

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Jukić, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:574805>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Marin Jukić

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI
STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Marin Jukić

BROJ INDEKSA: 4302

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 355

Objekt se nalazi na području Rijeke.

Razmak okvira: 5.8 (m)

U Splitu, 10.09.2018.

Voditelj Završnog rada: prof.dr.sc Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije. Objekt se nalazi na području Splita. Proračun se provodi na temelju krajnjeg graničnog stanja (KGS) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno: vlastita težina i promjenjivo: snijeg i vjetar. Rezultati unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia Engineer 2016“.

Ključne riječi:

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

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

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

Keywords:

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

SADRŽAJ

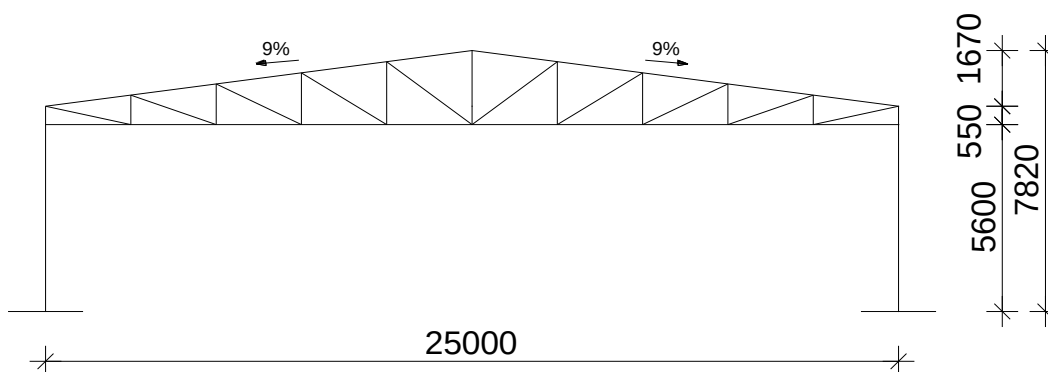
1. TEHNIČKI OPIS.....	1
1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI	2
1.2.2. STUPOVI.....	3
1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ.....	4
1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE	5
1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	6
2. ANALIZA OPTEREĆENJA	7
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	8
2.3. DJELOVANJE VJETRA.....	9
3. KONTROLA PROGIBA	17
3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB	18
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA.....	19
4.1.2. KOMBINACIJA $1.35(LC1+G) + 1.5W2$	20
4.1.3. KOMBINACIJA $1.00(LC1+G) + 1.5W1$	21
4.1.4. KOMBINACIJA $1.35(LC1+G) + 1.35(S+W2)$	22
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....	23
4.2.2. KROVNI	25
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI.....	26
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE	27
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE	32
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE	33
5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA	40
5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA	44
5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA	48
5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA	52
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....	56
5.2.2. ZABATNI STUPOVI.....	64
5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA	68

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA.....	75
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA	77
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE	83
6.3. SPOJ STUP-REŠETKA.....	86
7. PRORAČUN TEMELJA	91
8. LITERATURA	93
9. POPIS TABLICA I SLIKA.....	94
9.2. POPIS TABLICA	96
10. NACRTI	97

1. TEHNIČKI OPIS

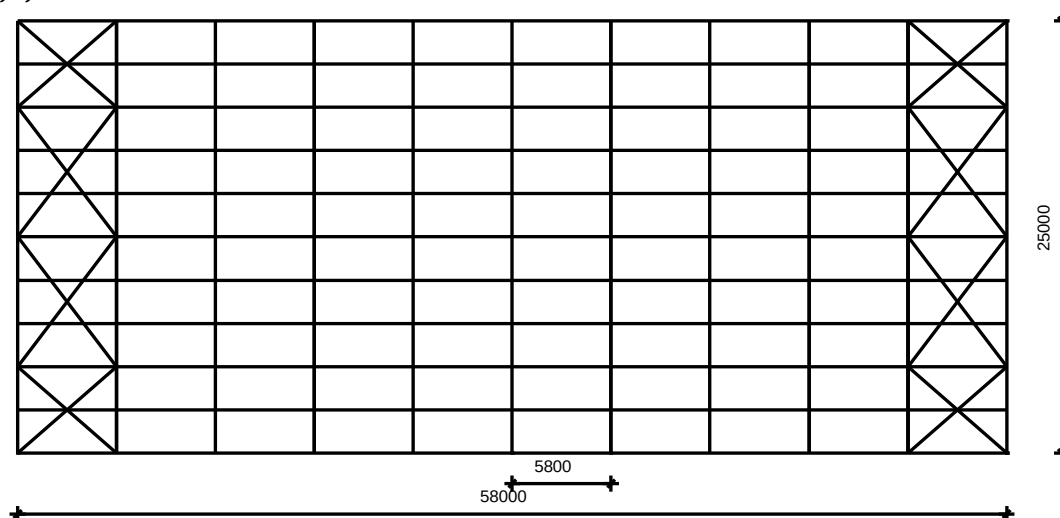
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimenzije su 25.0 x 58.0 m, a visina iznosi 7.82 m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 5.14^\circ$, što je ekvivalentno nagibu od 9%. Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1 Prikaz glavnog nisača

Glavni nosivi sustav zamišljen je kao sustav 11 ravninskih okvira raspona 25 m, stabilnih u svojoj ravni na međusobnom osnom razmaku od 5.8 m.



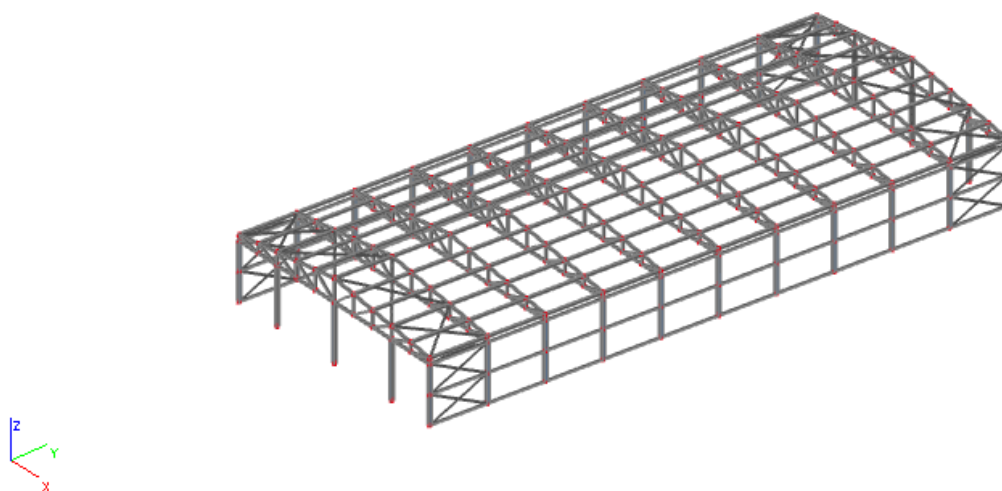
Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (krovne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.52 m, a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.8 m.

Stabilizacija hale u smjeru I u 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 zglobnim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je upetom vezom.



Slika 3 Prostorni prikaz konstrukcije

1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

1.2.1. GREDE (gornji i donji pojas)

Proračunom su odabrani (zadovoljavaju GSN i GSU) kvadratni šuplji hladno oblikovani profili CFRHS 180x180x6.0.

Gornji pojas je ukupne dužine (do sljemena) 12 550 mm, a donji pojas je ukupne dužine 25 000mm. Spojevi su pozicionirani na mjestima najvećih vlačnih sila.

1.2.2. STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi I profila, tipa HEA 320 ukupne dužine 5600 mm. Zabatni stupovi su I profila, tipa HEA 200 na razmacima 2.5 m i 7.5 m. Odabrani profil stupa zadovoljava pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja, točnije pomaci stupa su manji od dopuštenih pomaka.

1.2.3. ISPUNA REŠETKE (Vertikale i dijagonale)

Proračunom je odabrane (zadovoljavaju GSN i GSU) i za vertikale i za dijagonale šuplji hladno oblikovani profil CFRHS 180x100x4. Kako dijagonale tako i vertikale su izrađene u jednom komadu. Spoj sa gornjim odnosno donjim pojasom ostvaren je zavarom.

1.2.4. SEKUNDARNI NOSAČI

Sekundarni krovni nosači (krovne podrožnice) prenose opterećenje sa krovne plohe na glavni nosač sustav. Krovne podrožnice su I profili, tipa IPE 2200. Projektirane su kao proste grede (od nosača do nosača) dužine su 5800mm, nalaze su u dvoosnom stanju naprezanja.

Sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) prenose opterećenje sa zidova konstrukcije, ali ne i težinu fasadne obloge zbog toga što je ona upeta u tlo te „nosi samu sebe“.

Bočna podrožnica projektirana je kao prosta greda (od stupa do stupa) ukupne dužine 5800mm.

1.2.5. SPREGOVI

U konstrukciji su korišteni horizontalni (krovni) i vertikalni (bočni) spregovi za prostornu stabilizaciju objekta. Služe za prijenos horizontalnih (vjetrovanih) sila preko konstrukcije na temelje objekta. Polja za vertikalni i horizontalno ukrućenje smješteni su u prvom i posljednjem polju konstrukcije. Za spregove koristimo okrugli puni presjek, za krovne spregove profil RD 13, a za bočne spregove profil RD 15.

1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ

Spoje se ostvaruje podložnom pločicom dimenzije 540/340/35 mm navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M22 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano betonski temelj dimenzija 2.0x2.0x1.5m. Između armirano betonskog temelja i podložne pločice podlijeva se ekspandirajući mort.

1.2.7. SPOJ STUP-REŠETKA

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzije 470x340x10 mm, ukrutom i vijcima M16 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez.

1.2.8. NASTAVAK REŠETKE

Vlačni nastavak rešetke se ostvaruje čeonom pločom dimenzija 320x320x20 mm i vijcima M22 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.

1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na konstrukciju. Uzimamo u obzir stalna i promjenjiva opterećenja.

STALNA OPTEREĆENJA: - vlastita težine konstrukcije

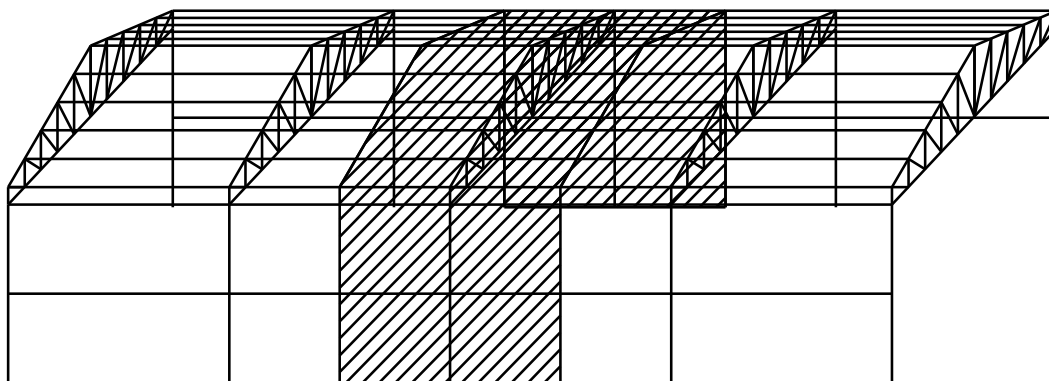
-instalacije

-pokrov

PROMJENJIVA OPTEREĆENJA: - snijeg

- vijetar (tlačno i podtlačno djelovanje)

Analiza je provedena na jednoj reprezentativnoj ravninskoj rešetki (rešetka koja preuzima najveći dio opterećenja).



Slika 4 Princip preuzimanja opterećenja

Proračun konstrukcije izvršen je u inženjerskom programu „SCIA Engineer 2018.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao proste grede obostrano zgloбно pridržane.

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

1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni rešetkasti okvir, sekundarne konstrukcije, stupovi, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika (standardne kvalitete) S355.

Računske vrijednosti koeficijenta čelika su:

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

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

$$\nu=0.3$$

$$f_y=355\text{ N/mm}^2\text{ za } t\leq 40\text{mm}$$

$$f_y=335\text{ N/mm}^2\text{ za } 40\text{mm}\leq t\leq 80\text{mm}$$

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s armaturnim čelikom B500B.

1.5. PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije 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

1.6. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama

„Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije“.

Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom.

Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 μm .

1.7. ZAŠTITA OD POŽARA

U svrhu produljenja zagrijavanja konstruktivnih elemenata predmete hale, svi tavi elementi moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature.

Također je potrebno opremiti objekt za slučaj nastanka požara uređajima za najavu požara kao i opremom za njegovo gašenje.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (REŠETKASTI NOSAČ)

STALNO OPTEREĆENJE

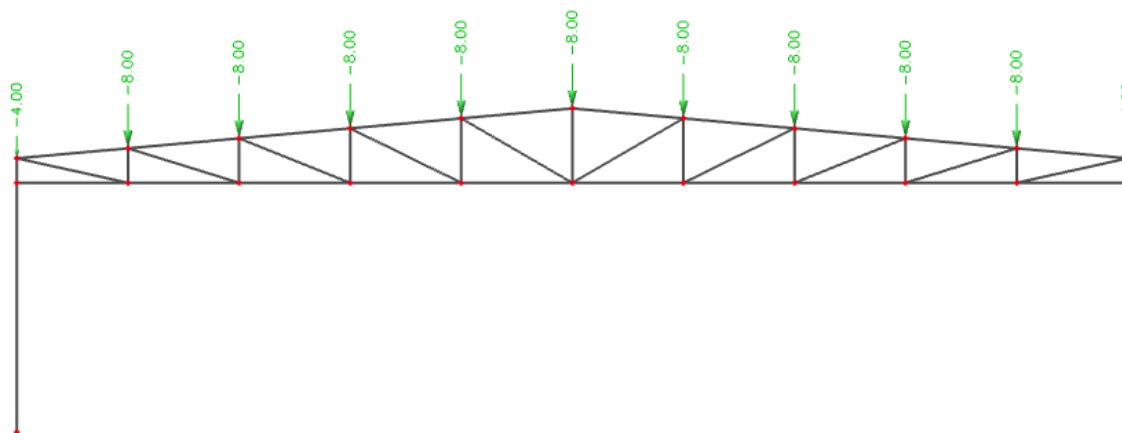
-sendvič paneli (aluminij)	0.25 kN/m ²
-sekundarna konstrukcija i spregovi	0.20 kN/m ²
-instalacije	0.10 kN/m ²

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

$$G = a \cdot l \cdot g \quad a = \frac{2.5}{\cos(5.14)} = 2.51$$

$$G = 2.51 \cdot 5.8 \cdot 0.55 = 8.00\text{kN}$$

$$\frac{G}{2} = 4.00\text{kN}$$



Slika 5 Djelovanje stalnog opterećenja na glavni nosač

2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

DJELOVANJE SNIJEGA

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

μ_i - koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ovisi o obliku i nagibu krova, te o nadmorskoj visini, očitano iz dijagrama)

s_k - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m^2

C_e -koeficijent izloženosti (usvojena vrijednost 1.0)

C_t -toplinski koeficijent (usvojena vrijednost 1.0)

$\alpha=5.14^\circ \rightarrow \mu_i=0.8$

Lokacija objekta: Rijeka (područje Primorja i Istre)

Nadmorska visina: 0-100 m n.m.

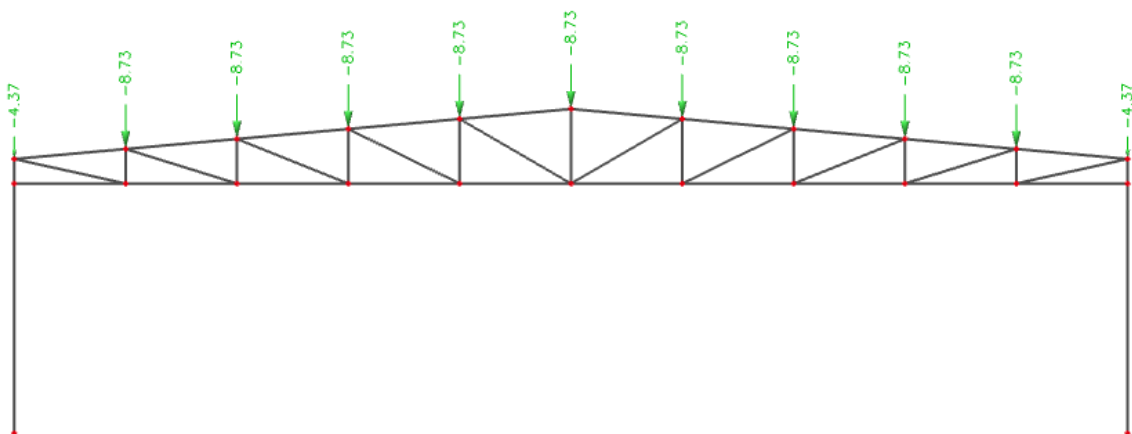
Opterećenje snijegom na tlo: $s_k=0.75\text{kN/m}^2$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.75 = 0.6\text{kN/m}^2$$

$$S = 0.6 \cdot 5.8 \cdot 2.51 = 8.735\text{kN}$$

$$\frac{S}{2} = \frac{8.735}{2} = 4.367\text{kN}$$



Slika 6 Opterećenje glavnog nosača snijegom

2.3. DJELOVANJE VJETRA

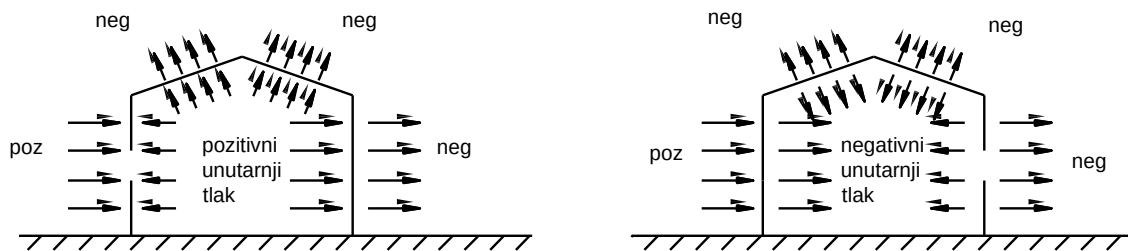
-Pritisak vjetra na vanjske površine $w_e = q_p \cdot |z_e| \cdot C_{pe}$ [kN/m²]

-Pritisak vjetra na unutarnje površine $w_i = q_p \cdot |z_i| \cdot C_{pi}$ [kN/m²]

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

$z_{e(i)}$ - referentna visina za vanjski (unutarnji) pritisak

C_{pe} - koeficijent pritiska za vanjski udar



Slika 7 Smjer pozitivnog i negativnog djelovanja vjetra

C_{pi} - koeficijent pritiska za unutarnji udar

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 [\text{kN/m}^2]$$

ρ - gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa 1.25 kg/m³)

v_b - osnovna brzina vjetra

Osnovna brzina vjetra se računa prema izrazu: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,o}$

$v_{b,o}$ - fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra (očitava se iz karte)

c_{dir} - faktor smjera vjetra (usvojena vrijednost 1.0)

c_{season} - faktor doba godine (usvojena vrijednost 1.0)

$v_{b,o}$ - 30 m/s (za područje Rijeke očitano iz karte)

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 30 = 30 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 30^2 = 0.563 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje faktora izloženosti:

Visina objekta $h=7,27\text{m}$

Kategorija zemljišta II

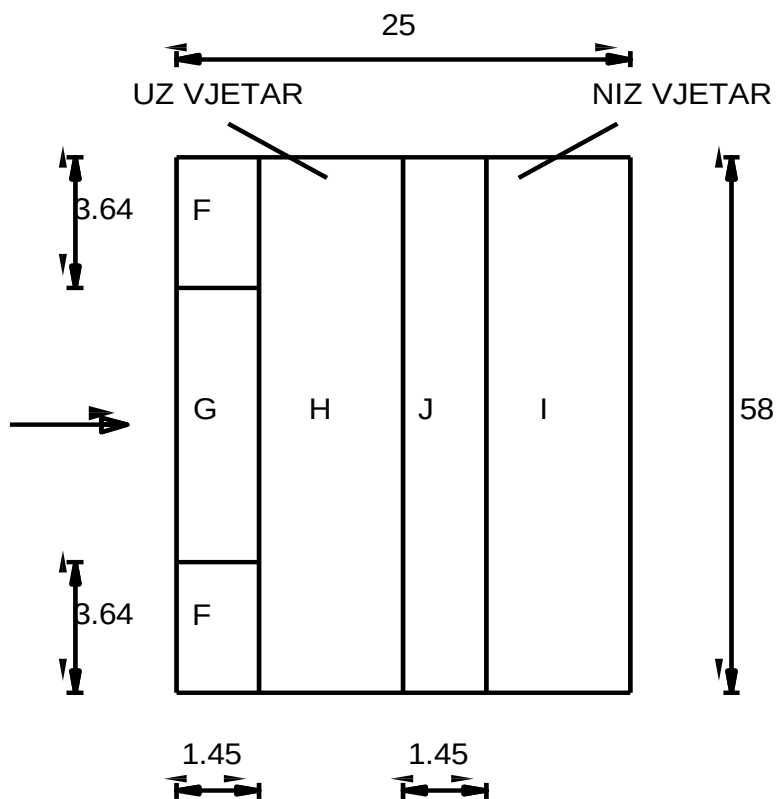
$C_{e(z)}=2.05$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = q_b \cdot C_{e(z)} = 0.563 \cdot 2.05 = 1.153 \text{ kN/m}^2$$

ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KOSOG KROVA $\theta=0$

$$e = \min(b, 2h) \rightarrow (58, 14.54) \rightarrow e = 14.54$$



Slika 8 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove

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

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

Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

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

Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

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

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

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

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

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

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

$$q_p = 1.153 \text{ kN/m}^2$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 5.8 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak

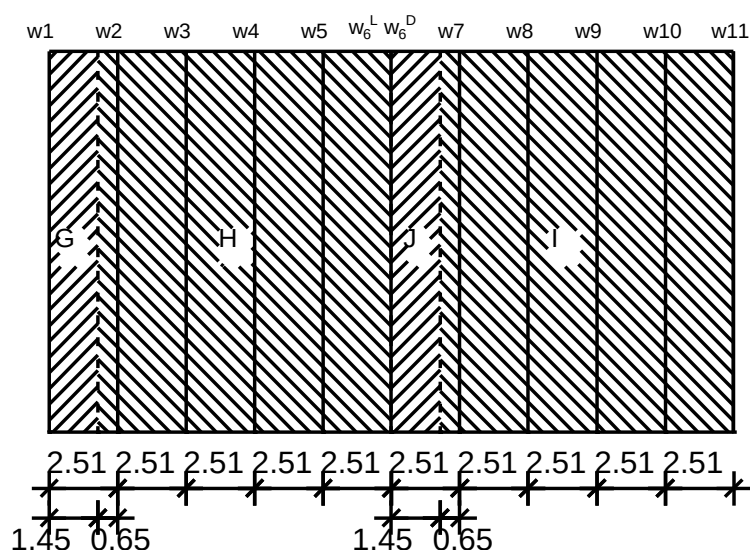
PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe}''+C_{pi}$	-1.9	-1.4	-0.8	-0.8	0
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-2.19	-1.61	-0.92	-0.92	0
$W_k [\text{kN/m}']$	-12.70	-9.34	-5.34	-5.34	0

Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.3	-0.3	-0.3	+0.3	+0.3
$w_k [kN/m^2]$	-0.346	-0.346	-0.346	+0.346	+0.346
$W_k [kN/m]$	-2.01	-2.01	-2.01	+2.01	+2.01

Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak



Slika 9 Tlocrtni prikaz polja u odnosu na konstrukciju

W1 (pozitivni unutarnji pritisak)		W2 (negativni unutarnji pritisak)	
W_1	$= -9.34 \cdot 2.51 / 2 = -11.72 \text{ kN}$	W_1	$= -2.01 \cdot 2.51 / 2 = -2.52 \text{ kN}$
W_2	$= (-5.34 \cdot 2.51 / 2) + (-5.34 \cdot 0.65) + (-9.34 \cdot 0.61) = -15.87 \text{ kN}$	W_2	$= -2.01 \cdot 2.51 = -5.04 \text{ kN}$
W_3	$= -5.34 \cdot 2.51 = -13.40 \text{ kN}$	W_3	$= -2.01 \cdot 2.51 = -5.04 \text{ kN}$
W_4	$= -5.34 \cdot 2.51 = -13.40 \text{ kN}$	W_4	$= -2.01 \cdot 2.51 = -5.04 \text{ kN}$
W_5	$= -5.34 \cdot 2.51 = -13.40 \text{ kN}$	W_5	$= -2.01 \cdot 2.51 = -5.04 \text{ kN}$
W_6^L	$= -5.34 \cdot 2.51 / 2 = -6.70 \text{ kN}$	W_6^L	$= -2.01 \cdot 2.51 / 2 = -2.52 \text{ kN}$
W_6^D	$= 0$	W_6^D	$= 2.01 \cdot 2.51 / 2 = 2.52 \text{ kN}$
W_7	$= (-5.34 \cdot 0.65) + (2.51 / 2 \cdot 5.34) = -10.17 \text{ kN}$	W_7	$= 2.01 \cdot 2.51 = 5.04 \text{ kN}$
W_8	$= -5.34 \cdot 2.51 = -13.40 \text{ kN}$	W_8	$= 2.01 \cdot 2.51 = 5.04 \text{ kN}$
W_9	$= -5.34 \cdot 2.51 = -13.40 \text{ kN}$	W_9	$= 2.01 \cdot 2.51 = 5.04 \text{ kN}$
W_{10}	$= -5.34 \cdot 2.51 = -13.40 \text{ kN}$	W_{10}	$= 2.01 \cdot 2.51 = 5.04 \text{ kN}$
W_{11}	$= -5.34 \cdot 2.51 / 2 = -6.70 \text{ kN}$	W_{11}	$= 2.01 \cdot 2.51 / 2 = 2.52 \text{ kN}$

Tablica 7 Ukupno rezultirajuće djelovanje po čvorovima

ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE

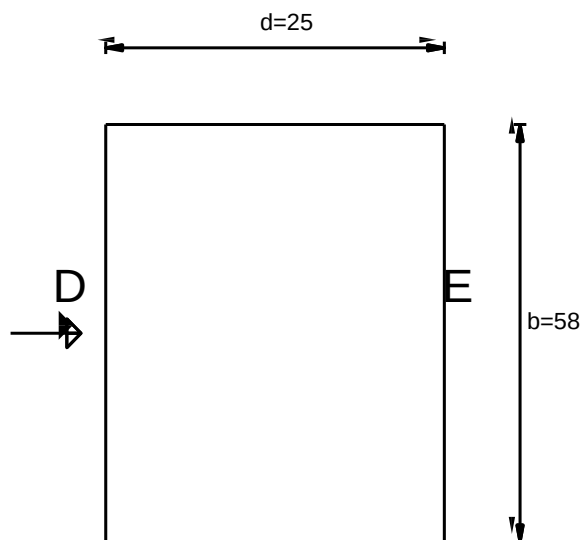
$$e = \min(b, 2h) \rightarrow \min(58, 14.54)$$

$$e = 14.54 \text{ m}$$

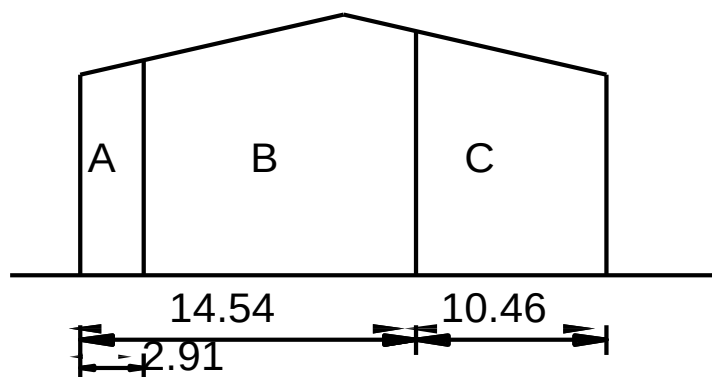
$$h = 7.27 \text{ m}$$

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

$$\frac{h}{d} = \frac{7.27}{25} = 0.291$$



Slika 10 Definiranje područja za vertikalne zidove



Slika 11 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove- bočni pogled

Koeficijenti vanjskog pritiska na haluza vertikalne zidove $h/d=0.291$

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

Tablica 8 Vrijednosti vanjskih koeficijenata pritiska prema područjima konstrukcije

Određivanje koeficijenta unutarnjeg pritiska

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

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

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

Tablica 9 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi} = +0.2$)

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.9	-0.6	-0.3	+1.1	-0.2

Tablica 10 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi} = -0.3$)

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

$$q_p = 1.153 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{preuzeto iz analize opterećenja glavnog nosača}$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}] \rightarrow L = 5.8 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

Vjetar W1, pozitivni unutarnji pritisak

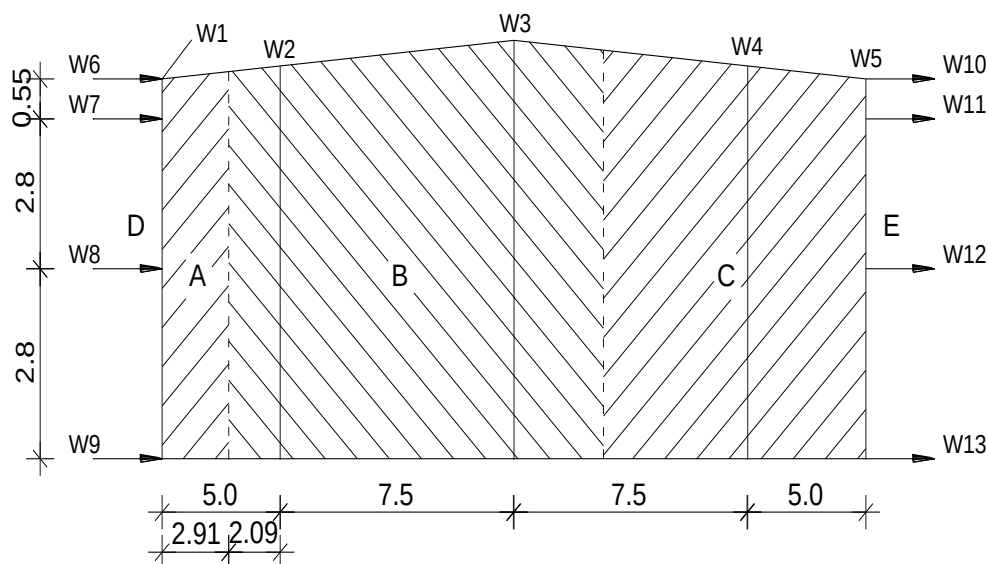
PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.4	-1.0	-0.7	+0.6	-0.7
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-1.61	-1.153	-0.81	+0.69	-0.81
$W_k [\text{kN/m}]$	-4.67	-13.41	-8.47	+4.00	-4.7

Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2, negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.9	-0.6	-0.3	+1.1	-0.2
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-1.04	-0.7	-0.35	+1.27	-0.23
$W_k [\text{kN/m}]$	-3.03	-8.14	-3.66	+7.37	-1.33

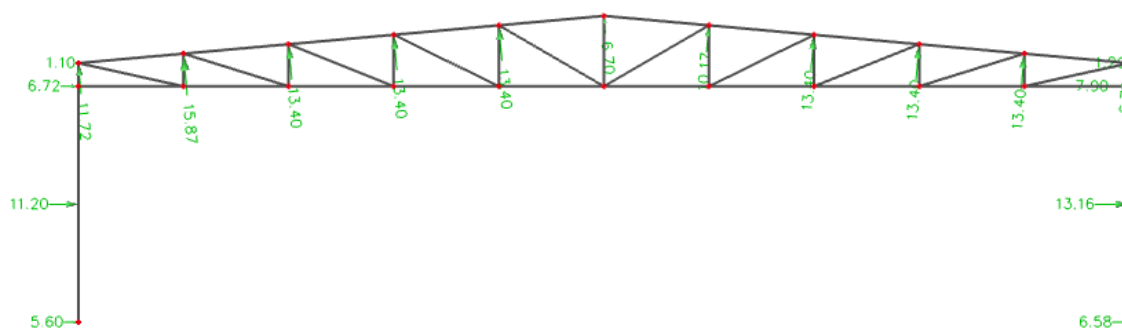
Tablica 12 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak



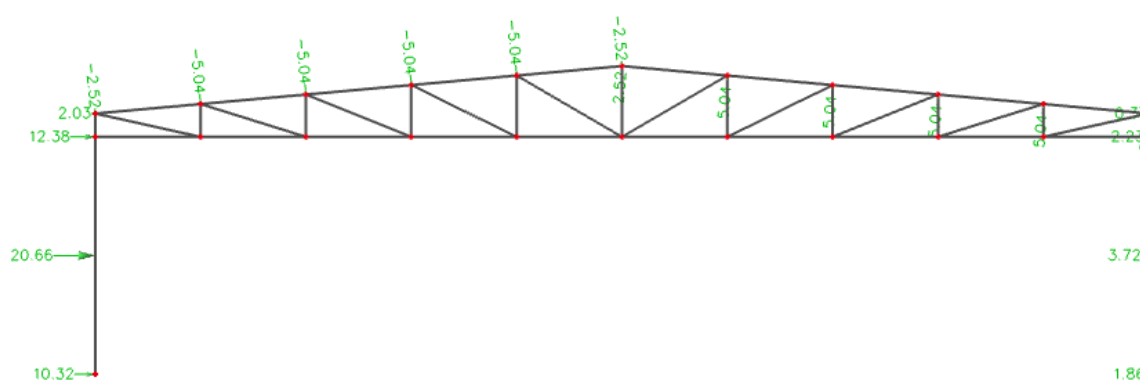
Slika 12 Prikaz polja u odnosu na konstrukciju

W1 (pozitivni unutarnji pritisak)		W2 (negativni unutarnji pritisak)	
W1	$= -1.61 \cdot 2.5 = -4.03 \text{ kN/m'}$	W1	$= -1.04 \cdot 2.5 = -2.6 \text{ kN/m'}$
W2	$= (-1.153 \cdot 2.09) + (-1.61 \cdot 0.41) + (-1.153 \cdot 3.75) = -7.39 \text{ kN/m'}$	W2	$= (-0.7 \cdot 2.09) + (-1.04 \cdot 0.41) + (-0.7 \cdot 3.75) = -4.51 \text{ kN/m'}$
W3	$= (-1.0 \cdot 3.75) + (-1.0 \cdot 2.04) + (-0.81 \cdot 1.71) = -7.18 \text{ kN/m'}$	W3	$= (-0.7 \cdot 3.75) + (-0.7 \cdot 2.04) + (-0.35 \cdot 1.71) = -4.65 \text{ kN/m'}$
W4	$= -0.81 \cdot 6.25 = -5.06 \text{ kN/m'}$	W4	$= -0.35 \cdot 6.25 = -1.88 \text{ kN/m'}$
W5	$= -0.81 \cdot 2.5 = -2.03 \text{ kN/m'}$	W5	$= -0.35 \cdot 2.5 = -0.88 \text{ kN/m'}$
W6	$= 4.00 \cdot 0.55 / 2 = 1.1 \text{ kN}$	W6	$= 7.37 \cdot 0.55 / 2 = 2.03 \text{ kN}$
W7	$= 4.00 \cdot 1.68 = 6.72 \text{ kN}$	W7	$= 7.37 \cdot 1.68 = 12.38 \text{ kN}$
W8	$= 4.00 \cdot 2.8 = 11.2 \text{ kN}$	W8	$= 7.37 \cdot 2.8 = 20.66 \text{ kN}$
W9	$= 4.00 \cdot 1.4 = 5.6 \text{ kN}$	W9	$= 7.37 \cdot 1.4 = 10.32 \text{ kN}$
W10	$= -4.7 \cdot 0.55 / 2 = -1.29 \text{ kN}$	W10	$= -1.33 \cdot 0.55 / 2 = -0.37 \text{ kN}$
W11	$= -4.7 \cdot 1.68 = -7.9 \text{ kN}$	W11	$= -1.33 \cdot 1.68 = -2.23 \text{ kN}$
W12	$= -4.7 \cdot 2.8 = -13.16 \text{ kN}$	W12	$= -1.33 \cdot 2.8 = -3.72 \text{ kN}$
W13	$= -4.7 \cdot 1.4 = -6.58 \text{ kN}$	W13	$= -1.33 \cdot 1.4 = -1.86 \text{ kN}$

Tablica 13 Ukupno rezultirajuće djelovanje vjetra po čvorovima



Slika 13 Opterećenje vjetra W1 u čvorovima rešetke



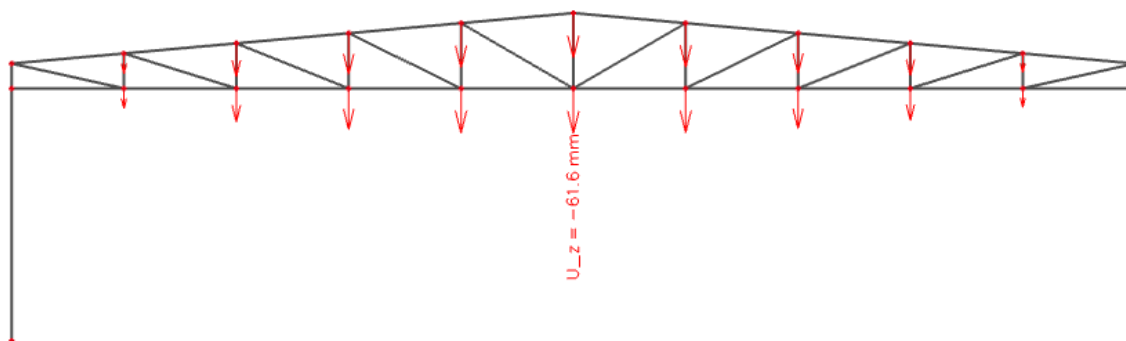
Slika 14 Opterećenje vjetra W2 u čvorovima rešetke

3. KONTROLA PROGIBA

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

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



Slika 15 Vertikalni progib glavnog nosača

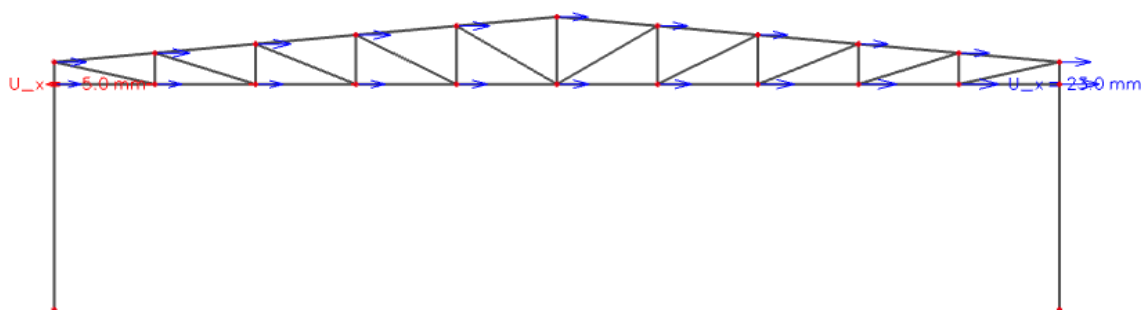
Dopušteni progib: $\frac{L}{300} = \frac{25\,000}{300} = 83.33\text{mm}$

$$\frac{61.6}{83.33} = 0.74 \rightarrow 74\%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti do 74%.

3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB

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



Slika 16 Horizontalni progib glavnog nosača

Dopušteni progib: $\frac{H}{300} = \frac{7820}{300} = 26.06\text{mm}$

$$\frac{23.0}{26.06} = 0.88 \rightarrow 88\%$$

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

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

- gornji pojas CFRHS 180x180x6.0
- donji pojas CFRHS 180x180x6.0
- vertikale CFRHS 180x100x4.0
- dijagonale CFRHS 180x100x4.0
- stup HEA 320

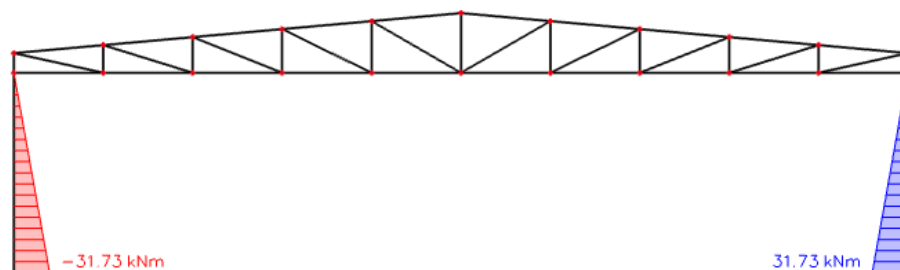
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

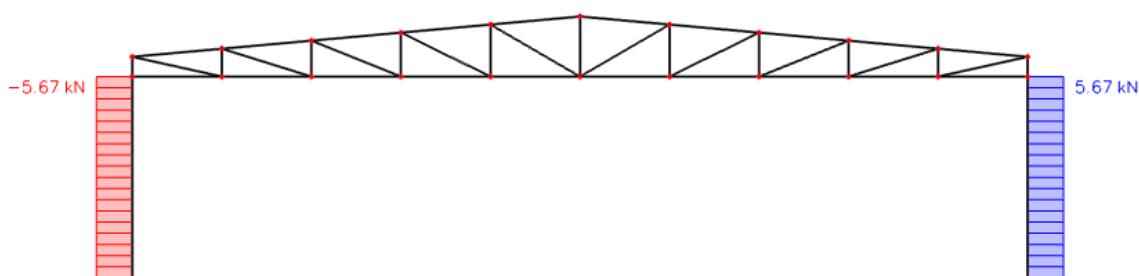
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila dobiveni su za istoimene profile koji su korišteni pri računanju progiba. Profili su usvojeni sa iskoristivosti od 84%.

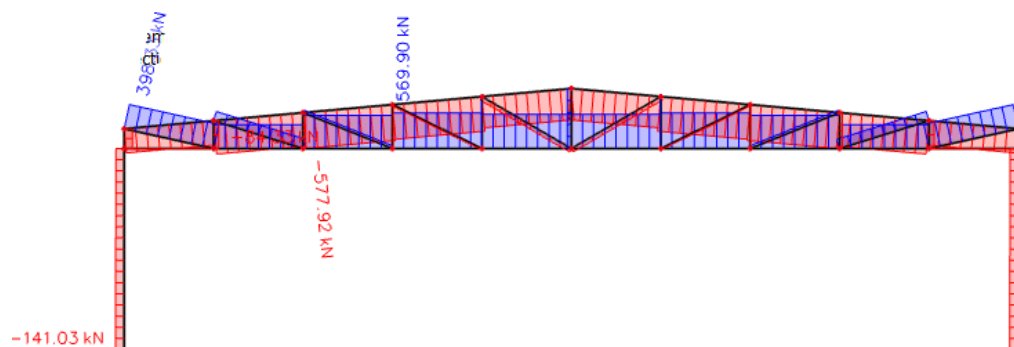
4.1.1. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5S



Slika 17 Dijagram momenata za kombinaciju 1

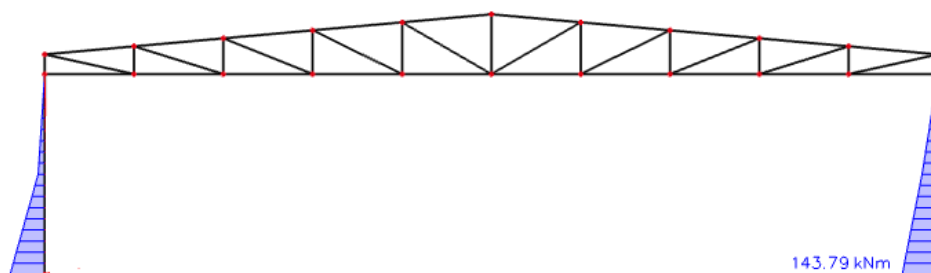


Slika 18 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1

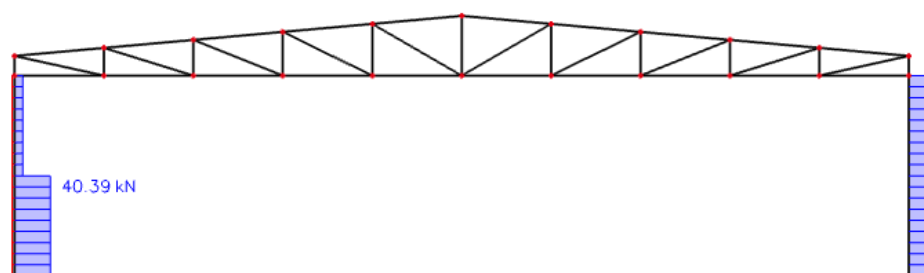


Slika 19 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

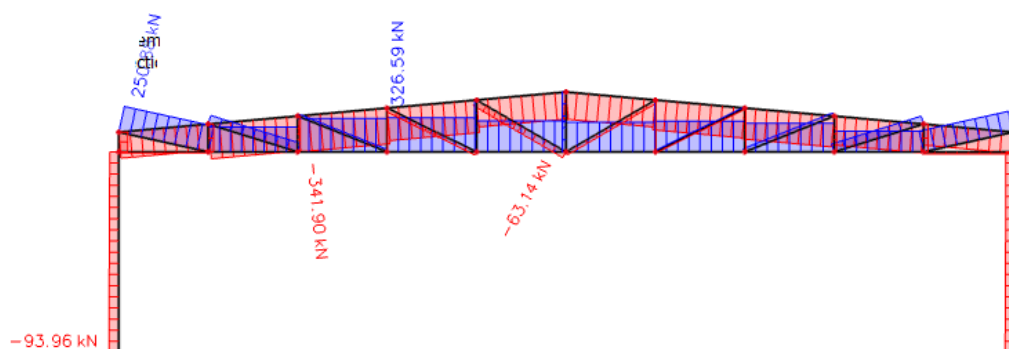
4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W2



