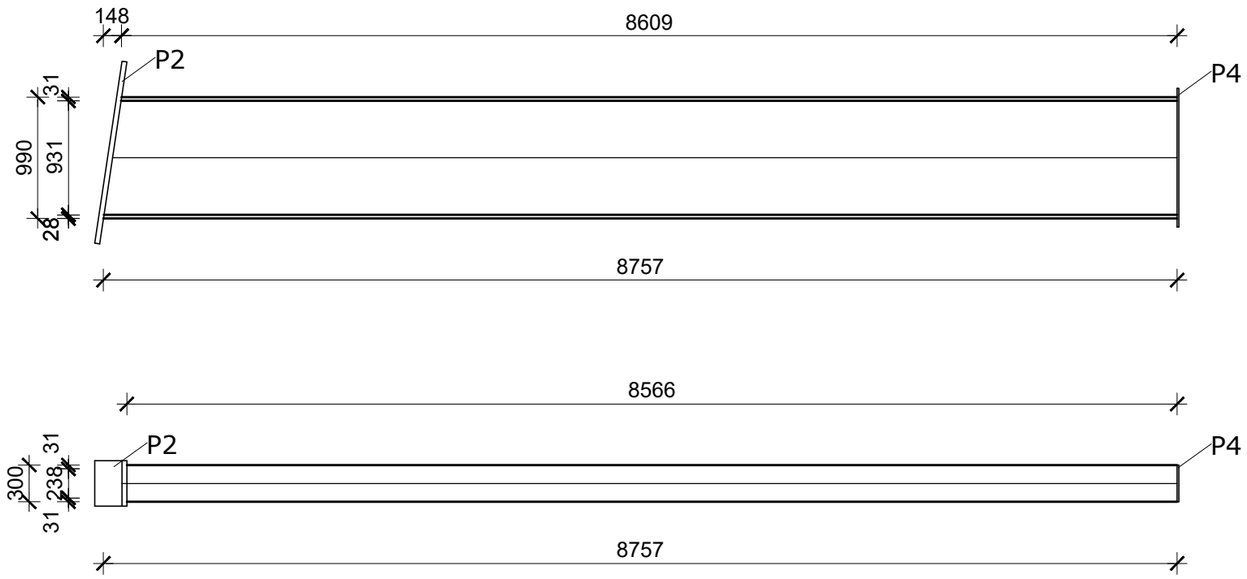
# 7.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
M 1:50

STUP (S) HEA 800, l=9357 mm, kom=22

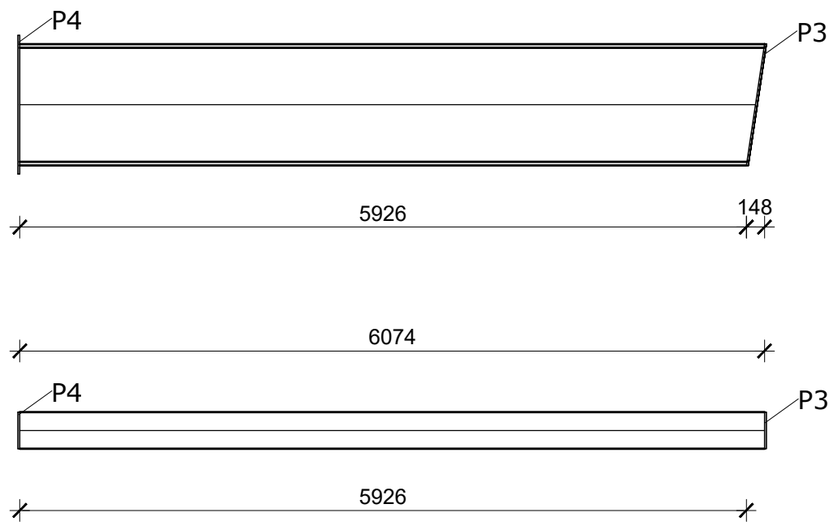



GREDA (G1) HEA 1000, l=8683 mm, kom=22




GREDA (G2) HEA 1000, l=6000 mm, kom=22

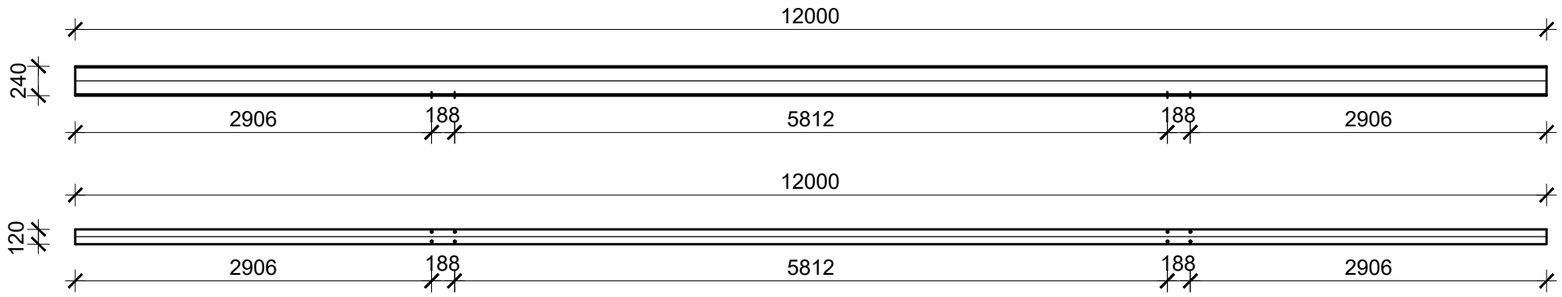



SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

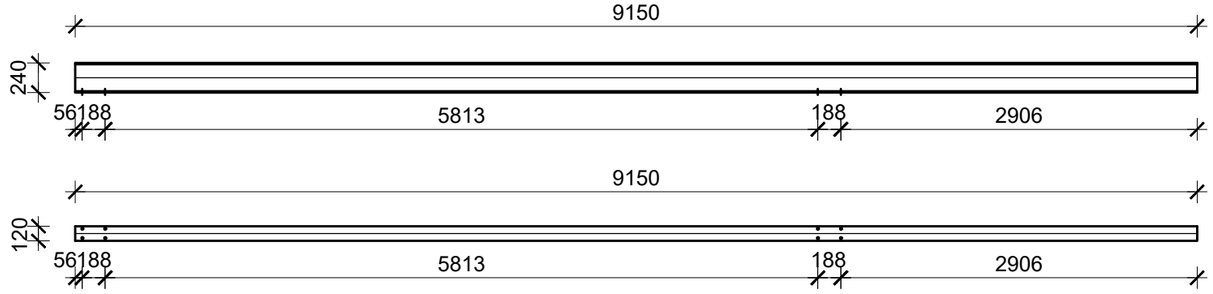
| | | | |
|---|---|---|---|
| Osnove metalnih konstrukcija | | | |
| TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | | |
| STUDENT | Tepić Ante, 4132 | | |
| SADRŽAJ | Glavni nosač | MJERILO | 1:50 |
| DATUM | srpanj 2016. | BROJ PRILOGA | 3 |

