

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Kalcina, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:138214>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-06**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

ZAVRŠNI RAD

Iva Kalcina

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split,2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ**
GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: Iva Kalcina

BROJ INDEKSA: 4417

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka: Za zadane ulazne podatke bilo je potrebno izvršiti analizu opterećenja, dimenzionirati nosive elemente konstrukcije, te dimenzionirati spojeve konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal izrade: S235

Lokacija objekta: Osijek

Razmak okvira: 5,4 m

Širina objekta: 19,2 m

Visina stupova: 4,8 m

Nagib krovne plohe: 9%

U Splitu, 23.09.2019.

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

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Prema dobivenim ulaznim podacima izvršena je analiza opterećenja, te su dimenzionirani glavni i sekundarni nosivi dijelovi čelične konstrukcije. Analiza opterećenja i dimenzioniranje su proračunati prema Eurocode-u. Čelična konstrukcija ima raspon glavnog nosača od 19,2 m te deset uzdužnih raspona s na razmaku od 5,4 m, što čini ukupnu dužinu od 54 m.

Ključne riječi:

Opterećenje, dimenzioniranje, eurocode, glavni nosač, sekundarni nosač, čelik.

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

According to input data it was calculated load analysis and the main and secondary load-bearing parts of the steel structure are dimensioned. Load analysis and dimension analysis were calculated according to Eurocode. Steel structure have main load-bearing span of 19,2 m in one way and ten range at distance of 5,4 m in other way, what making a total length of 54 m.

Keywords:

Load, dimension, eurocode, main load-bearing structure, secondary load-bearing structure, steel.

SADRŽAJ

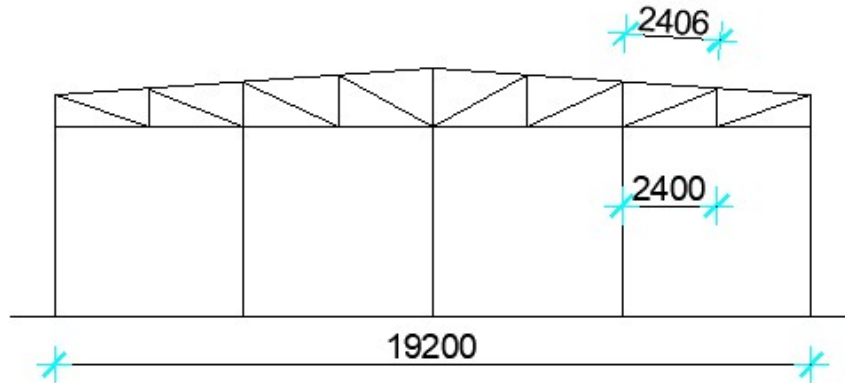
1. TEHNIČKI OPIS.....	1
1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI	3
1.2.2. STUPOVI.....	3
1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ.....	4
1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE	5
1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	6
2. ANALIZA OPTEREĆENJA	7
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	8
2.3. DJELOVANJE VJETRA.....	9
3. KONTROLA PROGIBA	17
3.2. STUP- 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
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....	23
4.2.1. ZABATNI STUPOVI.....	23
4.2.2. KROVNI	25
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI.....	26
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE	28
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE	32
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE	34
5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA	43
5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA	47
5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA	51
5.1.5. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA	55
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA.....	59
5.2.2. ZABATNI STUPOVI.....	64
5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA	68

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA.....	72
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA	74
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE.....	80
6.3. SPOJ STUP-REŠETKA.....	83
7. PRORAČUN TEMELJA	88
8. LITERATURA	90
9. POPIS TABLICA I SLIKA.....	91
9.2. POPIS TABLICA	93
10. NACRTI	94
10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200	95
10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50	96
10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10.....	97
10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50	98
10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50.....	99
10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10	100
10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU	101

1. TEHNIČKI OPIS

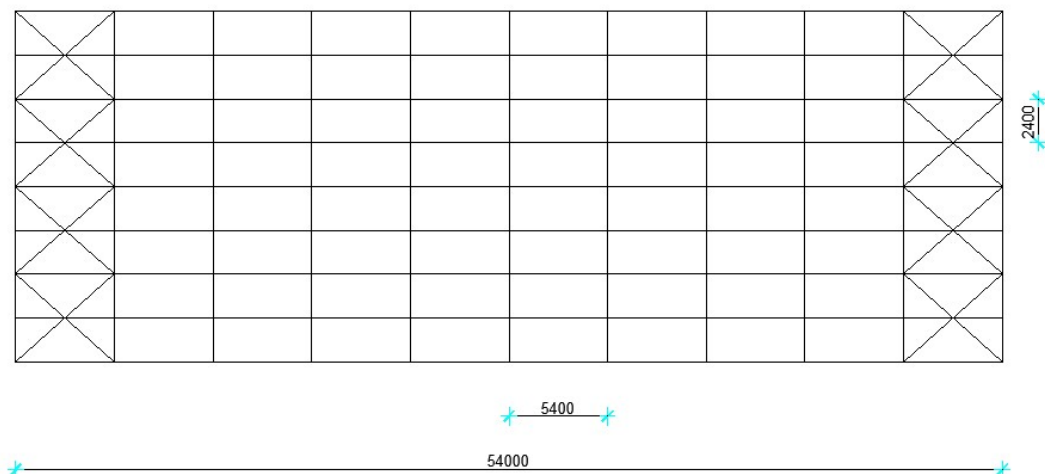
1.1. OPIS KONSTRUKCIJE

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtna dimenzija su 19.2 x 54.0 m, a visina iznosi 6.46 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 19.2 m, stabilnih u svojoj ravnini na međusobnom osnom razmaku od 5.4 m.



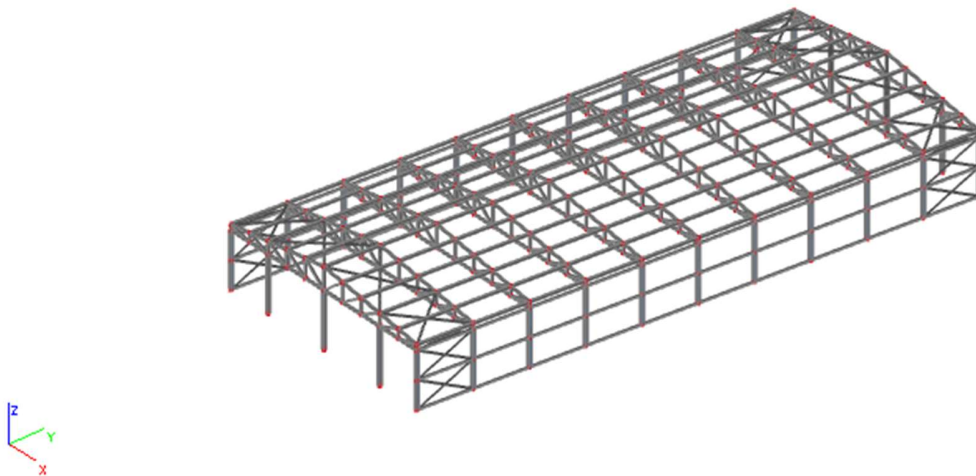
Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (krovne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.406 m, a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2.4 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 150x150x5.0.

Gornji pojas je ukupne dužine (do sljemena) 9623 mm, a donji pojas je ukupne dužine 19 200mm. Spojevi su pozicionirani na mjestima najvećih vlačnih sila.

1.2.2. STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi I profila, tipa HEA 200 ukupne dužine 4800 mm. Zabatni stupovi su I profila, tipa HEA 100 na razmacima 4,8 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) za vertikale CFRHS 80x80x5, a za dijagonale šuplji hladno oblikovani profil CFRHS 80x80x5. 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 240. Projektirane su kao proste grede (od nosača do nosača) dužine su 5400mm, 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 5400mm.

1.2.5. SPREGOVI

U konstrukciji su korišteni horizontalni (krovni) i vertikalni (bočni) spregovi za prostornu stabilizaciju objekta. Služe za prijenos horizontalnih (vjetrovnih) 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 12, a za bočne spregove profil RD 12.

1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ

Spoje se ostvaruje podložnom pločicom dimenzije 350/240/20 mm navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16 k.v. 5,6 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 350x240x20 mm, ukrutom i vijcima M20 k.v.8.8 nosivim na vlak i odrez.

1.2.8. NASTAVAK REŠETKE

Vlačni nastavak rešetke se ostvaruje čeonom pločom dimenzija 272x272x20 mm i vijcima M20 k.v. 8,8 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

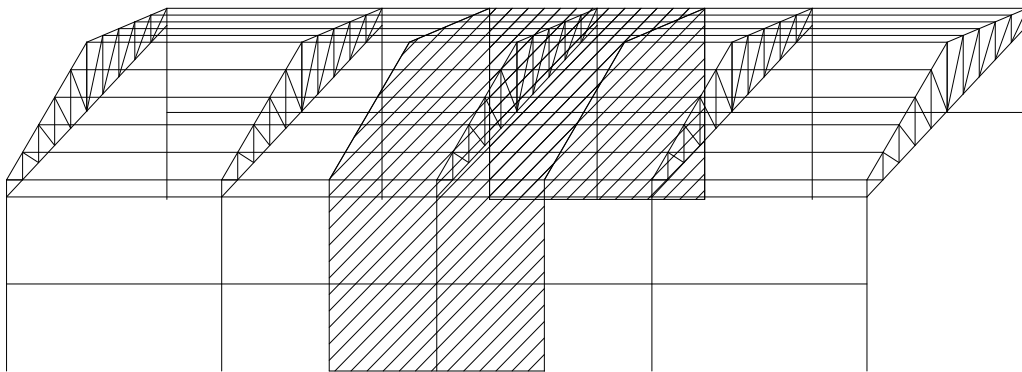
-instalacije

-pokrov

PROMJENJIVA OPTEREĆENJA: - snijeg

- vjetar (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 zglobno 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) S235.

Računske vrijednosti koeficijenata čelika su:

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

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

$$\nu=0.3$$

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

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

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 takvi elementi moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature.

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

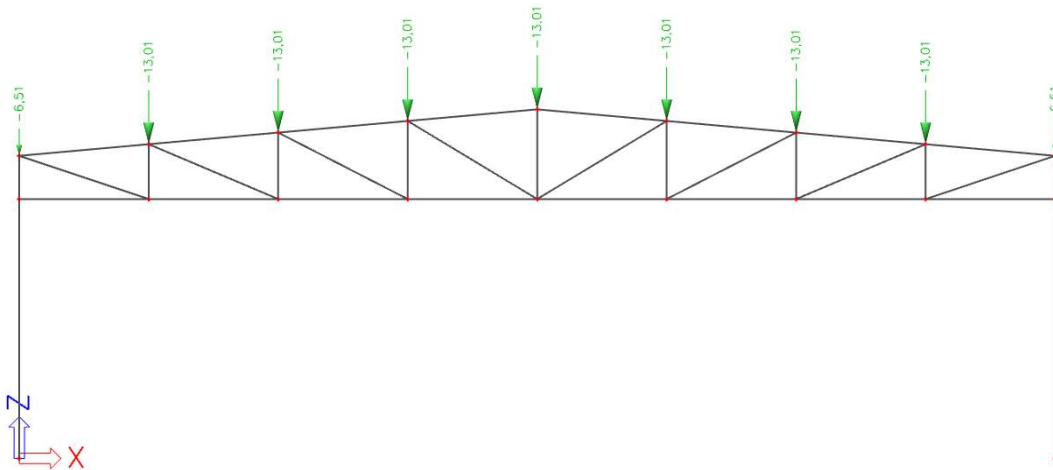
2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (REŠETKASTI NOSAČ) STALNO OPTEREĆENJE

-sendvič paneli (aluminij)	0.2 kN/m ²
-sekundarna konstrukcija i spregovi	0.6 kN/m ²
-instalacije	0.2 kN/m ²

UKUPNO: $\Sigma=1.0\text{N/m}^2$

$$G_{kp} = 1 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,4\text{m} = 5,4 \text{ kN/m'}$$



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: Osijek

Nadmorska visina: 0-100 m n.m.

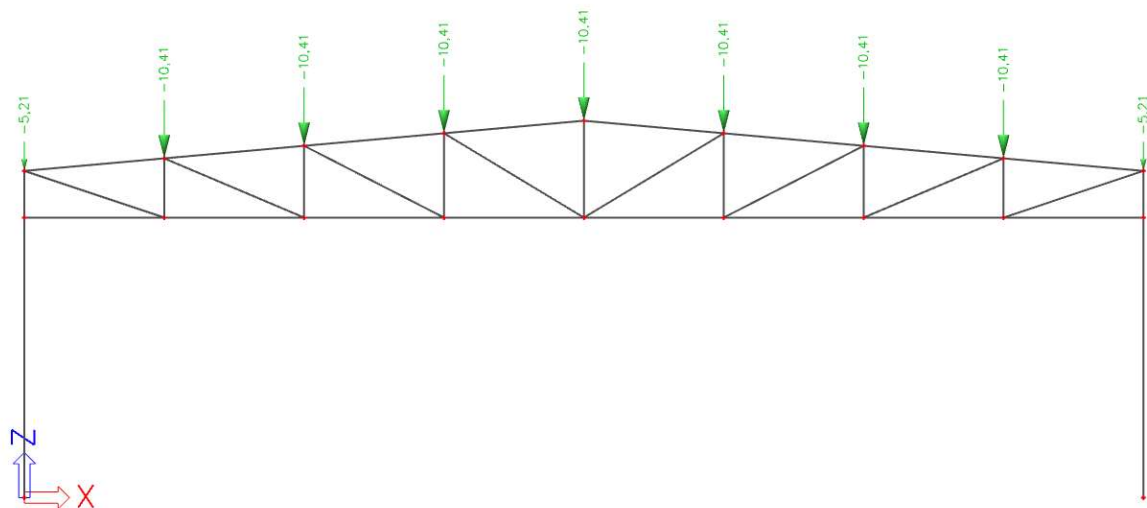
Opterećenje snijegom na tlo: $s_k=1\text{kN/m}^2$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

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

$$S = 0.8 \cdot 5.4 = 4.32\text{kN}$$

$$\frac{S}{2} = \frac{4.32}{2} = 2.16\text{kN}$$



Slika 6 Opterećenje glavnog nosača snijegom

2.3. DJELOVANJE VJETRA

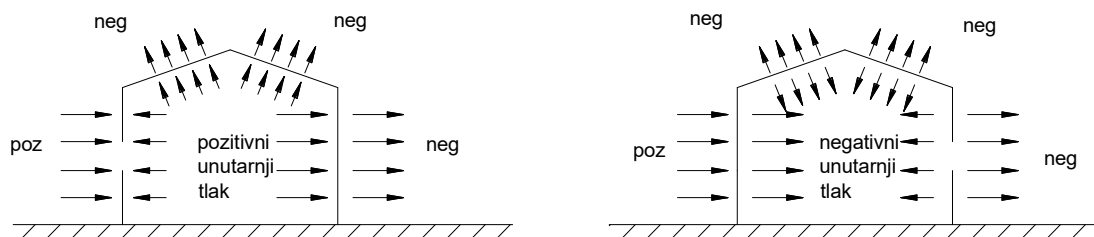
-Pritisak vjetra na vanjske površine $w_e = q_p \cdot |z_e| \cdot C_{pe}$ [kN/m²]

-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:

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

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)

$v_{b,o}$ - 20 m/s (za područje Osijeka očitano iz karte)

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 20 = 20 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 20^2 = 0.250 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje faktora izloženosti:

Visina objekta $h=6,46\text{m}$

Kategorija zemljišta II

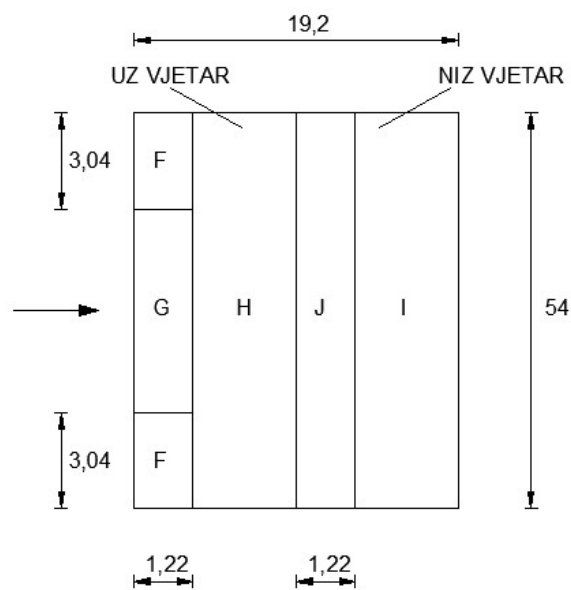
$C_{e(z)}=2.05$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = (1 + 7 * 0,326) * \frac{1}{2} * 1,25 * 121 = 0.248 \text{ kN/m}^2$$

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

$$e = \min(b, 2h) \rightarrow (54, 12.92) \rightarrow e = 12.92$$



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 ($C_{pi}=-0.3$)

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

$$q_p = 0,248 \text{kN/m}^2$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 5.4 \text{m (razmak glavnih nosača)}$$

Vietar W1 pozitivi unutarnji pritisak

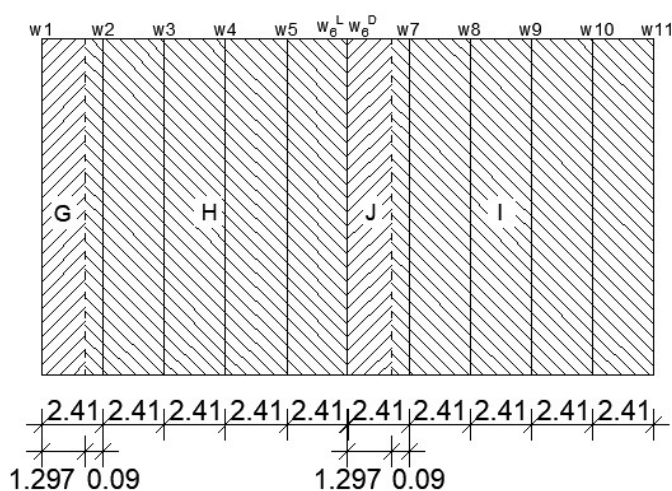
PODRUČJE	F	G	H	I	J
W_e	-0.42	-0.30	-0.15	-0.15	0.05
W_i	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-0.47	-0.35	-0.2	-0.2	0
$W_k [\text{kN/m}']$	-2.54	-1.89	-1.08	-1.08	0

Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
W_e	0	0	0	-0.15	-0.15
W_i	-0.07	0.07	-0.07	-0.07	-0.07
w_k [kN/m ²]	-0.07	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08
W_k [kN/m']	-0.38	-0.38	-0.38	-0.43	-0.43

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	$=1,89 \cdot 1,205 = \mathbf{2,277kN}$	W_1	$=0,38 \cdot 1,205 = \mathbf{0,4579kN}$
W_2	$=1,89 \cdot 0,092 + 1,08 \cdot 2,318 = \mathbf{2,677kN}$	W_2	$=0,38 \cdot 0,092 + 0,38 \cdot 2,318 = \mathbf{0,9158kN}$
W_3	$=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$	W_3	$=0,38 \cdot 2,41 = \mathbf{0,9158kN}$
W_4	$=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$	W_4	$=0,38 \cdot 2,41 = \mathbf{0,9158kN}$
W_5	$=1,08 \cdot 1,205 = \mathbf{1,301kN}$	W_5	$=0,38 \cdot 1,205 = \mathbf{0,4579kN}$
W_6	$=1,08 \cdot 1,205 = \mathbf{1,3014kN}$	W_6	$=0,43 \cdot 1,205 = \mathbf{0,5185kN}$
W_7	$=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$	W_7	$=0,43 \cdot 2,41 = \mathbf{1,0363kN}$
W_8	$=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$	W_8	$=0,43 \cdot 2,41 = \mathbf{1,0363kN}$
W_9	$=1,08 \cdot 2,41 = \mathbf{2,603kN}$	W_9	$=0,43 \cdot 2,41 = \mathbf{1,0363kN}$
W_{10}	$=1,08 \cdot 1,205 = \mathbf{1,3014kN}$	W_{10}	$=0,43 \cdot 1,205 = \mathbf{0,5185kN}$