Slika 20 Dijagram momenata za kombinaciju 2

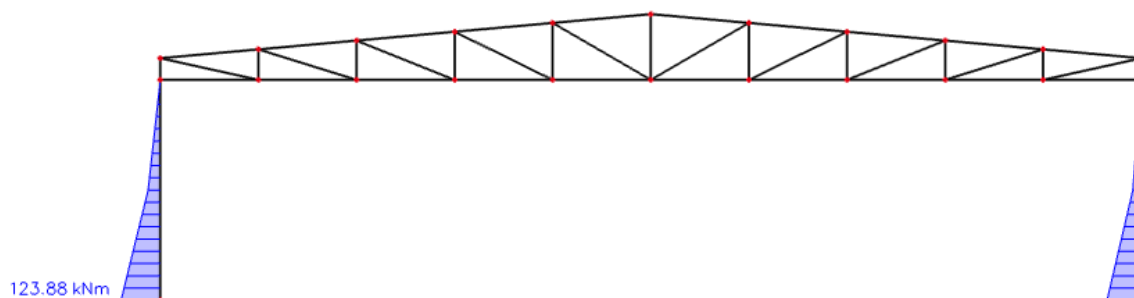


Slika 21 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2

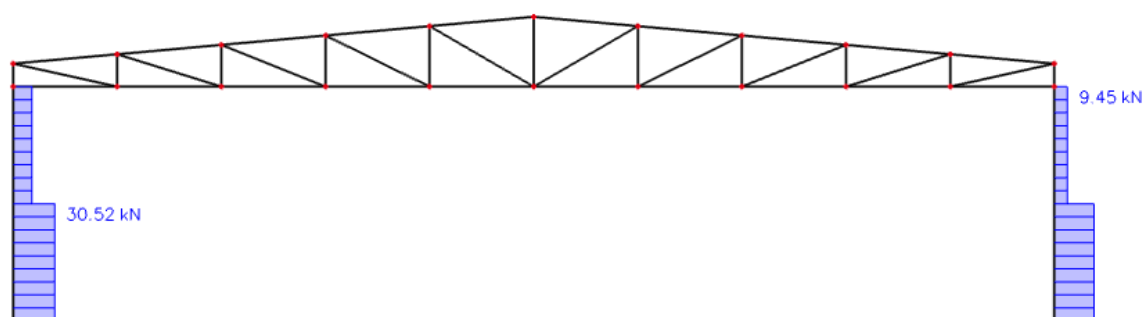


Slika 22 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

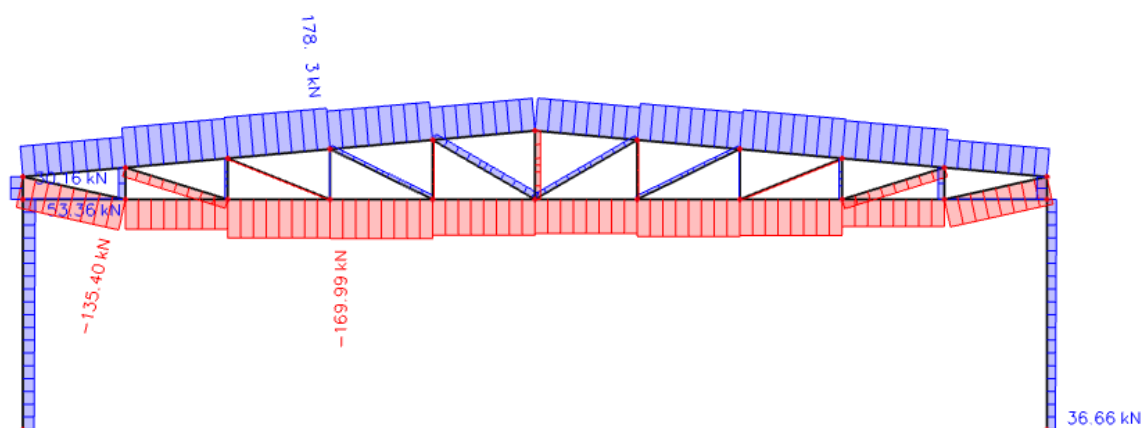
4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1



Slika 23 Dijagram momenata za kombinaciju 3

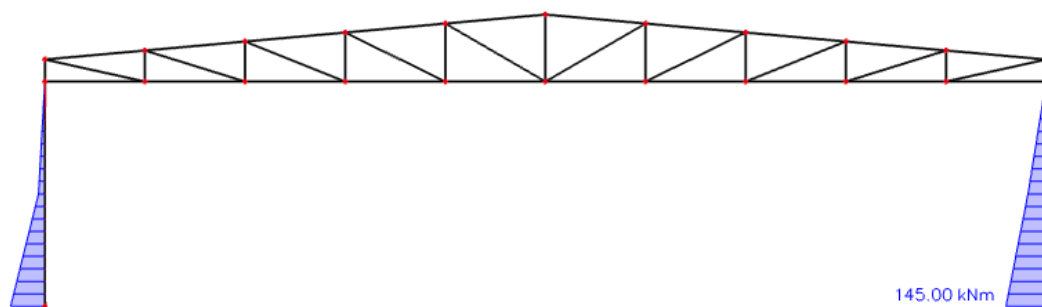


Slika 24 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3

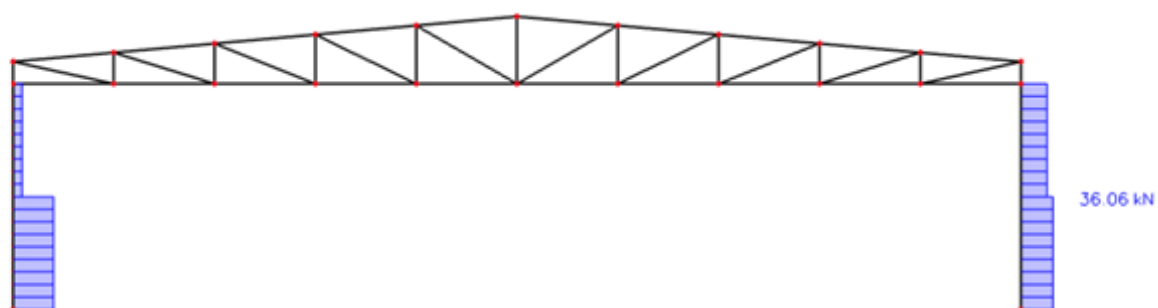


Slika 25 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

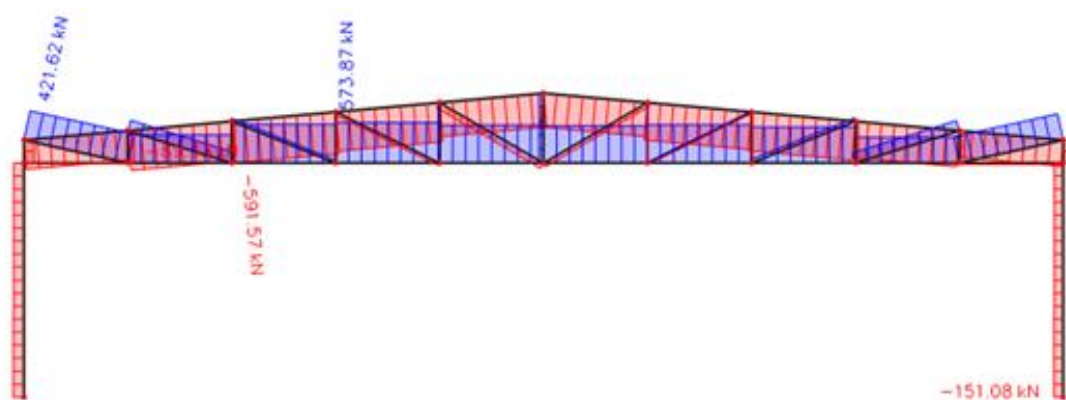
4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W2)



Slika 26 Dijagram momenata za 4 kombinaciju



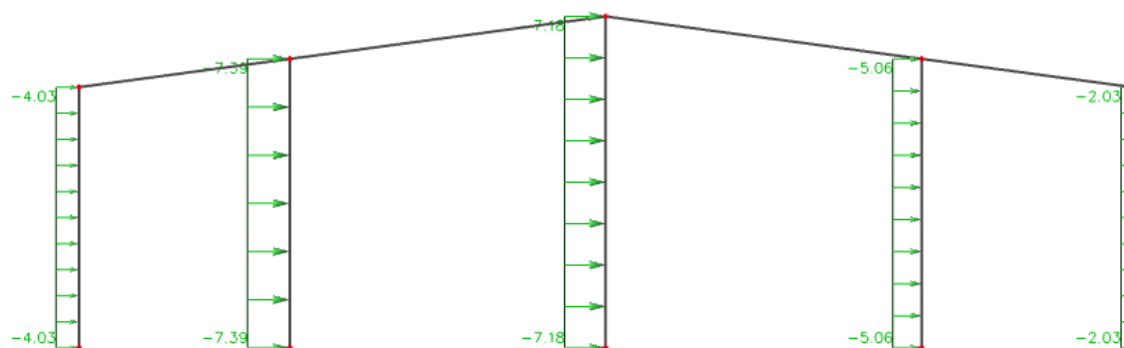
Slika 27 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 4



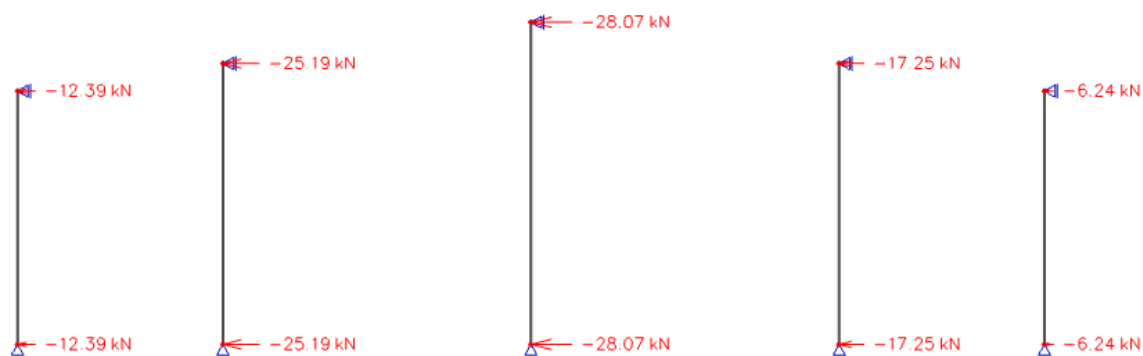
Slika 28 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4

4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

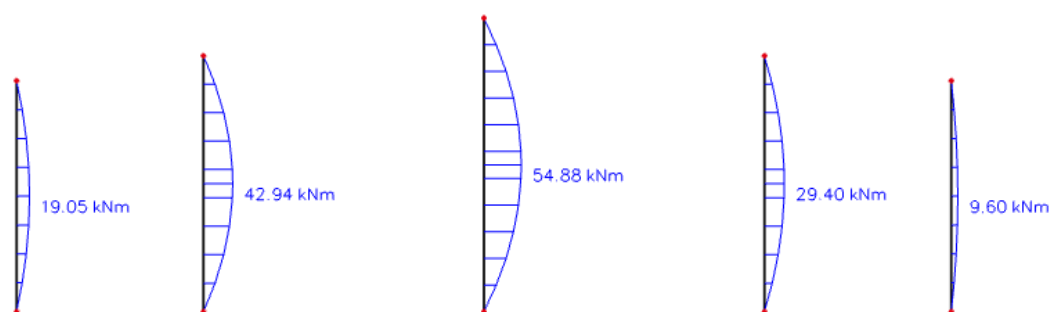
4.2.1. ZABATNI STUPOVI (Za djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1)



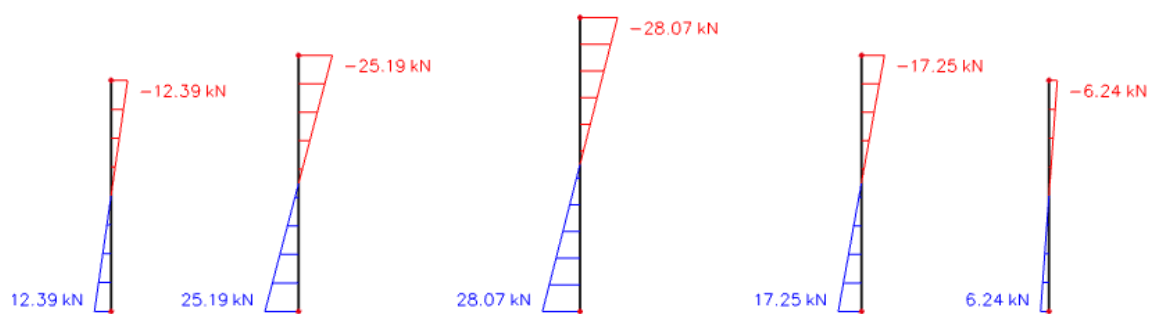
Slika 29 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2 na zabatne stupove



Slika 30 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2

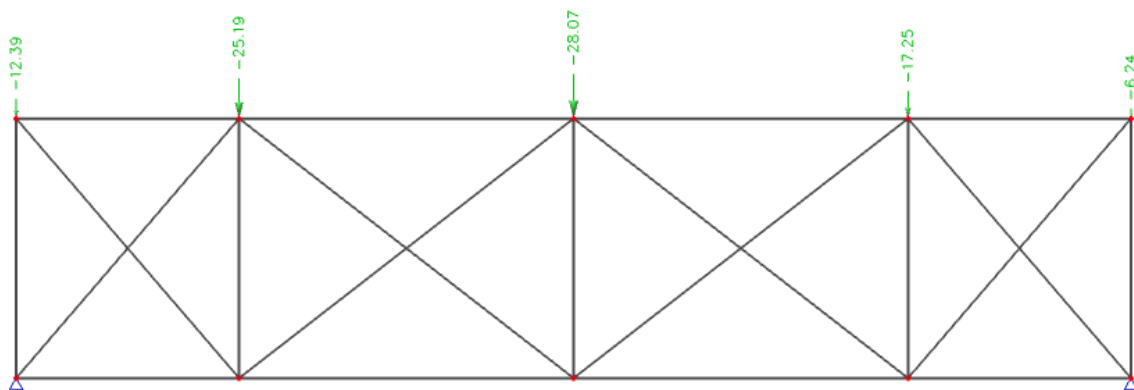


Slika 31 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja W2

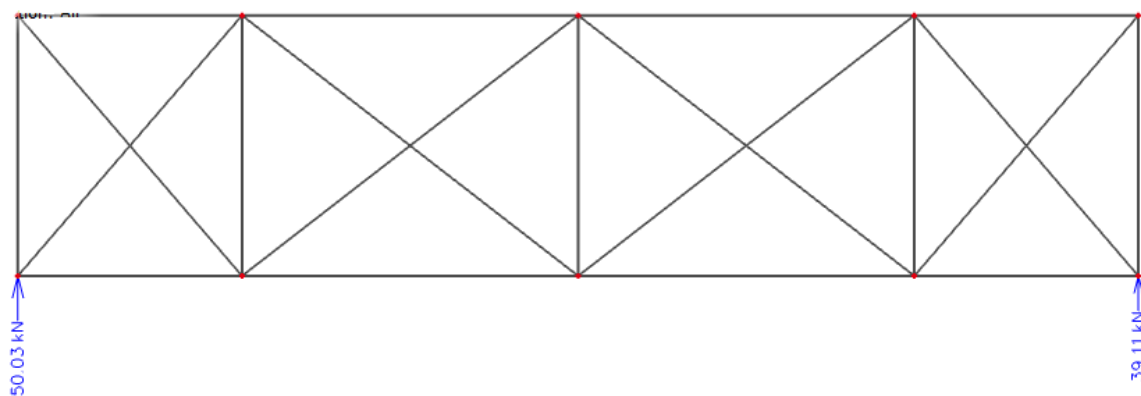


Slika 32 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja W2

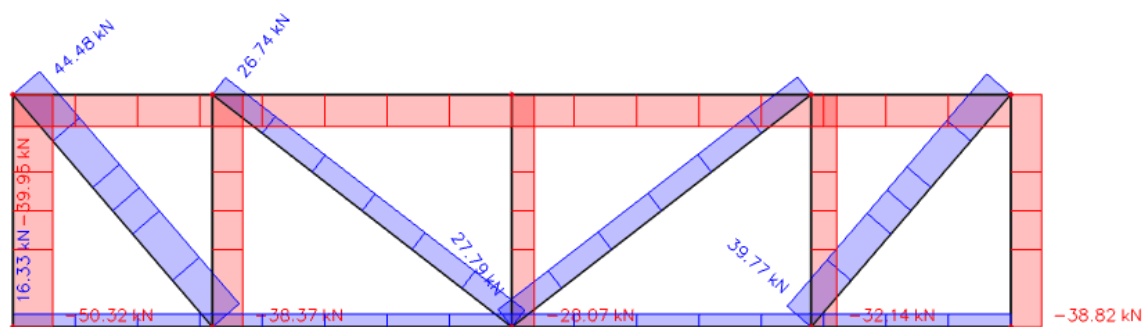
4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI



Slika 33 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova)

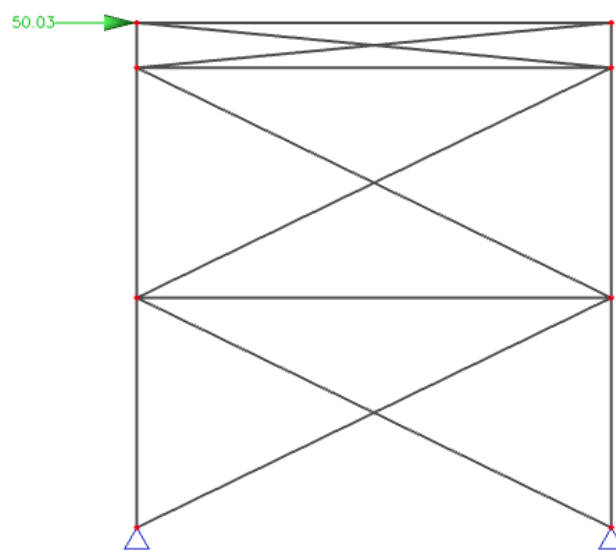


Slika 34 Reakcije horizontalnog sprega

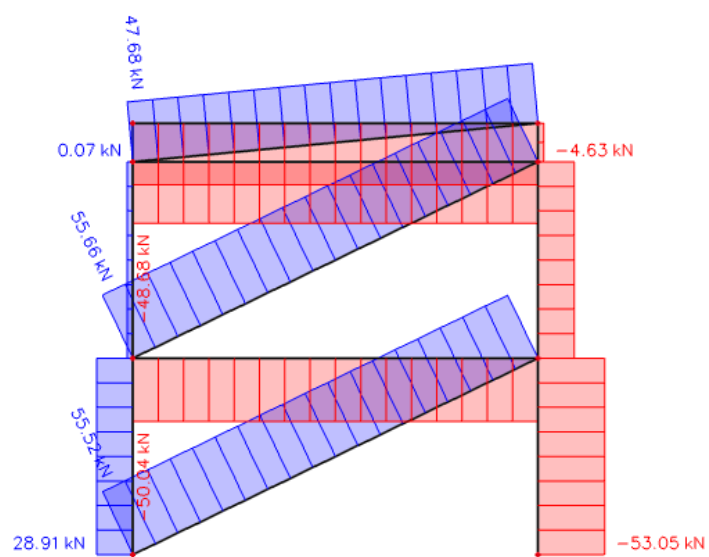


Slika 35 Dijagram uzdužnih sila

4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI



Slika 36 Djelovanje na bočni spreg



Slika 37 Dijagram uzdužnih sila na bočni spreg

4.2.4. KROVNE PODROŽNICE

Djelovanja na krovnu podrožnicu:

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

STALNO OPTEREĆENJE

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

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

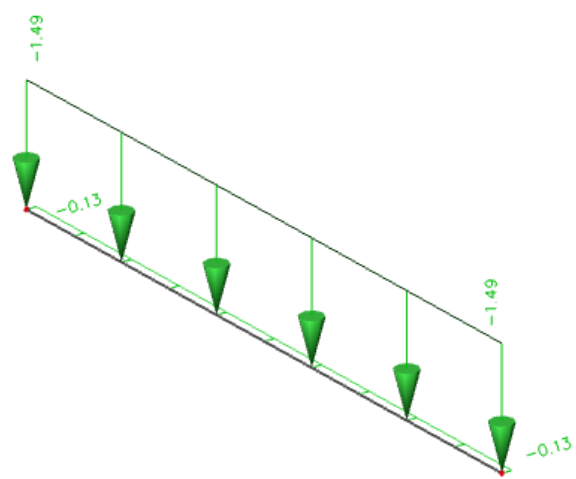
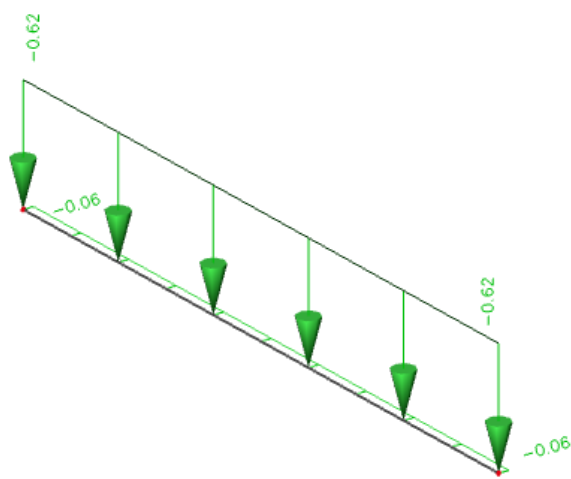
$$G_z = g \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.056 \text{ kN/m'}$$

OPREREĆENJE SNIJEGOM

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

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

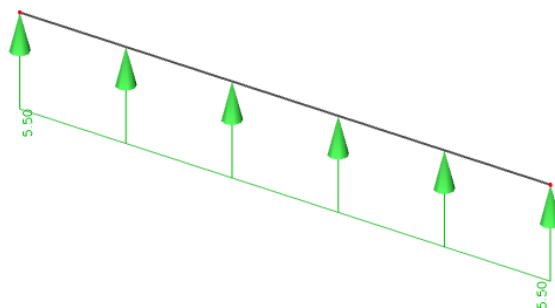
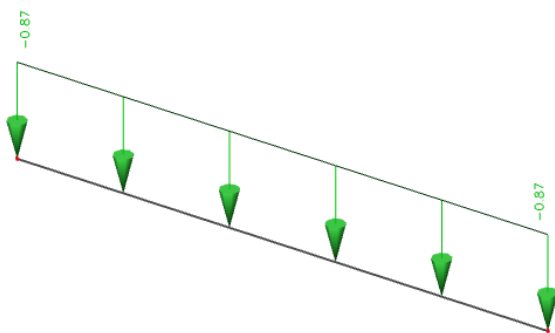
$$S_z = S \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.13 \text{ kN/m'}$$