# 7.4 RADIONIČKI NACRT KROVNE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE
M 1:50

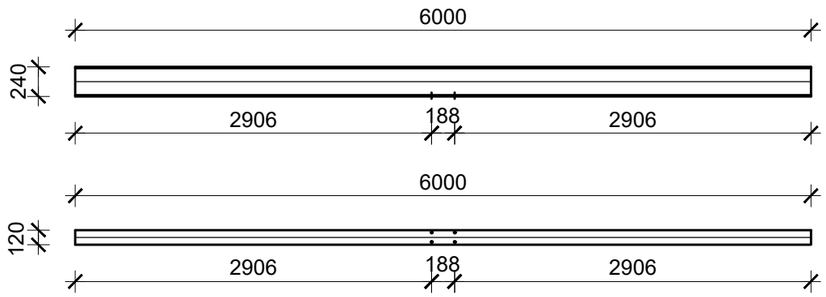
PODROŽNICA (PK1) I IPE 240, l=12000 mm, kom=28




PODROŽNICA (PK2) I IPE 240, l=9150 mm, kom=28




PODROŽNICA (PK3) I IPE 240, l=6000 mm, kom=42



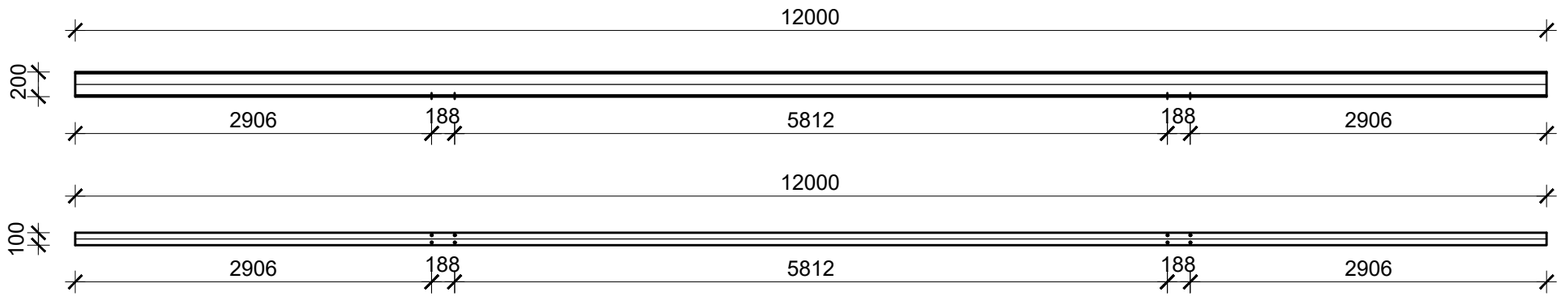

NAPOMENA:

Sve rupe su promjera 13 mm

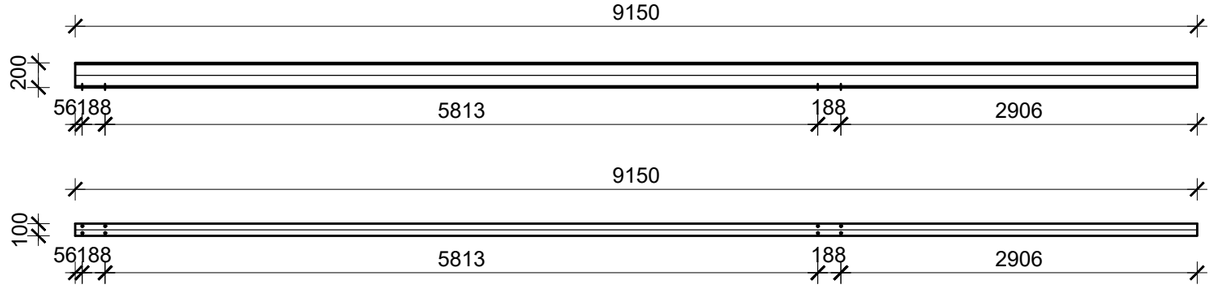
| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT: Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ: Krovna sekundarna konstrukcija | MJERILO: 1:50 |
| | DATUM: srpanj 2016. | BROJ PRILOGA: 4 |

# 7.5 RADIONIČKI NACRT BOČNE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE
M 1:50

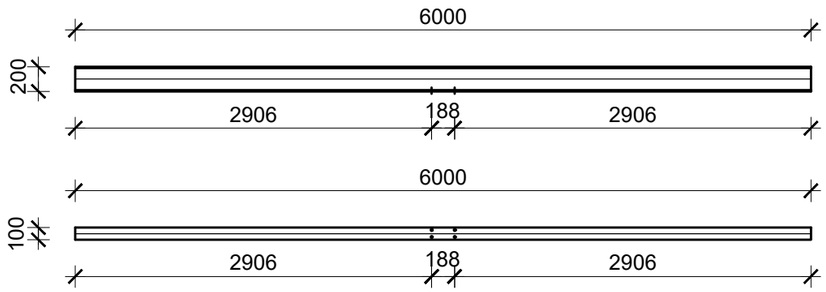
PODROŽNICA (PB1) I IPE 200, l=12000 mm, kom=20




PODROŽNICA (PB2) I IPE 200, l=9000 mm, kom=20




PODROŽNICA (PB3) I IPE 200, l=6000 mm, kom=30



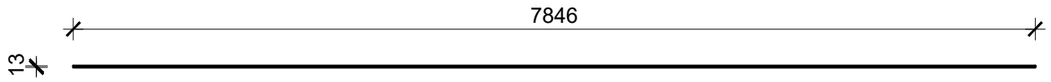

NAPOMENA:

Sve rupe su promjera 13 mm

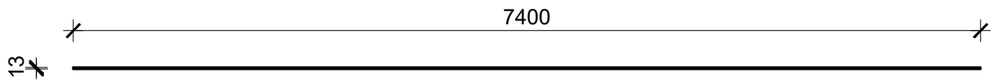
| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT: Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ: Bočna sekundarna konstrukcija | MJERILO: 1:50 |
| | DATUM: srpanj 2016. | BROJ PRILOGA: 5 |