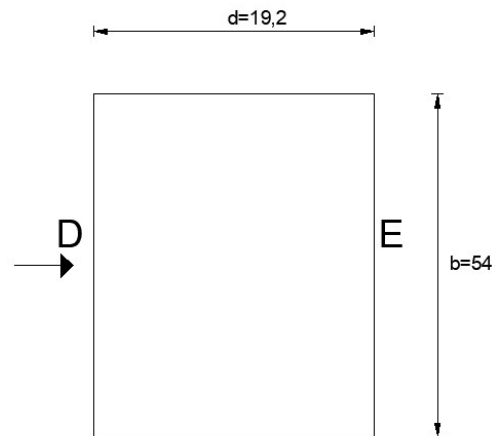
ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE

$$e = \min(b, 2h) \rightarrow \min(54, 12.92)$$

$$e = 12,92\text{m}$$

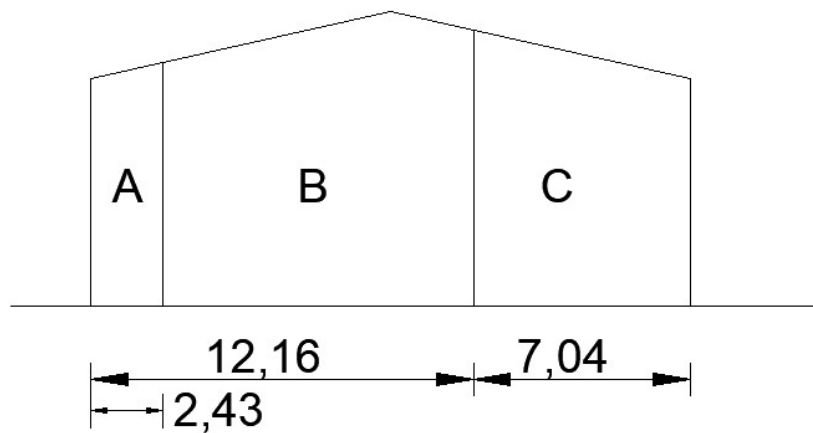
$$h = 6,46\text{m}$$

$$d = 19,2\text{m}$$



$$\frac{h}{d} = \frac{6,46}{19,2} = 0.67$$

Slika 10 Definiranje područja za vertikalne zidove



Slika 11 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove- bočni pogled

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1.2	-0.8	-0.5	+0.75	-0.4

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	+0.55	-0.6

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	+1.05	-0.1

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

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

$$q_p = 0,248 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{preuzeto iz analize opterećenja glavnog nosača}$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}'] \rightarrow L = 5.4\text{m} (\text{razmak glavnih nosača})$$

Vjetar W1, pozitivni unutarnji pritisak

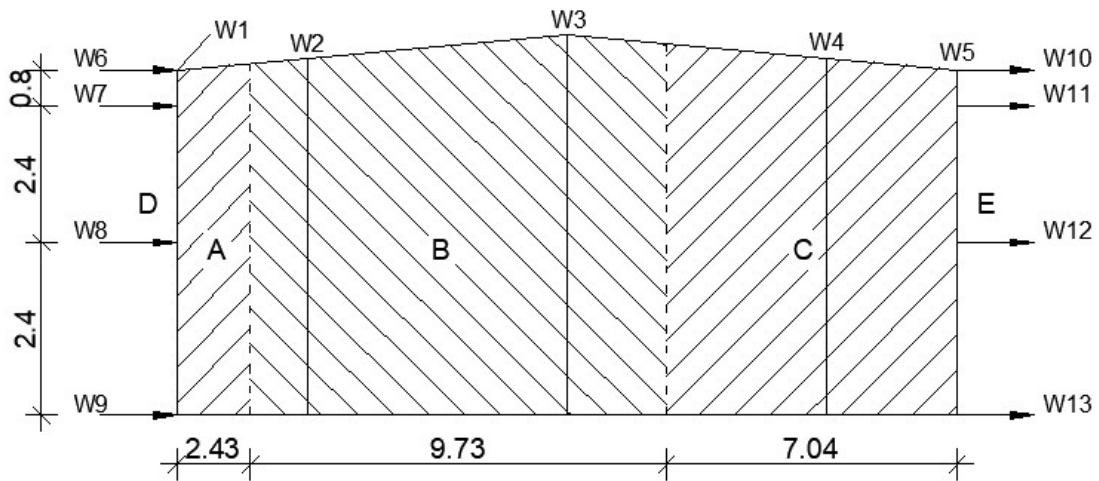
PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4
$W_e [\text{kN/m}^2]$	-0,3	-0,2	-0,12	0,19	-0,10
$W_i [\text{kN/m}^2]$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$w_k [\text{kN/m}']$	-0,35	-0,25	-0,17	0,14	-0,15

Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2, negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4
W_e [kN/m ²]	-0,3	-0,2	-0,12	0,19	-0,10
W_i [kN/m ²]	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07
w_k [kN/m']	-0,23	-0,13	-0,05	0,26	-0,03

Tablica 12 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak



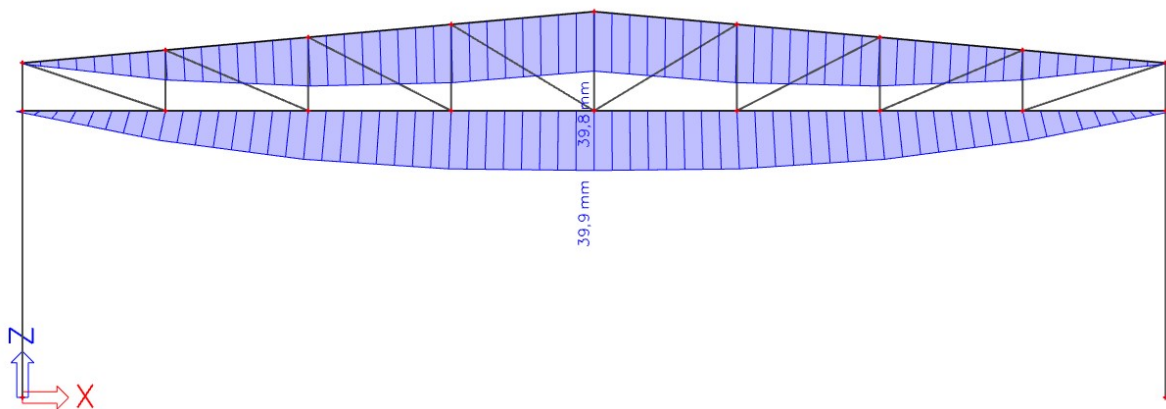
Slika 12 Prikaz polja u odnosu na konstrukciju

3. KONTROLA PROGIBA

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

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



Slika 15 Vertikalni progib glavnog nosača

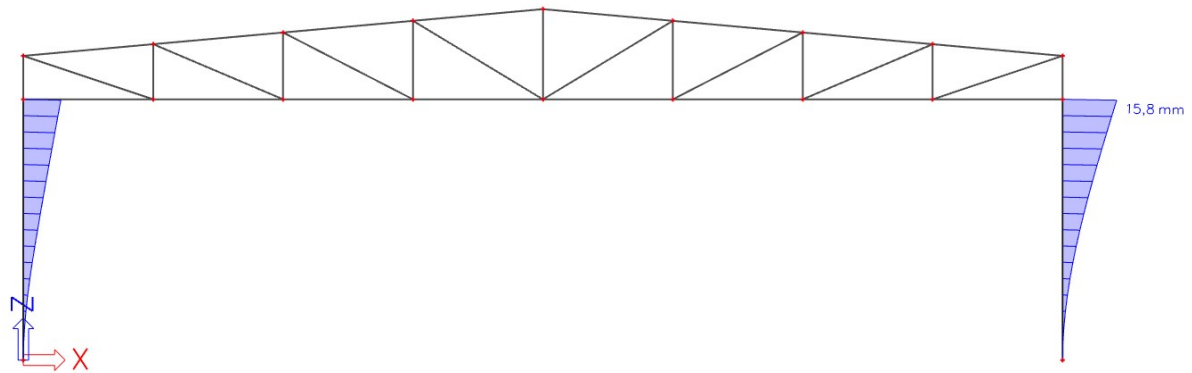
$$\text{Dopušteni progib: } \frac{L}{300} = \frac{19\,000}{300} = 63\text{mm}$$

$$\frac{39,9}{64} = 0,63 \rightarrow 63\%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti do 63%.

3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB

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



Slika 16 Horizontalni progib glavnog nosača

$$\text{Dopušteni progib: } \frac{H}{300} = \frac{4800}{300} = 16\text{mm}$$

$$\frac{15,8}{16} = 0.99 \rightarrow 99\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti sa 99%.

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

- gornji pojas CFRHS 150x150x5.0
- donji pojas CFRHS 150x150x5.0
- vertikale CFRHS 60x60x3.0
- dijagonale CFRHS 60x60x3.0
- stup HEA 200

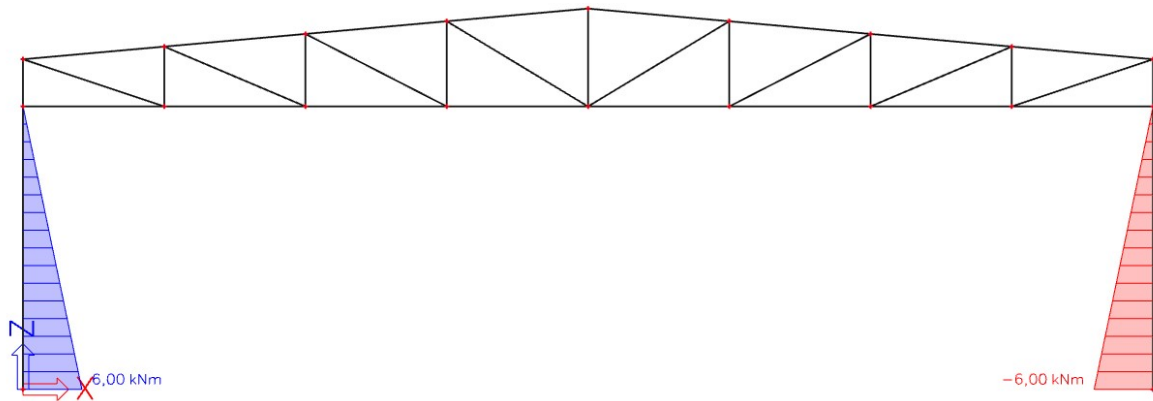
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

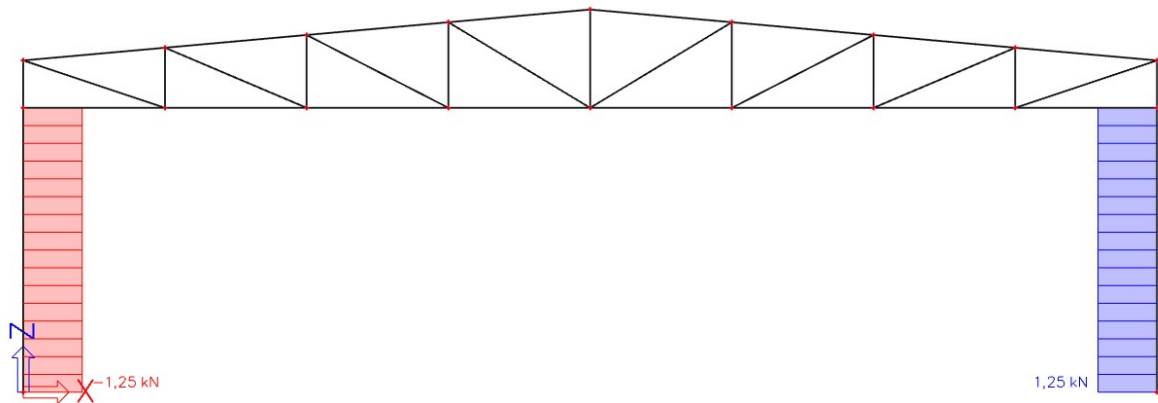
4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

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

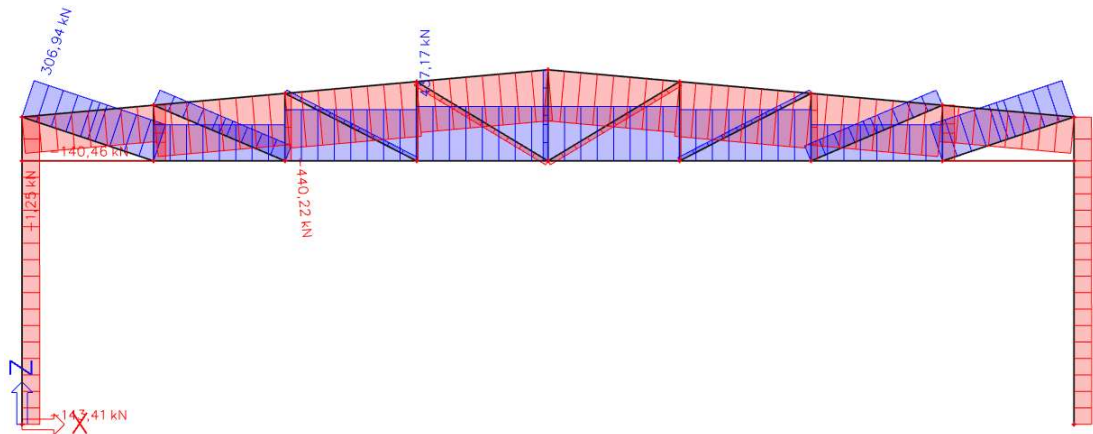
4.1.1. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5S



Slika 17 Dijagram momenata za kombinaciju 1

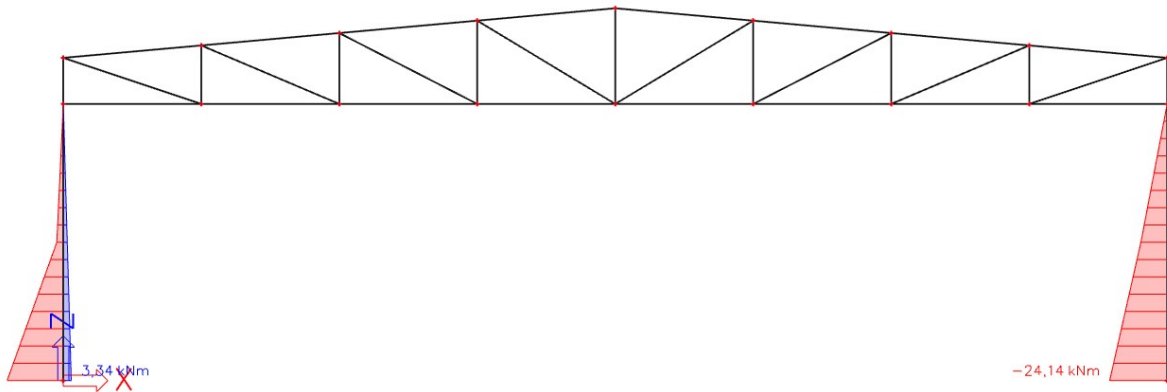


Slika 18 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1

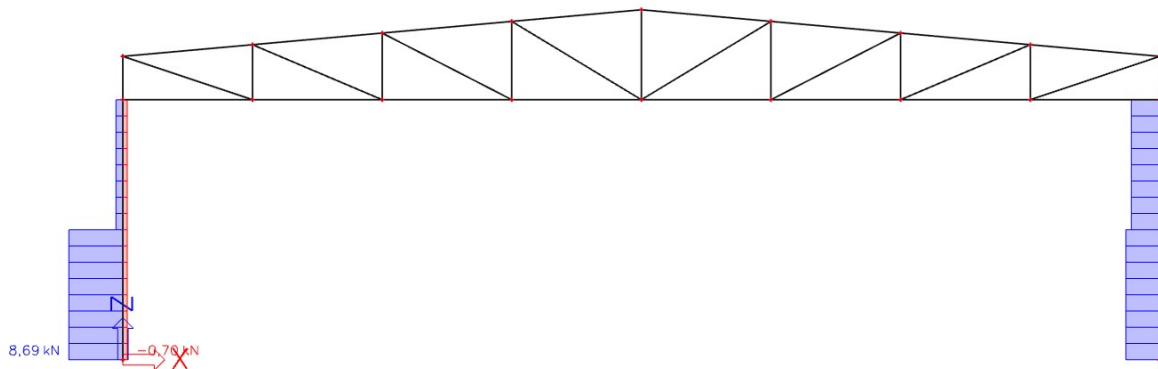


Slika 19 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

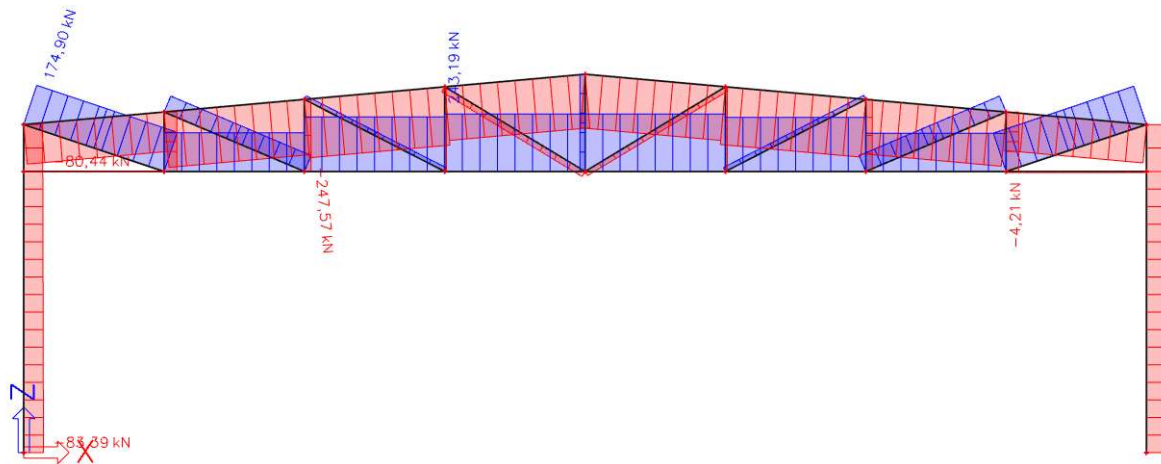
4.1.2. KOMBINACIJA $1.35(LC1+G) + 1.5W2$