Slika 38 Djelovanja na krovnu podrožnicu

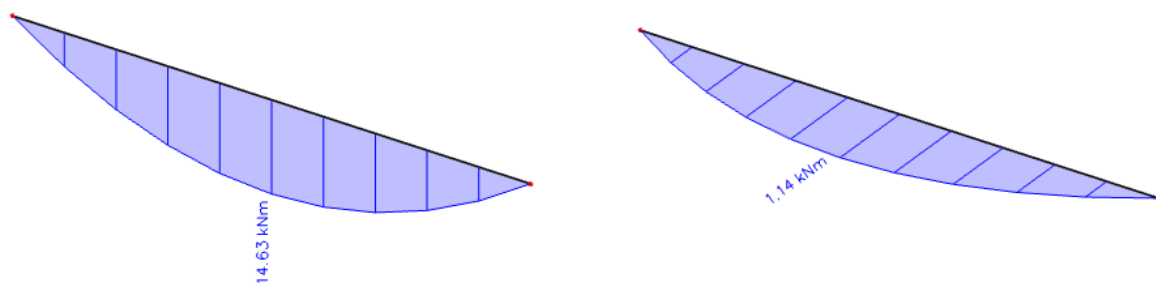
Opterećenje vjetrom W_1

Opterećenje vjetrom W_2

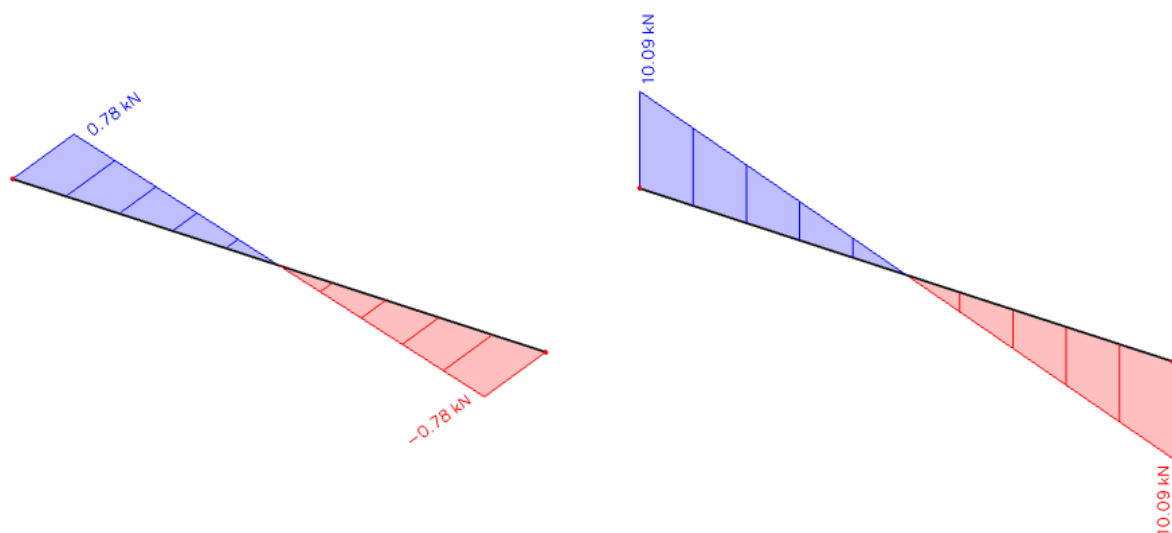


Slika 39 Djelovanje vjetra na krovne podrožnice

1. KOMBINACIJA 1.35(LC₁+G)+1.5S

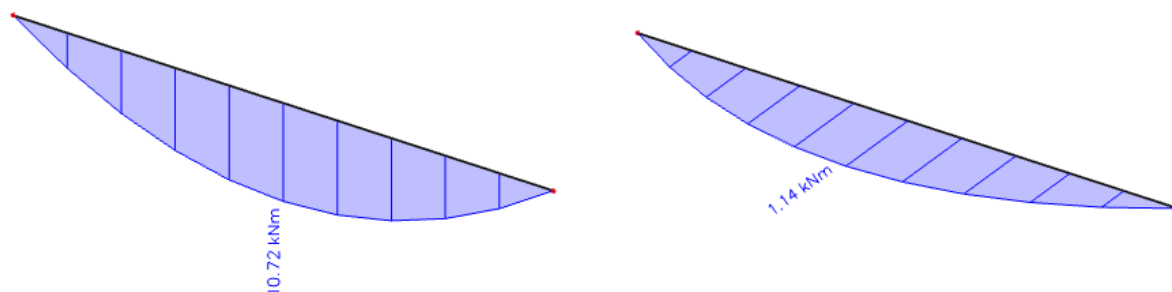


Slika 40 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 1

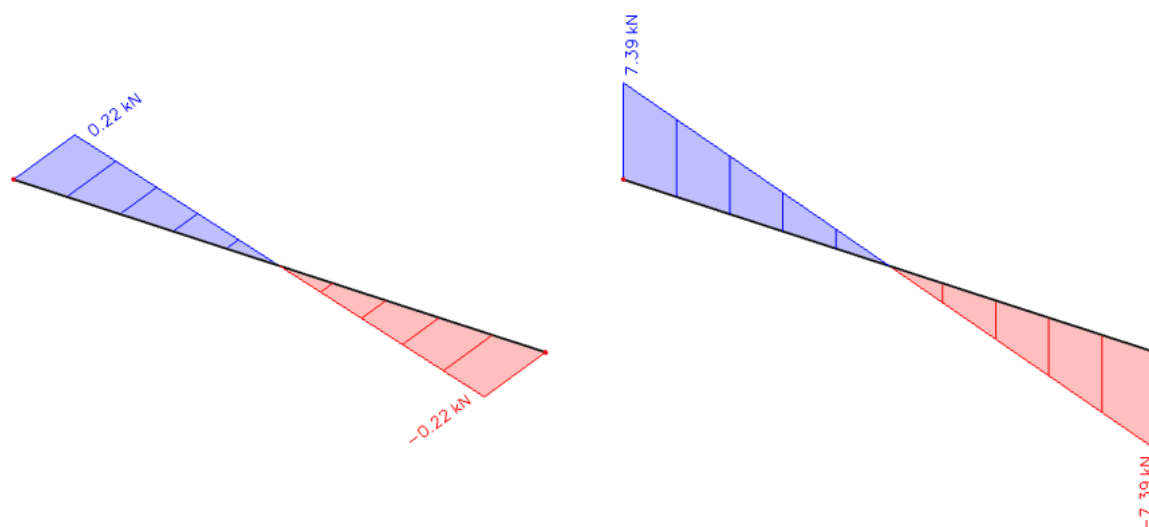


Slika 41 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 1

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

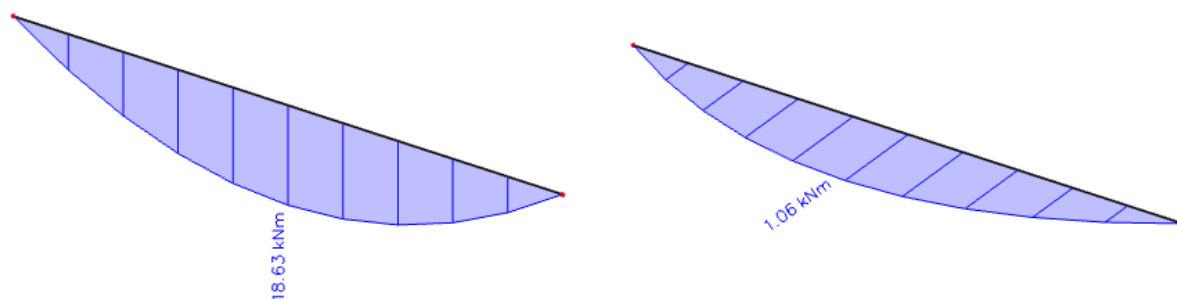


Slika 42 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 2

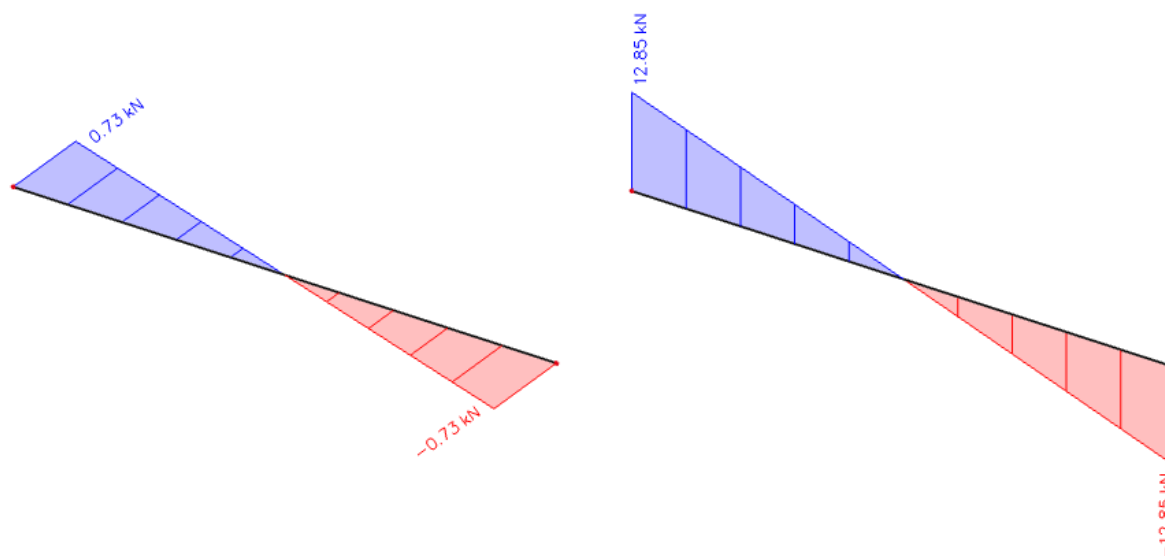


Slika 43 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 2

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

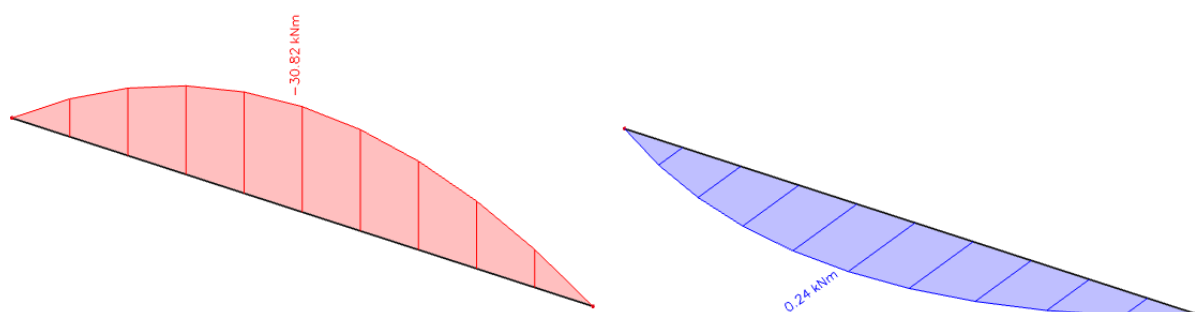


Slika 44 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 3

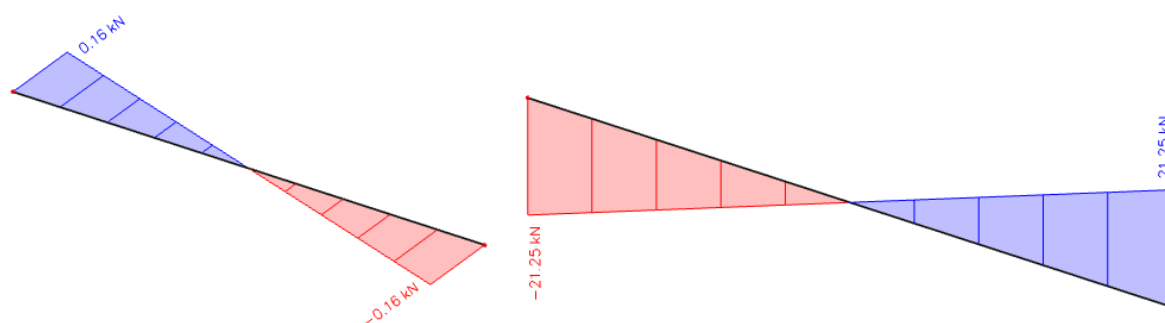


Slika 45 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 3

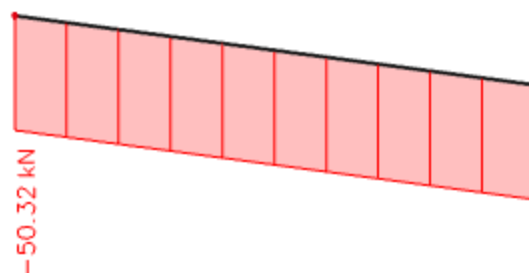
4. KOMBINACIJA $1.0(LC_1+G) + 1.5W_1$



Slika 46 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 4

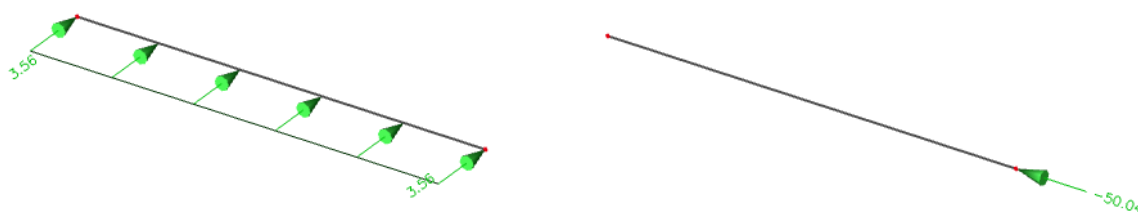


Slika 47 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 4

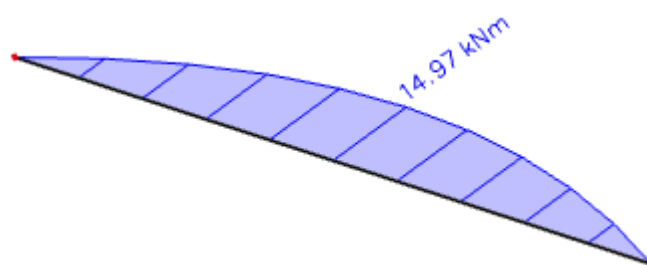


Slika 48 Dijagram uzdužnih sila za sve kombinacije

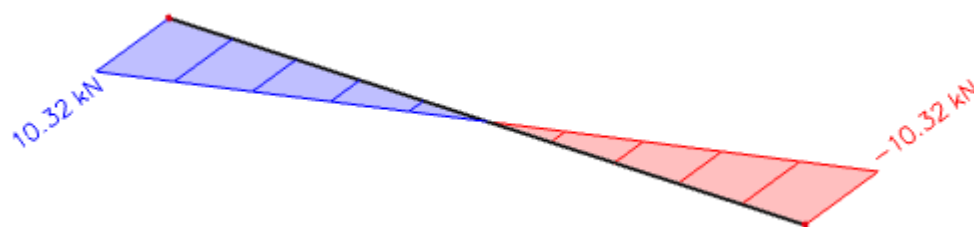
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE



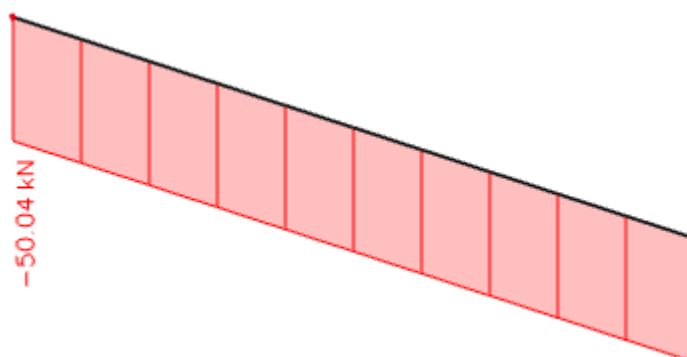
Slika 49 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu



Slika 50 Dijagram momenata za djelovanje vjetra



Slika 51 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

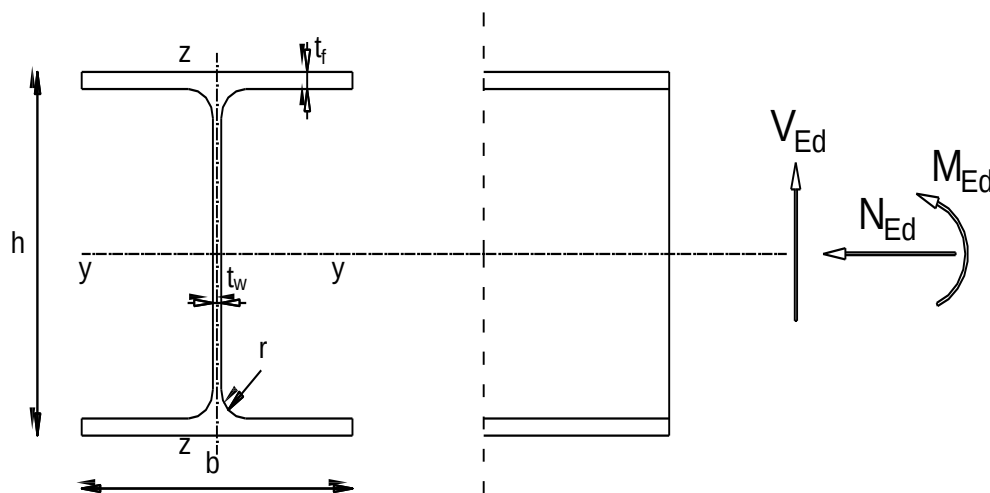


Slika 52 Dijagram uzdužnih sila za djelovanje vjetra

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 53 Poprečni presjek stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA320	Moment tromosti	$I_y=22\,900\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani		$I_z=6990\text{cm}^4$
Visina presjeka:	$h=310\text{mm}$	Moment otpora:	$W_{PL,y}=1629.2\text{cm}^3$; $W_y=1480\text{cm}^3$
Širina presjeka:	$b=300\text{mm}$		$W_{PL,z}=708.33\text{cm}^3$; $W_z=466\text{cm}^3$
Debljina pojasnice:	$t_f=16\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=1\,512\,400\text{cm}^6$
Debljina hrpta:	$t_w=9\text{mm}$		
Radijus:	$r=27\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=108\text{cm}^4$
Površina:	$A=124\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$
$M_{y,Ed}=$	145 kNm		$\epsilon=0.81$
$V_{z,Ed}=$	36.06 kN		$E=210\,000\text{ N/mm}^2$
$N_{Ed}=$	-151.8 kN		$\nu=0.3$

Tablica 14 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 310 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 27 = 224 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{224}{9} = 24.89$$

$$24.89 \leq 72\varepsilon \rightarrow 24.89 \leq 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{300}{2} - \frac{9}{2} - 27 = 118.5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{118.5}{16} = 7.41$$

$$7.41 \leq 9\varepsilon \rightarrow 7.41 \leq 9 \cdot 0.81 = 7.29 \rightarrow \text{POJASNICA NE ZADOVOLJAVAKLASU 1}$$

$$7.41 \leq 10\varepsilon \rightarrow 7.41 \leq 9 \cdot 0.81 = 8.1 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVAKLASU 2}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124 \cdot 35.5}{1.00} = 4402 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 4402 \text{ kN} > N_{Ed} = 151.8 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1629.2 \cdot 35.5}{1.00} = 57\,836.6 \text{ kNcm} = 578.37 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 578.37 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 145 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{310 - 2 \cdot 16}{9} = 30.89$$

$$30.89 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.81}{1.20} = 48.6$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$= 124 - 2 \cdot 30 \cdot 1.6 + |0.9 + 2 \cdot 2.7| \cdot 1.6 = 38.08 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 27.8 \cdot 0.9 = 30.02 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{38.08 |35.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 780.49 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 780.49 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 36.06 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

Presjek u x=2.8m

$$M_{Ed} = 72.5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 36.06 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -151.8 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 780.49 = 390.25 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 36.06 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 390.25 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 151.8 \leq 0.25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0.25 \cdot 4402 = 1100.5 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 151.8 \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 27.8 \cdot 0.9 \cdot 35.5}{1.00} = 444.11 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

OS $y - y$

$$L_{cr} = 2 \cdot 560\text{cm} = 1120\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 22\,900}{1120^2} = 3783.72\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{124 \cdot 35.5}{3783.72}} = 1.08$$

ZA VALJANI PROFIL $\rightarrow$

ZA OS $y - y$ KRIVULJA IZVIJANJA b $\rightarrow \alpha = 0.34$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (1.08 - 0.2) + 1.08^2] = 1.23$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1.23 + \sqrt{1.23^2 - 1.08^2}} = 0.55$$

OS z – z

$$L_{cr} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 560 \text{ cm} = 560 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 6990}{560^2} = 4619.77 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{124 \cdot 35.5}{4619.77}} = 0.98$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → α = 0.49

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.98 - 0.2) + 0.98^2] = 1.17$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.17 + \sqrt{1.17^2 - 0.98^2}} = 0.55$$

λ = λ_{min} = 0.55 → MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.55 \cdot 124 \cdot 35.5}{1.0} = 2421.1 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 2421.1 \text{ kN} > N_{Ed} = 151.8 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

→ ELASTIČNI KRITIČNI MOMENT BOČNOG TORZIJSKOG IZVIJANJA

$$L = 560 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{31.0}{2} = 15.5 \text{ cm}$$

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

$$C_1 = 1.77 \quad C_2 = 0$$

$$M_{cr} = 1.77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 6990}{|1.0 \cdot 560^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{1\,512\,400}{6990} + \frac{|1.0 \cdot 560|^2 \cdot 8077 \cdot 108}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 6990} + |0 \cdot 15.5|^2 - 0 \cdot 15.5} \right]$$
$$M_{cr} = 164\,597.07 \text{ kNcm} = 1645.97 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1629.2 \cdot 35.5}{164\,597.07}} = 0.59 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{310}{300} = 1.03 < 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.59 - 0.2) + 0.59^2] = 0.72$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.72 + \sqrt{0.72^2 - 0.59^2}} = 0.89 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.89 \frac{1629.2 \cdot 35.5}{1.00} = 51\,474.57 \text{ kNcm} = 514.75 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 514.75 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 145 \text{ kNm}$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

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

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

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

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

$$\psi = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1 + (1,08 - 0,2) \cdot \frac{151,08}{0,55 \cdot \frac{4402}{1,0}} \right] = 1,00 \leq 0,95 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{151,08}{0,55 \cdot \frac{4402}{1,0}} \right] = 1,00$$

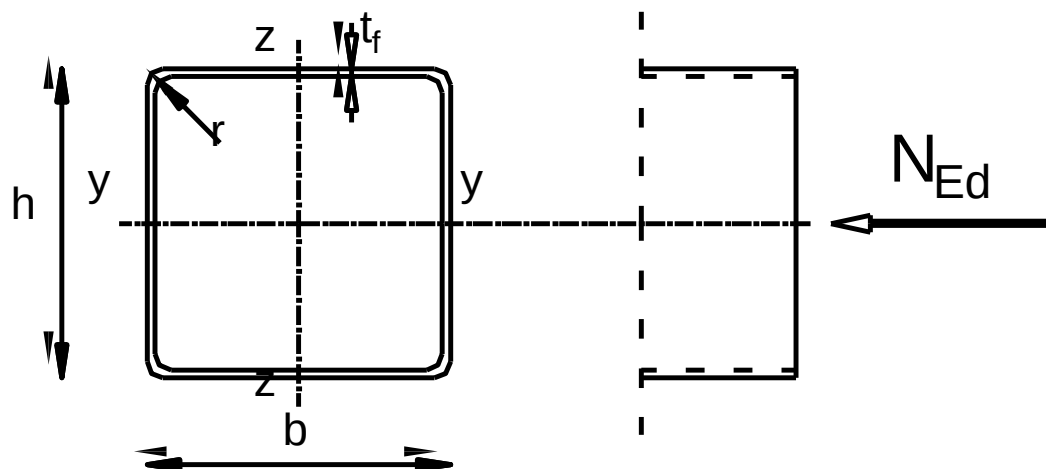
$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,98}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{151,08}{0,55 \cdot \frac{4402}{1,0}} \right] = 0,99 \geq \left[1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{151,08}{0,55 \cdot \frac{4402}{1,0}} \right] = 0,99$$

$$\frac{151,08}{0,55 \cdot 4402/1,0} + 1,00 \cdot \frac{145}{0,89 \cdot 578,37} = 0,06 + 0,28 = 0,34 \leq 1,0$$

$$\frac{151,08}{0,55 \cdot 4402/1,0} + 0,99 \cdot \frac{145}{0,89 \cdot 578,36} = 0,06 + 0,29 = 0,34 \leq 1,0$$

Odabrani profil HEA320, kvalitete čelika S 355 ne zadovoljava GSN (mala iskoristivost $\eta=34\%$), međutim mjerodavan je za dimenzioniranje s obzirom da zadovoljava GSU sa iskoristivosti od $\eta=88\%$.