# 7.6 RADIONIČKI NACRT SPREGOVA
M 1:50

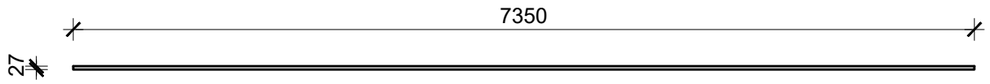
KROVNI SPREG (KS1) ○ Ø13, l=7846 mm, kom=16



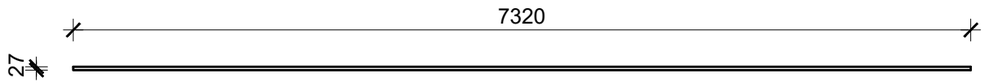

KROVNI SPREG (KS2) ○ Ø13, l=7400 mm, kom=8




BOČNI SPREG (BS1) ○ Ø27, l=7350 mm, kom=8



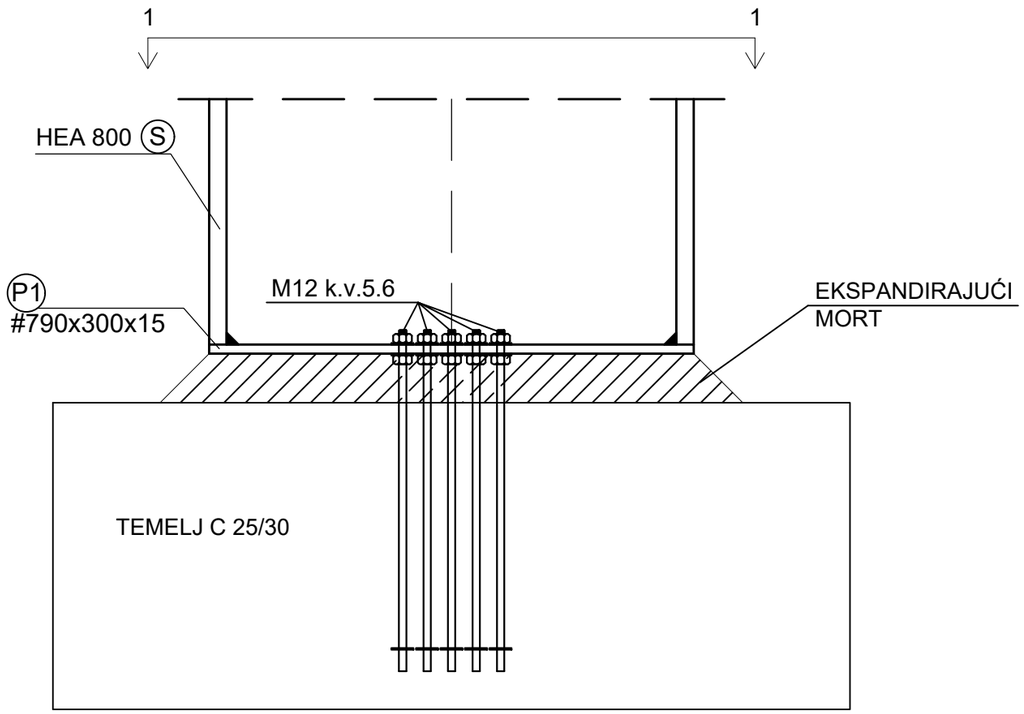

BOČNI SPREG (BS2) ○ Ø27, l=7320 mm, kom=8




| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT: Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ: Spregova | MJERILO: 1:50 |
| | DATUM: srpanj 2016. | BROJ PRILOGA: 6 |

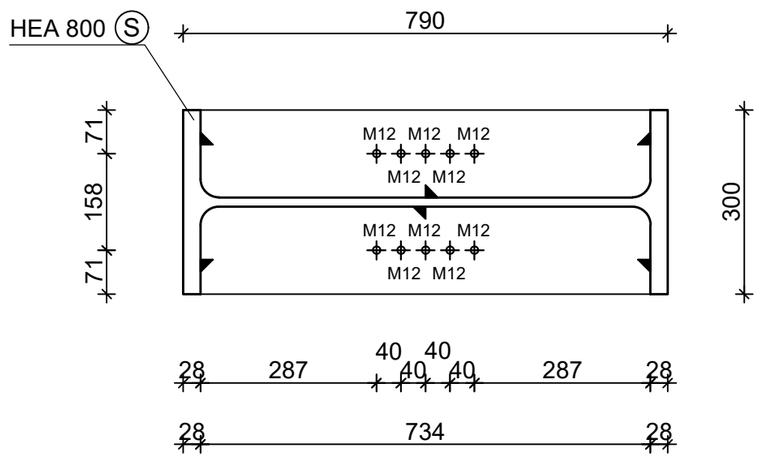
# 7.7 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ
M 1:10

## POGLED




Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235
Zavari spoja je debljine a= 3 mm