Slika 20 Dijagram momenata za kombinaciju 2

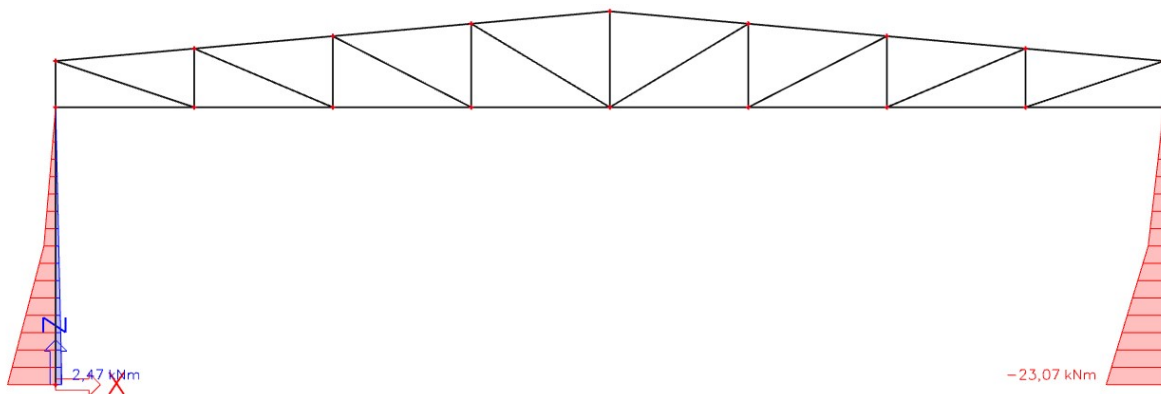


Slika 21 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2

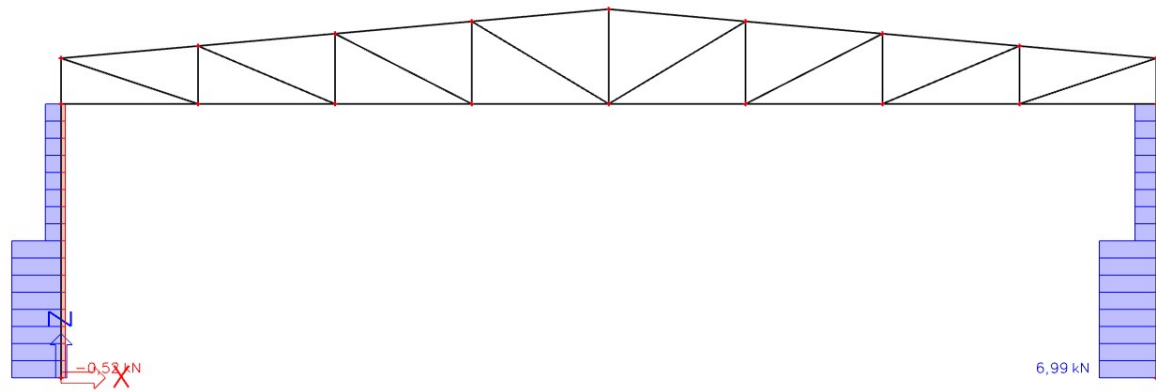


Slika 22 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

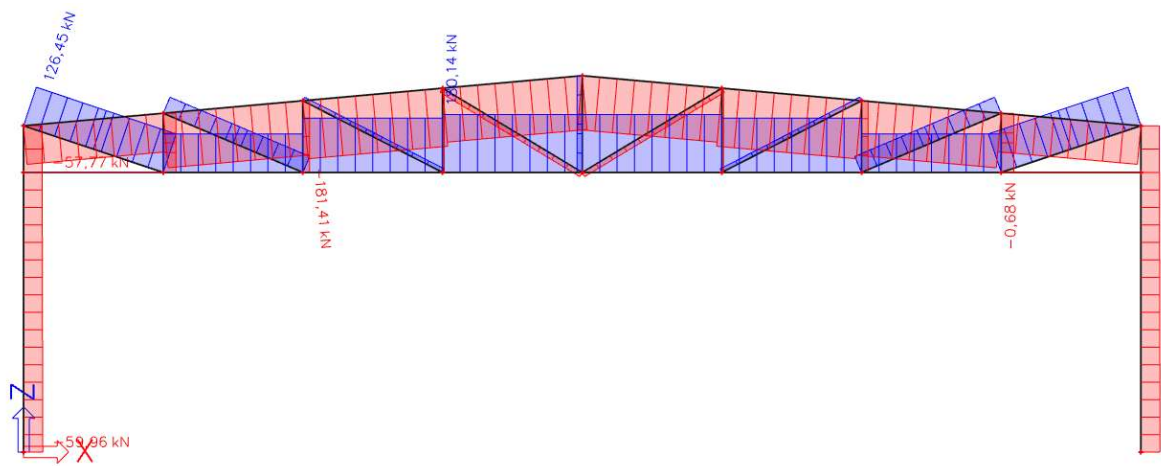
4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1



Slika 23 Dijagram momenata za kombinaciju 3



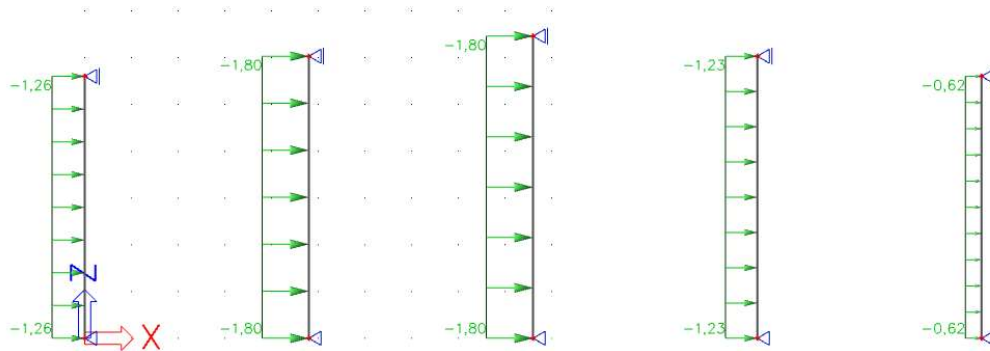
Slika 24 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3



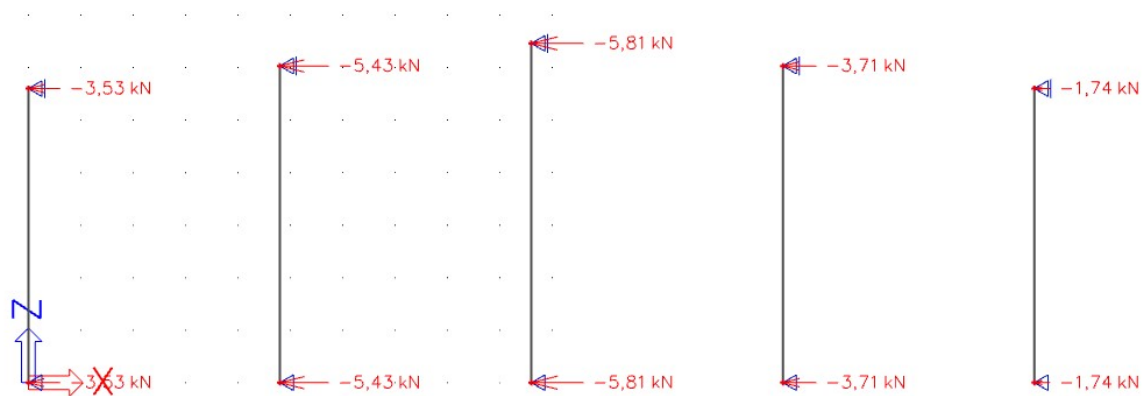
Slika 25 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

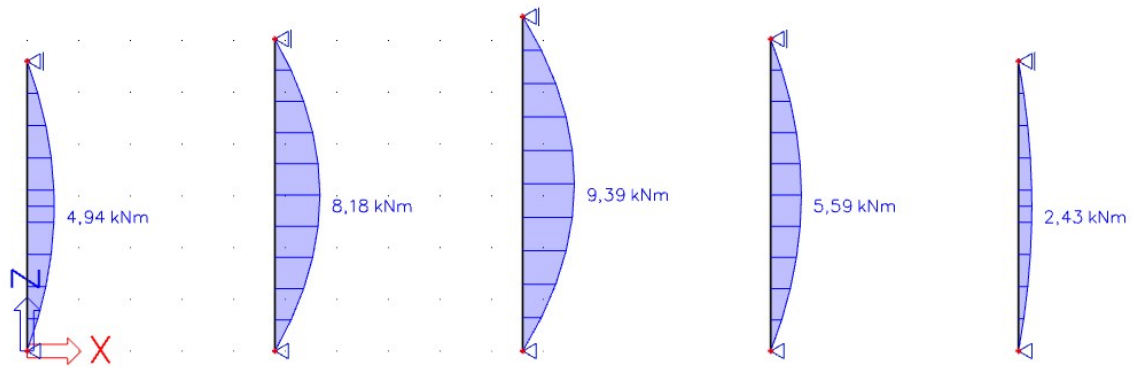
4.2.1. ZABATNI STUPOVI (Za djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1)



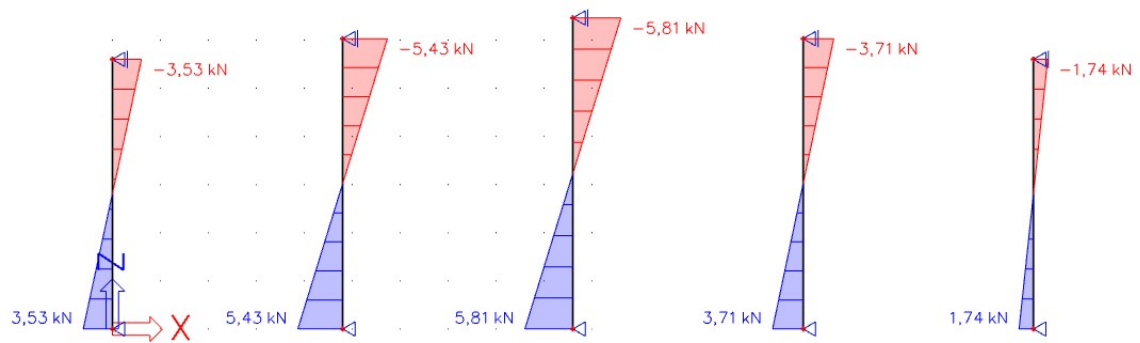
Slika 26 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2 na zabatne stupove



Slika 27 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W2

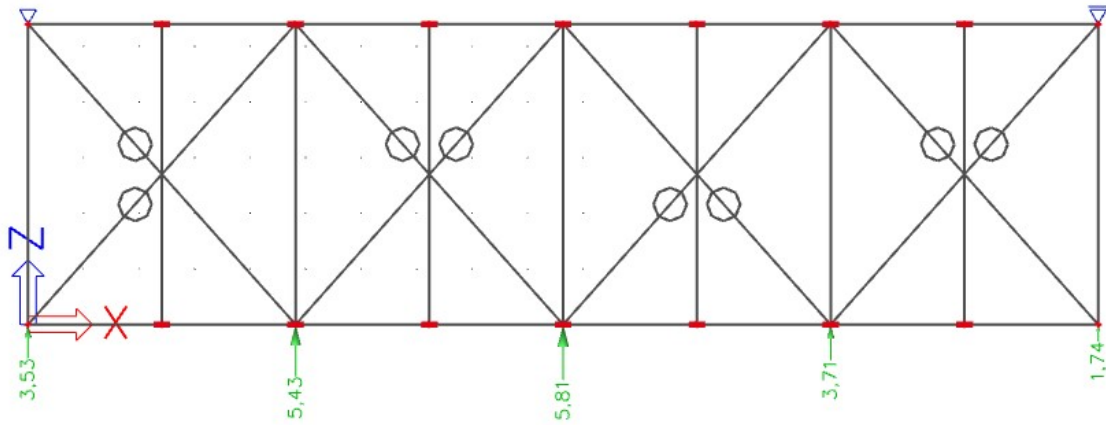


Slika 28 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja W2

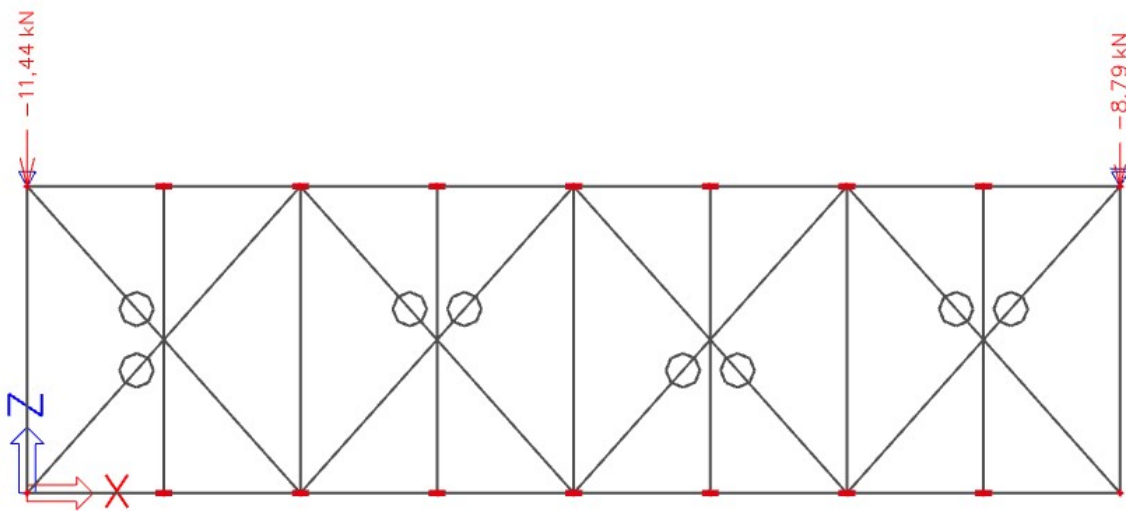


Slika 29 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja W2

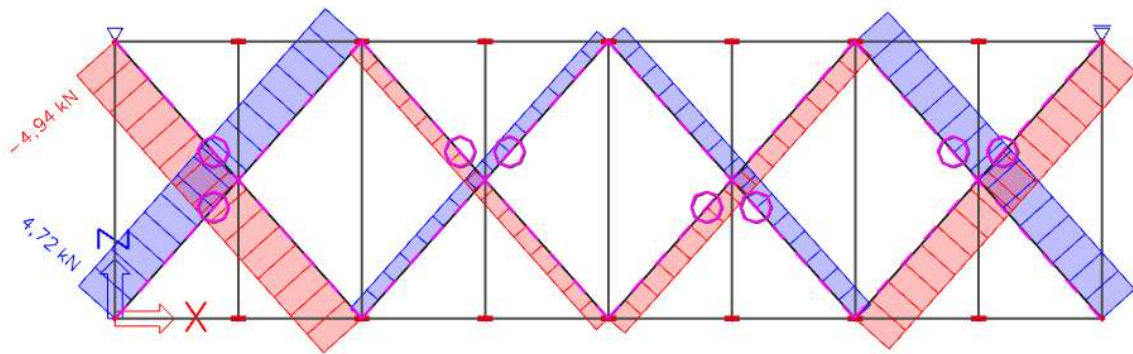
4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI



Slika 30 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova)

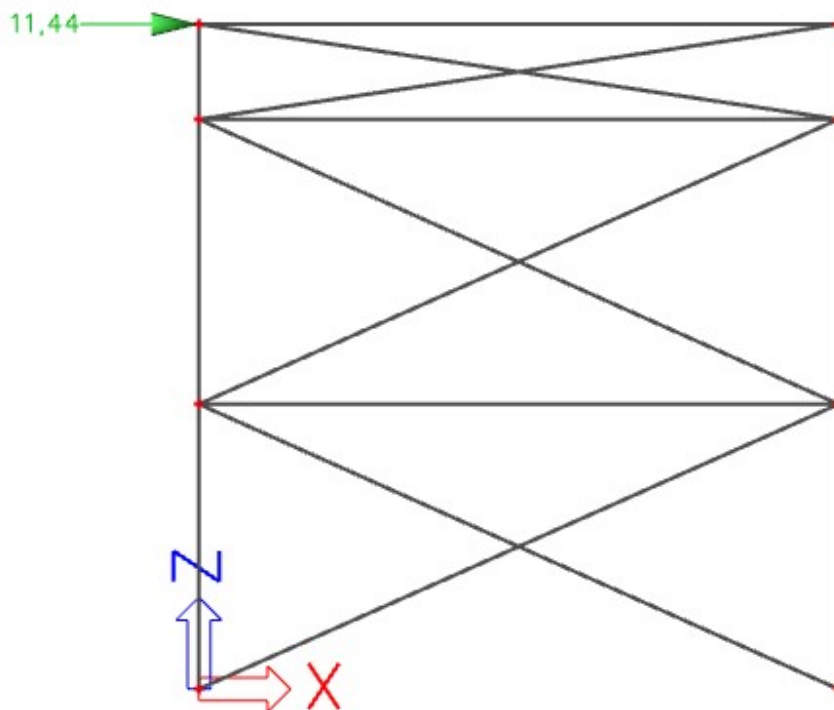


Slika 31 Reakcije horizontalnog sprega

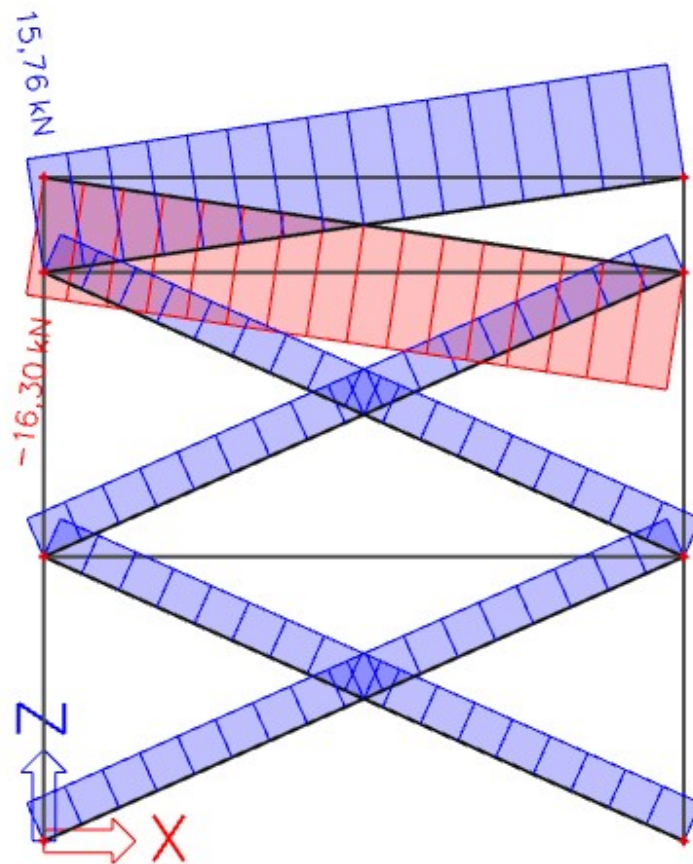


Slika 32 Dijagram uzdužnih sila

4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI



Slika 33 Djelovanje na bočni spreg



Slika 34 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

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

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

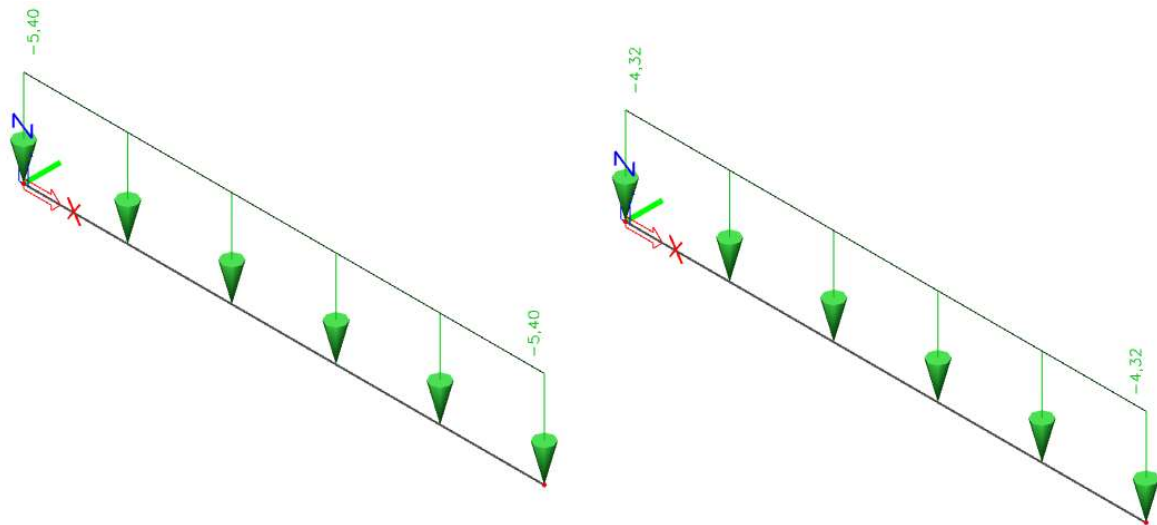
$$G_z = g \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.056 \text{ kN/m'}$$