5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 54 Poprečni presjek gornjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=2036.5\text{cm}^4$ $I_z=2036.5\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=264.35\text{cm}^3; W_y=226.08\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=264.35\text{cm}^3; W_z=226.08\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=180\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=94\,478\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=180\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=3222.7\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=6\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=40.83\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-591.57 kN		

Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 180 - 2 \cdot 6 = 168 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{168}{6} = 28$$

$$28 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 1449.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1449.47 \text{ kN} > N_{Ed} = 591.57 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

OS y – y

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

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2036.5}{251^2} = 6700.04\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{40.83 \cdot 35.5}{6700.04}} = 0.47$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA $\alpha \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.47 - 0.2) + 0.47^2] = 0.64$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.64 + \sqrt{0.64^2 - 0.47^2}} = 0.93$$

OS z – z

$$L_{cr} = 753\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2036.5}{753^2} = 744\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{40.83 \cdot 35.5}{744}} = 1.39$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA $\alpha \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.39 - 0.2) + 1.39^2] = 1.59$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.59 + \sqrt{1.59^2 - 1.39^2}} = 0.42$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.42 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.42 \cdot 40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 608.78 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 608.78 \text{ kN} > N_{Ed} = 591.57 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{591.57}{608.78} = 0.97 \rightarrow \eta = 97\%$$

Odabrani profil CFRHS 180x180x6.0, kvalitete čelika S 355, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 97%.

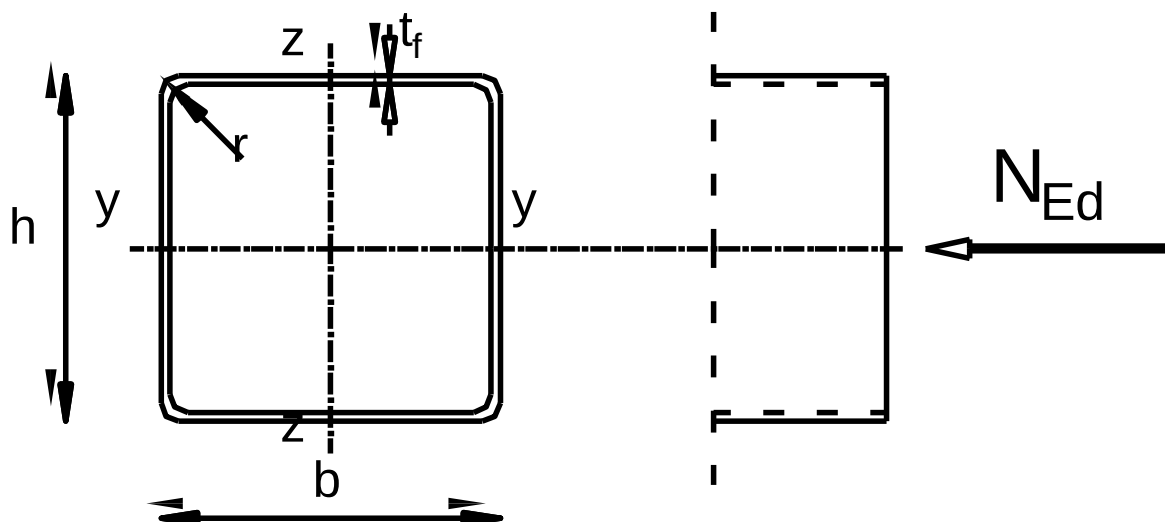
Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

Gornji pojas je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 3 u iznosu od $N_{Ed}=178.3 \text{ kN}$.

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 1449.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1449.47 \text{ kN} > N_{Ed} = 178.3 \text{ kN}$$

5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA



Slika 55 Poprečni presjek donjega pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=2036.5\text{cm}^4$ $I_z=2036.5\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=264.35\text{cm}^3; W_y=226.08\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=264.35\text{cm}^3; W_z=226.08\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=180\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=94\,478\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=180\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=3222.7\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=6\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=40.83\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-169.99 kN		

Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 180 - 2 \cdot 6 = 168 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{168}{6} = 28$$

$$28 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 1449.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1449.47 \text{ kN} > N_{Ed} = 169.99 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

OS y – y

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

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2036.5}{250^2} = 6753.41\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{40.83 \cdot 35.5}{6753.41}} = 0.46$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA a → $\alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.46 - 0.2) + 0.46^2] = 0.63$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.63 + \sqrt{0.63^2 - 0.46^2}} = 0.94$$

OS z – z

$$L_{cr} = 1250\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2036.5}{1250^2} = 270.14\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{40.83 \cdot 35.5}{270.14}} = 2.32$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA a → $\alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (2.32 - 0.2) + 2.32^2] = 3.41$$

$$\lambda_z = \frac{1}{3.41 + \sqrt{3.41^2 - 2.32^2}} = 0.17$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.17 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.17 \cdot 40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 246.41 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 246.41 \text{ kN} > N_{Ed} = 169.99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{169.99}{246.41} = 0.69 \rightarrow \eta = 69\%$$

Odabrani profil CFRHS 180x180x6.0, kvalitete čelika S 355, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 69%.

NAPOMENA:

Na sredini donjeg pojasa postavljeno je pridržanje da bi se smanjila prevelika duljina izvijanja.

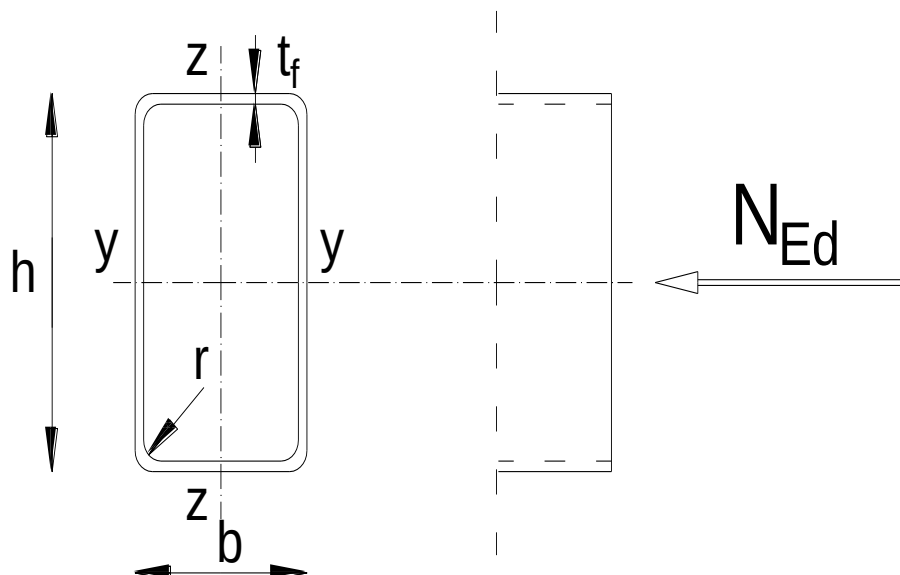
Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

Gornji pojas je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 4 u iznosu od $N_{Ed}=573.87 \text{ kN}$.

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40.83 \cdot 35.5}{1.0} = 1449.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1449.47 \text{ kN} > N_{Ed} = 573.87 \text{ kN}$$

5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 56 Poprečni presjek vertikala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=926.64\text{cm}^4$ $I_z=373.89\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=125.89\text{cm}^3; W_y=102.89\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=84.02\text{cm}^3; W_z=74.78\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=180\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=15\,120\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=853.85\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=4\text{mm}$		
Radijus:	$r=8\text{mm}$		
Površina:	$A=21.35\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-143.41 kN		

Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 180 - 2 \cdot 4 = 172\text{mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{172}{4} = 43$$

$$43 \leq 72\varepsilon \rightarrow 43 \rightarrow 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.35 \cdot 35.5}{1.0} = 757.93\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 757.93\text{kN} > N_{Ed} = 143.41\text{kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

OS y – y

$$L_{cr} = 55\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 926.64}{55^2} = 63\,489.91\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{21.35 \cdot 35.5}{63\,489.91}} = 0.11$$

ZA VALJANI PROFIL →

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.11 - 0.2) + 0.11^2] = 0.48$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.48 + \sqrt{0.48^2 - 0.11^2}} = 1.06$$

OS z – z

$$L_{cr} = 55\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 373.89}{55^2} = 25\,617.55\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{21.35 \cdot 35.5}{25\,617.55}} = 0.17$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34 \cdot (0.17 - 0.2) + 0.17^2] = 0.51$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0.51 + \sqrt{0.51^2 - 0.17^2}} = 1.00$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 1.0 \rightarrow$ MJERODAVNAJE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{1.00 \cdot 21.35 \cdot 35.5}{1.0} = 751.52 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 751.52 \text{ kN} > N_{Ed} = 143.41 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{143.41}{751.52} = 0.19 \rightarrow \eta = 19\%$$

Poprečni presjek CFRHS 100x180x4, kvalitete čelika S355, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) i zbog uvjeta $b_{\text{donjeg pojasa}} = h_{\text{vertikale}}$.

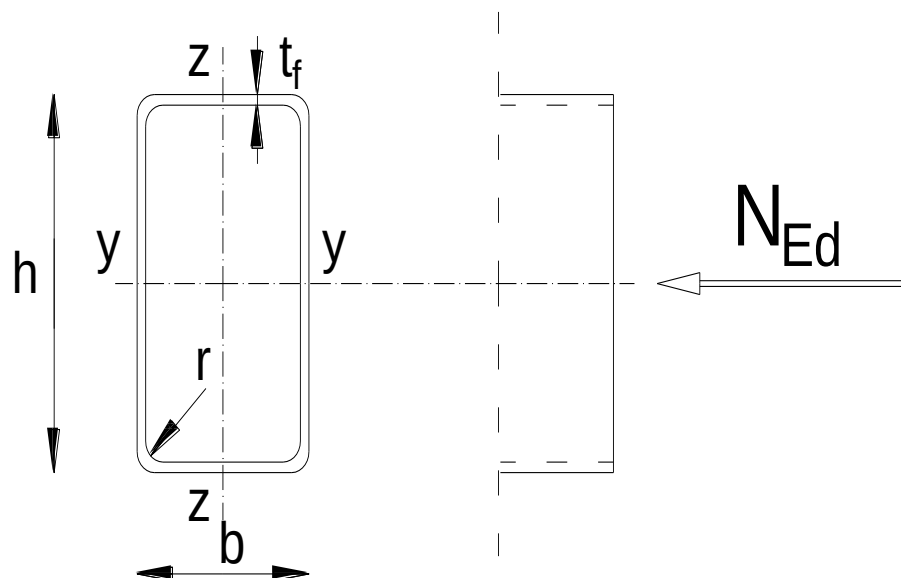
Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

Gornji pojas je izložen vlačnoj sili u kombinaciji 3 u iznosu od $N_{Ed} = 53.83 \text{ kN}$.

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.35 \cdot 35.5}{1.0} = 757.93 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 757.93 \text{ kN} > N_{Ed} = 53.83 \text{ kN}$$

5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 57 Poprečni presjek dijagonala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=926.64\text{cm}^4$ $I_z=373.89\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=125.89\text{cm}^3; W_y=102.89\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=84.02\text{cm}^3; W_z=74.78\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=180\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=15\,120\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=853.85\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=4\text{mm}$		
Radijus:	$r=8\text{mm}$		
Površina:	$A=21.35\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-135.40kN		

Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 180 - 2 \cdot 4 = 172 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{172}{4} = 43$$

$$43 \leq 72\varepsilon \rightarrow 43 \rightarrow 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PREJSEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.35 \cdot 35.5}{1.0} = 757.93 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 757.93 \text{ kN} > N_{Ed} = 135.40 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

OS y – y

$$L_{cr} = 256\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 926.64}{256^2} = 2930.57\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{21.35 \cdot 35.5}{2930.57}} = 0.51$$

ZA VALJANI PROFIL →

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.51 - 0.2) + 0.51^2] = 0.71$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.71 + \sqrt{0.71^2 - 0.51^2}} = 0.83$$

OS z – z

$$L_{cr} = 256\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 373.89}{256^2} = 1182.45\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{21.35 \cdot 35.5}{1182.45}} = 0.80$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34 \cdot (0.80 - 0.2) + 0.80^2] = 0.92$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0.92 + \sqrt{0.92^2 - 0.80^2}} = 0.72$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.72 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.72 \cdot 21.35 \cdot 35.5}{1.0} = 545.71 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 545.71 \text{ kN} > N_{Ed} = 135.40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{135.40}{545.71} = 0.25 \rightarrow \eta = 25\%$$

Poprečni presjek CFRHS 100x180x4.0, kvalitete čelika S355, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) i zbog uvjeta $b_{\text{donjeg pojasa}} = h_{\text{vertikale}}$.

Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

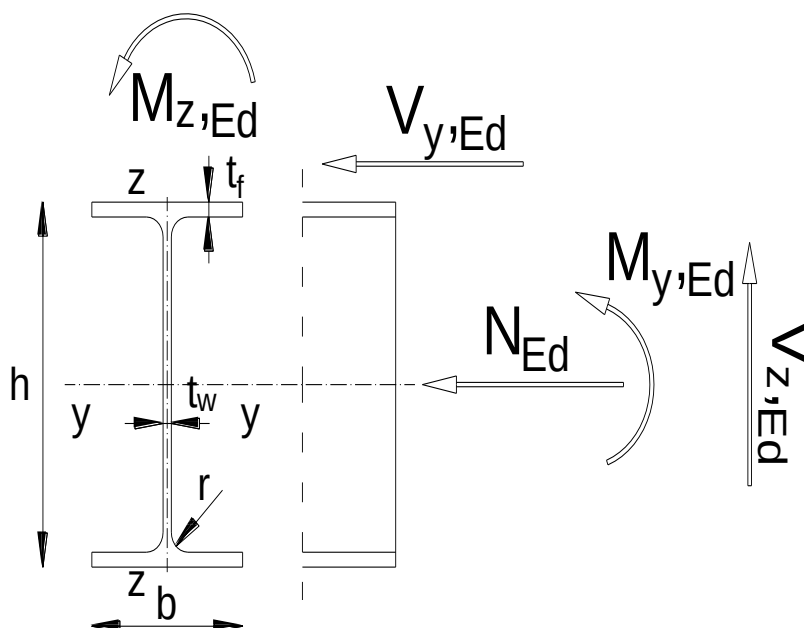
Gornji pojas je izložen vlačnoj sili u kombinaciji 4 u iznosu od $N_{Ed} = 421.26 \text{ kN}$.

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.35 \cdot 35.5}{1.0} = 757.93 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 757.93 \text{ kN} > N_{Ed} = 421.26 \text{ kN}$$

5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.2.1. KROVNE PODROŽNICE



Slika 58 Poprečni presjek krovne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil: Tip presjeka: Visina presjeka: Širina presjeka: Debljina pojasnice: Debljina hrpta: Radijus: Površina:	IPE 2200 Valjani h=222mm b=112mm t _f =10mm t _w =7mm r=12mm A=37.4cm ²	Moment tromosti	I _y =3134cm ⁴ I _z =240cm ⁴
		Moment otpora:	W _{PL,y} =321cm ³ ; W _y =282cm ³ W _{PL,z} =66.9cm ³ ; W _z =42.8cm ³
		Konstanta krivljenja:	I _w =26 800cm ⁶
		Torzijska konstanta:	I _t =12.3cm ⁴
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	f _y =355N/mm ² ε=0.81 E=210 000 N/mm ² ν=0.3
M _{y,Ed} =	30.82kNm		
M _{z,Ed} =	0.24kNm		
V _{y,Ed} =	0.16kN		
V _{z,Ed} =	21.25kN		
N _{Ed} =	-50.32kN		

Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 222 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 12 = 178 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{178}{6} = 29.67$$

$$29.67 \leq 72\varepsilon \rightarrow 29.67 \leq 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{112}{2} - \frac{7}{2} - 12 = 40.5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{40.5}{9} = 4.5$$

$$4.5 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4.5 \leq 9 \cdot 0.81 = 7.29 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVAKLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost presjeka izloženog uzdužnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{37.4 \cdot 35.5}{1.00} = 1327.7 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1327.7 \text{ kN} > N_{Ed} = 50.32 \text{ kN}$$

Otpornost presjeka izloženog savijanju

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{321 \cdot 35.5}{1.00} = 11395.5 \text{ kNcm} = 113.96 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 113.96 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 30.82 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{58.1 \cdot 35.5}{1.00} = 2062.55 \text{ kNcm} = 20.63 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 20.63 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0.24 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{222 - 2 \cdot 10}{7} = 28.86$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$28.86 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.81}{1.20} = 48.6$$

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 37.4 - 2 \cdot 11.2 \cdot 1.0 + |0.7 + 2 \cdot 1.2| \cdot 1.0 = 18.1 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 20.2 \cdot 0.7 = 16.97 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18.1 |35.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 334.08 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 370.98 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 21.25 \text{ kN}$$

U smjeru y-y

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

$$A_{v,z} = A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ = 37.4 - 20.2 \cdot 0.7 = 23.26 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{23.26 |35.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 476.74 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 476.74 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0.16 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

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

$$\alpha = 2; \beta = 5n \geq 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{50.32}{1327.7} = 0.037$$

$$\beta = 5 \cdot 0.037 = 0.185 \leq 1 \rightarrow \beta = 1$$

Savijanje u smjeru y-y

$$0.5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 370.98 = 185.49 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 21.25 \text{ kN} < 185.49 \text{ kN} \rightarrow \text{NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI OD POPREČNE SILE}$$

$$1) N_{Ed} = 50.32 \text{ kN} < 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 0.25 \cdot 1327.7 = 331.93 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 50.32 \text{ kN} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 20.2 \cdot 0.7 \cdot 35.5}{1.0} = 250.99 \text{ kN}$$

$\rightarrow$ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVJIANJE OD UZDUŽNE SILE

$$M_{N,v,y,Rd} = M_{c,y,Rd} = 103.96 \text{ kN}$$

Savijanje u smjeru z-z

$$0.5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0.5 \cdot 476.74 = 238.37 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0.16 < 238.37 \text{ kN} \rightarrow \text{NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI OD POPREČNE SILE}$$

$$M_{N,v,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 20.63 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{30.82}{103.96} \right)^2 + \left(\frac{0.24}{20.63} \right)^1 = 0.1 \leq 1.0$$

OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

OS $y - y$

$$L_{cr} = 580 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 3134}{580^2} = 1930.91 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{37.4 \cdot 35.5}{1930.91}} = 0.83$$

ZA VALJANI PROFIL $\rightarrow$

ZA OS $y - y$ KRIVULJA IZVIJANJA $a \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.83 - 0.2) + 0.83^2] = 0.91$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.91 + \sqrt{0.91^2 - 0.83^2}} = 0.78$$

OS z – z

$$L_{cr} = 580\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 240}{580^2} = 147.87\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{37.4 \cdot 35.5}{147.87}} = 2.99$$

ZA VALJANI PROFIL →

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

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (2.99 - 0.2) + 2.99^2] = 5.65$$

$$\lambda_z = \frac{1}{5.65 + \sqrt{5.65^2 - 2.99^2}} = 0.095$$

$\lambda = \lambda_{min} = 0.095 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.095 \cdot 37.4 \cdot 35.5}{1.0} = 126.13\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 126.13\text{kN} > N_{Ed} = 50.32\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{50.32}{126.13} = 0.4 < 1.0$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 580\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{220}{2} = 11.1\text{cm}$$

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

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

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 240}{|1.0 \cdot 580^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{26\,800}{240} + \frac{|1.0 \cdot 580|^2 \cdot 8077 \cdot 12.3}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 240}} + |0.454 \cdot 11.1|^2 - 0.454 \cdot 11.1 \right]$$

$$M_{cr} = 3899.82 \text{ kNcm} = 38.99 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{321 \cdot 35.5}{3899.82}} = 1.71 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{110} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.71 - 0.2) + 1.71^2] = 2.12$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{2.12 + \sqrt{2.12^2 - 1.71^2}} = 0.29 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.29 \frac{321 \cdot 35.5}{1.00} = 3304.7 \text{ kNcm} = 33.05 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 33.05 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 30.82 \text{ kNm}$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

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

$$k_{yz} = 0.6 \cdot k_{zz}$$

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + 2 \cdot |\bar{\lambda}_z - 0.6| \cdot \frac{N_{Ed}}{\lambda_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \leq \left[1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow C_{my} = 0.95 + 0.05\alpha_h = 0.95$$

$$\psi = 0 \rightarrow C_{mz} = 0.95 + 0.05\alpha_h = 0.95$$

$$\rightarrow C_{mLT} = 0.95 + 0.05\alpha_h = 0.95$$

$$k_{yy} = 0.95 \cdot \left[1 + (0.83 - 0.2) \cdot \frac{50.32}{0.78 \cdot 1327.7/1.0} \right] \leq 0.95 \cdot \left[1 + 0.8 \cdot \frac{50.32}{0.78 \cdot 1185.7/1.0} \right]$$

$$k_{yy} = 0.98 \leq 0.99$$

$$k_{zz} = 0.95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2.99 - 0.6) \cdot \frac{50.32}{0.095 \cdot 1327.7/1.0} \right] \leq 0.95 \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \frac{50.32}{0.095 \cdot 1185.7/1.0} \right]$$

$$k_{zz} = 3.14 > 1.54$$

$$k_{yz} = 0.6 \cdot 1.54 = 0.92$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot 2.99}{|0.95 - 0.25|} \cdot \frac{50.32}{0.095 \cdot 1327.7/1.0} \right] \geq \left[1 - \frac{0.1}{|0.95 - 0.25|} \cdot \frac{50.32}{0.095 \cdot 1327.7/1.0} \right]$$

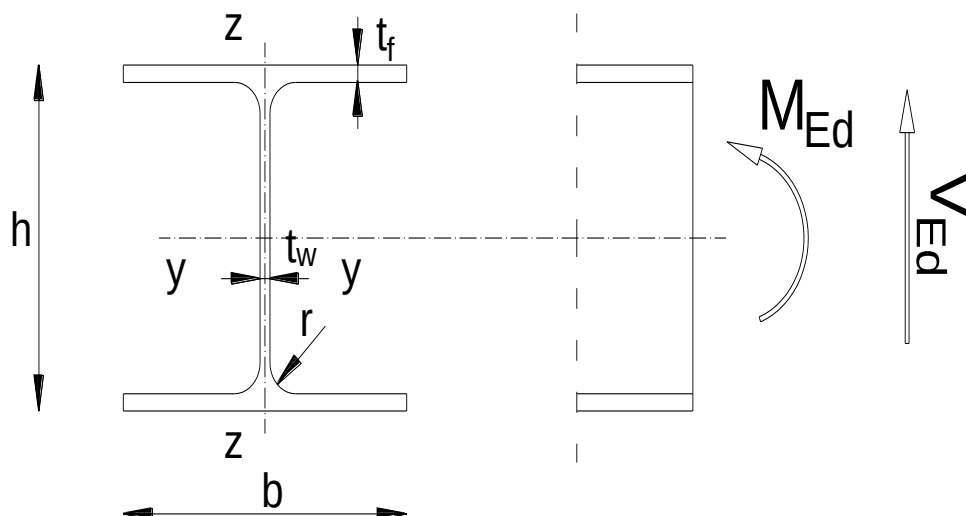
$$k_{zy} = 0.83 \leq 0.94$$

$$\frac{50.32}{0.78 \cdot 1327.7/1.0} + 0.98 \cdot \frac{30.82}{1.71 \cdot 103.96/1.0} + 0.92 \cdot \frac{0.24}{20.63/1.0} = 0.22 \leq 1.0$$

$$\frac{50.32}{0.095 \cdot 1327.7/1.0} + 0.83 \cdot \frac{30.82}{1.71 \cdot 103.96/1.0} + 1.54 \cdot \frac{0.24}{20.63/1.0} = 0.56 \leq 1.0$$

Profil IPE 220O, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od $\eta=56\%$.