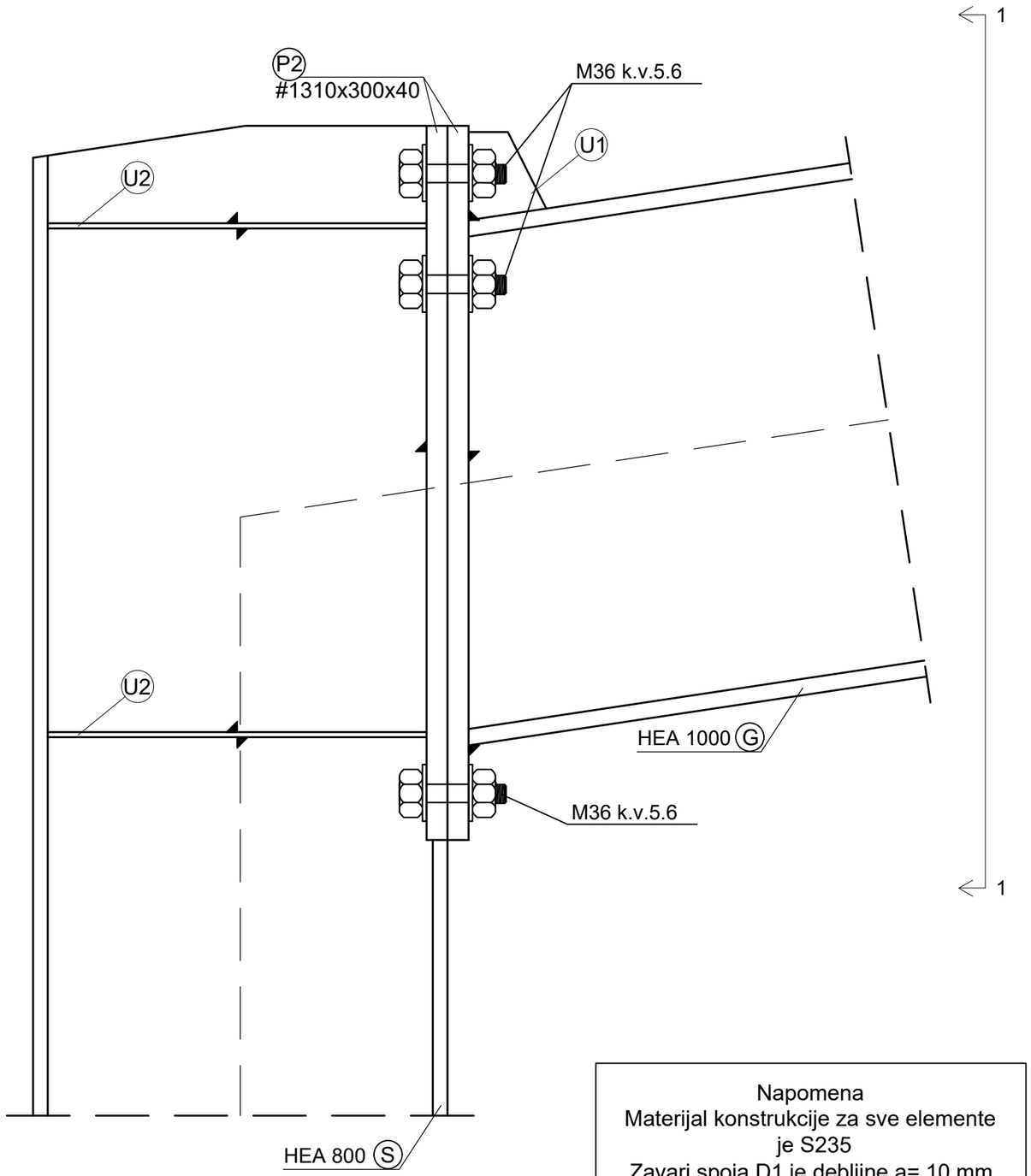
## PRESJEK 1-1



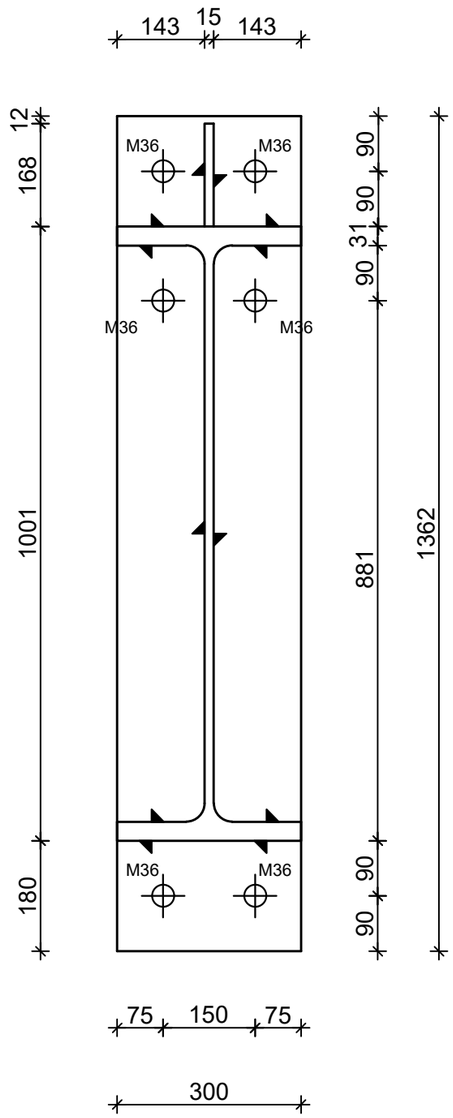

| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT: Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ: Detalj spoja stup-temelj | MJERILO: 1:10 |
| | DATUM: srpanj 2016. | BROJ PRILOGA: 7 |