OPREREĆENJE SNIJEGOM

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

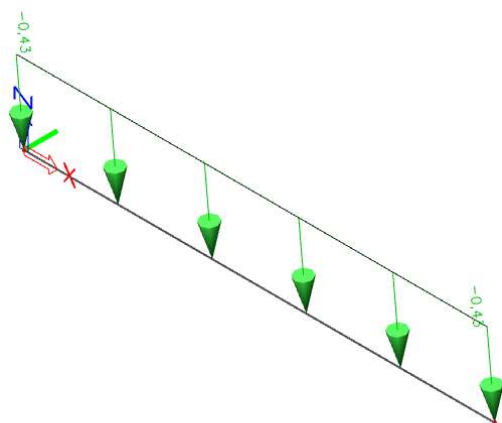
$$S_y = S \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 1.49 \text{ kN/m'}$$

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

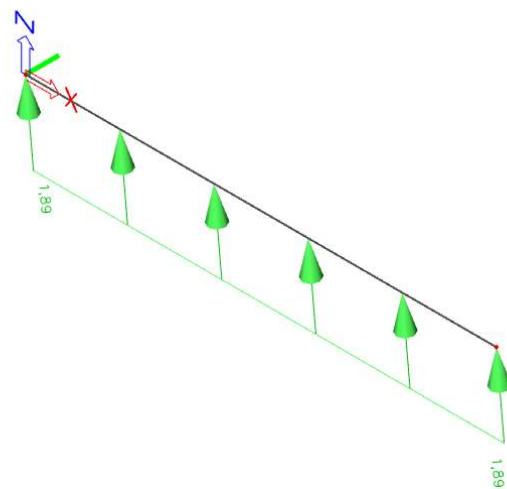


Slika 35 Djelovanja na krovnu podrožnicu

Opterećenje vjetrom W_1

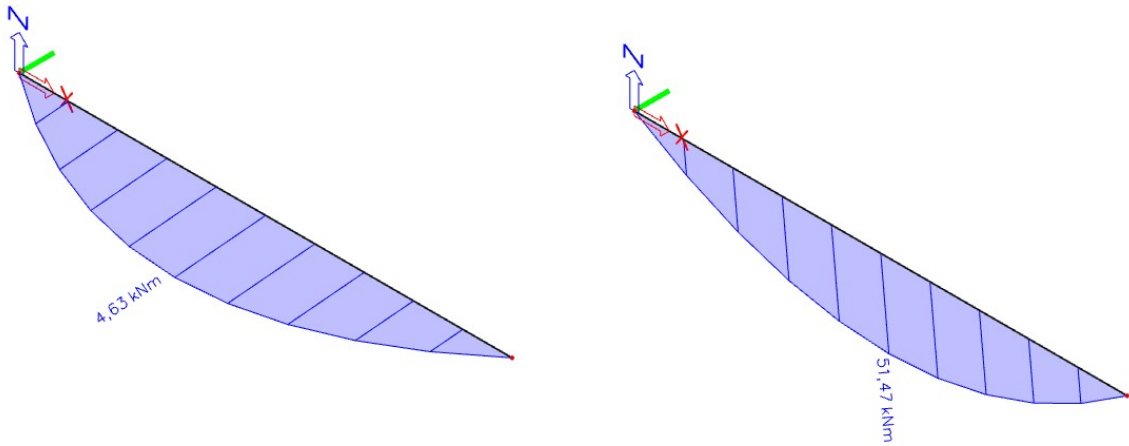


Opterećenje vjetrom W_2

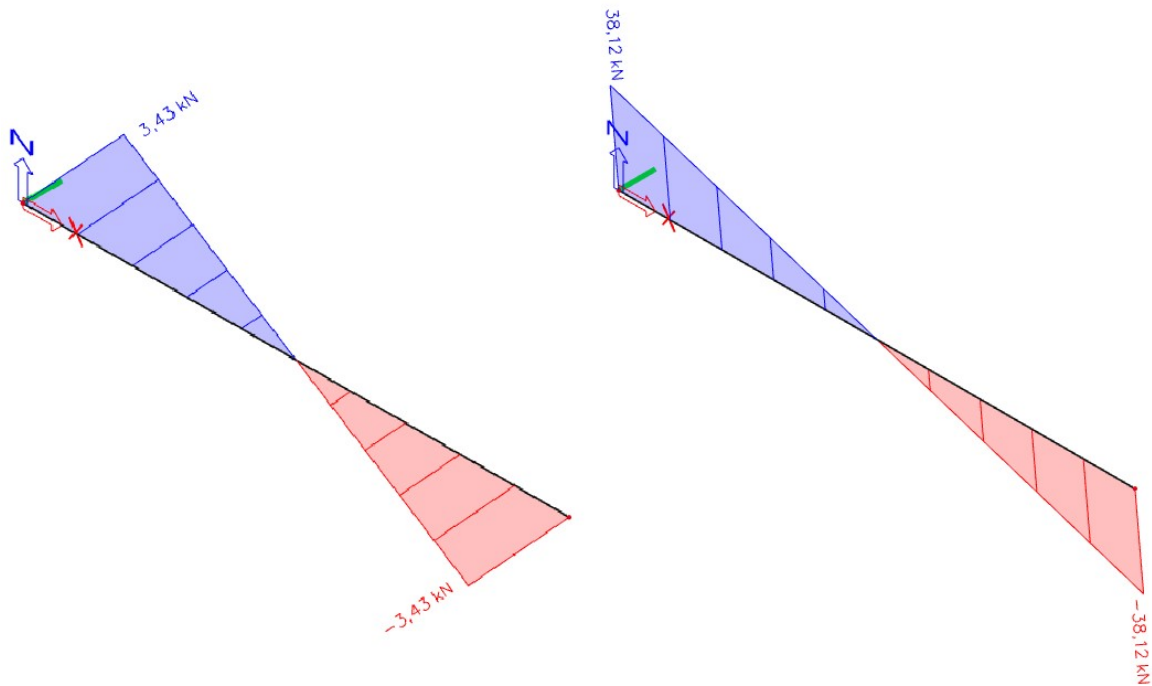


Slika 36 Djelovanje vjetra na krovne podrožnice

1. KOMBINACIJA 1.35(LC₁+G)+1.5S

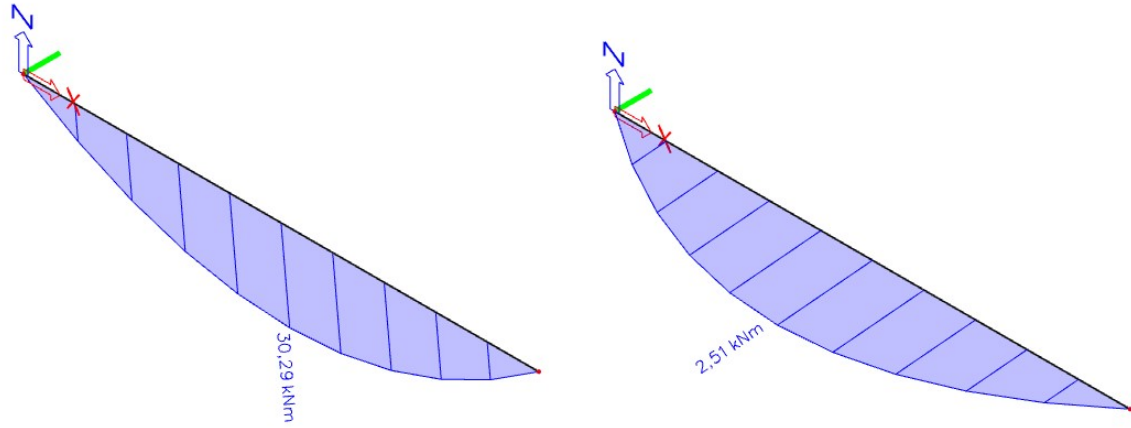


Slika 37 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 1

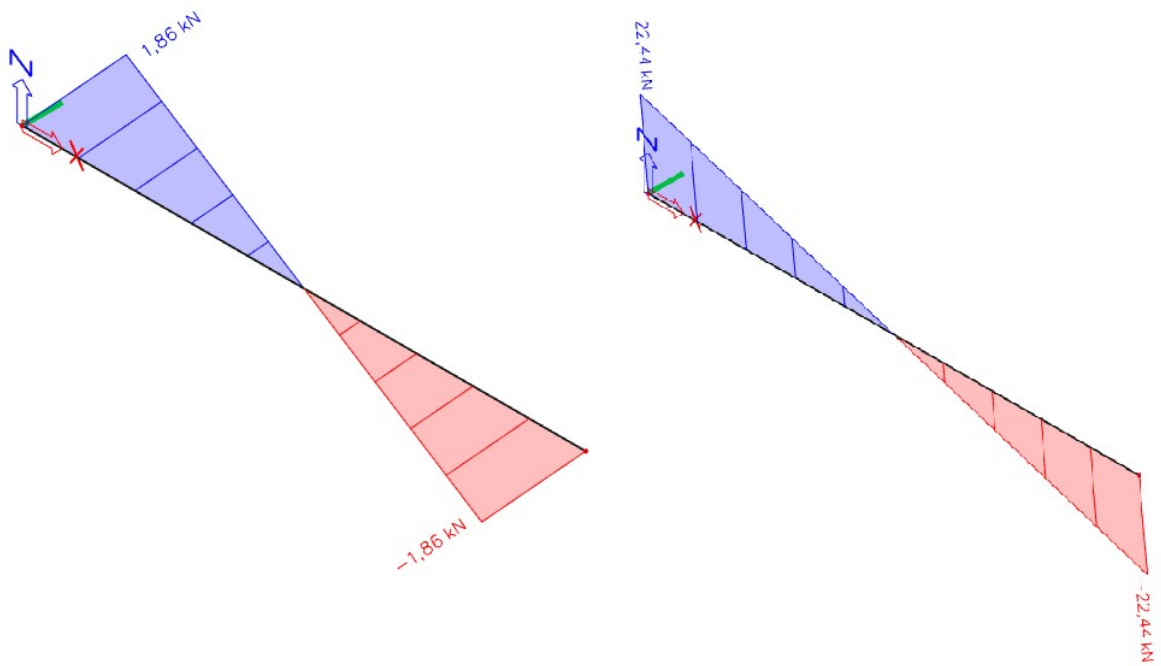


Slika 38 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 1

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

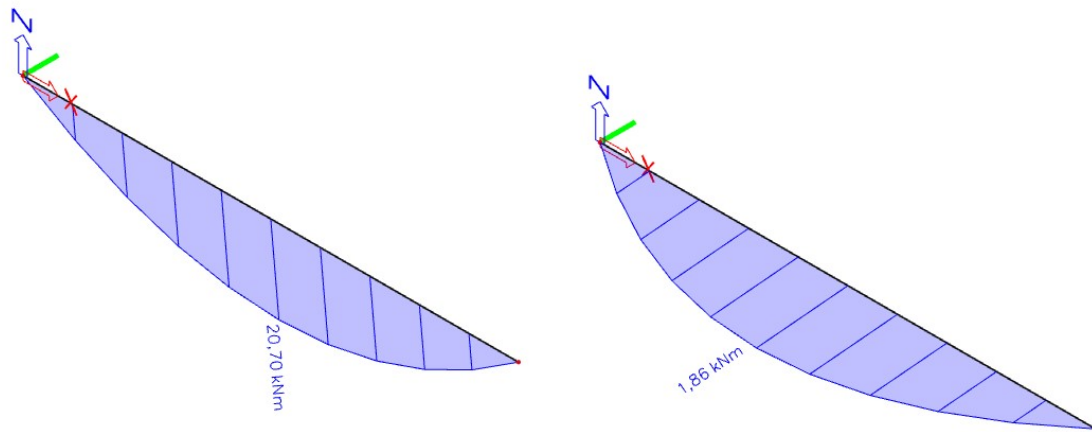


Slika 39 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 2

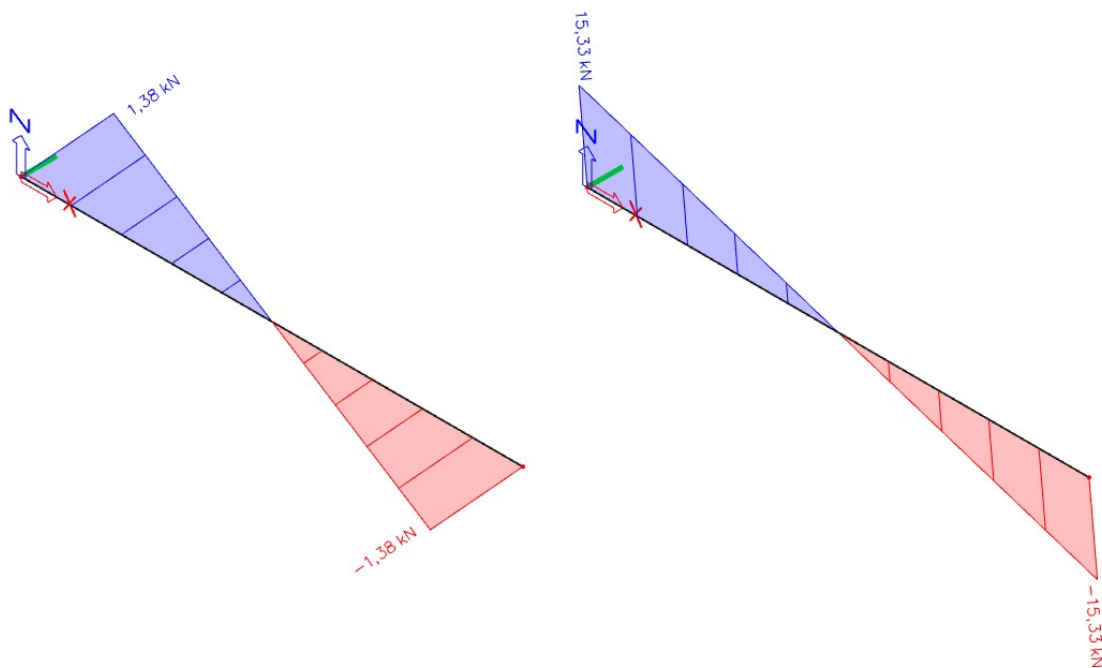


Slika 40 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 2

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

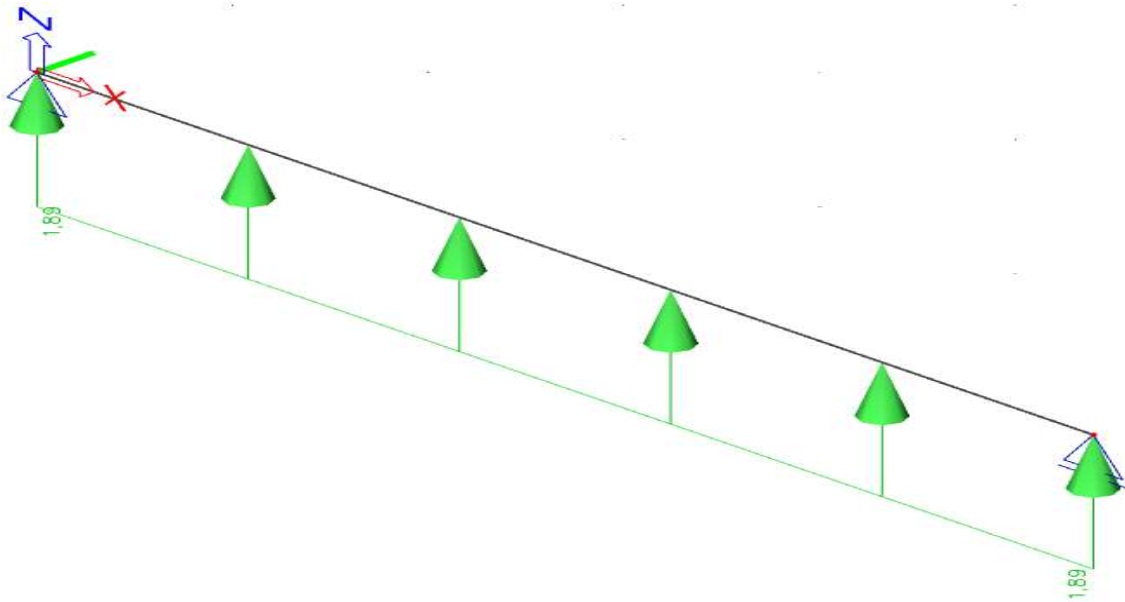


Slika 41 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 3

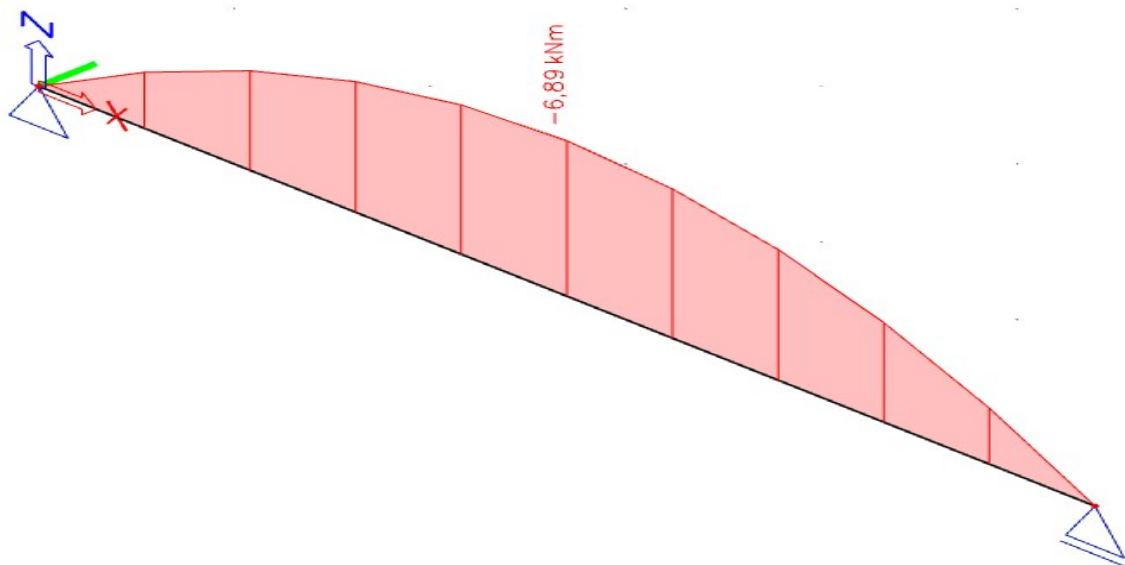


Slika 42 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 3

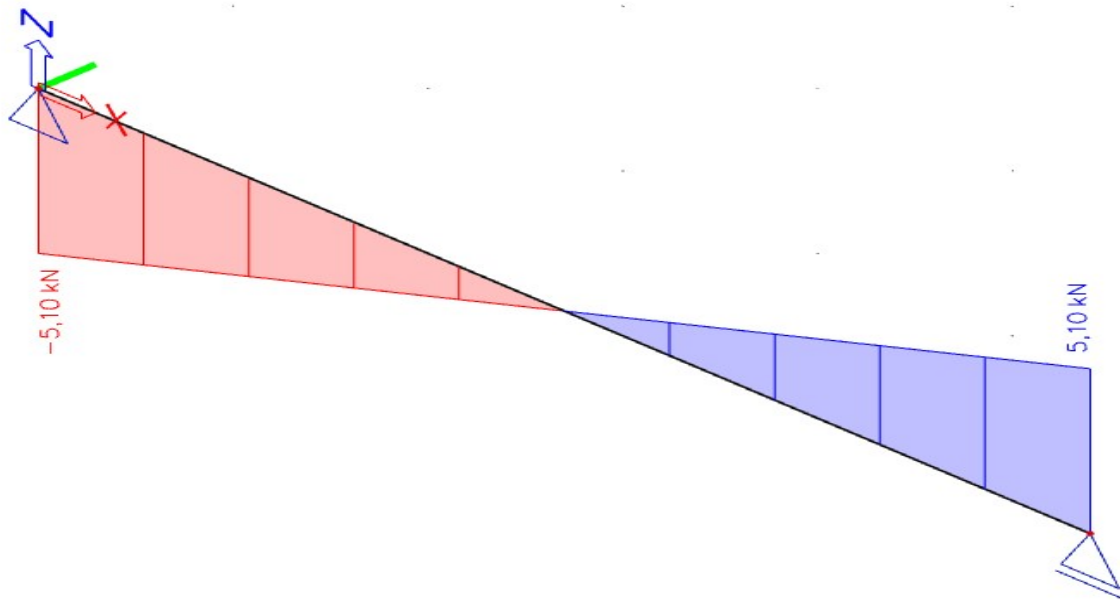
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE



Slika 43 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu



Slika 44 Dijagram momenata za djelovanje vjetra

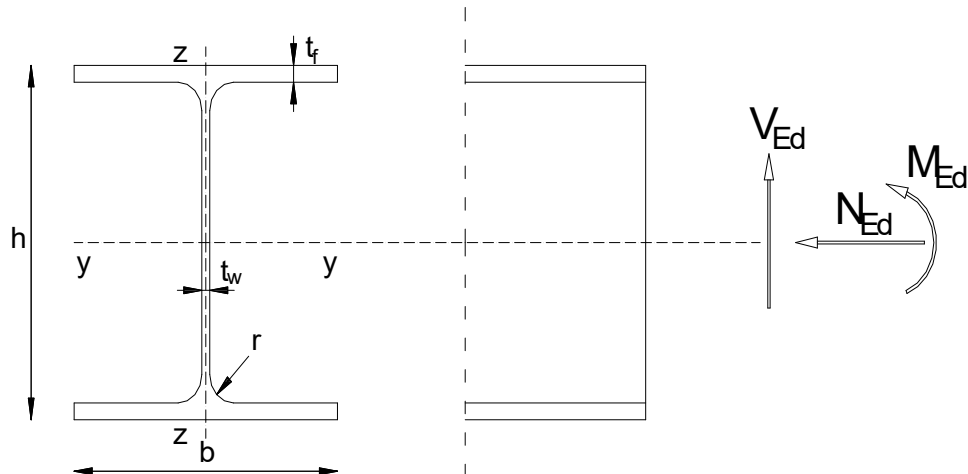


Slika 45 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 46 Poprečni presjek stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA200	Moment tromosti	$I_y=3690\text{cm}^4$ $I_z=1340\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=429,17\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=203,75\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=190\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=108000\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=200\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=21\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=10\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=7\text{mm}$		
Radius:	$r=18\text{mm}$		
Površina:	$A=53,8\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235→	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=\$	6,00 kNm		
$V_{z,Ed}=\$	1,25 kN		
$N_{Ed}=\$	-143,41 kN		
$M_{y,Ed}=\$	24,14 kNm		
$V_{z,Ed}=\$	8,69 kN		
$N_{Ed}=\$	-83,39 kN		

Tablica 14 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19,14$$

$$19,14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 19,14 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{200}{2} - \frac{7}{2} - 18 = 78,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{78,5}{10} = 7,85$$

$$7,85 \leq 9\varepsilon \rightarrow 7,85 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA NE ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,8 \cdot 23,5}{1,00} = 1264,3 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1264,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 145,61 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1264,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 83,39 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{429,17 \cdot 23,5}{1,00} = 10085,5 \text{ kNcm} = 100,9 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 100,9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 24,24 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 100,9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6,00 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{190 - 2 \cdot 10}{7} = 24,29$$

$$24,29 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1.20} = 60$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 53,8 - 2 \cdot 20 \cdot 1 + |0,7 + 2 \cdot 1,8| \cdot 1 = 18,1 \text{cm}^2 \geq 1,20 \cdot 17 \cdot 0,7 = 14,28 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18 \cdot \left| \frac{23,5}{\sqrt{3}} \right|}{1,00} = 245,58 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 245,58 \text{kN} > V_{z,Ed} = 1,25 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 245,58 \text{kN} > V_{z,Ed} = 8,69 \text{kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

$$M_{Ed} = 6,00 \text{kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,25 \text{kN}$$

$$N_{Ed} = -143,41 \text{kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 245,58 = 122,79 \text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1,25 \text{kN} < 0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 122,79 \text{kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 143,41 \leq 0,25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0,25 \cdot 1264,3 = 316,075 \text{kN}$$

$$2) N_{Ed} = 143,41 \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 17 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,00} = 159,8 \text{kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

INTERAKCIJA M-V-N

$$M_{Ed} = 24,14 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 8,69 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -83,39 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 245,58 = 122,79 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 8,69 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 122,79 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 83,39 \leq 0.25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0.25 \cdot 1264,3 = 316,075 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 83,39 \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 17 \cdot 0.8 \cdot 23.5}{1.00} = 159,8 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

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

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

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

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

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

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

OS $y - y$

$$L_{cr} = 2 \cdot 580\text{cm} = 960\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 3690}{960^2} = 829,86\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{53,8 \cdot 23,5}{829,86}} = 1,23$$

ZA VALJANI PROFIL \rightarrow

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34 \cdot (1.23 - 0.2) + 1.23^2] = 1.43$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1,43 + \sqrt{1,43^2 - 1,23^2}} = 0.46$$

OS z – z

$$L_{cr} = \frac{1}{2} \cdot 480\text{cm} = 240\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 1340}{240^2} = 4821,71\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{53,8 \cdot 23,5}{4821,71}} = 0,51$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,49 \cdot (0,51 - 0,2) + 0,51^2] = 0,71$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,51^2}} = 0,83$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0,46 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,46 \cdot 53,8 \cdot 53,5}{1,0} = 581,58\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 581,58\text{kN} > N_{Ed} = 143,41\text{kN} \quad N_{b,Rd} = 581,58\text{kN} > N_{Ed} = 83,39\text{kN}$$

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

$$L = 480\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{19,0}{2} = 9,5\text{cm}$$

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

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

$$M_{cr} = 1.77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340}{|1.0 \cdot 480^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108000}{1340} + \frac{|1.0 \cdot 560|^2 \cdot 8077 \cdot 21}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1340} + |0 \cdot 9,5|^2 - 0 \cdot 9,5} \right]$$

$$M_{cr} = 37660,33 \text{ kNcm} = 376,60 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{429,17 \cdot 23,5}{37660,33}} = 0.52 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0,95 < 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.52 - 0.2) + 0.52^2] = 0.67$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.67 + \sqrt{0.67^2 - 0.52^2}} = 0.92 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.92 \frac{429,17 \cdot 25.5}{1.00} = 9278,66 \text{ kNcm} = 92,79 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 92,79 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6,10 \text{ kNm}$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

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

$$\text{za } \bar{\lambda}_z = 0,51 \geq 0,4$$

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

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

$$\Psi = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1 + (1,23 - 0,2) \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1 \leq 0,95 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,51}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 0,98 \geq \left[1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] \\ = 0,96$$

$$\frac{143,41}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 1,1 \cdot \frac{6,00}{0,92 \cdot 100,9} = 0,14 + 0,07 = 0,21 \leq 1,0$$

$$\frac{143,41}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 0,98 \cdot \frac{6,00}{0,92 \cdot 100,9} = 0,14 + 0,06 = 0,20 \leq 1,0$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

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

za $\bar{\lambda}_z = 0,51 \geq 0,4$

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

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

$$\Psi = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1 + (1,23 - 0,2) \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1 \leq 0,95 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 1,1$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,51}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right] = 0,98 \geq \left[1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{145,61}{0,46 \cdot \frac{1264,3}{1,0}} \right]$$

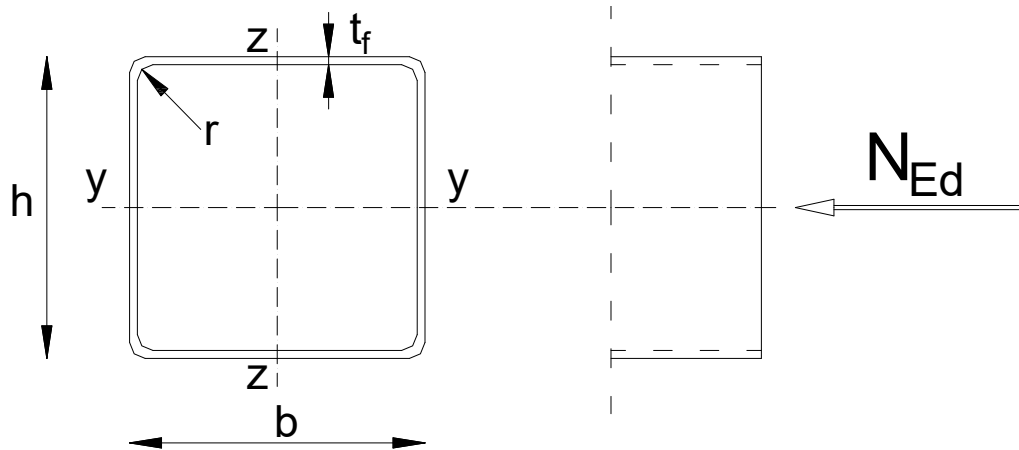
$$= 0,96$$

$$\frac{83,39}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 1,1 \cdot \frac{24,14}{0,92 \cdot 100,9} = 0,08 + 0,29 = 0,37 \leq 1,0$$

$$\frac{83,39}{0,83 \cdot 1264,3 / 1,0} + 0,98 \cdot \frac{24,14}{0,92 \cdot 100,9} = 0,08 + 0,25 = 0,33 \leq 1,0$$

Odabrani profil HEA200, kvalitete čelika S 235 zadovoljava GSN (mala iskoristivost $\eta=37\%$), međutim mjerodavan je za dimenzioniranje s obzirom da zadovoljava GSU sa iskoristivosti od $\eta=99\%$.

5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 47 Poprečni presjek gornjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=982.12\text{cm}^4$ $I_z=982.12\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=152.98\text{cm}^3; W_y=\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=152.98\text{cm}^3; W_z=\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=150\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=150\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$	Ulazni podaci (rezne sile)	Materijal S235→ $f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
Debljina pojasnice:	$r=8\text{mm}$		
Radijus:	$A=28.36\text{cm}^2$	$N_{Ed}=-$	-445.18 kN

Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 150 - 2 \cdot 5 = 140 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{140}{5} = 28$$

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

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28.36 \cdot 23.5}{1.0} = 666.46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 666.46 \text{ kN} > N_{Ed} = 447.13 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

$$L_{cr} = 241 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 982.12}{241^2} = 3504.69 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{28.36 \cdot 23.5}{3504.69}} = 0.44$$

ZA VALJANI PROFIL →

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.44 - 0.2) + 0.44^2] = 0.62$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.62 + \sqrt{0.62^2 - 0.44^2}} = 0.95$$

OS z – z

$$L_{cr} = 482 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 982.12}{482^2} = 876.17 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{28.36 \cdot 23.5}{876.17}} = 0.87$$

ZA VALJANI PROFIL →

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

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.87 - 0.2) + 0.87^2] = 0.95$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0.95 + \sqrt{0.95^2 - 0.87^2}} = 0.75$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.75 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

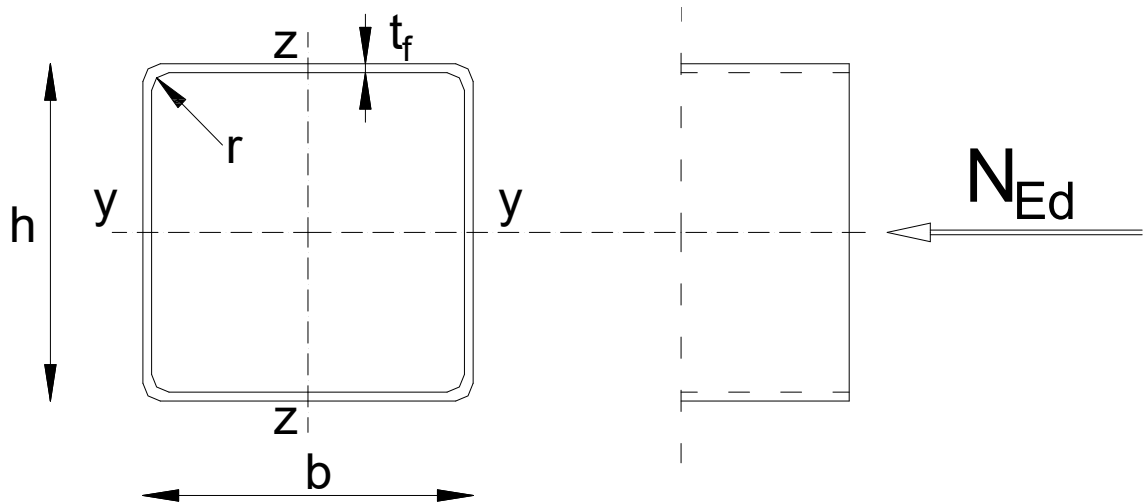
$$N_{b,Rd} = \frac{0.75 \cdot 28.36 \cdot 23.5}{1.0} = 499.85 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 499.85 \text{ kN} > N_{Ed} = 445.18 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{445.18}{499.85} = 0.89 \rightarrow \eta = 89\%$$

Odabrani profil CFRHS 150x150x5.0, kvalitete čelika S 235, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 89%.

5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA



Slika 48 Poprečni presjek donjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=982.12\text{cm}^4$ $I_z=982.12\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=152.98\text{cm}^3; W_y=\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=152.98\text{cm}^3; W_z=\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=150\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=150\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radius:	$r=8\text{mm}$		
Površina:	$A=28.36\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235→	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	445.02 kN 3.77		

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

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

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

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

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

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

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

OS y – y

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

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

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

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 150x150x5.0, kvalitete čelika S 235, 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

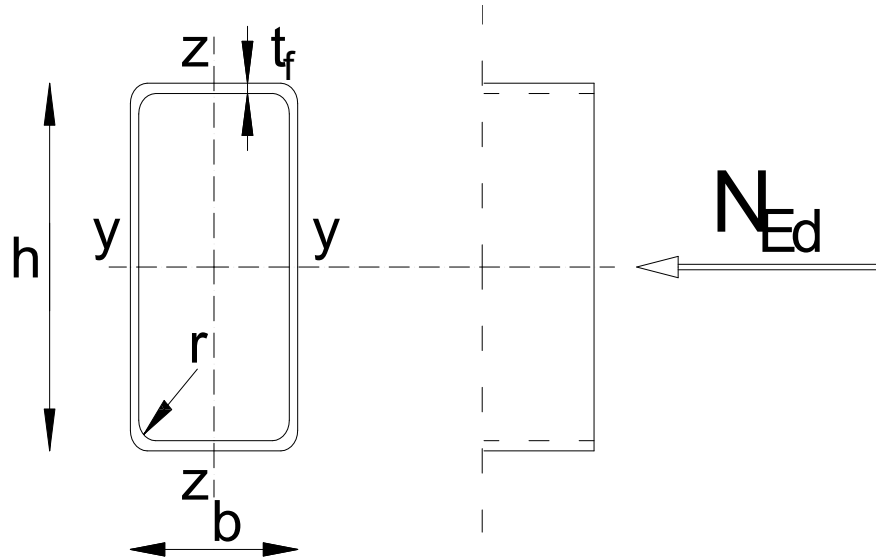
Gornji pojas je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 4 u iznosu od $N_{Ed}=573.87 \text{ kN}$.

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

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

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{445.02}{666,46} = 0.67 \rightarrow \eta = 67\%$$

5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 49 Poprečni presjek vertikala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS80x80x5	Moment tromosti	$I_y=131,44\text{cm}^4$ $I_z=131,44\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=39,74\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=39,74\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=80\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=1365,3\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=80\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=217,83\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radijus:	$r=10\text{mm}$		
Površina:	$A= 14,36\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235→	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=\$	-140,46kN 38,90		

Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 80 - 2 \cdot 5 = 70 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{70}{5} = 14$$

$$14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 14 \rightarrow 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23.5}{1.0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 140,46 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

OS y – y

$$L_{cr} = 80\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{80^2} = 4256,64\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{4256,64}} = 0,28$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,34 \cdot (0,28 - 0,2) + 0,28^2] = 0,55$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0,55 + \sqrt{0,55^2 - 0,28^2}} = 0,98$$

OS z – z

$$L_{cr} = 80\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{80^2} = 4256,64\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{4256,64}} = 0,28$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5[1 + 0,49 \cdot (0,28 - 0,2) + 0,28^2] = 0,56$$

$$\lambda_z = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,28^2}} = 0,96$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0,96 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,96 \cdot 14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 323,96 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 323,96 \text{ kN} > N_{Ed} = 140,46 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{140,46}{323,96} = 0,43 \rightarrow \eta = 43\%$$

Poprečni presjek CFRHS 80x80x5, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN s iskoristivosti 43%, ali je mjerodavan zbog uvjeta da dijagonala i vertikala imaju isti presjek.