5.2.2. ZABATNI STUPOVI



Slika 59 Poprečni presjek zabatnog stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA200	Moment tromosti	$I_y=3690\text{cm}^4$ $I_z=1340\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=421.97\text{cm}^3$; $W_y=389\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=203.75\text{cm}^3$; $W_z=134\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=190\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=108\,000\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=200\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=21\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=10\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=7\text{mm}$		
Radijus:	$r=18\text{mm}$		
Površina:	$A=53.8\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=$ $V_{z,Ed}=$	54.88 kNm 28.07 kN		

Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 190 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 18 = 134 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19.14$$

$$19.14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 19.14 \leq 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{200}{2} - \frac{7}{2} - 18 = 78.5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{78.5}{10} = 7.85$$

$$7.85 \leq 9\varepsilon \rightarrow 7.85 \leq 9 \cdot 0.81 = 7.29 \rightarrow \text{POJASNICA NE ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

$$7.85 \leq 10\varepsilon \rightarrow 7.85 \leq 10 \cdot 0.81 = 8.1 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVAKLASU 2}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{421.97 \cdot 35.5}{1.00} = 14\,979.94 \text{ kNcm} = 149.8 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 149.8 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 54.88 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{190 - 2 \cdot 10}{7} = 24.29$$

$$24.29 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.81}{1.20} = 48.6$$

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 53.8 - 2 \cdot 20 \cdot 1.0 + |0.7 + 2 \cdot 1.8| \cdot 1.0 = 18.1 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 17.0 \cdot 0.7 = 14.28 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18.1 |35.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 370.98 \text{ kN} \\ V_{Pl,z,Rd} = 370.98 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 28.07 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA M-N

Presjek u $L/4=1.96$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 370.98 = 185.49 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 28.07 < 185.49 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD UZDUŽNE SILE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{54.88}{149.8} = 0.37 < 1$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$$L = 782 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{190}{2} = 9.5 \text{ cm}$$

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

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

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340}{|1.0 \cdot 782^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108\,000}{1340} + \frac{|1.0 \cdot 782|^2 \cdot 8077 \cdot 21}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340} + |0.454 \cdot 9.5|^2} - 0.454 \cdot 9.5 \right]$$

$$M_{cr} = 10\,455.88 \text{ kNcm} = 104.56 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{421.97 \cdot 35.5}{10\,455.88}} = 1.2 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

FAKTOR REDUKCIJE

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0.96 < 2 \rightarrow \text{VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.2 - 0.2) + 1.2^2] = 1.33$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.33 + \sqrt{1.33^2 - 1.2^2}} = 0.52 \leq 1.0$$

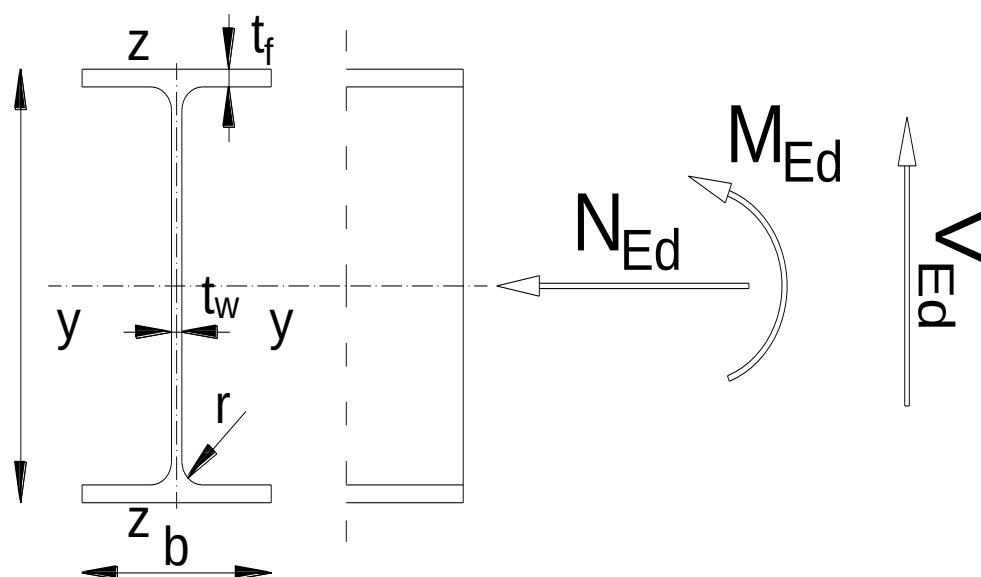
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.52 \frac{421.97 \cdot 35.5}{1.00} = 7789.57 \text{ kNcm} = 77.9 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 77.9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 54.88 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{54.88}{77.9} = 0.70 < 1.0$$

Profil HEA200, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti od 70%.

5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 60 Poprečni presjek bočne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE220	Moment tromosti	$I_y=2772\text{cm}^4$ $I_z=205\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=285\text{cm}^3$; $W_y=252\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=58.1\text{cm}^3$; $W_z=37.3\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=220\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=22\,700\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=110\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=9.07\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=9\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=6\text{mm}$		
Radius:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=33.4\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=$	14.97 kNm		
$V_{z,Ed}=$	10.32 kN		
$N_{Ed}=$	-50.04kN		

Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 220 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 178 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{178}{6} = 29.67$$

$$29.67 \leq 72\varepsilon \rightarrow 29.67 \leq 72 \cdot 0.81 = 58.32 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{110}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 40 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{40}{9} = 4.44$$

$$4.44 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4.44 \leq 9 \cdot 0.81 = 7.29 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVAKLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33.4 \cdot 35.5}{1.00} = 1185.7 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1185.7 \text{ kN} > N_{Ed} = 50.4 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{285 \cdot 35.5}{1.00} = 10117.5 \text{ kNcm} = 101.18 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 101.18 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 14.97 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{220 - 2 \cdot 9}{6} = 33.67$$

$$33.67 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.81}{1.20} = 48.6$$

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

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 33.4 - 2 \cdot 11 \cdot 0.9 + |0.6 + 2 \cdot 1.2| \cdot 0.9 = 16.3 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 20.2 \cdot 0.6 = 14.54 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{16.3 |35.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 334.08 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 334.08 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 10.32 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

Presjek u L=2.9m

$$M_{Ed} = 12.57 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 18.03 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -50.04 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 334.08 = 167.04 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 18.03 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 167.04 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 50.04 \leq 0.25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0.25 \cdot 1185.7 = 296.43 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 50.04 \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 20.2 \cdot 0.6 \cdot 35.5}{1.00} = 215.13 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

OTPORNOST ELEMENTA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

OS $y - y$

$$L_{cr} = 580\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2772}{580^2} = 1707.88\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{33.4 \cdot 35.5}{1707.88}} = 0.83$$

ZA VALJANI PROFIL $\rightarrow$

ZA OS $y - y$ KRIVULJA IZVIJANJA $a \rightarrow \alpha = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.83 - 0.2) + 0.83^2] = 0.91$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.91 + \sqrt{0.91^2 - 0.83^2}} = 0.78$$

OS z – z

$$L_{cr} = 580\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 205}{580^2} = 126.30\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{33.4 \cdot 35.5}{126.30}} = 3.06$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.34$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34 \cdot (3.06 - 0.2) + 3.06^2] = 5.67$$

$$\lambda_z = \frac{1}{5.67 + \sqrt{5.67^2 - 3.06^2}} = 0.1$$

$$\lambda = \lambda_{\min} = 0.1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.1 \cdot 33.4 \cdot 35.5}{1.0} = 118.57\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 118.57\text{kN} > N_{Ed} = 50.04\text{kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 580\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{220}{2} = 11.0\text{cm}$$

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

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

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 205}{|1.0 \cdot 580^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{22\,700}{205} + \frac{|1.0 \cdot 580|^2 \cdot 8077 \cdot 9.07}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 205} + |0.454 \cdot 11|^2 - 0.454 \cdot 11} \right]$$

$$M_{cr} = 3104.3 \text{ kNcm} = 31.04 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{285 \cdot 35.5}{3104.3}} = 1.81 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{110} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.81 - 0.2) + 1.81^2] = 2.31$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{2.31 + \sqrt{2.31^2 - 1.81^2}} = 0.27 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.27 \frac{285 \cdot 35.5}{1.00} = 2731.73 \text{ kNcm} = 27.32 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 27.32 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 14.97 \text{ kNm}$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

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

$$\text{za } \bar{\lambda}_z = 3.06 \geq 0.4$$

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

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

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h = 0.95 + 0.05 \cdot 0 = 0.95$$

$$C_{mLT} = 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h = 0.95 + 0.05 \cdot 0 = 0.95$$

$$k_{yy} = 0.95 \cdot \left[1 + (0.83 - 0.2) \cdot \frac{50.04}{0.78 \cdot \frac{1185.7}{1.0}} \right] = 0.98 \leq 0.95 \cdot \left[1 + 0.8 \cdot \frac{50.04}{0.78 \cdot \frac{1185.7}{1.0}} \right] = 0.99$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot 3.06}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{50.04}{0.1 \cdot \frac{1185.7}{1.0}} \right] = 0.82 \leq \left[1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{50.04}{0.1 \cdot \frac{1185.7}{1.0}} \right] = 0.93$$

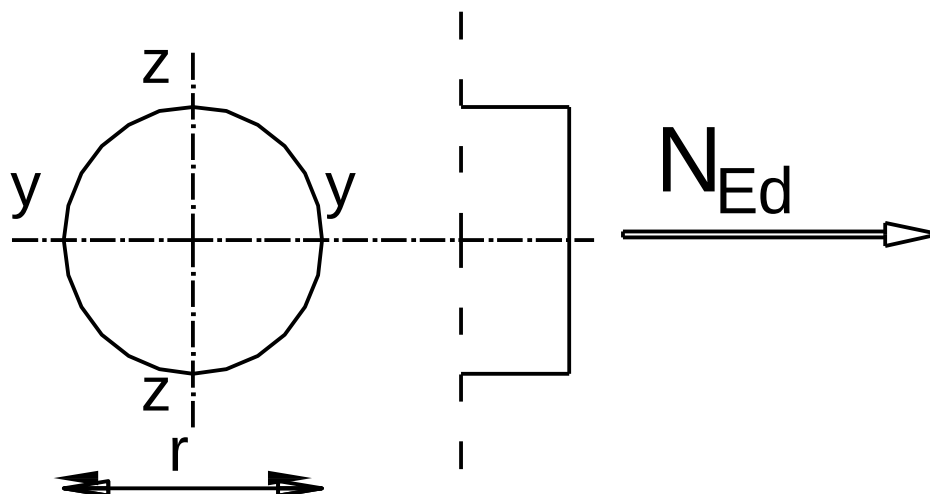
$$\frac{50.04}{0.78 \cdot 1185.7 / 1.0} + 0.98 \cdot \frac{14.97}{0.27 \cdot 101.18} = 0.05 + 0.54 = 0.59 \leq 1.0$$

$$\frac{50.04}{0.1 \cdot 1185.7 / 1.0} + 0.82 \cdot \frac{14.97}{0.27 \cdot 101.18} = 0.42 + 0.45 = 0.87 \leq 1.0$$

Profil IPE220, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od $\eta=87\%$.

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA

5.2.4.1. HORIZONTALNI SPREG



Slika 61 Poprečni presjek sprega

Karakteristike presjeka: RD 13 $A=1.33\text{cm}^2$	Materijal S355 $\rightarrow f_y=355\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.81$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
Ulazni podaci: $N_{Ed}=44.48\text{ kN}$	

Tablica 22 Karakteristike poprečnog presjeka sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.33 \cdot 35.5}{1.0} = 47.23\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 47.23\text{kN} > N_{Ed} = 44.48\text{kN}$$

$$\eta = \frac{44.48}{47.23} = 0.94 < 1.0$$

Profil RD 12, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od $\eta=94\%$.

5.2.4.2. DIMENZIONIRANJE BOČNOG SPREGA

Karakteristike presjeka: RD 15 A=1.77cm ²	Materijal S355 → f _y =355N/mm ² ε=0.81 E=210 000 N/mm ² ν=0.3
Ulazni podaci: N _{Ed} =55.66 kN	

Tablica 23 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.77 \cdot 35.5}{1.0} = 62.84 \text{ kN}$$

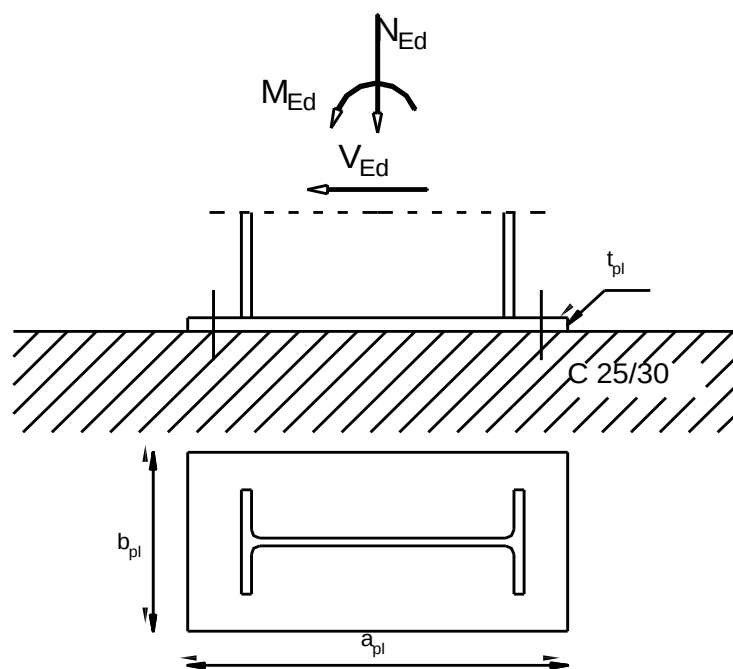
$$N_{c,Rd} = 62.84 \text{ kN} > N_{Ed} = 55.66 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{55.66}{62.48} = 0.89 < 1.0$$

Profil RD 15, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od η=89%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 62 Spoj stup-temelj

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (STUP, HEA 320)	
$M_{Ed} =$	145.0kNm	Osnovni materijal S355	$h =$	310mm
$V_{Ed} =$	36.06kN	Vijci k.v. 10.9	$b =$	300mm
$N_{Ed} =$	-151.08kN		$t_w =$	9mm
			$t_f =$	16mm
			$A =$	124cm ²

Tablica 24 Tablica karakteristika spoja stup-temelj

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

RASPODJELA SILA PO PRESJEKU NOSAČA:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

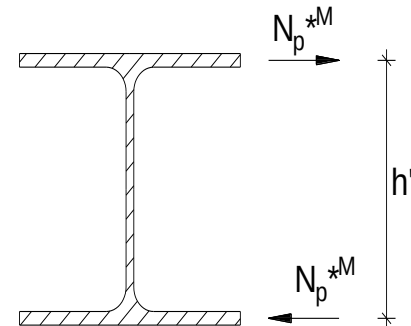
$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{145.0}{(0.310 - 0.016)} = 493.19 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{30 \cdot 1.6}{124} \cdot (-151.08) = -58.48 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 493.19 - 58.48 = 434.71 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$



KONTROLA VAROVA:

Dužina vara pojasnice:

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

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2t_f) = 2 \cdot (310 - 2 \cdot 16) = 556 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 9 = 6.3 \text{ mm}$$

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

KARAKTERISTIČNA OTPORNOST VARA U UVALI									
$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L$					a – debljina vara L – dužina vara β_w = koeficijent korelacije				
Otpornost zavar $F_{w,Rk}$ za var dužine 100 mm									
Debljina vara a [mm]	3	4	5	6	7	8	9	10	12
S 235; $\beta_w=0,8$	77,9	103,9	129,9	155,9	181,9	207,8	233,8	259,8	311,8
S 275; $\beta_w=0,85$	87,6	116,8	146,0	175,2	204,4	233,7	262,9	292,1	350,5
S 355; $\beta_w=0,9$	98,1	130,0	163,6	196,3	229,0	261,7	294,4	327,2	392,6
Za dužinu vara različitu od 100 mm, gornje vrijednosti množiti s $L/100$									

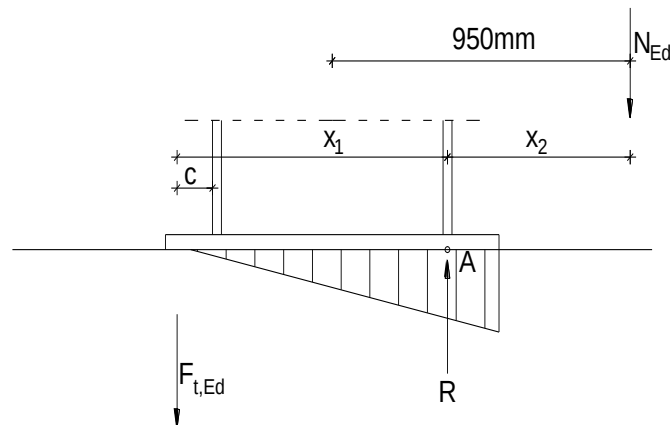
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{196.3}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 942.24 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 434.71 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{196.3}{1.25} \cdot \frac{556}{100} = 873.14 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 36.06 \text{ kN}$$

PRORAČUN VIJAKA



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

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

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

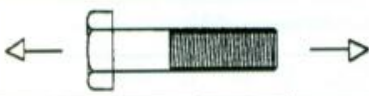
-Ekscentricitet uzdužne sile $e = M_{Ed}/N_{Ed} = 145/151.08 = 0.95 \text{ m} = 950 \text{ mm}$

-Ekscentricitet $X_1 = c + h - t_f/2 = 55 + 310 + 16/2 = 357 \text{ mm} = 0.357 \text{ m}$

-Ekscentricitet $X_2 = e - h/2 + t_f/2 = 950 - 310/2 + 16/2 = 803 \text{ mm} = 0.803 \text{ m}$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{t,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 151.08 \cdot \frac{0.803}{0.357} = 339.82 \text{ kN}$$

OTPORNOST VIJAKA NA VLAK



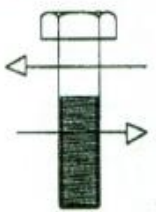
$F_{t,Rk} = 0,9 \times f_{ub} \times A_s$

Promjer vijka d [mm]	KV.	12	16	20	22	24	27	30	36
4,6		30,3	56,5	88,2	109,1	127,1	165,2	202,0	294,1
Vlačna otpornost	5,6	37,9	70,7	110,3	139,2	158,9	206,6	252,5	367,7
$F_{t,Rk}$ [kN]	8,8	60,7	113,0	176,4	217,2	254,2	330,5	403,9	588,2
	10,9	70,5	130,5	200,5	272,7	317,7	413,1	504,9	735,3

Slika 63 Karakteristična vlačna otpornost za jedan vijak u (kN)

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1,25} = 218,16 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{339,82}{2} = 169,91 \text{ kN}$$

OTPORNOST VIJAKA NA POSMIK



$F_{v,Rk} = \alpha_v \times f_{ub} \times A_s$
gdje je: $\alpha_v = 0,6$ za klasu 4,6, 5,6 i 8,8
 $\alpha_v = 0,5$ za klasu 4,8, 5,8 i 10,9

Promjer vijka	d [mm]	12	16	20	22	24	27	30	36
Promjer rupe	d ₀ [mm]	13	18	22	24	26	30	33	39
Površina jezgre vijka	A _s [mm ²]	84,3	157	245	303	353	459	561	817
	KV.								
Posmična otpornost	4,6	20,2	37,7	58,8	73,7	84,7	110,2	134,6	196,1
$F_{v,Rk}$ [kN]	5,6	25,3	47,1	73,5	91,9	105,9	137,7	168,3	245,1
	8,8	40,5	75,4	117,6	145,4	169,4	220,3	269,3	392,2
	10,9	42,5	80,5	122,5	151,5	176,5	229,5	280,5	408,5

Slika 64 Karakteristična posmična otpornost za jedan vijak i jednu posmičnu površinu u (kN)

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{151,5}{1,25} = 121,2 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{36,06}{4} = 9,02 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

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

$$\frac{9,02}{121,2} + \frac{169,91}{1,4 \cdot 218,16} = 0,63 \leq 1,0$$

PRORAČUN PLOČE

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 310 + 2(55 + 60) = 540mm$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20mm = 300 + 2 \cdot 6\sqrt{2} + 20 = 336.97mm$$

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

ODRABRANE DIMENZIJE PLOČE SU **540x340mm**

Proračun debljine ploče t_{pl}^{min}

$$F_{b,Rk} = k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0}, \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

Promjer vijka	d [mm]	12	16	20	22	24	27	30
Promjer rupe	d ₀ [mm]	13	18	22	24	26	30	33
Kompaktni detalj	e ₁	20	27,5	35	37,5	40	45	50
	p ₁ , p ₂	30	40	50	55	60	67,5	75
	e ₂	20	25	30	35	35	40	45
	S 235	55,4	70,7	91,4	108,8	110,8	121,5	136,4
	S 275	68,2	84,4	109,1	127,5	132,3	145,1	162,9
Preporučene vrijednosti	S 355	78,5	100,1	129,4	144,1	156,9	172,1	193,2
	e ₁	30	40	50	55	60	67,5	75
	p ₁ , p ₂	40	55	70	75	80	90	100
	e ₂	25	30	40	45	50	55	60
	S 235	83,1	106,7	136,4	151,3	166,2	182,3	204,5
	S 275	99,2	127,4	162,9	180,7	198,5	217,7	244,3
	S 355	117,7	153,2	194,3	214,3	235,4	258,2	289,8

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{sd}}{4} = \frac{36.06}{4} = 9.02kN = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{214.3}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl}^{min} > \frac{9.02 \cdot 1.25 \cdot 10}{214.3} = 0.526mm$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{540 - 310 + 16}{2} = 123mm = 0.123m$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 339.89 + 151.08 = 490.97kN$$

Naprezanje na betonu

$$f_{b,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{490.97}{\frac{3 \cdot 12.3 \cdot 34}{2}} = \frac{0.78kN}{cm^2} \leq \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.67kN/cm^2$$

SAVIJANJE PLOČE

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

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 6200 \cdot 0.123 \cdot 0.34 \cdot \frac{0.123}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 6200 \cdot 0.123 \cdot 0.34}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.123 = 14.17 \text{ kNm}$$

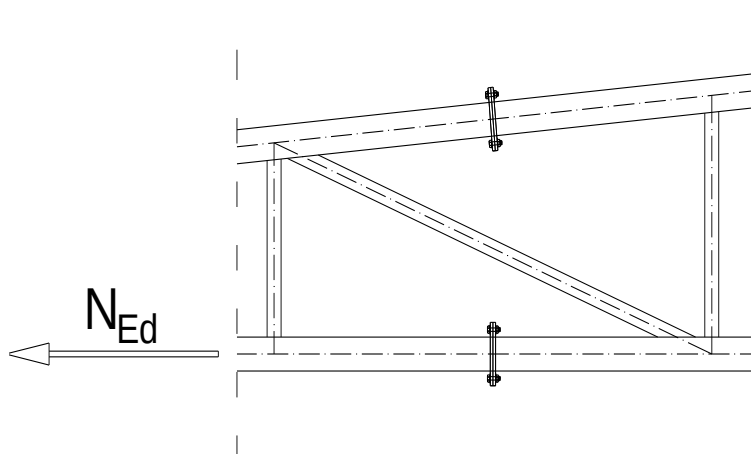
SAVIJANJE PLOČE OD VLAČNIH VIJAKA

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot (c + t_f/2) = 339.82 \cdot \left(55 + \frac{16}{2}\right) = 21\,408.88 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}}$$
$$= \sqrt{\frac{1.1 \cdot 2140.87 \cdot 6}{34 \cdot 35.5}} = 3.42 \text{ cm} = 34.2 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 540x340x35 mm

6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 65 Vlačni nastavak rešetke