# 7.8 DETALJ SPOJA STUP-GREDA
M 1:10

## POGLED




## PRESJEK 1-1



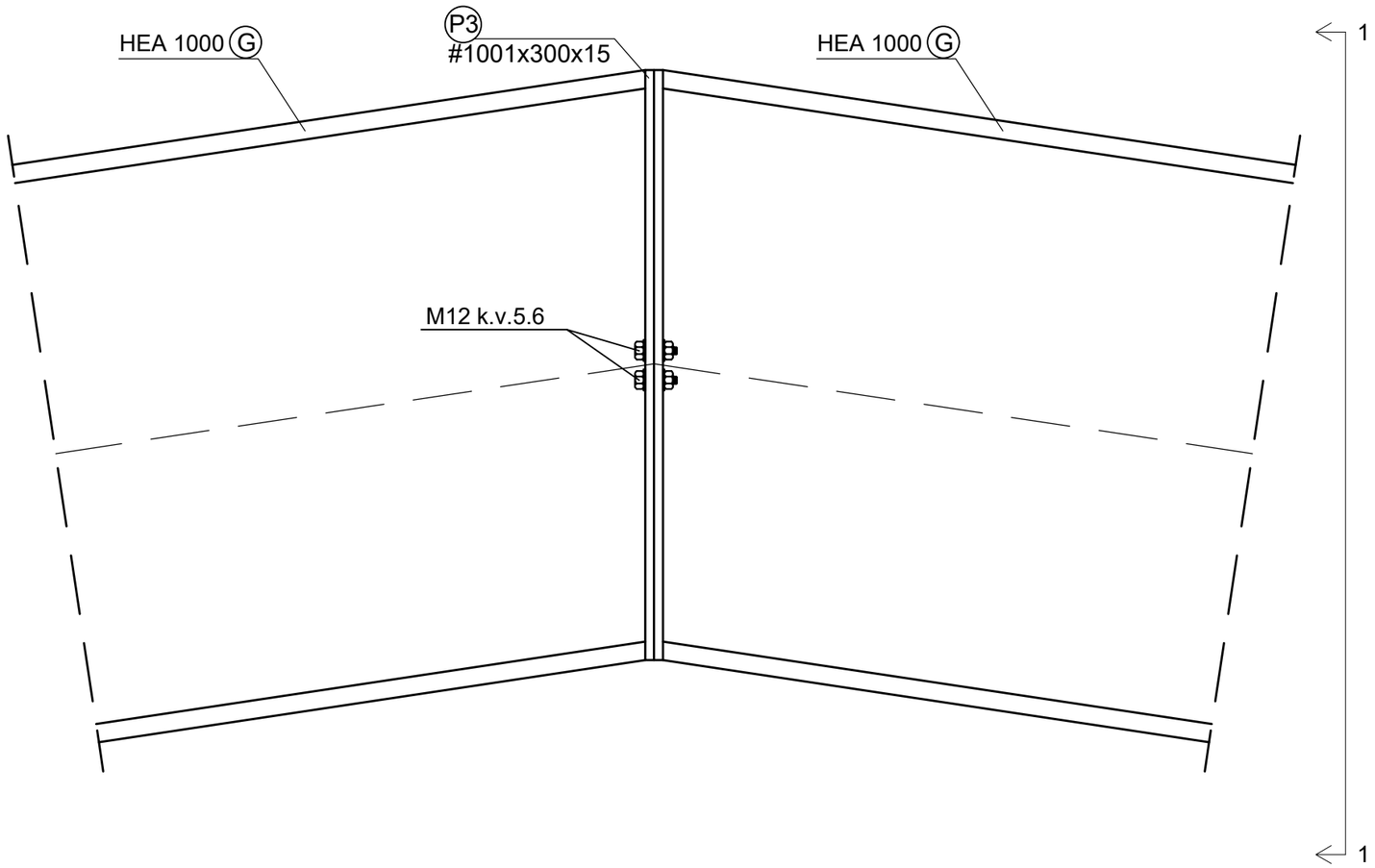

Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235
Zavari spoja D1 je debljine a= 10 mm

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

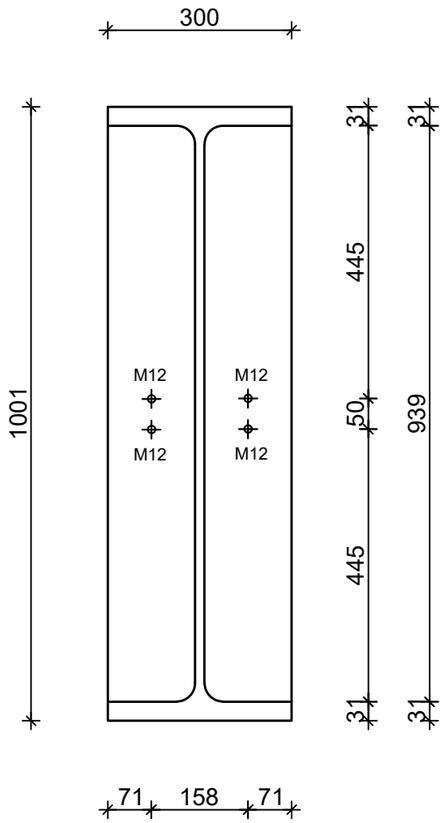
| | | | |
|---|---|---|---|
| Osnove metalnih konstrukcija | | | |
| TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | | |
| STUDENT | Tepić Ante, 4132 | | |
| SADRŽAJ | Detalj spoja stup-greda | MJERILO | 1:10 |
| DATUM | srpanj 2016. | BROJ PRILOGA | 8 |

# 7.9 DETALJ SPOJA GREDA-GREDA
M 1:10

POGLED




PRESJEK 1-1



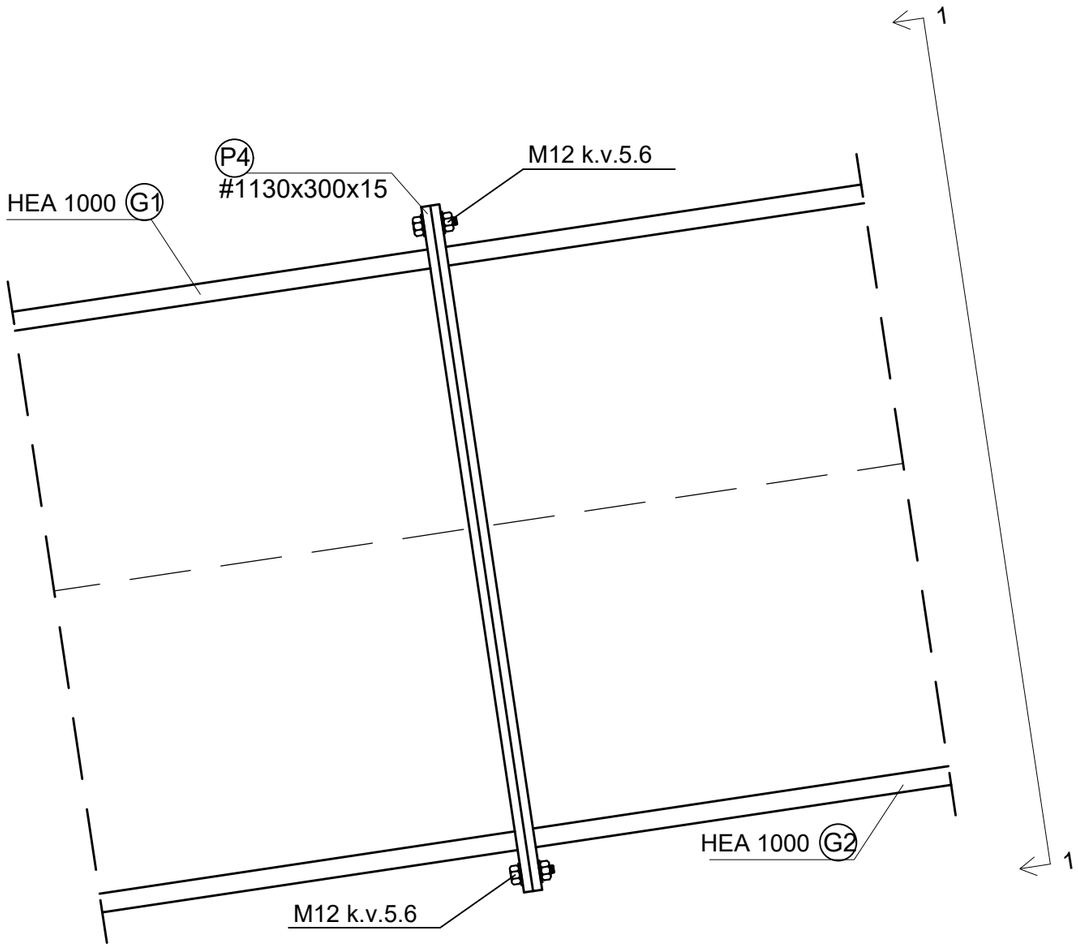

Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235
Zavari spoja D1 je debljine a= 10 mm