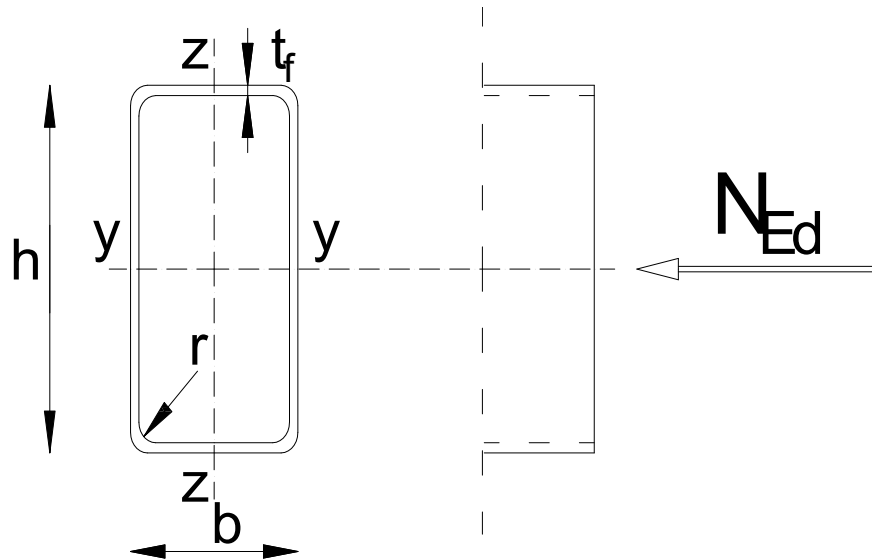
Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

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

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 38,90 \text{ kN}$$

5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 50 Poprečni presjek dijagonala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS80x80x5	Moment tromosti	$I_y=131,44\text{cm}^4$ $I_z=131,44\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=39,74\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=39,74\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=80\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=1365,3\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=80\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=217,83\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radijus:	$r=10\text{mm}$		
Površina:	$A= 14,36\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235→	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-36,64kN 306,94 kN		

Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 80 - 2 \cdot 5 = 70 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{70}{5} = 14$$

$$14 \leq 72\varepsilon \rightarrow 14 \rightarrow 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23.5}{1.0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 36,64 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

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

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

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

OS y – y

$$L_{cr} = 249\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{249^2} = 439,39\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{439,39}} = 0,88$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,34 \cdot (0,88 - 0,2) + 0,88^2] = 1$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1 + \sqrt{1^2 - 0,88^2}} = 0,68$$

OS y – y

$$L_{cr} = 249\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 131,44}{249^2} = 439,39\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{14,36 \cdot 23,5}{439,39}} = 0,88$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,49 \cdot (0,88 - 0,2) + 0,88^2] = 1,05$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 0,88^2}} = 0,62$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0,62 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,62 \cdot 14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 209,23 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 209,23 \text{ kN} > N_{Ed} = 36,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{36,64}{209,23} = 0,18 \rightarrow \eta = 18\%$$

Otpornost poprečnog presjeka izložnog vlačnoj sili

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

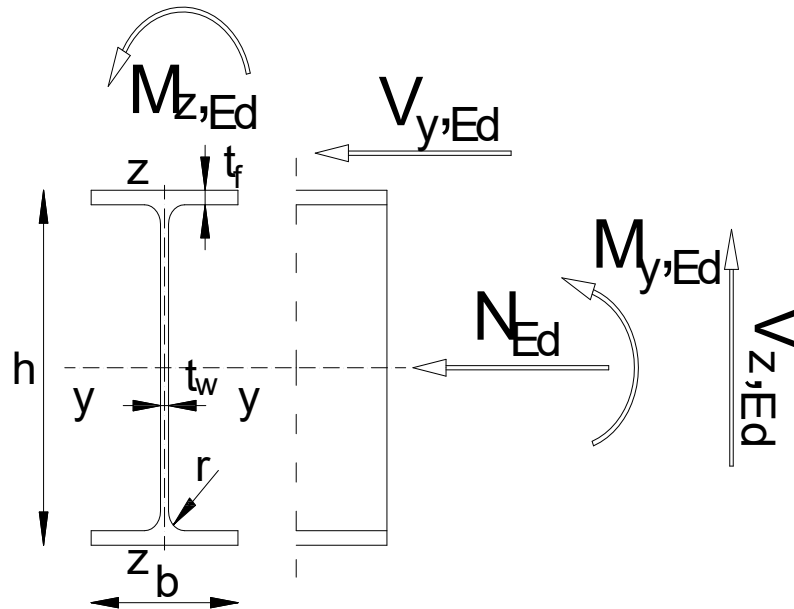
$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,36 \cdot 23,5}{1,0} = 337,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 337,46 \text{ kN} > N_{Ed} = 306,94 \text{ kN}$$

Poprečni presjek CFRHS 80x80x5, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN s iskoristivosti 91%.

5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.2.1. KROVNE PODROŽNICE



Slika 51 Poprečni presjek krovne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE 240	Moment tromosti	$I_y=3892\text{cm}^4$ $I_z=284\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=367\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=73,9\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=240\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=37400\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=120\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=12,9\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=10\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=6\text{mm}$		
Radius:	$r=15\text{mm}$		
Površina:	$A=39,1\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235 →	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0,1$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0,3$
$M_{y,Ed} =$	51,47kNm		
$M_{z,Ed} =$	4,63kNm		
$V_{y,Ed} =$	3,47kN		
$V_{z,Ed} =$	38,12kN		
$N_{Ed} =$	0kN		

Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 240 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 190 \text{ mm}$$

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

$$31,67 \leq 72\varepsilon \rightarrow 31,67 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{120}{2} - \frac{6}{2} - 15 = 40 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{40}{10} = 4$$

$$4 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost presjeka izloženog savijanju

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{367 \cdot 23,5}{1,00} = 8624,5 \text{ kNcm} = 86,25 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 86,25 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 51,07 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{73,9 \cdot 23,5}{1,00} = 1736,65 \text{ kNcm} = 17,37 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 17,37 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 4,63 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{240 - 2 \cdot 10}{6} = 36,67$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$36,67 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,20} = 60$$

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 39,7 - 2 \cdot 12 \cdot 1,0 + |0,6 + 2 \cdot 1,5| \cdot 1,0 = 18,7 \text{ cm}^2 \geq 1,20 \cdot 22 \cdot 0,6 = 15,84 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{18,7 |23,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 253,72 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 253,72 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 37,83 \text{ kN}$$

U smjeru y-y

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

$$A_{v,z} = A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ = 39,1 - 22 \cdot 0,6 = 25,9 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{25,9 |23,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 351,40 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 351,40 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 3,43 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 540\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{240}{2} = 12\text{cm}$$

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

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

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284}{|1.0 \cdot 540^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{37400}{284} + \frac{|1.0 \cdot 540|^2 \cdot 8077 \cdot 12.9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 284} + |0.454 \cdot 12|^2} - 0.454 \cdot 12 \right]$$

$$M_{cr} = 26991,37 \text{ kNcm} = 269,91 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{367 \cdot 23.5}{26991,37}} = 0,57 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (0.57 - 0.2) + 0.57^2] = 0.70$$

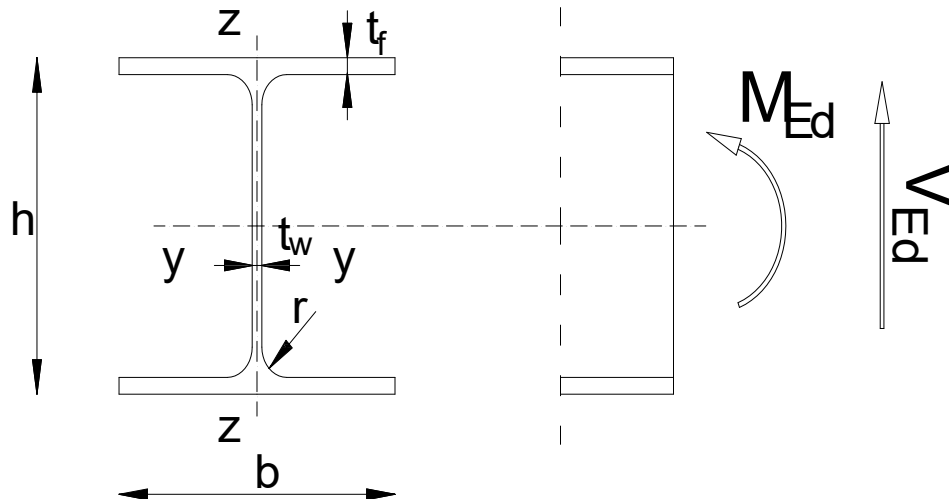
$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.70 + \sqrt{0.70^2 - 0.57^2}} = 0.90 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.90 \frac{367 \cdot 23.5}{1.00} = 7762,05 \text{ kNcm} = 77,62 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 77,62 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 51,47 \text{ kNm}$$

Profil IPE 240, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od $\eta=66\%$.

5.2.2. ZABATNI STUPOVI



Slika 52 Poprečni presjek zabatnog stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA100	Moment tromosti	$I_y=349\text{cm}^4$ $I_z=134\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=82,92\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=41,13\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=96\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=2581,3\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=5,24\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=8\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=5\text{mm}$		
Radius:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=21,2\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235→	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\,000\text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=\$	9,39 kNm		
$V_{z,Ed}=\$	5,81 kN		

Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 96 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{56}{6} = 11,2$$

$$11,2 \leq 72\varepsilon \rightarrow 11,2 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{100}{2} - \frac{5}{2} - 12 = 35,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35,5}{8} = 4,44$$

$$4,44 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4,44 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{82,92 \cdot 23,5}{1,00} = 1948,62 \text{ kNcm} = 19,49 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 19,49 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9,39 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{96 - 2 \cdot 18}{5} = 16$$

$$16 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,20} = 60$$

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

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 21,2 - 2 \cdot 10 \cdot 0,8 + |0,5 + 2 \cdot 1,2| \cdot 0,8 = 7,52 \text{cm}^2 \geq 1,20 \cdot 8 \cdot 0,5 = 4,8 \text{cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{7,52|23,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 102,03 \text{kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 102,03 \text{kN} > V_{z,Ed} = 5,81 \text{kN}$$

INTERAKCIJA M-V

Presjek u $L/4=1.62$

$$0,5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 102,03 = 51,02 \text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 5,81 < 51,02 \text{kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD UZDUŽNE SILE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{9,39}{19,49} = 0,48 < 1$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$$L = 646 \text{cm} \quad G = 8077 \text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{9,6}{2} = 4,8 \text{cm}$$

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

$$C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 134}{|1,0 \cdot 646^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{2581,3}{134} + \frac{|1,0 \cdot 646|^2 \cdot 8077 \cdot 5,24}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 134}} + |0,454 \cdot 4,8|^2 - 0,454 \cdot 4,8 \right]$$

$$M_{cr} = 1763,38 \text{ kNcm} = 17,63 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{82,92 \cdot 23.5}{1763,38}} = 1.05 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

FAKTOR REDUKCIJE

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{96}{100} = 0.96 < 2 \rightarrow \text{VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.05 - 0.2) + 1.05^2] = 1.14$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.14 + \sqrt{1.14^2 - 1.05^2}} = 0.63 \leq 1.0$$

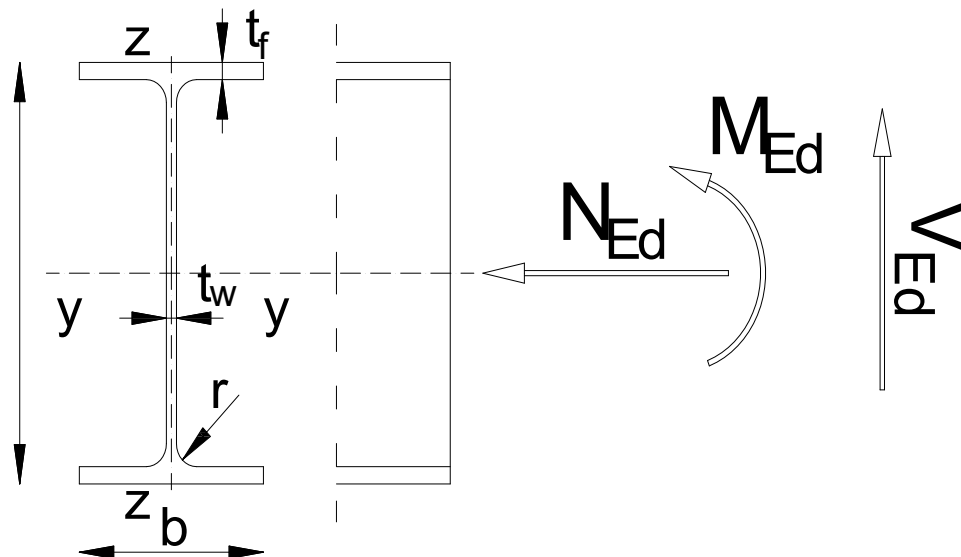
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.63 \frac{82,92 \cdot 23.5}{1.00} = 1227,63 \text{ kNcm} = 12,27 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 12,27 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9,39 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{9,39}{12,27} = 0.77 < 1.0$$

Profil HEA100, kvalitete čelika S355, zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti od 77%.

5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 53 Poprečni presjek bočne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE180	Moment tromosti	$I_y=1317\text{cm}^4$ $I_z=101\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=166\text{ cm}^3$ $W_{PL,z}=34,6\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=180\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=7430\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=91\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=4,79\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=8\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=5\text{mm}$		
Radius:	$r=9\text{mm}$		
Površina:	$A=23,9\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S235→	$f_y=235\text{N/mm}^2$ $\epsilon=1$ $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=\$	6,89 kNm		
$V_{z,Ed}=\$	5,10 kN		
$N_{Ed}=\$	0kN		

Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5} = 29.2007$$

$$29.2 \leq 72\varepsilon \rightarrow 29.2 \leq 72 \cdot 1 = 72 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} = 4.25$$

$$4.25 \leq 9\varepsilon \rightarrow 4.25 \leq 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166 \cdot 23.5}{1.00} = 3901 \text{ kNcm} = 39.01 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 39.01 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6.89 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

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

$$32,8 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,20} = 60$$

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

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 23,9 - 2 \cdot 9,1 \cdot 0,8 + |0,5 + 2 \cdot 0,9| \cdot 0,8 = 11,18 \text{ cm}^2 \geq 1,20 \cdot 16,4 \cdot 0,5 = 9,84 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{11,18 |23,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 151,69 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 151,69 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 5,10 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 540 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 9,0 \text{ cm}$$

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

$$C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{|1,0 \cdot 540^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{|1,0 \cdot 540|^2 \cdot 8077 \cdot 4,79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101} + |0,454 \cdot 9|^2} - 0,454 \cdot 9 \right]$$

$$M_{cr} = 1698,92 \text{ kNcm} = 16,99 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{166 \cdot 23.5}{1698,92}} = 1.52 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.98 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.52 - 0.2) + 1.52^2] = 1.79$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{1.79 + \sqrt{1.79^2 - 1.52^2}} = 0.37 \leq 1.0$$

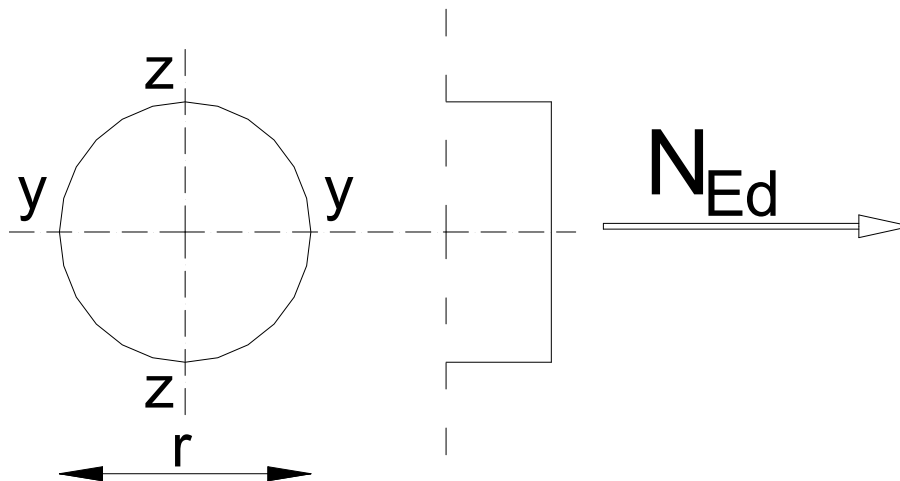
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.37 \frac{166 \cdot 23.5}{1.00} = 1443,37 \text{ kNm} = 14,43 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 14,43 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 6,89 \text{ kNm}$$

Profil IPE180, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od $\eta=48\%$.

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA

5.2.4.1. HORIZONTALNI SPREG



Slika 54 Poprečni presjek sprega

Karakteristike presjeka: RD 12 A=1,13cm ²	Materijal S235 → f _y =235N/mm ² ε=1
Ulazni podaci: N _{Ed} =4,72 kN	E=210 000 N/mm ² ν=0.3

Tablica 22 Karakteristike poprečnog presjeka sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.13 \cdot 23.5}{1.0} = 26,56 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 26,56 \text{ kN} > N_{Ed} = 4,72 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{4,72}{26,56} = 0,17 < 1.0$$

Profil RD 12, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od η=17%.

5.2.4.2. DIMENZIONIRANJE BOČNOG SPREGA

Karakteristike presjeka: RD 12 A=1.13cm ²	Materijal S235 → f _y =235N/mm ² ε=1 E=210 000 N/mm ² ν=0.3
Ulazni podaci: N _{Ed} =15,76 kN	

Tablica 23 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.13 \cdot 23.5}{1.0} = 26,56 \text{ kN}$$

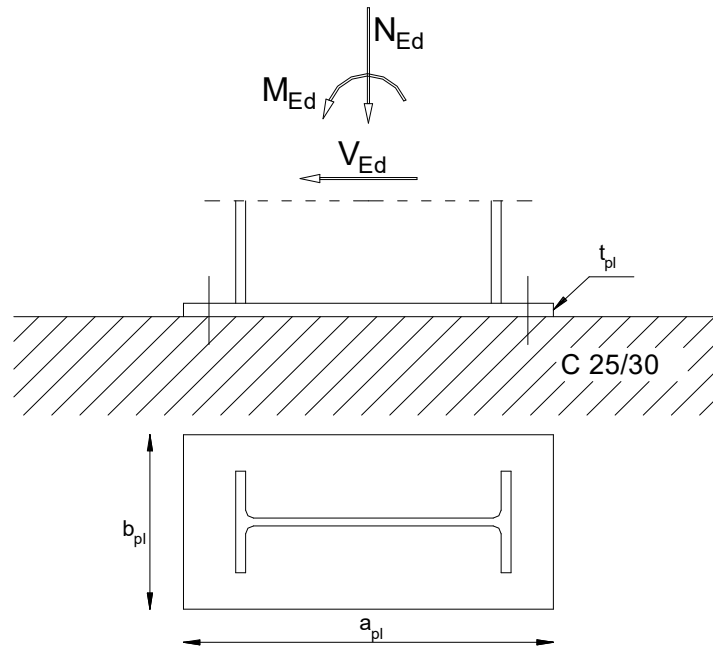
$$N_{c,Rd} = 26,56 \text{ kN} > N_{Ed} = 15,76 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{15,76}{26,56} = 0,59 < 1.0$$

Profil RD 12, kvalitete čelika S235, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od η=59%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 55 Spoj stup-temelj

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (STUP, HEA 200)	
$M_{Ed} =$	24,24kNm	Osnovni materijal S235	$h =$	190mm
$V_{Ed} =$	5,48kN	Vijci k.v. 5,6	$b =$	200mm
$N_{Ed} =$	85,59kN		$t_w =$	7mm
			$t_f =$	10mm
			$A =$	53,8cm 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:

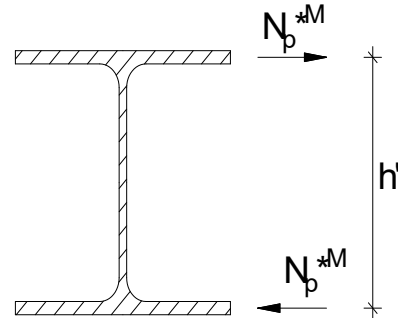
$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{24,24}{(0,19 - 0,01)} = 134,67 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1}{53,8} \cdot (-85,59) = -31,82 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasci:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 134,67 - 31,82 = 102,85 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$



KONTROLA VAROVA:

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2t_f) = 2 \cdot (190 - 2 \cdot 10) = 340 \text{ mm}$$

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

$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 7 = 4,9 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a = 4 \text{ mm}$