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (CFRHS 180x180x6.0)	
$N_{Ed} =$	673.87kN	Osnovni materijal S355 Vijci k.v. 10.9	h= b= t _f = A=	180mm 180mm 6mm 40.83cm ²

1.KONTROLA VAROVA

Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 6 = 4.2\text{mm}$$

Odabrano $a=4\text{mm}$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 180 = 720\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{130.9}{1.25} \cdot \frac{720}{100} = 753.98\text{kN} > N_{Ed} = 673.87\text{kN}$$

KARAKTERISTIČNA OTPORNOST VARA U UVALI									
$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L$					a – debljina vara L – dužina vara β_w = koeficijent korelacije				
Otpornost zavarivanja $F_{w,Rk}$ za var dužine 100 mm									
Debljina vara a [mm]	3	4	5	6	7	8	9	10	12
S 235; $\beta_w=0,8$	77,9	109,9	129,9	155,9	181,9	207,8	233,8	259,8	311,8
S 275; $\beta_w=0,85$	87,6	122,8	146,0	175,2	204,4	233,7	262,9	292,1	350,5
S 355; $\beta_w=0,9$	100,0	130,9	163,6	196,3	229,0	261,7	294,4	327,2	392,6
Za dužinu vara različitu od 100 mm, gornje vrijednosti množiti s $L/100$									

2.PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: M22 k.v. 10.9

$n=4$ vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1,25} = 218,6 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{673,87}{4} = 168,47 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 218,6 \text{ kN}$$

 $F_{t,Rk} = 0,9 \times f_{ub} \times A_s$									
Promjer vijka d [mm]	KV.	12	16	20	22	24	27	30	36
Vlačna otpornost $F_{t,Rk}$ [kN]	4.6	30,3	56,5	88,2	127,1	165,2	202,0	294,1	
	5.6	37,9	70,7	110,3	158,9	206,6	252,5	367,7	
	8.8	60,7	113,0	176,4	254,2	330,5	403,9	588,2	
	10.9	75,9	122,8	196,3	272,7	317,7	413,1	504,9	735,3

3.PRORAČUN PLOČE

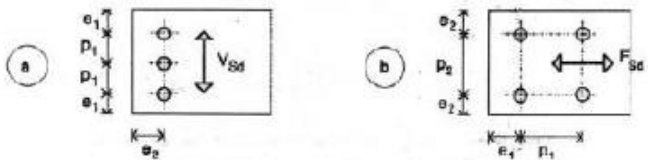
Proračun dimenzije ploče

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

$$b_{pl,min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 50 + 80 = 180 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 180 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 211,31 \text{ mm} \approx 220 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE **320x320 mm**

RAZMACI IZMEĐU VIJAKA OPTEREĆENIH NA POSMIK RAZMACI e_1 I e_2 MJERE SE OKOMITO NA SMJER DJELOVANJA SILE			
			
$1.2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$ $1.5 \cdot d_0 \leq e_2 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$ $2.2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \max(14t_1; 200 \text{ mm})$ $3.0 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \max(14t_1; 200 \text{ mm})$			
PREPORUČENE VRIJEDNOSTI RAZMAKA VIJAKA			
V I J I	[mm]		
	$p_1; p_2$	e_1	e_2
M 12	40	30	25
M 16	55	40	30
M 20	70	50	40
M 24	80	60	50
M 27	90	70	55
M 30	100	75	60
M 36	120	90	70

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

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

$$b_{pl} = 320 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 143.47 \cdot 0.02 = 5.74 \text{ kNm}$$

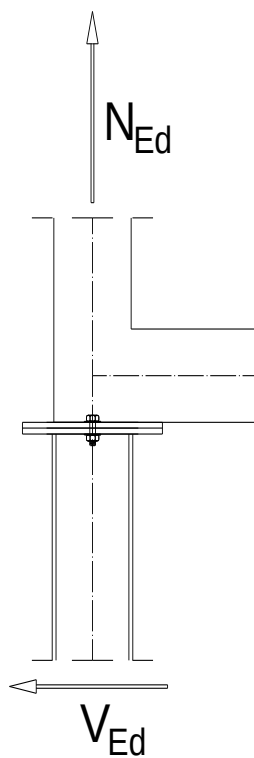
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 5.74 \cdot 6}{32.0 \cdot 35.5}} = 1.82 \text{ cm} = 18.2 \text{ mm}$$

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

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 320x320x20 mm

6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



Veličine djelovanja:	Materijal:	Poprečni presjek:	
Poprečna sila u stupu $V_{Ed}=13.72 \text{ kN}$	Osnovni materijal S355	HEA 320(stup)	CFRHS 180x180x6.0
Vlačna sila u vertikali $N_{Ed}=53.83 \text{ kN}$	Vijci k.v. 10.9	$h=310 \text{ mm}$ $t_f=300 \text{ mm}$ $t_f=16 \text{ mm}$ $t_w=9 \text{ mm}$	$h=180 \text{ mm}$ $b=180 \text{ mm}$ $t_f=6.0 \text{ mm}$

1.KONTROLA VAROVA

Dužina vara hrpta

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 6 = 4.2\text{mm}$$

Dužina vara pojasa

$$l_2 = 0 = 4 \cdot 180 = 720\text{mm}$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_w = 0.7 \cdot 9 = 6.3\text{mm}$$

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_f = 0.7 \cdot 6 = 4.2\text{mm}$$

$$\text{ODABRANO } a = 4.0\text{mm}$$

Otpornost vara

KARAKTERISTIČNA OTPORNOST VARA U UVALI									
$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L$					a – debljina vara L – dužina vara β_w = koeficijent korelacije				
Otpornost zavarivanja $F_{w,Rk}$ za var dužine 100 mm									
Debljina vara a [mm]	3	4	5	6	7	8	9	10	12
S 235; $\beta_w=0,8$	77,9	101,9	129,9	155,9	181,9	207,8	233,8	259,8	311,8
S 275; $\beta_w=0,85$	87,6	113,8	146,0	175,2	204,4	233,7	262,9	292,1	350,5
S 355; $\beta_w=0,9$	100,0	130,9	163,6	196,3	229,0	261,7	294,4	327,2	392,6
Za dužinu vara različitu od 100 mm, gornje vrijednosti množiti s $L/100$									

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{556}{100} = 582,24\text{kN} > V_{Ed} = 13,72\text{kN}$$

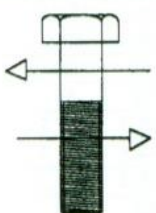
Uzdužna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{720}{100} = 753,98\text{kN} > N_{Ed} = 53,83\text{kN}$$

2. PRORAČUN VIJAKA

Odabrani vijak M16, k.v. 8.8

Otpornost vijka na posmik



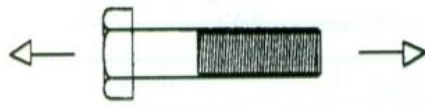
$$F_{v,Rk} = \alpha_v \times f_{ub} \times A_s$$

gdje je: $\alpha_v = 0,6$ za klasu 4,6, 5,6 i 8,8
 $\alpha_v = 0,5$ za klasu 4,8, 5,8 i 10,9

Promjer vijka	d [mm]	12	16	20	22	24	27	30	36
Promjer rupe	d ₀ [mm]	13	18	22	24	26	30	33	39
Površina jezgre vijka	A _s [mm ²]	84,3	157	245	303	353	459	561	817
Posmična otpornost F _{v,Rk} [kN]	KV.								
	4.6	20,2	37,7	58,8	72,7	84,7	110,2	134,6	196,1
	5.6	25,3	47,1	73,5	90,9	105,9	137,7	168,3	245,1
	8.8	31,4	75,4	117,6	145,4	169,4	220,3	269,3	392,2
	10.9	42,2	78,5	122,5	151,5	176,5	229,5	280,5	408,5

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{75.4}{1.25} = 60.32 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{13.72}{2} = 6.86 \text{ kN}$$

Otpornost vijka na vlak



$$F_{t,Rk} = 0,9 \times f_{ub} \times A_s$$

Promjer vijka d [mm]	KV.	12	16	20	22	24	27	30	36
Vlačna otpornost F _{t,Rk} [kN]	4.6	30,3	58,5	88,2	109,1	127,1	165,2	202,0	294,1
	5.6	37,9	72,7	110,3	136,4	158,9	206,6	252,5	367,7
	8.8	47,5	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	588,2
	10.9	63,9	141,3	220,5	272,7	317,7	413,1	504,9	735,3

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{113}{1.25} = 90.4 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{53.83}{2} = 26.92 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i posmične sile

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow \frac{6.86}{60.32} + \frac{53.83}{1.4 \cdot 90.4} = 0.54 \leq 1.0$$

3.PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE

RAZMACI IZMEĐU VIJAKA OPTEREĆENIH NA POSMIK RAZMACI e_2 I p_2 MJERE SE OKOMITO NA SMJER DJELOVANJA SILE			
1. $2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$ 1.5 $\cdot d_0 \leq e_2 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$ 2. $2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \max(14t_1; 200 \text{ mm})$ 3. $0 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \max(14t_1; 200 \text{ mm})$			
PREPORUČENE VRIJEDNOSTI RAZMAKA VIJAKA			
V I J C I	[mm]		
	$p_1; p_2$	e_1	e_2
M 12	40	30	25
M 16	55	40	30
M 20	70	50	40
M 24	80	60	50
M 27	90	70	55
M 30	100	75	60
M 36	120	90	70

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37.66 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$a_{pl,min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 310 + 2 \cdot (40 + 40) = 470 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 331.31 \text{ mm} = 340 \text{ mm}$$

Pritisak po omotaču rupe

$$F_{v,Ed} = \frac{T_{Ed}}{2} = \frac{13.72}{2} = 6.86 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} = \frac{6.86 \cdot 1.25 \cdot 10}{150.96} = 0.56 \text{ mm}$$

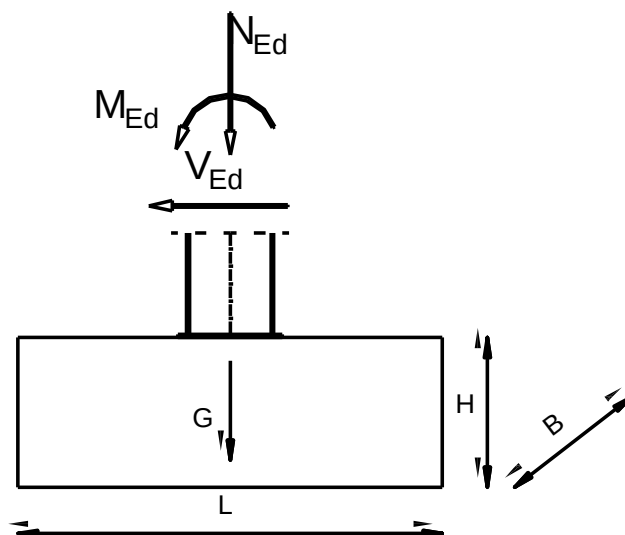
Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 26.92 \cdot 0.04 = 1.07 \text{ kNm}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 107 \cdot 6}{34 \cdot 35.5}} = 0.76 \text{ cm} = 7.6 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 470x340x10mm

7. PRORAČUN TEMELJA



Tablica 25 Temelj i opterećenja temelja

Pretpostavljene dimenzije temelja:	Rezne sile:	Karakteristike (temelj, beton, čelik):
L=2.0m	N _{Ed} =-151.08kN	Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim}=300\text{kN/m}^2$
B=2.0m	V _{Ed} =36.06kN	Beton C25/30: $f_{ck}=2.5\text{kN/cm}^2$
H=1.5m	M _{Ed} =145.00kNm	Čelik B500B: $f_{yk}=50.0\text{kN/cm}^2$

Tablica 26 Karakteristike temelja i temeljnog tla

Površina temeljne stope:

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

Težina temeljne stope:

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

Moment otpora temeljne stope:

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

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{151.08 + 150}{4} \pm \frac{145}{1.33}$$

$$\sigma_1 = 184.29 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = -33.75 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{145}{151.08 + 150} = 0.48 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2}{2} - 0.48 \right) = 1.56 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (151.08 + 150)}{1.56 \cdot 2.0} = \frac{193 \text{ kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Proračun armature temelja

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

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1.56 - 0.85}{1.56} \cdot 193 = 87.84 \text{ kN/m}^2$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1.4 \cdot \left(87.84 \cdot \frac{0.85}{2} \cdot 2 + \frac{193 - 87.84}{2} \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.85 \right) = 159.74 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu:

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

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{159.74}{120 \cdot \frac{50.0}{1.15}} = 3.06 \text{ cm}^2 < A_{S1,min} = \frac{0.1}{100} \cdot B \cdot H = 30.0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armature:

Odabrano: glavna armatura → $\phi 12/10$

razdjelna armature → $\phi 8/25$

8. LITERATURA

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

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

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

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

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

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

9. POPIS TABLICA I SLIKA

9.1. POPIS SLIKA

Slika 1 Prikaz glavnog nosača	1
Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije	1
Slika 3 Prostorni prikaz konstrukcije.....	2
Slika 4 Princip preuzimanja opterećenja	5
Slika 5 Djelovanje stalnog opterećenja na glavni nosač	7
Slika 6 Opterećenje glavnog nosača snijegom.....	8
Slika 7 Smjer pozitivnog i negativnog djelovanja vjetra	9
Slika 8 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove.....	10
Slika 9 Tlocrtni prikaz polja u odnosu na konstrukciju	12
Slika 10 Definiranje područja za vertikalne zidove	13
Slika 11 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove- bočni pogled	13
Slika 12 Prikaz polja u odnosu na konstrukciju	15
Slika 13 Opterećenje vjetra W1 u čvorovima rešetke	16
Slika 14 Opterećenje vjetra W2 u čvorovima rešetke	16
Slika 15 Vertikalni progib glavnog nosača	17
Slika 16 Horizontalni progib glavnog nosača	18
Slika 17 Dijagram momenata za kombinaciju 1.....	19
Slika 18 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1.....	19
Slika 19 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1.....	19
Slika 20 Dijagram momenata za kombinaciju 2.....	20
Slika 21 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2.....	20
Slika 22 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2.....	20
Slika 23 Dijagram momenata za kombinaciju 3.....	21
Slika 24 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3.....	21
Slika 25 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3.....	21
Slika 26 Dijagram momenata za 4 kombinaciju.....	22
Slika 27 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 4.....	22
Slika 28 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4.....	22
Slika 29 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2 na zabatne stupove	23
Slika 30 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2	23
Slika 31 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja W2	24
Slika 32 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja W2	24
Slika 33 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova)	25

Slika 34 Reakcije horizontalnog sprega	25
Slika 35 Dijagram uzdužnih sila.....	25
Slika 36 Djelovanje na bočni spreg	26
Slika 37 Dijagram uzdužnih sila na bočni spreg	26
Slika 38 Djelovanja na krovnu podrožnicu.....	27
Slika 39 Djelovanje vjetra na krovne podrožnice	27
Slika 40 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 1	28
Slika 41 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 1	28
Slika 42 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 2	29
Slika 43 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 2	29
Slika 44 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 3	30
Slika 45 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 3	30
Slika 46 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 4	31
Slika 47 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 4	31
Slika 48 Dijagram uzdužnih sila za sve kombinacije	31
Slika 49 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu	32
Slika 50 Dijagram momenata za djelovanje vjetra	32
Slika 51 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra	32
Slika 52 Dijagram uzdužnih sila za djelovanje vjetra	32
Slika 53 Poprečni presjek stupa	33
Slika 54 Poprečni presjek gornjeg pojasa	40
Slika 55 Poprečni presjek donjeg pojasa.....	44
Slika 56 Poprečni presjek vertikalna	48
Slika 57 Poprečni presjek dijagonala	52
Slika 58 Poprečni presjek krovne podrožnice	56
Slika 59 Poprečni presjek zabatnog stupa	64
Slika 60 Poprečni presjek bočne podrožnice	68
Slika 61 Poprečni presjek sprega	75
Slika 62 Spoj stup-temelj	77
Slika 64 Karakteristična posmična otpornost za jedan vijak i jednu posmičnu površinu u (kN)	80
Slika 63 Karakteristična vlačna otpornost za jedan vijak u (kN)	80
Slika 65 Vlačni nastavak rešetke	83

9.2. POPIS TABLICA

Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra.....	11
Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra.....	11
Tablica 3 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi}=+0.2$)	11
Tablica 4 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pe}=-0.3$)	11
Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak	11
Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak	12
Tablica 7 Ukupno rezultirajuće djelovanje po čvorovima	12
Tablica 8 Vrijednosti vanjskih koeficijenata pritiska prema područjima konstrukcije	13
Tablica 9 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi}=+0.2$)	14
Tablica 10 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi}=-0.3$)	14
Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak	14
Tablica 12 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak	14
Tablica 13 Ukupno rezultirajuće djelovanje vjetra po čvorovima	15
Tablica 14 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa.....	33
Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa	40
Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa	44
Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka vertikalna.....	48
Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala	52
Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice	56
Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa.....	64
Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice.....	68
Tablica 22 Karakteristike poprečnog presjeka sprega.....	75
Tablica 23 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega	76
Tablica 24 Tablica karakteristika spoja stup-temelj	77
Tablica 26 Karakteristike temelja i temeljnog tla	91
Tablica 25 Temelj i opterećenja temelja	91

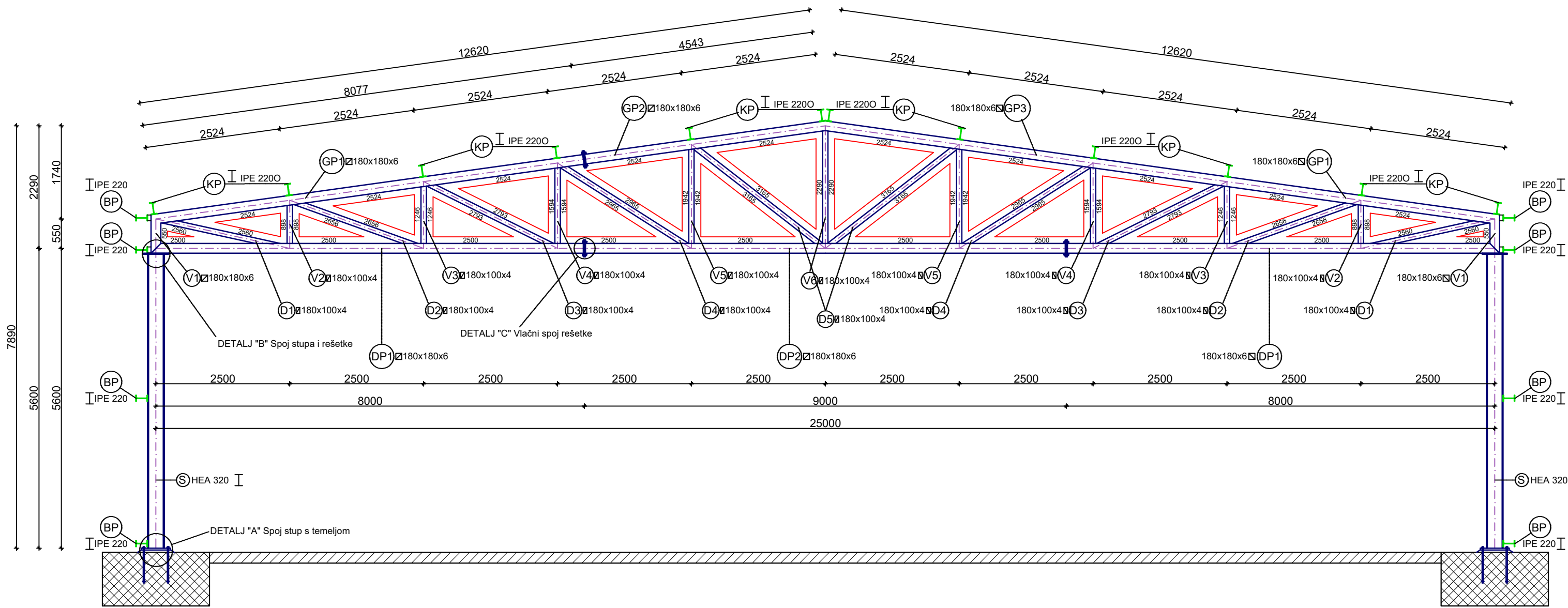
10. NACRTI

GENERALNI PLAN POZICIJA
M 1:200

GORNJI POJAS	CFRHS 180x180x6	KROVNI SPREGOVI	RD 13
DONJI POJAS	CFRHS 180x180x6	BOČNI SPREGOVI	RD 15
VERTIKALE	CFRHS 180x100x4	BOČNE PODROŽNICE	IPE 220
DIJAGONALE	CFRHS 180x100x4	ZABATNI STUPOVI	HEA 200
KROVNE PODROŽNICE	IPE 2200	STUPOVI	HEA 320

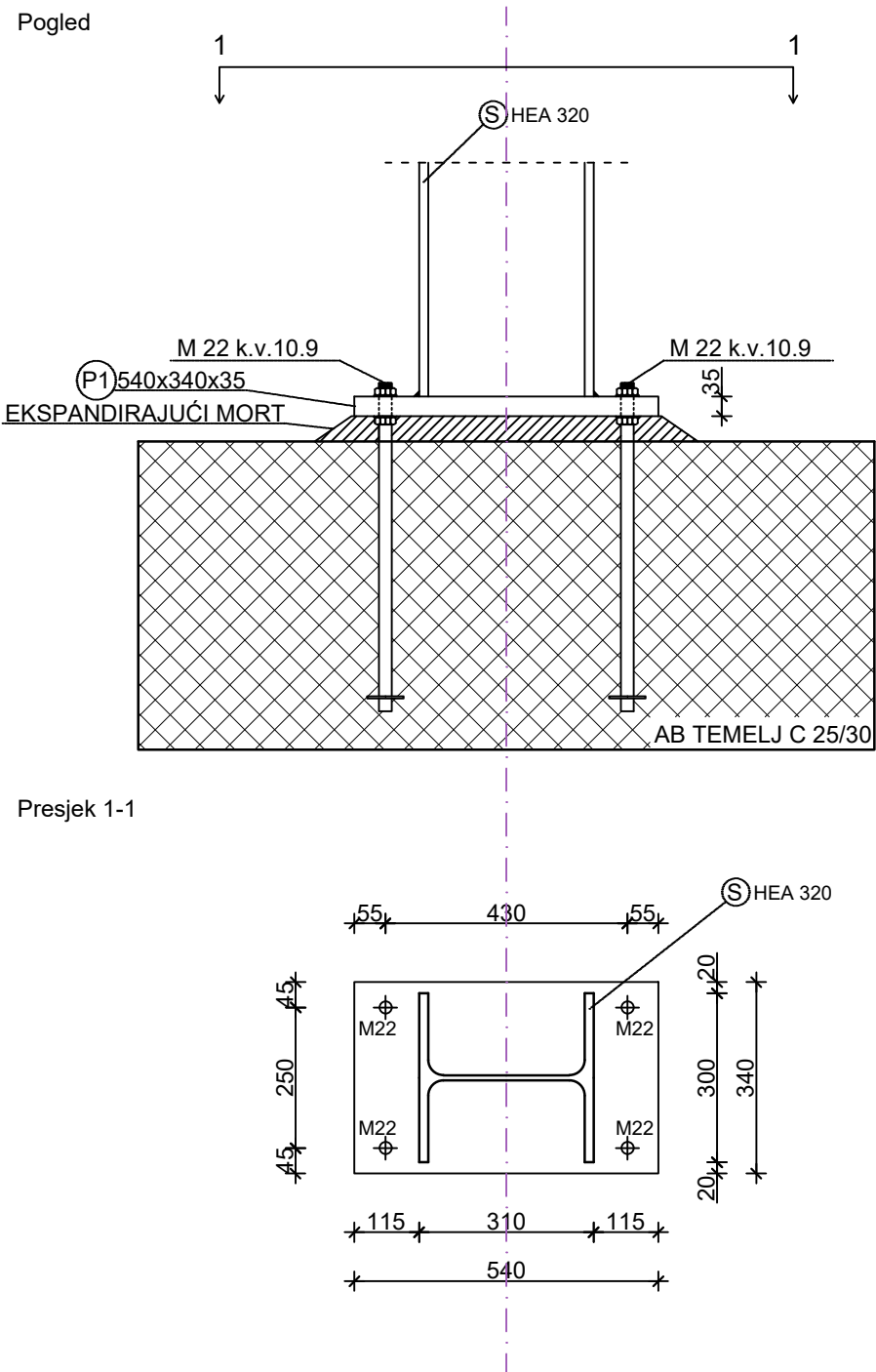
Građevina: Proizvodna hala	  SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija		
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale		
Sadržaj: Plan pozicija		
Izradio: Marin Jukić	MJ: 1:200 Datum: rujan 2018.	
PRILOG: 1		

PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR
M 1:50

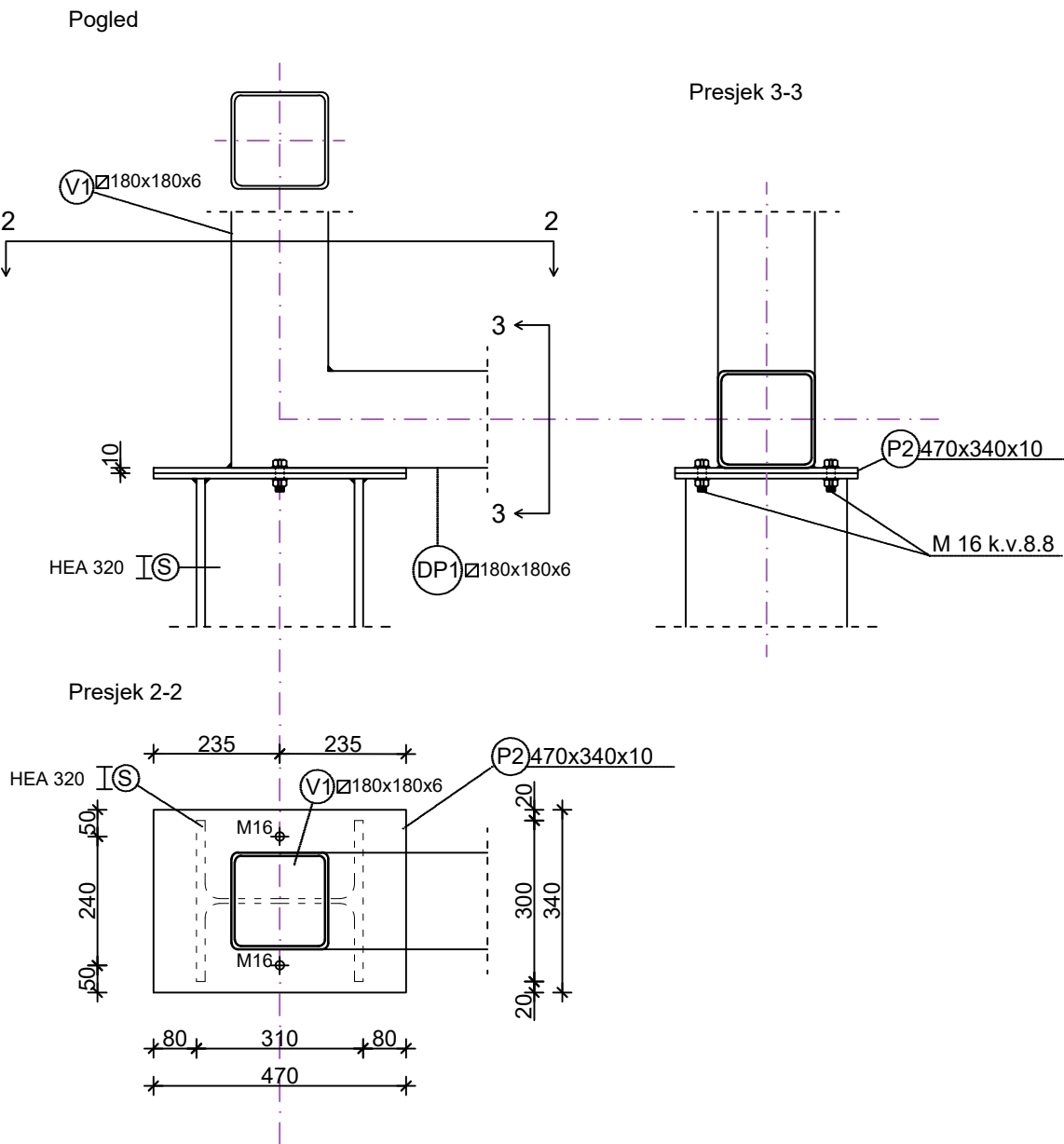


Građevina: Proizvodna hala		 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija			
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale			
Sadržaj: Presjek kroz glavni okvir			
Izradio: Marin Jukić		MJ: 1:50 Datum: rujan 2018.	
PRILOG: 2			

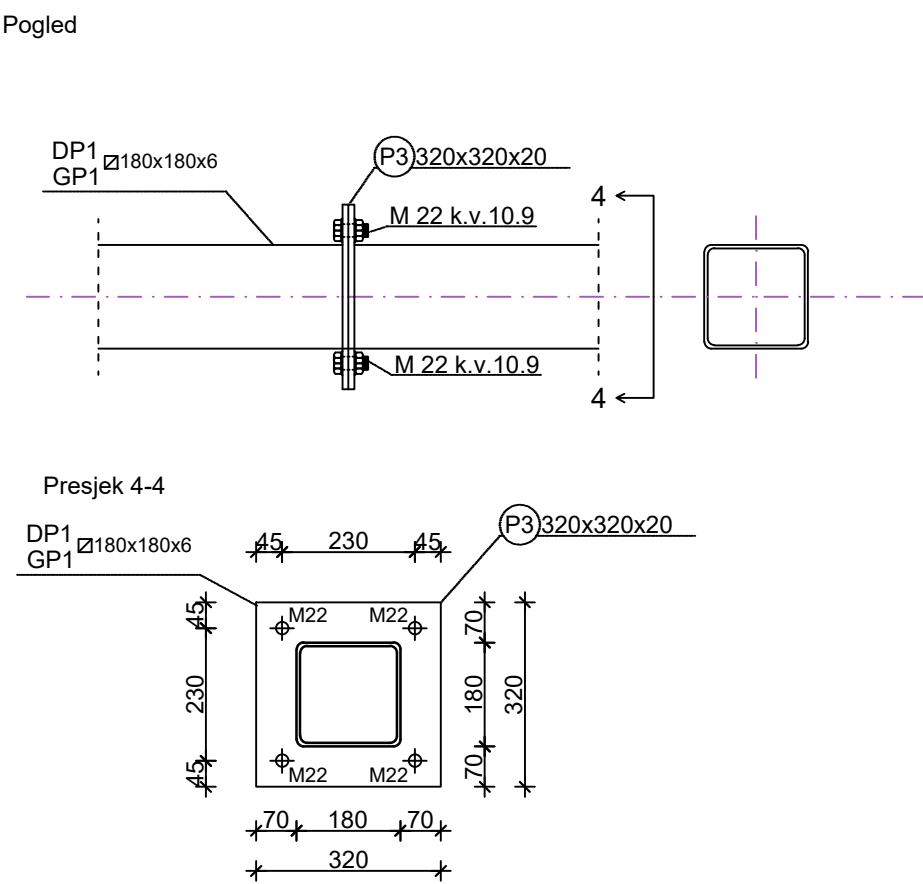
DETALJ "A" SPOJ STUP-TEMELJ



DETALJ "B" ZGLOBNI SPOJ STUPA SA REŠETKOM



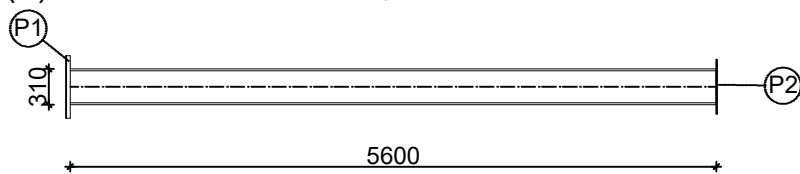
DETALJ "C" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



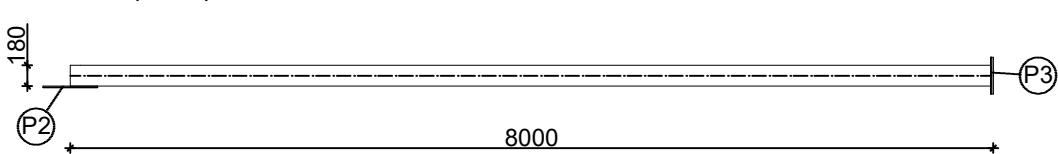
DETALJI SPOJEVA
M 1:10

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

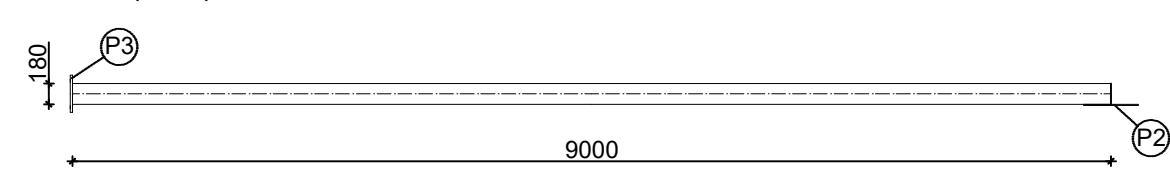
STUP (S) HEA 320 I l=5600mm, kom=2x11



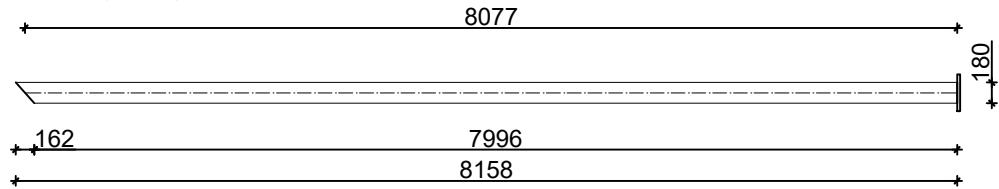
DONJI POJAS (DP1) 180x180x6 l=8000mm, kom=2x11



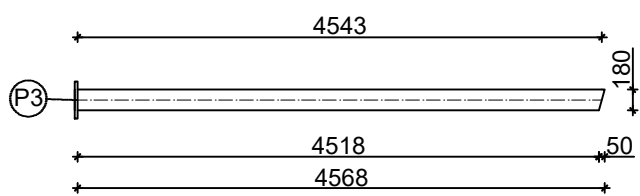
DONJI POJAS (DP2) 180x180x6 l=9000mm, kom=1x11



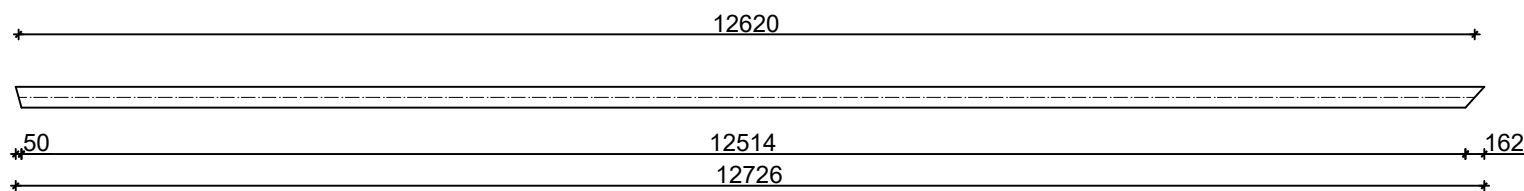
GORNJI POJAS (GP1) 180x180x6 l=8158mm, kom=1x11



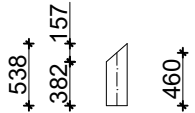
GORNJI POJAS (GP2) 180x180x6 l=4568mm, kom=1x11



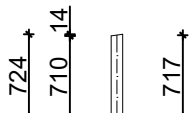
GORNJI POJAS (GP3) 180x180x6 l=12726mm, kom=1x11



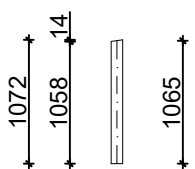
VERTIKALA (V1) 180x180x6 l=538mm, kom=2x11



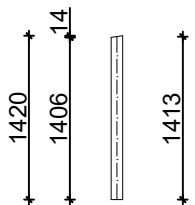
VERTIKALA (V2) 180x100x4 l=724mm, kom=2x11



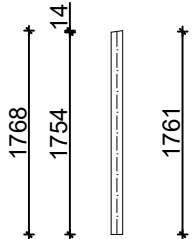
VERTIKALA (V3) 180x100x4 l=1072mm, kom=2x11



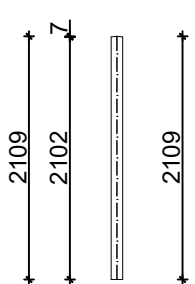
VERTIKALA (V4) 180x100x4 l=1420mm, kom=2x11



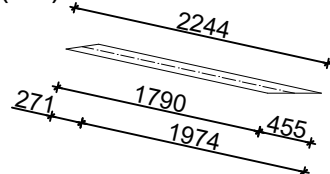
VERTIKALA (V5) 180x100x4 l=1768mm, kom=2x11



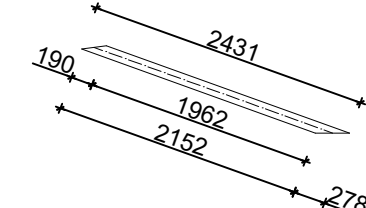
VERTIKALA (V6) 180x100x4 l=2109mm, kom=1x11



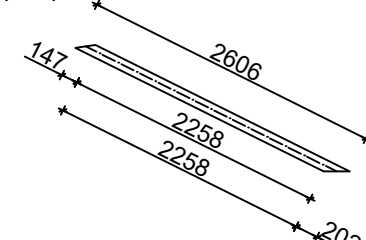
DIJAGONALA (D1) 180x180x6 l=2244mm, kom=2x11



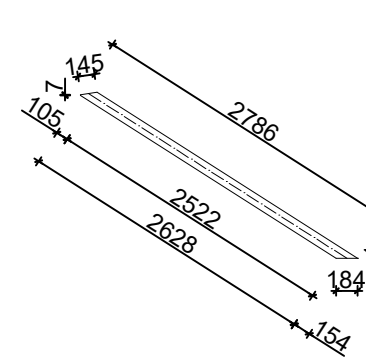
DIJAGONALA (D2) 180x180x6 l=2431mm, kom=2x11



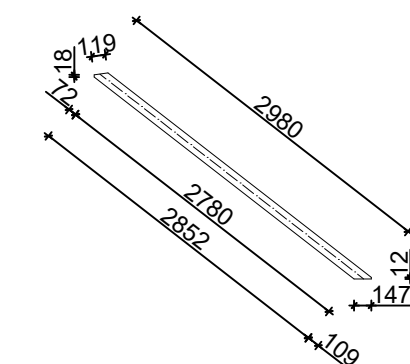
DIJAGONALA (D3) 180x180x6 l=2606mm, kom=2x11



DIJAGONALA (D4) 180x180x6 l=2786mm, kom=2x11



DIJAGONALA (D5) 180x180x6 l=2980mm, kom=2x11

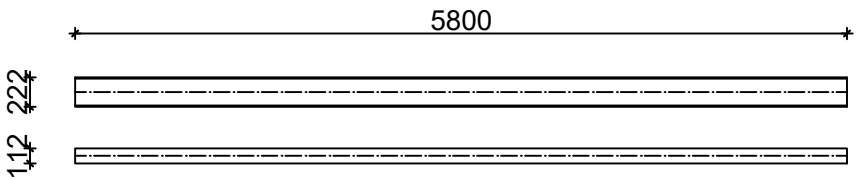


RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

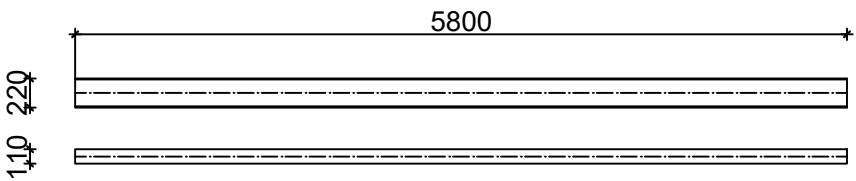
M 1:50

Gradovina: Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Radionički nacrt glavnog nosača	
Izradio: Marin Jukić	MJ: 1:50 Datum: rujan 2018.
PRIOLOG: 4	

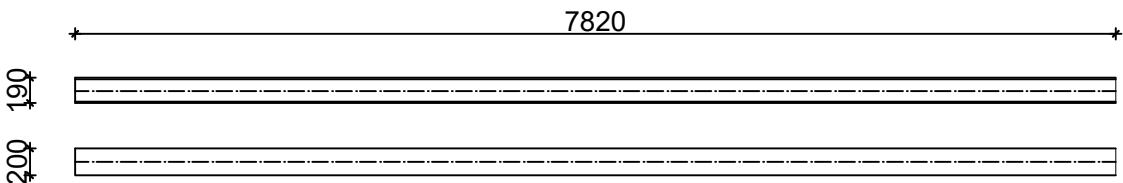
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 2200 I l=5800mm, kom=132



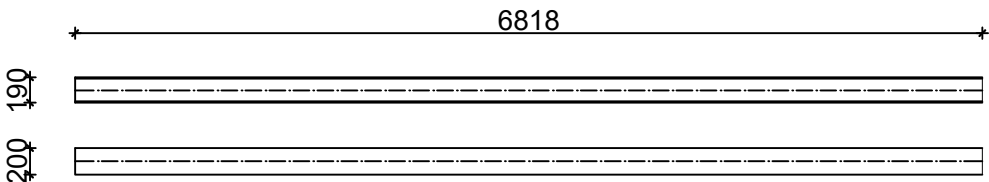
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 220 I l=5800mm, kom=88



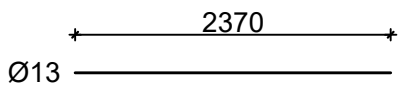
ZABATNI STUPOVI (ZB 1) HEA 200 I l=7820mm, kom=2



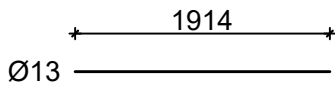
ZABATNI STUPOVI (ZB 2) HEA 200 I l=6818mm, kom=4



KROVNI SPREGOVI (KS1) • l=2370mm, kom=8



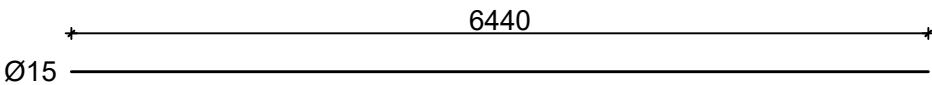
KROVNI SPREGOVI (KS2) • l=1914mm, kom=8



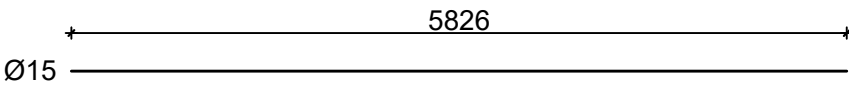
RADIONIČKI NACRT
SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

M 1:50

BOČNI SPREGOVI (BS 1) • l=6440mm, kom=8



BOČNI SPREGOVI (BS 2) • l=5826mm, kom=4

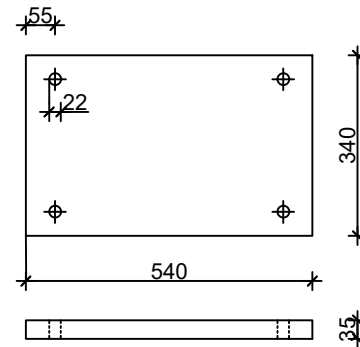


Građevina: Proizvodna hala	  SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Radionički nacrt sekundarne konstrukcije	
Izradio: Marin Jukić	MJ: 1:50 Datum: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

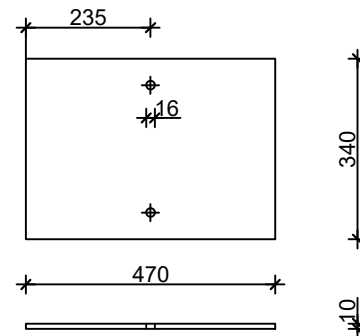
PRIKAZ PLOČICA

M 1:10

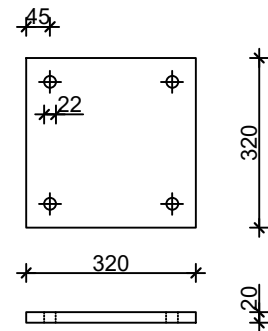
PLOČICA P1 540x340x35, kom=22



PLOČICA P2 470x340x10, kom=22



PLOČICA P3 320x320x20, kom=66



Građevina: Proizvodna hala

Predmet: Osnove metalnih konstrukcija

Tema: Proračun čelične
konstrukcije proizvodne hale

Sadržaj: Prikaz pločica

Izradio: Marin Jukić

PRILOG: 6



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

MJ: 1:10

Datum:
rujan 2018.

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTUKCIJU

POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED.TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 320	5490	22	97.6	11788.13
Donji pojas (DP1)	180x180x6	8000	22	32.1	5649.6
Donji pojas (DP2)	180x180x6	9000	11	32.1	3177.9
Gornji pojas (GP1)	180x180x6	8158	11	32.1	2880.6
Gornji pojas (GP2)	180x180x6	4568	11	32.1	1612.96
Gornji pojas (GP3)	180x180x6	12726	11	32.1	4493.55
Vertikala (V1)	180x100x4	718	22	16.8	265.37
Vertikala (V2)	180x100x4	724	22	16.8	267.59
Vertikala (V3)	180x100x4	1072	22	16.8	396.21
Vertikala (V4)	180x100x4	1420	22	16.8	524.83
Vertikala (V5)	180x100x4	1768	22	16.8	653.45
Vertikala (V6)	180x100x4	2109	11	16.8	389.74
Dijagonala (D1)	180x100x4	2244	22	16.8	829.38
Dijagonala (D2)	180x100x4	2431	22	16.8	898.5
Dijagonala (D3)	180x100x4	2606	22	16.8	963.18
Dijagonala (D4)	180x100x4	2786	22	16.8	1029.71
Dijagonala (D5)	180x100x4	2980	22	16.8	1101.41
Pločica (P1)	540x340x35	proračun preko zapremnine	22	50.44	1109.68
Pločica (P2)	470x340x10	proračun preko zapremnine	66	12.54	827.64
Pločica (P3)	320x320x20	proračun preko zapremnine	44	16.08	707.52
Krovne podrožnice	IPE 220O	5800	132	29.4	22508.64
Bočne podrožnice	IPE 220	5800	88	26.2	13372.48
Zabatni stupovi (ZS 1)	HEA 200	7820	2	42.3	661.57
Zabatni stupovi (ZS 2)	HEA 200	6818	4	42.3	1153.61

SUMA Σ : 77 263.25

**+2% SPOJNA
SREDSTVA** 1545.27

UKUPNO (kg): 78 808.52

UKUPNO (kg/m²): 54.35

Građevina: Proizvodna hala

Predmet: Osnove metalnih konstrukcija

Tema: Proračun čelične
konstrukcije proizvodne hale

Sadržaj: Predmjer materijala

Izradio: Marin Jukić

PRILOG: 7



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

MJ: /

Datum:
rujan 2018.