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

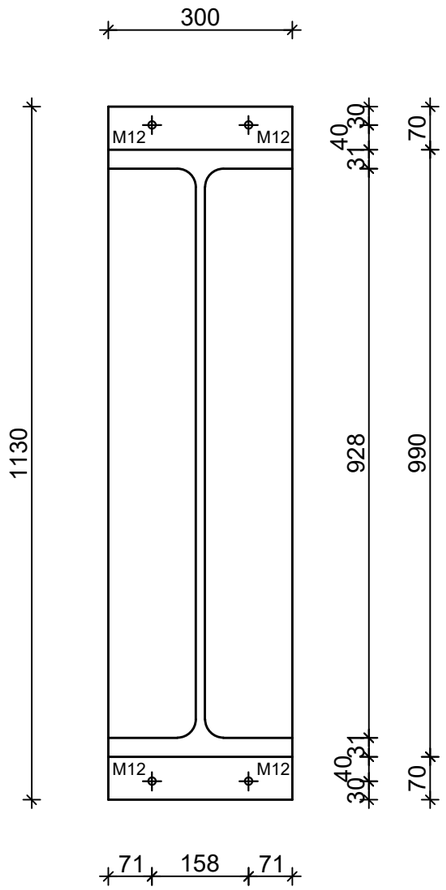
| | | |
|---|---|---|
| Osnove metalnih konstrukcija | | |
| TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| STUDENT | Tepić Ante, 4132 | |
| SADRŽAJ | Detalj spoja greda-greda | MJERILO 1:10 |
| DATUM | srpanj 2016. | BROJ PRILOGA 9 |

# 7.10 DETALJ SPOJA NASTAVKA GREDE
M 1:10

## POGLED




## PRESJEK 1-1

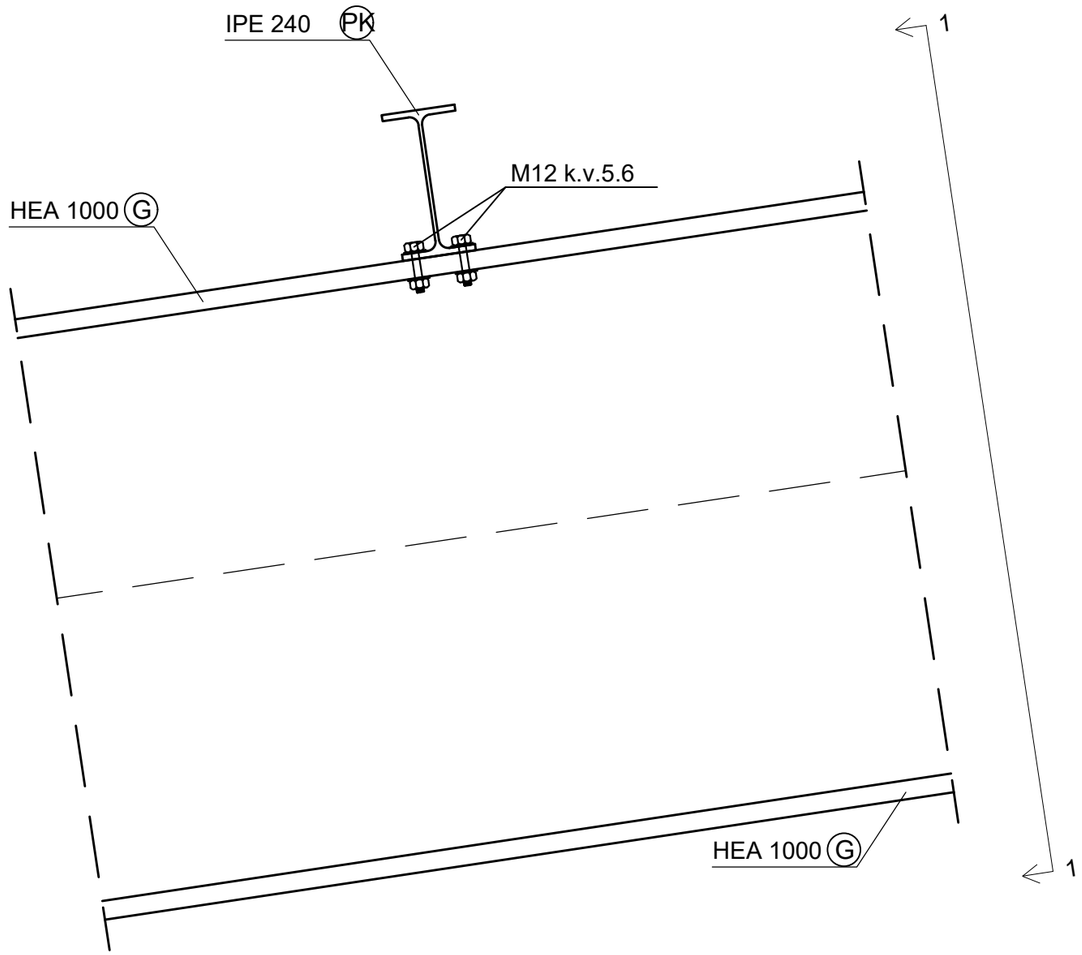



Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235
Zavari spoja D1 je debljine a= 10 mm

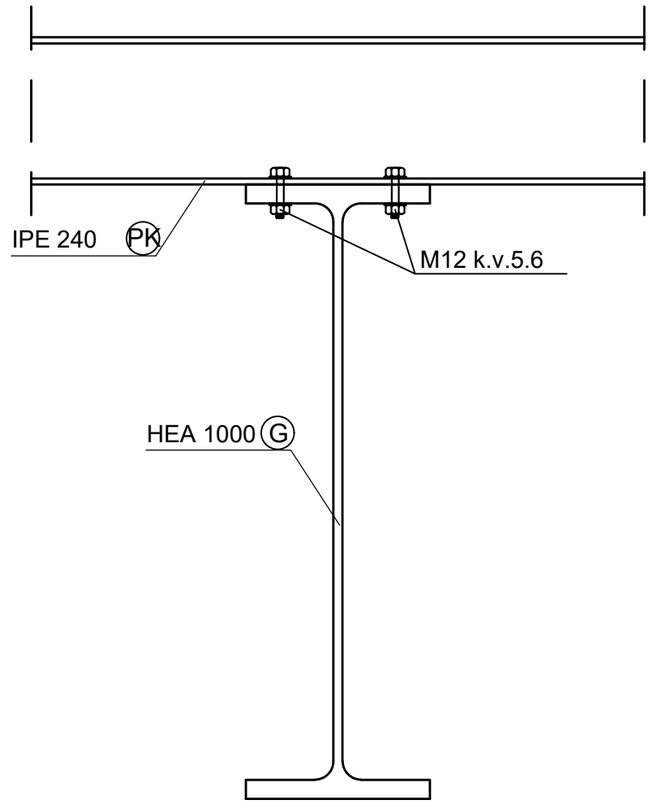
| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT: Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ: Detalj spoja nastavka grede | MJERILO: 1:10 |
| | DATUM: srpanj 2016. | BROJ PRILOGA: 10 |