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 zavaru $F_{w,Rk}$ 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	130,9	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 $L/100$									

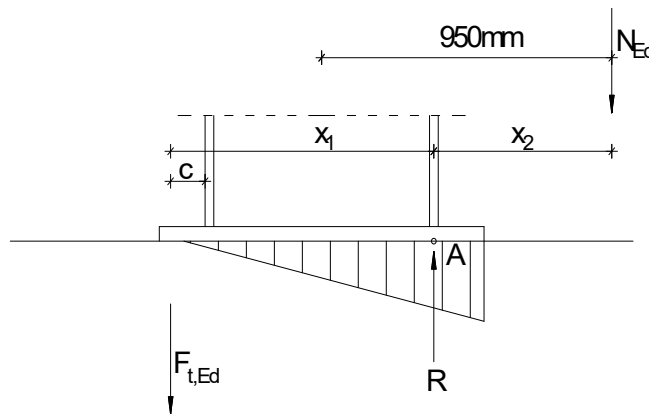
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 332,5\text{kN} > F_{w,Ed} = 102,85\text{kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1.25} \cdot \frac{340}{100} = 282,6\text{kN} > F_{w,Ed} = 5,48\text{kN}$$

PRORAČUN VIJAKA



Uz pretpostavku vijaka M-16 udaljenost c_{min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37,66\text{mm}$$

-Usvojeni $c=40\text{mm}$


-Ekscentricitet uzdužne sile $e = M_{Ed}/N_{Ed} = 24,24/85,59 = 0,28\text{m} = 280\text{mm}$

-Ekscentricitet $X_1 = c + h - t_f/2 = 40 + 190 + 10/2 = 225\text{mm} = 0,225\text{m}$

-Ekscentricitet $X_2 = e - h + t_f/2 = 280 - 190 + 10/2 = 190\text{mm} = 0,190\text{m}$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{t,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 85,59 \cdot \frac{0,19}{0,225} = 72,28\text{ kN}$$

OTPORNOST VIJAKA NA VLAK



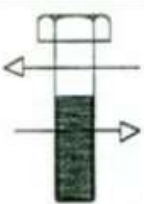
$F_{t,Rk} = 0,9 \times f_{ub} \times A_s$

Promjer vijka d [mm]	KV.	12	16	20	22	24	27	30	36
Vlačna otpornost $F_{t,Rk}$ [kN]	4,6	30,3	56,5	88,2	109,1	127,1	165,2	202,0	294,1
	5,6	37,9	70,7	110,3	136,4	158,9	206,6	252,5	367,7
	8,8	60,7	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	588,2
	10,9	75,9	141,3	220,5	272,7	317,7	413,1	504,9	735,3

Slika 56 Karakteristična vlačna otpornost za jedan vijak u (kN)

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{70,7}{1,25} = 56,56 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{72,28}{2} = 36,14 \text{ kN}$$

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
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	40,5	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

Slika 57 Karakteristična posmična otpornost za jedan vijak i jednu posmičnu površinu u (kN)

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{47,1}{1,25} = 37,68 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{5,48}{4} = 1,37 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

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

$$\frac{1,37}{37,68} + \frac{72,28}{1,4 \cdot 56,56} = 0,95 \leq 1,0$$

PRORAČUN PLOČE

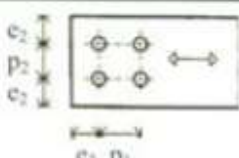
$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 190 + 2(40 + 40) = 350mm$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20mm = 200 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 231,31mm$$

$$= p_2 + 2e_2 = 52 + 2 \cdot 30 = 112mm$$

ODRABRANE DIMENZIJE PLOČE SU **350x240mm**

Proračun debljine ploče t_{pl}^{min}



$F_{b,Rk} = k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t$
 $k_1 = 2,5$

$\alpha_b = \min\left(\frac{c_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$

Promjer vijka	d [mm]	12	16	20	22	24	27	30	36
Promjer rupe	d ₀ [mm]	13	18	22	24	26	30	33	39
Kompaktni detalj	e ₁	20	27,5	35	37,5	40	45	50	60
	p ₁ :p ₂	30	40	50	55	60	67,5	75	90
	e ₂	20	25	30	32,5	35	40	45	55
	S 235	55,4	70,7	91,4	101,8	110,8	121,5	136,4	166,2
	S 275	68,2	84,4	109,1	121,5	132,3	145,1	162,9	198,5
	S 355	78,5	100,1	129,4	144,1	156,9	172,1	193,2	235,4
Preporučene vrijednosti	e ₁	30	40	50	55	60	67,5	75	90
	p ₁ :p ₂	40	55	70	75	80	90	100	120
	e ₂	25	30	40	45	50	55	60	70
	S 235	83,1	106,7	136,4	151,3	166,2	182,3	204,5	249,2
	S 275	99,2	127,4	162,9	180,7	198,5	217,7	244,3	297,7
	S 355	117,7	151,1	193,2	214,3	235,4	258,2	289,8	353,1

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{sd}}{4} = \frac{5,48}{4} = 1,37kN = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{106,7}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl}^{min} > \frac{1,37 \cdot 1,25 \cdot 10}{106,7} = 0,160mm$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{350 - 190 + 10}{2} = 85mm = 0,085m$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 72,28 + 85,59 = 157,87kN$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{3 \cdot s \cdot b_{pl}} = \frac{157,87}{3 \cdot 8,5 \cdot 24} = \frac{0,52 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

SAVIJANJE PLOČE

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

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 5200 \cdot 0,085 \cdot 0,24 \cdot \frac{0,085}{2} + \frac{1}{3} \cdot 5200 \cdot 0,085 \cdot 0,24 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,085 = 4 \text{ kNm}$$

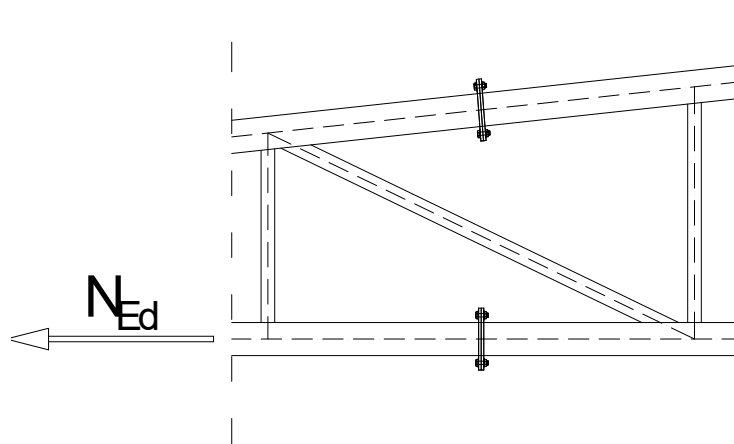
SAVIJANJE PLOČE OD VLAČNIH VIJAKA

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 72,28 \cdot \left(40 + \frac{10}{2} \right) = 3252,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}}$$
$$= \sqrt{\frac{1,1 \cdot 325,26 \cdot 6}{24 \cdot 23,5}} = 1,95 \text{ cm} = 19,5 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 350x240x20 mm

6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 58 Vlačni nastavak rešetke

Veličine djelovanja:		Materijal:		Poprečni presjek (CFRHS 150x150x5.0)	
$N_{Ed} =$	289,88kN	Osnovni materijal S235		h=	150mm
		Vijci k.v.		b=	150mm
				$t_f =$	5mm
				A=	28,36cm ²

1.KONTORLA VAROVA

Određivanje maksimalne debljine vara

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

Odabrano a=4mm

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 150 = 600\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{77,9}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 373,92\text{kN} > N_{Ed} = 289,88\text{kN}$$

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 zavara $F_{w,Rk}$ 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	130,9	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: M20 k.v. 8,8
 n=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{176,4}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{289,88}{4} = 72,47 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$

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	109,1	127,1	165,2
	5,6	37,9	70,7	110,3	136,4	158,9	206,6	252,5	367,7
	8,8	60,7	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	588,2
	10,9	75,9	141,3	220,5	272,7	317,7	413,1	504,9	735,3

3.PRORAČUN PLOČE

Proračun dimenzije ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 2 + 4\sqrt{2} = 44,24\text{mm}$$

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

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20\text{mm} = 150 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 178,48\text{mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE **272x272 mm**

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. $d_0 \leq e_2 \leq \max(12t_1; 150 \text{ mm})$
 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

VIJCI	[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 35	120	90	70

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

$$e = 26\text{mm}$$

$$b_{pl} = 272\text{mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 72,47 \cdot 0,026 = 3,8\text{kNm}$$

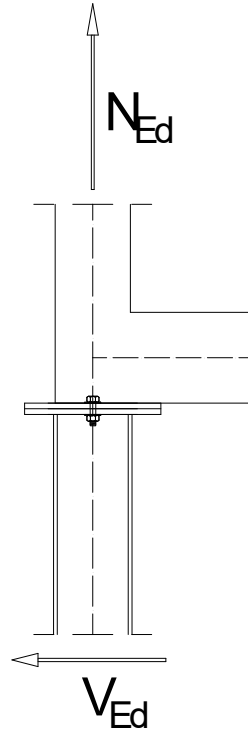
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 380 \cdot 6}{27,2 \cdot 23.5}} = 1.98\text{cm} = 19,2\text{mm}$$

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

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 272x272x20 mm

6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



Veličine djelovanja:	Materijal:	Poprečni presjek:	
Poprečna sila u stupu $V_{Ed}=13.72 \text{ kN}$	Osnovni materijal S235	HEA 200(stup)	CFRHS 150x150x5.0
Vlačna sila u vertikali $N_{Ed}=0\text{kN}$	Vijci k.v. 8,8	$h=190\text{mm}$ $t_f=200\text{mm}$ $t_f=10\text{mm}$ $t_w=7\text{mm}$	$h=150\text{mm}$ $b=150\text{mm}$ $t_f=5.0\text{mm}$

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

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

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

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 zavara $F_{w,Rk}$ 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	130,9	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

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{130.9}{1.25} \cdot \frac{556}{100} = 582.24\text{kN} > V_{Ed} = 13.72\text{kN}$$

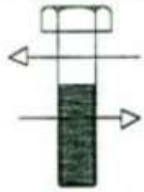
Uzdužna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{130.9}{1.25} \cdot \frac{720}{100} = 753.98\text{kN} > N_{Ed} = 53.83\text{kN}$$

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	40,5	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	56,5	88,2	109,1	127,1	165,2	202,0	294,1
	5.6	37,9	70,7	110,3	136,4	158,9	206,6	252,5	367,7
	8.8	60,7	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	588,2
	10.9	75,9	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. $2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq \max(12t; 150 \text{ mm})$
 1. $5 \cdot d_0 \leq e_2 \leq \max(12t; 150 \text{ mm})$
 2. $2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \max(14t; 200 \text{ mm})$
 3. $0 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \max(14t; 200 \text{ mm})$

PREPORUČENE VRIJEDNOSTI RAZMAKA VIJAKA

VIJCI	[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

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

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

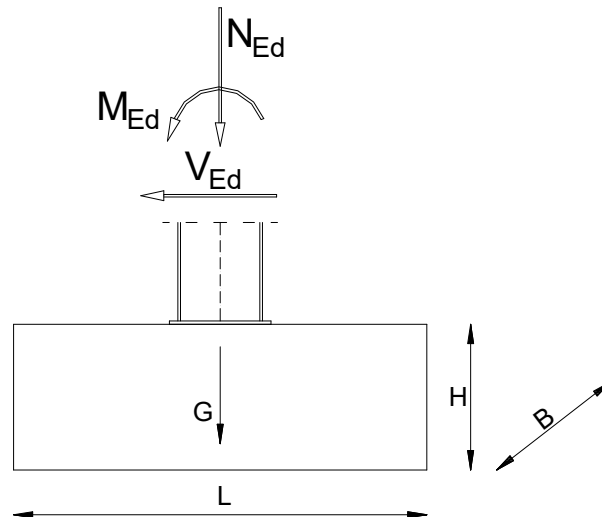
Savijanje ploče od vlačnih vijaka

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

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

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	$N_{Ed}=85,59\text{kN}$	Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim}=300\text{kN/m}^2$
B=2.0m	$V_{Ed}=5,48\text{kN}$	Beton C25/30: $f_{ck}=2.5\text{kN/cm}^2$
H=1.5m	$M_{Ed}=24,24\text{kNm}$	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:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{85,59 + 150}{4} \pm \frac{24,24}{1,33}$$
$$\sigma_1 = 77,12 \text{ kN/m}^2$$
$$\sigma_2 = 40,67 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{24,24}{85,59 + 150} = 0,10 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2}{2} - 0,10 \right) = 2,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (85,59 + 150)}{5,4} = \frac{87,26 \text{ kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2 - 0,19}{2} = 0,91 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2,7 - 0,91}{2,7} \cdot 87,26 = 57,85 \text{ kN/m}^2$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1,4 \cdot \left(57,85 \cdot \frac{0,91}{2} \cdot 2 + \frac{87,26 - 57,85}{2} \cdot 0,91 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,91 \right) = 96,43 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu:

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

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{9643}{120 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 3,061,85 \text{ cm}^2 < A_{S1,min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 30,0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armature:

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

razdjelna armature → $\phi 8/25$

8. LITERATURA

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

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

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

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

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

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

9. 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.....	20
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.....	21
Slika 23 Dijagram momenata za kombinaciju 3.....	21
Slika 24 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3.....	22
Slika 25 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3.....	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.....	26
Slika 36 Djelovanje na bočni spreg	26

Slika 37	Dijagram uzdužnih sila na bočni spreg	27
Slika 38	Djelovanja na krovnu podrožnicu.....	28
Slika 39	Djelovanje vjetra na krovne podrožnice	28
Slika 40	Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 1	29
Slika 41	Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 1	29
Slika 42	Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 2	30
Slika 43	Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 2	30
Slika 44	Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 3	31
Slika 45	Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 3	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	33
Slika 53	Poprečni presjek stupa	34
Slika 54	Poprečni presjek gornjeg pojasa	43
Slika 55	Poprečni presjek donjega pojasa.....	47
Slika 56	Poprečni presjek vertikala	51
Slika 57	Poprečni presjek dijagonala	55
Slika 58	Poprečni presjek krovne podrožnice.....	59
Slika 59	Poprečni presjek zabatnog stupa	64
Slika 60	Poprečni presjek bočne podrožnice	68
Slika 61	Poprečni presjek sprega	72
Slika 62	Spoj stup-temelj	74
Slika 64	Karakteristična posmična otpornost za jedan vijak i jednu posmičnu površinu u (kN)	77
Slika 63	Karakteristična vlačna otpornost za jedan vijak u (kN)	77
Slika 65	Vlačni nastavak rešetke	80

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.....	14
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	15
Tablica 13 Ukupno rezultirajuće djelovanje vjetra po čvorovima	16
Tablica 14 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa.....	34
Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa	43
Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa	47
Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka vertikala.....	51
Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala	55
Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice	59
Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa.....	64
Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice.....	68
Tablica 22 Karakteristike poprečnog presjeka sprega.....	72
Tablica 23 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega	73
Tablica 24 Tablica karakteristika spoja stup-temelj	74
Tablica 26 Karakteristike temelja i temeljnog tla	88
Tablica 25 Temelj i opterećenja temelja	88

10. NACRTI

10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50

10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10

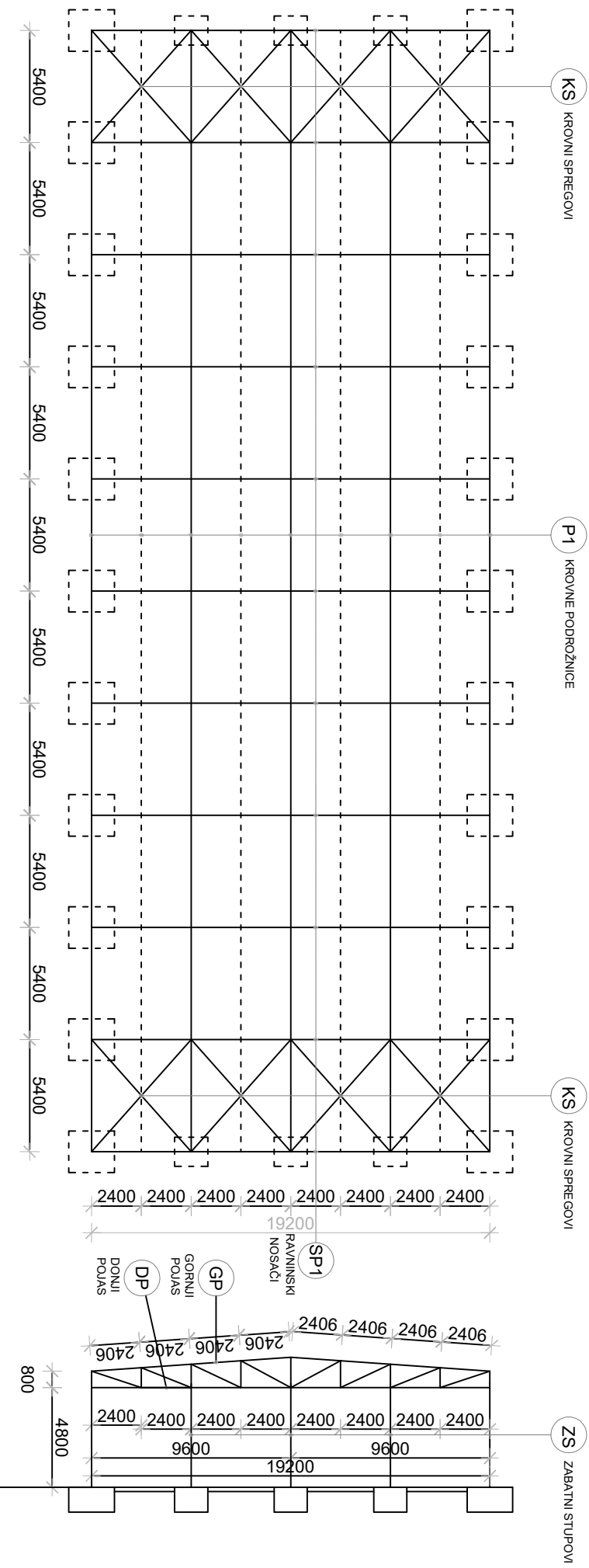
10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50

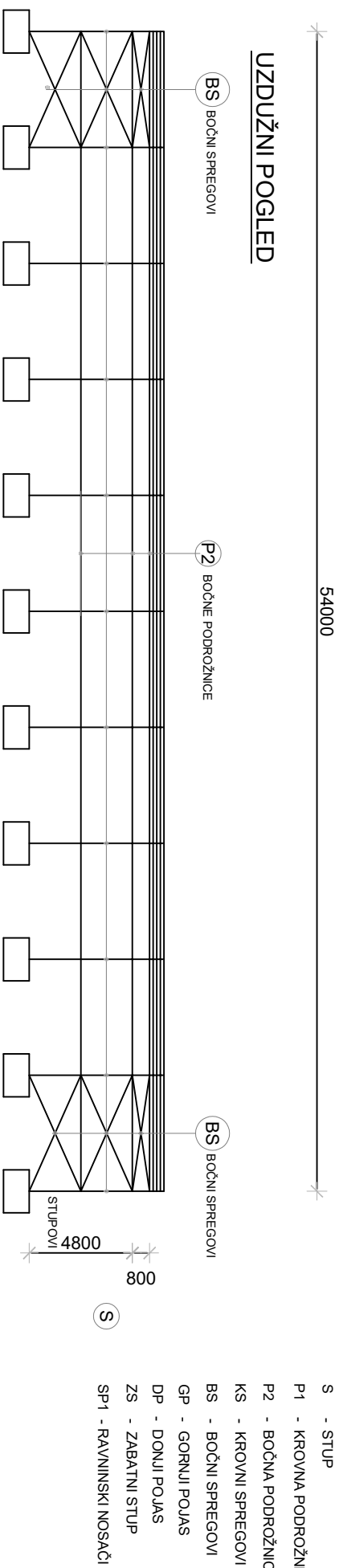
10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10