# 7.11 DETALJ SPOJA GREDA-KROVNA PODROŽNICA
M 1:10

## POGLED




## PRESJEK 1-1



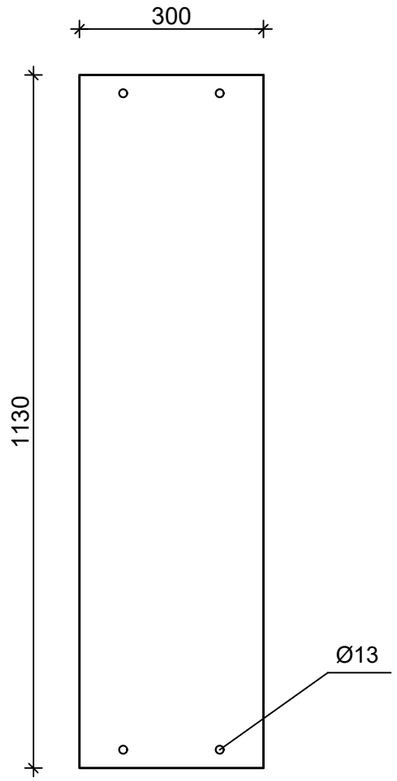

Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235
Zavari spoja D1 je debljine a= 10 mm

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

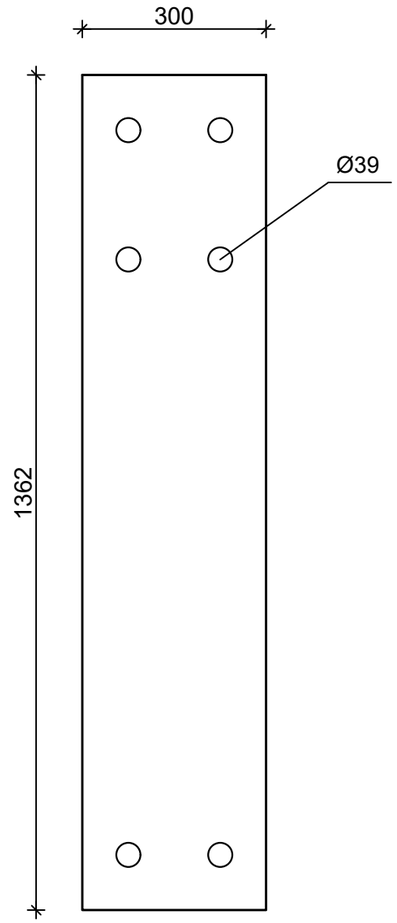
| | | | |
|---|---|---|---|
| Osnove metalnih konstrukcija | | | |
| TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | | |
| STUDENT | Tepić Ante, 4132 | | |
| SADRŽAJ | Detalj spoja greda-krovna podrožnica | MJERILO | 1:10 |
| DATUM | srpanj 2016. | BROJ PRILOGA | 11 |

# 7.12 PRIKAZ PLOČICA I UKRUTA
M 1:10

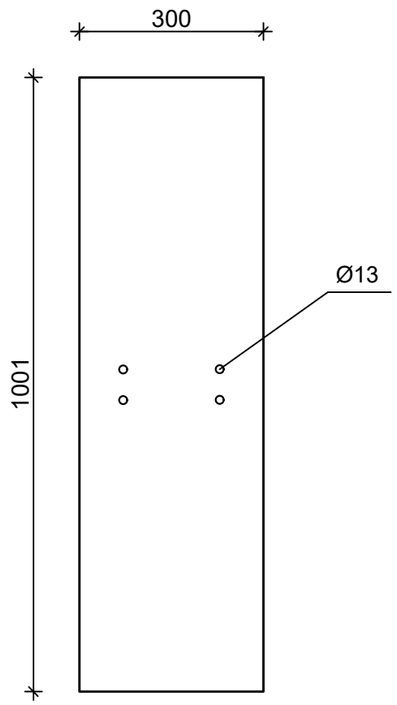
Pločica (P4); 1130X300/15, kom=44



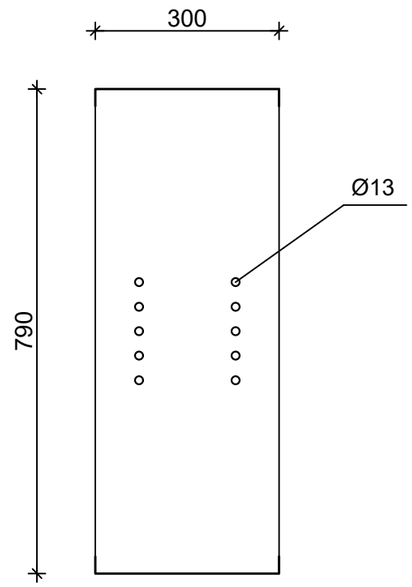

Pločica (P2); 1362X300/40, kom=44



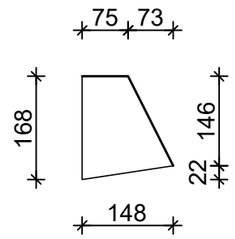

Pločica (P3); 1001X300/15, kom=44



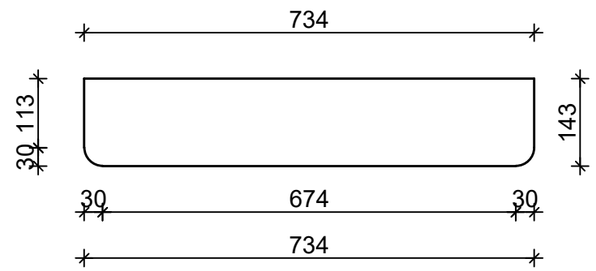

Pločica (P1); 790X300/15, kom=22




Ukruta (U1); t=15mm ,Kom=22




Ukruta (U2); t=10mm kom=88




| | | |
|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT: Tepić Ante, 4132 | |
| | SADRŽAJ: Pločice i ukrute | MJERILO: 1:10 |
| | DATUM: srpanj 2016. | BROJ PRILOGA: 12 |

# 8 PRORAČUN TEMELJA

**BETON**

C 25/30

$\gamma_b = 24\ kN/m^3$

**ARMATURA**

B 500/550

$f_{yk} = 500\ N/mm^2$

$\gamma_s = 1.15$

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434.8\ N/mm^2$

**TLO**

$f_{tla,dop} = 0.25\ MN/m^2$

**REZNE SILE**

$N = -246.86\ kN$

$V_z = 162.99\ kN$

**SILE**

$A = b_x \cdot b_y = 3.24\ m^2$

$$W_x = \frac{b_x \cdot b_y^2}{6} = 0.97\ m^2$$

$$W_y = \frac{b_y \cdot b_x^2}{6} = 0.97\ m^2$$

$N_{sd} = N - \gamma_b \cdot b_x \cdot b_y \cdot d = -293.52\ kN$

$M_{sd,x} = M_x + N \cdot c_y - V_y \cdot d = -97.79\ kNm$

$M_{sd,y} = M_y + N \cdot c_x = 0\ kNm$

$$e_x = \frac{M_{sd,y}}{N_{sd}} = 0\ cm$$

$$e_y = \frac{M_{sd,x}}{N_{sd}} = 33.32\ cm$$

**NAPREZANJA U TLU**

$\sigma_1 = 0.00\ MN/m^2$

$\sigma_2 = 0.00\ MN/m^2$

$\sigma_3 = 0.19179\ MN/m^2$

$\sigma_4 = 0.19179\ MN/m^2$

**ARMATURA**

$M_{1-1} = 40.49\ kNm$

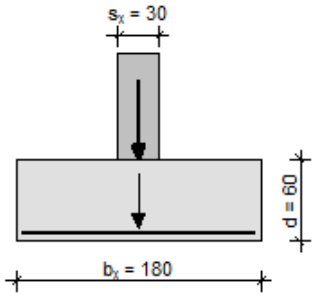
$M_{2-2} = 40.49\ kNm$

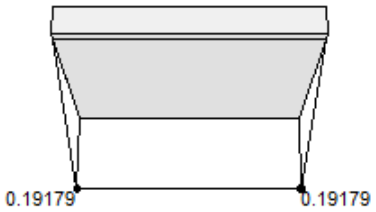
$M_{3-3} = 2.26\ kNm$

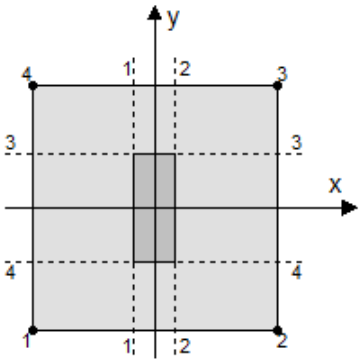
$M_{4-4} = 39.66\ kNm$

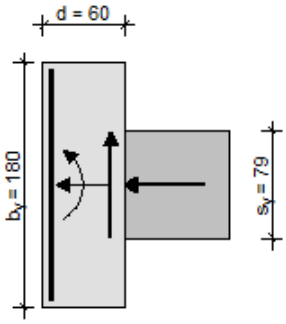
$$A_{sx} = \frac{M_{2-2}}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \mathbf{1.88}\ cm^2$$

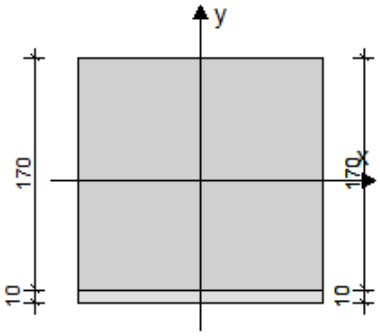
$$A_{sy} = \frac{M_{4-4}}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \mathbf{1.84}\ cm^2$$



# 9 PREDMJER MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

| Pozicija | Opis elementa | Dužina/dužina (mm) | Komada | Jedinična težina (kg/m) | Ukupna težina (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| Stup (S) | HEA 800 | 9357 | 22 | 224.51 | 46216.28 |
| Greda (G1) | HEA 1000 | 8683 | 22 | 248.845 | 47535.86 |
| Greda (G2) | HEA 1001 | 6000 | 22 | 248.845 | 32847.54 |
| Podrožnica (PK1) | IPE 240 | 12000 | 28 | 30.694 | 10313.18 |
| Podrožnica (PK2) | IPE 240 | 9150 | 28 | 30.694 | 7863.80 |
| Podrožnica (PK3) | IPE 240 | 6000 | 42 | 30.694 | 7734.89 |
| Podrožnica (PB1) | IPE 200 | 12000 | 20 | 22.373 | 5369.52 |
| Podrožnica (PB2) | IPE 200 | 9150 | 20 | 22.373 | 4094.26 |
| Podrožnica (PB3) | IPE 200 | 6000 | 30 | 22.373 | 4027.14 |
| Krovni spreg (KS1) | Ø 13 | 7846 | 16 | 1.042 | 130.81 |
| Krovni spreg (KS2) | Ø 13 | 7400 | 8 | 1.042 | 61.69 |
| Bočni spreg (BS1) | Ø 27 | 7350 | 8 | 4.495 | 264.31 |
| Bočni spreg (BS2) | Ø 27 | 7320 | 8 | 4.495 | 263.23 |
| Pločica (P1) | 790 X 300 | 15 | 22 | 27.9 | 613.80 |
| Pločica (P2) | 1362 X 300 | 40 | 44 | 128.3 | 5645.20 |
| Pločica (P3) | 1001 X 300 | 15 | 44 | 35.36 | 1555.84 |
| Pločica (P4) | 1130 X 300 | 15 | 44 | 39.32 | 1730.08 |
| Ukruta (U1) | 168 X 14 | 15 | 22 | 2.11 | 46.42 |
| Ukruta (U2) | 734 X 143 | 10 | 88 | 12.21 | 1074.48 |
| | | | | ∑ | 177388.33 |
| | | | | + 2.0% spojna sredstava | 3547.77 |
| | | | | UKUPNO (kg) | 180936.09 |
| | | | | UKUPNO (kg/m2) | 100.52 |

# 10 LITERATURA

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

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

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

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

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