10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

TLOCRTNI POGLED



BOČNI POGLED



UZDUŽNI POGLED

rcm

Osnove metalnih konstrukcija

PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENTI: Iva Kalčina

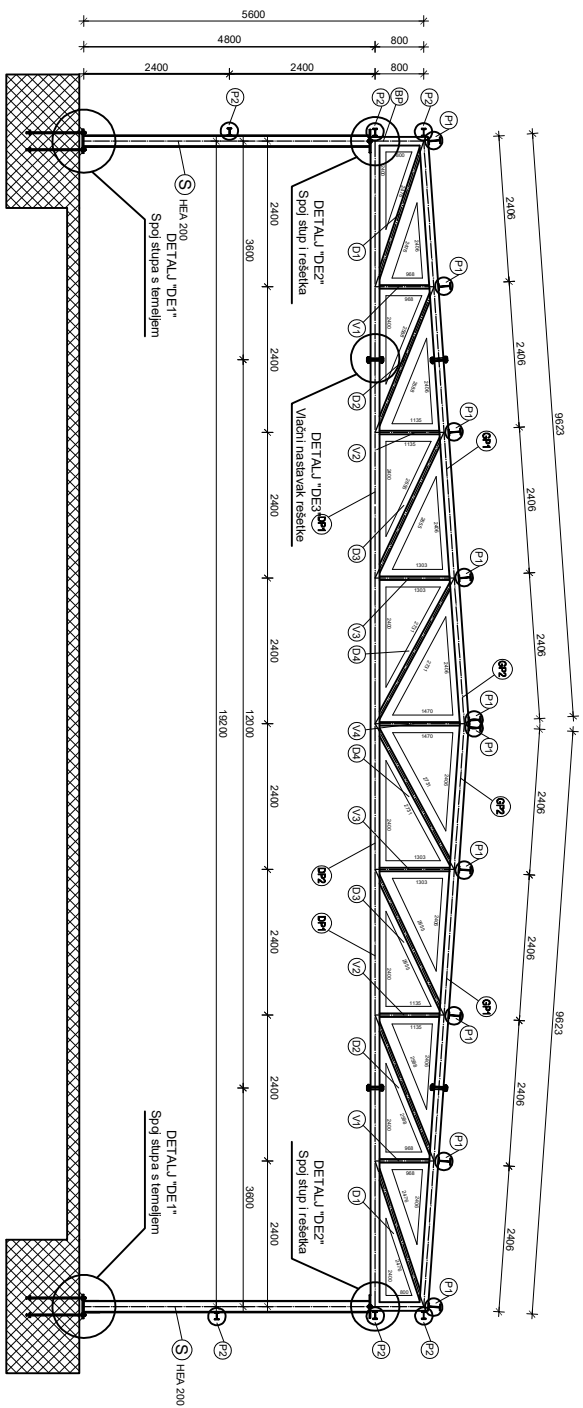
SKUPNA: Geometrija sustava

PROJEKTOVA: 1.200

DATA: rujun 2019.

1

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

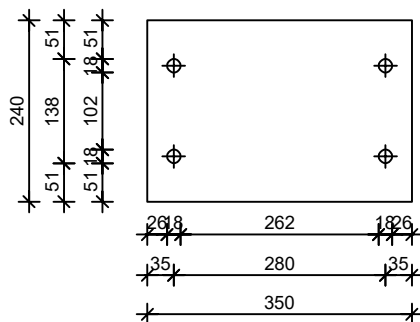
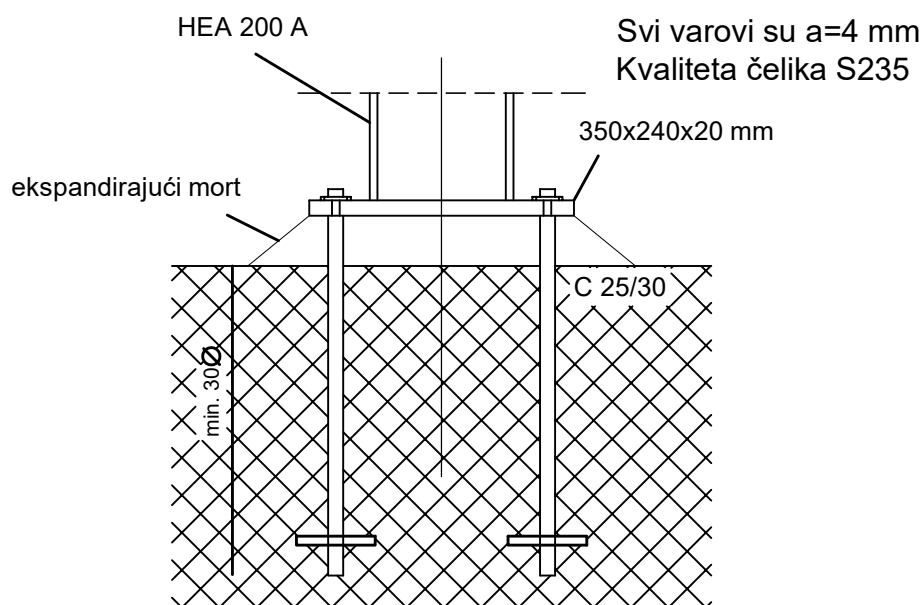
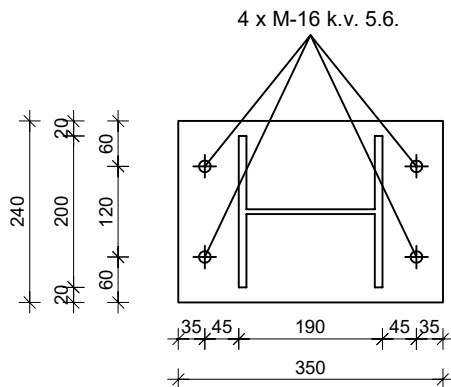


Napomena:
 Materijal konstrukcije za sve elemente
 je S235.

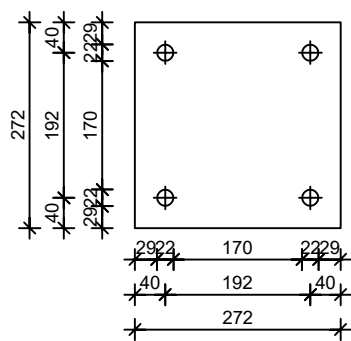
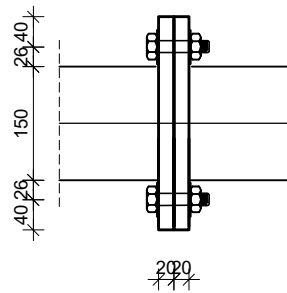
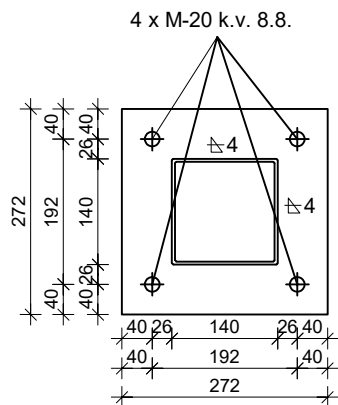
7.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR
 M 1:50


	Osnovni tehnički koncept	
	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE
BUREAU ZA INŽENJERSKI PROJEKTIRANJE I ARHITEKTURNE RJEŠENJE	IZRAĐIO: Iva KASABA PROJEKTIRAO: Iva KASABA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE: Iva KASABA	LIST: 130 OD UKUPNO: 2

7.4 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ M 1:10

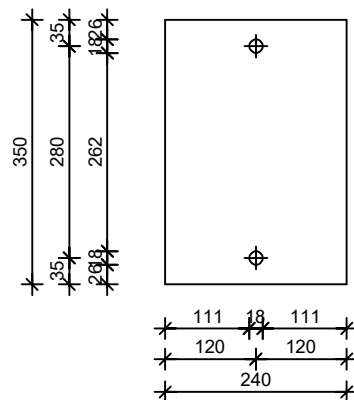
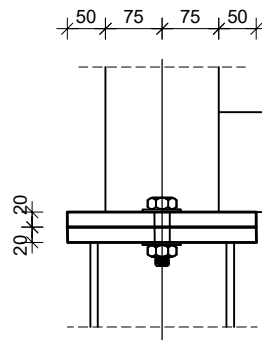
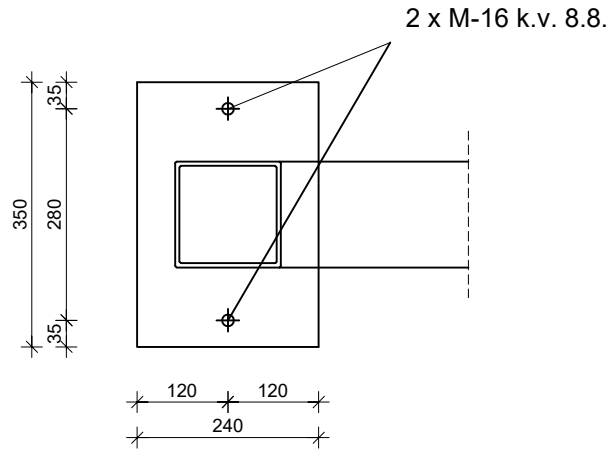


7.5 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI: Iva Kalcina	
	SADRŽAJ: Vlačni nastavak rešetke	MJERILO: 1:10
DATUM: rujan 2019.	BROJ PRILOGA: 7	

7.6 ZGLOBNA VEZA STUP-REŠETKA M 1:10



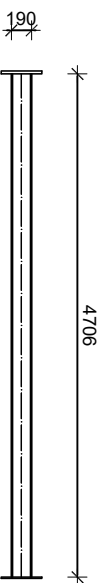
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

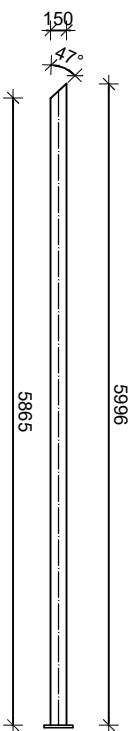
TEMA:	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUDENTI:	Iva Kalcina	
SADRŽAJ:	Zglobna veza stup-rešetka	MJERILO: 1:10
DATUM:	rujan 2019.	BROJ PRILOGA: 8

7.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

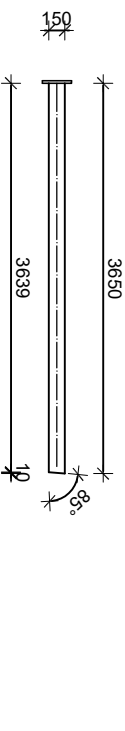
STUP (S) HEA 200, l=4706 mm, 22 kom



GORNJA POJASNICA (GP1) 150/150/5, l=5996 mm 22 kom



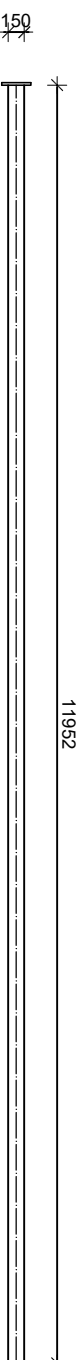
GORNJA POJASNICA (GP2) 150/150/5, l=3649 mm, 22 kom



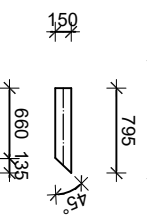
DONJA POJASNICA (DP1) 150/150/5, l=3506 mm, 22 kom



DONJA POJASNICA (DP2) 150/150/5, l=1952 mm, 11 kom

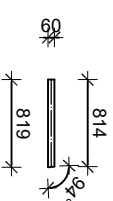


BOČNA POJASNICA (BP)
150/150/5, l=795 mm, 22 kom

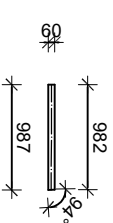


ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE 60/60/3

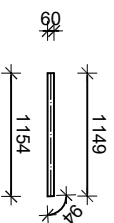
(V1) l=819 mm, 22 kom



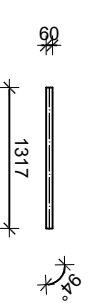
(V2) l=987 mm, 22 kom



(V3) l=1154 mm, 22 kom



(V4) l=1317 mm, 22 kom

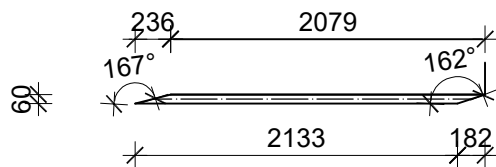


Osnove metalnih konstrukcija	
TITAN	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENTI	Iva Kalčina
SKUPNAJ	Radionički nacrt, glavni nosač
DATA	PROJEKTOVA
1. juli 2019.	3

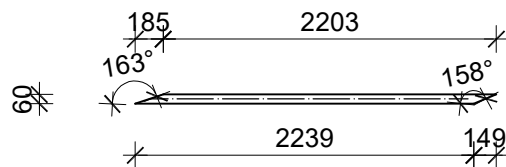
7.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, DIJAGONALE 60/60/3

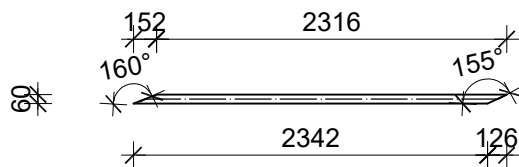
(K1) l=2315 mm, 22 kom



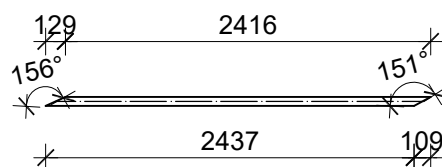
(K2) l=2388 mm, 22 kom




(K3) l=2468 mm, 22 kom



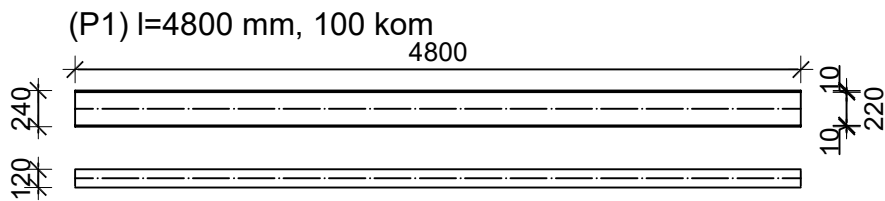
(K4) l=2545 mm, 22 kom



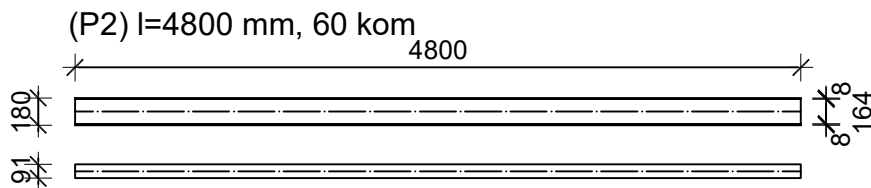
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENTI: Iva Kalcina	
	SADRŽAJ: Radionički nacrt, glavni nosač	MJERILO: 1:50
	DATUM: rujan 2019.	BROJ PRILOGA: 4

7.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50

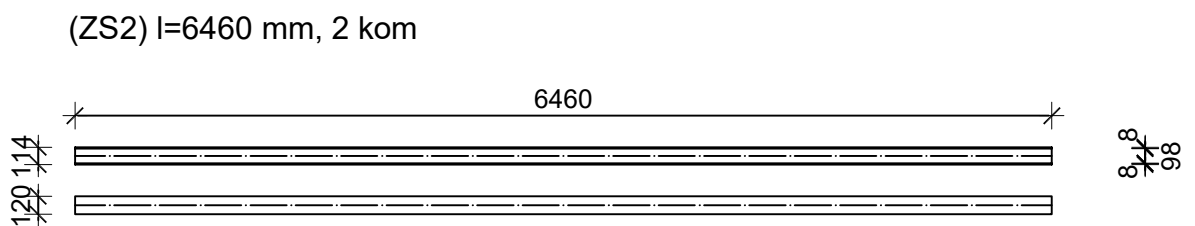
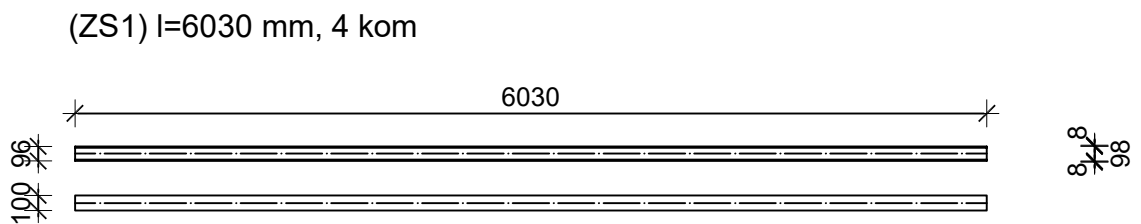
KROVNE PODROŽNICE IPE 240



BOČNE PODROŽNICE IPE 180



ZABATNI STUPOVI HEA 100



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA:	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUDENTI:	Iva Kalcina	
SADRŽAJ:	Radionički nacrt, glavni nosač	MJERILO: 1:50
DATUM:	rujan 2019.	BROJ PRILOGA: 5

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 200	4706	22	35,56	3681,60
Donji pojas (DP1)	150X150X5	3506	22	23,39	1804,12
Donji pojas (DP2)	150X150X5	11952	11	23,39	3075,13
Gornji pojas (GP1)	150X150X5	5996	22	23,39	3085,42
Gornji pojas (GP2)	150X150X5	3649	22	23,39	1877,70
Bočna pojasnica	150X150X5	795	22	23,39	409,09
Vertikala (V4)	60X60X3	1317	11	8,16	118,21
Vertikala (V3)	60X60X3	1154	22	8,16	207,17
Vertikala (V2)	60X60X3	987	22	8,16	177,19
Vertikala (V1)	60X60X3	819	22	8,16	147,03
Dijagonala (D1)	60X60X3	2315	22	8,16	415,59
Dijagonala (D2)	60X60X3	2388	22	8,16	428,69
Dijagonala (D3)	60X60X3	2468	22	8,16	443,06
Dijagonala (D4)	60X60X3	2545	22	8,16	456,88
Pločica (P1)	350x240x20	Proračun preko zapremnine	22	Proračun preko zapremnine	389,82
Pločica (P2)	272x272x24	Proračun preko zapremnine	44	Proračun preko zapremnine	613,30
Pločica (P3)	350x240x20	Proračun preko zapremnine	22	Proračun preko zapremnine	236,25
Krovni spregovi (KS)	R 12	7238	16	1,39	160,97
Bočni spregovi (BS1)	R 12	5909	16	1,39	131,42
Bočni spregovi (BS2)	R 12	5459	8	1,39	60,70
Zabatni stupovi (ZS)	HEA 100	6030	4	19,86	479,02
Zabatni stupovi (ZS)	HEA 100	6460	2	19,86	256,59
Krovne podrožnice (P1)	IPE 240	4800	100	25,12	12057,6
Bočne podrožnice (P2)	IPE 180	4800	60	10,36	2983,68
suma					33696,23
+ 2,0% spojna sredstva					673,92
UKUPNO (kg)					34370,15
UKUPNO (kg/m ²)					33,5